

## 顶夸克为什么这么重?

杨长根 霍明虹 译

在费米实验室 Tevatron 质子-反质子对撞机上的 CDF 实验得到了第六味夸克(顶夸克)存在的证据(今年三月份, D0 和 CDF 实验组同时宣布他们观测到了顶夸克——译者注),它使大家的注意力集中到了标准模型中的粒子的不寻常质量模式上。

标准模型包含有三对夸克、三种带电轻子(电子、 $\mu$ 子和 $\tau$ 轻子)和其对应的三种中微子。

夸克之间通过胶子“场”进行相互作用,同时也进行弱电相互作用。电磁相互作用的传播子是光子,弱相互作用的传播子是 $W^\pm$ 和 $Z^0$ 中间玻色子。

物理学家把上述作用叫做标准模型的规范作用,即用同一个理论公式描述所有的物理系统。在应用上,系统与系统之间没有“差别”,这样的理论叫做规范不变理论。要做到规范不变,形式上必需使传播场信息的传播(规范)粒子相统一,必需解释在标准模型中同时存在两种明显不相关的胶子和电弱规范场。

标准模型既有这些规范相互作用,还有其它相互作用,这些相互作用包含破坏对称的“希格斯”粒子。“希格斯”粒子给出夸克和轻子的质量,其质量的大小由希格斯耦合来决定,物理学家称之为标准模型的“汤川”相互作用,早在1935年汤川就提出了核力是由带质量的中间媒介子作用的思想,尽管那时还没有听说过标准模型和希格斯粒子。

标准模型既决定粒子的质量,又决定弱作用下的夸克链式衰变,较重的夸克连续衰变到较轻的夸克。对三对夸克来说,这些衰变是由一个三维的数组来描述的,即著名的卡比玻-小林-益川(CKM)矩阵。尽管标准模型的预言能力有了增加,但这些夸克间的混合只能由实验进行测量。现在,除了顶夸克外,其它夸克的一般衰变图像已经知道了。

由于标准模型从来没能对希格斯粒子有任何说明,因此,很长时间以来将质量问题搁置一边。随着顶夸克的质量现在被确定在175千兆电子伏左右,物理学家对质量问题的兴趣有了变化。

顶夸克为什么比其它夸克重很多(次重的底夸克,质量约5.3千兆电子伏)?轻子的质量由什么决定(电子重0.5兆电子伏, $\mu$ 子重106兆电子伏, $\tau$ 轻子重1777兆电子伏)?三种中微子是无质量的吗?

这些模式暗示我们:在标准模型之外是否有更深层次的对称性?就像弱电作用把电磁和弱作用统一起来一样,在极高能量( $10^{15}$ 千兆电子伏)下,强作用和弱电作用是否能够相统一?

即使就三种夸克对和轻子来说,也有许多种希格斯耦合。这些耦合不仅包含了质量的信息,而且决定了夸克混合的CKM矩阵。我们希望在统一能量以上希格斯模式变得简单一些,一些量能够变为零,其它的量能够简单地相关,甚至相等。把高能的图像外推至低能区时,能够给出夸克的质量和夸克的混合。

最新提出的超对称模型可能达到上述目的,这个理论的基础是把基本粒子的数目加倍——标准模型中的基本粒子被扩大为有自己的“超对称粒子”。标准模型的夸克和轻子被配对,存在无自旋的“超夸克”和“超轻子”;传递作用力的光子、 $W^\pm$ 和 $Z^0$ 中间玻色子被配对,存在光子伴子、带电的中间玻色子伴子和中性的中间玻色子伴子。

理论物理学家期望在大统一能量上出现新的对称性来解释这个能区比较简单的质量模式。现有的夸克质量测量和夸克之间的衰变率将会为此提供更进一步的认识。

(译自《西欧中心快报》第34卷第9期(1994))