

# 走向统一的自然力

## 弱力和电磁力的统一 ( III )

厉光烈<sup>1</sup> 鹿桂花<sup>2</sup>

(1 中国科学院高能物理研究所 100049; 2 新疆伊宁市伊犁师范大学物理科学与技术学院 835000)

### 3. 弱电统一理论及其实验验证

前面提到, 在揭示弱力物理本质的过程中, 费米在他的“ $\beta$ 衰变理论”中首先指出, 弱力和电磁力一样, 是矢量相互作用。经过许多科学家近 30 年的实验和理论研究, 终于证明了弱力确实是矢量相互作用。费米的这一想法, 后来被费曼和盖尔曼进一步推广为守恒矢量流理论, 并最终导致温伯格、格拉肖和萨拉姆建立了弱力与电磁力的统一理论。这一讲, 我们介绍这两个理论及其实验验证。

#### (1) 守恒矢量流理论及其实验验证

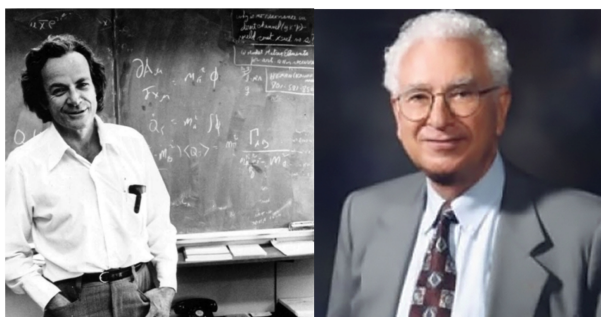
新的疑难:  $g_V^\beta = g_\mu$

实验上发现,  $\beta$  衰变中的矢量耦合常数  $g_V^\beta$  不仅在所有超允许  $0^+ \rightarrow 0^+$  跃迁中有惊人的相同。而且与  $\mu$  衰变中费米型相互作用耦合常数  $g_\mu$  也几乎一样, 误差不超过 1% ~ 2%。这种极好的一致, 本来正是普适费米相互作用所要求的。但是, 进一步考虑却出现了新的疑难。因为核子不同于  $\mu$  子, 它可以发射或吸收虚  $\pi$  介子, 因此在它的周围好像包着一层介子云。这层介子云对核子的  $\beta$  衰变必然要产生影响, 那么, 为什么包着介子云的核子会与裸  $\mu$  子有相同的弱作用呢? 这显然是一个令人困惑的问题。

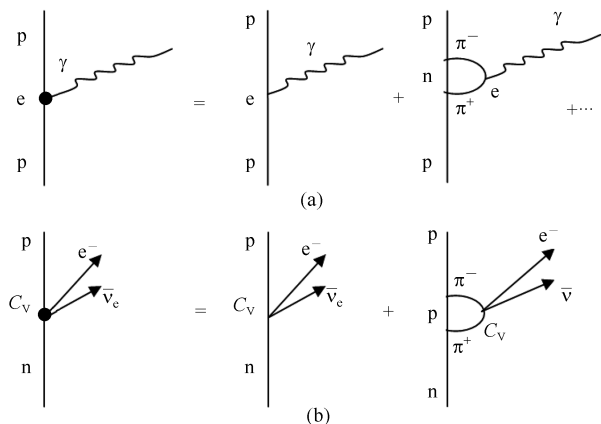
#### 费曼和盖尔曼提出守恒矢量流理论

为了解决这个疑难, 费曼和盖尔曼对照电磁学理论提出了守恒矢量流 (CVC) 假说。在右图 (a) 中, 我们看到: 在电磁跃迁中, 由于电荷守恒, 物理质子、裸质子和  $\pi$  介子云与电磁场相互作用的耦合常数都是  $e$ , 也就是说, 包着介子云的物理质子和裸质子与电磁场的相互作用是相同的。由连续性方程可以知道:

电荷守恒意味着电流的散度等于零, 也就是说, 电流是无散流或守恒流。从图中可以看到, 电流是由裸质子和  $\pi$  介子云贡献的, 严格地讲, 应称为电磁流。对照下图 (a) 和 (b), 可以看到: 在  $\beta$  衰变中, 情况是类似的: 只要由裸中子和  $\pi$  介子云贡献的弱矢量流是守恒流, 包着  $\pi$  介子云的物理中子就会与裸中子有相同的弱矢量相互作用, 这就是费曼和盖尔曼提出的 CVC 假说。



费曼 (R. P. Feynman, 1918 ~ 1988) 和盖尔曼 (M. Gell-Mann, 1929 ~)



CVC 理论中的电磁跃迁和  $\beta$  衰变 (a) 物理质子的电磁跃迁是裸质子和  $\pi$  介子云贡献之和 (b) 物理中子的  $\beta$  衰变是裸中子和  $\pi$  介子云贡献之和

进一步，费曼和盖尔曼又对 CVC 假说加以发展，引入同位旋三重态来统一地描述  $\beta^\pm$  跃迁和电磁跃迁，提出了同位旋三重态矢量流假说。

同位旋这个概念是海森伯于 1932 年首先引入的<sup>①</sup>，鉴于质子和中子的质量以及它们在原子核中的性质十分相似，海森伯认为可以把它们看作是同一种粒子——核子的两种不同的荷电状态，并引入同位旋来描述核子的这两种电荷态。同位旋，与自旋类似，也是一个抽象空间中的物理量，通常用符号  $T$  表示。

以核子为例，其同位旋  $T = \frac{1}{2}$ ，它在上述抽象空间中

某一特定方向上的投影  $T_z$  可取两个值： $+\frac{1}{2}$ （“向上”或“同向”）和  $-\frac{1}{2}$ （“向下”或“反向”），

它们分别对应于核子的两种电荷态：质子和中子。后来，在粒子物理中，同位旋得到了更为广泛的应用。

例如， $\pi$  介子有三种电荷态： $\pi^+$ 、 $\pi^0$  和  $\pi^-$ ，它的同位旋  $T=1$ ，其投影  $T_z$  有三个值： $+1$ 、 $0$  和  $-1$ ，分别对应于上述三种电荷态，称为同位旋三重态；又如， $\eta$  介子只有单个电荷态： $\eta^0$ ，它的同位旋及其投影都为  $0$ ，称为同位旋单态。

费曼 - 盖尔曼同位旋三重态矢量流假说，就是把电磁跃迁中的电磁矢量流和  $\beta^\pm$  衰变中的弱矢量流，看作是同位旋三重态矢量流的三个分量：

$$\beta^- \text{ 衰变 } J_\mu^+ = \psi_N^+ \gamma_4 \gamma_\mu \tau_+ \psi_N + i \left[ \phi_\pi^* T_+ \nabla_\mu \phi_\pi - (\nabla_\mu \phi_\pi)^* T_+ \phi_\pi \right],$$

$$\text{电磁跃迁 } J_\mu^Z = \psi_N^+ \gamma_4 \gamma_\mu \tau_Z \psi_N + i \left[ \phi_\pi^* T_Z \nabla_\mu \phi_\pi - (\nabla_\mu \phi_\pi)^* T_Z \phi_\pi \right],$$

$$\beta^+ \text{ 衰变 } J_\mu^- = \psi_N^+ \gamma_4 \gamma_\mu \tau_- \psi_N + i \left[ \phi_\pi^* T_- \nabla_\mu \phi_\pi - (\nabla_\mu \phi_\pi)^* T_- \phi_\pi \right].$$

其中， $\psi_N$  和  $\phi_\pi$  分别为核子和  $\pi$  介子的波函数； $\tau$  和  $T$

分别为核子和  $\pi$  介子的同位旋矢量： $\tau_\pm = \frac{1}{2}(\tau_x \pm i\tau_y)$ ，

$T_\pm = 1/2(T_x \pm iT_y)$ ； $\nabla$  为梯度算符。可以由同位旋三重态矢量流守恒给出弱矢量流守恒，但是应当注意，仅仅弱矢量流守恒和电荷守恒并不意味着同位旋三重态矢量流守恒。顺便指出：无论是守恒矢量流假说，还是同位旋三重态矢量流假说，都只涉及弱作用的矢量耦合部分，轴矢量并不守恒。因为如果轴矢量也守恒，那么  $\pi \rightarrow \mu + \nu_\mu$  和  $\pi \rightarrow e + \nu_e$  这两个弱衰变过程就不可能

发生，而这是与实验事实相矛盾的。

## $^{12}\text{B}$ 和 $^{12}\text{C}$ 能谱形状的精确测量

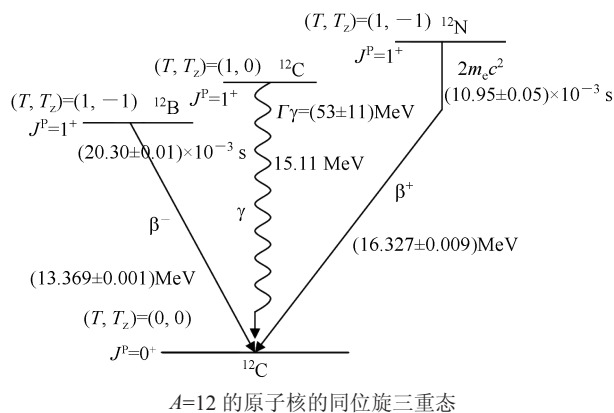
对于电磁作用，虽然  $\pi$  介子云引起的修正并不改变耦合常数（即电荷  $e$ ），但是它可以明显地改变核子的磁矩。在物理上，这是由于裸  $\pi$  介子具有较小质量而携带较大的磁矩的缘故，核子反常磁矩正是因此而产生的。根据 CVC 理论，在  $\beta$  衰变中也应有类似的反常磁矩项，盖尔曼称其为弱磁项。由于弱磁项的存在， $\beta$  能谱的库里标绘将会偏离线性。因此，通过实验测量这种偏离便可验证理论的预言。作为一个例子，盖尔曼建议测量  $^{12}\text{B}$  和  $^{12}\text{N}$  的  $\beta^\pm$  衰变能谱。从下图可以看到， $^{12}\text{B}$  的基态、 $^{12}\text{C}$  的能量为  $15\text{ MeV}$  的激发态和  $^{12}\text{N}$  的基态正好组成一个同位旋三重态（同位旋  $T=1$ ， $T_z$  分别为  $-1$ 、 $0$ 、 $1$ ，自旋和宇称  $J^P=1^+$ ）。它们通过发射  $\beta^-$ 、 $\gamma$  和  $\beta^+$  粒子跃迁到  $^{12}\text{C}$  的基态（ $T=0$ ， $T_z=0$ ， $J^P=0^+$ ）。考虑到弱磁项的存在， $\beta^\pm$  衰变的能谱可以写成

$$N_\pm(W) \approx PW(W_0 - W)^2 \left( 1 + \frac{8}{3} a_\pm W \right),$$

其中  $PW(W_0 - W)^2$  为给出线性库里标绘的统计因子；

$\left( 1 \pm \frac{8}{3} a_\pm W \right)$  为谱形因子， $a_\pm$  可由理论算出：CVC 理论给出的结果是  $a_\pm(\text{CVC}) = \mp(0.55 \pm 0.09)\% (\text{MeV})^{-1}$ ；不考虑  $\pi$  介子云修正的费米理论给出的结果是  $a_\pm$ （费米） $= \mp 0.05\% (\text{MeV})^{-1}$ ，两者明显不同。因此，通过实验测量  $a_\pm$  便可知道哪一种理论更正确。但是，由于谱形因子与  $1$  相差极小，做这样的实验测量是很困难的。

1962 年，梅耶 - 库库克 (T. Mayer-kuckuk) 和米



歇尔 (F. C. Michel) 首先测量了  $^{12}\text{B}$  和  $^{12}\text{N}$  的  $\beta$  能谱, 得到  $a = (+1.82 \pm 0.08)\% (\text{MeV})^{-1}$ 、 $a_+ = (+0.52 \pm 0.20)\% (\text{MeV})^{-1}$  和  $a_- a_+ = (1.30 \pm 0.31)\% (\text{MeV})^{-1}$ 。虽然他们得到的  $a_- a_+$  值与 CVC 理论预言值  $(1.10 \pm 0.17)\% (\text{MeV})^{-1}$  符合得甚好, 但是  $a_{\pm}$  值与 CVC 理论预言值符合得并不好。随后吴健雄等在 1963 年用他们的无铁中间聚焦磁谱仪, 更精确地测量了这两个  $\beta$  能谱, 结果得到  $a = (+0.55 \pm 0.10)\% (\text{MeV})^{-1}$ 、 $a_+ = (-0.52 \pm 0.06)\% (\text{MeV})^{-1}$ 、 $a_- a_+ = (1.07 \pm 0.24)\% (\text{MeV})^{-1}$ , 与 CVC 理论的预言值符合得极好, 从而成功地验证了 CVC 理论。还有一些其他实验, 例如  $\pi^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e$  绝对衰变几率的测量和  $^8\text{Li}$ 、 $^{12}\text{B}$  的  $\beta$ - $\alpha$  角关联的测量等, 它们的实验结果也都支持 CVC 理论。另外, 这个实验还告诉我们:  $\beta^{\pm}$  跃迁和电磁跃迁确实可用同位旋三重态来统一描述。

## 卡比博角

CVC 理论要求  $g_V^{\beta} = g_{\mu}$ , 但实际上  $g_V^{\beta}$  与  $g_{\mu}$  并不严格相等, 精确的实验测量表明,  $(g_{\mu} - g_V^{\beta})/g_{\mu} = (2.2 \pm 0.15)\%$ 。耦合常数之间的这种差别显然是与 CVC 理论的要求相矛盾的, 在比较奇异数 ( $S$ ) 守恒和不守恒的半轻子衰变几率时, 这种矛盾变得更加突出。例如, 奇异数守恒 ( $\Delta S=0$ ) 的  $\pi^+$  介子的半轻子衰变:  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}$  的衰变几率要比相应的奇异数不守恒 ( $|\Delta S|=1$ ) 的弱作用过程:  $K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}$  和  $K^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e$  大 20 ~ 30 倍。另外,  $\Delta S=0$  的中子  $\beta$  衰变 ( $n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e$ ) 的几率也要比超子的半轻子衰变:  $\Lambda \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e$  和  $\Sigma^- \rightarrow n + e + \bar{\nu}_e$  的几率大 20 ~ 30 倍。为什么  $|\Delta S|=1$  的弱作用过程的衰变几率会如此之小呢? 为了回答这个问题, 卡比博根据强子的 SU(3) 群分类提出了一个很吸引人的假说。以  $K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}$  和  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}$  为例, 他认为, 耦合常数  $g_K$  和  $g_{\pi}$  之所以不一样, 是因为人们把  $K^+$  介子和  $\pi^+$  介子看作是基础粒子的缘故。实际上,  $K^+$  和  $\pi^+$  是有内部结构的。按照强子结构的夸克模型, 它们同属于一个八重态介子族, 这个介子族包含  $\pi^+$ 、 $\pi^0$ 、 $\pi^-$ 、 $\eta$ 、 $K^+$ 、 $K^-$ 、 $K^0$  和  $\bar{K}^0$  等 8 个粒子。在 SU(3) 群对称性不破坏的情况下, 这 8 个粒子的任何线性组合都可看作是这

个介子族的基础粒子。如果取  $K^+$  和  $\pi^+$  的线性组合:

$$\phi'_{\pi^+} = (g_{\pi}\phi_{\pi^+} + g_K\phi_{K^+})/g_0 \quad \text{和} \quad \phi'_{K^+} = (g_K\phi_{\pi^+} + g_{\pi}\phi_{K^+})/g_0$$

(其中  $g_0 = (g_{\pi}^2 + g_K^2)^{1/2}$  称为“弱荷”), 用  $K'^+$  和  $\pi'^+$  代替  $K^+$  和  $\pi^+$  当作基础粒子, 那么  $K'^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}$  和  $\pi'^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}$  的耦合常数将完全一样, 都是  $g_0$ , 这里  $g_K$  和  $g_{\pi}$  可通过一个角度  $\theta_c$  由  $g_0$  给出:  $g_K = g_0 \sin \theta_c$ ,  $g_{\pi} = g_0 \cos \theta_c$ ,  $\theta_c$  就称为卡比博角。一般地讲,

$$\theta_c = \arctan \frac{g_{|\Delta S|=1}}{g_{|\Delta S|=0}}, \quad \text{可由实验数据定出: } \theta_c = 0.26 \text{ 弧度,}$$

对矢量耦合和轴矢耦合都一样。利用卡比博角, 不仅成功地解释了奇异粒子 (包括 K 介子、 $\Lambda$  和  $\Sigma^-$  超子等) 的半轻子衰变, 而且在考虑 SU(3) 群对称性破坏引起的修正后, 也能很好地解释  $g_V^{\beta}$  和  $g_{\mu}$  之间的细微差别。



卡比博 (N. Cabibbo, 1935 ~ 2010)

## (2) 弱电统一理论及其实验验证

### 普适 (V-A) 费米相互作用存在的问题

在低能情况下, 普适 (V-A) 费米相互作用可以很好地解释  $\beta$  衰变和  $\mu$  衰变等弱作用过程。在引入卡比博角后, 又可以很好地解释奇异粒子的半轻子衰变过程。但是, 当将其推广到高能情况时, 就遇到了很大的困难。首先, 是在一些计算中出现了无穷大, 而且这些无穷大不能像在电磁作用理论中那样可以通过重整化消除掉。其次, 用它算出的轻子散射截面不符合从几率守恒要求推算出的结果, 即破坏所谓的么正

性条件。

### 李、杨提出中间玻色子的概念

为了克服这些困难，李政道和杨振宁对照核力的汤川理论（该理论认为：核子之间的相互作用——核力是通过介子来传递的），提出4费米子弱作用是通过中间玻色子  $W^\pm$  来传递的，这里  $W$  取自英文“Weak（弱）”字的打头字母。在核力介子理论中，为了解释核力的短程性，传递核力的介子不同于传递电磁力的光子，必须具有静止质量，而且就因其静止质量介于质子与电子之间，故而得名。鉴于弱力几乎是直接作用，即力程极短，因此， $W^\pm$  应是质量很大的粒子。在对有关的实验事实进行分析以后，李、杨提出： $W^\pm$  是一种带电的自旋为1的矢量粒子，寿命很短，质量很大。因此，在低能极限下，相互作用力程与粒子的德布罗意波长相比可以忽略不计，于是便可以回到不需要通过第三者来传递的普适（V-A）费米相互作用。但是，由于  $W^\pm$  的质量太大，估计为  $30 \text{ GeV}/c^2 < M_{W^\pm} < 300 \text{ GeV}/c^2$ ，因此，在当时的实验条件下，很难观察到。

### 弱电统一理论的建立和初步的实验验证

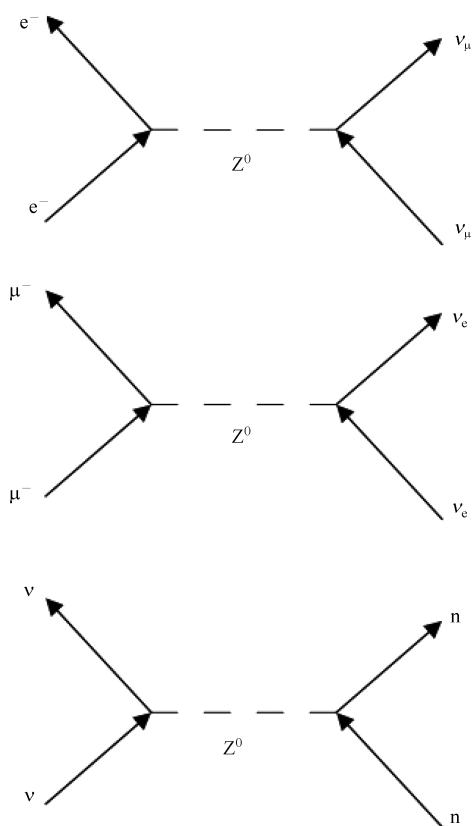
前面已经讲过，费米提出  $\beta$  衰变理论与费曼和盖尔曼提出 CVC 理论时，都将4费米子弱作用与电磁作用作了类比，这反映了这两种作用非常相似。但是，它们的耦合方式不一样。4费米子弱作用，即普适（V-A）费米相互作用是直接作用，而电磁作用是通过电磁场来传递的。李、杨的中间玻色子理论的提出消除了这一差别，使人们猜测弱作用和电磁作用可能像电和磁一样，是一种作用的两种表现，它们的原始耦合常数可能是一样的，只是中间传递粒子的质量不一样，才在低能时显示出不同的力程和强度。

这种猜测促使美国物理学家格拉肖（1961年）和温伯格（1967年），巴基斯坦物理学家萨拉姆（1968年）分别独立地提出了弱电统一理论。考虑到 CVC 理论中统一描述  $\beta^\pm$  跃迁和电磁跃迁的同位旋三重态满足 SU(2) 群的对称性，以及电磁流中不仅包含同位旋三重态的分量而且包含同位旋单态，他们认为：可以应用杨振宁和米尔斯于1954年提出的规范场理论，选用 SU(2)  $\otimes$  U(1) 作为规范群，来统一地描述弱作用和



杨振宁（1922～）和米尔斯（R. L. Mills, 1927～1999）

电磁作用。按照杨振宁和米尔斯的定义，与这种规范群相应的4个规范场的量子是没有静止质量的，都不能作为弱作用的中间玻色子。因此，温伯格和萨拉姆又进一步引入希格斯机制<sup>⑨</sup>使这4个规范场重新组合成3个有静止质量的规范场，其场量子为中间玻色子  $W^\pm$  和  $Z^0$ ，和一个没有静止质量的规范场——电磁场，其场量子为光子。这样，他们便统一地描述了弱作用和电磁作用。温伯格和萨拉姆的弱电统一理论预言，中间玻色子  $W^\pm$  和  $Z^0$  的质量分别约为： $83 \text{ GeV}/c^2$  和  $93 \text{ GeV}/c^2$ 。由于这些中间玻色子的质量太大，当时世界上所有的加速器的能量都不足以产生它们，因此实验上没有能够立即发现。但是，由于弱电统一理论不仅预言存在李、杨提出的中间玻色子  $W^\pm$ ，而且预言存在一种新的中间玻色子  $Z^0$ ，因此，只要找到交换  $Z^0$  的中性流反应，例如： $e + \nu_\mu \rightarrow e + \nu_\mu$ 、 $\mu^- + \nu_e \rightarrow \mu^- + \nu_e$  和  $n + \nu \rightarrow n + \nu$  等，便可检验理论的预言。这是因为，在这些反应中，实验测量不到的中间过程，即  $Z^0$  粒子产生和（或）衰变的过程（见下图），是不必要求能量守恒的，因此反应前两个粒子的总能量也就不一定要大于  $Z^0$  粒子的静止能量。1973年，在欧洲核子研究中心的一个实验组利用庞大的重液泡室和能量为28 GeV的加速器所产生的中微子束流，找到了中性流反应： $e + \nu_\mu \rightarrow e + \nu_\mu$  的第一个事例，从而间接地证明了  $Z^0$  的存在，验证了理论的预言。另外，弱电统一理论还预言，在正负电子对撞机的实验中，既可以通过电磁作用产生  $\mu^+ \mu^-$  对，也可以通过弱作用产生  $\mu^+ \mu^-$  对（见



中性流反应

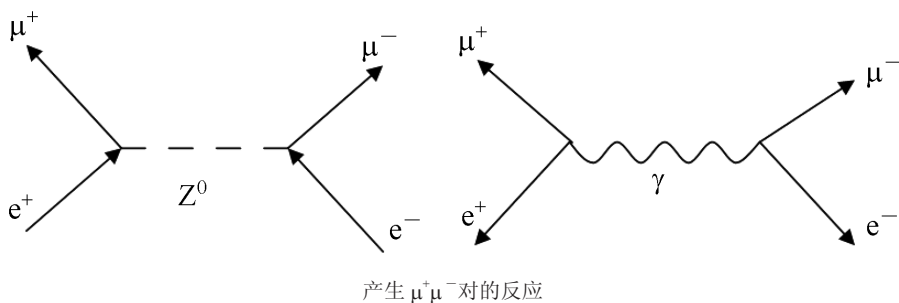
右图)。因此，通过实验观察这两种反应之间的弱电干涉现象也可以检验理论的预言。1978年，在美国斯坦福直线加速器中心由泰勒领导的实验组作了一个纵向极化电子在氟核上散射的实验，得到了与弱电统一理论预言相符合的实验结果，再次证实了弱电统一理论的正确性。

中性流的发现导致温伯格、格拉肖和萨拉姆因对弱电统一理论作出贡献而共同获得了1979年度的诺贝尔物理学奖。应当指出：格拉肖获奖，是因为他首先提出弱电统一理论，并预言了中性流存在，但是他的理论未能解决中间玻色子没有静止质

量的问题，后来温伯格和萨拉姆的理论解决了这个问题。因此，弱电统一理论应当是格拉肖、温伯格和萨拉姆共同的研究成果。

### 中间玻色子 $W^\pm$ 和 $Z^0$ 的实验发现

为了能够直接观测到中间玻色子  $W^\pm$  和  $Z^0$ ，必须提高加速器的能量。有人建议，将欧洲核子研究中心的270 GeV质子同步加速器改造成质子-反质子对撞机，使其质心能量提高到540 GeV，以便产生这样重的粒子。这项工程由意大利物理学家鲁比亚和荷兰物理学家范德梅尔等人负责实施。由于反质子在自然界里不能自然地产生，而且产生以后也极易与质子发生湮灭反应，因此要得到高强度的反质子束是很困难的。欧洲核子研究中心的反质子束是在另一台加速器(PS)上产生的，产生后的反质子束被存储在一个特制的储存环中，这个储存环就是由范德梅尔负责建造的。他借鉴苏联西伯利亚核子研究所在1974~1976年间试验成功的“电子冷却”技术，提出了“随机冷却”方法，解决了约束并提高反质子束流强度的难题。所谓“电子冷却”，就是利用电子流，通过碰撞，来减弱质子、



产生  $\mu^+\mu^-$  对的反应



格拉肖 (S. L. Glaschow, 1932 ~)、温伯格 (S. Weinberg, 1933 ~) 和萨拉姆 (A. Salam, 1926 ~ 1996)

反质子或其他重离子束流中粒子的不规则运动，降低束流的“温度”。“随机冷却”，则是通过测量确定粒子束流的重心线，然后再用校正（或冷却）装置的电场使重心线逐渐恢复到设计轨道上去，总的效果是减少粒子束在加速过程中的横向发散度和能散度，以提高束流密度，进而提高对撞机的亮度。1980年，范德梅尔领导的小组建成了反质子储存环，使实现质子-反质子对撞进而实验发现  $W^\pm$  和  $Z^0$  粒子成为可能。

1981年10月，欧洲核子研究中心的质子-反质子对撞机（SPS）投入运行。两束粒子在质子系中的能量高达  $540 \text{ GeV}/c^2$ ，使实验上发现中间玻色子  $W^\pm$  和  $Z^0$  成为可能。1983年1月20～21日，在这台对撞机上工作的两个实验组分别宣布发现了  $W^\pm$ 。其中，由鲁比亚领导的 UA1 实验组在 10 亿次质子-反质子碰撞中观察到 5 个  $W^\pm$  事例，确定  $M_{W^\pm} = (81.70 \pm 6.44) \text{ GeV}/c^2$ ；另一个由德勒拉领导的 UA2 实验组在相同数目碰撞中观察到 4 个  $W^\pm$  事例，确定  $M_{W^\pm} = (83.05 \pm 7.05) \text{ GeV}/c^2$ 。这两个组定出的  $M_{W^\pm}$  值都与弱电统一理论预言值符合得很好。由于产生  $Z^0$  的机会要比产生  $W^\pm$  机会小 10 倍，因此它没有能够与  $W^\pm$  一同被发现。欧洲核子研究中心的科学家为了发现  $Z^0$ ，花了 4 个月的时间将束流的亮度提高了 10 倍。UA1 组终于在 5 月 4 日找到了  $Z^0$  的第一个事例，到 6 月 1 日欧洲核子研究中心总所长朔佩尔宣布这一发现时，一共找到了 5 个  $Z^0$  事例，确定  $M_{Z^0} \cong 100 \text{ GeV}/c^2$ ，这与弱电统一理论预言值符合得很好。

中间玻色子  $W^\pm$  和  $Z^0$  的发现验证了格拉肖、温伯格和萨拉姆提出的弱电统一理论，因此，鲁比亚和



鲁比亚（C. Rubbia, 1934～）和范德梅尔（S. van der Meer, 1925～2011）

范德梅尔共同荣获了 1984 年度诺贝尔物理学奖。

弱电统一理论的建立和中间玻色子  $W^\pm$  和  $Z^0$  的发现是物理学上一个划时代的事件，其重要性可以与电磁学理论的建立和电磁波的发现相比拟。虽然目前还无法估量它是否会像电磁学理论那样对人类生活产生巨大的影响，但是，理论上的意义是很清楚的：从电磁统一到弱电统一，反映了基本相互作用之间有某种内在的联系，它将促使人们进一步去探索统一弱电作用和强作用的可能性<sup>③</sup>。

① 应当指出：也有学者认为，同位旋的概念是卡森（B. Cassen）和康登（E. U. Condon）为了解释核力的电荷无关性于 1936 年引入的（参见朱洪元《量子场论》第 61 页）。

② 希格斯机制：通过对称性自发破缺，使规范场获得静止质量同时消除掉无静止质量场量子的一种方法。1964 年，由恩格勒特（F. Englert）和布鲁特（R. Brout），希格斯（P. Higgs），以及古拉尔尼克（G. Guralnik）、哈根（D. Hagen）和基伯（T. Kibble）分别独立地提出。鉴于希格斯的数学表述更易于理解，人们将其称为希格斯机制。2012 年 7 月 4 日，欧洲核子中心（CERN）宣布在大型强子对撞机（LHC）上发现了希格斯粒子，实验验证了希格斯机制，比利时物理学家恩格勒特和英国物理学家希格斯因此荣获了 2013 年度诺贝尔物理学奖。

③ 我们将在下一讲讨论强力、弱力和电磁力的大统一，从规范场理论的角度更为详细地介绍杨-米尔斯规范场理论和弱电统一理论，包括希格斯机制及其实验验证。

## 科苑快讯

### 甜酒霉菌的 RNA

植物病原体一般通过蛋白效应物致病，一个典型的例子就是葡萄孢霉。美国加利福尼亚大学河滨分校的温伯格（Arne Weinberg）和同事最近已阐明了确切的机制。

真菌感染番茄和草莓，导致灰霉病，也被称为“贵腐病”，而这正是生产餐后甜酒（如法国苏玳葡萄酒）所必需的。研究者发现霉菌利用包含 20～24 个核苷酸小分子的 RNA（sRNAs），破坏植物细胞的功能。葡萄孢属霉菌可产生 800 多个小分子 RNA，这就造就了闻名世界的法国伊甘庄园（Chateau d' Yquem）贵腐甜酒。

（高凌云编译自 2013 年 11 月 20 日《欧洲核子中心快报》）