

终于看到希格斯玻色子衰变成底夸克

(中国原子能科学研究院 周书华 编译自 Howard E. Haber. *Physics*, September 17, 2018)

50年前，Steven Weinberg 和 Abdus Salam 分别提出了弱相互作用理论。传递弱相互作用的W和Z玻色子必须具有大质量才能解释弱力的短程性。为引入这些质量，Weinberg 和 Salam 假定W和Z玻色子通过与一种场相互作用而获得质量。这种场是Peter Higgs (希格斯) 等早些时候提出的。“希格斯场”的存在意味着希格斯玻色子的存在，经过几十年的寻找，最终在强子对撞机LHC上工作的ATLAS和CMS合作组于2012年在质子—质子对撞产生的碎片中发现了这种粒子。

这是粒子物理的胜利，也是新追求的开始：确定物理学家是否正确地了解了希格斯玻色子与其他粒子的相互作用。

CMS 和 ATLAS 合作组通过观测希格斯玻色子衰变成一对底夸克，证实了目前对这种相互作用认识的主要部分。

弱相互作用理论最终纳入粒子物理标准模型。希格斯机制是该理

论的关键。不仅能解释W和Z玻色子的质量，而且提供了解释基本费米子——夸克和带电轻子质量的方法。在标准模型中，费米子通过Yukawa相互作用与希格斯场直接耦合，产生费米子的质量以及费米子与希格斯玻色子的耦合。

希格斯玻色子—费米子相互作用的强度与费米子的质量成正比，因此与最重的夸克——顶夸克相互作用最强。但是顶夸克比希格斯玻色子重，按照能量守恒要求，最可能发生的是衰变成一对底夸克($H \rightarrow b\bar{b}$)。质子—质子碰撞直接产生大量底夸克对，在 10^7 的底夸克对中只有一对是希格斯玻色子衰变产生的。在如此高的本底中选出一个信号几乎不可能。因此，在CERN寻找希格斯玻色子时，关注本底低一些的两个稀有衰变道：一道衰变成两个光子，一道经由Z玻色子对衰变成4个带电轻子，两个道的概率分别为 2×10^{-3} 和 10^{-4} 。

观测到这些稀有衰变足以宣称发现希格斯玻色子，但是并未提供希格斯玻色子与费米子耦合的直接证据。相继的实验，通过观测与顶夸克一同生成的希格斯玻色子，以及希格斯玻色子衰变成一对 τ 轻子，证实了这种直接的耦合。

质子—质子碰撞有时产生1个希格斯玻色子与1个W或Z玻色子，称作VH事件。选择这样产生的希格斯玻色子使本底降低到可接受程度。

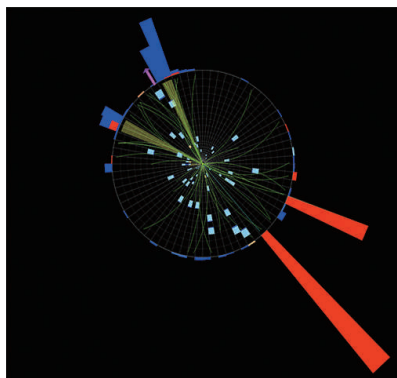
为鉴别VH事件，实验人员考虑到：W有时衰变成一个带电轻子

和一个中微子，而Z有时衰变成一对中微子或一对带电轻子。这些次级粒子作为VH事件的标记。实验人员寻找带有这些标记的两个底夸克喷注。

基于VH事件，CMS观测到 $H \rightarrow b\bar{b}$ 衰变，统计显著性为4.8个标准偏差。而CMS还能从希格斯玻色子与其他粒子协同产生的事件推断出 $H \rightarrow b\bar{b}$ 衰变。将这些结果结合，得到显著性为5.6个标准偏差。超过了粒子物理对于宣称一项发现所要求的5个标准偏差。ATLAS采用类似方法，观测到显著性为5.4个标准偏差的 $H \rightarrow b\bar{b}$ 信号。

CMS 和 ATLAS 还将所观察到的 $H \rightarrow b\bar{b}$ 事件数与标准模型的预期做了比较，为此定义了称为信号强度的比值。对于与VH过程相关的 $H \rightarrow b\bar{b}$ 事件，CMS测量到的信号强度为 1.01 ± 0.22 ，证实了标准模型的预言。ATLAS得到几乎完全相同的结果。

所测量的希格斯玻色子与三种最重的费米子——顶夸克、底夸克和 τ 轻子的耦合与标准模型预言一致，但是几乎没有关于希格斯玻色子与较轻的费米子耦合的实验信息。未来，LHC以高亮度运行十年，可能将 $H \rightarrow b\bar{b}$ 测量的不确定性缩小2到4倍。还可改进希格斯玻色子其他衰变道的灵敏度，或许还可能发现至今未知的希格斯玻色子稀有衰变模式。这些精确的测量将为标准模型提供严格的检验。甚至可能揭示出标准模型理论的重要缺陷。



在CERN的ATLAS和CMS合作组观测到希格斯玻色子衰变成一对底夸克，这是希格斯玻色子最可几的衰变道