

上帝粒子与诺贝尔物理奖

《北京日报》特约科普（2013-10-16） -未经删减版-

杨 金 民

中国科学院理论物理研究所

诺奖再次垂青理论物理学家：

2013 年的诺贝尔物理奖授予了两位理论物理学家，他们是比利时的科学家 Francois Englert（恩格勒）和英国的科学家 Peter Higgs（黑格斯），1964 年他们提出了黑格斯机制并预言黑格斯粒子的存在（黑格斯先生当年的那篇大作其实很短，才一页半！），这个粒子于 2012 年 7 月 4 日在位于日内瓦的欧洲核子研究中心的大型质子对撞机 LHC 上被发现（当年考虑授予诺贝尔奖时间来不及），从理论的提出到实验验证整整用了 48 年的时间，好在他们长寿至今（他们两位都是 80 多岁的老人了），恩格勒的文章还有一位合作者 Robert Brout（比利时科学家），但他没能等到今天就撒手人寰，着实可惜也。

诺奖没有眷顾实验物理学家：

发现黑格斯粒子的欧洲核子研究中心的 LHC 实验是人类历史上投资最大的科学研究机器（造价高达 100 亿美元），其中两个实验组 CMS 和 Atlas 分别独立寻找黑格斯粒子，每个实验组有 3000 多名来自全世界几十个国家几百所大学的科学家（中国的实验科学家也参与其中），这数千名顶尖的实验科学家费尽心力寻找到了黑格斯粒子。他们寻找黑格斯粒子的过程艰难曲折：LHC 对撞机把质子加速至极高能量（其速度接近光速），然后让质子迎头相撞，质子撞碎毁灭而成为一团能量，从这团能量中重生出宇宙大爆炸之初的各种粒子，其中就包含黑格斯粒子，但是由于黑格斯粒子所占的个数比例极小（小于百亿分之一），实验学家要从灰烬中筛出黑格斯粒子就像沙漠淘金一样艰难。他们终于成功了，在极大的可信度上确立了 this 发现（不对的可能性小于千万分之一），但可惜的是这些做实验的同志们没有得到诺贝尔奖，诺贝尔奖鼓励的是个人英雄主义，只奖个人不奖团体，在数千参与寻找黑格斯粒子的实验学家中很难找到几个主要贡献者（同样的故事发生在上世纪末的美国费米实验室，当时找到顶夸克的两个实验组 CDF 和 D0 也是规模十分庞大的群体，很难找到主要贡献者，至今没有获得诺贝尔奖）。

黑格斯机制和黑格斯粒子：

黑格斯机制其实就是质量产生机制，如果没有这一机制，物质世界的基本组分

(电子、夸克)都没有质量,那样的话,大千世界就是没有质量的缥缈之物而处于原始的混沌之中。137 亿年前宇宙创生之初的那个火球内的所有粒子都处在黑格斯场内,它们受到黑格斯场的粘滞作用从而得到质量。传递弱作用(元素的衰变是通过弱作用)的规范玻色子也是这样得到质量的--无质量的规范玻色子与黑格斯场相遇,它吃掉了无质量的黑格斯场分量(无质量的黑格斯场叫作哥德斯通粒子)从而得到质量,这时还剩下一个有质量的黑格斯场分量,这个分量叫作黑格斯粒子。这里起关键作用的是哥德斯通粒子,它们来自于黑格斯场对称性自发破缺,而自发破缺是大众较难理解的一个物理现象。自发破缺的意思是:一个系统的运转具有某种规律和对称性,但是这个系统所呈现的物理状态不具有这种对称性,我们就说这种对称性自发破缺了。比如地球绕太阳运转是由牛顿引力控制的,牛顿引力定律具有转动不变性(也就是在空间转动时牛顿引力定律不发生变化),所以地球绕太阳转动的内在支配定律(或者转动的方程)具有空间转动不变性。但是作为转动定律(牛顿引力定律)或者转动方程的解---地球的转动轨道,它不具有转动不变性(在空间转动下地球的转动轨道看起来就变了形了),这样我们就说空间转动不变性自发破缺了。

黑格斯机制的创立历史:

教科书中一直在用黑格斯机制和黑格斯粒子,这里都用了黑格斯先生的名字。其实,这一机制是由两篇文章独立提出的,一篇是黑格斯先生的大作,另一篇是 Englert 和 Brout 的大作,但黑格斯先生明确提出存在一个物理的标量粒子,这个粒子后来就因此被命名为黑格斯粒子。在他们之前还有几位英雄对这一机制的创立有不可磨灭的贡献:(1) Yoichiro Nambu (南部)是第一个把超导中的自发破缺(黑格斯机制的出发点)引入到基本粒子物理领域的人,时间大约是 1960 年,但是他没有把自发破缺同规范理论相结合(只有把自发破缺同规范理论相结合才能导出黑格斯机制);(2) Jeffrey Goldstone (哥德斯通)受南部的启发首次引入标量场(1961 年),证明标量场的势可以导致自发破缺并产生无质量的标量粒子(后来称为哥德斯通粒子),但是哥德斯通也没有进一步把标量场的自发破缺同规范理论相结合;(3) Julian Schwinger 于 1962 年想到了有质量的矢量粒子可能与无质量的标量粒子有关,但没有去证明;(4) Philip Anderson (安德森)受 Schwinger 的启发于 1963 年在非相对论情况下发现无质量的标量粒子可以被无质量的规范玻色子吃掉而导致有质量的规范玻色子,这其实就是黑格斯机制,但是它是非相对论的。最后,在安德森的工作基础上,黑格斯、Englert 和 Brout 建立了相对论情况下的黑格斯机制。

由此可知诺贝尔奖获得者也是站立在众人的肩膀上才取得成功的,那些堆积如山的‘垃圾文章’是他们通向象牙塔的阶梯。这就像是足球比赛,没有队友的配合

和协助，就不会有临门一脚的成功者。

黑格斯粒子的寻找历程：

黑格斯粒子虽然在宇宙创生之初甚是活跃并大显身手，但是它及其短命，在完成使命之后马上就涅槃了，目前的宇宙之中已经没有了它的踪迹。要想看到它的面目就必须使它重生，而重生它的摇篮就是高能对撞机。

在对撞机上寻找黑格斯粒子的工作始于上一世纪九十年代的 LEP 对撞机，LEP 因能量低那么一点而与黑格斯粒子擦肩而过；接下来前赴后继的是美国费米实验室的 Tevatron 对撞机，它对黑格斯粒子进行了长达二十年的寻找，模模糊糊看到了黑格斯的形象，但雾里看花终隔一层。美国人曾经于上一世纪末建造超级超导对撞机 SSC（其能量比 LHC 还要高 3 倍）以寻找黑格斯粒子，后来由于 SSC 花费惊人而被美国国会彻底终止。如今 LHC 对撞机找到了黑格斯粒子，这是集全世界高能物理学家之力而取得的成果，不仅那数千名参与寻找的实验学家来自世界各地，而且 LHC 对撞机本身的建造费用也是由世界各强国大国集资的（中国也出了很少的一部分）。

黑格斯发现的科学意义：

黑格斯粒子的发现完善了粒子物理标准模型，至此这一模型所预言的所有粒子（见图 1）全部被实验发现了。这一发现表明质量起源的理论（黑格斯机制）是正确的，为理论的进一步发展指明了方向。在质量起源方面一直有两类理论，一类是预言存在黑格斯粒子的黑格斯机制，另一类是预言不存在黑格斯粒子的理论，黑格斯粒子的发现表明自然界选择了第一类理论。

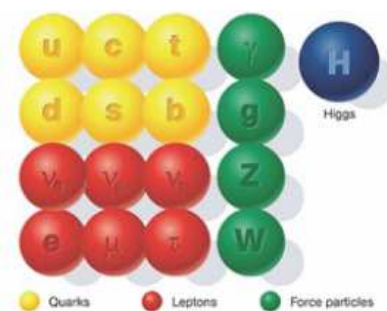


图 1：标准模型的粒子大家庭，其中有夸克（Quarks）、轻子（Leptons）、传递力的粒子（Force particles）和负责质量起源的黑格斯（Higgs）

黑格斯发现之后的高能物理：

黑格斯粒子的发现并不意味着高能物理的终结，反而可能预示着高能物理又一黄金时代的到来。黑格斯的发现广泛被认为是冰山一角，黑格斯背后还会隐藏着天大的秘密，原因是黑格斯在标准模型中存在得很不自然，这种不自然的程度就像是地球上的人用一杆枪去瞄准月球上的一只兔子或者在光滑的镜面上竖起一根很尖的

针，黑格斯粒子只有在新物理（特别是超对称理论）的天堂内才存在得自然、安逸、和谐。

如果黑格斯后面存在新物理超对称，那么超对称除了预言大量的超粒子之外，还预言黑格斯粒子有好几个兄弟姐妹，他们一起组成一个快乐和谐的黑格斯小家庭，这个家庭的成员在宇宙创生之初是那么的活灵活现，后来在大千世界形成时它们都死亡殆尽了。那一大群超粒子也是一样的纷纷夭折，只剩下一个最轻的超粒子至今逍遥于宇宙，它组成了宇宙中的暗物质，稳定着宇宙的架构。

LHC 对撞机下一步的目标就是寻找超对称预言的这些新粒子。同时，新的对撞机也在世界范围内进行筹划（日本甚是积极，已经把下一代对撞机的地址初步选择在其东北地区），我国也在积极推动一个中国黑格斯工厂和超级质子对撞机以实现领导世界的中国梦！