



(五)

奇异粒子

到1947年发现 π 介子为止,人们已经知道的“基本”粒子有:电子、正电子、质子、中子、光子、 π 介子、 μ 子和中微子。质子和中子通过核力相互作用组成原子核, π 介子是核力的传递者。原子核外围绕着具有一定空间分布的电子云,电磁相互作用把电子和原子核束缚在一起,构成原子,光子是电磁作用的传递者。 μ 子和中微子是衰变的产物。正电子的发现,使人们认识到在自然界还存在着一个反物质世界, π^+ 与 π^- 、 μ^+ 与 μ^- 互相成为反粒子,当时理论上推测存在反质子和反中子,而在实验上还没有被发现。这幅令人满意的图像,在一些人中间造成一种错觉:似乎已知的这几种粒子构成了微观世界一个完备的整体,无须考虑其他粒子存在的可能性了。

但是,这种假像没有维持多久。在生产斗争和科学实验范围内,人类总是不断发展的,自然界也总是不断发展的,永远不会停止在一个水平上。在发现 π 介子的同一年,英国宇宙线工作者罗切斯特和巴特勒,又发现了一种新粒子:

奇异粒子的发现

他们用一个直径为28厘米的云雾室,中间放一块

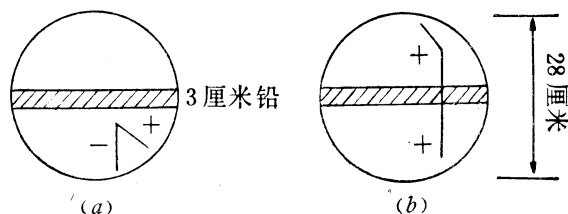


图 1

3厘米厚的铅板。云雾室放在强磁场中,从大量云雾室照片中,他们搜集到两个不寻常的事例,用图1简单地来表示。

图1(a)表明,在云室气体中某一点,产生了一对

带相反电荷的粒子,在它们的交叉处,找不到反冲碎片的痕迹。这个事例不会是入射粒子和气体原子的碰撞过程形成的;径迹夹角为 67° ,相对能量下的正负电子对张角要比这个角度小1000倍,因此,也不可能是电子对产生,只能是某一种新的中性粒子衰变。图1(b)可以看成是一个新的带电粒子衰变成二个粒子,其中一个带正电的粒子被观察到了,另一个中性粒子没有留下足迹。罗切斯特和巴特勒根据径迹游离值和曲率的测量,估计出衰变前二个母粒子的质量约为电子质量的1000倍。当时人们根据粒子在云室中衰变的分叉图形,形象地把它们称为V-粒子。这就是后来命名的 K^0 和 K^+ 介子。

实际上,在这一发现之前,有人用云雾室研究宇宙线时,曾经观察到类似事例。他们对粒子的质量作了估算,得到了反常的结果。但是,他们没有突破旧的框

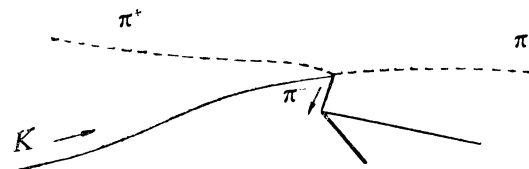


图 2

框,大胆地设想:这是一种尚未被发现的新粒子产生的现象。

值得提到的是,在1947年,人们又获得了一种新的探测工具——核乳胶。英国物理学家鲍威尔首先将这种探测器用于宇宙线研究,成功地找到了 π 介子,并且发现了 $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ 衰变图式,区分了作为核力传递者的 π 介子和早先从宇宙线中观察到的 μ 子。以后,科学家们又进一步把乳胶一层层地叠在一起,组成块状的乳胶室。这样,从某一层乳胶中出来的径迹,可以追踪到下一层,一层一层地追踪下去,就有可能观察到粒子的径迹。乳胶室的采用,有力地推动了新粒子研究工作的进展。

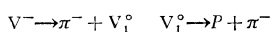
1949年,英国的布里斯托小组首先在乳胶室中得到了如图2所示的宇宙线粒子的照片。这个粒子(后来命名为K介子)径迹长度略大于3毫米,在A点衰变成三个 π 介子,其中二个 π^+ 介子能量高(用虚线表

明),在乳胶中留下部分径迹,就飞离了;第三个是 π^- 介子,它在路程末端 B 点被原子核俘获,形成星裂,图中可以看到星裂产生的二个核碎片.当时称这个新发现的粒子为 τ 粒子.

V 和 τ 粒子的发现,完全出乎人们意料之外.人们被“基本”粒子世界这个未被探索过的新领域吸引住了.此后,许多国家的宇宙线工作者纷纷投入了宇宙线中奇异的新粒子的研究.1951年,英国曼彻斯特小组在高山上利用云雾室进行实验,得到了新的结果.他们发现中性 V^- 粒子分成两组,按下式衰变:



V_2^0 质量为电子质量的 800 倍,与以前测得的 $V \cdot \tau$ 粒子质量相近. V_1^0 质量要大得多,约为电子质量的 2200 倍. V_1^0 是新找到的粒子,后来被命名为 A^0 粒子.他们还得到了一个级联衰变事例:



这样,级联超子 Ξ^- (即 V^-) 也被发现了,到 1954 年被考文的实验所确证.在这前后,又找到了 Σ^+ , Σ^- , Σ^0 粒子.这样,被证实的和研究过的“基本”粒子达到了三十种.

1953 年,在巴格纳底比果尔举行的宇宙线国际会议上,提出了新粒子的统一命名法.按质量把新粒子分成二组:质量比核子重的,称超子;质量介于核子与介子之间的粒子,称重介子;超子包括: A^0 , Σ^+ , Σ^0 , Σ^- , Ξ , Ξ^0 及其反粒子,自旋为 $1/2$,服从费米统计.重介子包括 K^0 , K^+ 和 \bar{K}^0 , K^- , 自旋为 0,服从玻色统计.超子和重介子,统称为奇异粒子.

奇异粒子是在能量超过一千兆电子伏的碰撞中产生的.在 1948—1953 年,这样高的能量只有从宇宙线才能得到.宇宙线是高能粒子独一无二的来源,但是宇宙线中高能粒子的数目太少,又不能人工控制,要想细致地研究奇异粒子的性质是十分困难的.对于奇异粒子性质的系统研究和精确测定,是从有了高能加速器,能够人工产生奇异粒子才得以实现的.1955 年,人们利用质子同步加速器产生动量 $360 \text{ MeV}/c$ 的 K 介子.把 K 束打在乳胶上,很快就可获得成百上千个 K 衰变事例,使奇异粒子的研究进入了一个新的阶段:

奇异粒子理论

五十年代初期,人们已获得了一定数量的奇异粒子事例.人们发现,这些粒子的性质同已知粒子不一样,而且很难从理论上加以解释.首先引起人们注意的是,奇异粒子都是成对产生的,而大部分是成单衰变,只有级联超子除外.例如, π^- 打到氢靶上,可以发生下面的反应: $\pi^- + p \rightarrow K^0 + A^0$ 从这类反应中可以总结出以下一些规律: A^0 , Σ^+ , Σ^0 , Σ^- 可以同 K^+ , K^0 成对产生,但不能同 K^- , \bar{K}^0 成对产生; K^+ , K^0 可以同它们的反粒子 K^- , \bar{K}^0 成对产生;超子同超子不能成对产生.所有这些产生过程都是快的强作用过程.反应

前重子数、电荷和同位旋保持守恒.

在 $A^0 \rightarrow \pi^- + P$ 衰变中,奇异粒子只出现一个 A^0 ,这是成单衰变的例子.其他超子和重介子衰变也有这一性质.但是,级联超子 Ξ 例外.在 $\Xi^- \rightarrow A^0 + \pi^-$ 衰变中,奇异粒子出现了二个,衰变前后出现的粒子都是强作用粒子.因此,人们曾经设想,奇异粒子衰变应当属于强作用衰变,它们的寿命都非常短,约 10^{-23} 秒.实际上,绝大部分奇异粒子的寿命都在 10^{-8} 到 10^{-10} 秒的范围,寿命最短的 Σ^0 小于 10^{-14} 秒.这就告诉我们,奇异粒子只能是通过弱相互作用来衰变.换句话说,奇异粒子的强作用衰变受到了强烈的禁戒.

通过强相互作用产生,又通过弱相互作用衰变.新粒子的奇异性质和它们的存在,当时已有的理论都无法加以解释,曾一度使物理学家们感到迷惑不解.实际上,上述实验事实暗示着在奇异粒子内部存在着一个新的自由度.奇异粒子的运动和变化,除了受已知规律支配外,还被这个新自由度所遵循的规律约束着.

我们知道,核子和 π 介子的电荷和同位旋之间存在着一个简单关系,即: $Q = I_3 + N/2$. 其中 Q 是粒子电荷, I_3 是同位旋第三分量, N 是重子数.对 π 介子, $N=0$. 但是,这个关系式对奇异粒子不成立,而应代之以另外的式子.实验表明,对 A , Σ 粒子有以下关系式: $Q = I_3 + N/2 - 1/2$. 对 K^+ 和 K^0 , 类似的关系变为: $Q = I_3 + 1/2$. 对 K^- 和 \bar{K}^0 , 则是: $Q = I_3 - 1/2$. 而对 Ξ 超子,式中常数项变为 -1 : $Q = I_3 + N/2 - 1$.

1954 年,盖尔曼等为了把奇异粒子的这些关系式加以合并,引进了奇异量子数 S . 他们假定除轻子和光子外,每个“基本”粒子都有一个给定的奇异量子数 S . 核子和 π 介子的奇异数 $S=0$, 奇异粒子的 $S \neq 0$. 引进 S 之后,所有“基本”粒子(不包括轻子和光子)的电荷 Q 、同位旋第三分量 I_3 、重子数 N 和奇异数 S 之间的关系,都可以统一地写成以下式子: $Q = I_3 + N + S/2$. 可见,式子虽然简单,却包含了较深刻的物理内容.

Σ 和 Ξ 粒子的奇异数 S 分别为 -1 和 -2 , 通过上面的式子,可以推知 Σ 和 Ξ 的同位旋分别为 1 和 $1/2$. 就是说, Σ 应是三个粒子组成的同位旋三重态 Σ^+ , Σ^0 , Σ^- , Ξ 应是二个粒子组成的同位旋二重态 Ξ^- , Ξ^0 . 这样,就预言了当时尚未发现的 Σ^0 和 Ξ^0 粒子的存在,后来在实验中都找到了.这些结果对于用奇异量子数来描述粒子的新自由度,提供了有力的证据.

奇异粒子的产生和衰变,遵从确定的选择定则.对于强作用过程,反应前后的奇异数守恒,即 $\Delta S = 0$. 对于不产生 μ 和 e 的弱作用衰变过程,反应前后的奇异数增减 1 , 即 $\Delta S = \pm 1$. 凡不满足 $\Delta S = 0, \pm 1$ 的反应是被禁戒的.关于奇异数 S 的选择定则,是从实验中总结出来的,而且得到了实验的证实.奇异数的物理内容,关系到强子的内部结构,这个问题留在后面来讲.

张长春