

李 金

人们所知道的几百种粒子中，绝大多数都是不稳定的。例如 π^- (或 π^+) 介子要衰变成一个 μ^- (或 μ^+) 和一个反中微子 (或中微子)， μ^- 要衰变成一个电子、一个中微子和一个反中微子。每一个粒子，从产生到衰变的一段时间就是它的寿命。单个 π^- 介子的寿命是有长有短的，单个 μ^- 子的寿命也是有长有短的。但是如果有很多个 π^+ 介子，它们就有一个平均寿命；如果有很多个 μ^- 子，它们也有一个平均寿命。每一种粒子的平均寿命都是一定的。例如 π^+ 介子的平均寿命大致是 2.6×10^{-8} 秒， μ^- 子的平均寿命大致是 2.2×10^{-6} 秒。粒子的平均寿命的长短与造成衰变的原因有关。 π^+ 和 μ^+ 的衰变都是弱作用衰变。如果是电磁作用衰变，寿命就更短，例如 π^0 (电磁作用衰变) 的寿命是 0.84×10^{-16} 秒。强作用衰变的寿命更是短了，例如 ρ 介子 (强作用衰变) 的寿命是 $\sim 10^{-23}$ 秒。

必须说明一点。刚才说的平均寿命是粒子静止时的平均寿命。如果粒子有速度，而且速度很大，能量很高，那末，由于相对论效应，它表现出来的寿命也是会增加的。仍举 π 介子为例，低能量的 π 介子在衰变之前走不了几米远。但如果 π 介子的能量是 14 亿电子伏，它从产生到衰变就平均可走七十多米，如果能量是 140 亿电子伏，平均可走七百多米。这都是相对论寿命延长效应的表现。

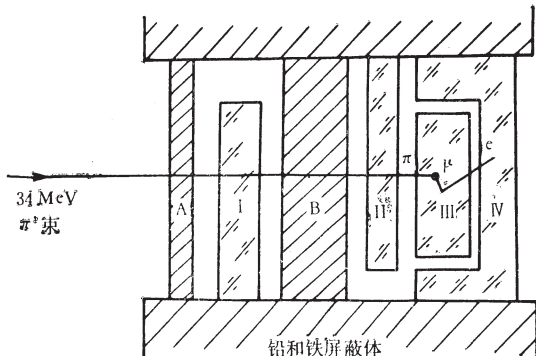
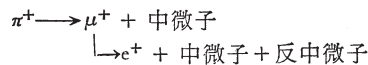


图1 测量 π^+ 寿命实验安排示意图
I、II、III、IV 是闪烁计数器，A、B 是吸收体。

由于各种粒子的平均寿命相差很大，所以测量平

均寿命的方法也不一样。

1. 对于寿命长于 10^{-9} 秒的粒子，可用计数器电子学的办法，图 1 是测量 π^+ 介子寿命的计数器实验示意图。这个装置探测的是如下的过程：



(中微子，反中微子不带电，实际上探测的是 π^+ 、 μ^+ 和 e^+)

当 3,400 万电子伏的低能 π^+ 介子进入这个系统时，由于 A、B 吸收体的作用，使 π^+ 损失掉它的大部分动能， π^+ 穿过计数器 I、II，最后停止在 III 中。所以 I、II、III 有计数，而 IV 没有。给出的讯号是：

$$I + II + III + \bar{IV}$$

(IV 上有一划，表示闪烁计数器 IV 没有计数，下同) 停止在闪烁体 III 中的 π^+ 经过一段时间后就要衰变，有更低能量的 410 万电子伏的 μ^+ 子由 π^+ 衰变出来。因为 μ^+ 的能量很小，它跑不出计数器 III。所以只有计数器 III 有计数，而 II 和 IV 都没有计数，讯号是：

$$III + \bar{II} + \bar{IV}$$

在计数器 III 中的 μ^+ ，经过一段时间后又衰变，有阳电子 e^+ 由 μ^+ 衰变出来，平均能量大约 5000 万电子伏。它可以从计数器 III 中逃出，或者被计数器 II 又记录，或者被 IV 又记录，阳电子的讯号是：

$$III + II + \bar{IV} \text{ 或 } III + \bar{II} + IV$$

这样就可用电线线路把 π^+ 、 μ^+ 、 e^+ 的讯号区分开来。测量 π^+ 和 μ^+ 讯号之间的时间间隔可以得到各个 π^+ 介子在 III 中的生存时间，根据这些生存时间，就可以算出 π^+ 的寿命。最新的 π^+ 平均寿命的测量数据为：

$$(2.6024 \pm 0.0024) \times 10^{-8} / \text{秒}$$

2. 寿命长于 10^{-17} 秒，短于 10^{-9} 秒的粒子用测距的方法。因为在这种短寿命的情况衰变长度太短，无法安排计数器来测量寿命。而火花室，气泡室，乳胶等径迹探测器是可以观察到这一长度的。

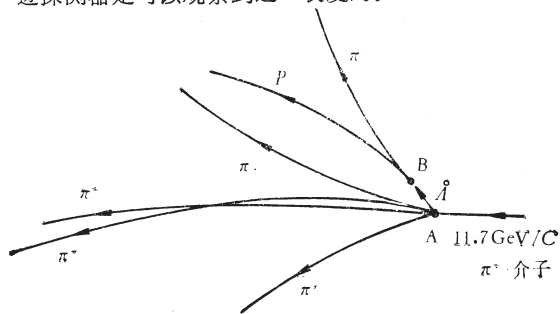


图2 气泡室照片示意图
在相互作用中产生 μ^+ ， μ^+ 在衰变成 P 和 π^- 之前穿过几厘米的距离。

图(2)就是在一个2米气泡室中拍摄的一张 Λ^0 衰变为P和 π^- 的照片示意图。图片中有一对带电粒子形成V型径迹。一个是质子,另一是 π^- 。它们是由 Λ^0 衰变出来的。因为 Λ^0 不带电,在照片中看不到它的径迹,但是产生 Λ^0 的A点和 Λ^0 衰变成P和 π^- 的B点是很清楚的。A、B两点的距离就是 Λ^0 的衰变长度。测量这个长度就可以得到 Λ^0 的寿命,这就是所谓的“测距”法。

在气泡室灯光拍摄时又加上一个强磁场,在磁场作用下,带电的P和 π^- 的径迹都变弯曲了,通过测量径迹的曲率就可得到它们的动量。 Λ^0 的动量就是P和 π^- 动量之和。当 Λ^0 的质量已知,根据它们的动量和衰变距离就可算出 Λ^0 静止时的平均寿命。

为了得到精确的数值,需要观测几千个这种衰变事例。而为了得到几千个这种事例,就需要分析大约几万张照片。不过现在有自动测量装置,分析这样多的片子也是不难的。用这种方法得到 Λ^0 的寿命是:

$$(2.521 \pm 0.021) \times 10^{-10} \text{ 秒}$$

3. 寿命短于 10^{-17} 秒的粒子无法直接测量寿命,而是测量粒子质量的自然宽度(例如散射截面能量曲线的共振宽度)。根据宽度可以推算寿命,实际上对于这种短寿命粒子很少说它的寿命,只讲它的宽度,例如 ρ 介子的宽度是 146 ± 10 兆电子伏。