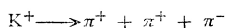


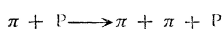
达列兹图在粒子物理中的应用

谢 谔 成

在粒子物理中，有一些反应过程产生三个末态粒子，例如



或



各种反应都是粒子之间相互作用的结果，在上面的例子中， K^+ 的衰变过程是由弱相互作用引起的，第二个式子表示 π 介子与质子的散射，是一个强相互作用过程。从量子理论我们知道，一种过程发生的几率是由一个矩阵—— S 矩阵决定的，它是由参与过程的粒子的能量、动量、电荷、自旋及相互作用动力学性质决定的，从矩阵元的平方可预言末态粒子各自具有一定动量的几率，与实验上测到这些事例的相对数比较，可以提供对理论的检验，亦可从中得出初态粒子或作用过程的某些性质。

1953年，达列兹(R. H. Dalitz)提出了一种处理三个末态粒子过程的简单而直观的作图法，叫达列兹图。达列兹图最早应用的过程就是上面第一个例子， K^+ 介子衰变为两个 π^+ 和一个 π^- 介子。由于能量守恒定律的要求，三个 π 介子的总能量之和应等于 K^+ 介子的能量，如果 K^+ 介子原来处于静止，那么在衰变中产生的三个 π 介子所获得的动能(记为 T_1, T_2, T_3)的总和是 K^+ 介子的静止质量与三个 π 介子静止质量总和之差(记为 Q)。又由于动量守恒定律，如果 K^+ 是静止的，则三个 π 介子的动量的矢量和必须为零。由这两个条件得到三个 π 介子的各自动量允许的变化范围叫做相空间，这个范围的边界表示如图1。

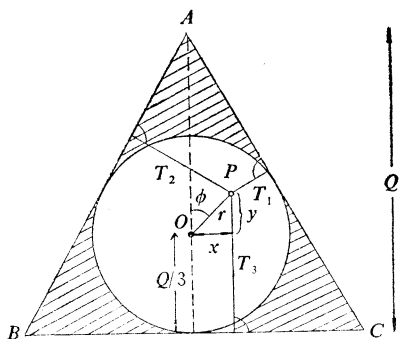


图 1

图中的正三角形的高是 Q ，相空间以内切于三角形的对称图形表示(非阴影部份)，这个图形中的任意一点

向三条边作垂线，其距离就是三个 π 介子可能具有的动能值。这样，图中的一个点代表一个 3π 事例，其中每个 π 介子分别有动能 T_1, T_2, T_3 。当实验测到了具有一组动能值的一次事例，就可在图中相应位置描出一个点。把各次测量得到的事例相应的点子都描在相空间中，就得到了 $K \rightarrow 3\pi$ 的达列兹图。从作图的过程可见，点子的疏密是事例数的相对大小，因此反映了矩阵元的平方与末态粒子动能的函数关系。

在 $K \rightarrow 3\pi$ 实验中描出的达列兹图中，整个相空间内点子密度非常均匀(图2表示的是相空间的一半)。这表明只要三个 π 介子动能满足能量守恒，不论 T_1, T_2, T_3 各占多大比例，都有相同的事例率，即三个 π 介子随机地分配总动能。因为点子的密度表示了事例发生的几率，这样均匀分布的达列兹图告诉我们， $K^+ \rightarrow 3\pi$ 的矩阵元与 T_1, T_2, T_3 的值无关。理论上的分析表明，只有当 3π 的总角动量为零及总宇称为负时，才会出现这种均匀分布情况。而衰变过程前后总角动量不变，于是我们从 3π 末态总角动量为零反推出了 K^+ 的自旋为零。

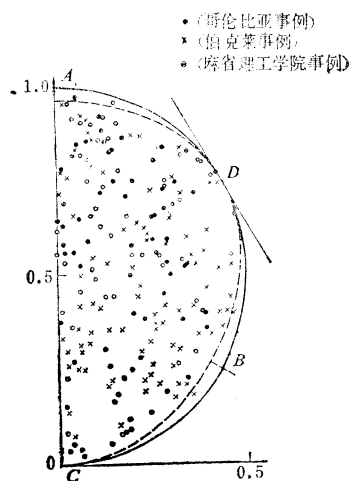


图 2

五十年代初，以 3π 模式衰变的 K 介子先是被命名为 τ 粒子。那时人们还没怀疑到在微观粒子的相互作用中宇称可能不守恒，认为 $\tau \rightarrow 3\pi$ 过程前后宇称一定是不变的，于是从末态的总宇称得出了 τ 粒子的宇称为负的结论。当时，还发现一种有 2π 衰变模式的 θ 粒子，从实验分析出它的自旋也是零，质量与 τ 粒

子几乎相等,各种量子数表明 τ 与 θ 是同种粒子. 然而,于 2π 衰变模式末态的宇称是正的,如果还是认为宇称守恒,就反推出 θ 粒子的宇称为正. 同一种粒子只能有一种宇称,这似乎又否定了把 θ 与 τ 当作同种粒子的想法. 于是出现了所谓的 τ - θ 之谜. 找到解开这个疑难的钥匙的是两位中国学者李政道和杨振宁. 他们认真考察了各种实验资料,特别注意到,达列兹图实际上只是给出了衰变矩阵元与末态粒子的自旋宇称的关系,为了得到关于初态粒子性质的知识,必须运用守恒定律和支配过程的相互作用的动力学. 角动量守恒定律是由实验证明对一切相互作用都适用的,因此可以用于 τ 的 3π 衰变模式从而推演出 τ 的自旋为零. 而在同一种过程中宇称是否守恒并未经过实验检验,李、杨二人指出,从实验上和理论上都没有理由认为宇称必须守恒,因而从 3π 末态的总宇称为负不能得出初态 τ 的宇称为负的结论,同样, θ 的宇称也不一定为正. 这样,把 τ 和 θ 看作同一种粒子(即 κ 介子)没有任何矛盾,疑难自然就不成其难了. 事实上 κ 介子有两种衰变模式正好说明了这是宇称不守恒的过程. 这个著名的例子告诉我们,达列兹图不能提供初态粒子宇称的信息.

达列兹图的另一种应用是发现共振态,1960年劳伦斯伯克利实验室的阿利斯通等发现的 Σ^* (1385) 就是一例. 观测一个 K^- 介子在液态氢气泡室中的反应,记录末态产生一个 Λ 粒子和两个 π 介子的事例

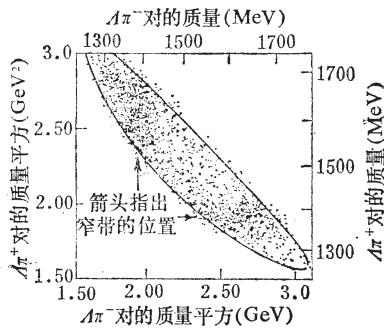
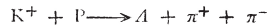


图 3

这个末态有三个粒子的过程与 $K \rightarrow 3\pi$ 不同的是, Λ 与 π 介子的质量不同. 对这个过程可作一个直角坐标的达列兹图(图 3),互相正交的两轴的标绘分别正比于 π^+ 和 π^- 的能量. 将测到的事例相应的点子标到图中,发现点子不是均匀分布在满足能动量守恒的整个相空间,而是相对地集中在两个互相垂直的窄带中,使我们立即看出共振的特征. 在两个窄带中的事例相应于 π^+ 或 π^- 与 Λ 的质心总能量恰好等于 Σ^* 的质量,因而事例的发生率相对地较大. 也就是说,此能量下发生了两步过程



式中的 Σ^+ 是寿命较短的共振态粒子,实验只能记录下它的衰变末态 Λ 和一个 π ,所以最终末态是三个粒子.

通过以上两个例子,我们看到达列兹图的相空间边界是由过程的能动量守恒决定的,因而只须从粒子运动学性质就可画出,不必知道支配过程的相互作用性质和粒子的自旋、宇称等这些动力学方面的知识,而后者决定了相空间内点子的疏密分布. 所以达列兹图比较直观地反映了过程的动力学特征.

在 高能强子碰撞反应中,可把上述方法推广到多重产生过程来寻找共振态,这里就不作赘述.