



我们从西欧中心(CERN)的信使报获悉,西欧中心的新型正负电子对撞机上的精确测量资料,暗示着一幅有关基本相互作用的新图景,其中包括对对称大统一理论的启示。

在今天的粒子物理学中,最成功的理论是标准模型。它包括有关电磁、弱力的弱电统一理论,并将揭示夸克内部结构及其相互作用的量子色动力学(QCD)理论与之联系在一起,只不过这种联系是松散的。十多年来,一直统治粒子物理舞台的标准模型,除了中微子的某些问题外,所有实验数据都验证了它的成功。尽管如此,众多物理学家仍不确信它是完美的。因为在标准模型中,含有不能从理论本身确定的(手放进去的)许多基本参数,这严重地减少了它的预言能力。

人们所期望的是,让标准模型中联系松散的两个部分——弱电理论和 QCD,能自然地组合成一个更大的大统一理论(GUT),使基本参数减少到两个:一个是大统一标度,在这个标度上,所有作用力的强度都变得相同;另一个是这些强度在大统一能标附近变为一致时的共同值。

电磁力和弱核力的强度变得相当的能标,大约为 100 GeV ,这时强的核作用强度仍然很不一样。它们只是在 10^{16} GeV 的大统一标度才不相上下,与此能标相应的温度,或许只能在大爆炸本身才可达到。

使三种相互作用统一的大统一理论的一个重要预言,是质子不稳定,要衰变。按最简单的大统一模型预言,质子的寿命为 10^{31} 年。对质子衰变的迹象的探索,虽然十年来实验高潮迭起,却未发现任何坚实可信的证据。此外,对弱电混合参数的初步测量,也很难与最小的大统一模型的思想一致。例如最简单的大统一理论(SU₅)已被实验排除。

弱电相互作用的能量标度,可用规范粒子 W 和 Z 的质量来表征,接近 100 GeV 。弱电统一标度和大统一标度的悬殊如此之大,这是棘手的规范等级问题的一个方面。为此人们引进“超对称性”的思想。在通常

的物理中,基本粒子(夸克和轻子)是携带半整数单位自旋的“费米子”,它们服从泡利不相容原理,此原理限制了每个粒子所占据的能量状态。此时,作用力的媒介者(例如光子)是带整数自旋的“玻色子”,不受泡利限制的约束。而超对称性理论指定“超夸克和超轻子”(squark, slepton)为玻色子,作为现有的费米子的配对物。指定“光伴子”(photino)为费米子,作为媒介场玻色子的配对物。于是,在超对称性理论中出现了双重粒子谱。若在大统一图象中引进超对称性,对大统一能量的推算则好做得多。

为解释规范等级问题的另一个超出标准模型的尝试是“多彩理论”(technicolour)。它也是为解释弱电统一的关键问题,即赫格斯对称性自发破缺机制,而引进的一个新的结构层次,它将赫格斯粒子视为“多彩夸克”的复合粒子。目前,这一理论更是举步维艰。

前几年,人们将大统一图象甚而发展到“超弦”(superstring)的概念。超弦也是一种超对称理论,其中粒子是由处于一个抽象的多维空间的两维弦来表征,这一多维空间能被“紧致”成我们所知的四维时空的物理。不少理论家觉得,超弦理论试图最终构造一个包容引力在内的统一自然图象,是有可能的。

这几种大统一理论,都有一个重要的特点,就是在相当高的能标下,所有的相互作用都变得相同,可由单一耦合强度参数来描述,且预言了这一能标大约在 10^{15} — 10^{16} GeV 范围内。如果从西欧中心的正、负电子对撞机上测得的弱、电和强耦合的实验值去推算的话,其结果是一致的。换言之,即用这三种耦合强度的实验值作为“低能”输入,外推到高能大爆炸的能标,果然在 10^{16} GeV 附近,这三种强度从原来的不同量值而变得都相同。

西欧中心对 Z 共振区的电子-正电子研究的一项成就,是真确实证实了自然界存在的中微子不会超过三种。如果轻子和夸克之间果真存在对称性,那么这一结果限制了标准模型预言的夸克只能有六种。至今已发现五种,对第六种夸克“顶”夸克的搜寻,能量高达 90 GeV 的所有方法都空无所获。不过,这个能量不是唯一的极限。综合所有标准模型的资料表明,顶夸克可能的能区为 90 — 160 GeV 。将这些限制放进超对称图景,给出第五种夸克(底夸克)的有效质量约为 5 GeV ,这与重夸克粒子谱(含有底夸克)的研究结果极其相符。当然,这种预言只对存在三种中微子有效。

总之,这些讨论显示出超对称性是探索超出标准模型理论的一条出路。迄今为止,这条出路看来还是令人满意的。不过,实验上尚未发现超对称粒子的迹象。即使最轻的粒子,比方说“光伴子”,应该是稳定粒子,也至今未观测到。搜寻它们的工作正在实施。