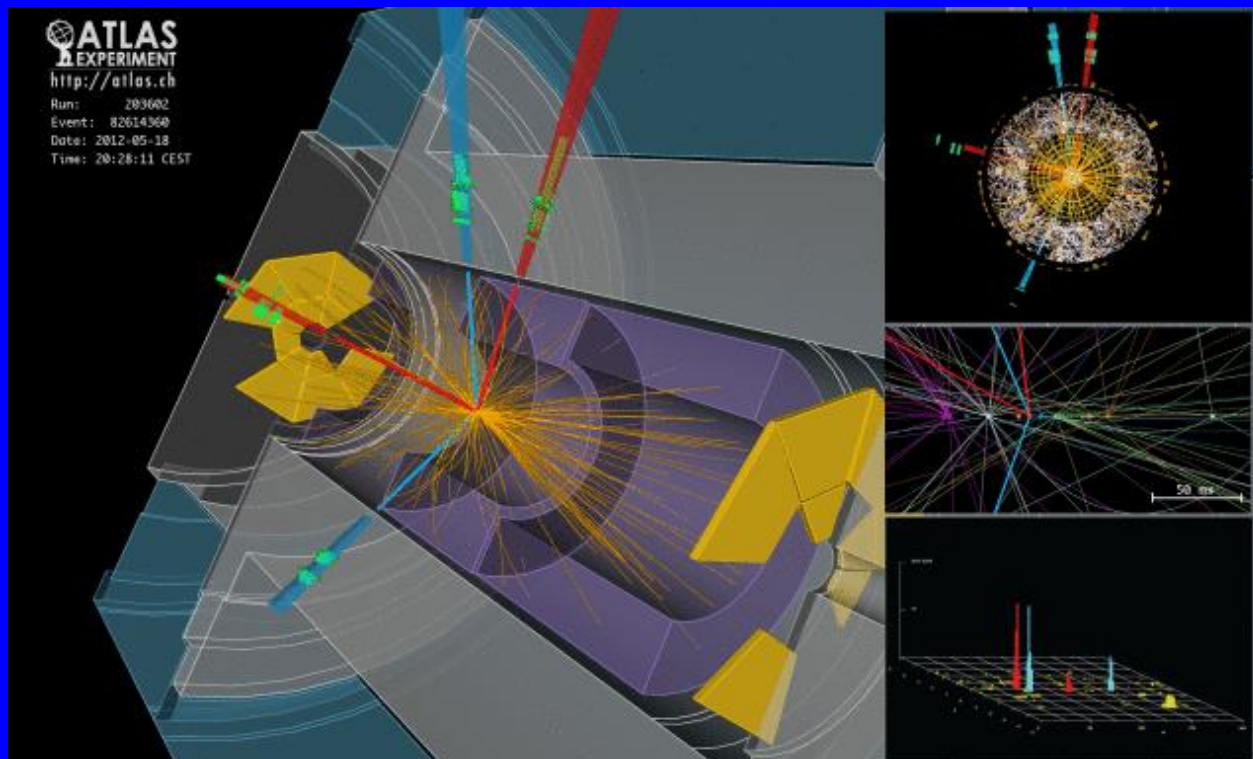


# О хиггсовском бозоне – результаты, полученные на Большом Адронном Коллайдере



В.О.Тихомиров, ЛЭЧ ОЯФА,  
доклад на Ученом Совете ФИАН 24.12.2012

# План доклада

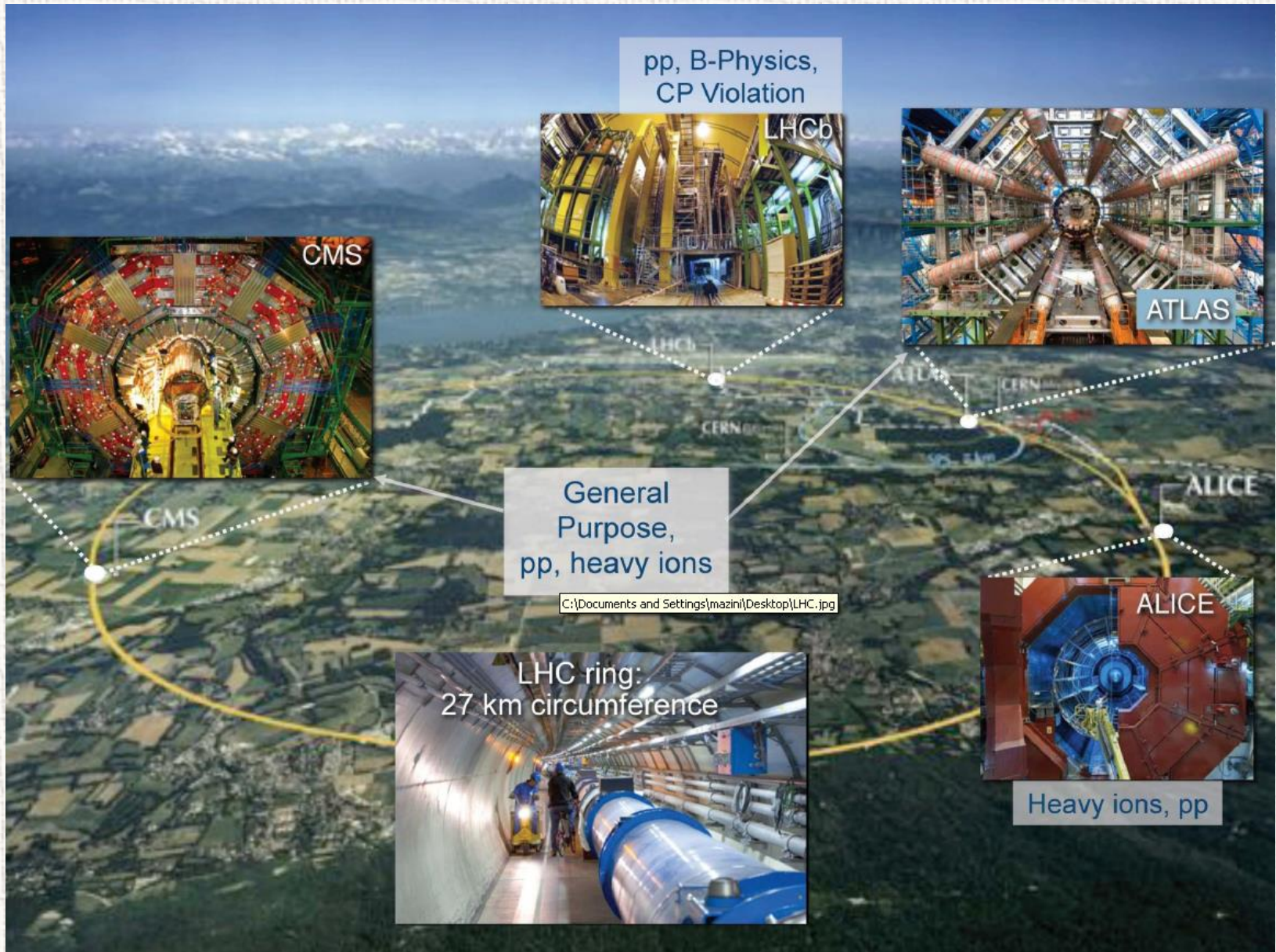
- Большой Адронный Коллайдер – цели, факты, показатели работы
- Эксперименты на БАК
  - ATLAS
  - CMS
- Участие ФИАН в работах на БАК
  - Участие в экспериментах
  - Теоретические разработки
  - Компьютерная инфраструктура (GEANT4, Грид)
- Хиггс бозон – немного теории
- Результаты поиска Хиггс бозона на БАК
- Перспективы – близкие и не очень
- Заключение

# Большой Адронный Коллайдер

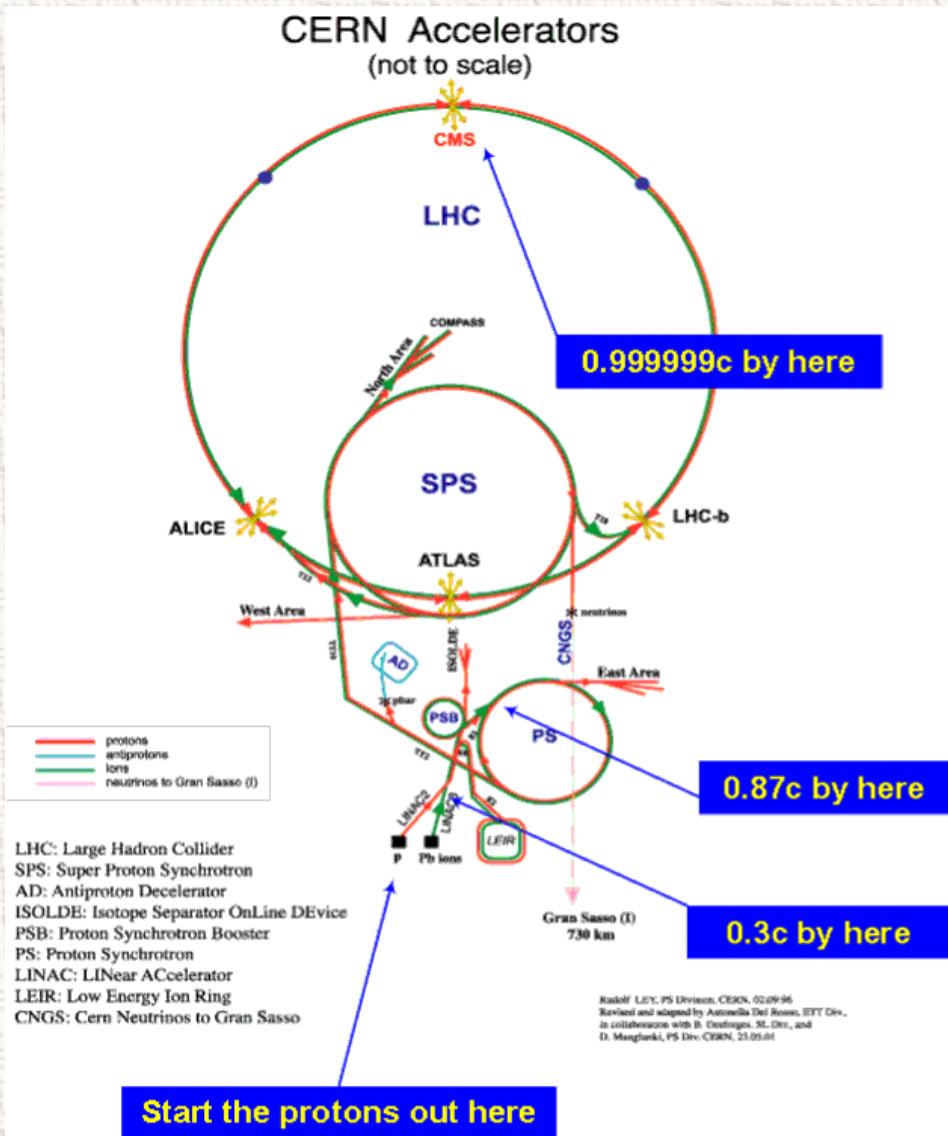
## Цели:

- Поиск бозона Хиггса – последнего недостающего звена «Стандартной Модели» элементарных частиц. Механизм образования масс ЭЧ.
- В случае обнаружения – изучение свойств Хиггс–бозона, механизмов его взаимодействий, (не)согласие с теорией.
- Физика b-кварка. Изучение механизмов нарушения CP-симметрии.
- Физика t-кварка (сечение рождения и светимость на БАК в сотни раз выше, чем на Тэватрон, где t-кварк был обнаружен).
- Изучение процессов при сверхвысоких плотностях энергии (ядро-ядерные столкновения, кварк-глюонная плазма).
- Поиск новых частиц и механизмов, выходящих за рамки СМ: суперсимметричные частицы, экстра-размерности, различная «экзотика». Возможное обнаружение частиц или явлений – кандидатов на «темную материю» и «темную энергию».

# Большой Адронный Коллайдер



# Большой Адронный Коллайдер



- Large Hadron Collider (LHC): два кольца в ~27 км туннеле со встречными пучками pp, pA или AA
- 1232 дипольных (поворотных), 392 квадрупольных (фокусирующих) сверхпроводящих магнитов
- Принятие решения о проекте: 1994; установка последнего магнита в туннеле: ноябрь 2006; первые протонные столкновения (2x450 ГэВ): ноябрь 2009
- Проектная энергия протонных пучков: 2x7 ТэВ (было 2x3.5 ТэВ в 2010-2011, и 2x4 ТэВ в 2012). Переход на полную энергию должен быть совершен в 2015, после “Long shutdown” 2013-2014
- Проектная светимость:  $10^{34} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ . Рекордная пиковая светимость в 2012 году была  $7.7 \cdot 10^{33}$
- Энергопотребление: ~180 МВт
- Стоимость: 4.6 млрд швейцарских франков (около 5 млрд \$ по нынешнему курсу) – сам коллайдер; 1.16 млрд шв.фр. – вклад ЦЕРН в эксперименты (детекторы), компьютеры и пр.

$$N = L \cdot \sigma \cdot t$$

Число событий    Светимость    Сечение    Время

# Большой Адронный Коллайдер



## Beam parameters: from 2011 to 2012

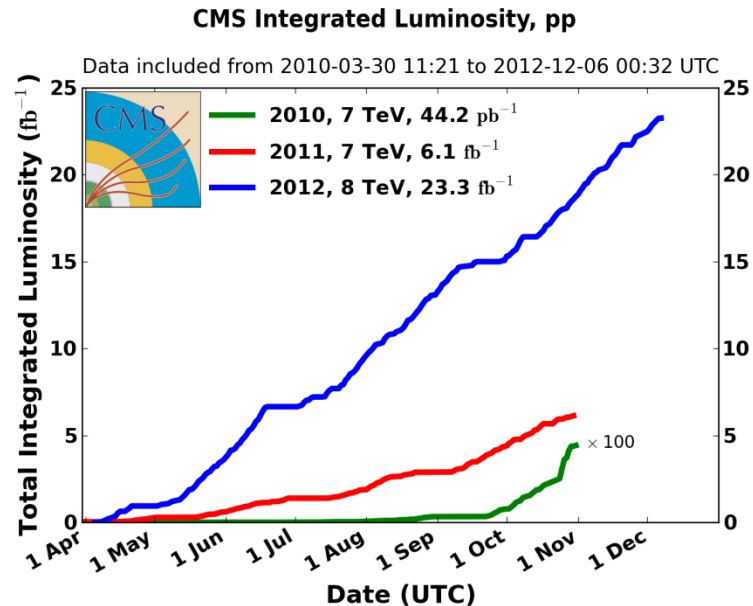


Main changes in 2012:

➤ *Beam energy: 4 TeV.*

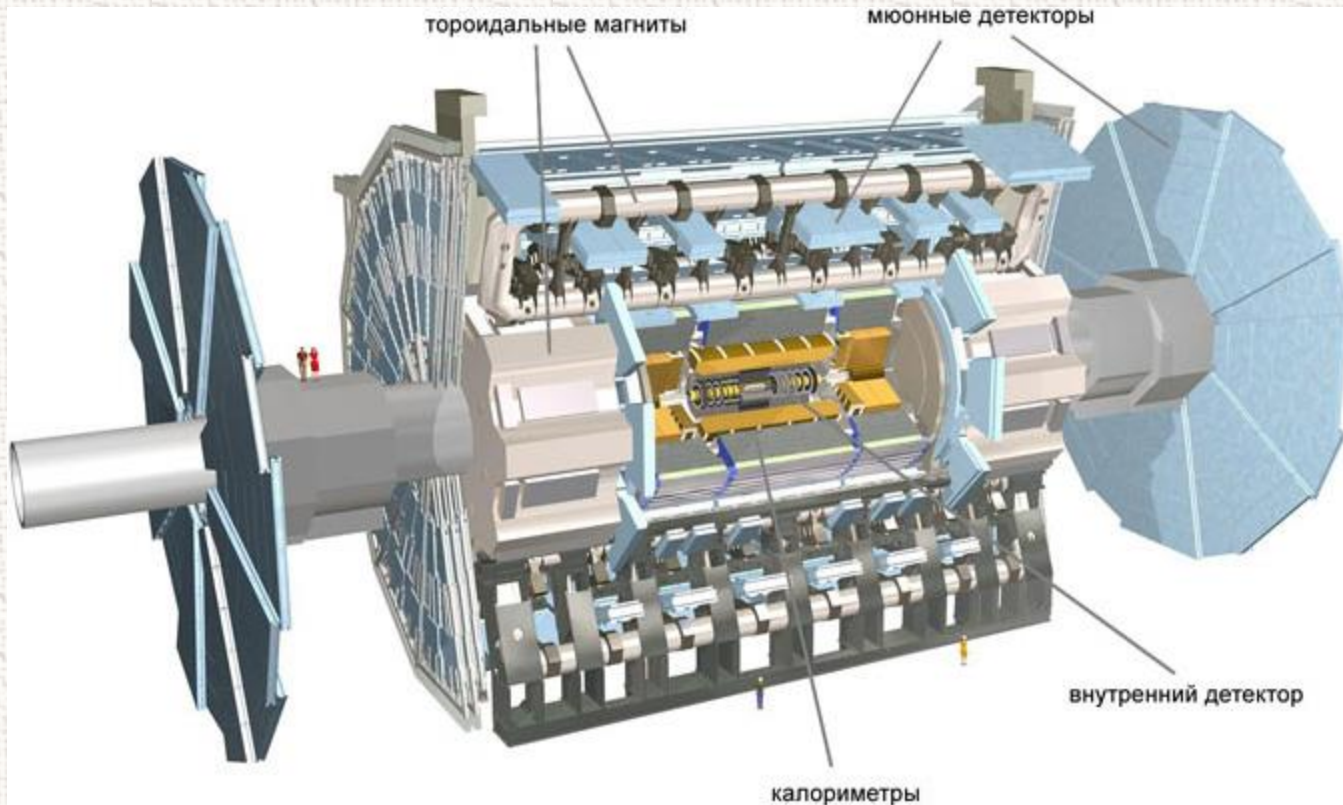
➤ *Reduction of  $\beta^*$  ↔ tighter collimator settings.*

Parameter	2010	2011	2012	Nominal	Constrained by
N ( $10^{11}$ p/bunch)	1.2	1.5	1.6-1.7	1.15	
k (no. bunches)	368	1380	1380/1374	2808	Bunch spacing
Bunch spacing (ns)	150	75 / 50	50	25	
$\varepsilon$ ( $\mu\text{m rad}$ )	2.4-4	1.9-2.4	2.2-2.5	3.75	Injectors
$\beta^*$ (m)	3.5	1.5 → 1	0.6	0.55	Aperture/tolerance
L ( $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	$2 \times 10^{32}$	$3.5 \times 10^{33}$	$7.6 \times 10^{33}$	$10^{34}$	
Pile-up	3	19	35	23	



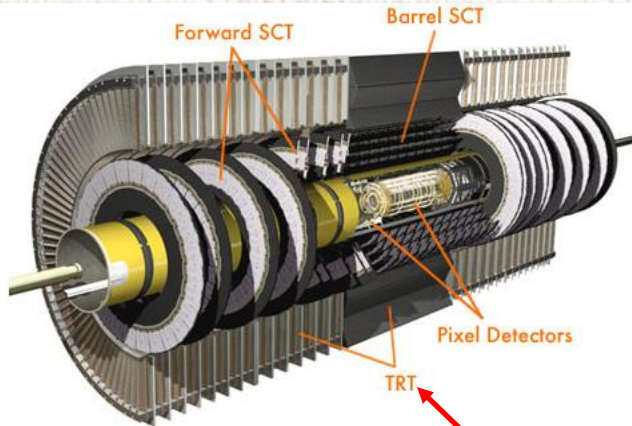
- За 3 года работы БАК показал прекрасную работу, превзойдя намечавшиеся цели по максимальной и набранной интегральной светимости.
- Основной резерв для дальнейшего увеличения светимости – увеличение числа банчей (сгустков протонов) в кольце за счет уменьшения с 50 до 25 нс расстояния между ними.
- В феврале 2013 БАК будет остановлен ~ на два года для модернизации и ремонта (подробнее – в конце доклада).

# Эксперимент ATLAS

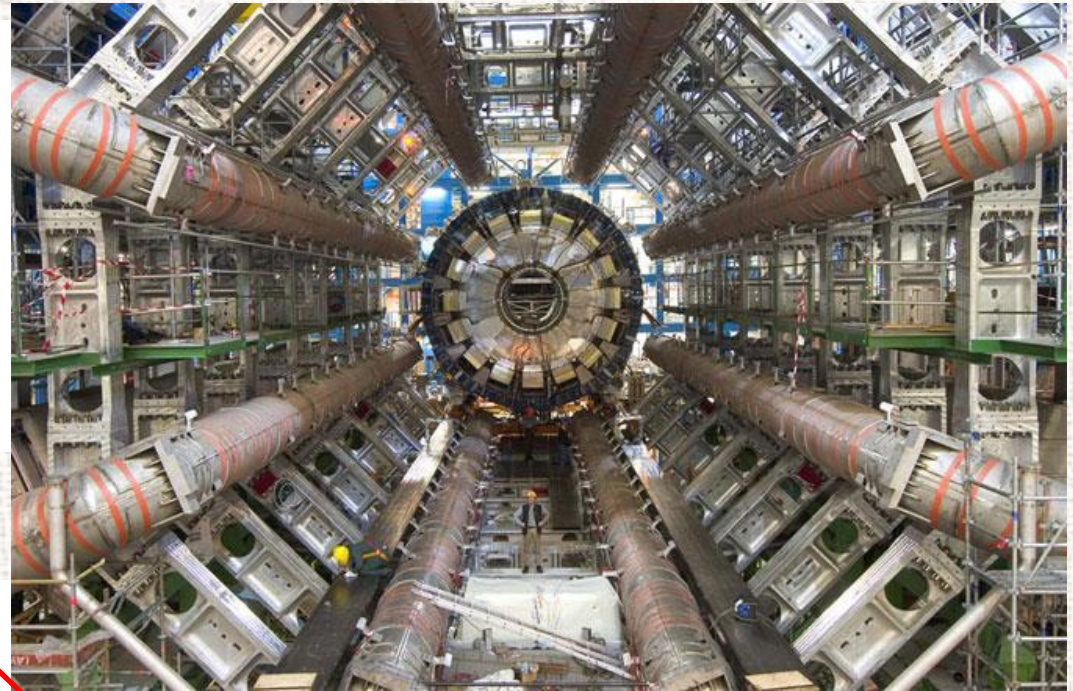


- Длина – 46 м, диаметр – 25 м, вес – 7000 тонн.
- Около 3000 участников из 174 университетов и лабораторий 38 стран. От России – ОИЯИ (Дубна), ИТЭФ, ФИАН, НИИЯФ МГУ, МИФИ (Москва), ИФВЭ (Протвино), ПИЯФ (Санкт-Петербург), ИЯФ СО РАН (Новосибирск).

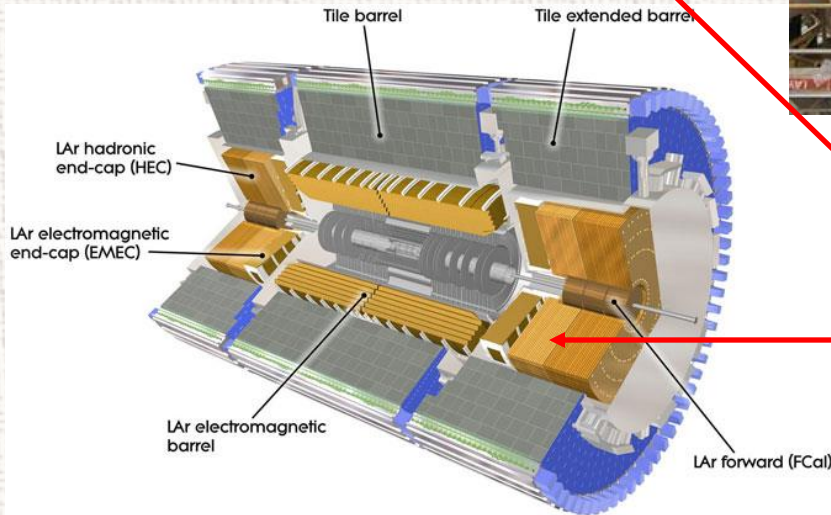
# Эксперимент ATLAS



Внутренний детектор ATLAS



ATLAS в процессе сборки, 2005 год.

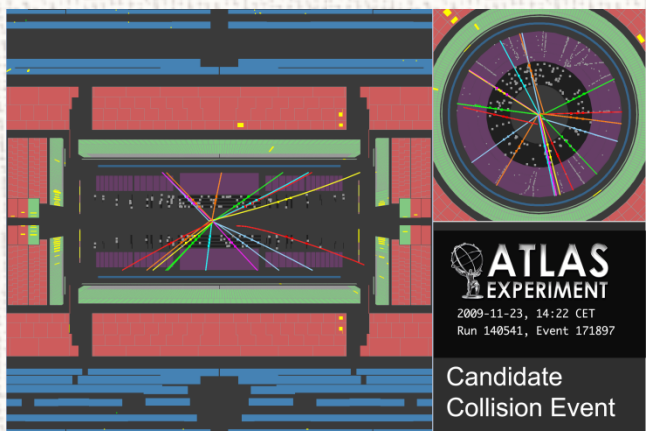


ФИАН представлен здесь

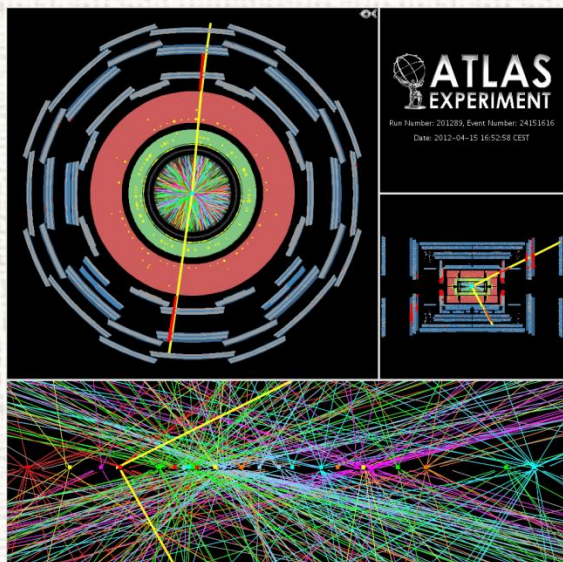
Система калориметров ATLAS



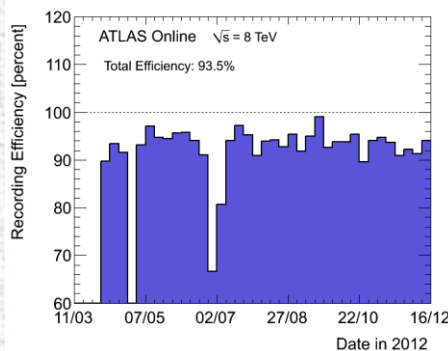
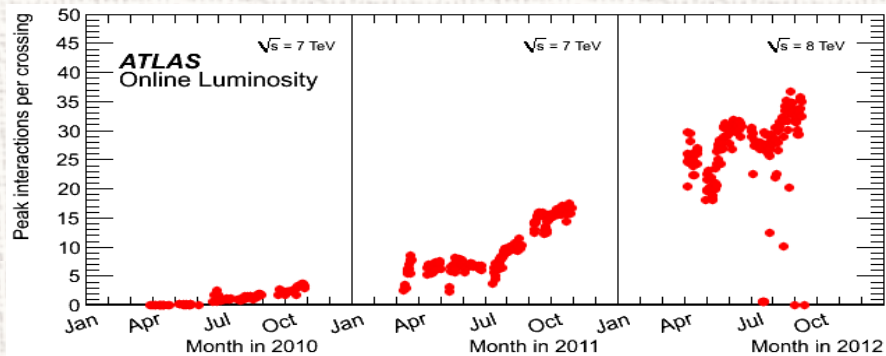
# Эксперимент ATLAS



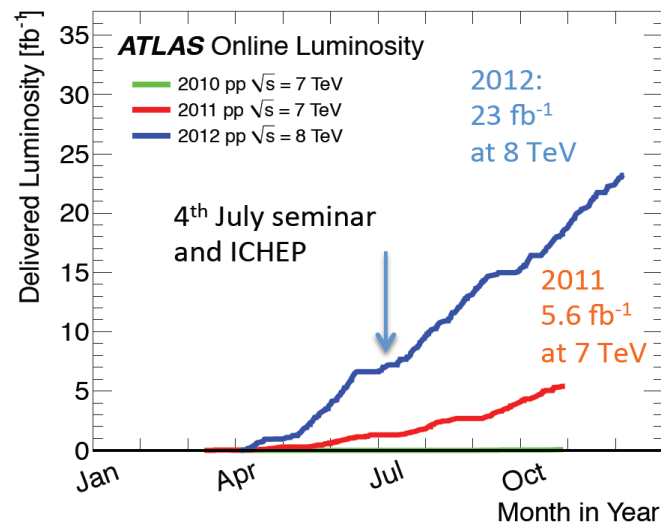
Одно из первых pp взаимодействий в ATLAS, 2x450 ГэВ, 2009 год.



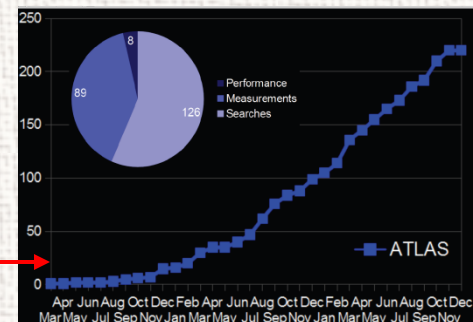
2012 год: 2x4 ТэВ, 20 вершин в одном столкновении сгустков протонов



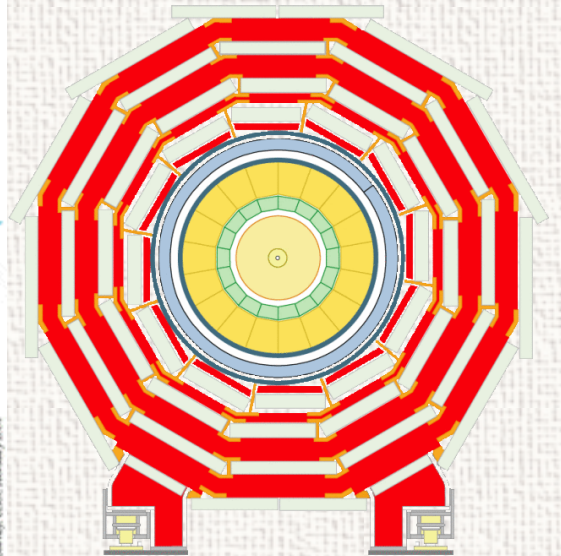
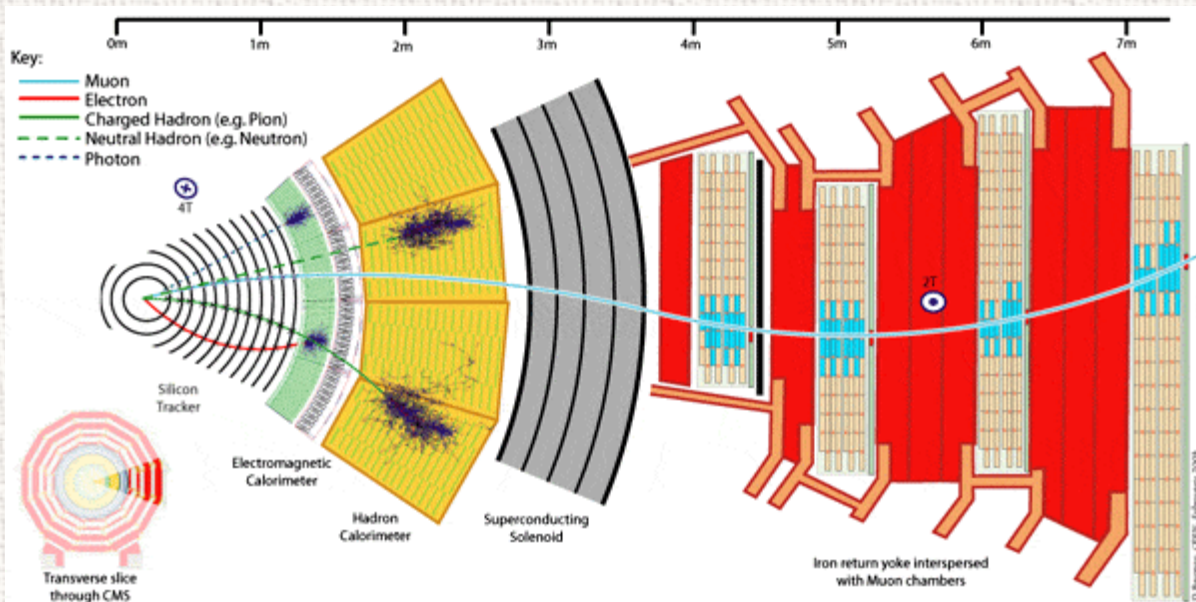
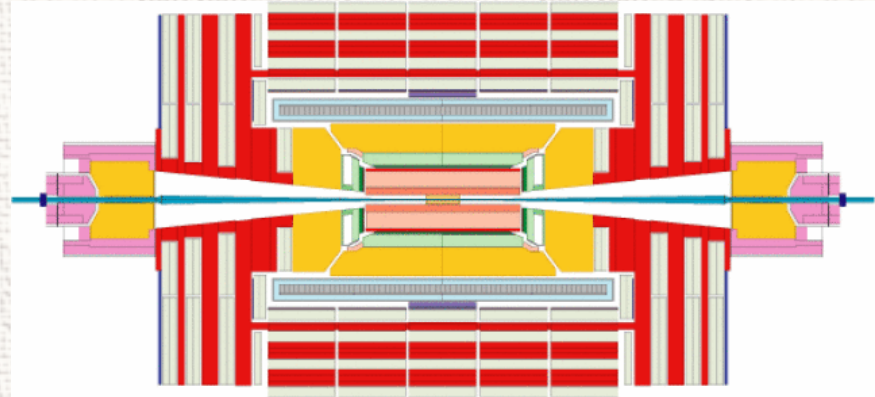
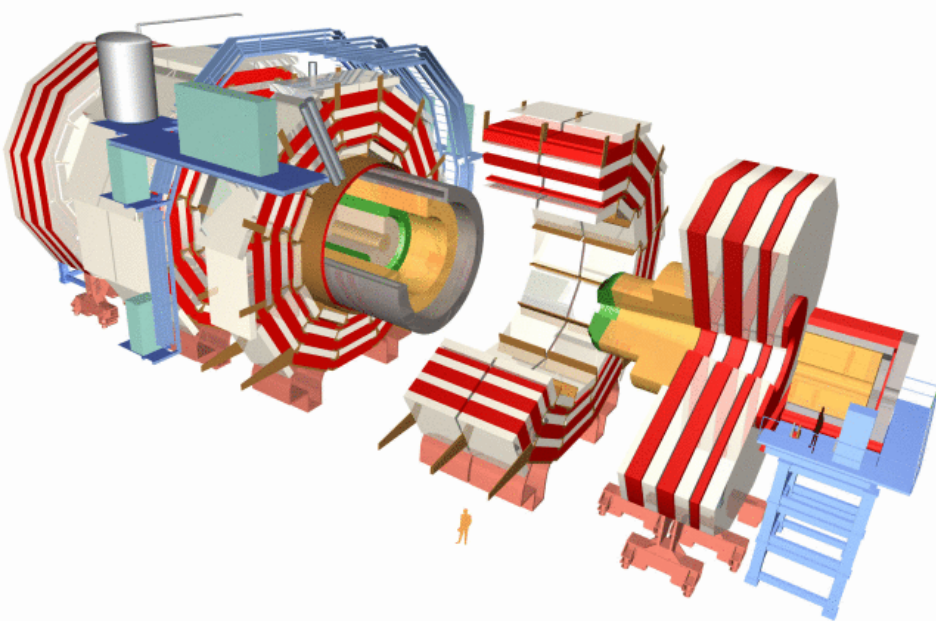
120 Пбайт ( $10^{15}$  байт или  $10^6$  Гбайт) экспериментальных и смоделированных данных



Более 220 публикаций!



# Эксперимент CMS



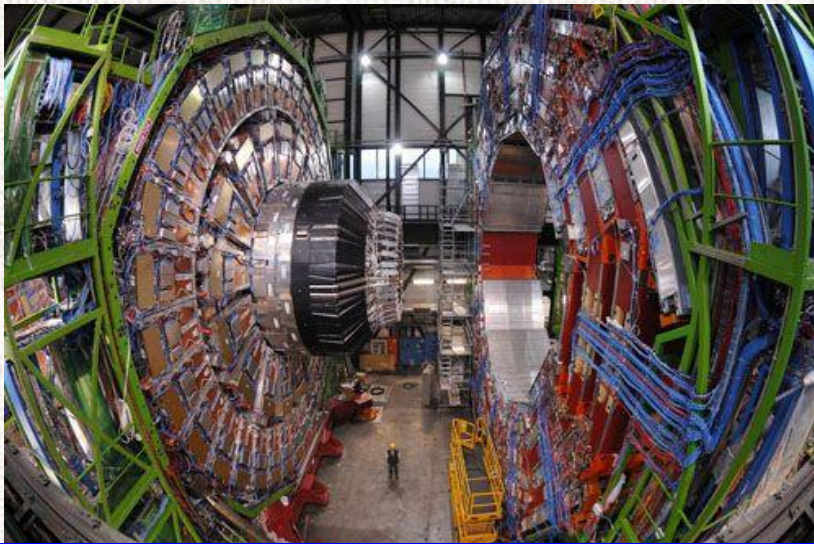
# Эксперимент CMS



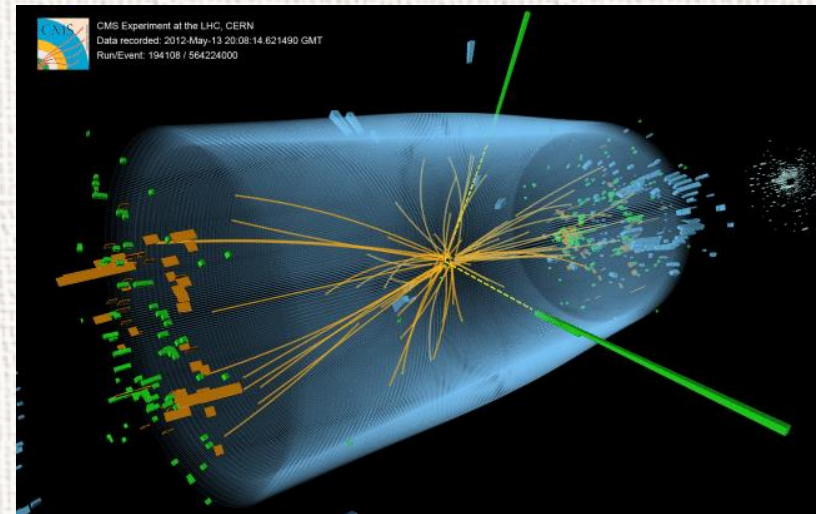
Установка трекера в центральной части CMS, 2007 год

**CMS** - Compact Muon Solenoid

- Длина – 20 м, диаметр – 15 м, вес – 12 500 тонн
- 3275 физиков (включая 1535 студентов), 790 инженеров и техников, 179 институтов, 41 страна
- От России – ОИЯИ (Дубна), ИТЭФ, ФИАН, НИИЯФ МГУ, ИЯИ (Москва), ИФВЭ (Протвино), ПИЯФ (Санкт-Петербург).



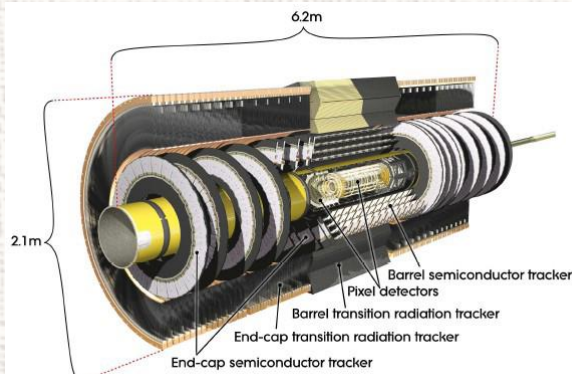
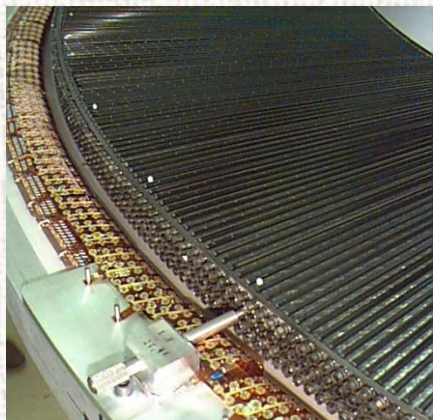
CMS в экспериментальном холле LHC на глубине 100 м



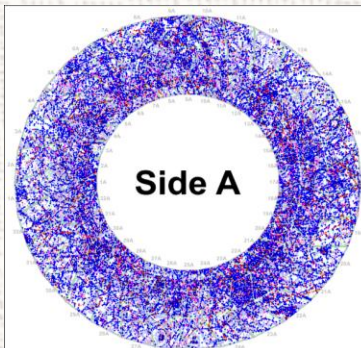
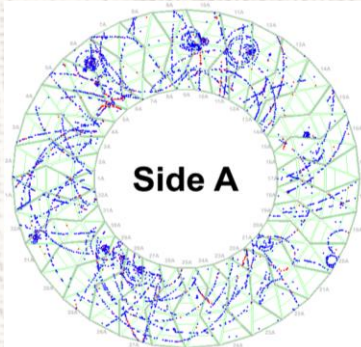
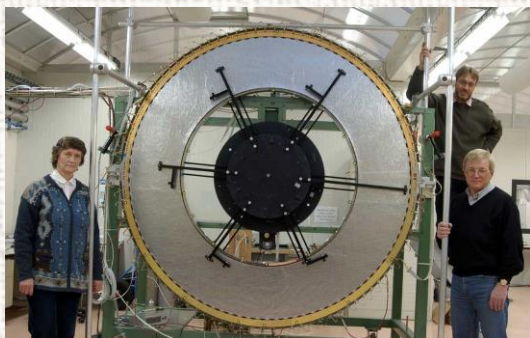
Событие – кандидат на распад Хиггс бозона на два гамма-кванта, 2012год.

# Участие ФИАН в экспериментах БАК: ATLAS

## Трековый Детектор Переходного Излучения (Transition Radiation Tracker, TRT)

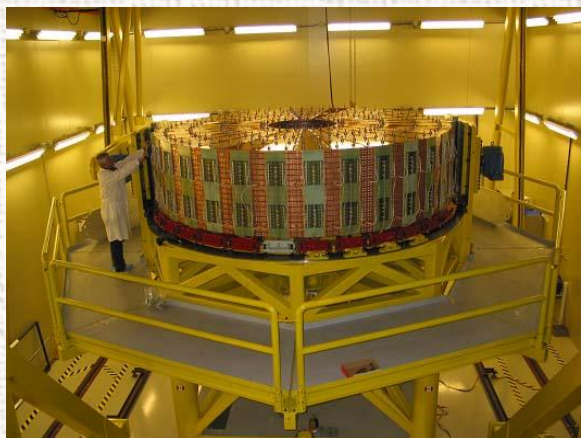


- TRT – внешняя часть внутреннего детектора ATLAS, предназначен для регистрации треков заряженных частиц и идентификации электронов
- Основа детектора – тонкостенные дрейфовые камеры (straw) с газовой смесью на основе Хе + радиаторы из полипропиленовых пленок и фибр
- Более 350 000 каналов электроники
- В среднем 35 точек измерения на треке, координатная точность ~140 мкм
- Фактор режекции адронов при 90%-ой эффективности регистрации электронов ~100
- Группа А.П.Шмелевой (8 сотрудников, 5 в списке авторов): создание и эксплуатация высоковольтной и газовой систем TRT; проведение инженерных и физических (с пучками частиц) тестовых испытаний; создание программ мониторинга TRT; участие в дежурствах; работы, связанные с будущей модернизацией установки ATLAS.
- + работы по программам реконструкции событий и определения параметров треков в трековых детекторах ATLAS.
- + работы, направленные на будущую модернизацию детекторов ATLAS.



# Участие ФИАН в экспериментах БАК: ATLAS

## Жидкоаргоновый калориметр (LAr)



Завершение сборки модулей торцевого калориметра в «колесо».



Торцевой калориметр, помещенный в криостат (боковая стенка открыта).

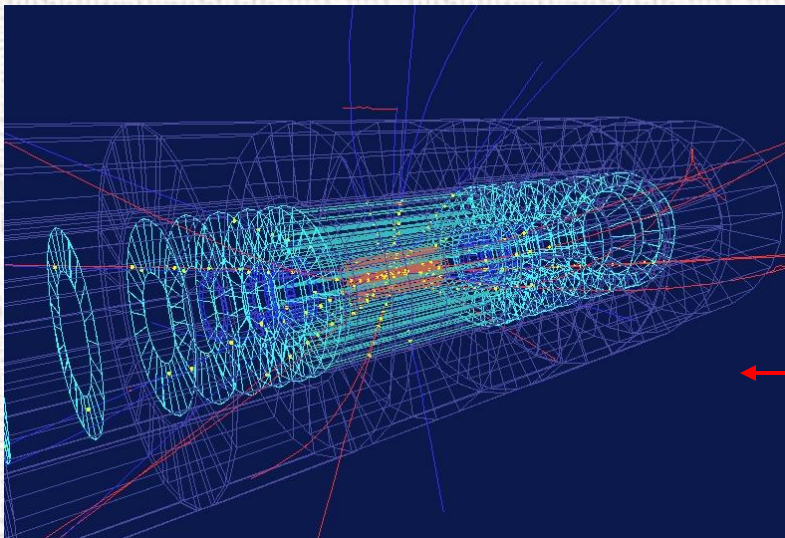
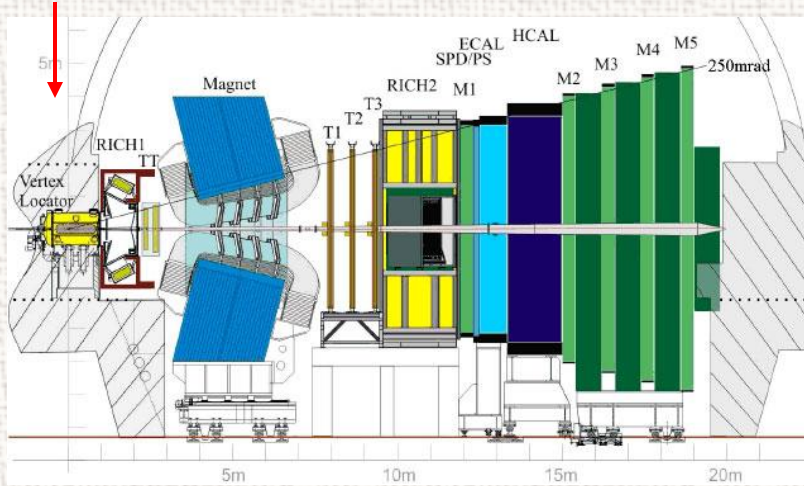
- Жидкоаргоновый калориметр: измерение энергии электронов и  $\gamma$ -квантов (EMEC часть) и адронов (HEC часть)
- Энергетическое разрешение:  $\delta E/E \sim 10\%/\sqrt{E(\text{GeV})}$ , для адронной –  $\delta E/E \sim 50\%/\sqrt{E(\text{GeV})}$
- Группа А.А.Комара (6 сотрудников в списке авторов): производство в ФИАН тонкослойных считывающих электродов; проведение инженерных и физических (с пучками частиц) тестовых испытаний; поддержка работы LAr калориметров, мониторинг параметров электроники; участие в дежурствах; работы связанные с будущей модернизацией установки ATLAS.

# Участие ФИАН в экспериментах БАК: CMS

- 8 сотрудников в списке авторов: группы С.В. Русакова (ЛЭВ ОЯФА) и И.М.Дремина (ОТФ).
- Компьютерное моделирование: изучение энергетического разрешения струй методом послыного взвешивания; моделирование возможных изменений элементов переднего калориметра HCal и ECal.
- Анализ физических результатов: изучение множественного рождения частиц в pp – соударениях при 7 ТэВ в различных интервалах по множественности; изучение вкладов многократных партонных взаимодействий в распределения по множественности; теоретический анализ упругого pp рассеяния при 7 и 8 ТэВ.
- Исследование новых высокоплотных кристаллов для использования в экспериментах CMS при работе с большой светимостью. Изучаются кристаллы YAG, BaF2, CeF3, YSO.
- Дежурства на установке и т.п.

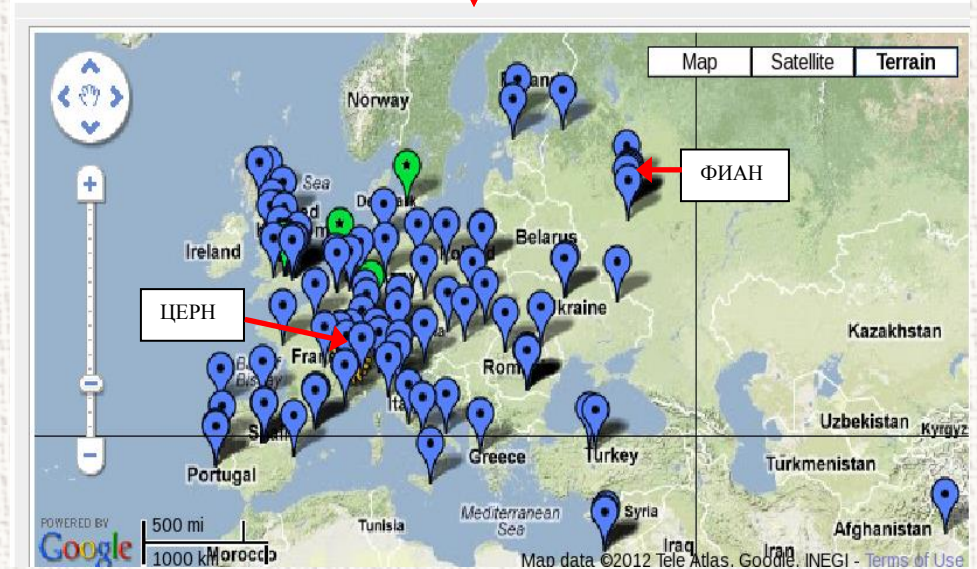
# Участие ФИАН в экспериментах БАК: разное

LHCb (М.В. Завертяев, ЛЭВЭ ОЯФА): физический анализ минимум-bias данных, pp и pA взаимодействия, измерения сечений, поиск экзотики.



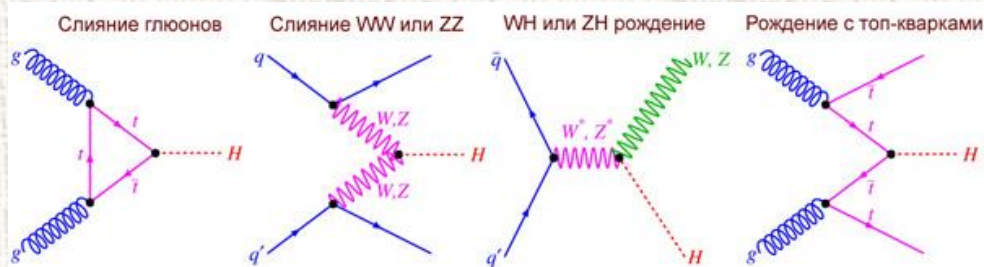
Поддержка работы компьютерного Грид узла ФИАН (сотрудники ВЦ, ЛЭЧ ОЯФА и ОТФ). Предоставление ресурсов узла для общих нужд экспериментов ATLAS и CMS, а также для физиков ФИАН, участвующих в обработке физических результатов.

Current WLCG sites

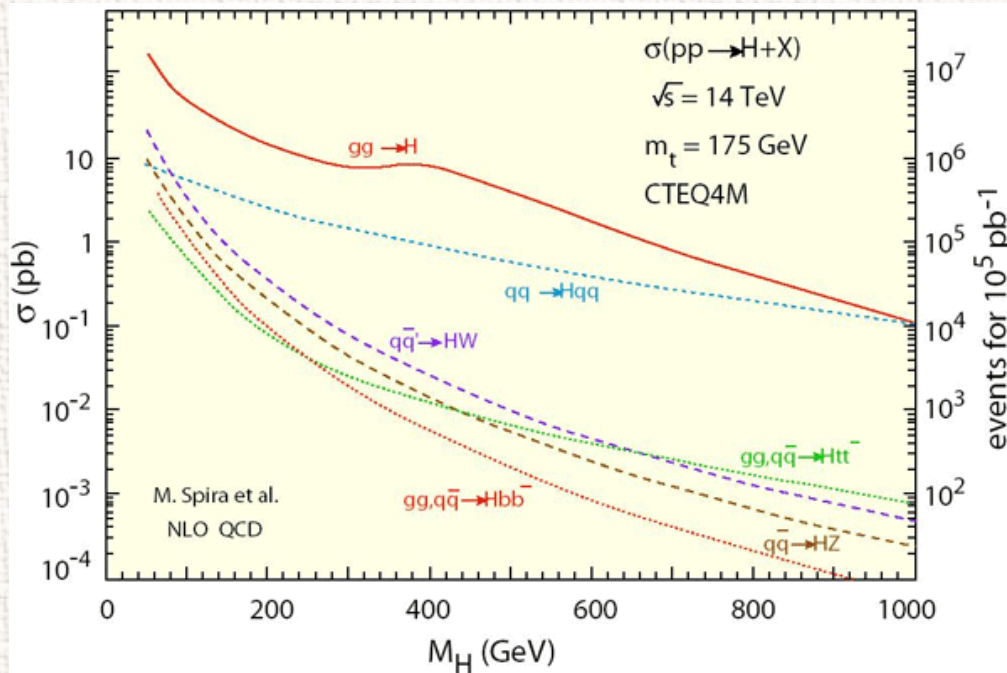


GEANT4 – основной пакет программ для компьютерного моделирования процессов прохождения частиц в экспериментальных установках БАК. Используется также в астрофизике, медицине и пр. В.М.Гришин (ЛЭЧ ОЯФА) и др. Основные направления: физика электромагнитных (ЭМ) и сильных взаимодействий, трассировка заряженных частиц в переменных электромагнитных полях, геометрия детекторов.

# Хиггс-бозон: немного теории



Диаграммы процессов рождения хиггс-бозона в сильных взаимодействиях

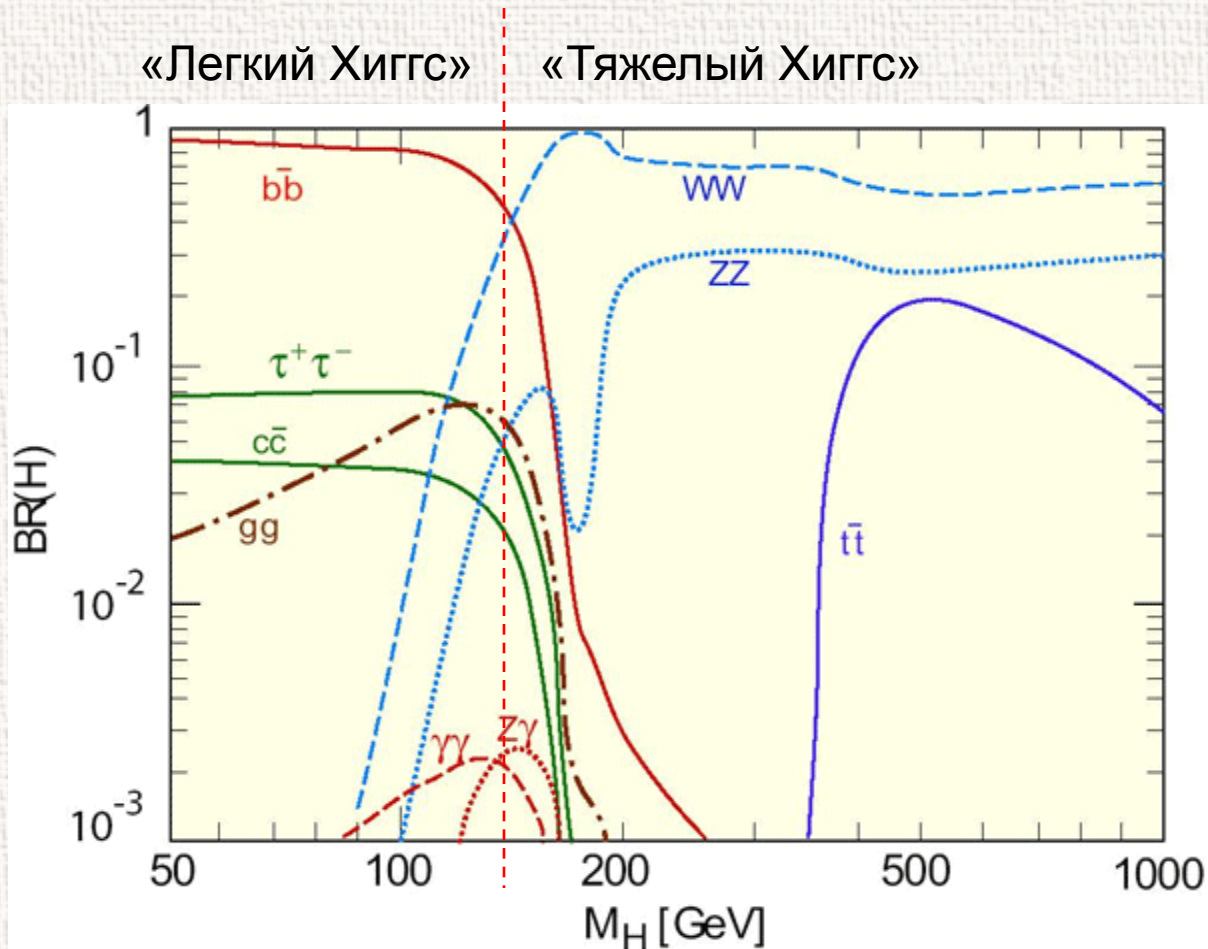


Зависимости сечений процессов рождения хиггс-бозона в pp взаимодействиях при  $\sqrt{s}=14 \text{ ТэВ}$  от его предполагаемой массы

- Механизм нарушения электрослабой симметрии в Стандартной Модели, предложенный в 1964 году в работе П.Хиггса. Предполагает существование особого поля и соответствующего нейтрального бозона.
- Благодаря взаимодействию с хиггсовским полем, частицы приобретают массу, тем большую, чем больше константа взаимодействия.
- Теория не предсказывает массу хиггс-бозона, но предсказывает спин и четность ( $0^+$ ), а также вероятности распадов по различным каналам.
- Существуют более сложные варианты теории нарушения электрослабой симметрии, в которых постулируется существование нескольких хиггс-бозонов, в том числе и заряженных («неминимальные хиггсовские механизмы»). Есть и безхиггсовские модели.



# Каналы распада хиггс-бозона



Зависимости вероятностей распада хиггс-бозона по различным каналам от его предполагаемой массы

# 4 июля: объявление об регистрации Хиггс-like-бозона

July 2012

Three channels used for 2012 data analysis

- H → WW
- H → γγ
- H → ZZ

SM excluded at 95% CL from 111-122, 131-559 GeV

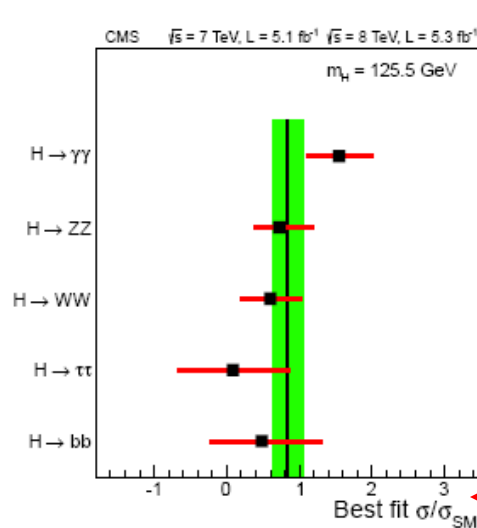
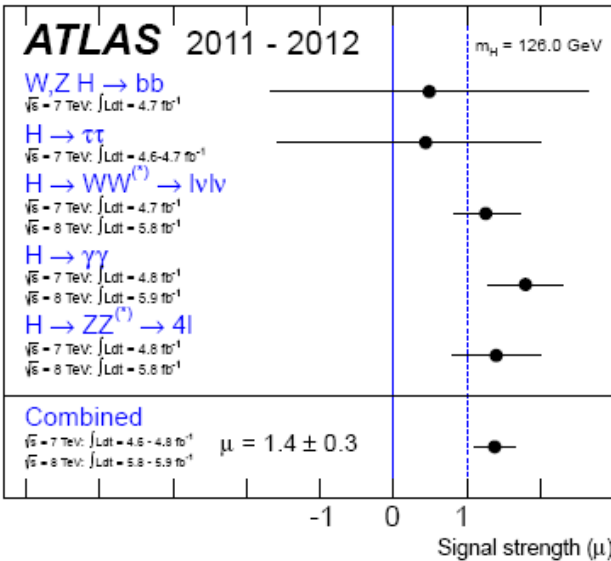
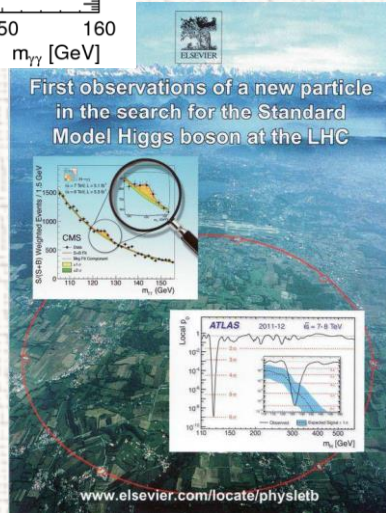
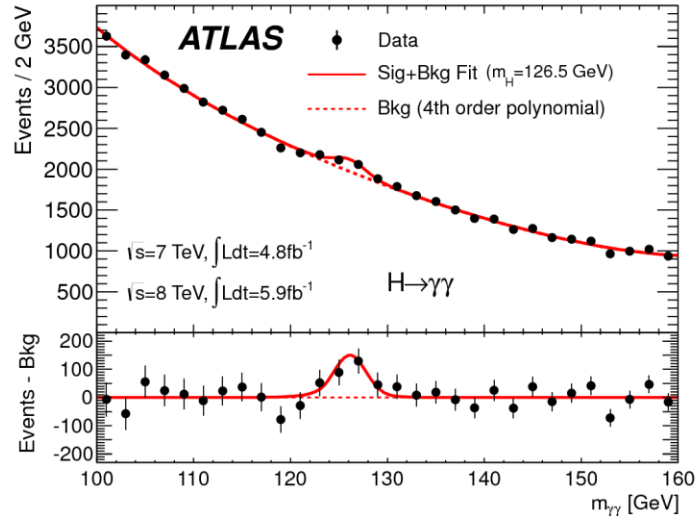
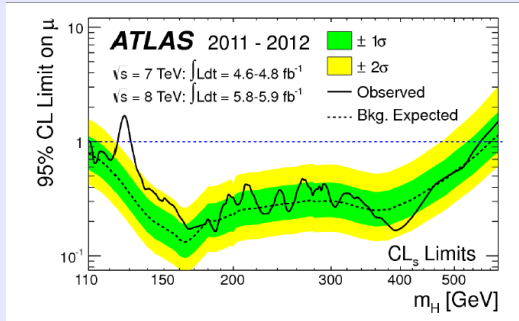
Excess of events observed at ~126 GeV

- Local/global significance of 5.9σ/5.1σ
- P<sub>0</sub> = 1.7 × 10<sup>-9</sup>

Best fit mass: 126.0 ± 0.4 (stat) ± 0.4 (sys) GeV (only ZZ and γγ channels used)

CMS results: 125.3 ± 0.4(stat) ± 0.5(sys) GeV

Local significance: 5.8σ

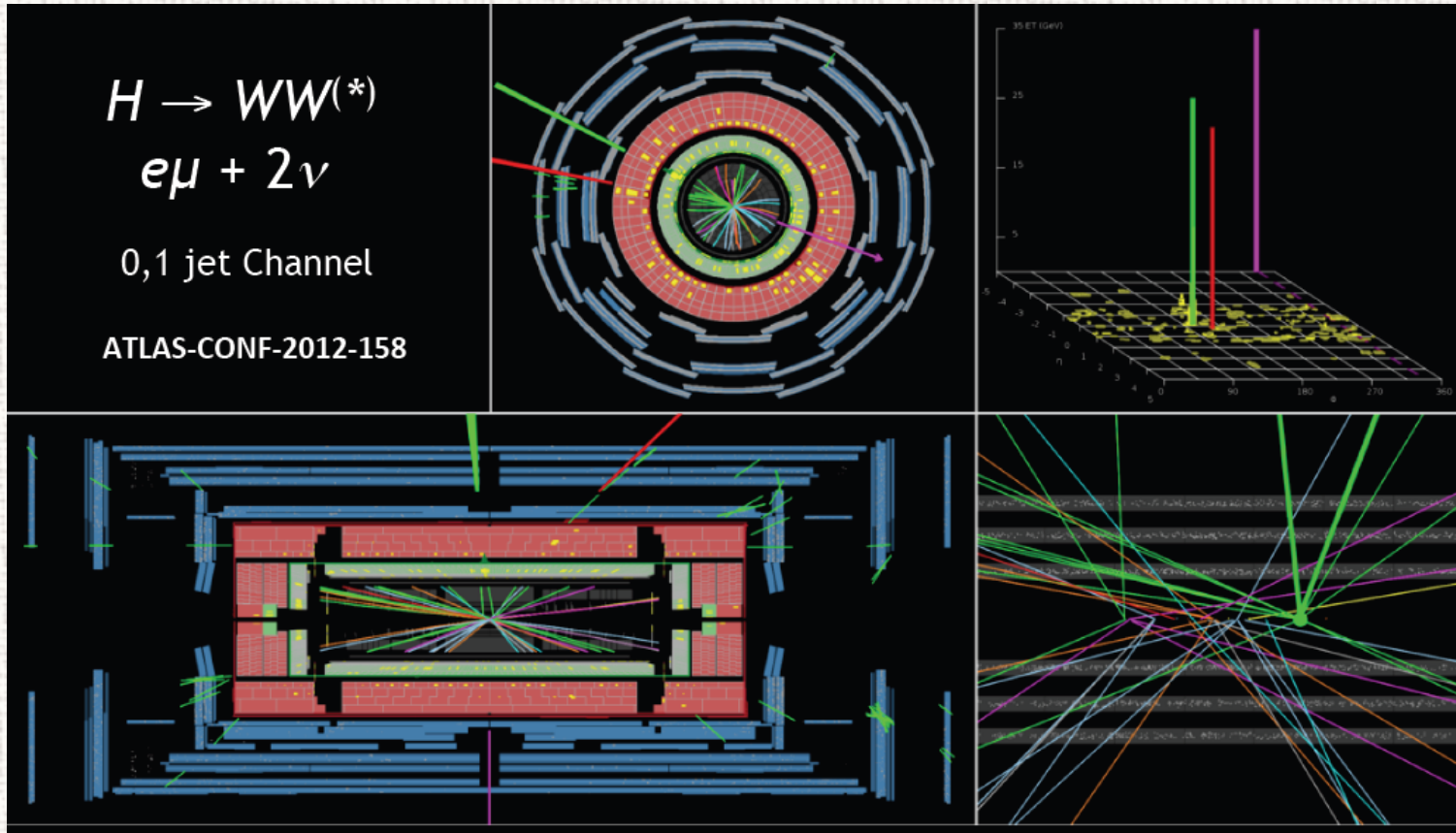


Signal strength (μ) или σ/σ<sub>SM</sub> – отношение измеренного сечения x вероятность распада к предсказанию Стандартной Модели

# Последние данные о регистрации хиггс-бозона

- 13 декабря состоялось открытое заседание Совета ЦЕРН, на котором были подведены итоги 2012 г.
- Докладчики от LHC, ATLAS, CMS, LHCb, TOTEM и ALICE подвели предварительные итоги работы за год.
- ATLAS и CMS представили, среди прочего, обновленные данные по регистрации хиггс-бозона. Обработанная статистика 2012 года (8 ТэВ) по интегральной светимости составила  $\sim 13 \text{ fb}^{-1}$  (4 июля было  $\sim 5 \text{ fb}^{-1}$ , всего в 2012 году записано  $\sim 22 \text{ fb}^{-1}$ ).
- Увеличение статистики не оставило никаких сомнений в существовании частицы с массой около 126 ГэВ «со свойствами, очень похожими на свойства хиггс-бозона». В частности, предварительный анализ указывает на спин-четность  $0^+$ , что и должно быть у хиггс-бозона.
- В целом, обновленные данные по бозону Хиггса приблизительно соответствуют ожиданиям, вытекающим из Стандартной Модели, хотя наблюдаются и некоторые отклонения.
- Далее в докладе приведены некоторые результаты по хиггс-бозону, представленные ATLAS и CMS на заседании. Официально результаты еще не утверждены и носят предварительный характер.

# Распад $H \rightarrow WW^*$



WW channel basic facts sheet :

Signal	Signal purity s/b	Main backgrounds	Production	8 TeV $\int L dt$
$\sim 110$	$\sim 10\%$	WW, W+jets, top, etc...	ggH	$13 \text{ fb}^{-1}$

# Распад $H \rightarrow \tau\tau$

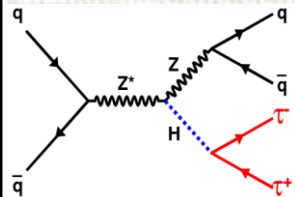
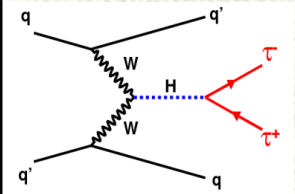
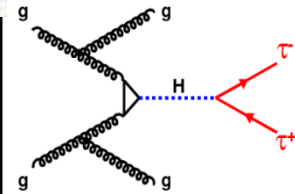
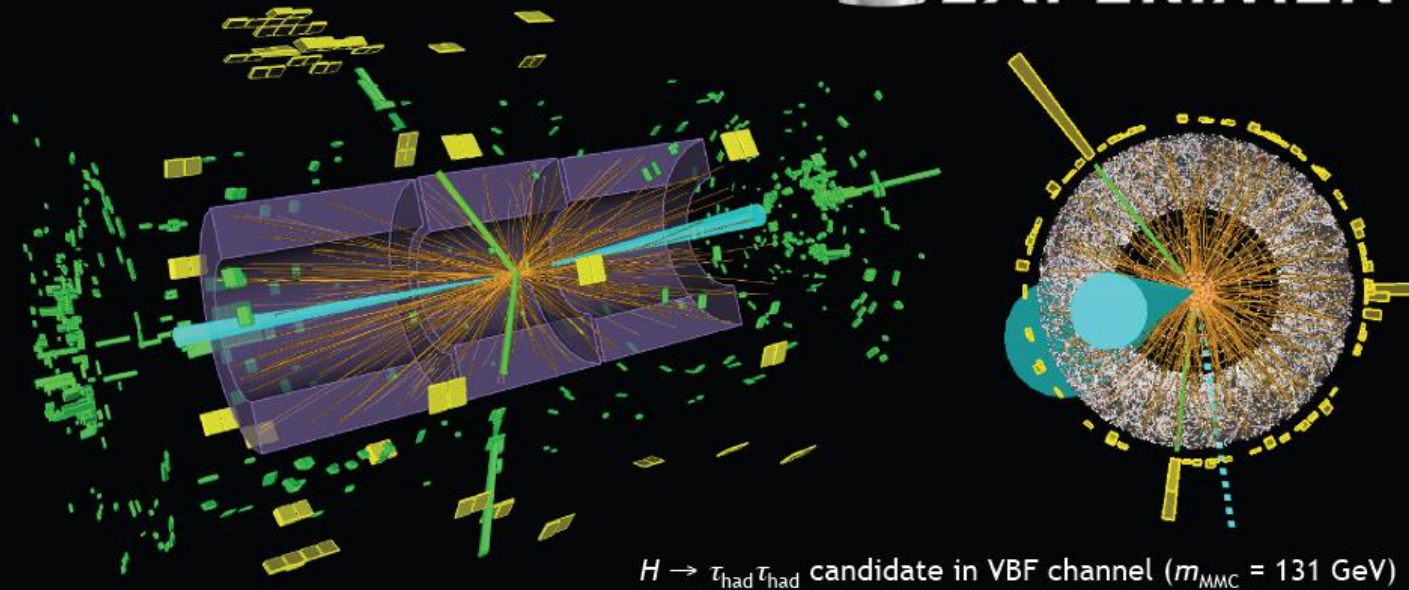
$$H \rightarrow \tau\tau$$

Reoptimised 7+8 TeV analysis

ATLAS-CONF-2012-160



# ATLAS EXPERIMENT



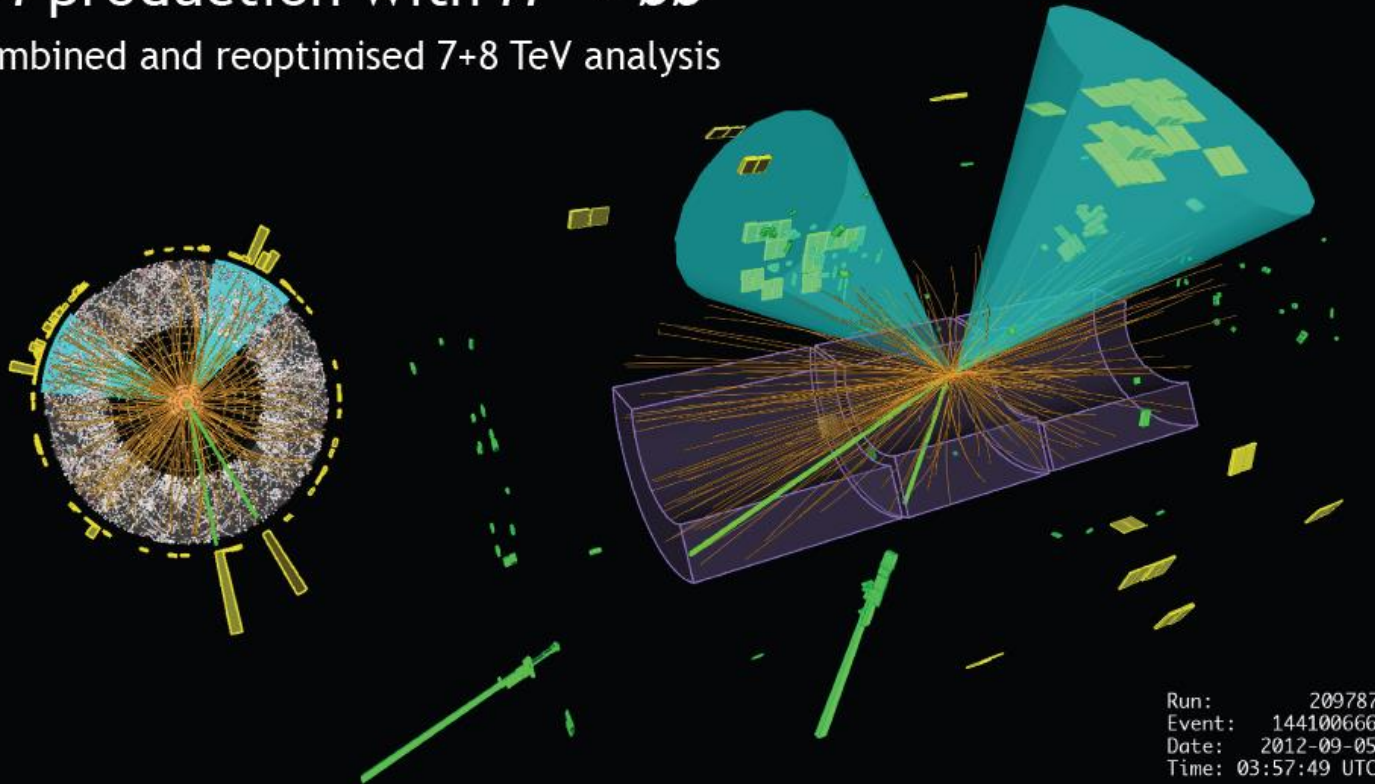
$\tau\tau$  channel basic facts sheet :

Signal (SM)	Signal purity s/b	Main backgrounds	Production	7 & 8 TeV $\int L dt$
$\sim 330$	0.3% - 30%	ZZ, Z+jets, top	VBF, Hgg, VH	4.9 & 13 $\text{fb}^{-1}$

# Распад $H \rightarrow bb$

## $VH$ production with $H \rightarrow bb$

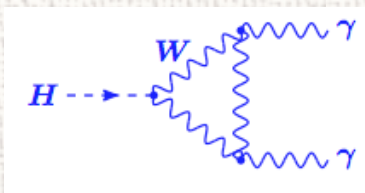
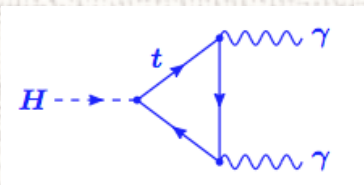
Combined and reoptimised 7+8 TeV analysis



$VH(bb)$  channel basic facts sheet :

Signal (SM)	Signal purity s/b	Main backgrounds	Production	7 & 8 TeV $\int L dt$
~50	~1% - 10%	$Wbb, Zbb, top, etc...$	$VH$	4.9 & 13 $fb^{-1}$

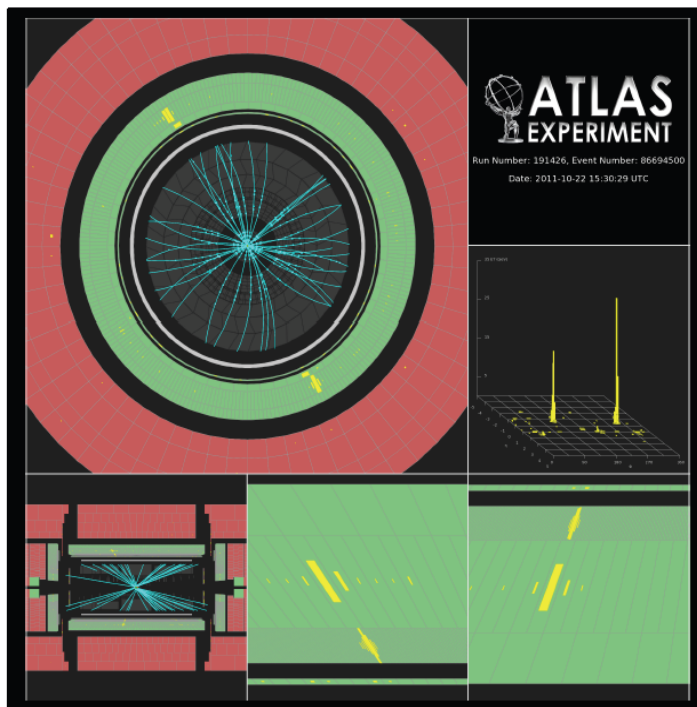
# Распад $H \rightarrow \gamma\gamma$



## $H \rightarrow \gamma\gamma$ Update

Since “Discovery Paper” PLB 716

ATLAS-CONF-2012-168



$\gamma\gamma$  channel basic facts sheet :

Signal ( $SM_{126 \text{ GeV}}$ )	Signal purity s/b	Main backgrounds	Production	7 & 8 TeV $\int L dt$
~330	2% - 20%	$\gamma\gamma, \gamma j$ and $jj$	Hgg, VBF, VH	4.9 & 13 $\text{fb}^{-1}$

- Один из самых «чистых» каналов с точки зрения регистрации, хотя и с маленькой вероятностью.
- Отбираются  $\gamma$ -кванты с большими поперечными импульсами.
- Прекрасное экспериментальное разрешение по инвариантной массе  $\gamma\gamma$ .
- Основной фон –  $\gamma$ -кванты от распадов  $\pi^0$  и струи

# Распад $H \rightarrow \gamma\gamma$

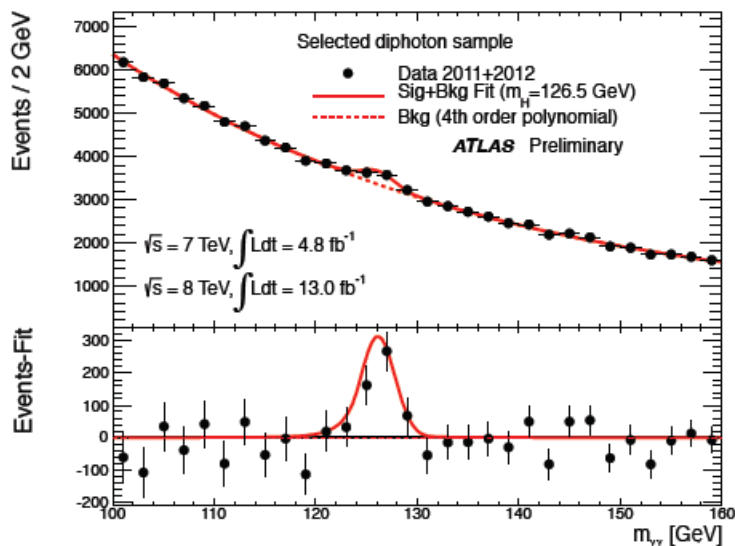
## $H \rightarrow \gamma\gamma$ Update

Simple topology: two high- $p_T$  isolated photons  $E_T(g_1, g_2) > 40, 30$  GeV

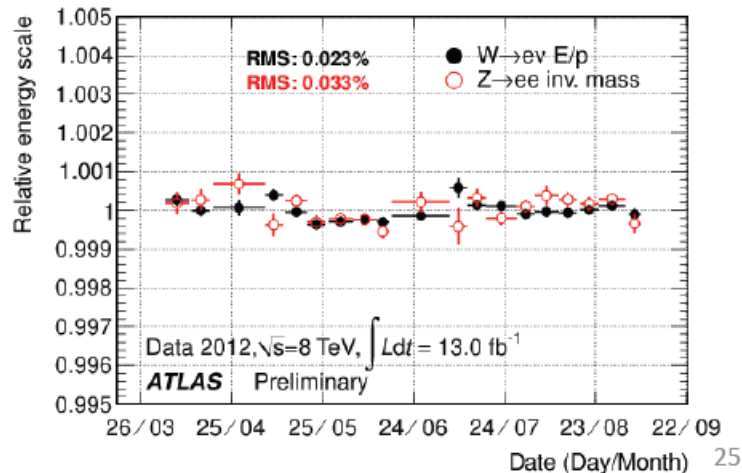
To increase sensitivity, overall and to specific production processes 12 exclusive categories:

- $\gamma$  rapidity, converted/unconverted  $\gamma$ ,  $p_{Tt}(p_T^{\gamma\gamma}$  perpendicular to  $\gamma\gamma$  “thrust” axis)
- presence of 2 high-mass ( $m_{jj} > 400$  GeV) forward jets target VBF process
- 1 lepton  $\rightarrow$  target W/Z/ttH
- Low-mass di-jet ( $60 < m_{jj} < 100$  GeV) jets  $\rightarrow$  target W/ZH

NEW since PLB716



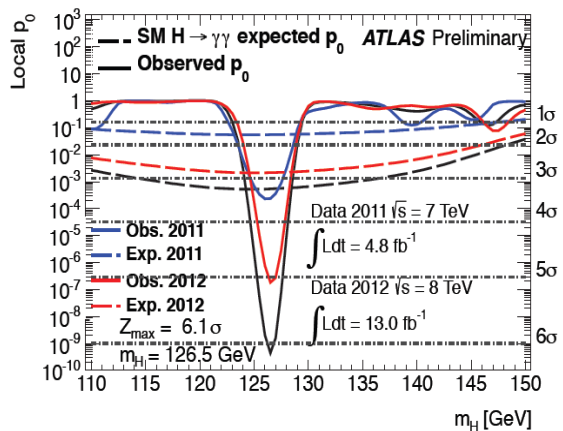
Stability of EM calorimeter response vs time  
(and pile-up) < 0.1%





# Распад $H \rightarrow \gamma\gamma$

## $H \rightarrow \gamma\gamma$ Signal Confirmation and Single Channel Discovery!



Observed local  
significance:

$6.1\sigma$

Expected local  
significance:

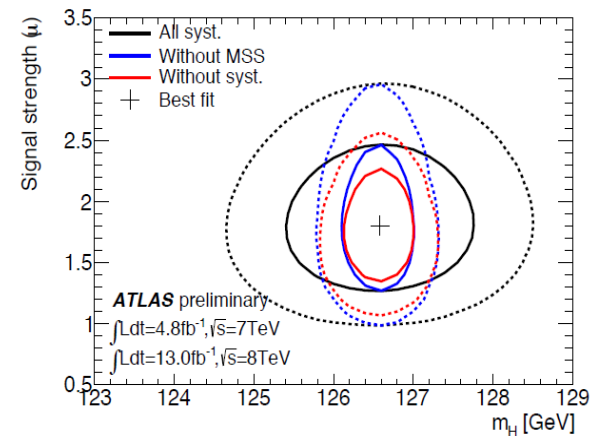
$3.3\sigma$

2011	126.0 GeV	$3.5\sigma$ (exp. $1.6\sigma$ )
2012	127.0 GeV	$5.1\sigma$ (exp. $2.9\sigma$ )

$H \rightarrow \gamma\gamma$  signal is confirmed

## $H \rightarrow \gamma\gamma$ Mass Measurement

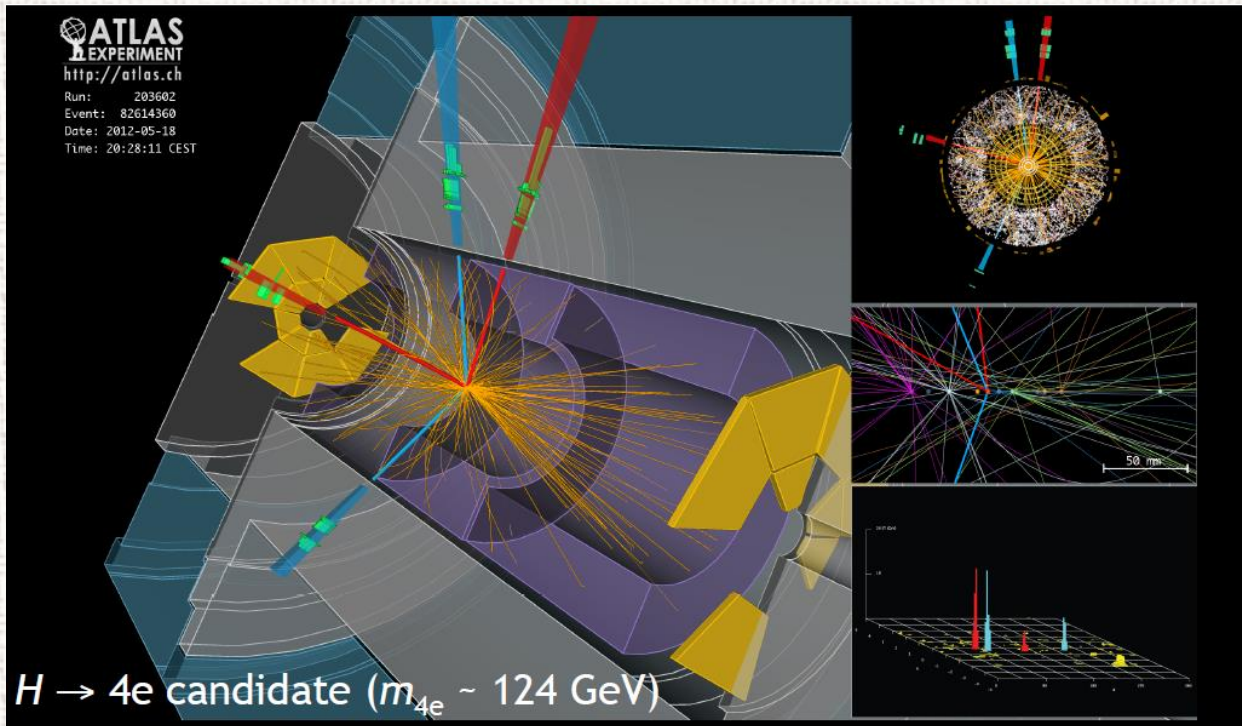
ATLAS-CONF-2012-168



Measurement of narrow resonance mass :

$$m_H = 126.6 \pm 0.3 \text{ (stat)} \pm 0.7 \text{ (syst)} \text{ GeV}$$

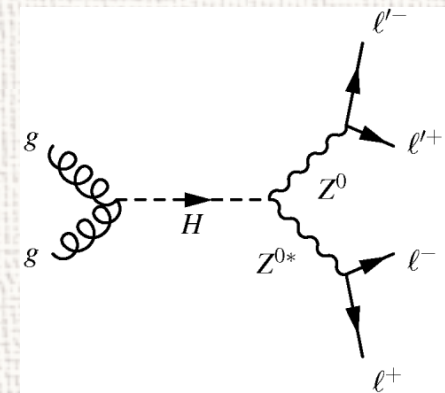
# Распад $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow llll$



4l channel basic facts sheet :

Signal	Signal Purity s/b	Main backgrounds	Production	7 & 8 TeV $\int L dt$
$\sim 10$	$\sim 1$	ZZ, Z+jets, top	All inclusive	4.9 & 13 fb <sup>-1</sup>

- «Золотой» канал: самый низкий уровень фона.
- Прекрасное экспериментальное разрешение по инвариантной массе.
- 4 лептона:  $2(e^+e^-)$ ,  $2(\mu^+\mu^-)$  или  $e^+e^-\mu^+\mu^-$ .
- В анализе ATLAS преобладают мюоны



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

## $H \rightarrow 4l$ Signal Confirmation

Simple selection :

- 4 leptons:  $p_T^{1,2,3,4} > 20, 15, 10, 7-6$  (e- $\mu$ ) GeV
- $50 < m_{12} < 106$  GeV
- $m_{34} > 17.5$  GeV

In the signal region  $125 \pm 5$  GeV

Observed	18 events
Expected from bkg only	$8.3 \pm 0.3$
Expected from SM Higgs	$9.9 \pm 1.3$

Observed local  
significance:

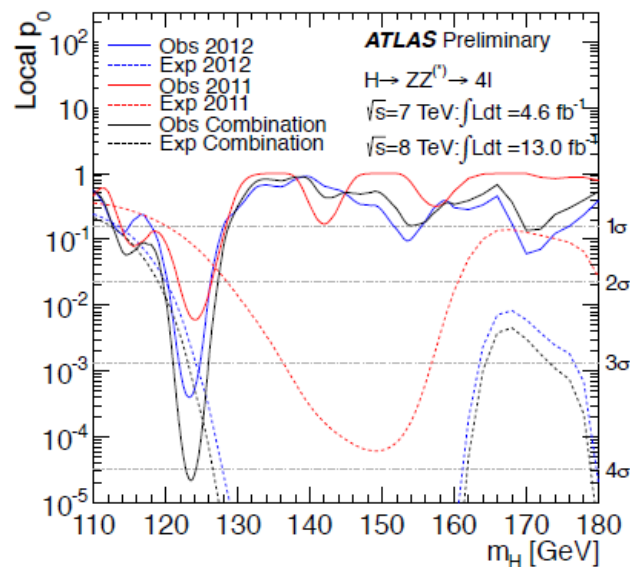
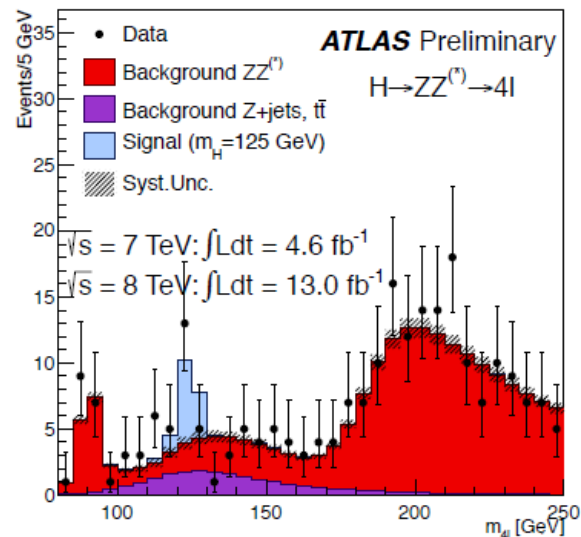
$4.1\sigma$

Expected local  
significance:

$3.1\sigma$

2011	124.1 GeV	$2.5\sigma$ (exp. $1.4\sigma$ )
2012	123.3 GeV	$3.4\sigma$ (exp. $2.8\sigma$ )

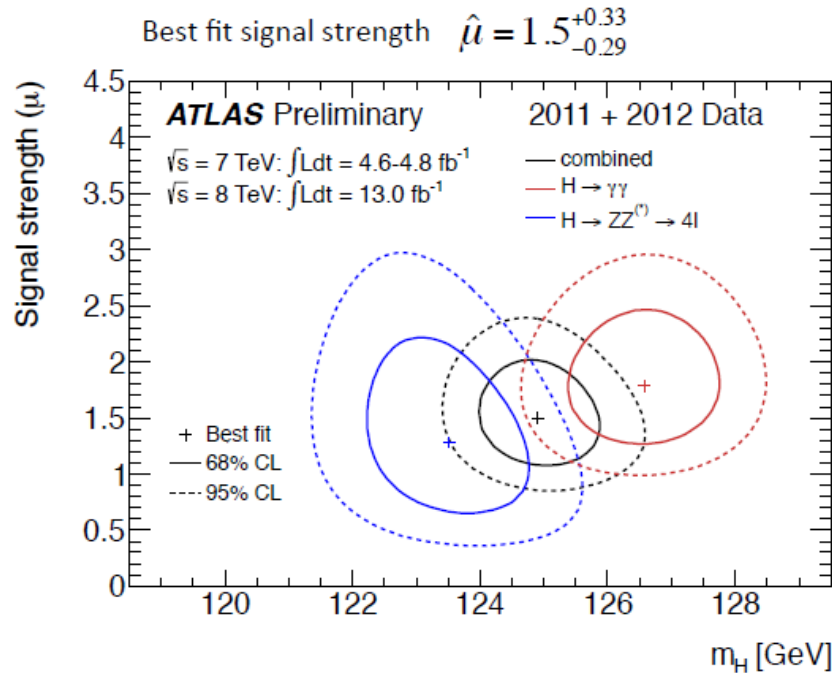
$H \rightarrow 4l$  signal is confirmed



# Комбинация $H \rightarrow \gamma\gamma$ и $H \rightarrow ll ll$ каналов распада

ATLAS-CONF-2012-170

## $H \rightarrow \gamma\gamma$ and $H \rightarrow 4l$ Combination



Combined Mass Measurement :

$$m_H = 125.2 \pm 0.3 \text{ (stat)} \pm 0.6 \text{ (syst)} \text{ GeV}$$

Taking mass scale systematic uncertainties and their correlations into account the compatibility of the two measurements is estimated to be at the  $2.7\sigma$  level

An alternative treatment of systematic uncertainties yields a compatibility at the level of  $2.3\sigma$

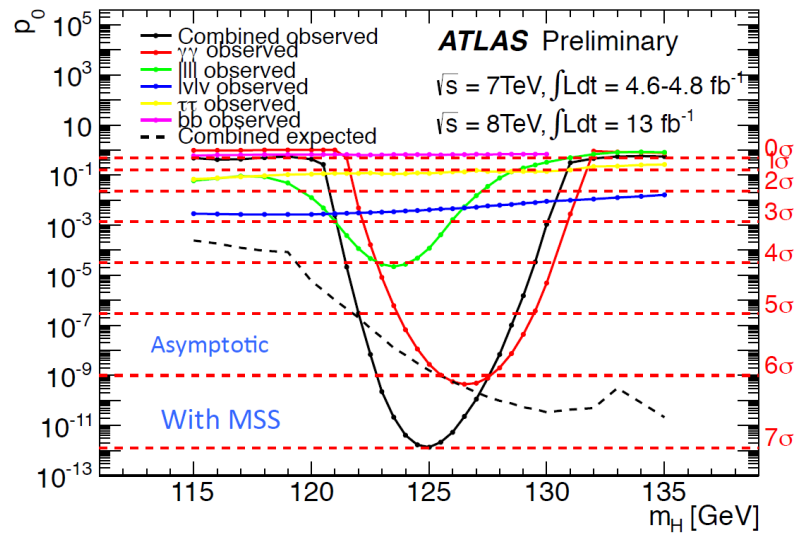
# Комбинация всех каналов распада

## Combination of All Channels

Updated with 13 fb<sup>-1</sup> of 2012 8 TeV data

ATLAS-CONF-2012-170

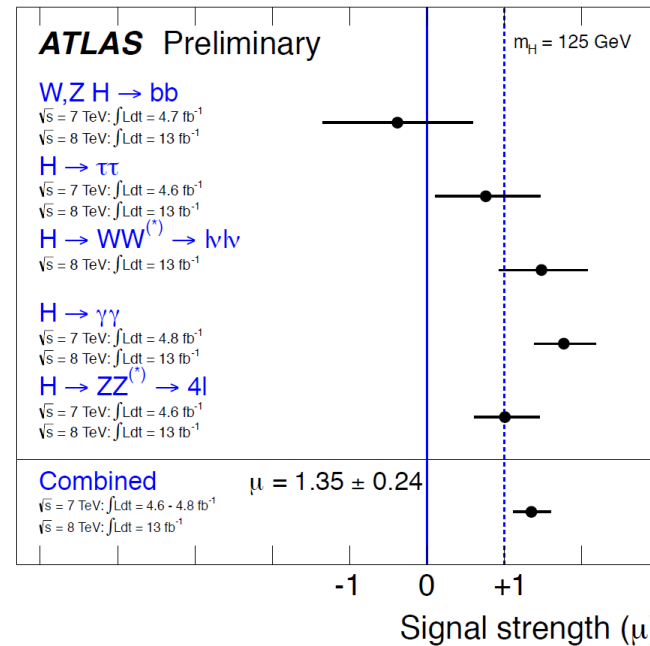
Summary of the signal strength in all SM Higgs search channels



Observed local significance (w/ MSS):  $7.0\sigma$

Without MSS:  $6.6\sigma$

Expected local significance:  $5.9\sigma$



$$\hat{\mu} = 1.35 \pm 0.19 \text{ (stat)} \pm 0.15 \text{ (syst)}$$

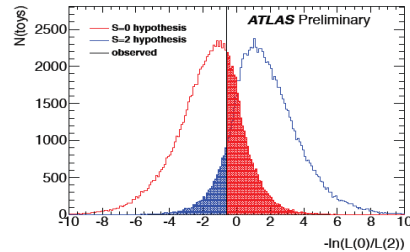
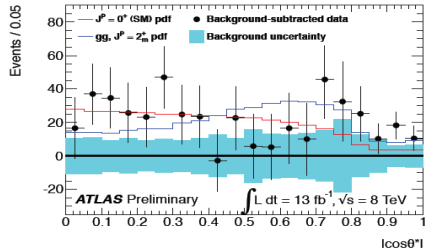
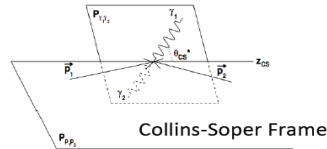
Overall agreement with the SM Higgs boson hypothesis

# Анализ спина и четности

## First Analysis of Spin in the $H \rightarrow \gamma\gamma$ Channel

Using the inclusive analysis

- Sensitive variable is dipton  $\cos \theta^*$  distribution
- Use events within  $1.5\sigma$  of the peak ( $m_H=126.5$  GeV)



- Expected sensitivity: exclusion of the spin  $2^+$  hypothesis at the 97% CL
- Observed exclusion of spin  $2^+$  hypothesis at the 91% CL

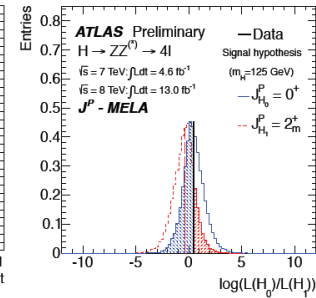
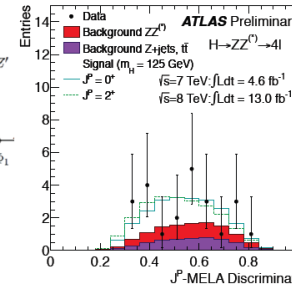
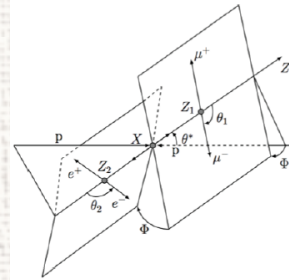
Observation compatible with spin 0 (within  $0.5\sigma$ )

ATLAS-CONF-2012-168

## Analysis of Spin in the $H \rightarrow 4l$ Channel

ATLAS-CONF-2012-169

Using the distributions of 5 production and decay angles combined in BDT or Matrix Element (MELA) discriminants



- $0^+$  vs  $2^+$ : (Low) Expected Exclusion of  $2^+$  at the 80% CL
- Observed exclusion of spin  $2^+$  at the 85% CL

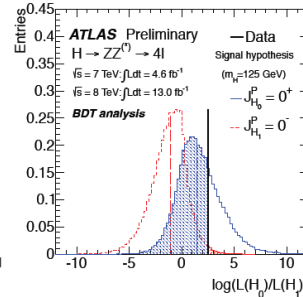
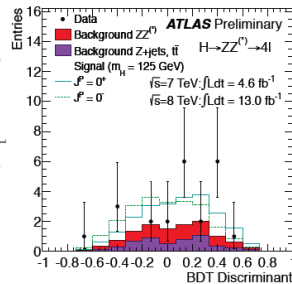
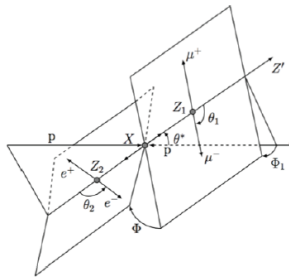
Observation fully compatible with spin 0 (within  $0.18\sigma$ )

25

## Analysis of Parity in the $H \rightarrow 4l$ Channel

ATLAS-CONF-2012-169

Using the distributions of 5 production and decay angles combined in BDT or Matrix Element (MELA) discriminants

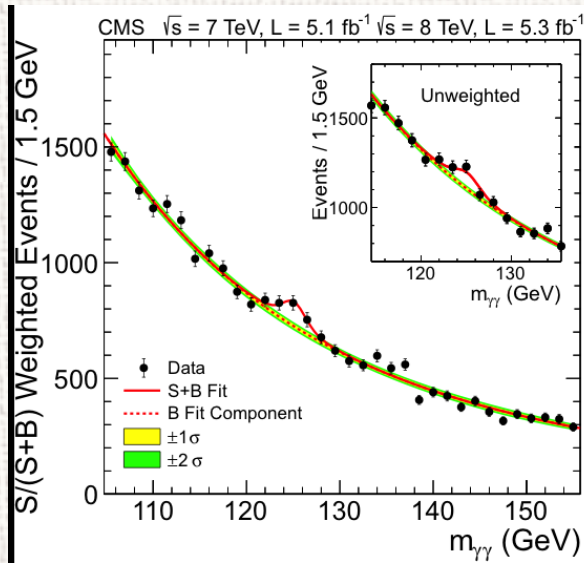


- $0^+$  vs  $0^-$ : Expected Exclusion of  $0^-$  at the 96% CL
- Observed exclusion of  $0^-$  at the 99% CL

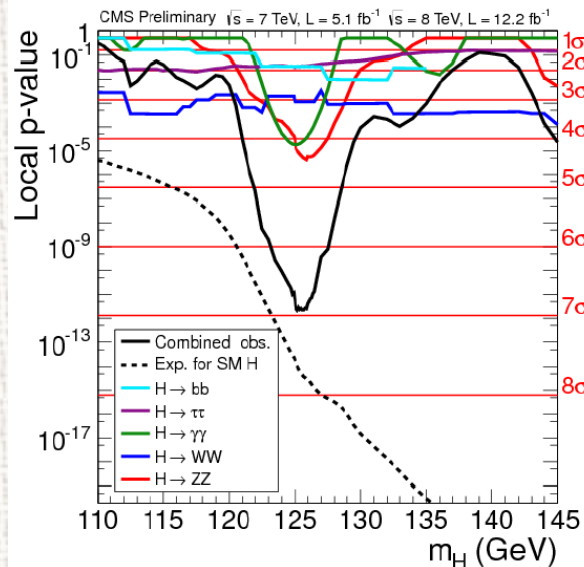
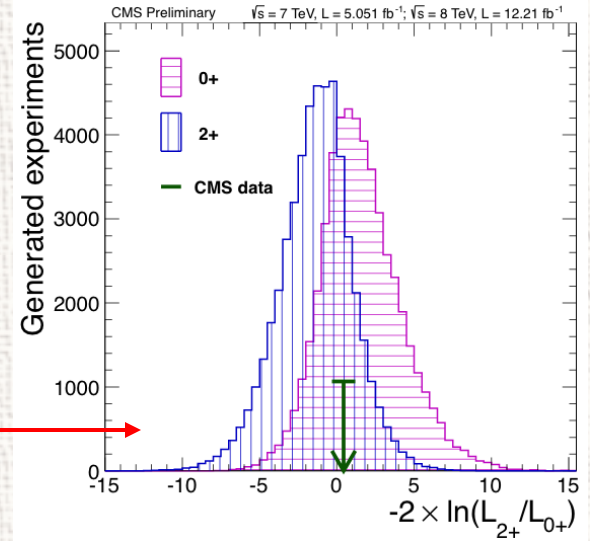
Observation fully compatible with spin 0 (within  $0.5\sigma$ )

# Результаты CMS

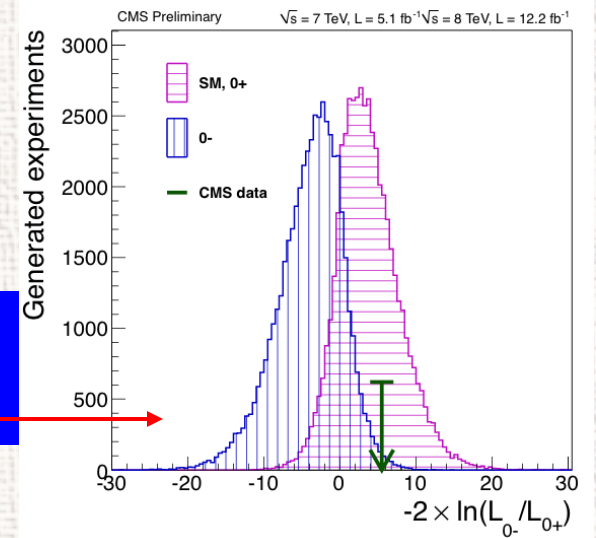
**Mass  $M = 125.8 \pm 0.4(\text{stat}) \pm 0.4(\text{sys}) \text{ GeV}$**



• Спиновый анализ:  
0 предпочтительней,  
чем 2



• Анализ четности:  
0<sup>-</sup> исключается с 95%-  
ой вероятностью



# Перспективы

- Сейчас БАК остановлен на рождественские и новогодние каникулы. В январе-феврале 2013 будет месяц работы в рА режиме – в основном, интерес эксперимента ALICE.
- С февраля 2013 года БАК прекращает работу практически на два года. За это время будут проходить починка и модернизация как самого коллайдера, так и детекторов.
- В 2015 году БАК должен начать работу в режиме с повышенной (по сравнению с нынешней) светимостью и более высокой энергии, постепенно доводя ее до номинальных  $2 \times 7$  ТэВ.
- Т.е. никаких новых данных в pp взаимодействиях до 2015 года получено не будет – эксперименты будут обрабатывать уже имеющиеся.
- По хиггс-бозону: ~30% накопленных экспериментами ATLAS и CMS данных еще не обработано. Обработка может немного изменить полученные к настоящему времени результаты, но вряд ли кардинально.
- Основной этап **изучения** хиггс-бозона наступит после 2015.
- Далее: 2018 год: новая остановка и модернизация БАК и детекторов. Затем – работа до ~2022 при светимости  $2 \cdot 10^{34}$  см<sup>-2</sup>сек<sup>-1</sup> и энергии 14 ТэВ.
- Далее: ??? SLHC (суперLHC с большей энергией и светимостью) ??? электрон-позитронный коллайдер (линейный, кольцевой?) (ILC, CLIC, Япония) ??? мюонный коллайдер ??? электрон-протонный коллайдер ???



# Заключение

- 2012 год был самым плодотворным для Большого Адронного Коллайдера и экспериментов: набрано  $\sim 22 \text{ fb}^{-1}$  данных при планировавшихся  $\sim 15 \text{ fb}^{-1}$  и  $\sim 5 \text{ fb}^{-1}$  в 2011.
- Все полученные до настоящего момента результаты в целом укладываются в рамки Стандартной Модели.
- Эксперименты на ATLAS и CMS обнаружили новую частицу с массой около 125.5 ГэВ и свойствами, близкими к ожидаемым свойствам хиггс-бозона Стандартной Модели.
- Наблюдаются и некоторые небольшие отклонения от ожиданий (расхождение масс в каналах распада на  $\gamma\gamma$  и  $4l$  у ATLAS, несколько завышенное по сравнению с ожидаемым число наблюдаемых хиггс-бозонов в некоторых каналах).
- Детальное изучение свойств открытой частицы, поиск «новой физики» станут возможными после возобновления работы БАК в 2015 с более высокой энергией пучков и большей светимостью.