

Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC

CMS Collaboration, CERN, Geneva, Switzerland

Article published in “Physics Letters B”, Received 31 July 2012. Received in revised form 9 August 2012. Accepted 11 August 2012. Available online 18 August 2012

ABSTRACT. Results are presented from searches for the standard model Higgs boson in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV in the Compact Muon Solenoid experiment at the LHC, using data samples corresponding to integrated luminosities of up to 5.1 fb^{-1} at 7 TeV and 5.3 fb^{-1} at 8 TeV. The search is performed in five decay modes: $\gamma\gamma$, ZZ , W^+W^- , $\tau^+\tau^-$, and bb . An excess of events is observed above the expected background, with a local significance of 5.0 standard deviations, at a mass near 125 GeV, signalling the production of a new particle. The expected significance for a standard model Higgs boson of that mass is 5.8 standard deviations. The excess is most significant in the two decay modes with the best mass resolution, $\gamma\gamma$ and ZZ ; a fit to these signals gives a mass of $125.3 \pm 0.4(\text{stat.}) \pm 0.5(\text{syst.}) \text{ GeV}$. The decay to two photons indicates that the new particle is a boson with spin different from one.

KEYWORDS: CMS, Higgs, Physics

Remarks

The Standard Model (SM) is the current physical theory capable of providing a unified description of three out of four fundamental forces: the electromagnetic, the weak and the strong ones. The interaction between elementary constituents of matter (quarks and leptons) is described as a result of the exchange of a field boson (the photon for electromagnetism, W and Z for the weak nuclear force and the gluon for the strong force). The SM predictions have been widely confirmed by experiments, but the mechanism through which the W and Z bosons acquire mass has not yet been elucidated.

In the sixtieth has been proposed that the spontaneous symmetry breaking can be obtained by the introduction of a scalar field, such a mechanism, once applied to the theory of electroweak interactions, requires the introduction of a complex doublet of scalar fields and

allows the generation of masses for W and Z bosons and also gives mass to fundamental fermions through a Yukawa interaction. The Higgs mechanism therefore requires that the masses of the W and Z bosons come from the absorption of three Goldstone bosons, the latter generated through the mechanism of spontaneous symmetry breaking (Electro-Weak Symmetry Breaking, EWSB). The remaining components of the complex doublet of scalar fields manifest as a new particle, the so-called Higgs boson.

The mass of the Higgs boson is a free parameter of the theory, although theoretical considerations suggest a value less than 1 TeV. Precision measurements have also shown that the mass of the boson must be less than 152 GeV at 95% confidence level (CL).

In the past decades the search for the Higgs boson has been at the center of the physics program of different accelerators such as LEP, which imposed a lower limit of 114.4 GeV at 95% CL, and the Tevatron, which ruled out the interval 162-166 GeV at 95% CL and observed an excess of events between 120 and 135 GeV.

The discovery of the Higgs boson is the main goal of the *Large Hadron Collider* (LHC). In the recent past LHC analyzed data collected in 2011 corresponding to an integrated luminosity of about 5 fb^{-1} at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$, further increasing the excluded mass range. In particular the CMS experiment excluded mass values in the range between 127 and 600 GeV to 95% CL and reported an excess of events close to 125 GeV. With the 2012 data taking the center of mass energy has been increased to $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ and a statistics of further 5 fb^{-1} has been collected.

The results reported in the article cited are based on the full data sample (2011 and 2012). The study has been conducted in five different decay channels: $H \rightarrow \gamma\gamma$, ZZ , W^+W^- , $\tau^+\tau^-$, and bb . The mass range between 110 and 160 GeV has been considered. The width of each observed peak is dominated by the instrumental resolution. The analyses have been carried out using a “blind” approach: the algorithms used and the selection signal procedure have been established and fixed before the results on the data in the signal region were examined. An excess of events consistent with the production of a new particle with a mass of about 125 GeV has been observed.

The observed significance is 5.0 standard deviations σ compared to an expected one of 5.8 σ .

The p-value is 4.6 in the range between 115-130 GeV and 4.5 σ in

the 110-145 GeV range.

The excess is most evident in the channels with better mass resolution, i.e. $H \rightarrow \gamma\gamma$ (with a significance of 4.1σ and $H \rightarrow ZZ$ (significance 3.2σ). The decay into two photons shows that the particle produced has integer spin different from one.

The result shown is consistent, within the uncertainties, with the observation of the Higgs boson predicted by the Standard Model. The collection of a larger statistical sample will determine whether the properties of the new particle are compatible with those provided by the SM for the Higgs boson.

Commento

Il Modello Standard (MS) è l'attuale teoria fisica capace di fornire una descrizione quantitativa e unificata delle interazioni elettromagnetica, nucleare debole e forte. Le interazioni fra i costituenti elementari della materia (quarks e leptoni) sono descritte come risultato dello scambio dei bosoni di campo (il fotone per l'elettromagnetismo, W e Z per l'interazione nucleare debole e il gluone per quella forte). Le predizioni del MS sono state ampiamente confermate sperimentalmente, ma il meccanismo attraverso il quale i bosoni W e Z acquisiscono massa non è ancora stato chiarito.

Negli anni '60 è stato proposto che la rottura spontanea della simmetria può essere ottenuta con l'introduzione di un campo scalare, meccanismo che applicato alla teoria delle interazioni elettrodeboli richiede l'introduzione di un doppietto di campi scalari complessi e permette sia la generazione delle masse per i bosoni di campo W e Z, sia di dare massa ai fermioni fondamentali attraverso un'interazione alla Yukawa. Il meccanismo di Higgs prevede quindi che le masse dei bosoni di campo debole W e Z siano il risultato dell'assorbimento di tre bosoni di Goldstone, quest'ultimi a loro volta generati attraverso il meccanismo della rottura spontanea di simmetria (Electro-Weak Symmetry Breaking, EWSB). Le componenti rimanenti del doppietto complesso si manifestano come una nuova particella scalare, il bosone di Higgs.

La massa del bosone di Higgs è un parametro libero della teoria, sebbene considerazioni teoriche di ordine generale suggeriscano un valore inferiore a 1 TeV. Misure di precisione hanno inoltre mostrato che la massa del Higgs deve essere inferiore a 152 GeV al 95 % confidence level (CL).

Nelle decadi passate la ricerca del bosone di Higgs è stata al centro del programma di fisica di diversi acceleratori quali il LEP, che ha imposto un limite inferiore pari a 114.4 GeV al 95 % CL, e il Tevatron, il quale ha escluso l'intervallo 162-166 GeV al 95 % CL e rilevato un eccesso di eventi tra 120 e 135 GeV.

La scoperta del bosone di Higgs rappresenta l'obiettivo principale del Large Hadron Collider (LHC) che nel passato recente, analizzando i dati raccolti nella presa dati del 2011 corrispondenti ad una luminosità integrata di circa 5fb^{-1} all'energia del centro di massa $\sqrt{s}=7$ TeV, ha contribuito ad ulteriormente aumentare l'intervallo di massa escluso.

In particolare l'esperimento CMS ha escluso valori di massa compresi fra 127 e 600 GeV al 95 % CL e riportato un eccesso di eventi vicino a 125 GeV. Con la presa dati del 2012, l'energia del centro di massa è stata aumentata a $\sqrt{s}=8$ TeV e una statistica di ulteriori circa 5fb^{-1} è stata raccolta.

I risultati oggetto del presente articolo riguardano l'analisi di entrambi i campioni di dati (2011 e 2012), lo studio è stato condotto in cinque diversi canali di decadimento: $H \rightarrow \gamma\gamma$, ZZ , W^+W^- , $\tau^+\tau^-$, and bb nell'intervallo di massa fra 110 e 160 GeV. La larghezza di ogni picco osservato è dominata dalla risoluzione strumentale. Le analisi sono state condotte utilizzando un approccio "blind": gli algoritmi utilizzati e la selezione del segnale è stata stabilita e fissata prima che i risultati sui dati nella regione di segnale fossero esaminati. Si osserva un eccesso di eventi consistente con la produzione di una nuova particella con massa di circa 125 GeV. La significanza osservata è di 5.0 deviazioni standard σ rispetto ad una significanza attesa di 5.8σ . Il p-valore osservato nell'intervallo 115-130 GeV è 4.6σ mentre nell'intervallo 110-145 GeV è pari a 4.5σ .

L'eccesso è più evidente nei canali con migliore risoluzione sulla massa, cioè $H \rightarrow \gamma\gamma$, dove si ottiene una significanza di 4.1σ , e $H \rightarrow ZZ$, dove la significanza raggiunta è 3.2σ . Il decadimento in due fotoni mostra che la particella prodotta ha spin intero diverso da uno. Il risultato mostrato è consistente entro le incertezze con l'osservazione del bosone di Higgs previsto dal MS. La raccolta di un campione statistico maggiore permetterà di verificare se le proprietà della nuova particella sono compatibili con quelle previste dal MS per il bosone di Higgs.