



如果我们在纵坐标上记下物理学的成就，在横坐标上标记相应的年份，那末展现在我们面前的一个明显的高峰，就是主要在过去二十年内建立起来的弱电统一理论，以及它与量子色动力学结合而成的标准模型。标准模型是目前物理学家对我们的宇宙的一种最朴素的想法：组成宇宙的最基本砖块，是以二个为一代的夸克和轻子。至少有三代夸克和三代轻子。这些基本砖块之间的“粘合剂”是几种规范场对应的粒子——光子， $W^\pm$ 、 Z^0 中间玻色子和胶子，其中光子和 $W^\pm$ 、 Z^0 玻色子可以合并为一种统一的规范场——弱电规范场。熟悉物理学历史的人都清楚地了解电力和磁力的统一理论——麦克斯韦电磁

场理论，对于近代科学技术的深远影响，它导致了电话、无线电、电视以至整个电子技术的出现。著名物理学家费曼在评论电磁理论的成就时说：“从人类历史的漫长远景来看——即如过一万年之后回头来看——毫无疑问，在十九世纪中发生的最有意义的事件，将判定是麦克斯韦对电磁定律的发现。与这一重大科学事件相比之下，同一个十年中发生的美国内战，将会降低为一个地区性琐事而黯然失色。”我们相信，一百年之后的人，完全有可能用同样的语言来赞美今天物理学家们创建标准模型的功绩。但是要让与格拉肖、温伯格和萨拉姆同时代的人，来阐述标准模型的深远意义，即使是他具有儒纳·凡尔纳那样天才的科学幻想力，也是无法办到的。其中的原因，不仅是因为我们距离标准模型这个高峰太近了，必须再远离几十年，才能看清它的全貌，而且还因为标准模型仍旧是一个带有缺陷和漏洞的学说，只有在克服这些缺陷和漏洞的实际工作中，才能进一步找到标准模型的价值。

在弱电理论中，最富有特色的是以爱丁堡大学的彼德·希格斯名字命名的希格斯机制。希格斯场是一种电中性的场，它即使在真空中也会取某一均匀的非零背景值。粒子与希格斯场相互作用造成了粒子相对于真空的能量。这能量与某一质量等效。在标准模型中， $W^\pm$ 、 Z^0 玻色子，甚至夸克和粒子的质量，都是靠希格斯机制获得的。这种办法可以使理论保持重要的可重整性，而且理论预言的 $W^\pm$ 和 Z^0 玻色子的质量，在 1983—1984 年间被实验漂亮地证实了。但颇具讽刺性的是，弱电理论对于希格斯机制产生中间玻色子质量后而留下的希格斯粒子的性质，却不加任何约束，它可能只有一种，也可能有好几种。它可能轻到与一般

的重子相差无几，也可能重很多。目前还没有一个实验观察到希格斯粒子，也不能确切知道在什么能区的实验可以寻找到希格斯粒子。这显然是不能令人满意的。粒子物理学的最重要任务之一，是用实验来验证希格斯粒子。如果它的质量小于 50GeV，就应该在八十年代末投入运行的斯坦福直线对撞机 (SLC) 或西欧中心的大型电子-正电子对撞机 (LEP) 上找到。如果它的质量在 50—200GeV 之间，应该能在费米实验室的埃伏对撞机 (Tevatron) 上产生。如果它的质量更大，则只能寄希望于目前尚在筹建之中的超级超导对撞机 (SSC)。存在着摆脱这种困境的另一种可能：用其它更好的办法来取代目前的希格斯机制。有人设想把希格斯粒子看作是由某种粒子，如夸克和反夸克对凝聚而成的，就好比在超导理论中，由电子对凝聚起来的库伯对。遗憾的是已知的夸克的凝聚强度不足以产生象 $W^\pm$ 、 Z^0 那样大的质量，这方面的尝试还没有看到有成功的希望。

弱电理论和描写强作用的量子色动力学的另一个重要特色是，它们均采用了非阿贝尔规范理论。在实验上，这个特性的最直接表现是会出现由三个或四个规范场粒子直接相互作用的过程。在强作用过程中，由于末态作用的复杂性，要直接观察这种非阿贝尔规范场的性质是很困难的。但是在西欧中心的 LEP 的第 II 期计划中，有可能进行测量 W^+ 、 W^- 和 Z^0 之间的直接耦合，这对于标准模型的基础将是又一重大的考验。

与弱电理论相比较，色动力学理论的成熟程度远不如前者。它们给出的绝大多数成果，只限于用微扰方法可以计算的所谓硬色动力学的范围。在处理与强作用问题的时候，流行的做法是把高能物理过程划分为软和硬二部分。对于前者，微扰计算技巧失效了。可是在讨论实际问题时，例如夸克、胶子如何形成强子的？它们在强子中的波函数和起始分布如何？夸克囚禁与色动力学真空有何关系？多重产生中的 KNO 标度律的起因等这类问题，都包含了大量的非微扰效应。现在的做法是理论家根据实验上的一些有兴趣事例的指引，提出各种各样的唯象模型和理论。例如核子，有关它的结构模型，就有势模型、孤子型模型、弦模型、价子模型、液滴模型、色介电模型和各种各样的口袋模型。这些带有唯象性质的模型，都是核子性质的某一侧面的描写，它们同标准模型的基本原理之间的直接联系，还是非常模糊的。这里的情况，同用量子力学方程装备起来的氢原子模型的成功，形成强烈的对照。虽然格点规范理论给解决软色动力学这个难题带来了一线希望，但要得到问题的最终答案，也许是旷日持久的事。这意味着物理学家还需摸索很长一段时间。

同电力和弱力的结合比较，在标准模型里，强力的

地位完全是孤立的。最初企图用 $SU(5)$ 大统一理论来统一三种力的方案，因为它的有关质子衰变的预言得不到实验的支持而被泼了冷水。现在不少物理学家热衷于超对称、超引力和超弦理论，希望在超世界中能寻到大统一的最佳方案。对于在这个领域中作勇敢探索的物理学家们的鼓励，主要来自理论自身的优美性，而不是实验上的支持。因为这方面的绝大多数理论预言，远远超越了现实的实验条件。如果我们回顾一下从电力和磁力的结合到电磁力和弱力的统一，物理学家整整经历了一百多年时间，这是一系列光辉思想的胜利（例如夸克、色自由度、胶子、规范场、真空自发破缺等），也是在费米实验室、斯坦福直线加速器中心、西欧中心、汉堡等实验室里进行的大胆而又巧妙的一系列实验的结果。所以我们也许不应该奢望在弱电统一理论成功后的短短几年内，创造统一所有自然力的奇迹。这种估计，并不是对粒子物理学前景的悲观。事实上，正如上面所提到的，标准模型已经为我们提供了许多更为现实的、有价值的课题。在解决这些课题的过程中，可以得到目前正在建造的下一代加速器的帮助，还可以获得突破标准模型的机会。另一方面，标准模型向

其它领域（例如宇宙学和原子核物理学）的渗透，为进一步检验和完善标准模型提供了新的途径。近年来，有两件事引起了粒子物理学家和核物理学家的共同关心。其一是 1982—1983 年间发现的核子结构在原子核中发生畸变，即所谓的 EMC 效应；其二是有可能在重离子碰撞中，实现物质的新形态——夸克-胶子等离子体。这些研究正在形成一个叫高能核物理或夸克核物理的新分枝。它的特点是从夸克、胶子的层次去研究原子核。在原子核中，核子间的尺度正好与软色动力学起作用的尺度相联系。原子核中的夸克效应，必然包含了不少软色动力学信息，所以可以把原子核看作是一个现实的标准模型实验室。不仅如此，同孤立的基本粒子相比较，由基本粒子组成的原子核对人类的关系更为密切，深入研究原子核中的标准模型效应，也许可以使获得这个理论的经济效益。

标准模型是人类认识大自然过程中树立起来的又一块里程碑。它使我们越来越深入地了解我们赖以生存的宇宙之本质——这是标准模型业已取得的一项实际成果。沿着这条路走下去，也许会发生足以与过去的日心说、进化论、狭义相对论、量子力学相比拟的革命。