

物理学史中的十一月

1974年11月 粲夸克的发现
(译自 *APS News* 2017年11月)



萧如珀¹ 杨信男² 译

(1. 自由业; 2. 台湾大学物理系 10617)

虽然夸克只不过是标准模型粒子家族中的一支,但其中粲夸克的发现却开启了一系列的突破,被称为“十一月革命”——它几乎同时由两个完全不同的人所领导的两组不同团队,使用不同的方法,在两台不同的加速器上发现。

19世纪30年代初期前,物理学家以为他们对组成物质的成分已有完整的图像:电子、质子、中子、微中子以及和它们相对应的反粒子。然而,1936年重量级电子「缪子」的发现,像一颗曲线球,大大地出乎预料,让科学家非常困惑,当年拉比(I. I. Rabi, 1944年诺贝尔物理奖得主)说得贴切:“那是谁订购的?”而随着物理学家继续以更高的能量碰撞粒子,他们发现越来越多的粒子。

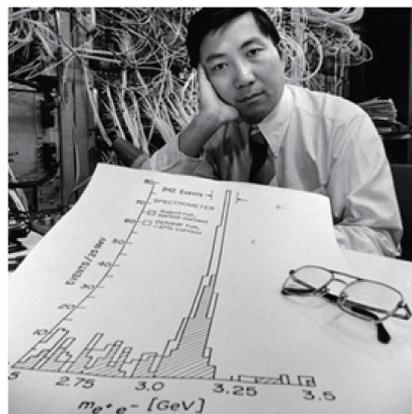
直到1964年才出现解释的理论,那一年,盖尔曼(M. Gell-Mann, 1969年诺贝尔物理奖得主)和茨威格(G. Zweig)提出,所有这些新粒子事实上都由更小、更基本的叫做“夸克”的粒子所形成的不同组合。“夸克”来自爱尔兰作家乔伊斯(J. Joyce)的长篇小说《芬尼根的守灵夜》(*Finnegan's Wake*)中一句知名无意义诗句“Three quarks for Muster Mark!”。他们也推测可能有第四个夸克,且于1970年,格拉肖(S. Glashow, 1979年诺贝尔物理奖得主)、伊略普洛斯(J. Iliopoulos)、和梅安尼(L. Maiani)明确对第四个夸克存在做了预测,以用来解释尚未发现的预期粒子作用,它为即将到来的实验发现奠下了基础。

在纽约长岛布鲁克海文国家实验室(Brookhaven National Laboratory)的丁肇中领导一个找寻粒子的实验,在实验中,高速的质子被射至

标靶,以产生大量的新粒子,之后使用磁场和探测器的混合来过滤有趣的结果。

丁肇中的双亲是中国人,他们在美国密歇根州安娜堡访问期间早产生下了儿子,丁肇中于是成为美国公民。他们之后回到中国,但日本的入侵中断了丁肇中的教育,在12岁之前他主要都在祖母的监督下居家学习。1949年,丁肇中全家移居台湾,20岁时,他回到美国进入密歇根大学学习,1962年获得博士学位。丁肇中先在哥伦比亚大学任教职,之后又去麻省理工学院任教。他的团队使用布鲁克海文的交变梯度同步加速器(AGS)做实验,因为这个加速器可以生产更高的能量。

在这同时,在美国另一边的斯坦福大学,里克特(B. Richter)领导一个团队在找寻夸克。里克特于1931年出生于纽约皇后区,大学在麻省理工学院就读,不确定要读物理或是化学,但很快地选择了物



(图片来源: Wikimedia Commons)

图1 丁肇中在布鲁克海文国家实验室

理。他在麻省理工学院继续读研究所,最终选定研究粒子物理。在获得博士学位后,里克特到斯坦福大学任教,很快地在那里参与了一个直径80米叫做SPEAR(Stanford Positron Electron Accelerating Ring)的加速器的建造。1973年建造完成后,它可以在环内反向加速电子和正电子束达40亿电子伏特。

在布鲁克海文的加速器是加速质子,但质子并非基本粒子;电子才是,因此斯坦福的物理学家认为他们的探测方式比较理想。类旋转盘的储存环加速电子束,以及反向的正电子束,之后让它们碰撞的能量会产生大量的新粒子。这些粒子束被导入基本是卢瑟福(E. Rutherford)原始的散射实验的放大版,但在此情形下改使用液态氢和氦做为靶。

在1974年暑假期间,两个团队分别各自找寻他们的目标物。因为夸克无法独自存在,所以是以含有粲夸克和反粲夸克的介子形式发现的。在斯坦福国家加速器实验室,里克特的团队在数据中发现大量的凸出区域(共振),显示出新粒子粲夸克的存在,它的生命周期比预期的要长很多。

里克特和丁肇中于11月的会议中在斯坦福直线加速器中心(SLAC)比较双方的记录,知道他们各自的团队都发现了第四种味的夸克。他们很快地共同宣布,两个团队都大约一个星期后发表论文,详细说明他们各自的发现。里克特称他的为“psi(ψ)粒子”,因为它衰变的型式包括4个粒子在磁场弯曲的样子看起来就像希腊的字母“ ψ ”;丁肇中称他的为“J粒子”,因为那个字母和他的中文姓看起来很相似。他们妥协把两者组合一起,因此粲夸克就正式叫做 J/ψ 粒子。

里克特和丁肇中于1976年共享诺贝尔物理奖,“因为他们在发现新的重基本粒子上的开创性研究”。由于此发现而有完整的两代粒子:第一代是电子和上、下夸克;第二代是短寿命的缪子和粲、奇夸克。

然而,大自然还隐藏有更多的惊奇,在几年内,斯坦福直线加速器中心的科学家发现了 τ 轻子,引发找寻2个不同味的夸克。费米实验室的万亿电子伏特加速器(Tevatron)以更高的能量来碰撞固定靶的质子,然后检视它们明显“凸起”的统计数据,成

功于1977年证实 Υ (upsilon)介子(由底夸克和反底夸克所组成)的存在,从而发现了底夸克。但费米实验室的科学家又花了将近20年,一直到1995年才找出难以捉摸的顶夸克,它比原来预期的更重,跟金的原子核一样重⁽¹⁾。

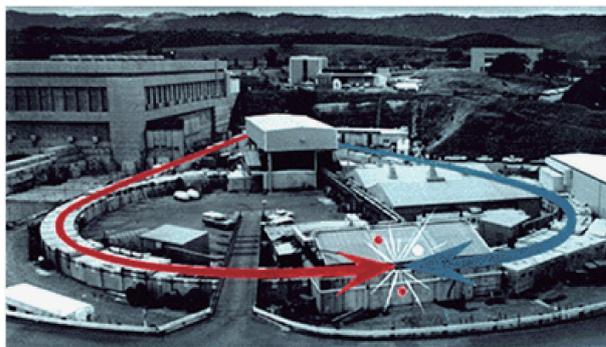
至于粲夸克,它持续令科学家惊讶。2002年,费米实验室的粲夸克重子谱仪(SELEX)合作计划宣布他们探测到了一个带单一电荷,双倍粲的粒子,是由一个下夸克和两个粲夸克所组成。困难的是:其他的实验却做不出这样的粒子。2017年,瑞士大型强子对撞机(LHC)的底夸克实验(LHCb)的探测器发现了罕见的粒子组合:一个带双电荷,双粲的 $\Xi(\Xi)$ 粒子,由一个上夸克和两个粲夸克所组成。大型强子对撞机底夸克实验的粒子也比粲夸克重子谱仪所测得的粒子重不少。或许其中一个结果是错的⁽²⁾——两者的分析都很小心,也很完全——或也许是需要理论的修正来解释其差异性。有谁知道粲夸克有可能还有其他的秘密呢?

译者注:

1. 上(up)、下(down)、奇(strange)、粲(charm)、底(bottom)和顶(top)六种夸克,一般取其第一个字母而通称为u、d、s、c、b和t夸克。

2. 粒子数据小组(Particle Data group, PDG)在其2018年发布的审核报告中分别给了同带双粲,但带单电荷与双电荷粒子一颗星和三颗星。星越多越可靠,最高为五颗星。

(本文转载自台湾大学科学教育发展中心“CASE报科学”,网址<http://case.ntu.edu.tw/blog/?cat=3145>)



(图片来源: Wikimedia Commons)

图2 斯坦福大学的SPEAR加速器