

·科技纵横·

[编者按] 2015年5月,在广州举行的第17届中国科协年会“国际科学大师论坛”邀请数位诺贝尔奖获得者作了精彩的学术报告。这些报告或涉及某一重要科学问题的发展、或涉及科学家的某一段科研心路历程,也不乏科学家的研究心得。《科技导报》整理了其中的4篇报告,自本期开始在“科技纵横”栏目刊载,每期1篇,以飨读者。

文/爱德华·布列桑

从玛丽·居里到希格斯·玻色:关于放射性的世纪之谜

两三年前,我们发现了希格斯玻色子。然而,世界上到底什么人需要它呢,为什么它如此重要呢?显然,如果不了解希格斯玻色子背后的历史,会很难理解希格斯玻色子的意义。

希格斯玻色子并不是意外的发现,而是科学家苦苦寻找长达40年的东西。2012年7月4日,这是历史性的一天,因为有欧洲核子中心(CERN)的大型强子对撞机(LHC)上两个重要的实验——CMS与ATLAS联合报告希格斯粒子的最新结果。图1显示出发现了一种新的粒子,它的重量大约是质子或中子的130倍,人们认为这很可能是40多年以前被预言存在的希格斯粒子。当时,很多报刊都欣喜地宣布人类发现了上帝粒子。

为什么称之为“上帝粒子”呢?这起源于美国著名科学家利昂·莱德曼的一篇文章,他苦苦寻找这种粒子但是找不

到,所以他说这是一个“该死的粒子”(Goddamn particle)。当时,出版社说“该死的”听起来不是很好,所以,后来就改成“上帝粒子”。根据名称的起源,我们发现它其实跟宗教与上帝并没有任何关系。

把“上帝粒子”置于弱相互作用或者放射性历史回顾中,我们会发现它非常有意思。1896年,法国物理学家贝克勒尔发现了放射性,随后,玛丽·居里和她的先生皮埃尔·居里系统研究了所



爱德华·布列桑,2011年狄拉克奖获得者,法国巴黎高等师范学院荣誉教授。

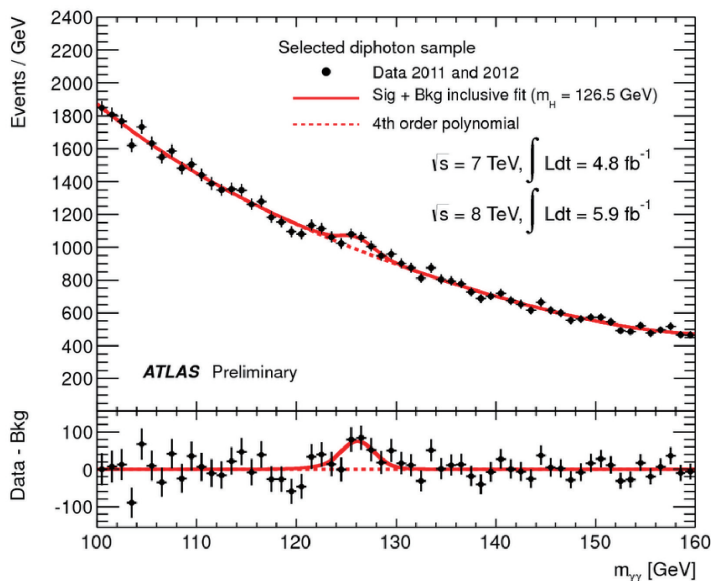


图1 ATLAS实验结果(双光子不变质量谱中126.5 GeV附近有明显凸起,意味着可能有新粒子存在)

有的元素,定出铀和钍以及它们的化合物都有天然放射性。1911年,欧内斯特·卢瑟福发现原子核,他也发现贝克勒尔和玛丽·居里发现的放射性,即原子核从一种类型变成另一种类型过程中会产生辐射,称之为电子。这是个重要发现,同时也伴随着一个巨大的谜——首先电子的能量从何而来?根据爱因斯坦相对论,原则上来说,它们都是来自原子核衰变前后的质量差,因而出射速度应该一致。然而,实验发现放射性原子核放射出的电子,并没有以同一的速率射出,就是说,好像能量不守恒了。因为如果能量守恒,所有放射出的电子都应该有同一速率。玻尔当时提出,或许在核子内能量守恒是不成立的。但是,需要指出的是能量守恒是一个基本定律,具备时间不变性,因而玻尔的提法并不被认可。科学家还提出其他质疑。如果放射性是由中子衰变成电子和质子而导致,那么角动量将不守恒,一些科学家试图对此做出回答。

1930年,奥地利的科学家沃尔夫冈·

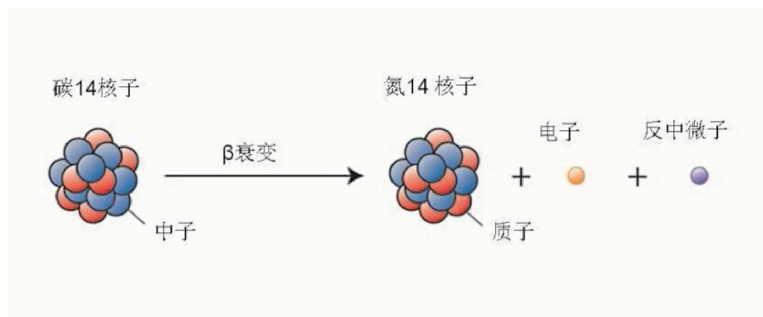


图2 碳14核子发生β衰变

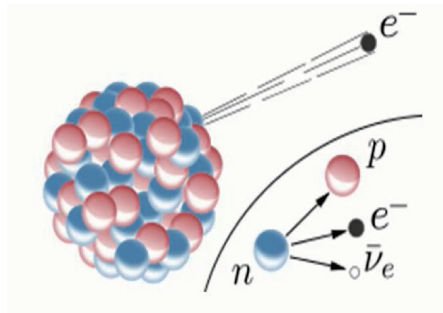


图3 中子衰变

泡利提出了中微子假说,假想存在一种与电子一同被释放出的粒子——中微子,从而解释电子可以有不同出射速度。他在一篇文章中写到:我做了一件很可怕的事情,假想存在一种无法被探测到的粒子。实际上,最初泡利提出的名称是“中子”(Neutron)，“中微子”(Neutrino)是后来费米提出的。在1955年里克特迈耶等所著的《现代物理学引论》中有这样一句话:“所有核物理粒子中最不令人满意的粒子及其令人遗憾的冥顽不化,令许多物理学家质疑它事实上是否只不过是一个用来掩饰我们无知的名字而已”。在1956年,美国物理学家莱因斯探测到了中微子,于1995年获得了诺贝尔物理学奖。

我们知道,碳14核子经过β衰变以后,变成了氮14核子,中子就变成了质子(图2)。1932年,詹姆斯·查德威克在英国发现了中子,它与质子相似,但不带电,质量比质子稍大一些。1934年,著名的物理学家费米提出β衰变理论,即中子衰变成质子、电子和中微子,平均寿命约为10分钟。这在当时听起来过于荒诞,当时《Nature》拒绝发表这篇文章,评论说其推测与现实相差甚远。现实世界中有原子核已存在数十亿年,怎么可能中子在10 min内就衰变了呢?这纯属臆测。费米的β衰变理论中,中子衰变产生3个粒子,在空间中的同一点同时一起释出(图3)。其实,现在一个物理学的博士生就可以解释这个问题了。

接着,就出现了一个新的危机。费米理论吻合了当时所有获得的实验结果,但是,理论学家们很快认识到它与量子力学很不一致,将破坏么正性。我们用了30多年的时间,才解决了这个问题。核力可分为强相互作用力与弱相互作用力两种。强相互作用力能将质子和中子束缚在原子核内。铀原子核内有92个质子,然而更多的质子将破坏强相互

作用力与库仑斥力之间的平衡,使得原子核变得不稳定。理论上强相互作用力可以把无数的中子束缚在一起。如果没有弱相互作用力的存在,意味着中子是稳定的,宇宙就不是现在这个样子了。它将会是一个巨大的原子核,无数的中子围绕在质子周围。所以,理解强相互作用力和弱相互作用力是非常重要的。在物理学家称为原子核的“稳定带”中,只有在此区域内满足质子数和中子数要求的原子核是非常稳定或是完全稳定。因而稳定的原子核不能拥有太多的中子和质子。这个危机是在1934—1935年出现的,物理学家很久以来忘记了这个危机,当时很长的时间物理学家又忙于研究别的。朝永振一郎、施温格与费曼用不同的方法独立地建立了量子电动力学的新理论体系。该理论非常美丽,因为它是基于简单的对称性原理(规范对称性)。带电的粒子交换光子,光子本身是没有质量的,所以光子可以携带电磁力到任意地方。这个发现之后,1969年,美国的格拉肖教授提出,能否仿照电磁

学的原理让粒子来携带弱核力以及一些放射性,这与光子携带电磁力一样的道理。这个问题的答案可以说“是”,也可以说“否”。“是”是因为至少需要3种“光子”,包括 W^+ 、 W^- 以及 Z^0 ;例如,正负电子湮灭可以产生中性的 Z^0 。“否”是因为这会产生一个很大的危机:如果它们会像光子这样没有质量,那么弱力的作用范围本来应该是无限的,但是实际上它却很小;如果 W^{\pm}/Z^0 是有质量的话,这将导致费米理论与量子力学不兼容。

1964年,3位科学家彼得·希格斯、罗伯特·布劳特、弗朗索瓦·恩格勒发现了希格斯机制(图4),它是一种对称性破坏的机制,就好像把球放在墨西哥草帽的上面。这是一种非常不稳定的平衡,球很快就会掉下来,发生相变。在宇宙的早期,就好像在球的顶端一样,当时没有希格斯粒子, W^{\pm} 以及 Z^0 也没有质量,但到后面发生了相变,希格斯场与 W^{\pm} 和 Z^0 发生相互作用,赋予它们质量。这完全改变了质量的概念,原来的质量不再是粒子内禀性质,而是通过与希格斯场相

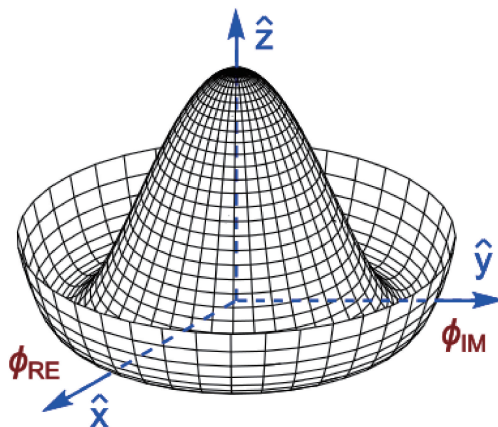


图4 希格斯机制

互作用获得的。这在当时引起的反应并没有惊天动地,因为在超导理论中,这个机制已经众所周知了,称之为“迈斯纳效应”。如果金属在高温下不具超导性,靠近磁场时,磁场会穿越该金属。但是对于某些金属(如钨等)来说,在一定低温条件下,磁场会被完全排除体外,这便是“迈斯纳效应”。实际情况中,光子会在此温度以下获得质量,之后光子穿透金属的距离与光子质量成反比。恩格勒和希格斯所发现的机制,使得阿卜杜斯·萨拉姆(巴基斯坦)、斯蒂芬·温伯格和格拉肖(3人分享1979年的诺贝尔物理学奖)把格拉肖的规范对称理论与希格斯机制结合起来成功建立了弱电统一理论。当时是1967年,还没有人重视这项发现。直到1971年,非常年轻的杰拉德·特·胡夫特的文章《有质量的杨-米尔斯场的重整化拉格朗日函数》完全改变我们对世界的认识,整个世界都非常振奋。

温伯格-萨拉姆理论与相对论和量

子力学原理相符。他预测了一个非常有意思的令我们很难想像的结果。先前,电力与磁力是两个完全不同的科学领域,到19世纪,詹姆斯·麦克斯韦成功地将电力与磁力的理论统一起来。现在胡夫特通过单一的模型或理论把电磁力与弱相互作用力进行了统一,这在当时没有任何迹象表明这个理论的建树会与自然界有任何关系。但是,W和Z的玻色子是在20世纪80年代欧洲核子中心(CERN)发现的,从那时以来,所有的实验都验证了标准模型的正确性,也就是自然界存在的所有相互作用都具有规范对称性。不过,似乎希格斯粒子是除外的,40多年来希格斯粒子一直都没有被观测到。正如1935年费米理论一样,这个模型仍然没有令人完全满意,科学家们希望知道其内部结构到底是怎么样的。他们知道现有的这些结果并不是最终的答案,因为如果“最终”这个词真的有实际意义的话,还有许多问题有待我

们解答,比如:希格斯粒子是本原物质还是复合物质组成的?如果是复合物质,是由什么构成?其质量源自什么?它为什么如此“轻”?

希格斯粒子的探索是值得的,因为探索过程中发展的各类技术可用于核能、烟感探测器、治疗肿瘤、造影(正电子造影检查)、测定地球年龄等诸多领域。

20世纪60年代末,伟大的粒子物理学家罗伯特·威尔逊先生希望在美国的芝加哥建设费米实验室的项目,然而,当时人们觉得这是非常昂贵的项目。不过彼时美国听证会有个参议员想帮助威尔逊教授,就问他这个项目是否能够保护美国。威尔逊非常诚实地答道:它和直接保卫美国没有任何联系,但是它可以让我们美国值得我们去保护。希格斯粒子探索也是如此。

(中国科学院高能物理研究所副研究员朱宏博帮助审阅本文,特此致谢)。

(整理/王丽娜)