مشاهده یک ذره جدید با جرم ۱۲۵ گیگاالکترون ولت

۴ جولای ۲۰۱۲

چکیده

در یک سمینار مشترک در CERN و کنفرانس ICHEP2012 [۱] در ملبورن، پژوهشگران آزمایش سیملوله فشرده میوئونی (CMS) در برخورددهنده بزرگ هادرونی(LHC) نتایج اولیه خود در جستجو برای ذره هیگز مدل استاندارد را که برآمده از داده های جمع آوری شده تا ژوئن ۲۰۱۲ است، اعلام می کنند.

CMS در جرم حدود ۱۲۵ گیگاالکترون ولت [۲] یک افزایش در تعداد رخدادها نسبت به پس زمینه را با اهمیت آماری پنج انحراف معیار (۵σ) [۳] مشاهده کرده است. احتمال اینکه افت و خیز رویدادهای پس‌زمینه به تنهایی منجر به این مقدار و یا بیش از آن شود برابر با یک در ۳ میلیون است. قوی ترین شواهد در دو حالت نهایی با بهترین تفکیک پذیری جرم مشاهده شده‌اند: نخست حالت پایانی دارای دو فوتون و سپس حالت نهایی با دو جفت لپتون باردار (الکترون ها یا میوئون ها). ما این فزونی را به تولید ذره ای در جرم ۱۲۵ گیگاالکترون ولت که قبلاً مشاهده نشده است، تعبیر می کنیم.

داده‌های CMS همچنین وجود ذره هیگز مدل استاندارد با جرم‌های ۱۲۱/۵-۱۱۰ گیگاالکترون ولت و ۶۰۰-۱۲۷ گیگاالکترون ولت با سطح اطمینان ۹۵٪ [۴] غیرمحتمل می‌داند- جرم های پایین تر قبلاً توسط برخورد دهنده LEP در CERN رد شده‌اند.

در محدوده عدم قطعیت های آماری و سیستماتیک، نتایج بدست آمده در حالات نهایی مختلف با یکدیگر همخوانی دارند. به هرحال، تایید مطابقت خواص این ذره با بوزن هیگز مدل استاندارد، مستلزم داده های بیشتری است.

LHC با سرعت قابل ملاحظه ای داده های جدیدی را فراهم خواهد کرد. انتظار می‌رود تا پایان سال ۲۰۱۲ میزان این داده ها در CMS به سه برابر مقدار کنونی برسد. با استفاده از این داده ها، محدوده تحقیق در مورد فیزیک جدید نیز گسترش پیدا خواهد کرد.

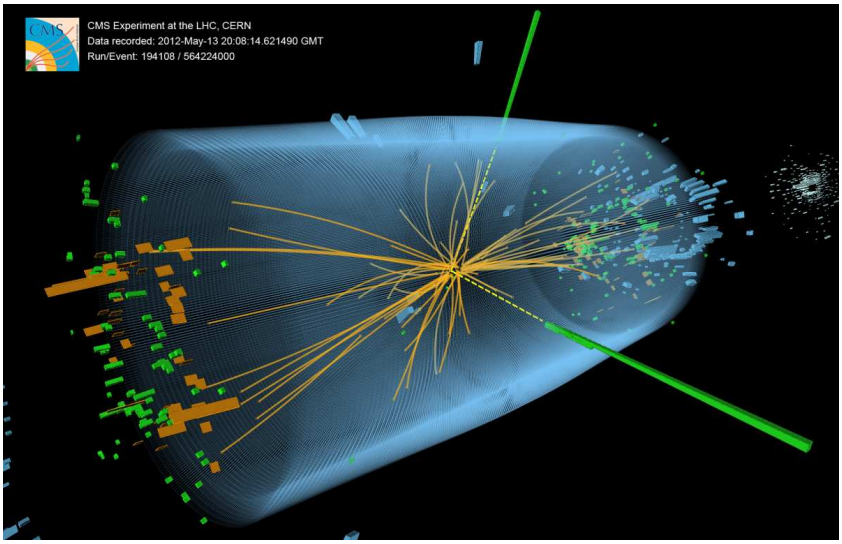
استراتژی جستجو در CMS

CMS تمام داده های تولید شده از برخورد پروتون-پروتون را که طول سال ۲۰۱۱ و نیز تا ۱۸ژوئن ۲۰۱۲ جمع آوری شده را مورد بررسی کامل قرار داده است. حجم این داده ها، با انرژی مرکز جرم ۷ تراالکترون ولت در سال ۲۰۱۲ معادل درخشندگی کل حداکثر $5/1 fb^{-1}$ [۵] بوده است. حجم داده های سال ۲۰۱۲ با انرژی ۸ تراالکترون ولت تاکنون به fb^{-1} $5/3^{1}$ رسیده است.

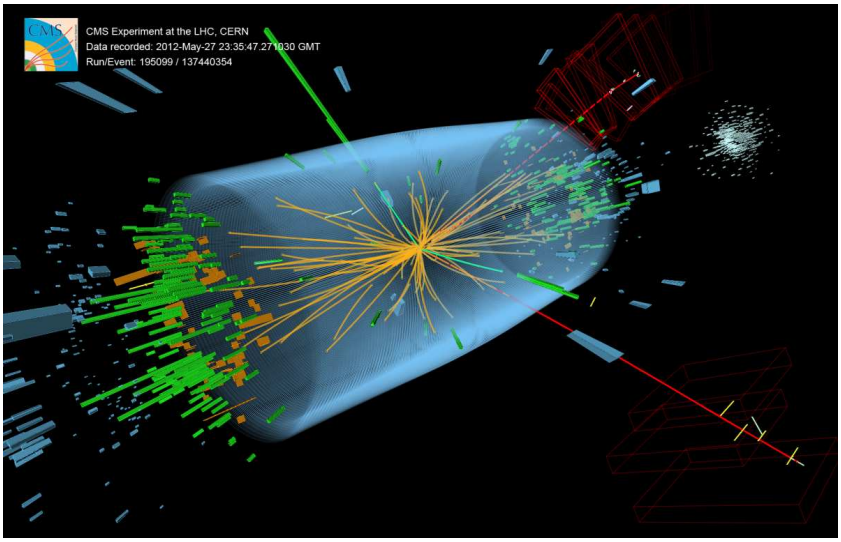
بر اساس پیش بینی های مدل استاندارد، ذره هیگز پس از مدت زمان خیلی کوتاه به ذرات شناخته شده دیگری واپاشی می کند. CMS پنج شاخه مهم واپاشی بوزون هیگز را مورد مطالعه قرار داده است. سه شاخه به حالت های نهایی که شامل ذرات بوزنی (WW یا ZZ و γγ) منجر می شوند. و دو شاخه دیگر ذرات فرمیونی (ττ یا bb) خواهند بود. γ در اینجا اختصاری برای فوتون، W و Z اختصاری برای حامل نیروی برهم کنش ضعیف هستند. b اختصار کوارک "ته" و τ

اختصاری برای ذرات لپتون τ می باشد. در جستجوی ذره هیگز، سه شاخه (WW یا ZZ و $\gamma\gamma$) دارای حساسیت یکسان و هر سه آنها از شاخه های bb و $\tau\tau$ حساس ترند.

شاخه های $\gamma\gamma$ و ZZ دارای اهمیت ویژه ای هستند زیرا امکان اندازه گیری دقیق جرم این ذره جدید را فراهم می کنند. در شاخه $\gamma\gamma$ جرم این ذره بر حسب انرژی و جهت فوتون‌های تولید شده، تعیین می شود. این کمیت ها توسط انرژی سنج الکترومغناطیسی (ECAL ، شکل ۱) اندازه گیری می‌شوند. در شاخه ZZ، جرم از طریق واپاشی دو بوزون Z به دو جفت از الکترون ها یا دو جفت میوئون یا یک جفت الکترون و یک جفت میوئون تعیین می شوند (شکل ۲) . که این کمیت ها نیز در ECAL ، ردیاب و آشکارساز میوئونی تعیین می شوند.



شکل۱: رویداد ثبت شده توسط آشکارساز CMS در برخوردهای پروتون-پروتون با انرژی مرکز جرم ۸ ترالکترون‌ولت در سال ۲۰۱۲ . این رویداد ویژگی‌های موردانتظار از واپاشی بوزون هیگز مدل استاندارد به یک جفت فوتون (خط‌چین‌های زرد و امتداد سبزرنگ قطور آنها) را نشان می‌دهد. این رویداد همچنین می‌تواند ناشی از فرآیندهای شناخته‌شده پس زمینه در مدل استاندارد باشد.



شکل۲: رویداد ثبت شده توسط آشکارساز CMS در برخوردهای پروتون-پروتون با انرژی مرکز جرم ۸ ترالکترون‌ولت در سال ۲۰۱۲. این رویداد ویژگی‌های موردانتظار از واپاشی بوزون هیگز مدل استاندارد به یک جفت بوزون Z را نشان می‌دهد که یکی از آنها به یک جفت الکترون (خط‌های سبز با متداد سبزرنگ قطورتر)و دیگری به یک جفت میوئون (خط‌های قرمز) واپاشی کرده‌است. این رویداد همچنین می‌تواند ناشی از فرآیندهای شناخته‌شده پس زمینه در مدل استاندارد باشد.

شاخه WW پیچیده‌تر است. هر بوزون W به واسطه واپاشی خود به یک الکترون و یک نوترینو یا به یک میوئون و یک نوترینو شناخته می‌شود. نوترینوها از آشکارساز عبور می‌کنند بدون آنکه آشکارسازی شوند و درنتیجه بوزون هیگز مدل استاندارد در شاخه WW ، به جای یک قله آشکار در توزیع جرم، خود را به صورت یک برآمدگی پهن و گسترده نشان می‌دهد. شاخه bb پس‌زمینه‌های فراوانی از رویدادهای مدل استاندارد دارد، بنابراین آنالیزها به دنبال رویدادهایی هستند که در آن ذره هیگز همراه با یک بوزون W یا بوزون Z تولید می‌شود که سپس به الکترون(ها) ویا میوئون(ها) واپاشی می‌کند. شاخه ττ با مشاهده واپاشی لپتون τ به الکترون، میوئون یا هادرون‌ها اندازه‌گیری می‌شود.

خلاصه نتایج CMS

نمونه داده‌های CMS باید به حد کافی حساس باشد که بتواند در صورت عدم وجود ذره هیگز مدل استاندارد، محدوده جرمی ۶۰۰-۱۱۰ گیگاالکترون ولت را با ۹۵٪ سطح اطمینان کنار بگذارد. درواقع داده‌های CMS وجود ذره هیگز مدل استاندارد را با ۹۵٪ سطح اطمینان در دو محدوده وسیع جرمی ۱۲۲/۵-۱۱۰ گیگاالکترون ولت و ۶۰۰-۱۲۷ گیگاالکترون ولت رد می‌کند.

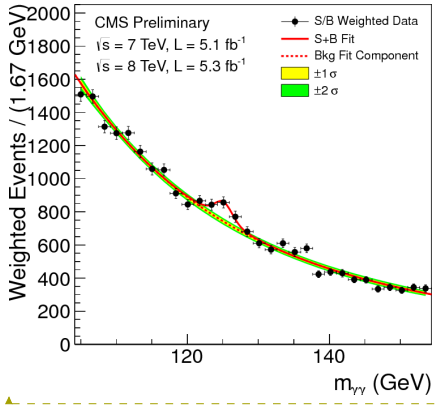
محدوده جرمی ۱۲۲/۵-۱۲۷ گیگاالکترون ولت را نمی‌توان کنار گذاشت زیرا ما در این محدوده شاهد فزونی رویدادها در چهار شاخه از پنج شاخه آنالیز هستیم:

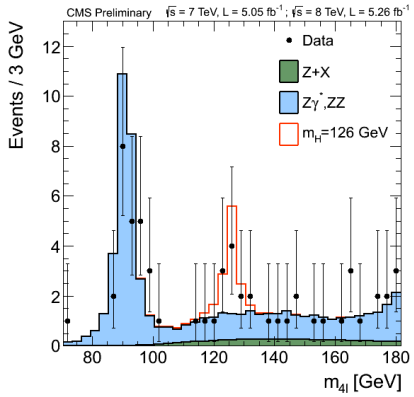
- شاخه $\gamma\gamma$ (دو فوتون): توزیع جرمی $\gamma\gamma$ در شکل ۳ نشان داده‌شده است. فزونی معادل σ ۴/۱ نسبت به رویدادهای پس‌زمینه در جرم نزدیک به ۱۲۵ گیگاالکترون ولت وجود دارد. مشاهده انجام شده در حالت پایانی دو فوتون بدین معناست که ذره جدید یک بوزون است، و نمی تواند ذره ای با اسپین ۱ باشد.
- شاخه ZZ: شکل ۴ توزیع جرمی چهار لپتون را نشان می‌دهد (دو جفت از الکترون‌ها، دوجفت از میوئون‌ها یا یک جفت از الکترون‌ها و یک جفت از میوئون‌ها). با درنظر گرفتن ویژگی‌های زاویه‌ای واپاشی، فزونی معادل σ ۳/۲ نسبت به رویدادهای پس‌زمینه در نزدیکی جرم ۱۲۵ گیگاالکترون ولت بدست می‌آید.
- شاخه WW: یک فزونی پهن معادل σ ۱/۵ در توزیع جرم مشاهده شده‌است.
- شاخه bb و شاخه $\tau\tau$: با آمار موجود هیچ فزونی مشاهده نمی‌شود.

یک برازش (fit) ترکیبی روی حساس‌ترین و دقیق‌ترین شاخه ها (ZZ و$\gamma\gamma$) اهمیت آماری معادل σ ۵/۰ بدست می‌دهد. احتمال اینکه افت و خیز رویدادهای پس‌زمینه به تنهایی منجر به این مقدار و یا بیش از آن شود برابر با یک در ۳ میلیون است. اهمیت آماری سیگنال ناشی از برازش ترکیبی روی هر ۵ شاخه (شکل ۵) معادل σ ۴/۸ نسبت به پس‌زمینه‌هاست.

جرم این ذره جدید، مستقل از هرگونه فرض درباره محصول نسبی مورد انتظار در هر شاخه واپاشی معادل ۱۲۵/۳ ±۰/۶ گیگا الکترون ولت تعیین شده است. آهنگ تولید اندازه گیری شده (σ_{Data}) برای این ذره با نرخ پیش بینی شده توسط مدل استاندارد ذرات برای ذره هیگز (σ_{SM}) تطابق دارد: $\frac{\sigma_{\mathrm{Data}}}{\sigma_{SM}} = 0.80 \pm 0.22$

دقت بسیاری در زمینه شناخت کارایی آشکارساز، انتخاب رویدادها، شناخت رویدادهای پس زمینه و دیگر منابع آماری و غیر آماری که موجب عدم قطعیت در اندازه گیری می شود، انجام شده است. تحلیل دادها در سال ۲۰۱۱ [۶] یک فزونی را در رویدادها در حدود جرم ۱۲۵ گیگا الکترون ولت نشان داد. بنا براین برای جلوگیری از هرگونه جهت گیری احتمالی ناشی از داده های سال ۲۰۱۱، تحلیل دادها در سال ۲۰۱۲ به صورت کور [۷] انجام شد. بدین معنی که ناحیه مورد علاقه بررسی نشد تا زمانی که تمامی شرایط تحلیل داده مورد بررسی موشکافانه قرار گرفت و تایید شد.





شکل ۴: توزیع جرم بازسازی شده چهار لپتون برای مجموعه شاخه های ۴ الکترونی، ۴ میوئونی و دو الکترون-دو میوئون. نقاط نشانگر داده، توزیع های رنگی نشان دهنده پس زمینه و توزیع بی رنگ نشان دهنده انتظار ما از سیگنال است. توزیع ها به صورت انباشت شده روی هم نمایش داده شده اند. اندازه گیری ها در داده های باانرژی مرکز جرم ۷ تراالکترون ولت و ۸ تراالکترون ولت انجام شده است.

شکل ۳: جرم ناوردای دو فوتون با داده های **CMS** در سال های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ (نقاط سیاه با خطا). در هر زیرمجموعه از رویدادها، داده ها با نسبت سیگنال به پس زمینه توزین شده اند. خط توپر قرمز رنگ نتیجه برازش داده با سیگنال بعلاوه پس زمینه است. خط چین قرمز پس زمینه تنها را نشان می دهد.

همچنین برای جلوگیری از بروز هرگونه خطای احتمالی، تحلیل داده ها توسط حداقل ۲ گروه مستقل انجام گرفته است.

تعدادی دیگر از مشاهدات بر اطمینان از نتایج بدست آمده افزوده است.

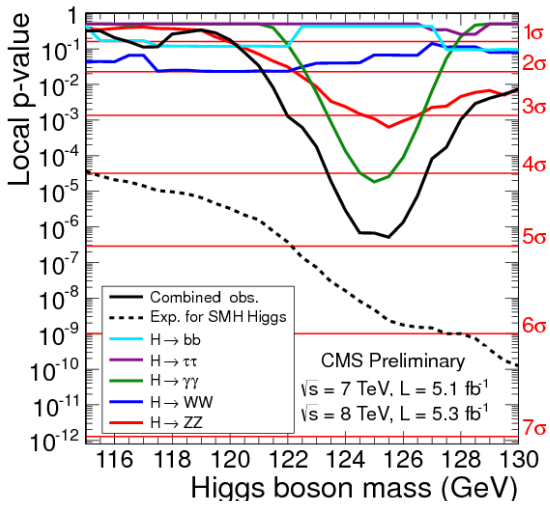
- فزونی در جرم حدود ۱۲۵ گیگاالکترون ولت هم در داده های ۲۰۱۱ (۷ ترا الکترون ولت) و هم در داده های ۲۰۱۲ (۸ ترا الکترون ولت) دیده می شود.
- این فزونی در جرم یکسان در هر دو شاخه واپاشی با قدرت تفکیک بالا (ZZ و$\gamma\gamma$) مشاهده می شود.
- فزونی دیده شده در شاخه WW با آن چیزی که می تواند از ذره ای با جرم ۱۲۵ گیگا الکترون ولت ناشی شود، تطابق دارد.
- فزونی رویدادها درمحدوده ای ازحالت های نهایی مختلف شامل فوتون ها، الکترون ها، میوئون ها و هادرونها دیده می شود.

نتایج اولیه ای که امروز نشان داده شد، تا پایان تابستان امسال بازبینی شده به مجلات پژوهشی فرستاده خواهد شد.

Formatted: Complex Script Font: B Nazanin

Formatted: Complex Script Font: B Nazanin

Formatted: Complex Script Font: B Nazanin



شکل ۵: احتمال موضعی (local P-Value) مشاهده شده از اینکه فرضیه «پس زمینه تنها» تعداد رویدادهایی یکسان یا بیش از آنچه در داده های CMS دیده شده بدست دهد، را به صورت تابعی ازجرم هیگز مدل استاندارد در ۵ شاخه مورد مطالعه نشان می دهد. خط توپر سیاه احتمال موضعی ترکیبی برای تمامی شاخه ها می باشد.

افق های آینده:

ذره جدید مشاهده شده در محدوده جرم ۱۲۵ گیگا الکترون ولت، با دقت آماری محدود مطابق با بوزون هیگز مدل استاندارد ذرات است. اگرچه داده های بیشتری لازم است تا مشخصات این ذره از قبیل آهنگ واپاشی این ذره به شاخه های مختلف (ZZ، γγ، bb، WW و ττ) و نهایتا اسپین و پاریته آن اندازه گیری شود و معلوم گردد که آیا این ذره جدید واقعا بوزون هیگز مدل استاندارد است یا حاصل از فیزیک جدیدی است که می تواند ورای مدل استاندارد وجود داشته باشد.

LHC همچنان با کارایی بسیار خوب به کار خود ادامه می دهد ودر پایان سال ۲۰۱۲، CMS انتظار گرفتن بیش از سه برابر داده های موجود را دارد که موجب بررسی بیشتر طبیعت این ذره جدید می شود. اگر این ذره واقعا بوزون هیگز مدل استاندارد باشد، مشخصاتش به دقت مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. اگر این ذره جدید بوزون هیگز مدل استاندارد نباشدCMS ویژگی های این ذره جدید را مورد مطالعه قرار می دهد که این مطالعات می تواند دربرگیرنده ذرات دیگری باشد که در LHC قابل مشاهده هستند. در هر صورت، تحقیقات برای یافتن ذرات و نیروهای جدید که با عملکرد LHC در انرژی های بالاتر و درخشندگی بیشتر ممکن است تولید شوند، ادامه خواهند یافت.

درباره CMS :

CMS یکی از دو آزمایش چندمنظوره در LHC است که به هدف جستجو برای فیزیک جدید ساخته شده است. این آشکارساز طراحی شده تا محدوده وسیعی از ذرات و پدیده هایی را که در برخوردهای پرانرژی پروتون-پروتون و یون های سنگین تولید می شوند آشکار کند و در پاسخ به سوالاتی ما را یاری کند: « دنیا واقعا از چه چیزهایی ساخته شده و چه نیروهایی در آن عمل می کنند؟» ، «چه موجودی به همه چیز جرم می دهد؟». همچنین ویژگی های ذرات شناخته شده را با دقت بسیار بالایی اندازه می گیرد و به دنبال پدیده های جدید و پیش بینی نشده می گردد.چنین تحقیقاتی نه تنها دانش ما را از ساز و کار عالم افزایش خواهد داد بلکه نهایتا فن آوریهای جدیدی را به ثمر می رساند که جهان مارا تغییر خواهد داد، همچنانکه در گذشته نیز اثر علم چنین بوده است.

طراحی اولیه آزمایش CMS به سال ۱۹۹۹ برمی گردد و ساخت این آشکارساز عظیم (۱۵ متر قطر و تقریبا ۲۹ متر طول با جرم معادل ۱۴۰۰۰ تن) تلاش ۱۶ ساله یکی از بزرگترین گروه های علمی بین المللی را به خود اختصاص داد، شامل: ۳۲۷۵ فیزیک پیشه (دربرگیرنده ۱۵۳۵ دانشجو) بعلاوه ۷۹۰ مهندس و تکنسین از ۱۷۹ انستیتو و آزمایشگاه تحقیقاتی از ۴۱ کشور سرار دنیا.

توضیحات:

[۱] ICHEP2012 مخفف سی و ششمین کنفرانس بین المللی فیزیک انرژی های بالا ست که در ملبورن استرالیا از تاریخ ۴-۱۱ جولای سال ۲۰۱۲ برگزار می شود. نتایج به صورت مشترک و همزمان در سرن و ICHEP ارائه خواهند شد.

[۲] الکترون ولت (eV) واحد اندازه گیری انرژی است. در فیزیک ذرات که غالبا جای انرژی و جرم عوض می شود، استفاده از eV/c^2 بعنوان واحد جرم رایج است ($E=mc^2$ که c سرعت نور در خلا است). استفاده از واحدهای طبیعی که درآن c برابر با ۱ قرارداده می شود (بنابراین $E=m$) حتی رایج تر است.

[۳] انحراف معیار آزمونی است که نشان می دهد با فرض درستی یک نظریه، تا چه حد یک مجموعه داده رفتاری ناسازگار دارد. فیزیک دان ها این انحراف معیار را با واحد σ بیان می کنند. هرچقدر که انحراف معیار از واحد بزرگتر باشد، نشان دهنده ناسازگاری بیشتر داده ها با نظریه مورد بحث است. معمولا هر قدر کشف یک پدیده غیرمحتمل تر باشد، مقادیر بزرگتری از انحراف معیار برای متفاعد کردن فیزیک دانها لازم است.

[۴] سطح اطمینان عبارتست از یک آزمون آماری از درصد نتایج یک تست در محدوده مورد انتظار . به عنوان مثال، سطح اطمینان ۹۵٪ به معنای آن است که نتیجه یک عمل در ۹۵٪ موارد با آنچه انتظار می رود همخوانی دارد.

[۵] http://news.stanford.edu/news/2004/july21/femtobarn-721.html

[۶] نتایج تحقیقات هیگز در CMS با داده های جمع آوری شده تا سال ۲۰۱۱
http://cms.web.cern.ch/news/cms-search-standard-model-higgs-boson-lhc-data-2010-and-2011

[۷] آنالیز کور چیست؟ http://cms.web.cern.ch/news/blinding-and-unblinding-analyses