

Observação de uma nova partícula com uma massa de 125 GeV

Experiência CMS, CERN

4 de Julho de 2012

Resumo

Num seminário conjunto do CERN e da conferência “ICHEP 2012” [1], em Melbourne, os colaboradores da experiência Compact Muon Solenoid (CMS) do Large Hadron Collider (LHC) apresentaram hoje os seus resultados mais recentes e preliminares, acerca da pesquisa do bóson de Higgs do modelo padrão utilizando os dados adquiridos até Junho de 2012.

CMS observa um excesso de eventos produzidos com uma massa de aproximadamente 125 GeV [2] com uma significância estatística de cinco desvios padrão (5 sigma) [3] acima do ruído de fundo. A probabilidade de o ruído de fundo flutuar estatisticamente de modo a reproduzir (ou exceder) o número de eventos observado é de cerca de um em três milhões. A evidência experimental é mais significativa nos dois estados finais com melhor resolução em massa: primeiramente no estado final com dois fótons e em segundo lugar em estados finais com dois pares de léptões carregados (eléctrons ou múões). O excesso é interpretado como sendo resultante da produção de uma partícula com uma massa próxima de 125 GeV e até agora desconhecida.

Os dados adquiridos por CMS permitem ainda excluir a existência de um bóson de Higgs, de acordo com o que é permitido pelo modelo padrão, nos intervalos de 110 a 121.5 GeV e de 127 a 600 GeV com um intervalo de confiança de 95% [4]. As experiências realizadas no âmbito do colisionador LEP do CERN já tinham permitido excluir massas inferiores com o mesmo nível de confiança estatística.

Dentro das incertezas estatísticas e sistemáticas, os novos resultados obtidos por CMS para os diferentes canais de pesquisa explorados são consistentes com as características do bóson de Higgs do modelo padrão. No entanto, para obter a confirmação de que a nova partícula tem todas as propriedades previstas para o bóson de Higgs ou de modo a se estabelecer se alguma(s) das propriedades difere(m) do esperado, apontando para nova física para lá do modelo padrão, será necessário tomar mais dados.

O LHC continua a produzir dados a um ritmo notável. Até ao final de 2012 CMS espera triplicar o volume actual dos dados adquiridos. Os novos dados permitirão à colaboração CMS perscrutar melhor a natureza desta nova partícula e, em simultâneo, pesquisar nova física noutros canais de interesse.

A estratégia de pesquisa de CMS

CMS analisou dados adquiridos de colisões próton-próton realizadas durante o ano de 2011 e durante 2012 (até 18 de Junho). Os dados constituem no total 5.1 fb^{-1} de luminosidade integrada [5] a uma energia de centro de massa de 7 TeV em 2011 e até 5.3

fb^{-1} a uma energia de centro de massa de 8 TeV em 2012.

O modelo padrão prevê que, após ser produzido, o bóson de Higgs existe num curto intervalo de tempo desintegrando-se ou decaindo em partículas secundárias. A colaboração CMS estudou cinco dos canais de decaimento mais relevantes do bóson. Três dos canais contêm pares de bósons no estado final: dois fótons ($\gamma\gamma$) ou duas das partículas responsáveis pela interacção electrofraca (ZZ ou WW). Os dois outros canais contêm fermiões: dois quarks “bottom” (bb) ou dois leptões tau ($\tau\tau$). No caso de um bóson de Higgs com uma massa próxima de 125 GeV os canais com pares de bósons - $\gamma\gamma$, ZZ e WW – são os que oferecem maior potencial de descoberta.

Os canais $\gamma\gamma$ e ZZ oferecem a melhor resolução experimental e permitem efectuar uma medida precisa da massa da nova partícula. No canal $\gamma\gamma$ a massa é determinada a partir da energia e direcção de dois fótons medidos pelo calorímetro electromagnético de CMS, composto de cristais de PbWO_4 (ECAL, Figura 1). No canal ZZ a massa é determinada a partir dos produtos de decaimento de cada bóson Z, isto é, a partir dos dois pares de electrões, muões ou de uma combinação dos anteriores, resultantes do decaimento de cada um dos Z (Figura 2). Estas partículas são medidas tanto pelo ECAL como pelo tracejador de silício ou pelos detectores de muões.

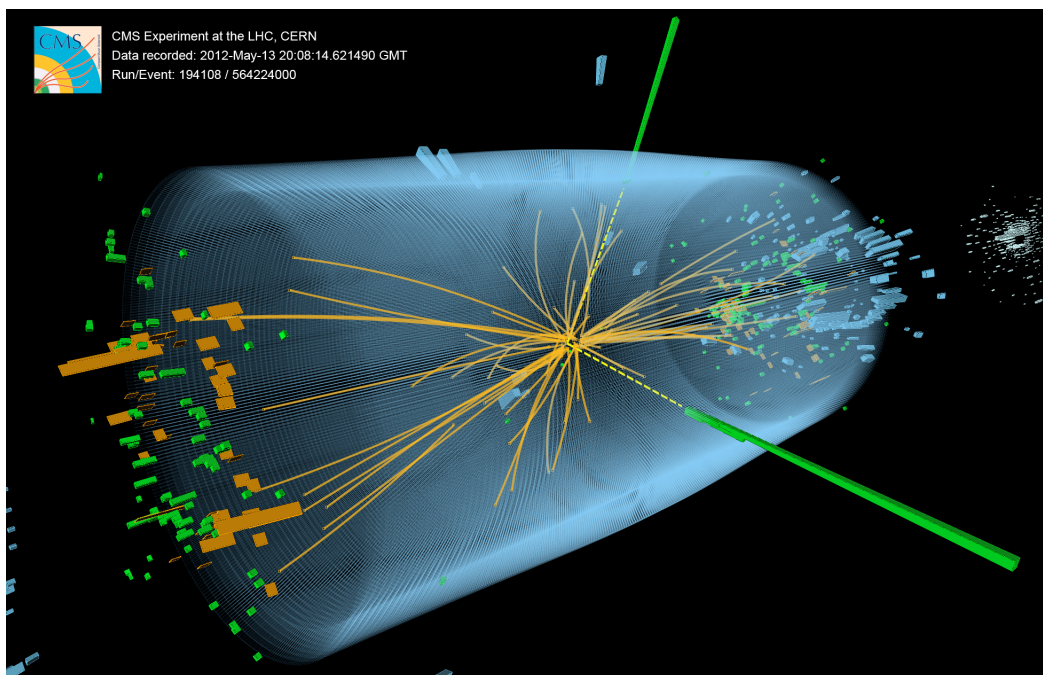


Figura 1 – Evento registado pelo detector CMS em 2012 após uma colisão de feixes de prótons a uma energia de centro de massa de 8 TeV. O evento mostra as características esperadas de um decaimento de um bóson de Higgs do modelo padrão num par de fótons (linhas tracejadas a amarelo apontando na direcção de um conjunto de torres verdes). O evento é igualmente compatível com processos de fundo conhecidos no âmbito do modelo padrão.

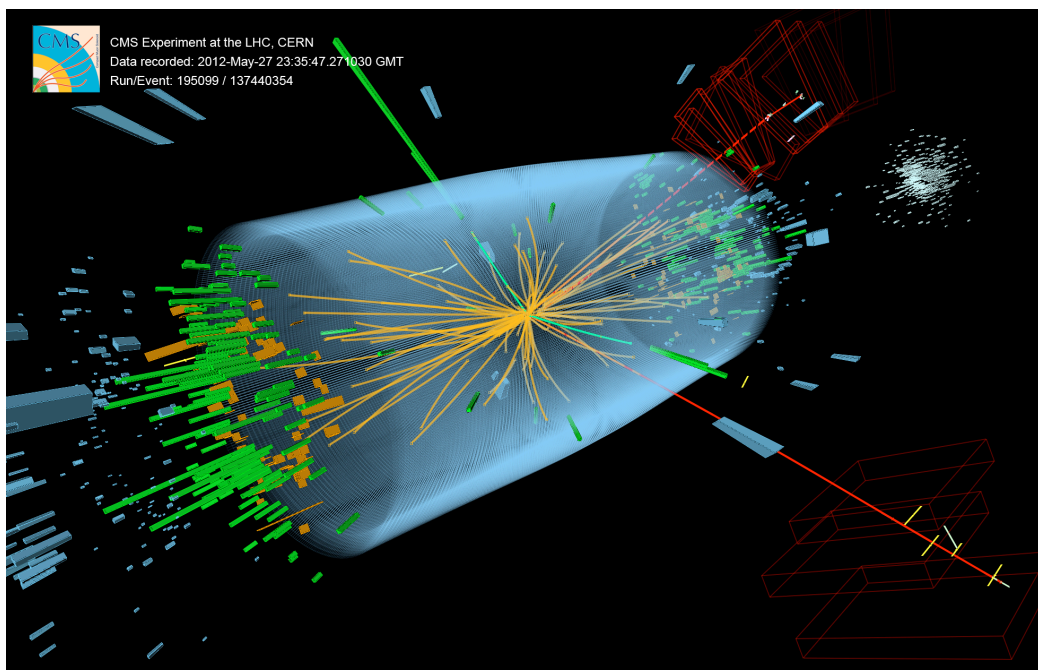


Figura 2 – Evento registado pelo detector CMS em 2012 após uma colisão de feixes de prótons a uma energia de centro de massa de 8 TeV. O evento mostra as características esperadas para um decaimento de um bóson de Higgs do modelo padrão num par de bosões Z os quais decaem subsequentemente num par de electrões (linhas verdes apontando na direcção de um conjunto de torres verdes) e num par de muões (linhas vermelhas). O evento é igualmente compatível com processos de fundo conhecidos no âmbito do modelo padrão.

O canal WW é mais difícil de interpretar experimentalmente. Cada W é identificado pelo seu decaimento num electrão e num neutrino ou num muão e num neutrino. Os neutrinos atravessam o detector de CMS sem interagirem com os seus elementos. Desta forma, no canal WW , a presença de um bóson de Higgs manifestar-se-ia como um excesso global da distribuição de massa ao contrário da observação de um pico ressonante. O canal bb é afectado por um nível elevado de ruído de fundo devido à contaminação por processos do modelo padrão. A pesquisa pelo bóson de Higgs neste canal é feita em produção associada com um bóson W (ou um bóson Z), os qual decai subsequentemente em electrão ($\bar{\nu}_e$) ou muão ($\bar{\nu}_\mu$). No caso do canal $\pi\pi$ a medida é feita pela observação destas partículas decaindo em electrões, muões ou hadrões.

Sumário dos resultados obtidos por CMS

Os dados adquiridos pela experiência deveriam ter a sensibilidade suficiente para excluir a hipótese da existência de um bóson de Higgs com um intervalo de confiança de 95% na região de massa de 110 a 600 GeV. Na prática os dados permitem excluir esta hipótese em dois grandes intervalos: 110 a 122.5 GeV e 127 a 600 GeV com um nível de confiança de 95%.

O intervalo restante, 122.5 a 127 GeV, não pode ser excluído pois é observado um excesso em três dos cinco canais analisados:

- **Canal $\gamma\gamma$** : a distribuição de massa dos pares de fótons é mostrada na Figura 3. Observa-se um excesso de 4.1 sigma acima do ruído de fundo para uma massa de cerca de 125 GeV. A observação do decaimento da nova partícula neste estado final permite inferir que se trata de um bóson e não de um fermião. Pode-se também inferir imediatamente que o spin da partícula é diferente de 1.

- **Canal ZZ:** a Figura 4 mostra a distribuição de massa dos quatro leptões (dois pares de electrões, dois pares de muões ou um par de electrões e um par de muões). Tendo em conta as distribuições angulares das partículas reconstruídas no estado final, obtém-se um excesso de 3.2 sigma acima do ruído de fundo para uma massa de cerca de 125 GeV.
- **Canal WW:** neste canal observa-se um excesso geral da distribuição de massa a um nível de 1.5 sigma acima do ruído de fundo.
- **Canais bb e $\tau\tau$:** nenhum excesso é observado.

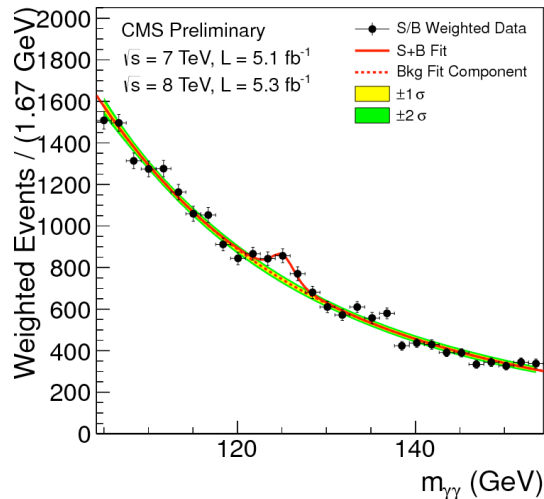


Figura 3. Espectro de massa invariante dos pares de fótons ($\gamma\gamma$) seleccionados nos dados de CMS de 2011 e 2012 (pontos negros com barras de erro). No espectro, a cada evento é atribuído um peso correspondente ao quociente de sinal/ruído esperado para a sub-categoria a que pertence. A linha vermelha sólida representa o resultado de um ajuste ao total de sinal e ruído de fundo, a linha vermelha a tracejado representa a contribuição do ruído de fundo.

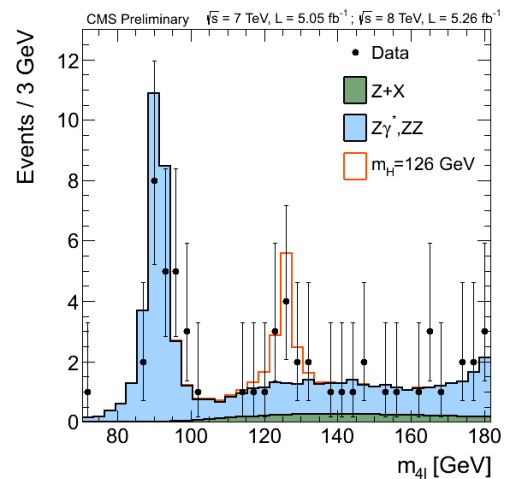


Figura 4. Espectro de massa invariante reconstruída nos diferentes canais com quatro leptões: 4e, 4 μ e 2e2 μ . Os pontos representam os dados, os histogramas opacos as diferentes contribuições de processos conhecidos e o histograma transparente as expectativas de sinal. As medidas são apresentadas para o total dos dados adquiridos às energias de centro de massa de 7 TeV e 8 TeV.

A significância estatística do sinal, obtida a partir de um ajuste combinando todos os cinco canais, é de 4.9 sigma acima do ruído de fundo e é mostrado na Figura 5. Um ajuste combinando apenas os dados dos dois canais com maior sensibilidade e com melhor resolução ($\gamma\gamma$ e ZZ) revela uma significância estatística de 5.0 sigma. A probabilidade de o ruído de fundo fluctuar estatisticamente e gerar um número de eventos compatíveis com o observado experimentalmente é de um em três milhões.

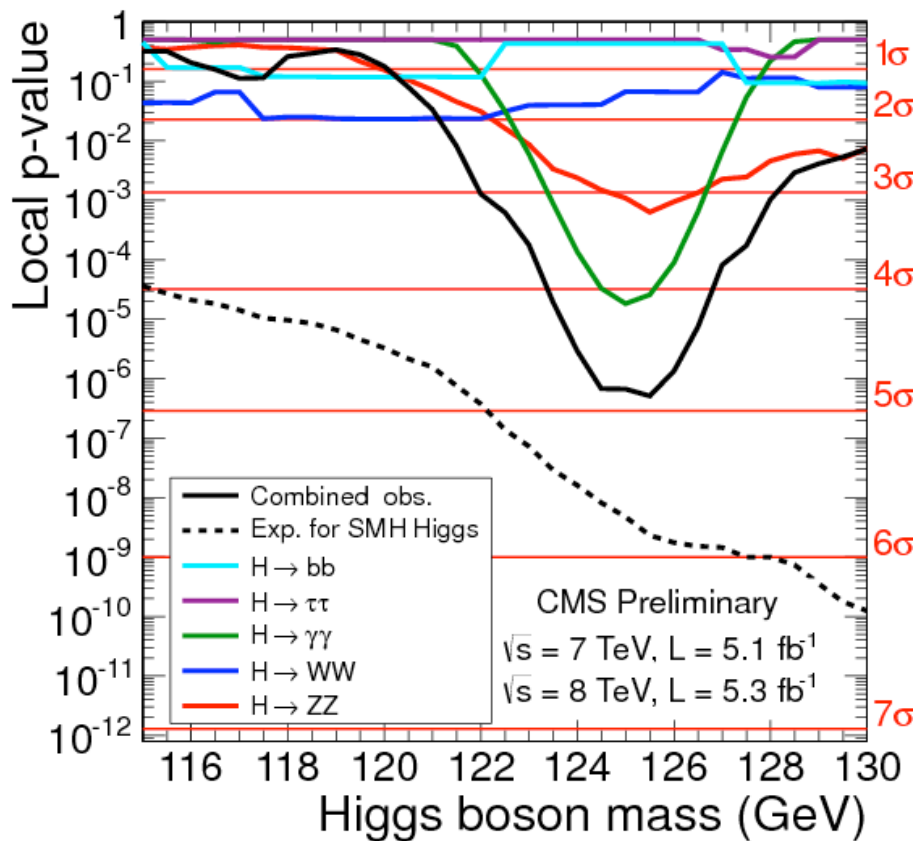


Figura 5. Probabilidade (valor-p) de na hipótese de existência exclusiva de processos conhecidos se observar o mesmo número de eventos, ou superior, ao registado pela experiência CMS. A curva de probabilidade é representada em função da massa do bóson de Higgs do modelo padrão para os cinco canais analisados. A linha preta corresponde ao valor-p combinado dos cinco canais.

Independentemente de qualquer hipótese específica assumida relativamente ao número de eventos registados em cada um dos canais foi possível determinar a massa da nova partícula como sendo 125.3 ± 0.6 GeV. A secção eficaz de produção (ou taxa de produção, σ) desta nova partícula, é compatível com a esperada pelo modelo padrão (σ_{SM}), registando-se que $\sigma/\sigma_{SM} = 0.80 \pm 0.22$.

Muitas verificações foram levadas a cabo de modo a tentar compreender os inúmeros detalhes de desempenho do detector, a selecção de eventos, os métodos de determinação do ruído de fundo e todas as fontes de incerteza sistemática e estatística. Dado que a análise efectuada aos dados de 2011 [7] já tinha evidenciado um excesso de eventos com cerca de 125 GeV a colaboração adoptou um procedimento de “dissimulação” ou “blindagem” [8] das regiões de interesse, as quais foram apenas reveladas após escrutínio cuidadoso e aprovação dos critérios de cada análise.

Cada análise foi ainda levada a cabo por pelo menos duas equipas independentes de investigadores de CMS, um método que permitiu validar independentemente todos os procedimentos em detalhe.

As observações correntes asseguram a confiança nos resultados obtidos:

- o excesso é observado na região dos 125 GeV tanto nos dados de 2011 (7 TeV) como nos dados de 2012 (8 TeV)
- o excesso é observado na mesma região de massa pelos dois canais de melhor resolução ($\gamma\gamma$ and ZZ);

- o excesso observado nos canais WW e bb é compatível com o que seria esperado da produção de uma partícula com uma massa de 125 GeV;
- o excesso é observado num conjunto de estados finais envolvendo fótons, electrões, múons e hádrons.

Os resultados preliminares hoje apresentados serão finalizados e refinados com o objectivo de serem submetidos para publicação no fim do Verão.

Planos para o futuro

A nova partícula observada por CMS com uma massa de 125 GeV é compatível com o bóson de Higgs do modelo padrão, tendo em conta a estatística ainda limitada. Um conjunto maior de dados é necessário para aferir das suas propriedades, taxas de decaimento nos diferentes canais ($\gamma\gamma$, ZZ , WW , bb e $\tau\tau$) e por fim o seu spin e a sua paridade. Após conhecimento detalhado e preciso das propriedades desta nova partícula poderemos concluir se realmente se trata do bóson de Higgs do modelo padrão ou se é o resultado de nova física para lá da prevista por este modelo.

O desempenho do LHC tem sido excelente e, até ao fim de 2012, CMS espera mais que triplicar a quantidade de dados adquiridos até à data, podendo levar a cabo a determinação das propriedades da nova partícula. Na hipótese de esta partícula ser de facto o bóson de Higgs do modelo padrão, as suas propriedades serão estabelecidas experimentalmente assim como as implicações da sua existência. Na hipótese de não ser o bóson de Higgs do modelo padrão, CMS estudará as consequências físicas inerentes, o que poderá incluir a produção de novas partículas observáveis no LHC. Em qualquer um dos casos a pesquisa de novas partículas e interacções continuará nas colisões a realizar futuramente no LHC, a energias e intensidades de feixe mais elevadas.

Acerca de CMS

Mais informações sobre a experiência CMS podem ser obtidas a partir da página oficial: <http://cern.ch/cms> ou contactando cms.outreach@cern.ch.

A experiência CMS é uma das duas experiências âmbito geral construídas no LHC com o objectivo de procurar sinais de nova física. Foi concebida para detectar uma grande espectro de partículas e fenómenos produzidos pelas colisões a alta energia de próton-próton e de iões pesados do LHC e para procurar a resposta a questões fundamentais como “O que constitui o Universo e que forças / interacções actuam nele?” e “O que origina a massa dos constituintes fundamentais da matéria?”. CMS medirá igualmente as propriedades fundamentais de partículas já conhecidas a uma precisão inigualável ao mesmo tempo que pesquisará fenómenos novos e imprevistos. Este tipo de pesquisa fundamental contribui, tal como sucedeu inúmeras vezes no passado, para um melhor conhecimento sobre o funcionamento do Universo e também para o desenvolvimento de tecnologias inovadoras capazes de transformar o nosso mundo.

A ideia original da experiência CMS data de 1992. A construção do detector gigantesco (com 15 m de diâmetro, 29 m de comprimento e um peso de 14000 toneladas) levou 16 anos e para ela contribuíram o esforço de uma das maiores colaborações científicas internacionais jamais formadas: mais de 3100 cientistas e engenheiros de 169 instituições e laboratórios distribuídos por 39 países em todo o mundo.

Notas de rodapé

[1] ICHEP é a sigla da 36^a Conferência Internacional de Física de Altas Energias que decorre em Melbourne, na Austrália, de 4 a 11 de Julho de 2012. Os resultados serão apresentados conjuntamente ao vivo no CERN e por transmissão directa de vídeo para a ICHEP.

[2] O electrão-volt é uma unidade de energia. Um GeV corresponde a 1,000,000,000 eV. Em física de partículas massa e energia são muitas vezes considerados equivalentes e é comum usar eV/c^2 como unidade de massa (a unidade decorre da relação $E=mc^2$ em que c é a velocidade de luz no vácuo). Em termos correntes é mais comum usar o chamado sistema de unidades naturais em que $c=1$ (donde $E=m$), e nesse caso usa-se eV como unidade de massa.

[3] O desvio padrão mede a dispersão de um conjunto de medidas em torno do valor medio. É normalmente usado como medida do nível de concordância de uma amostra de dados com determinada hipótese. Os físicos medem a quantidade de desvios padrão em unidades que designam de “sigma”. Quanto mais elevado é o número de sigma menor é a compatibilidade dos dados com a hipótese assumida como verdadeira. Em geral, quanto mais inesperada é uma descoberta, maior é o número de sigma requerido pelos físicos para ficarem convencidos da sua veracidade.

[4] Nível de confiança é uma medida estatística da percentagem dos resultados de um teste que se podem esperar encontrar num determinado intervalo. Por exemplo, um nível de confiança de 95% é atribuído a uma acção que resultará nas expectativas em 95% dos casos.

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

[6] <http://cms.web.cern.ch/news/should-you-get-excited-your-data-let-look-elsewhere-effect-decide>

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

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