

小玲和老吕的对话

回顾十年

柯之

玲：叔叔，我又来看您了。

吕：嗨，是小玲呀，已经变成大姑娘啦，快过来让我好好看看你，真是多年不见面了，可我常常想起你来。

玲：是啊，我也时常想起您给我讲故事的情景，回想您第一次给我讲“基本粒子”的故事，已经是十年前的事了。

吕：是啊，十年！这十年的变化可不小啊！小玲，你已经参加工作了吧？

玲：是的，我们这一代人很幸运，遇到好时候啦，全国都在搞改革，要探索出一条最有效的建设社会主义的道路。能够参加这样的工作该多带劲呀。不过，叔叔，老实说我心里常常发慌。

吕：为什么？

玲：您想，建设社会主义需要好多好多的知识，可我的知识却少得可怜。回想那“史无前例”的十年，说什么“知识越多越反动”，“交白卷是英雄”，真是坑害了多少年轻人啊。

知识就是力量*

吕：别提那个荒唐的年代啦。“知识越多越反动”，那是当时社会上出现的一股反科学、反知识、反文化的逆流，这逆流完全是反动的。你想想，按照那种说法，岂不是没有知识的动物界要比有知识的人类社会更“进步”了吗？

玲：唉，就是嘛！前些日子我从一本书上看到，13世纪英国的哲学家培根曾经说过：“知识就是力量”。

吕：他这句话是有道理的，如果人类没有知识，我们今天肯定还在这里过着原始生活呢？

玲：住岩洞，披兽皮，吃生肉，嘿嘿，那是什么滋味呀？

吕：可是由于人类掌握了科学知识，我们的衣、食、住、



图1 “知识越多越反动”的闹剧

行已经越来越现代化了。目前，人类的科学知识领域真是空前扩张，小的方面已经进入“基本粒子”研究领域—— 10^{-13} 厘米，大的方面已经进入“宇宙学”的研究领域—— 10^{16} 光年，人类社会已经进入信息社会，下一个世纪还将跨出地球，进入太阳系。小玲，你想想，古代有哪一个权力显赫的帝王能做到这些，他们恐怕作梦也想不到吧。

玲：是啊，所以说“知识就是力量”，一点也不假！当然，知识就是力量的知识必须是正确的知识，错误的知识无论如何是不会成为力量的！叔叔，以前我常听您讲故事，逐渐明白要得到正确的知识总不免要经过好几次的反复。弱相互作用的故事里，反复的次数就特别多。

吕：不错，每一次反复都是一次“实践”的检验。不通过实践的检验，人类就不能认识客观规律，违反客观规律办事是要受“惩罚”的。

玲：这也是千真万确！几十年来我们由于办事违反客观规律，受到“惩罚”已经多次了，真是令人痛心啊。可是，叔叔，说也奇怪，为什么到现在还有这么一种怪现象：有的人虽然口头上承认“实践”是检验真理的唯一标准，而在实际行动上却常常认

* 参看《二十世纪科学技术简史》 科学出版社 (1986)

为只有“上级”的主张才是真理,或者认为,“长官”的意旨才是真理,或是认为,白纸黑字写在书上的话才是真理?

吕: 这看来和我们国家已经流传几千年的封建主义思想没有彻底肃清有关,同时也和我国文化水平普遍偏低,科学知识不普及,愚昧、迷信、落后在社会上还有很大市场有关。总之,这些都是阻碍我们前进和建设社会主义的绊脚石。

玲: 哦,原来是这样。

吕: 其实,这种“怪事”早就有过。西欧在文艺复兴时期,也就是现代科学的萌芽时期,人们为了冲破愚昧、迷信和落后的封建思想牢笼,甚至还付出过生命的代价,例如,意大利哲学家布鲁诺由于宣传哥白尼的日心地动说,被罗马教会关押了七年。在这七年里,教会屡次逼迫他改变信念,但他宁死不屈,终于1600年在罗马被判处火刑。

玲: 多么残酷,多么野蛮!



图2 布鲁诺为宣传和捍卫真理而献身

吕: 除布鲁诺为大家所知外,在16世纪左右,由于坚信客观真理,违背罗马教会的意旨而被判火刑以及终生监禁的还大有人在,他们都无愧为捍卫真理的勇士,是人类的骄傲。他们对人类作出的贡献是永垂不朽的。

玲: 哦,这个斗争真是惊心动魄呀!

吕: 与16世纪罗马教会的野蛮残酷相比,你看到的那些怪现象可以说算不得什么。而且,可庆幸的是,今天不会再发生那种野蛮残酷的事了。

玲: 可是,我觉得这些为捍卫真理而献身的人们似乎都有一种永远值得人们珍爱的可贵的精神。

吕: 是的,这就是“求实”精神,坚持实践是检验真理的

唯一标准,不承认任何凌驾于真理之上的权威;这就是“崇尚理性”的精神,善于独立思考,敢于不墨守陈规,勇于创新,不怕失败。而总起来说,这就是科学精神!

玲: “知识就是力量”这句话的含义很丰富,其中很重要的一点也许是科学知识能够在人们心中唤起科学精神的觉醒吧,是不是?

吕: 我看是的。小玲,你今天来恐怕不只是为了和我讨论“知识就是力量”吧。

玲: 对呀! 叔叔,您真会猜。这些年来,我虽然没有学物理,但您讲过的故事使我总是不能忘怀那些五花八门的“基本粒子”和千变万化的“量子场”。真想再听您讲一次这些年的新进展,行吗?

吕: 让我想一想,这些年可讲的事情实在太多啦,从何讲起呢? 这么吧,我就先给你讲一讲“辉煌的成就”吧。

玲: 叔叔,那可太好啦!

辉煌的成就

吕: 说到辉煌的成就,首先就要说一说弱电统一理论的证实。

玲: 我还记得,您在讲弱相互作用的故事时,曾说过弱相互作用和电磁相互作用可能统一起来。

吕: 我大概还说过,70年代中性流的发现,和后来又发现极化电子束打氘靶有宇称不守恒现象,都支持了弱电统一理论。

玲: 不过您也说过这是不够的,要肯定弱电统一理论的正确,还必须确实找到传递弱相互作用的 W^+ , W^- , Z^0 粒子才行。

吕: 这还不够,还必须证实它们的静止质量和弱电统一理论所预言的完全一致。

玲: 要求真高哪!

吕: 为了弄个水落石出,西欧联合核子研究中心在1981年实现了270京电子伏的质子和270京电子伏的反质子对撞的庞大计划,并组成了包括180位物理学家的两个实验组,分别称为UA1组和UA2组,他们建造的两座很大的探测仪器,也分别以UA1和UA2命名。经过一年多的努力,终于取得很大的收获。1983年初两个组都找到了 W^+ 和 W^- ,测得的静止质量是:

$$M(W^\pm) = (81 \pm 5) \text{ 京电子伏}/c^2 \quad (\text{UA1}) \\ (80 \pm \frac{10}{6}) \text{ 京电子伏}/c^2 \quad (\text{UA2})$$

1983年夏天,两个组又都找到了 Z^0 ,静止质量是:

$$M(Z^0) = (95.6 \pm 1.4) \text{ 京电子伏}/c^2 \quad (\text{UA1}) \\ (91.9 \pm 1.3 \pm 1.4) \text{ 京电子伏}/c^2 \quad (\text{UA2})$$

这些数据 and 目前一般采纳的理论值

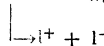
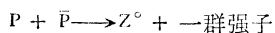
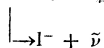
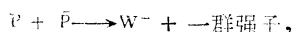
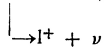
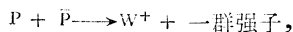
$$M(W^\pm) = (83.0 \pm 2.5) \text{ 京电子伏}/C^2$$

$$M(Z^0) = (93.7 \pm 2.1) \text{ 京电子伏}/C^2$$

是很相近的,因此在全世界引起了轰动,大家终于相信, W^+ , W^- , Z^0 不再是纸上谈兵的符号,而是实实在在存在的粒子。

玲: 物理学家是怎么在 UA1 和 UA2 仪器里看到 W^+ , W^- , Z^0 的?

吕: 不是看到,因为它们的寿命都太短,仪器里不可能留下径迹。但是物理学家们可以从衰变产物来判断它们的存在。事实上大约要经过两亿次质子和反质子的对撞,才能出现一个 W^+ 或 W^- ,要经过十亿次对撞,才能出现一个 Z^0 。出现的方式是这样的:



(l 包括 e 和 μ)

可以看到, p, \bar{p} 对撞中即使偶而产生 W^+, W^-, Z^0 粒子,也要同时产生一群强子(几乎都是 π 介子)。所以,仪器所记录的径迹中,与 W^+, W^-, Z^0 有关的只占极少数,但它们都是有很大横动量(动量在垂直于质子、反质子对撞方向的分量叫横动量)的轻子 e^+, e^-, μ^+, μ^- , 而 $\nu, \bar{\nu}$ 的径迹是不会记录下来的。根据大横动量这个特点,物理学家们可以比较容易地找到 W^+, W^-, Z^0 的衰变产物 e^+, e^-, μ^+, μ^- 的径迹,并测定它们的动量、能量。 W^+, W^-, Z^0 的静止质量也就很快推算出来了。

玲: 哦,原来是这样找到的。叔叔, W^+, W^-, Z^0 是不是还有别种性质呢?

吕: 有的。而且最新的实验结果表明, W^+, W^-, Z^0 的所有性质,包括衰变宽度(衰变几率)、产生截面(产生几率)、以及各种相互作用性质,包括 $e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-$ 过程的弱电干涉效应等等,无一例外地都与弱电统一理论的预言符合。以下是最新的静止质量实验数据:

$$M(W^\pm) = (83.1^{+1.3}_{-0.8} \pm 3) \text{ 京电子伏}/C^2 \text{ (UA1)}$$

$$(81.2 \pm 1.1 \pm 1.3) \text{ 京电子伏}/C^2 \text{ (UA2)}$$

$$M(Z^0) = (93.0 \pm 1.6 \pm 3) \text{ 京电子伏}/C^2 \text{ (UA1)}$$

$$(92.5 \pm 1.3 \pm 1.5) \text{ 京电子伏}/C^2 \text{ (UA2)}$$

你看,跟理论值更接近了。

玲: 真是神了!

吕: 所以说这是一个辉煌的成就。在历史上只有两件事可以和弱电统一的发现相提并论: 一件是 17

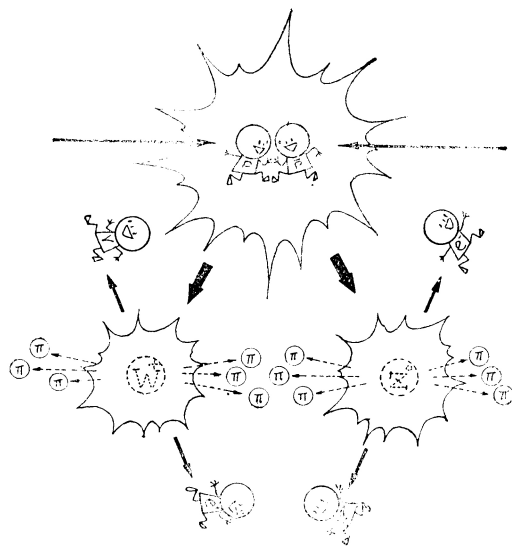


图3 W和Z的衰变产物是大横动量的轻子

世纪牛顿提出万有引力理论,统一了天体相互作用的力和地上抛物落地的力。另一件是 19 世纪麦克斯韦提出电磁场理论,统一了电力和磁力,也统一了电磁波和光波。

玲: 这三个发现大概可以算是物理学史上的三个里程碑吧?

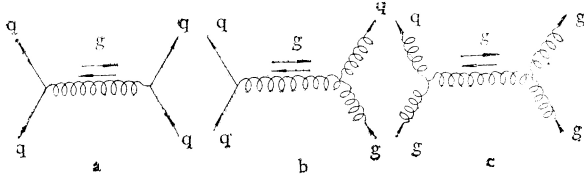
吕: 可以这样说。不过,目前理论预言的希格斯粒子还没有找到。它就是以前说过的使 W^+, W^-, Z^0 获得静止质量的一种自旋为零的 φ 场(希格斯场)的量子。但一时找不到希格斯粒子无损于弱电统一理论的成功。好吧,接下来要说一说量子色动力学的成功。它也经受了严格的实验检验,站住了脚,终于成为有史以来第一个能够阐明强相互作用机制的强相互作用理论。

玲: 记得您以前给我讲过层子有三种“色”荷——“红”、“绿”、“蓝”。胶子在带“色”荷的粒子之间传递相互作用。

吕: 是的。量子色动力学和量子电动力学之间有很相似的地方,例如,电荷是量子电动力学中的守恒荷,“色”荷是量子色动力学中的守恒荷;光子在带电荷的粒子之间传递电磁相互作用,胶子在带“色”荷的粒子之间传递强相互作用,等等。它们也有很重要的不同之处,主要就是光子不带电荷,而胶子是带“色”荷的。在量子色动力学理论中,胶子是反映“色”对称性质的 $SU(3)$ 规范场的量子,共有 8 种。它们只与强作用有关,与电磁作用无关,所以它们不带电。在这种情况下,按照我们以前的讨论,层子是不可能带整数电荷的。另外,由于量子色动力学理论中只有一个强相互作用耦

合常数，所以这个理论并不预言存在超强相互作用。

玲：胶子既然在带“色”荷的粒子之间传递强相互作用，而且胶子本身也带“色”荷，那么，胶子是不是同样可以在胶子与胶子之间，以及胶子与层子之间传递强相互作用呢？



a, 在层子与层子之间传递 b, 在层子与胶子之间传递, 显示了胶子的自作用. c, 在胶子与胶子之间传递, 显示了胶子的自作用.
g——胶子, q——层子
图4 胶子传递强相互作用

吕：你猜对了，由于在胶子与胶子之间传递强相互作用的传递者也是胶子，而且不需要别的媒介物，所以我们说胶子有自作用。胶子的自作用产生了一些很重要的后果。例如，它给量子色动力学带来了“渐近自由”性质。与此相反，光子没有自作用，所以量子电动力学没有“渐近自由”性质。

玲：什么叫“渐近自由”？

吕：要说明这一点，必须先说一下实验现象。小玲，你还记得我以前讲过的“部分子”的故事吧。现在知道，以前说的“部分子”就是层子。在深度非弹性散射的实验中，高能电子只与核子里面的一个层子发生相互作用。

玲：我记得您还说过，这发生的相互作用是弹性散射。

吕：电子与核子中的一个层子发生弹性散射意味着什么呢？意味着核子里面的这个与电子发生相互作用的层子，在散射的一瞬间，可以看作是几乎不受强相互作用的自由粒子。而且实验结果还表明，入射电子与这个层子交换的动量、能量越大，也就是入射电子越靠近这个层子，这个层子所受到的强相互作用就越弱，就越显得趋于自由。这种现象就叫做强相互作用的“渐近自由”现象。

玲：量子色动力学能够很好地解释这个实验事实吗？

吕：解释得出乎意外地好：由于考虑了胶子的自作用，量子色动力学不但能够预言“渐近自由”现象的存在，而且能够把自由的程度随交换动量、能量的变化也计算出来，与实验数据符合得相当不错。强相互作用的其它的好些实验结果，包括电子-阳电子碰撞产生很多强子和产生二喷注、三喷注的实验，强子与强子碰撞产生大横动量喷注的实验，测定 γ 粒子衰变宽度(衰变几率)的实验，以及其

它，等等，也都没有超出量子色动力学的预言。

玲：哦，理论物理学家看到量子色动力学可以很好地描述强相互作用，恐怕要喜出望外了吧？

吕：是啊，50和60年代的强相互作用理论完全不能对强相互作用的机制作出物理解释，同今天的量子色动力学相比，真是相差太远了。不过，量子色动力学的成就，到目前为止还赶不上弱电统一理论，主要原因是量子色动力学没有能够对强相互作用的“色禁闭”作出明确无误的预言。

玲：什么叫“色禁闭”现象？

吕：和刚才说的“渐近自由”相反。如果入射电子与层子散射时，交换的动量、能量较少，也就是在电子不太靠近这个层子的情况下，就会发现层子所受到的强相互作用力较强。这也是强相互作用的一种特有性质。另外，层子与层子的距离由小变大时，它们之间的强相互作用吸引力也都无例外地越来越强，以至自由的层子不能跑到强子外面来。

玲：如果层子跑到强子外面来，它与强子中其它层子的距离就太大了，强相互作用吸引力也变得很强，就把这个层子拉回去了，是不是？

吕：是啊！以前说过，强子的半径一般都是 $\sim 10^{-13}$ 厘米，自由层子不能跑出这个范围，所以，实验上看不见自由层子，这就是禁闭现象。又因为自由层子是带“色”的，所以这种禁闭现象又叫做“色禁闭”现象。“色禁闭”现象也包括胶子，自由的胶子也不能跑到强子外面来，因为胶子也是带“色”的。正由于“色禁闭”，实验上看到的强子都是无色的，或“白”色的。

玲：我记得您以前讲过实验上只看到“白”色的强子。叔叔，看来“渐近自由”和“色禁闭”正好是两个极端，“渐近自由”只在大动量、能量交换，或尺度小的情况下出现，“色禁闭”只在小动量、能量交换，或尺度大(大于 10^{-13} 厘米)的情况下出现。

吕：是的，而且量子色动力学不但能够预言“渐近自由”，而且和“色禁闭”这个实验现象也并不矛盾，因为有了胶子的自作用这个机制，量子色动力学就能够预言在动量、能量交换越来越小，也就是尺度越来越大时，强相互作用的吸引力也越来越强。

玲：那为什么说量子色动力学对“色禁闭”没有明确无误的预言呢？

吕：因为量子色动力学没有能够明确无误地预言在距离达到强子半径(10^{-13} 厘米)时，强相互作用吸引力就加强到足以阻止层子和胶子从强子中跑出来。目前，量子色动力学关于“色禁闭”的讨论顶多只是一种有根据的猜测，而不是科学的预言。从伽里略、牛顿以来，物理学家一直有一个很好的求实传统，就是凡是预言都必须给出数值，因为否则无法从实验来判断它是真是假。

玲：量子色动力学为什么给不出与“色禁闭”有关的数值预言呢？

吕：因为到目前为止人们只会用量子色动力学作微扰论计算，而“色禁闭”涉及的相互作用是很强的，不是微扰现象，不能用微扰方法。

玲：这就遗憾了。

吕：好几年前发展了一种格点规范理论，可以用电子计算机来作非微扰计算。初步结果肯定了“色禁闭”的存在。还探讨了温度升高到一定程度时，量子色动力学体系是否会出现“退禁闭”相变。就是说，会不会从“禁闭相”转变成“夸克胶子等离子体相”。处于“夸克胶子等离子体相”中的夸克和胶子不再禁闭在强子之中，但仍然不能逃逸出等离子体，成为自由的夸克和自由的胶子。这些探讨当然都是很有趣的，但是，量子色动力学的格点规范计算的结论，同时空连续的量子色动力学应有的结论之间会不会有质的差异，还是一个不太清楚的问题。

玲：不过和您刚才讲的 50 年代和 60 年代的强相互作用理论作对比，量子色动力学仍不愧为一个辉煌的成就。

吕：说到辉煌的成就，还必须提一下 t 层子的发现。

玲：您以前给我讲层子的“味”的故事时，在 t 层子后面打了一个“？”号。

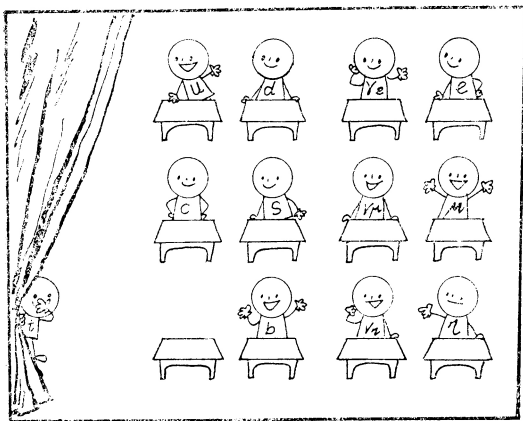


图 5 欢迎新来的半遮着脸的伙伴

吕：是的，当时还没有发现 t 层子。可是，在发现了 b 层子和 τ 轻子之后，大家就都深信不疑 t 层子的存在了。因为第一，如果没有 t 层子，就会破坏层子和轻子之间的非常漂亮干净的一一对应关系，还会破坏层子和轻子按性质排列的整齐的“周期表”，但是，人们却找不到一种理由说明为什么应该有这种破坏。第二，各种不含 t 层子的模型所算出来的关于 b 层子衰变的预言值总是和实验值不符。当然此外还有其它的相信 t 层子存在的理

由。

玲：物理学家们一定认为 t 层子的不存在是不可思议的谜吧。

吕：是的，所以几年来物理学家们一直盼着 t 层子的出现。开始时估计 t 层子的静止质量是 b 层子的 3 倍，即 ~ 15 京电子伏/ C^2 ，但没有找到。后来又估计为稍大于 20 京电子伏/ C^2 ，又没有找到。1983 年 UA1 组在探测 W^\pm 的衰变产物时，终于发现了 6 个可解释为 t 层子的衰变踪迹。但是 t 层子静止质量测不准，只知道在 30—50 京电子伏/ C^2 的范围内。1985 年又发现了 6 个类似事例，测出静止质量仍在 30—50 京电子伏/ C^2 的范围内。所以还要进一步确定。

玲：这个 t 层子真可以说是“千呼万唤始出来，犹抱琵琶半遮面啊！”

吕：不过，我相信 t 层子的质量终究是会测准的，只是发生测量误差的因素太多，必须改进技术才行。总之，回顾十年，已经可以在相当大的程度上肯定层子有 6 种味 (d, u, s, c, b, t) 和三种色 (“红”、“绿”、“蓝”)，轻子也有 6 种味 ($e^-, \nu_e, \mu^-, \nu_\mu, \tau^-, \nu_\tau$)，但没有色。层子和轻子都有反粒子。它们之间的弱电相互作用由弱电统一理论描述， W^+, W^-, Z^0 是弱作用的传递者，光子是电磁作用的传递者；层子的强作用则由量子色动力学描述，胶子是强相互作用的传递者。这就是目前总的来说与实验符合不错的标准模型。

玲：是不是还有与实验不符的或者没有找到的东西呢？

吕：有两种粒子还没有找到，一种是经典规范场理论预言存在的“磁单极子”，一种是刚才说到的希格斯粒子。找不到这两种粒子很可能有更深刻的原因。

玲：听到过去十年有这么大的进展确是令人兴奋。

焦躁和失望

吕：但是有进取心的科学工作者是不会满足于已有的成就的。他们特别爱挑剔毛病，并由此去探寻新的前进的道路。比方说，他们在弱电统一理论里就挑出了一个毛病。

玲：什么毛病？

吕：弱电统一理论的规范群是 $SU(2) \times U(1)$ ，它有两个耦合常数，与 $SU(2)$ 子群相关的是 g ，与 $U(1)$ 子群相关的是 g' 。但是，弱电统一理论并没有确定 g 与 g' 之间的关系，它们是互不相干的。因此，这个理论不能算作单一耦合常数的真正统一的理论。

玲：噢，真把毛病给挑剔出来了。

吕：对于标准模型来说，不能由理论决定的参数就更

多了,算起来有 20 个,除上述两个耦合常数 g 和 g' 外,还有弱电统一理论里面的 d、s、b 层子的三个线性组合参数 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 , 一个 CP 破坏参数 δ , 6 种夸克和 3 种带电轻子的 9 个质量参数, 希格斯场的真空期待值 v 和自作用耦合常数 λ , 量子色动力学的强作用耦合常数 α 和质量标度参量 $4\pi/g$, 再加上规范不变的 θ 真空的 θ 角。

玲: 待定的参数真是太多了,那怎么办呢?

吕: 有人认真分析了一下弱电统一理论和量子色动力学的规范群,前者是 $SU(2)$, $XU(1)$, 后者是 $SU(3)$, 于是就想到,为什么不可以引入一个更大的群,既包含 $SU(2)$ 和 $U(1)$, 又包含 $SU(3)$, 从而把弱、电、强三种相互作用都真正地统一起来呢?

玲: 这倒是个好主意!

吕: 于是他们就挑选了 $SU(5)$ 群,因为 $SU(5)$ 群既包含 $SU(2)$ 群和 $U(1)$ 群,又包含 $SU(3)$ 群。在 $SU(5)$ 群的基础上他们建立了一种可以统一描述弱、电、强三种相互作用的量子规范理论,简称大统一理论。

玲: 做到了只有一个独立的耦合常数吗?

吕: 做到了这一点,这个理论给出了各个有效耦合常数之间的关系,而且在能量很低于 10^{15} 京电子伏的情况下,以前标准模型的预言,它也都能给出。

玲: 这不是很理想吗?

吕: 可是想不到出了新的麻烦,因为 $SU(5)$ 规范场理论要求有 6 种 X 粒子和 6 种 Y 粒子,它们传递的是一种前所未有的相互作用,预言了质子、中子都能衰变。质子的主要衰变模式是: $P \rightarrow e^+ + \pi^0$

玲: 那么质子的寿命有多长呢? 实验上看到质子衰变吗?

吕: $SU(5)$ 大统一理论预言的质子寿命是 $\leq 1.4 \times 10^{32}$ 年,但是实验太难做,因为衰变几率太小了。

玲: 实验是怎么安排的?

吕: 基本上都是在地下深处放一个巨大水箱,盛满了水,周围用很多探测器探测水中质子的衰变产物。目前最大的实验装置可盛 8000 吨水,装了 2048 个光电倍增管。

玲: 嗨,真不小! 结果怎样呢?

吕: 探测了好多年,总是不能肯定质子是否一定会衰变。1985 年整理出来的一个数据是: 质子寿命 $> 3.3 \times 10^{32}$ 年,和 $SU(5)$ 大统一理论的预言正相抵触,所以 $SU(5)$ 大统一理论失败了。

玲: 哦!

吕: 不过, $SO(10)$ 群的大统一理论预言了质子寿命 $\leq 4.0 \times 10^{32}$ 年,这个数值和目前实验值似乎并不矛盾。

玲: 实验值会不会再改进呢?

吕: 这可说不定,如果实验值从 $> 3.3 \times 10^{32}$ 年提高到

$> 4.0 \times 10^{32}$ 年, $SO(10)$ 群的大统一理论也就失败了。

玲: 这么看来,大统一理论的前途并不乐观呀!

吕: 人们还发现,大统一理论中 X 粒子的质量 M_X 和 W^\pm 粒子的质量 M_W 之比 $\frac{M_X}{M_W} \sim 10^{26}$ 在计算辐射修正(微扰修正)时有不稳定的趋势,会影响大统一理论的结论,所以又把希望寄托于超对称的大统一理论。

玲: 什么是超对称的理论?

吕: 有一种运算上的变换,可以把玻色场变成费米场,和把费米场变成玻色场,这叫作超对称变换。在超对称变换下具有不变性的物理理论叫作超对称(不变)的理论。

玲: 有什么特点和好处呢?

吕: 特点是费米子超对称伙伴是玻色子,玻色子的超对称伙伴是费米子。好处是微扰计算中相互有超对称伙伴关系的费米子圈图与玻色子圈图的贡献恰好相互抵消,所以可以克服 $M_X^2/M_W^2 \sim 10^{26}$ 的辐射修正不稳定性。同时,超对称大统一理论所预言的质子寿命大大超过原先的大统一理论所预言的寿命。质子衰变主要模式也从大统一理论的 $P \rightarrow e^+ \pi^0$, 转变为超对称大统一理论的 $P \rightarrow \bar{\nu}_\mu K^+$ 。

玲: 这不就解决问题了吗?

吕: 不行。在超对称的大统一理论里,轻子和层子都必须有各自的玻色子伙伴,光子、 W^+ 、 W^- 、 Z^0 和胶子,以及希格斯粒子也都必须有各自的费米子伙伴。可实验上却从来没有看到过它们的这些伙伴呀!

玲: 哎呀! 那不又一次令人失望了吗!

吕: 于是,人们又从超对称理论转入超引力理论。因为接连两次超对称变换等价于空间时间的平移变换,而与定域平移变换不变性相关联的规范场恰好就是引力场。

玲: 超引力理论又有什么好处呢?

吕: 它可以通过希格斯机制和超希格斯机制使上面说的各个超对称伙伴,再加上引力子的超对称伙伴——自旋 $3/2$ 的引力微子,全都获得很大的静止质量,大到近期内的加速器能量不足以产生它们,所以看不到。

玲: 这倒省心。

吕: 不过,超引力理论终究也是失败的,因为它有无穷多种发散项,根本不可重整化,所以也是不自洽的。

玲: 哦,这回真的此路不通了。那么,叔叔,除了挑剔未定参数太多外,还挑剔出别的毛病没有?

吕: 有的,在标准模型里,不同“色”和“味”的夸子,反

层子共有 $3 \times 6 \times 2 = 36$ 种,不同“味”的轻子、反轻子共有 $6 \times 2 = 12$ 种。再加上光子、 W^+ 、 W^- 、 Z^0 和 8 种胶子,粒子总共已达到 60 种。这个数目完全可以和元素周期表中元素的数目相比。而且,层子和轻子按性质排列起来,已显出了周期性的变化,这不明明告诉我们,层子、轻子……等等可能和原子一样,也都有更深层次的内部结构,由更基本的东西所组成吗?可是,标准模型却把层子、轻子……等等都看作是没有内部结构的“点”粒子了。

玲:看来又是一个言之成理的挑剔。

吕:这个挑剔引起了人们对“亚层子”的关注,几年内出现了多种多样的“亚层子”模型。

玲:“亚层子”是什么?

吕:就是人们想像中的组成标准模型各种粒子的更基本、更深层次的东西。

玲:这些模型有成功的吧?

吕:不大成功。它们多半是标准模型的仿制品。制作这些仿制品时的主导思想是,不要破坏标准模型已经取得的成就。这就好像仿照大娃娃的模样子做一个小娃娃,硬要把小娃娃装到大娃娃里面去,但又怕挤破了大娃娃。

玲:这倒是有点难。

吕:难就难在关于物质结构的下一层次,目前,实验上几乎还没有提供任何信息。人们只好仿照大娃娃的模样子去做小娃娃,可是小娃娃的身上却显不出下一层次的新模样。

玲:是啊!这也令人失望啊!

吕:前几年,由于没有找到希格斯粒子和磁单极子,再加上刚才说的那些失望,高能物理学家们不免产生了一种焦躁和急切的心情。这种心情在 1984 “反常”年中多少有所反映。

玲:叔叔,为什么 1984 年是“反常”年?

吕:从 1983 下半年到 1984 年,实验上出现了好几个与标准模型相矛盾的现象,人们把它们称为“反常”现象。于是 1984 年就成了“反常”年。

玲:唷,标准模型又受到新的冲击和挑战啦!叔叔,您说说都有哪些反常?

吕:我举几个例子:第一个例子是苏联一个实验小组几年来屡次宣称发现了电子中微子有静止质量,1984 年发表的数值更显得自信:

$$m_{\nu_e}^2 = (1215 \pm 130) \frac{(\text{电子伏})^2}{c^4}$$

他们连实验误差都给出了。但标准模型的中微子是没有静止质量的。第二个例子是西欧核子研究中心在 1983 年秋天观察到 Z^0 粒子的 $Z^0 \rightarrow e^+e^-r$ 衰变模式,其中 r 是一个能量高达几十京电子伏的高能光子。但是,他们发现这种模式的衰变几

率竟比标准模型所预言的大了一个数量级,无法得到解释。第三个例子也发生在西欧核子研究中心,1984 年上半年高能质子、反质子对撞机上看到了“大丢失能量”事例。就是说,质子、反质子对撞后,只在一侧出现大横动量的“单喷注”。另一侧按照动量守恒原理也应看到高能粒子式喷注,但一个也没有看到。丢失的是什么东西?似乎也无法解释。第四个例子是 1984 年发现 γ 粒子有一种如下的衰变模式

$$\gamma \rightarrow r + \xi$$

r 是光子, ξ 是一种新粒子,质量高达 8.3 京电子伏/ c^2 ,但在标准模型中却找不到它的位置。还有第五个例子,美国的一个实验小组利用放在矿井中的实验装置测得了来自天鹅座 X-3 双星方向的高能 μ 子流, μ 子流强度变化的周期和这个双星发射 X 射线的周期相同,都是 4.8 小时。可是,这些高能 μ 子如何产生?这又是标准模型所不能解释的一个谜!此外,1984 年还有其它的反常和谜。

玲:这些反常和谜真是够令人兴奋的。

吕:是呀!所以在 1984 年激起了一个“新物理学”高潮,人们盼望着这些“反常”能够引导他们找到超出标准模型的“新物理学”。但出人意外的是,1985 年召开的一个国际会议上,物理学家们根据新的实验结果和新的理论分析,竟完全否定了 1984 年的所有的“反常”。

玲:噢,有这样的事?

吕:第一,1985 年瑞士的一个实验小组用苏联实验小组的方法重新作实验,并在方法上有所改进,结果没有发现电子中微子有静止质量。其它的几个实验小组,包括中国的一个实验小组,也给出了否定的结果。第二,1984 年以后没有再发现 $Z^0 \rightarrow e^+e^-r$ 模式的 Z^0 衰变,说明 1984 年看到的高能 r 光子是本底现象,与 Z^0 的衰变不相干。第三,1985 年又增加了好几个“大丢失能量”事例,但经过周密分析后,人们认为这种事例和标准模型并没有什么矛盾。第四,在后来进行的关于 γ 衰变的实验中, ξ 粒子再也不出现了,说明以前 ξ 粒子的出现是虚假现象。还有第五,人们重复了对来自天鹅座 X-3 双星方向的高能 μ 子的探测工作,结果什么也没有看见。总之,上面五个例子的“反常”全都否定了。其它的“反常”也都一个一个消失了,或得到了解释。

玲:对 1984 “反常”年的否定倒是很干脆!

吕:此外,没有发现轻子、层子和 W^+ 、 W^- 、 Z^0 粒子有激发态。这说明到目前为止,这些粒子都还没有显示出有任何内部结构。

玲:标准模型终于经受住了 1984 “反常”年的冲击。

吕：可是希格斯粒子和磁单极子仍是两个没有解决的

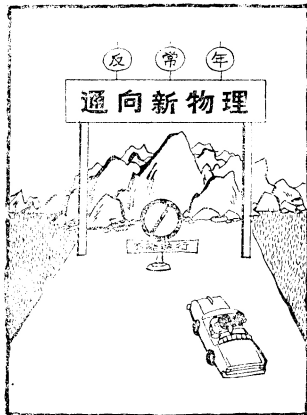


图6 道路并不是那么平坦

谜!

玲：叔叔，物理学家们掀起了1984“反常”年的高潮，又努力把它否定掉，结果一无所获，这些物理学家不是很可笑吗？

吕：小玲，你如果再认真想一想，就会觉得他们并不可笑，而是可敬的，因为他们的

所作所为真正体现了刚才所说的科学精神：为了追求客观真理，硬是要通过科学实验弄个一清二楚。过去错了，就推倒重来，毫不吝惜。

玲：想想确是这样，叔叔，您说的不错。

吕：而且基础科学和应用科学不同，它的目的是探求未知的客观真理。正因为是未知，所以就必须允许失败。其实，失败也是有收获的，可以取得宝贵的经验和教训，以后肯定有用。而且，人们往往要经过若干次失败，才会变得聪明起来。

坚持不懈的追求

玲：叔叔我很想知道，在这些成就、焦躁和失望之后，人们又在想些什么？

吕：这不大好猜。不过，从目前的动向来看，他们仍然一如既往地坚持不懈地在追求。

玲：追求一些很有意思的目标吧。

吕：是的，很有意思。比方说，实验物理学家们在追求进一步全面验证标准模型，一定要弄清楚它的各种预言到底准确到什么程度：他们还在追求去验证那些超出标准模型的更大胆的理论的预言，这种预言可能言之成理，但是没有经过实验的检验，很不可靠。他们特别希望追求的是理论上想都没有想到过的新现象、新粒子。历史上不乏这种发现的例子，它们会给科学的发展带来有力的推动力。

玲：研究和建造加速器的科学家们呢？

吕：为了满足实验物理学家和理论物理学家提出的越来越高的要求，他们在追求继续大幅度提高能量和提高流强，对于对撞机来说，则是提高能量和提高亮度（反应截面×亮度=每秒（总）反应几率）。十年来，由于加速器技术的发展，特别是反质子束流冷却技术的发展，世界上第一次出现了高能高亮度的270+270京电子伏的质子-反质子对

撞机。在这个对撞机上，令人信服地找到了 W^+ 、

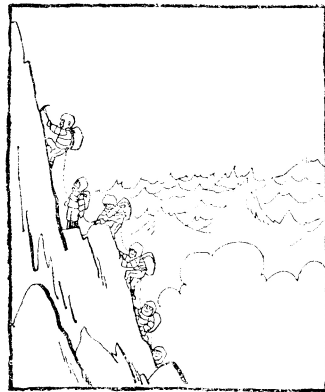


图7 继续追求和攀登

W^- 、 Z^0 粒子和胜利地验证了弱电统一理论。为了进一步满足提高能量的要求，十年来更大力发展了超导技术，使它成熟起来。因此，在本世纪内，将出现一台周长约100公里的20+20核电子伏（核电子伏=

1000京电子伏）的质子-反质子的对撞机。当然，加速器科学家们决不会就此满足和止步，他们还要继续追求提高加速效率（目前首先考虑的是激光技术），以求下个世纪在对撞机的规模不再增大的情况下继续大幅度提高能量。我国近年来也在对撞机建造方面开始起步。

玲：哦，真是雄心壮志，那么理论物理学家们呢？

吕：理论物理学家们追求的永远是吧隐藏在表面现象后面的客观规律合乎逻辑地概括起来，并由此得出各种系统性的科学理论。他们将不厌其烦地进行各种艰巨的计算，并与物理实验的结果相对照，以求弄清标准模型的运用范围。他们还将继续在相互作用力的统一和更深层次的物质结构方面与实验物理学家们合作共同探索粒子的奥秘，特别是在 10^7 京电子伏以上的能区里，他们将会发现新的广阔天地。

玲：看来实验物理学家、加速器技术专家和理论物理学家组成了高能物理的三驾马车，缺一不可。

吕：说的不错，而且同时还应该体会到他们各有各的特殊问题和难处。就以理论物理学家来说，他们的严谨的理论体系从二十世纪初期起就有了一个大缺口，而且一直修补不起来，已经60多年了。

玲：您指得是什么？

吕：我指的是二十世纪早期就提出的一个长期没有得到解决的基本理论问题——引力量子化问题。小玲你看，量子力学已经有六十多年的历史了，广义相对论的引力理论也已经有七十年的历史了，在这六七十年里，它们都早已成长为成熟的理论体系。但是它们的结合——量子引力理论——却至今是失败的，不自洽的。这不是一个大缺口吗？

玲：真有这样的事？

吕：真有。从60年代到70年代，人们绞尽脑汁作了各种尝试，包括多维时空理论和前面提到的超引力理论，但都无济于事。因为在“点”模型量子场

论的框架里,凡是涉及引力场的量子场论,必定有无穷多种发散项,不可能重整化,使得理论不可能自洽。这也许可以看作是理论物理学家的后院“失火”,实验物理学家和加速器技术专家没法帮忙吧。

玲:有没有人尝试改变“点粒子”这个框架呢?

吕:有的,人们引进了“弦”理论和具有超对称性质的“超弦”理论。这种理论不把“基本粒子”看作是“点”,而看作是大约长 10^{-33} 厘米的“弦”的各种“振动模式的激发”。

玲:能解决问题吗?

吕:“超弦”理论给出了一些很有意义的结果,说明它含有合理的内容。但它还远远不是一个完整的严谨的理论。要弄清楚它是否能解决引力量子化问题,还需要作很大努力才行。

玲:这也是理论物理学家追求的目标之一吧?它的希望很大吗?

吕:可能有希望,这要看今后的发展。

什么是价值

玲:听您回顾过去的十年,我不禁想起一个问题,就是价值问题。以前您曾经讲过研究“基本”粒子的意义,但还没有直接回答我目前的问题。我想问的是,这十年里,在高能物理研究方面投入了那么大的物力人力,取得了那么多有意义的成就,那末,这些成就到底有多大的价值呢?

吕:小玲,让我也问你一个类似的问题。当年布鲁诺为捍卫日心地动说而献出自己宝贵的生命,显然他认为日心地动说比自己的生命还要宝贵,那么,日心地动说到底有多大的价值呢?

玲:哦,叔叔,看来世界上有很多美好的东西虽然极有价值,但这种价值与商品的价值并不相同。

吕:是的,有的价值可以用金钱来衡量,有的价值却无法用金钱来衡量。无法用金钱衡量其价值的东西有很多反而是更可贵的。例如日心地动说,它是人类的共同财富,16、17世纪的人们曾经以它为武器,去和愚昧、迷信、落后作斗争。又例如现代科学知识,包括相对论、量子论……在内,也都是人类的共同财富,它们充实和武装了人类的头脑,使世界的面貌不断更新。但我们没有办法用金钱去衡量这些人类共同财富的价值。

玲:叔叔,您回答了我刚才的问题。可是,为什么很多人常常喜欢用经济效益去衡量科学成就呢?

吕:经济效益是要考虑的,但是片面性可千万要不得。只追求经济效益,不追求社会效益,肯定会使我们失去一些最珍贵的东西。举一些现成的例子:牛顿的力学原理、麦克斯韦的电磁理论、爱因斯坦的相对论、海森伯、薛丁格和狄拉克的量子力学……

等等,它们都是人们公认的知识瑰宝。可是在它们刚出世时,谁能够说它们有什么经济效益呢?

玲:叔叔,我非常同意您的观点!现在还想再问一个问题,您已经讲过好多科学知识的故事,可是为什么总是不讲科学家的故事呀?

吕:因为科学家和你我一样,也都是普普通通的平凡的人,想不起来有什么好说的。如果一定要问在平凡之中有一点点什么不平凡的东西的话,那就是他们都具有执着地不畏艰难、不怕失败地追求真理的性格。

玲:不过我想,一个人即使不是科学家,也应该注意培养这种性格吧。

吕:小玲,你说的很对。