

Регистрована нова честица масе 125 GeV

Експеримент CMS, CERN

4. јул 2012.

Абстракт

На заједничком семинару данас у CERN-у и на конференцији ICHEP2012[1] у Мелбурну, научници из експеримента Compact Muon Solenoid (CMS) на Великом хадронском сударачу-LHC, представили су своје прелиминарне резултате потраге за Higgs бозоном према предвиђањима Стандардног модела (SM) на основу сакупљених података до јуна 2012. године.

У експерименту CMS регистрован је повећан број догађаја који одговара маси од приближно 125 GeV[2] са статистичким значајем од пет стандардних девијација (5.0σ)[3] већом од очекиваног фона. Вероватноћа да се деси флукуација фона до овог износа сигнала или чак више процењује се као један према три милиона.

Сматрамо да је овај сигнал настао као последица распада до сада нерегистроване честице са масом у близини 125 GeV. Овај сигнал има најјаснију форму кад се разматрају два коначна стања нове честице са најбољом резолуцијом: коначно стање са два фотона и коначно стање у коме постоје два пара наелектрисаних лептона (електрон или мион). Истовремено, подаци којима располаже експеримент CMS искључују постојање Higgs бозона према SM у интервалу маса 110-121.5 GeV и 127-600 GeV са нивоом поверења од 95% [4], док су ниже масе већ раније искључене (2000. године) у експериментима на сударачу LEP такође у CERN-у.

Резултати добијени на основу изучавања различитих канала распада нове честице, у границама статистичких и систематских грешака, у сагласности су са предвиђањима SM за Higgs бозон. Међутим, да би се утврдило да ли ова честица заиста одговара Higgs бозону према SM или је то можда знак неке “нове физике“ изван SM, неопходно је да се сакупи још већа количина експерименталних података.

Како LHC наставља да производи импресивну количину података, реално је да се очекује да крајем 2012. експеримент CMS располаже са троструко већом количином података у односу на постојећи узорак. Тада ће експеримент CMS моћи да презентира детаљније податке о природи ове нове честице. Истовремено, додатни експериментални подаци ће омогућити да експеримент CMS настави потпунија изучавања других феномена који би припадали “новој физици“.

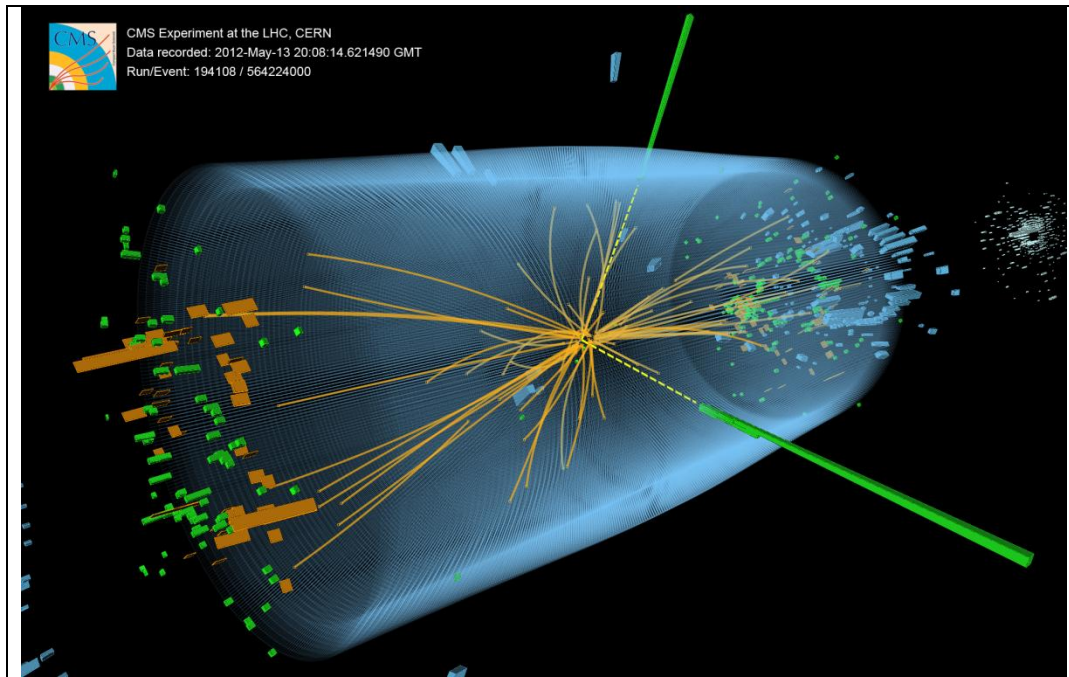
Стратегија експеримента CMS

У експерименту су анализирани подаци комплетних узорака сакупљени у протон-протон сударима у току целе 2011. и 2012. године до јуна месеца. Ови подаци су сакупљени у 2011. години при интегралној вредности луминозности од 5.0 1/fb (инверзних фемтобарна)[5] и на укупној енергији судара од 7 TeV, а у 2012. години при интегралној вредности луминозности од 5.3 1/fb и на укупној енергији од 8 TeV.

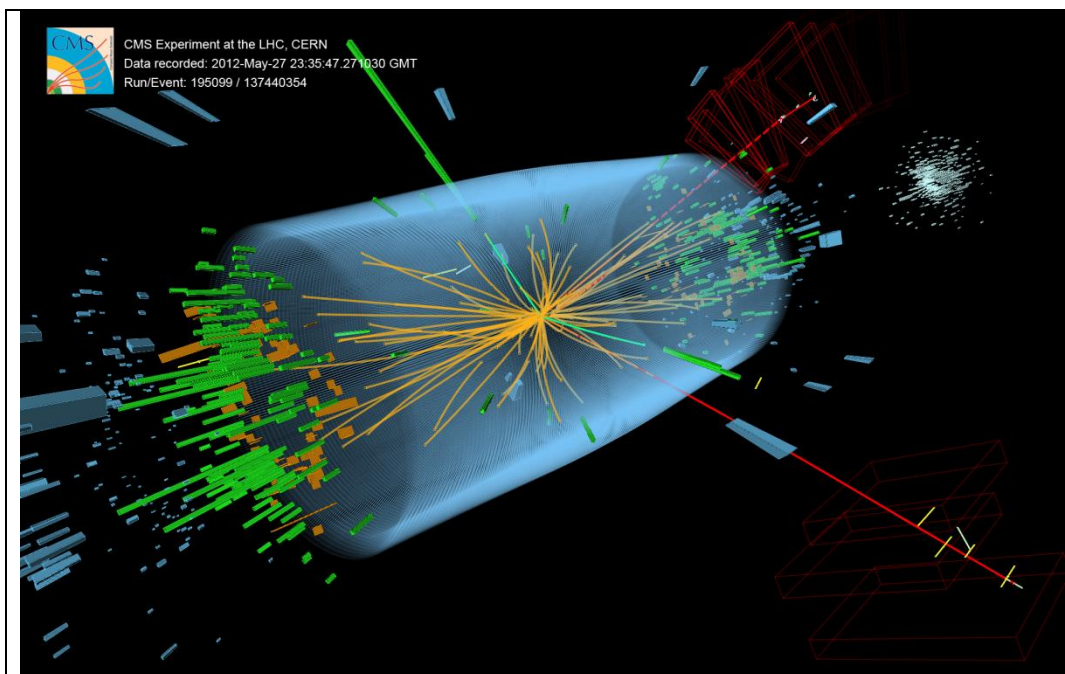
Стандардни модел честица предвиђа врло кратак живот Higgs бозона и његов распад путем неколико канала на познате честице које се у детектору региструју. Ми смо детектором CMS изучавали пет главних канала распада: три који у коначном стању имају парове познатих бозона ($\gamma\gamma$, ZZ или WW) и два канала са коначним стањем парова честица-фермиона (bb или $\tau\tau$). Овде γ представља фотон, Z и W бозоне преносиоце слабе интеракције, b доњи (bottom) кварк, а τ тау лептон. Канали распада $\gamma\gamma$, ZZ и WW су подједнако осетљиви на потрагу Higgs бозона у близини 125 GeV, а иначе су осетљивији (располажу бољом резолуцијом) него канали bb и $\tau\tau$.

Два канала: $\gamma\gamma$ и ZZ су специјално важна, јер омогућавају мерење масе новорегистроване честице са високом прецизношћу. На пример, у каналу $\gamma\gamma$ маса се одређује на основу енергије и праваца два високо-енергетска фотона у кристалном електромагнетском калориметру детектора CMS (ECAL, слика 1). У каналу ZZ , маса се одређује на основу распада два Z бозона на два пара

електрона или два пара миона или пара електрона и пара миона (Слика 2). Директна мерења ових наелектрисаних честица се одвијају комплементарно у три детекторска слоја детектора CMS: унутрашњи детектор трагова (Inner tracker), ECAL и детектор миона (muon chambers).



Слика 1. Догађај забележен детектором CMS 2012. године при судару протона на енергији од 8 TeV. Приказан догађај поседује карактеристике које се према предвиђањима Стандардног модела очекују при распаду Higgs бозона на пар фотона (испрекидани жути трагови који се завршавају пуним зеленим линијама). Сличан догађај би такође могао да потиче од других познатих фонских процеса у оквиру Стандардног модела.



Слика 2. Догађај забележен детектором CMS 2012. године при судару протона на енергији од 8 TeV. Приказан догађај поседује карактеристике које се према предвиђањима Стандардног модела очекују при распаду Higgs бозона на пар Z бозона од који се један онда распада на пар електрона (зелене линије и зелене пуне линије), а други на пар миона (црвене линије). Сличан догађај би такође могао да потиче од других познатих фонских процеса у оквиру Стандардног модела.

Канал распада на два бозона **WW** је нешто сложенији. Сваки бозон W се идентификује посредством распада на електрон и неутрино или мион и неутрино. Зато што неутрино пролази кроз CMS детектор нерегистрован, овај канал распада Higgs бозона према Стандардном моделу би се манифестовао не као узани пик, већ као пик у виду широке масене дистрибуције. Канал **bb** има велики фон који потиче од процеса дефинисаних у Стандардном моделу, тако да се анализа овог догађаја спроводи на основу придруженог W или Z бозона који се онда распадају на електрон или мион. С друге стране, изучавање канала распада **tt** се одвија уз анализу распада лептона на електроне, мионе и хадроне.

Резиме резултата експеримента CMS

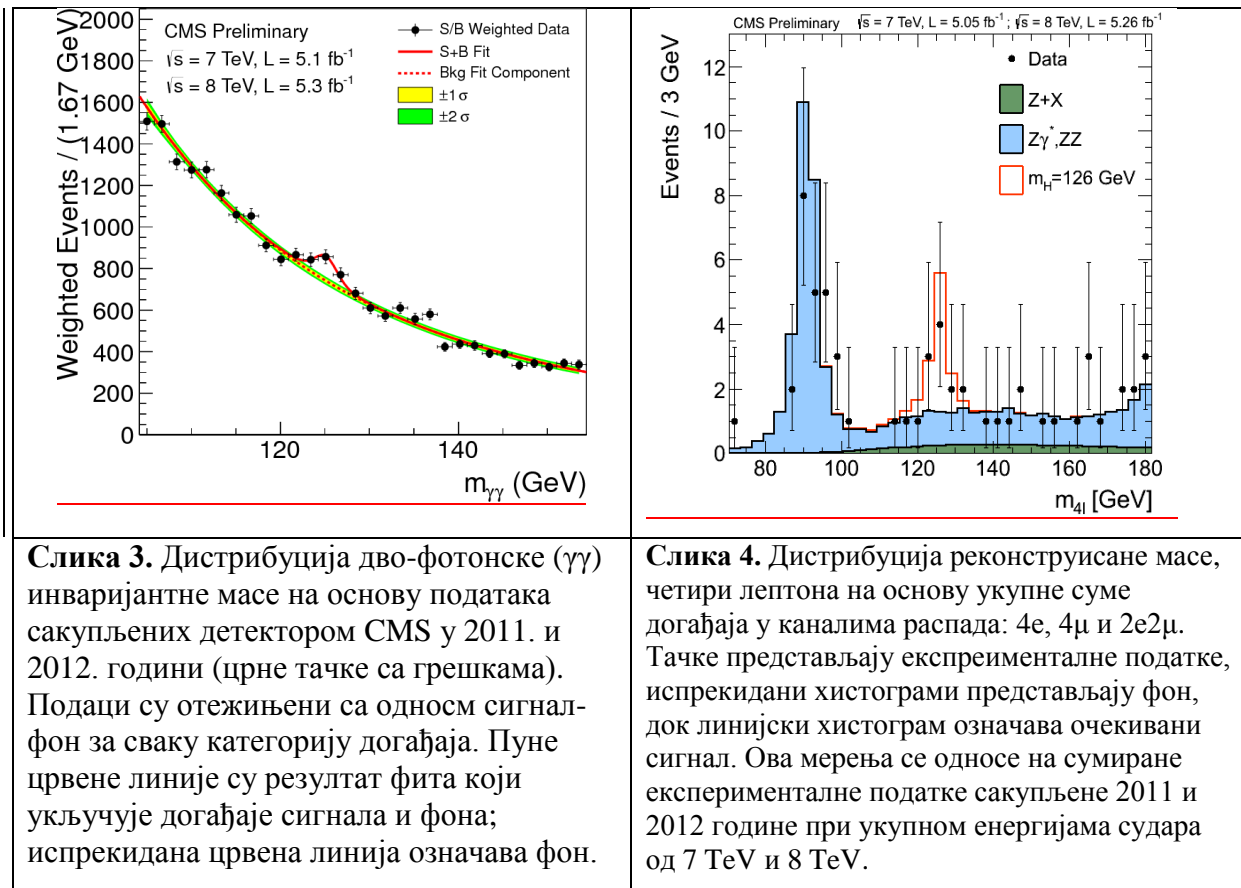
Досадашња изучавања експерименталних података добијених детектором CMS поседују доста поуздану осетљивост тако да са нивоом поверења од 95% може да се комплетно искључи постојање било каквог “вишка масе“ у региону 110-600 GeV, уколико Higgs бозон према предвиђању Стандардног модела не постоји. После детаљних анализа, показује се да подаци са детектора CMS искључују постојање Higgs бозона према Стандардном моделу у широком масеном региону од 110-124.5 GeV и 127-600 GeV са 95% нивоа поверења. **Масени регион 124.5–127 GeV се не искључује, јер видимо вишак догађаја на основу три од пет детаљно анализираних канала.**

Канал $\gamma\gamma$: масена дистрибуција $\gamma\gamma$ је приказана на Слици 3. Уочава се вишак догађаја са статистичким значајем од 4.1 sigma изнад фона на масеној скали у близини 125 GeV. Овај резултат сугерише да се ради о честици бозону, јер коначно стање нове честице у виду два фотона не може да буде фермион, али не може да буде не честица са спином 1.

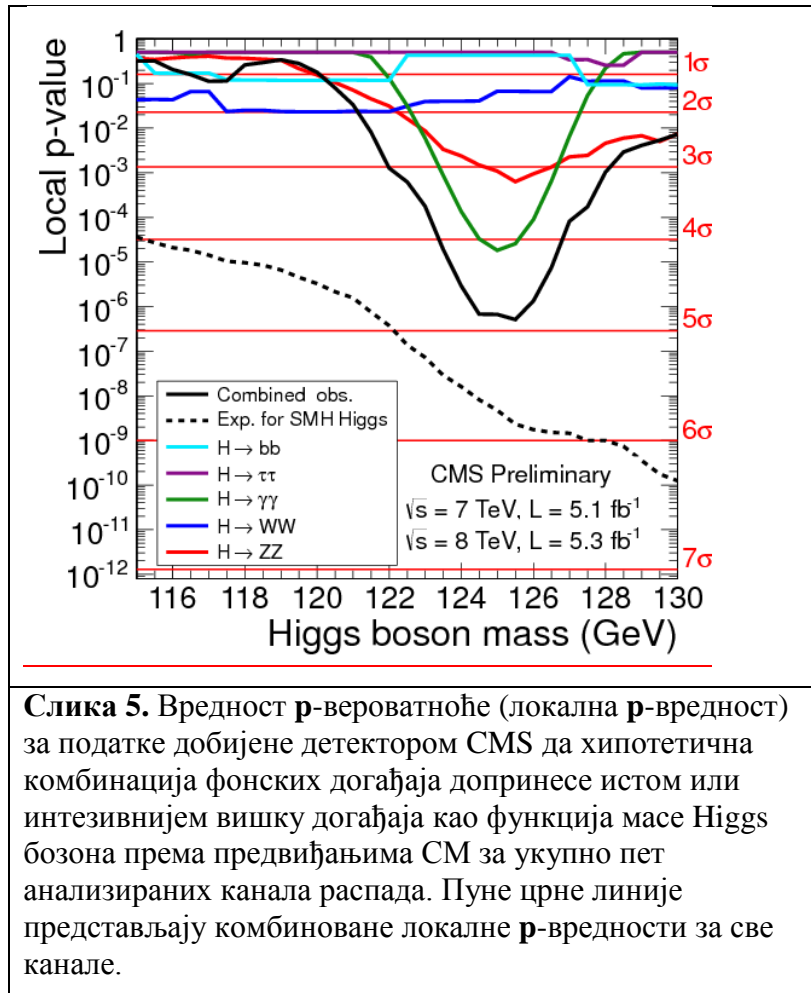
Канал ZZ : Слика 4 приказује расподелу маса четири лептона (два пара електрона, два пара миона или пар електрона и миона). Користећи такође карактеристике углова распада, добија се принос од 3.2 sigma изнад фона на масеној скали близу 125 GeV.

Канал WW : карактерише вишак догађаја у виду широке масене дистрибуције са статистичким значајем од 1.5 sigma.

Канали bb и $\tau\tau$: код ова два канала распада није уочен вишак догађаја.



Статистички значај сигнала добијен комбиновањем фита свих пет канала (Слика 5) износи 4.9 sigma изнад постојећег фона. Комбиновани фит само два најосетљивија канала распада, која истовремено располажу са највишом резолуцијом ($\gamma\gamma$ и ZZ), даје статистички значај од 5.0 sigma. Вероватноћа да флукуације фона достигну ове или веће статистичке вредности се процењује као један у три милиона.



Маса нове честице од 125.3 ± 0.6 GeV је добијена независно од било каквих претпоставки о релативном приносу различитих канала распада. Измерени ефикасни пресек (σ) за продукцију ове нове честице је у сагласности са предвиђањима Стандардног модела (σ_{SM}) за Higgs бозон: $\sigma_{DAT} / \sigma_{SM} = 0.80 \pm 0.22$.

Посебна пажња је посвећена напорима да се растумачи огроман број детаља везаних за функционисање детектора, за селекцију догађаја, за реалније одређивање фона и могућих извора систематских и статистичких неодређености. Анализа података из 2011.[6] је наговестила вишак догађаја близу вредности масе од 125 GeV. Да би се избегле предрасуде и омогућио објективнији критеријум избора догађаја, анализа података из 2012. године спроведена је према тзв. методу на “слепо”[7]. Овај приступ подразумева да је анализа података у масеном региону од интереса била изведена тек кад су сви критеријуми анализе били потпуно проверени и потврђени.

Да би се постигла максимална поузданост, анализе експерименталних података су увек извођене паралелно и независно од више истраживачких тимова (најмање два). Следећи број експерименталних чињеница употпуњује поузданост добијених резултата:

- Вишак догађаја у близини масе 125 GeV је установљен код оба узорка сакупљених података: у 2011. (при енергији од 7 TeV) и у 2012. години (8 TeV);
- Вишак догађаја са вредношћу исте масе установљен је код оба канала распада високе резолуције ($\gamma\gamma$ и ZZ);

- Вишак догађаја у каналима распада WW је конзистентан са вредношћу масе честице од 125 GeV;
- Вишак догађаја је установљен у региону маса са коначним стањем које чине фотони, електрони, миони и хадрони.

Прелиминарни резултати презентирани данас биће подвргнути додатној обради са циљем да буду комплетирани за публикавање до краја овог лета.

Будући планови

Регистрована нова честица са приближном масом од 125 GeV је, у границама постојеће статистике, компатибилна са Higgs бозоном према предвиђањима CM. Међутим, неопходно је да се сакупи још експерименталних података да би се измерила и испитала својства ове честице као што су брзине распада различитих канала ($\gamma\gamma$, ZZ , WW , bb и $\tau\tau$) и одређивање њеног спина и парности. Тек после ових података знаћемо да ли је то заиста Higgs бозон према предвиђањима CM или се можда ради о феномену који је резултат неке нове физике изван Стандардног модела.

Велики хадронски сударач LHC наставља своје импресивно функционисање. До краја 2012. године можемо да очекујемо три пута већу количину података у односу на ову којом располаже садашњи узорак, што ствара реалне могућности за изучавање природе ове нове честице.

Ако се утврди да је нова честица Higgs бозон како предвиђа CM, онда ће њена својства и даље импликације на Стандардни модел бити детаљно изучавана. У случају да ово није Higgs бозон, у експерименту CMS ће онда бити изучавана природа “нове физике“ што отвара могућност регистровања нових честица на LHC-у. Оно што је сигурно, изучавања и потраге за другим новим честицама или интеракцијама ће се наставити посебно кад LHC отпочне рад на вишим енергијама и са сноповима вишег интензитета.

Експеримент CMS

Више информација: <http://cern.ch/cms> или cms.outreach@cern.ch.

Експеримент CMS представља један од два експеримента опште намене на Великом хадронском сударачу LHC који изграђен са циљем изучавања нове физике. Детектор CMS је дизајниран за регистровање широког спектра честица и феномена креираних у сударима два снопа протона високих енергија, као и у сударима два снопа тешких јона на LHC-у. Од експеримента CMS се очекује да омогући одговоре на питања као што су: од чега је саграђен универзум и које силе у њему делују? одакле потиче маса? Зашто постоји асиметрија између материје и антиматерије?

Такође, детектор CMS омогућава мерење својстава познатих честица са високом прецизношћу, као и евентуално регистровање нових непредвиђених феномена. Као што је био случај са претходним експериментима, истраживања овог типа не само да омогућују боље разумевање начина на који функционише универзум, већ подстиичу и развој нових технологија које мењају наше окружење и свет у коме живимо.

Концептуални дизајн експеримента CMS потиче из 1992. године. Изградња овог огромног и сложеног детектора (дужине скоро 30m, дијаметра 15m и масе 14000 тона) трајала је 16 година, а извела ју је најбронија међународна научна колаборација до сада: 3275 физичара (укључујући 1535 студената) и 790 инжењера и техничара. Сви они долазе из 179 институција и научних лабораторија из 41 државе света.

Фусноте

[1] [ICHEP] ICHEP означава 36. Меѓународну конференцију у физици високих енергија (International Conference on High Energy Physics, Melbourne, Australia од 4-11 July, 2012. Заједнички резултати два експеримента CMS и ATLAS ће бити представљени у CERN-у, а путем видео линка на ICHEP-у.

[2] Еквивалентност енергије и масе значи да је енергетска јединица електрон волт (eV) такође и јединица масе. У физици честица је уобичајено да се маса и енергија често међусобно замењују и да се користи јединица eV/c^2 , где је c брзина светлости у вакууму (на основу познате Ајнштанове једначине: $E = mc^2$). Чак много чешће се користи природан систем јединица у коме је $c=1$ (тј. $E=m$), па се једноставно eV користи као јединица масе. (Wikipedia).

[3] Стандардна девијација се изражава у јединицама “sigma” и представља растур појединачних вредности мерења око средње вредности. Овај параметар може да се користи за опис нивоа неслагања скупа експерименталних података са хипотетичним вредностима. Резултат са већим бројем sigma има и већи статистички значај, тј. већу поузданост. На пример, ако се ради о неочекиваном резултату, физичари захтевају и већу статистичку поузданост.

[4] Ниво поверења - CL (или поузданости) представља статистичку меру која показује колико ће пута од 100 мерења резултат бити у очекиваном интервалу. На пример, ниво поверења од 95% означава да ће обављено мерење вероватно донети очекивани резултат у 95% случајева. (Извор: NADbank)

[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>