



τ 重轻子的发现

到本世纪五十年代初为止, 物理学家们已经观测到的基本粒子才不过十几种。人们把其中不参与强相互作用的、自旋为半整数的 e^- (负电子)、 e^+ (正电子)、 μ^- (负 μ 子)、 μ^+ (正 μ 子) 以及 ν (中微子)、 $\bar{\nu}$ (反中微子) 统称为轻子, 因为它们的质量都很轻。

二十多年过去了, 人们已经发现的基本粒子已达几百种, 情况就变得复杂了。看来, “轻子”这个名字并不十分恰当, 因为在发现 J/ψ 粒子之后不久, 就发现了一种很重的“轻子”, 说明“轻子”并不都是很轻的。以下就说一说发现的经过:

斯坦福直线加速器中心和洛伦兹贝克莱实验室的科学家们组成的小组 (以下简称为 SLAC/LBL 小组), 在斯坦福电子直线加速器中心 e^+e^- 对撞机 Spear 的

通过这个圆柱形磁谱仪的轴, e^+e^- 电子对撞就在探测器的中心处发生。在束流管的外面是用 3 毫米厚的闪烁体作成的内触发计数器, 用来排除宇宙射线产生的本底。再往外是 4 个圆柱形的丝火花室。外触发计数器由 48 个 2.5 厘米厚的塑料闪烁体组成。它还用来测量粒子的飞行时间。当然, 事例的选择也是由内、外触发计数器决定的。它的作用就好像工厂里的产品质量检验员一样, 由它来决定产品——实验中的事例的取舍。9 厘米厚 3 厘米长的铝线圈在沿轴的方向产生 4 千高斯的磁场。再外面是圆柱形簇射计数器, 由 24 块铅和闪烁体夹心结构排列而成, 它的厚度是 5 个辐射长度, 用来辨认电子。20 厘米厚的铁既是磁铁线圈的厄铁, 又是强子过滤器, 吸收跑出来的强子。最外面是两层丝火花室, 用来测量 μ 子。这个磁谱仪最重要的性能就是能够清楚地辨认在 e^+e^- 对撞中产生的 e^+ 、 e^- 和 μ^+ 、 μ^- 。

1975 年 8 月 SLAC/LBL 小组在寄给“物理学评论通讯”杂志的文章中声称, 在他们的实验中发现了 24 个如下形式的事例,

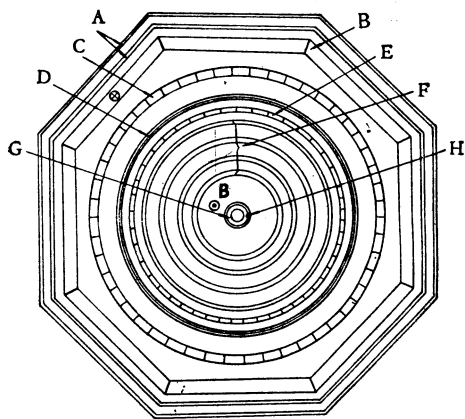
$$e^+ + e^- \rightarrow e^\pm + \mu^\mp + \text{丢失能量},$$

即 $e^+\mu^-$ 同时在终态出现, 或 $e^-\mu^+$ 同时在终态出现, 简称 $e-\mu$ 事例。这里“丢失能量”是指没有被他们的磁谱仪观测到的粒子所带走的能量。实验是在质心系总能量为 4.8 京电子伏条件下做的。

接着, 他们进行了更仔细的实验研究, 又找到了 105 个 $e-\mu$ 事例。在这些事例中都没有探测到其它带电粒子或光子。根据丢失能量和丢失动量谱推算, 知道在每个事例中至少还有两个粒子没有被探测到, 即

$$e^+ + e^- \rightarrow e^\pm + \mu^\mp + \text{两个以上没有被探测到的粒子}.$$

这些事例既不能够用当时已知的粒子的产生和衰变来解释, 也不能够用任何已知的在末态中有 e 和 μ 的相互作用来解释。然而, 人们却发现了一个简单合理的解释, 就是在 e^+e^- 电子对撞中产生了一对轻子 L^+L^- , 随后 L^+L^- 又衰变成 e 和 μ 以及它们的中微子, 即



SLAC/LBL 磁谱仪端视图

A: μ 子丝火花室(2) B: 铁(20 厘米厚) C: 簇射计数器(24) D: 线圈 E: 外触发计数器(48) F: 圆柱形丝火花室(4) G: 束流管 H: 内触发计数器(2)

一个对撞区域里, 安装好了一台探测器, 目的是想探测 e^+e^- 对撞的产物。上图所示就是 SLAC/LBL 小组的这台探测器。

它是一个圆柱形的装置, 直径为 3 米。束流管道

$$\begin{aligned}
& e^+ + e^- \longrightarrow L^+ + L^-, \\
& \begin{cases} L^+ \longrightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_L, \\ L^- \longrightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu + \nu_L, \end{cases} \\
\text{或} \quad \begin{cases} L^+ \longrightarrow \mu^+ + \nu_\mu + \bar{\nu}_L, \\ L^- \longrightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_L, \end{cases}
\end{aligned}$$

为什么说 L^+, L^- 是轻子呢! 因为第一, 在这个实验中, L^+, L^- 的衰变模式和轻子 μ^+, μ^- 的弱作用衰变模式完全相同, 说明 L^+, L^- 很可能和 μ^+, μ^- 一样, 是不直接参与强相互作用的; 第二, 在这些过程中角动量守恒, 所以 L^+, L^- 只能是半整数自旋的粒子。而前面说过, 不直接参与强相互作用, 自旋为半整数的粒子统称为轻子, L^+, L^- 当然也不例外。

同时, 由于 L^+, L^- 是在上述质心系总能量为 4.8 京电子伏的条件下产生的, 说明了 L^+, L^- 的质量一定很大, 事实上后来测定为 1.8 京电子伏 $/c^2$, 为质子质量 (~ 0.9 京电子伏 $/c^2$) 的两倍。所以 L^+, L^- 确是很重的轻子, 从而得名为重轻子。

但 L 只是重轻子的一般代号, 考虑到可能还有其他种重轻子存在, 为了有所区别, SLAC/LBL 小组就又把他们发现的 L^+, L^- 定名为“ τ ”重轻子。现在“ τ ”重轻子这个名字已为大家所接受。

按照这种解释, 还可以看到, 由于 $\nu, \bar{\nu}$ 与其他粒子之间的相互作用很弱, 所以 $\nu, \bar{\nu}$ 没有被探测到, 悄

悄地从他们的探测器中溜掉了。那部分“丢失能量”就是这些逃跑者带走了。

后来, 在不同实验室不同小组作的许多实验中都反复证实了这一发现, 说明 τ 重轻子是存在的。 τ 重轻子的发现推动了理论和实验两方面的发展, 寻找新的重轻子和对重轻子性质的研究已成为高能物理研究的中心课题之一。

在发现 τ 重轻子之前, 人们还认识到在四种层子 u, d, s, c 和四种轻子 $e^-, \nu_e, \mu^-, \nu_\mu$ 之间, 似乎有一种一一对应。1975 年发现了 τ 重轻子, 轻子由 4 种增加到了 6 种: $e^-, \nu_e, \mu^-, \nu_\mu, \tau^-$ 和 ν_τ 。1977 年发现了 Υ 粒子, 说明 b 层子的存在, 层子也由 4 种增加到了 5 种: u, d, s, c, b 。但理论学家们根据上述轻子与层子的一一对应, 认为层子必定也有 6 种: 除 u, d, c, s, b 外, 还有 t 。这样看起来, 轻子和层子之间的一一对应仍然还是很完美的。不过, “ t ”层子的存在还只是理论学家们的一种假定, 还没有任何实验证据表明它的存在。也许, 不久的将来, 实验上的发现将证实理论学家的猜想, 或者反之, 给他们带来更大的难题。无论怎样, 任何实验上的重大发现都必将加深对微观世界的秘密的了解和认识, 使人们在认识自然规律和利用自然规律的长征中向前迈进一步。

(张家铨)