

# 发现难以捉摸的五夸克态

(北京大学 徐仁新 编译自 Kenneth Hicks. *Physics*, August 12, 2015)

包括质子在内的重子由3个夸克组成，而介子则由一对正反夸克组成。可否由若干夸克和反夸克构成其他形态的粒子？这一问题很难从理论角度回答。然而，欧洲核子研究中心 LHCb 合作组报道了这类粒子中的最新一例：以前从未见过的五夸克态粒子，其组分包含构成质子的夸克和一对正反粲夸克。探测到这个粒子看起来有点诧异：虽然五夸克态的存在不会导致修改粒子物理标准模型，但是早先搜索较轻夸克组成的五夸克态要么落空要么不能实验重复。通过研究这一新的夸克态，物理学家可更好地认识束缚态夸克之间复杂的作用力。

多夸克粒子的概念并不新鲜。但自提出夸克模型后的几十年来，只知道两类强相互作用粒子：重子(由3个夸克构成，如质子和中子)和介子(含正反夸克)。仅在过去十余年内科学家才开始发现跟以前夸克模型不一样的新粒子，如 X(3872) 和 Z<sub>c</sub>(3900)，它们的质量约为质子的4倍。Z<sub>c</sub>(3900)是由2个夸克和2个反夸克组成的四夸克态。

发现四夸克态意味着其他多夸克态(如更重的五夸克态)也可能存在。真正的挑战是如何找到它们。寻找这些罕见的粒子犹如大海捞针，因而科学家必须从众多的高能碰撞碎片中搜寻它们。LHCb 实验让两个极高能质子相撞，束流中时常产生包含重味底夸克的复合粒子。让 LHCb 探测器鉴别五夸克态候选体的关键一步是寻找底夸克粒子  $\Lambda_b$  的衰变产物。依据  $\Lambda_b$  的衰变行为，研

究人员足以能从众多杂乱粒子遗迹中发现两个新的五夸克态粒子。

LHCb 发现的这两个五夸克态粒子实际上是质子和  $J/\psi$  粒子的共振态，因而又被称作“粲味五夸克态”。它们比较正式的命名是  $P_c(4450)^+$  和  $P_c(4380)^+$ ，其中括号中的数字按照惯例表征粒子的质量，以百万电子伏特为单位。

除了 LHCb 学者所发现的质子和  $J/\psi$  的共振态外，还可能有什么其他形式的五夸克共振态？十几年前理论家曾预言由一个质子和一个  $\varphi$  介子(正反奇异夸克对)构成的五夸克态，然而实验上却从未发现它们。约二十年前也曾预言过由中子和  $K^+$  介子构成的五夸克共振态(称为  $\Theta^+$  五夸克态)；尽管进行了广泛的实验搜索，但同样未能确认其存在。虽说有多种组合方式可形成五夸克态，但至今只有 LHCb 发现了粲味五夸克态  $P_c^+$ 。 $P_c^+$  为何如此特别？

答案是：不知道！夸克之间的力很复杂，而利用强作用理论量子色动力学(QCD)精确地描述一个多夸克系统是极其困难的。人们基于格点规范理论(数值化处理 QCD)作近似处理，但理论计算并未预测 LHCb 发现的五夸克态。

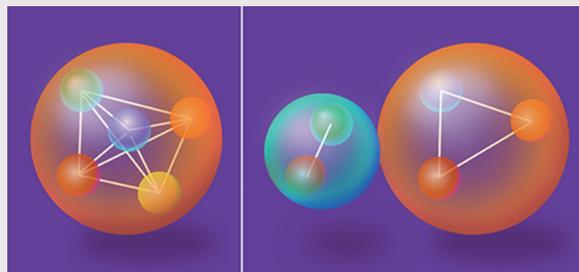
虽然在发现 LHCb 五夸克态之前对它的预言充其量而言是含

糊的，但事后的理论解释已经开始。为了解释实验数据，LHCb 研究人员推测五夸克态的两种可能结构(见图)：紧密球形结合的五个夸克系统；由重子和介子较弱结合的一个“分子”系统。

因缺乏一个可靠的夸克多体相互作用理论，我们只能臆测为什么存在粲味五夸克态而未发现轻味五夸克态。正如理论家所言，看来必须要有  $J/\psi$  内的重味夸克才能提供跟轻味夸克的足够束缚，从而形成多夸克态。根据量子色动力学，强作用是“味盲”的。这意味着，导致粲夸克形成多夸克束缚态的属性是它的质量。若果真如此，则不会形成由轻味夸克构成的五夸克态，但由粲夸克及更重的底夸克所构成的若干多夸克态是可能的。

通过研究五夸克态和四夸克态，我们将更多地了解 QCD 多体理论。LHCb 的这一发现是人们认识自然界四大基本作用之一——强力的重要阶梯。

更多内容详见：R. Aaij et al. *Phys. Rev. Lett.*, 2015, 115 : 072001.



运行 LHCb 实验的研究人员发现了一种包含 5 个夸克的新型粒子，称之为“五夸克态”。关于五夸克态的内部结构，目前有两种推测，分别如左右图所示。左图中，所有 5 个夸克紧密地结合在球内。而右图中，五夸克态则被看做是介子(蓝球)和质子(橙球)较弱地结合在一起的束缚态