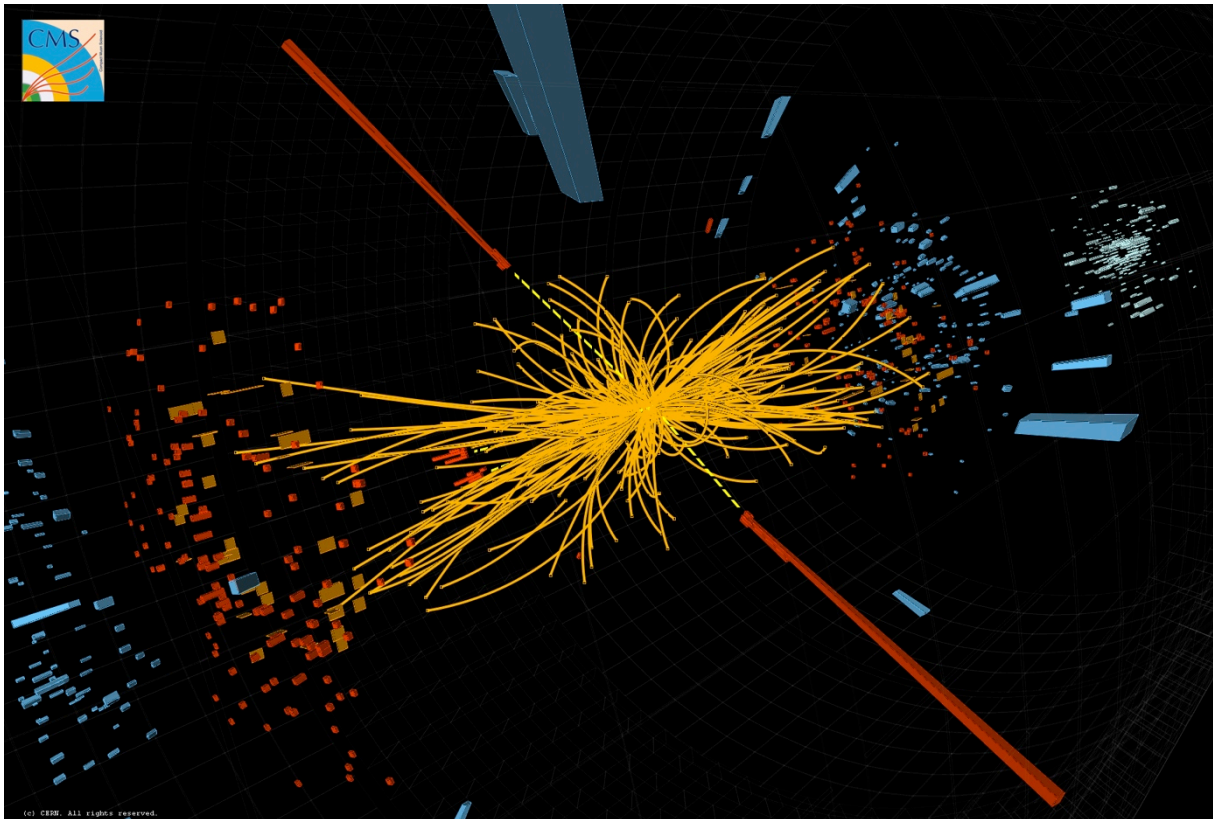


## CMS 在 2010 和 2011 年 LHC 數據中搜尋標準模型希格斯玻色子

CERN · 2011 年 12 月 13 日

希格斯玻色子是粒子物理「標準模型」所預期的粒子中唯一尚未被實驗觀察到的。它的發現將使我們對於粒子如何獲得質量的理解向前邁進一大步。反之，在大強子對撞機若沒有找到標準模型希格斯玻色子將會很有意思，使注意力更聚焦在將標準模型加以延伸、具有似希格斯粒子的替代理論。

今天，CMS 實驗團隊公佈了搜尋標準模型希格斯玻色子的最新結果。這個結果使用了到 2011 年底為止的所有質子-質子碰撞數據，總量相當於  $4.7 \text{ fb}^{-1}$  的累積亮度 [註 FB]。這表示 CMS 可以在 CERN 大電子正子對撞機 (LEP) 當年所設下限  $114 \text{ GeV}/c^2$  (即自然單位的  $114 \text{ GeV}$  [註 GEV]) 之上、直到  $600 \text{ GeV}$  的將近全部質量範圍裏，研究希格斯的產生。本研究結果綜合了在數個預期的希格斯「衰變通道」的搜尋，包括 W 或 Z 玻色子對 (之後衰變到四顆輕子)、重夸克對、濤輕子對及光子對 (圖一)。

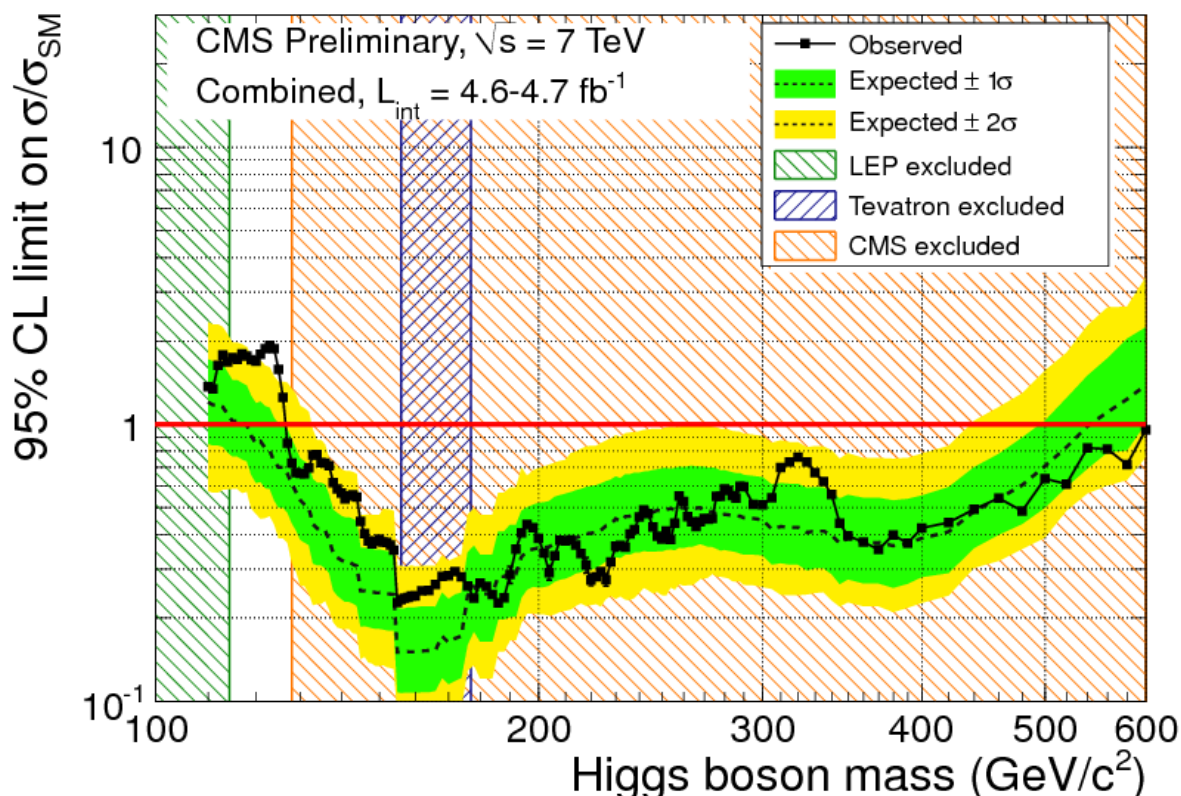


圖一：一個含有兩顆高能光子的典型候選事例，其能量 (以紅「塔」繪出) 在 CMS 的「電磁量能器」中量測。黃色線條為在碰撞事件產生而被量測到的其他粒子軌跡。

我們的初步結果，依幾個不同的統計信心水準 [註 CL]，在寬廣的希格斯玻色子可能質量範圍排除了標準模型希格斯玻色子的存在：

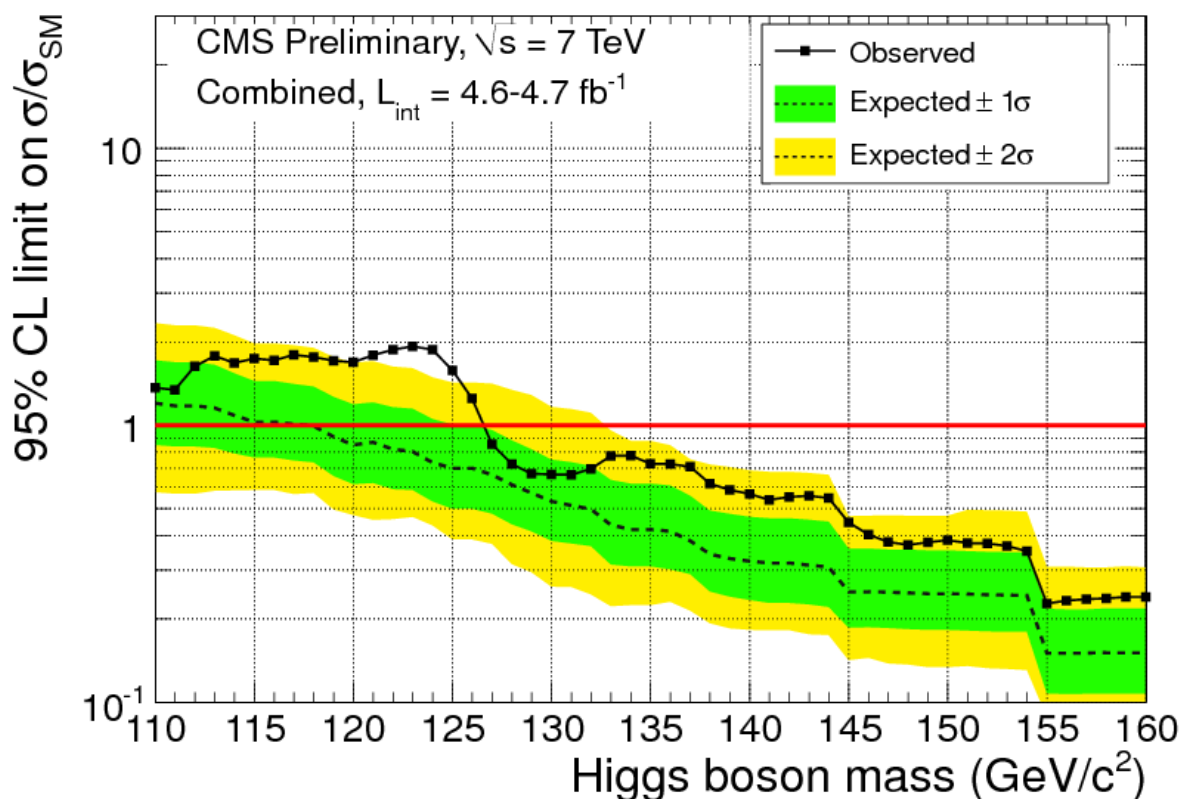
- $127 - 600 \text{ GeV}$ ，百分之九十五的信心水準，如圖二 a 所示；
- $128 - 525 \text{ GeV}$ ，百分之九十九的信心水準。

所謂「以百分之九十五的信心水準排除了」某個質量，乃是指如果標準模型希格斯玻色子具有該質量，則在一組重複多次的相同實驗中，應該會有 95% 的比率給出比在我們的數據中所看到的為多的證據。



圖二 a：依百分之九十五信心水準的標準模型希格斯玻色子質量排除範圍 (紅線以下)。此分析是根據 CMS 在 2010 和 2011 年所取得的 4.7 fb<sup>-1</sup> 質子-質子碰撞數據，但不包括部份偵測器表現未臻理想時的數據。劃了斜線的區間顯示先前 LEP、或費米實驗室 Tevatron 對撞機，以及現在 CMS 所排除的質量範圍。虛線及綠、黃色帶則是對應於實際分析的數據量所預期的平均 CMS 靈敏度 (黑點為實際分析結果)。

在百分之九十五的信心水準，我們並不排除質量在 115 GeV 到 127 GeV 之間的標準模型希格斯玻色子。和標準模型的預期相比，在這個質量區間有「超額」事例 (參圖二 b)，並且在五個獨立的通道相當一致的出現。



圖二 b：根據 CMS 在 2010 和 2011 年所取得且認證的  $4.7 \text{ fb}^{-1}$  質子-質子碰撞數據，僅顯示較低質量區域的標準模型希格斯百分之九十五信心水準排除範圍。

以目前為止所收集到的數據量，要在這個低質量區域區分希格斯玻色子訊號存在或不存在這兩個假設，在先天上就相當困難。不論標準模型希格斯玻色子是否存在於此質量範圍，所觀察到的超額事例都可以是已知背景過程的統計擾動。將在 2012 年收集到的更大數據量會減少統計不確定性，使我們屆時能夠明確宣告標準模型希格斯玻色子究竟是否在這個質量範圍內。

這個超額現象與標準模型希格斯玻色子存在於 124 GeV 附近或以下的假設較相符。然而一旦考慮了所謂的「到處搜」效應 [註 LEE] 之後，與已知背景比較的統計可信度只有不到 2 個標準差 ( $2\sigma$ )。這樣的可信度仍遠低於一般認定的基準，無法確定這個超額現象是否能夠經得起時間的考驗。

儘管有很大的不確定性，假設我們所看到的超額現象可以是標準模型希格斯玻色子的徵兆，則每個衰變道看到的產生率（相對於標準模型的「截面」， $\sigma/\sigma_{\text{SM}}$ ）與預期相符。然而，偏低的統計可信度意味著這些超額現象可合理地解釋為背景擾動。

在 2012 年收集到的更多數據將有助於確定這個超額現象的根源。

## 參考文獻

[註 FB] fb 為 femto barn 的縮寫，即一個 barn 截面積（一平方公分的一兆分之一，約為鈾原子核的截面積）的千兆分之一。一個  $\text{fb}^{-1}$  的數據量，可想成若將一個沒有大小的質點丟向一個只有鈾原子核截面千兆分之一的微小區域，也會產生一個碰撞事件。（進一步通俗英文闡述請參 <http://news.stanford.edu/news/2004/july21/femtobarn-721.html>）

[註 GEV] 電子伏特是一個能量單位。在質量和能量常交替互換的粒子物理學，常用  $eV/c^2$  為質量單位，即電子伏特除以真空中光速  $c$  的平方 (從  $E = mc^2$  而來)。更常見的乃是使用將光速  $c$  設為 1 的「自然」單位系統 (因而  $E = m$ )，而僅用  $eV$  為質量單位。

[註 CL] 信心水準乃是一種統計度量，每一百次會有幾次測試結果會在一定範圍內出現的預期。例如，95%的信心水準就是某個動作的結果會有 95%的機會與預期相符。(英文資料來源：[NADbank](#))

[註 LEE] 搜尋範圍廣大卻不知道預期值該是多少，譬如希格斯玻色子 (不知質量為何)，必須考慮「到處搜」效應：正因為在多處尋找，找着一些什麼的機會增加了，因此必須對結果的統計可信度做些修正。(進一步英文闡述請參 <http://cms.web.cern.ch/news/should-you-get-excited-your-data-let-look-elsewhere-effect-decide>)