

# Наблюдение новой частицы с массой 125 ГэВ

Эксперимент CMS, ЦЕРН

4 июля 2012

## Резюме

Сегодня, на совместном семинаре в ЦЕРН и на конференции “ICHEP 2012 [1] в Мельбурне исследователи эксперимента Компактный мюонный соленоид (CMS) на Большом адронном коллайдере (LHC) представили предварительные результаты по поиску бозона Хиггса стандартной модели (SM) на основе данных, набранных до июня 2012 года.

CMS наблюдает превышение событий при значении массы приблизительно 125 ГэВ [2] со статистической значимостью пять стандартных отклонений (5 сигма) [3] над ожидаемом фоном. Вероятность того, что наблюдаемый сигнал является флуктуацией фона, равна один на три миллиона. Самое значимое подтверждение наблюдается в двух конечных состояниях с наилучшим массовым разрешением: во-первых, в канале с двумя фотонами в конечном состоянии, и, во-вторых, в канале с двумя парами заряженных лептонов - (электроны или мюоны). Мы интерпретируем это, как рождение ранее не наблюдававшейся частицы с массой около 125 ГэВ.

Данные CMS также исключают существование бозона Хиггса стандартной модели в диапазонах масс: 110-122,5 ГэВ и 127-600 ГэВ с уровнем статистической достоверности 95% [4]. Меньшие значения масс были ранее исключены на коллайдере LEP в ЦЕРН с таким же уровнем статистической достоверности.

В пределах статистической и систематической погрешностей результаты поиска по нескольким каналам совместимы с ожидаемой гипотезой бозона Хиггса стандартной модели. Однако необходим больший объем данных, чтобы установить, обладает ли новая частица всеми свойствами бозона Хиггса стандартной модели, или же некоторые свойства не совпадают, что указывает на новую физику за пределами стандартной модели.

LHC продолжает работу во впечатляющем темпе. К концу 2012 года CMS рассчитывает более чем утроить общий объем набранных на сегодняшний день данных. Эти данные позволят CMS пролить свет на природу этой новой зарегистрированной частицы, а также расширить другие исследования, направленные на поиск новой физики.

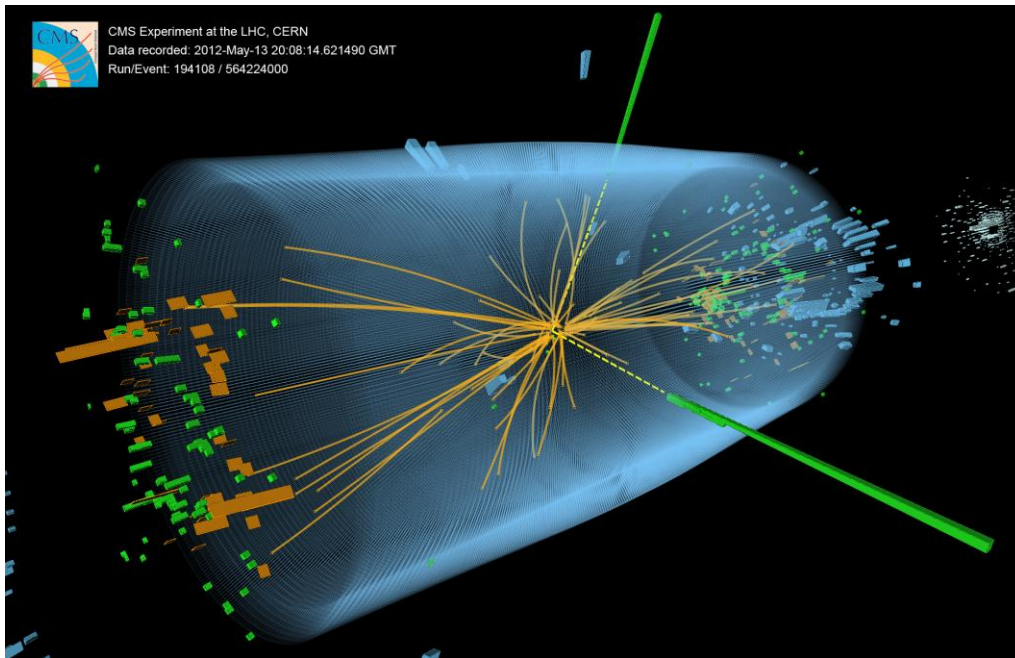
## Стратегия поиска CMS

Коллаборацией CMS проанализирован полный набор экспериментальных данных в протон-протонных столкновениях, набранных в 2011 году, а в 2012 году до 18 июня включительно. Накопленная в 2011 и 2012 годах интегральная светимость равна 5,1 фбн<sup>-1</sup> при энергии 7 ТэВ в системе центра-масс и 5,3 фбн<sup>-1</sup> при энергии 8 ТэВ.

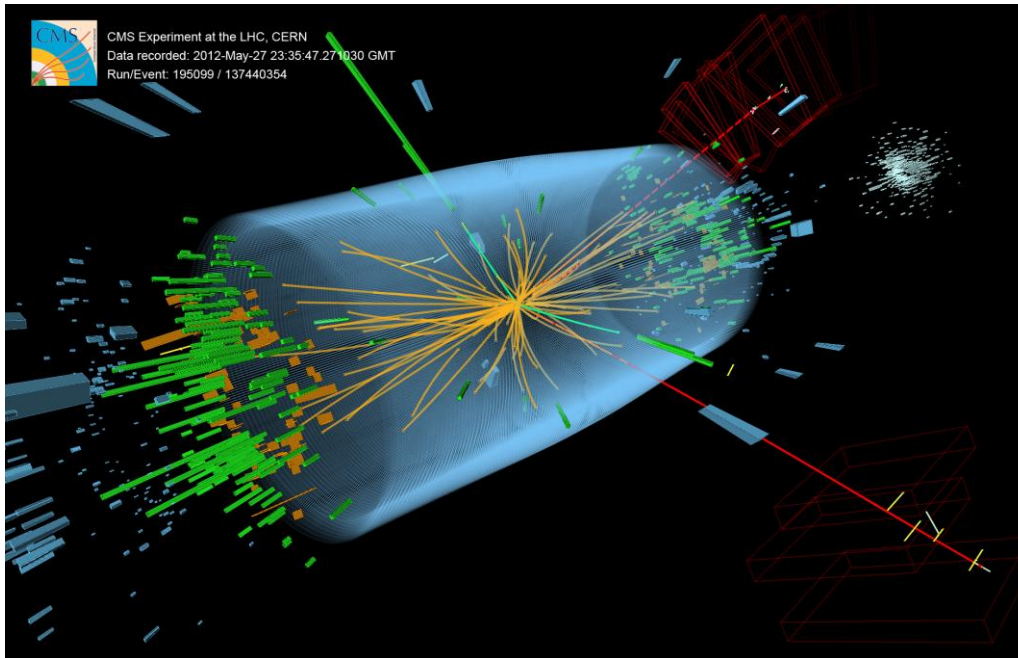
Стандартная модель предсказывает коротко живущий хиггсовский бозон, распадающийся на другие хорошо известные частицы. Эксперимент CMS исследовал пять основных каналов распада хиггсовского бозона. Три канала распада на пару бозонов ( $\gamma\gamma$ ,  $ZZ$  или  $WW$ ) и два канала на пару фермионов ( $b$  анти  $b$  или  $\tau$  анти  $\tau$ ). Здесь  $\gamma$  означает фотон,  $Z$  и  $W$  являются переносчиками слабого взаимодействия,  $b$  – это прелестный кварк а  $\tau$  – это тау лептон. При

поиске Хиггс бозона с массой 125 ГэВ чувствительность каналов  $\gamma\gamma$ ,  $ZZ$  и  $WW$  приблизительно одинакова. В целом, они более чувствительны, чем каналы распада на пару  $b$  анти  $b$  и  $\tau$  анти  $\tau$ .

Каналы  $\gamma\gamma$  и  $ZZ$  очень важны, поскольку оба они позволяют измерить массу новой частицы с высокой точностью. В канале  $\gamma\gamma$  масса определяется из энергий и направлений двух высокоэнергетических фотонов, измеряемых кристаллическим электромагнитным калориметром установки CMS (ECAL, Рис. 1). В канале  $ZZ$  масса определяется из распада пары  $Z$  бозонов на две пары электронов или мюонов либо на пары электронов и мюонов (Рис. 2). Они измеряются внутренним трекером, электромагнитным калориметром и мюонными камерами.



**Рис. 1.** Событие, зарегистрированное детектором CMS в 2012 г. при энергии 8 ТэВ в системе центра масс протон-протонных столкновений. Событие показывает ожидаемый характерный распад бозона Хиггса стандартной модели на пару фотонов (пунктирные желтые линии и зеленые “башни”). Событие также может быть известным фоновым процессом стандартной модели.



**Рис 2.** Событие, зарегистрированное детектором CMS в 2012 г. при энергии 8 ТэВ в системе центра масс протон-протонных столкновений. Событие показывает ожидаемый характерный распада бозона Хиггса стандартной модели на пару Z бозонов, один из которых в свою очередь распадается на пару электронов (зеленые линии и зеленые “башни”), а другой – на пару мюонов (красные линии). Событие также может быть известным фоновым процессом стандартной модели.

WW канал является более сложным. Каждый W бозон определяется по его распаду на электрон и нейтрино, или мюон и нейтрино. Нейтрино не регистрируется при прохождении через детектор CMS, поэтому бозон Хиггса стандартной модели проявляется не как узкий пик, а как превышение числа событий в широком диапазоне масс. Канал bb имеет большой фон от процессов стандартной модели, поэтому при анализе исследуются события, в которых бозон Хиггса рождается совместно с W или Z бозонами, распадающимися на электрон(ы) или мюон(ы). Канал tt измеряется по распадам t на электроны, мюоны и адроны.

### Описание результатов CMS

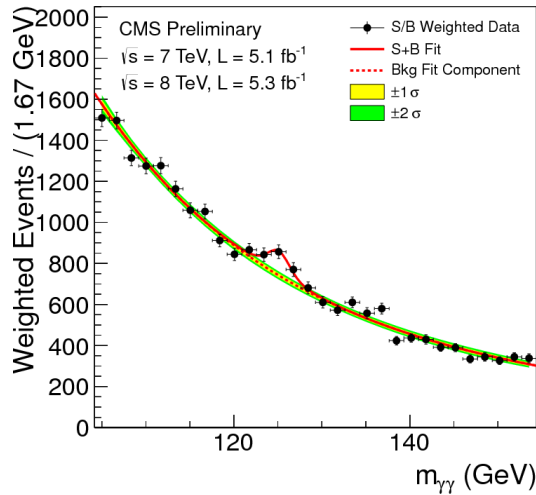
В случае, если бозон Хиггса не существует, экспериментальных данных CMS вполне достаточно, чтобы полностью исключить его существование в области масс 110–600 ГэВ на уровне статистической достоверности 95%. Фактически, данные CMS исключают существование бозона Хиггса стандартной модели в двух широких массовых диапазонах: 110–122,5 ГэВ и 127–600 ГэВ на уровне статистической достоверности 95%.

Область 122,5–127 ГэВ не может быть исключена, так как мы наблюдаем превышение числа событий в трех из пяти проанализированных каналах:

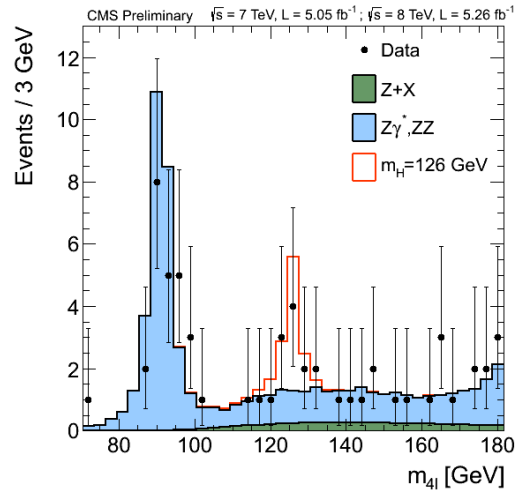
- **канал  $\gamma\gamma$ :** массовое распределение пары фотонов  $\gamma\gamma$  показано на Рис. 3. В нем наблюдается превышение числа событий над уровнем фона при значении массы в районе 125 ГэВ со значением статистической значимости 4,1 сигма. Наблюдение двух фотонов в конечном состоянии указывает на то, что новая частица является бозоном, а не фермионом, и ее спин не может быть равным 1.
- **канал ZZ:** Рис. 4 показывает массовое распределение четырехлептонных событий (две пары электронов, или две пары мюонов, или пара электронов и пара мюонов). С учетом

их угловых характеристик превышение числа событий над уровнем фона при значении массы в районе 125 ГэВ составляет 3,2 сигма.

- **канал WW:** наблюдается широкое превышение событий над фоном в массовом распределении на уровне 1,5 стандартных отклонений.
- **канал bb и канал tt:** не наблюдается превышения событий.

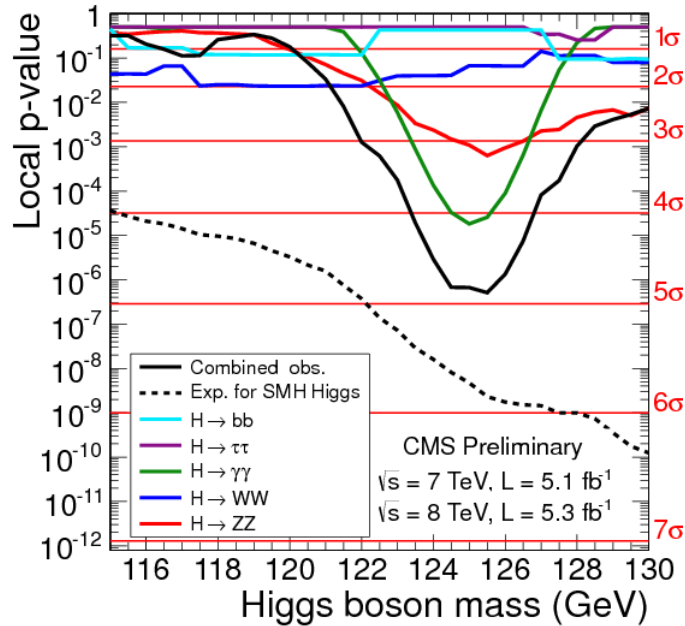


**Рис. 3.** Распределение пары фотонов ( $\gamma\gamma$ ) по инвариантной массе для данных CMS 2011 и 2012 (черные точки с ошибками). Данные “взвешены” с учетом отношения сигнал-фон для каждой категории событий. Сплошная красная линия показывает фит сигнала и фона, прерывистая линия – фит только фона.



**Рис. 4.** Массовое распределение четырехлептонных реконструированных событий в каналах  $4e$ ,  $4\mu$  и  $2e2\mu$ . Точками показаны данные, закрашенной гистограммой представлен фон, а не закрашенной гистограммой – ожидаемый сигнал. Приведены совместные измерения для данных, набранных при энергии 7 ТэВ и 8 ТэВ.

Статистическая значимость превышения сигнала над уровнем фона при совместном анализе данных по всем пяти каналам (Рис. 5) составляет 4,9 сигма. Совместный анализ только по двум наиболее чувствительным и высокоточным каналам ( $\gamma\gamma$  и  $ZZ$ ) обеспечивает статистическую значимость наблюдаемого эффекта 5,0 сигма. Вероятность флуктуации фона на такую величину оценивается как  $1/3000000$ .



**Рис 5.** Вероятность (p-value) флуктуации фона до наблюдаемого количества событий в данных CMS в зависимости от массы для пяти основных каналов. Черная линия показывает комбинированную величину p-value для всех каналов.

Масса новой частицы определена без учета каких-либо предположений об относительных вероятностях мод распада и составляет  $125.3 \pm 0.6$  ГэВ. Измеренная вероятность образования новой частицы ( $\sigma_{\text{DAT}}$ ) находится в согласии с предсказанной величиной вероятности образования бозона Хиггса стандартной модели ( $\sigma_{\text{SM}}$ ):  $(\sigma_{\text{DAT}})/(\sigma_{\text{SM}}) = 0.80 \pm 0.22$ .

Большие усилия были направлены на детальное изучение характеристик детектора, отбор событий, оценку фона и других возможных источников систематических и статистических погрешностей. Анализ данных 2011г. [6] показал превышение событий над фоном в районе 125 ГэВ. Поэтому, чтобы избежать возможной систематической ошибки в методике отбора событий и не «усилить» искусственно эффект 2011г., данные 2012г. обрабатывались как бы «вслепую» [7]. Это означает, что массовый диапазон, где ожидалось наличие превышение числа событий, не исследовался, пока не были досконально изучены и утверждены критерии обработки данных.

В целях перепроверки полученных результатов обработка данных велась по крайней мере двумя независимыми группами ученых. Ими были получен ряд свидетельств, усиливающих достоверность полученных результатов:

- Превышение событий наблюдается в районе 125 ГэВ как по данным 2011 г. (7 ТэВ), так и по данным 2012 г. (8 ТэВ);
- Превышение наблюдается в обоих каналах высокого разрешения ( $\gamma\gamma$  и  $ZZ$ );
- Превышение в каналах  $WW$  согласуется с предположением о существовании частицы с массой 125 ГэВ;
- Превышение наблюдается в каналах распада, имеющих в конечном состоянии фотоны, электроны, мюоны и адроны.

Предварительные результаты, представленные сегодня, будут доработаны для опубликования в конце лета.

## Планы на будущее

Новая частица, наблюдающаяся со значением массы в районе 125 ГэВ, с ограниченной статистической точностью совместима с гипотезой бозона Хиггса стандартной модели. Тем не менее, требуются дополнительные данные для измерения ее свойств, таких как вероятности распада в различных модах ( $\gamma\gamma$ ,  $ZZ$ ,  $WW$ ,  $bb$  и  $\tau\tau$ ) и, в перспективе, определении спина и четности для однозначного установления, действительно ли новая частица является бозоном Хиггса стандартной модели, или же это наблюдение сигнала новой физики за пределами стандартной модели.

ЛHC продолжает свою работу чрезвычайно успешно. К концу 2012 года CMS рассчитывает более чем утроить общий объем набранных на сегодняшний день данных и, благодаря этому, продолжить исследование природы новой частицы. Если она действительно окажется бозоном Хиггса стандартной модели, то ее свойства и значение для стандартной модели будут подробно изучены. Если же это не бозон Хиггса стандартной модели, то CMS займется изучением новой физики, что подразумевает возможность исследования и дополнительных новых частиц на ЛHC. В любом случае, будет продолжаться поиск новых частиц или сил, которые могут наблюдаться в будущих сеансах ЛHC при более высоких энергиях и интенсивностях сталкивающихся пучков.

## О CMS

Более подробную информацию можно найти на сайте CMS: <http://cern.ch/cms> или обращайтесь [cms.outreach@cern.ch](mailto:cms.outreach@cern.ch)

CMS является одним из двух многоцелевых экспериментов на ЛHC, которые были созданы для поиска новой физики. Он предназначен для регистрации широкого спектра частиц и обнаружения явлений, возникающих в протон-протонных взаимодействиях и взаимодействиях тяжелых ионов на ЛHC. CMS поможет ответить на такие вопросы, как: "Из чего на самом деле состоит Вселенная и какие силы действуют в ее пределах?" и "Что дает всему массу?" Эксперимент изучает свойства известных частиц с беспрецедентной точностью, а также осуществляет поиск совершенно новых, не предсказанных явлений. Такие исследования не только улучшают наше понимание того, как функционирует Вселенная, но, в конечном итоге, могут вызвать технологический прорыв, который изменит наш мир, как это часто бывало в прошлом.

Концептуальный проект эксперимента CMS датируется 1992 годом. Строительство гигантского детектора (15 м диаметром, около 29 м в длину и весом 14000 тонн) потребовало 16 лет усилий от одной из крупнейших международных научных коллабораций, существовавших когда-либо: 3275 физиков (в том числе 1535 студентов) из 41-ой страны, а также 790 инженеров и техников, из 179 институтов и исследовательских лабораторий, расположенных по всему миру.

## Ссылки

[1] ICHEP - 36-ая Международная конференция по физике высоких энергий, Мельбурн, Австралия, 4-11 июля, 2012. Результаты будут представлены совместно на двух мероприятиях: персонально в ЦЕРН и по видеосвязи в режиме реального времени на ICHEP.

[2]. Электрон-вольт (эВ) – единица энергии.  $1 \text{ ГэВ} = 1,000,000,000 \text{ эВ}$ . В физике элементарных частиц, где масса и энергия часто взаимозаменяемы, общепринятой единицей массы является  $\text{эВ}/c^2$  (из соотношения  $E = mc^2$ , где  $c$  – скорость света в вакууме). Еще более распространено использование так называемой «натуральной системы единиц», в которой скорость света равна единице (и соответственно  $E = m$ ), в которой эВ является так же и единицей массы.

[3] Стандартное отклонение описывает распределение набора измерений вокруг среднего значения. Оно может быть использовано для количественного описания степени несовместимости набора данных с заданной гипотезой. Физики выражают стандартное

отклонение в единицах, называемых  $\sigma$  “сигма”. Чем больше величина  $\sigma$ , тем более несовместимы данные с выбранной гипотезой. Обычно, чем более неожиданное открытие, тем большее значение  $\sigma$  требуется для его подтверждения.

[4]. Уровень статистической достоверности (CL) соответствует проценту независимых статистических тестов с результатом в указанном диапазоне. Например, 95% уровень значимости означает, что результат измерения будет находиться в указанном диапазоне в 95% случаев.

[5] <http://news.stanford.edu/news/2004/july21/femtobarn-721.html>

[6] <http://cms.web.cern.ch/news/cms-search-standard-model-higgs-boson-lhc-data-2010-and-2011>

[7] <http://cms.web.cern.ch/news/blinding-and-unblinding-analyses>