

陈国明

### 1. 大型强子对撞机

大型强子对撞机 (Large Hadron Collider, 简称 LHC) 2010 年 3 月开始运行, 对撞能量为 7TeV, 这是设计能量 14 TeV 的一半。瞬时亮度从  $10^{27}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  迅速上升, 2010 年底达到  $10^{32}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , 2011 年底达到  $10^{33}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , 积分亮度有 5/fb, 超过原来的预期。LHC 进入出成果阶段。

LHC 设有 4 个对撞点, 它们是 ATLAS、ALICE、CMS 和 LHCb, 其中 ATLAS 和 CMS 是其主要实验, 这两个实验的目标是寻找希格斯 (Higgs) 粒子和其他新的物理现象。本文主要介绍在 ATLAS 和 CMS 实验上寻找希格斯粒子的进展。由于本人参加了 CMS 实验, 因此对 CMS 的介绍会详细一些。

### 2. 希格斯粒子

根据标准模型, 希格斯粒子是质量之源。

地球绕太阳旋转没有飞出去, 是因为地球和太阳之间存在引力, 而引力的起因是质量。地球上每个物体都有质量, 它们都能感受到地球对它的引力。然而质量的起源是什么? 要厘清这一问题, 可以先看看物质的结构。庄子说: “一尺之捶, 日取其半, 万世不竭”, 意思是说物质是无限可分的。依赖于实验发展起来的现代物理学告诉我们, 任何物体都是由分子构成, 分子由原子构成, 原子由原子核和绕核旋转的电子构成。而原子核由质子和中子构成, 质子和中子都由夸克和胶子组成。像夸克、胶子和电子到现在为止没有发现有更深层次的结构, 因此被称为基本粒子。已经知道有六种夸克, 它们是上 (u)、下 (d)、奇 (s)、粲 (c)、底 (b) 和顶 (t) 夸克。有六种轻子, 它们是电子 (e)、缪子 ( $\mu$ )、陶子 ( $\tau$ )、电子中微子 ( $\nu_e$ )、缪子中微子 ( $\nu_\mu$ ) 和陶子中微子 ( $\nu_\tau$ )。已经知道电子的直径小于  $10^{-19}$  米,

就是说它可能是一个点粒子。其他的基本粒子也没测到大于 0 的直径。实验中测到轻子和夸克都有质量, 但中微子的质量非常小。我们可以推测物体有质量是因为构成这些物体的基本粒子有质量。不过实验也发现物体的质量并不等于构成这个物体所有基本粒子的质量之和。在研究核裂变中发现裂变出来的两个碎片的质量和小于原来核子的质量, 不过裂变过程放出了能量。其减小的质量 ( $\delta M$ ) 和放出的能量  $E$  之间满足爱因斯坦公式:  $E = \delta M c^2$ , 这个能量叫做结合能。原子弹就是根据这一原理造出来的。因此物体质量的另一个来源是结合能。假设轻子和夸克还能再分, 那么有可能轻子和夸克的质量主要来自结合能。不过到现在为止, 我们还没有发现轻子和夸克有下一层次的结构。

在日常的世界中我们常见有两种相互作用力, 即万有引力和电磁力。在微观世界中还存在力程很短的弱相互作用力和强相互作用力。任何质量不为 0 的粒子都参加引力相互作用, 在基本粒子领域, 由于其作用力相对于其他三种是如此之小, 以致于可以被忽略。这样轻子参加电磁相互作用和弱相互作用, 夸克则参加所有三种相互作用。除轻子和夸克外还存在携带作用力的媒介粒子, 它们是传递电磁相互作用的光子  $\gamma$ , 传递弱相互作用的  $Z^0$ 、 $W^+$  和  $W^-$  以及传递强相互作用的胶子  $g$ 。

科学家通过不停的探索形成了描述基本粒子及其相互作用的标准模型。标准模型由描写电磁力和弱力的电弱统一理论以及描写强力的量子色动力学组成。根据标准模型, 轻子和夸克是不能再分的、没有结构的基本粒子。希格斯粒子是质量之源, 它使传递弱相互作用的规范玻色子  $Z^0$ 、 $W^+$  获得质量, 通过与轻子和夸克的相互作用, 也使轻子、夸克获

得质量。根据这一模型和大爆炸理论，我们的宇宙起始于一次大爆炸，无数的正、反粒子同时产生，轻子和夸克通过与希格斯场的相互作用获得了质量。这些粒子凝聚成物质，通过长时间的演化形成了星系，从而有了地球，有了人类。如果没有质量就没有引力作用，宇宙就不会是现在这样。因此希格斯粒子被称为“上帝”粒子。希格斯粒子是 LHC 的首要物理目标。

不过在找到希格斯粒子之前，它还只是一个传说。实际上也存在与标准模型竞争的理论，比如超对称理论，它可以将电磁力、弱力和强力统一起来。超弦理论可以将 4 种作用力都统一起来。在超对称理论中存在多种希格斯粒子，其性质和标准模型的希格斯有很大不同。在超弦理论中则不存在希格斯粒子。如果轻子和夸克还能再分，则这些理论都是不正确的，一切等待实验来检验。

### 3. 标准模型

标准模型在提出的时候可以解释以往所有的实验现象，并预言存在  $Z^0$ 、 $W^+$ 、 $W^-$ 、H 和 g 等 5 个玻色子。结果  $Z^0$  和  $W^+$  在欧洲核子中心的质子-反质子对撞机上被找到，根据量子色动力学，胶子是不自由的，但可以被夸克辐射出来，形成喷注。这样的胶子 (g) 喷射也在丁肇中领导的 Mark-J 实验中被找到。根据标准模型，由  $Z^0$  衰变的两个轻子是前后不对称的，并且极化也是不对称的。比如我们用  $e^+$ 、 $e^-$  对撞产生  $Z^0$ ，然后由  $Z^0$  衰变到另外两个轻子  $\mu^+$ 、 $\mu^-$ ，由于动量守恒， $\mu^+$ 、 $\mu^-$  一定是背对背的。现在用一个垂直于束流线的平面放在  $e^+$ 、 $e^-$  的对撞点上，将  $e^+$  前进方向的一半空间称为前向，另一半称为后向，问  $\mu^+$  是往前飞的多还是往后飞的多。如果令  $A_{FB} = (N_F - N_B) / (N_F + N_B)$ ，其中  $N_F$  是  $\mu^+$  往前飞的事例数， $N_B$  则是向后飞的事例数。标准模型预言  $A_{FB}$  不为 0，并且与温伯格角  $\theta_w$  有关。这一预言在欧洲核子中心的 LEP 实验得到检验，并且由此测出  $\sin^2 \theta_w = 0.2302 \pm 0.0004$ 。标准模型预言由  $Z^0$  衰变的两个轻子，其极化不对称度也与温伯格角有关。实验上可以测量极化不对称度  $A_{pol} = (N_R - N_L) / (N_R + N_L)$ ，其中  $N_R$  表示由  $Z^0$  衰变的右旋轻子，比如说  $\tau^+$  的事例数， $N_L$  表示左旋轻子的事例数。欧洲核子中心的 LEP 实验测得  $A_{pol} = -0.1540 \pm 0.0074 \pm 0.0044$ ，0.0074 是统计误差，0.0044 是系统误差。特别神奇的是由此推断的  $\sin^2 \theta_w$  值为  $0.2306 \pm 0.0011$ ，与  $A_{FB}$  的结果非常一致。因此在 LEP

实验中标准模型得到了精确检验。实际上这样的精确检验还有多处，不一一列举，到目前为止，世界上各个大型对撞实验都未发现与标准模型矛盾之处，因此标准模型取得了巨大成功。唯一的遗憾是标准模型预言的希格斯粒子至今没有被发现，LEP 给出其质量下限为  $114 \text{ GeV}/c^2$ 。在自然单位制里， $c = 1$ ，质量单位与能量单位相同，可直接记为  $114 \text{ GeV}$ 。美国费米实验室的 Tevatron 对撞机发现了顶夸克 t，但至今也未发现希格斯粒子。

在对宇宙的观测中发现了标准模型不能解释的事情。宇宙中存在大量像银河系这样的星系，对星际物质的运动速度的测量结果表明，星系中存在着大量的暗物质，至今已测量的 967 个星系无一例外，暗物质必须占整个星系物质的 90% 以上，否则这些星系早已瓦解，因为外围星系物质的速度太快。图 1 表示测量到的 NGC3198 星系的旋转线速度与离星系中心的距离的关系。从可见的物质分布可以推断出一条下降的曲线，如图示“Disk”曲线。但我们看到的实测旋转线速度随着距离的增加并不下降，这意味着存在 10 倍于可见物质的暗物质。

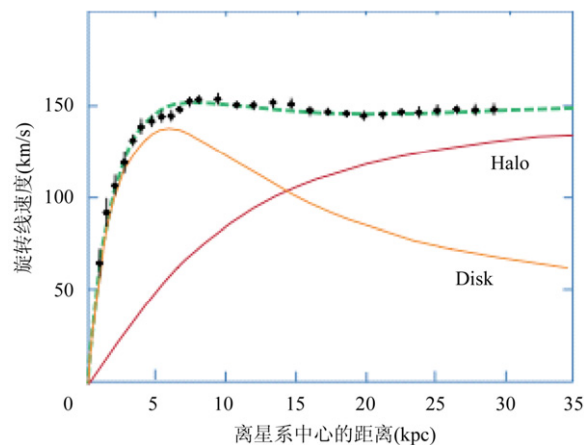


图 1 NGC3198 星系的旋转线速度与离星系中心的距离的关系  
Halo：晕，假设暗物质存在，并且 10 倍于可见物质时的旋转线速度曲线；  
Disk：银盘，从可见的物质分布可以推断出的曲线

另外引力透镜实验和威尔金森微波各向异性探测器 (WMAP) 实验结果都得出同样的结论。暗物质到底是什么物质？行星和恒星，星际尘埃，电离气体，已死去的恒星，黑矮星，中子星黑洞等都是暗物质，但这些都是可测算的。90% 以上的暗物质是有别于通常的重子物质的其他物质，是标准模型所不能解释的。

超对称理论可以解释暗物质。超对称理论将电磁力、弱力和强力统一在一起。根据超对称理论，所有粒子都有超对称伴子，其中最轻的超对称粒子“neutrino”是稳定粒子，有可能就是暗物质。但在对撞机实验上至今还未找到任何超对称伴子。如果超对称是正确的话，这些超对称伴子以及“neutralino”可以在LHC实验中找到。

超弦理论认为存在超过4维时空的超维空间。这一理论中的“KK”粒子也可以解释为暗物质。根据这个理论，两个质子相撞会产生迷你黑洞，然后会马上蒸发，产生大量喷注。迷你黑洞蒸发出来的喷注有特点，一是数量大，二是 $4\pi$ 立体角均匀分布。如果超弦理论是正确的话，这样的迷你黑洞可以在LHC实验中被找到。

综上所述，如果找到了希格斯粒子，就是找到了质量之源，证实了标准模型的正确性。如果排除了希格斯粒子的存在则证明标准模型是错误的，我们所理解的宇宙需要另一种解析，这将引起一场物理学的革命。

#### 4. 希格斯粒子的寻找

LHC的质子-质子对撞实际上是部分子之间的对撞(我们将夸克和胶子统称为部分子)，因为质子由多个部分子构成，而被撞上的是其中的一个，其余的都是旁观者。旁观者碎裂成强子，保持其母质子的运动方向，顺着束流管道跑掉了。两个对撞的部分子发生相互作用，其末态粒子将偏离出束流管，从而被探测器探测到。一般来说偏离的角度越大越容易探测。绝大多数的末态粒子仍旧是胶子和夸克，它们是不能自由的，在离开对撞点之前就碎裂成大量强子，形成喷注，有的末态是光子，或者 $Z^0$ ，或者 $W^+$ ，或者 $W^-$ 加上喷注，还有的是轻子如电子、 $\mu$ 子、 $\tau$ 子加喷注。在高能物理中像喷注中的 $\pi$ 、 $k$ 等强子，还有光子、电子、 $\mu$ 子都是长寿命粒子，而像 $Z^0$ 、 $W^+$ 和 $\tau$ 等都是短寿命粒子，它们没出束流管道就衰变掉了，是没法直接探测的。短寿命粒子最后都衰变到长寿命粒子，飞出束流管，从而被探测器捕捉到。这样对探测器的一个基本要求是能区分这些长寿命粒子：电子、 $\mu$ 子、光子、带电强子和中性强子。末态中还有一种长寿命粒子是中微子，但无法探测，因为它们与物质几乎不相互作用。但我们可以通过动量守恒原理来确定动量丢失。要求 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 三个方向的动量相加为0，因为两质子对撞，初始

的总动量是0。不为0的部分就是动量丢失。但由于顺着束流管跑掉的部分无法探测，我们将这个方向设为 $z$ ，可以探测的是 $x$ 、 $y$ 两个方向的动量丢失，这两个方向的矢量和叫做横动量丢失。

CMS探测器如图2所示。总体上看是一个圆柱体，长13m，直径6m。束流管是圆柱体的轴，其直径6cm，对撞点位于圆柱体的中心。

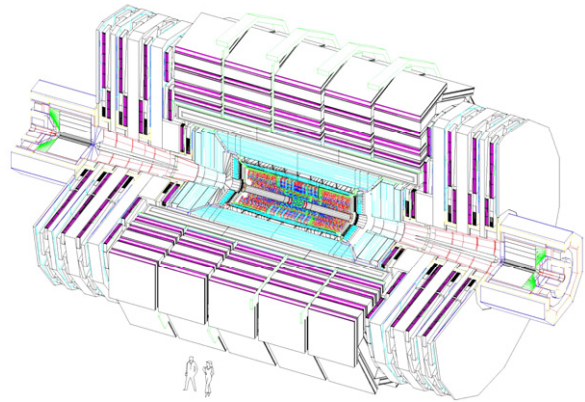


图2 CMS探测器剖面图

这样对撞产生的粒子，除顺着束流管跑掉的部分，都能够被探测到。围绕对撞点套嵌着各种子探测器，由内到外，它们是硅像素(Si-Pixel)顶点探测器，硅微条(Si-Strip)径迹探测器，钨酸铅晶体电磁量能器，黄铜闪烁体夹层强子量能器，超导螺线圈，轭铁和 $\mu$ 子探测器。由于是套嵌结构，由对撞点飞出的粒子必须先通过内探测器才能到达外探测器。强子量能器以内是探测器的心脏，但从外形尺寸来看，超导线圈、轭铁和 $\mu$ 子探测器是其主体，因此称之为紧凑的 $\mu$ 子螺线圈(Compact Muon Solenoid)，简称CMS。

ATLAS探测器比CMS探测器要大得多，同样也有顶点探测器，径迹探测器，电磁量能器，强子量能器和缪子探测器组成。关于ATLAS探测器的详细描述可以参阅本刊2008年第5期童国梁先生的文章。

CMS和ATLAS实验的首要物理目标都是寻找希格斯粒子。希格斯质量小于 $114 \text{ GeV}/c^2$ 已经被LEP实验排除。在LHC，希格斯主要由两个胶子融合产生，当希格斯质量为 $120 \text{ GeV}/c^2$ 时，其产生截面约为 $10 \text{ pb} = 10^{-35} \text{ cm}^2$ ，其次是由 $W^+$ 、 $W^-$ 或者 $Z$ 融合产生， $W$ 和 $Z$ 由夸克辐射出来，其截面比胶子融合产生要低一个量级。在前面已经说过强子的总截面为 $10^{-25} \text{ cm}^2$ ，因此希格斯的产生截面比强子



要小 10 个量级,问题还不止于此,希格斯还要衰变。当质量在  $120 \text{ GeV}/c^2$  左右,希格斯主要衰变到  $b$  夸克对, $b$  夸克对碎裂成强子喷注,与普通强子事例很难区分。约有 7% 的几率衰变到  $\tau$  轻子对,但  $\tau$  轻子也不是稳定粒子,它衰变到轻子加中微子的几率是 35%,强子加中微子的几率是 65%。希格斯也可以直接衰到两个稳定粒子: $\gamma\gamma$ ,但衰变分支比只有 2%。尽管如此,当希格斯质量在  $120 \text{ GeV}/c^2$  左右,CMS 主要通过  $\tau$  轻子对和两光子的衰变道来寻找希格斯粒子,其事例率比强子事例率要小 12 至 13 个量级。这就是说至少要在  $10^{12}$  个事例中找出一个希格斯粒子,就好比在一大堆沙子中,有一颗是金沙,需要找出来。

不过 CMS 和 ATLAS 在设计的时候考虑到了这些困难,目前建造完成的探测器有能力将希格斯粒子找出来。以两光子末态为例,希格斯衰变的两个高能光子,记为  $H \rightarrow \gamma\gamma$ ,能量全部沉积在电磁量能器中,而强子的能量在电磁量能器中沉积较小,由此可以排除大部分强子事例。但问题的复杂性在于胶子和夸克在碎裂时可以产生  $\pi^0$ ,  $\pi^0$  在束流管道内就衰变成两个光子,与希格斯衰变成的两个光子不同,希格斯衰变的两个光子张开角大,而  $\pi^0$  衰变的两个光子几乎靠在一起,而能量也全部沉积在电磁量能器中,容易被误判成一个光子。如果在一个强子事例中有两个这样的  $\pi^0$ ,就容易被误认为是希格斯事例。但是强子事例中的  $\pi^0$  是由胶子、夸克碎裂出来的,必然伴随着同时碎裂出来的大量的其他强子,形成喷注。而希格斯衰变的两个光子都是孤立的,根据这一特点,可以排除绝大部分含两个高能  $\pi^0$  的强子的事例。

对于  $H \rightarrow \gamma\gamma$ ,还有无法抑制的本底,就是由正反夸克对直接湮灭为两个光子,这两个光子也是孤立的。我们可以用两个光子的不变质量来区分。令

$$m_{\gamma\gamma}^2 = (E_1 + E_2)^2 - (\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2)^2,$$

其中  $E_1$ 、 $\mathbf{p}_1$  为第一个光子的能量和动量, $E_2$ 、 $\mathbf{p}_2$  则为另一个光子的能动量。这里采用自然单位制。根据爱因斯坦的相对论,如果这两个光子是由希格斯衰变而来,则  $m_{\gamma\gamma}$  就是希格斯粒子的质量。实际上光子的质量为 0,  $E_1 = P_1$ ,  $E_2 = P_2$ , 两光子的不变质量平方可写成:

$$m_{\gamma\gamma}^2 = 2(P_1 \cdot P_2 - \mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2)$$

这样在  $m_{\gamma\gamma}$  的分布图上,由夸克对湮灭的双光子事例

以及混入的强子事例形成连续谱,而  $H \rightarrow \gamma\gamma$  的事例形成一个峰,峰的位置就是希格斯的质量。如图 3 所示。

本底的  $m_{\gamma\gamma}$  分布是一个线性下降的连续谱,而由希格斯衰变的  $m_{\gamma\gamma}$  在  $130 \text{ GeV}/c^2$  处形成一个峰。这是由蒙特卡罗模拟得到的,模拟时假设希格斯的质量为  $130 \text{ GeV}/c^2$ 。所以当我们发现了一个事例,其中有两个高能光子,并不能说发现了希格斯粒子,只有当  $m_{\gamma\gamma}$  的分布图上出现了一个显著的峰,才能说发现了希格斯。

将图 3 中斜坡上面凸起部分的事例数记为  $S$ , 而将凸起部分斜坡下面的事例数记为  $b$ , 当  $S/\sqrt{b} \geq 5$  时可以说发现了希格斯粒子。

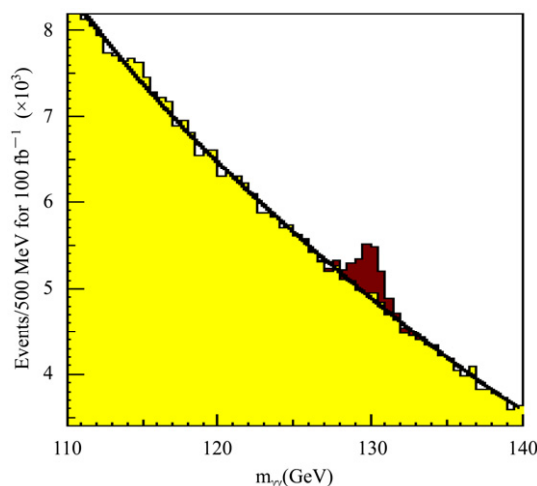


图 3 模拟希格斯质量为  $130 \text{ GeV}$  时两光子不变质量分布

当希格斯质量大于  $140 \text{ GeV}/c^2$ ,CMS 将主要地从  $H \rightarrow W^+ W^-$  或  $H \rightarrow Z Z$  寻找希格斯。以  $H \rightarrow Z Z$  为例,每个  $Z$  玻色子可以衰变到正负  $\mu$  子对,这样希格斯最后衰变到两对  $\mu$  子。在 CMS  $\mu$  子是最清晰的,因为其他粒子都被阻挡在强子量能器以内。所以该道被称为发现希格斯的黄金道。即使如此该道也有不可抑制的本底,那就是由正反夸克直接湮灭到两个  $Z$  玻色子。我们可以用 4 个  $\mu$  子的不变质量区分,由希格斯衰变的 4 个  $\mu$  子的不变质量形成一个峰,而本底的 4 个  $\mu$  子的不变质量则是连续分布。如果希格斯的质量在  $130 \sim 160 \text{ GeV}/c^2$  或大于  $190 \text{ GeV}/c^2$ ,从该道寻找希格斯是最容易的,而当希格斯质量在  $160 \sim 190 \text{ GeV}/c^2$  时,通过  $H \rightarrow W^+ W^-$  来寻找是最容易的。

根据标准模型希格斯的质量与顶夸克质量和

W 质量是有关联的。如图 4 所示，横轴为顶夸克质量，纵轴为 W 质量。比如说，测到的希格斯质量为  $114 \text{ GeV}/c^2$ ，则可以在此图上画一条斜线，如图所示。测定了顶夸克质量和 W 质量则可以在图中画一个点，如果该点在斜线上，则说明标准模型是自洽的。目前测到的 W 质量为  $80.4 \text{ GeV}/c^2$ ，顶夸克质量约为  $171 \text{ GeV}/c^2$ ，落在希格斯  $114 \text{ GeV}/c^2$  斜线的上方，说明希格斯质量应该小于  $114 \text{ GeV}/c^2$ ，但小于该值的希格斯已被排除。这里出现了一个标准模型的危机。当然目前测量的误差较大，实心椭圆代表了一倍  $\sigma$  的误差范围，在 2 倍  $\sigma$  的误差范围内，标准模型还能符合。

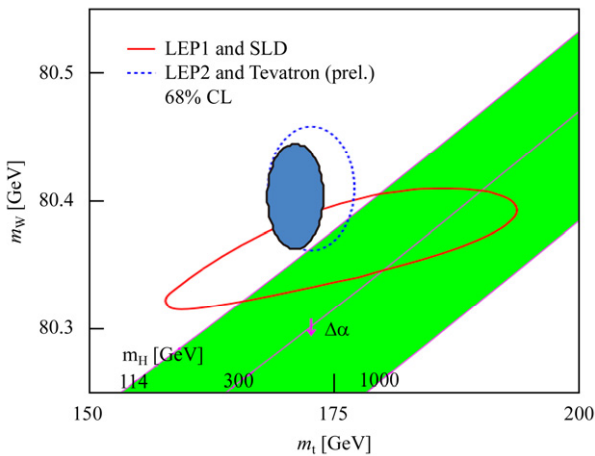


图 4 希格斯质量与顶夸克质量和 W 质量的关系  
LEP1 和 LEP2 是两个欧洲核子中心的实验，SLD 和 Tevatron 是两个在美国的实验。图中的圈代表一倍标准差的范围

### 5. 在 LHC 上寻找希格斯的进展

实验上如果找到希格斯粒子，则可以计算出它的产率，并与标准模型的理论计算结果进行对比。如果没找到也不能断言希格斯粒子没有，但可以肯定产率低。在这种情况下，实验将给出产率的上限，意思是即使希格斯粒子存在，它的产率一定小于这个值。如果这个上限小于标准模型理论的计算值，则标准模型的希格斯被排除。但标准模型没准确预言希格斯的质量，并且产率随着质量是变化的，因此我们对每个质量点都要进行研究。这个上限值代表了实验的灵敏度，能达到的上限值越低，实验的灵敏度就越高，说明实验可以看到产率很低的粒子。实验的灵敏度与积分亮度，粒子识别能力，接受度，能量和动量的测量精度有关。

希格斯在产生后会马上衰变，它的衰变道在上一节中做了介绍。利用收集到的大约  $5/\text{fb}$  的数据，CMS 和 ATLAS 这两个实验组从各个可能的衰变道来寻找希格斯粒子。比如 CMS 实验从  $H \rightarrow \gamma\gamma$  来寻找希格斯，两  $\gamma$  不变质量的分布如图 5 所示。

图 5 中没有看到像图 3 那样明显的鼓包，但在  $120 \text{ GeV}$  到  $140 \text{ GeV}$  之间有一些变化。为了便于读者直观的感觉实验的灵敏度，底部  $120 \text{ GeV}$  上的小鼓包代表希格斯质量为  $120 \text{ GeV}$ ，且产生截面是标准模型 5 倍时，两  $\gamma$  不变质量的分布。可以设想将这个鼓包内的事例数缩小 5 倍，再叠加到测量到的不变质量谱上，会不会有明显的鼓包。估计不会很明显，说明积累的数据还不够。图 6 给出从该道寻找希格斯的结果。

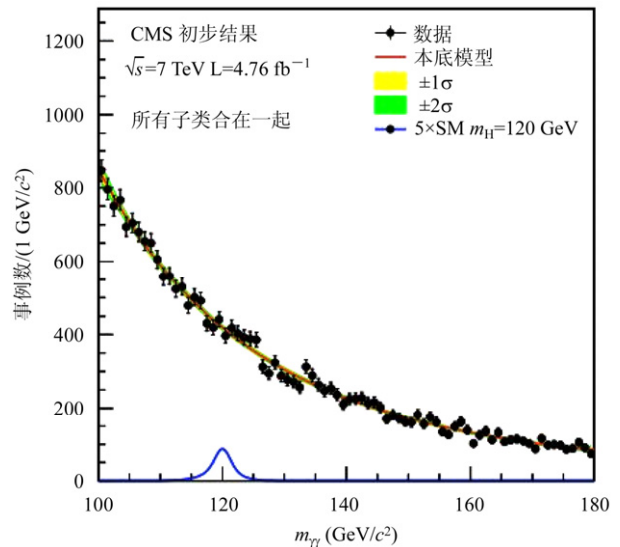


图 5 CMS 2011 年底所作两  $\gamma$  不变质量的分布

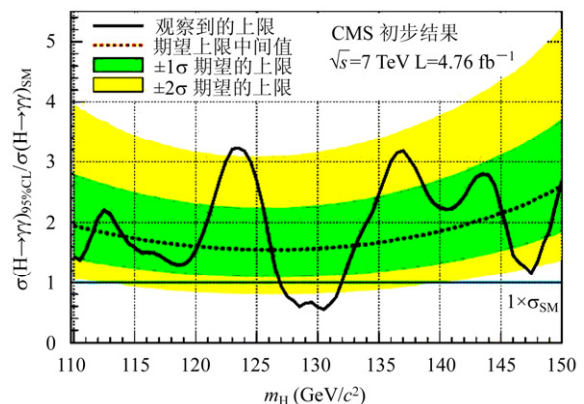


图 6 CMS 2011 年底从两  $\gamma$  道寻找希格斯的结果

图 6 中的虚线表示灵敏度，也称为期望截面上

限。这个截面上限已经用标准模型的预言截面进行了归一。从图中可以看出，这条线很接近 1，但还没有达到。因此灵敏度还不够，还需要进一步的数据积累。这条线上线下的带宽代表实验上估计灵敏度的误差，图 6 中给出了 1 倍标准偏差和 2 倍标准偏差的宽度。实线代表真实数据给出的截面上限。可以看到从 127 GeV 到 132 GeV，截面上限低于标准模型预言，因此这一能区的希格斯已被排除。同时也看到在 124 GeV 处，实际高于期望两倍标准差，这可能来自统计涨落，也可能来自希格斯信号。由于数据量不足，目前没有结论。

结合  $H \rightarrow \gamma\gamma$ 、 $ZZ$ 、 $WW$ 、 $\tau\tau$ 、 $bb$  等其他道的寻找，图 7 给出了 CMS 2011 年寻找希格斯的综合结果。

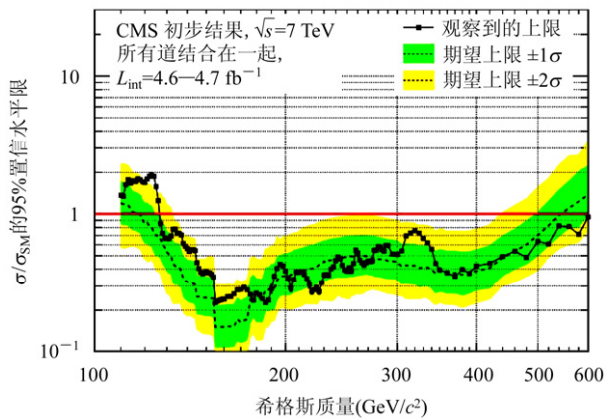


图 7 CMS 2011 年希格斯寻找的综合结果，127 ~ 600 GeV 的希格斯被排除

从图 7 中可以看出，希格斯的质量从 127 GeV 到 600 GeV，数据给出的截面上限小于标准模型预言，因此在这一区间，标准模型的希格斯被排除。

ATLAS 则排除了 112.7 到 115.5 GeV 之间的希格斯，同时排除了 131 到 453 GeV 之间的希格斯。但在 126 GeV 处看到一个更大得超出，见图 8。

从图 8 中可以看到，在 126 GeV 处实际截面上限超过期望值约 3 倍标准偏差。但 CMS 在 126 GeV 处实际值接近于期望值。同样 CMS 在 124 GeV 处有超出，但从图 8 看，124 GeV 处没有多少超出。有一种可能是标准模型的希格斯质量在 124 到 126 GeV 之间，但两个实验的刻度没有做好，因此造成了 2 个 GeV 的差别。还有一种可能是标准模型的希

格斯不存在，CMS 和 ATLAS 看到的超出都是统计涨落。

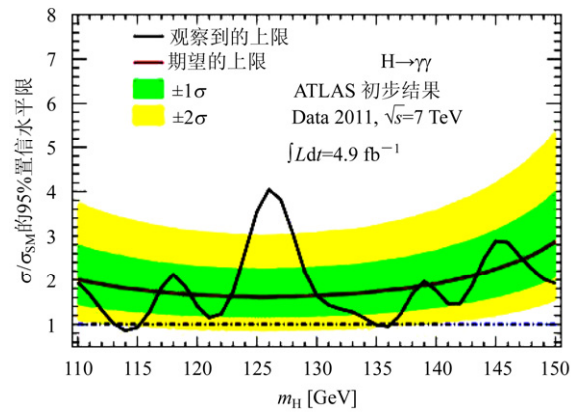


图 8 ATLAS 2011 年底从两  $\gamma$  道寻找希格斯的结果

## 6. 讨论和展望

综合 CMS 和 ATLAS 2011 年底给出的结果以及以往 LEP 实验的结果，115.5 GeV 以下的希格斯已经被排除，127 ~ 600 GeV 之间的希格斯也已经被排除。希格斯的质量如果大于 600 GeV，从图 4 可以看到，标准模型不能自洽。因此如果标准模型的希格斯存在，其质量就在 115.5 到 127 GeV 之间，很有可能就在 125 GeV 左右。估计再需要 10/fb 的数据就能给出结论，这大概在今年的秋天能达到。

CMS 和 ATLAS 实验同时进行了超对称，超弦模型中新粒子的寻找，到目前为止都没找到任何信号。

因此我们期待今年秋天。无论标准模型的希格斯被找到或被排除，都将是一个激动人心的时刻，对于物理学都是非常重要的。特别是如果被排除，这将引起一场物理学的革命。

(中国科学院高能物理研究所 100049)

### 作者简介

陈国明，研究员，博士生导师。1958年9月出生，浙江省天台县人。1982年毕业于杭州大学物理系。1991年在高能物理所获博士学位。曾多次赴欧洲核子中心进行合作研究，负责CMS实验数据分析。

