

### 一、一个佯谬

夸克模型不仅清楚地解释了  $SU_3$  对称性,而且还借助  $SU_3$  对称性理论,成功地说明强子的各种自旋态。在这里,夸克好像弱束缚在强子里似的。显然,这是一个佯谬,因为从来就没见过夸克从强子中被打出来过。

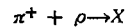
根据夸克模型,人们总想了解强子其它重要的特性,为此,必须在模型里加上一些新假设。

一般说来,强子碰撞产生弹性散射,同时产生几种强子。由于接连碰撞,反应截面随能量迅速发生变化,从而表现出共振态存在,或强子激发态存在。考查一下所产生的强子的能量分布,会进一步发现,先形成少量的激发态,然后衰变成几个强子。

这里,让我们考虑两个问题。第一、强子有多少激发态? 能量无限地提高后,是否有无穷的共振态? 第二、能量提高后,反应截面如何变化? 形成多少个粒子,它们的能量分布如何?

首先,让我们用图的形式来考虑一下上述问题的

答案。图 1, 表示  $\pi^+ + \rho$  的总截面随能量的变化而变化。因此,有关的反应过程为:



$X$  包括所有可能的反应。从图中可看到以下两点:

1. 共振态重复多次,但在较高能量时不太明显。
2. 截面似乎逐渐减小,又好像是接近一个恒定的极限值。

让我们先解释第二点。截面达到一个有限值,可以解释为是强子具有固定尺寸大小的结果。一个半径  $a$  的球打击一个半径  $b$  的靶的截面  $\sigma$  是

$$\sigma = \pi(a + b)^2$$

因为球的中心距靶的中心必定在  $a + b$  距离之内。就基本粒子而言,因波动性的展宽缘故,截面可能会更大。但是在极高能量时,亦即,对短波长来说,上述经

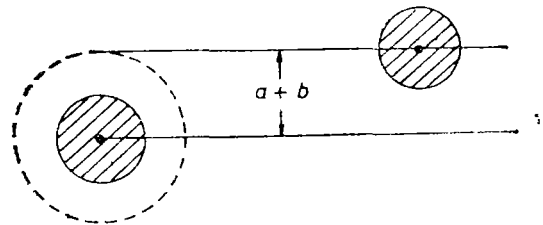


图 2 半径为  $b$  的球打击半径为  $a$  的较大的球

典的解释基本正确。所以,从  $\sigma$  的尺寸大小,可以估计出强子的半径大约为 1 费米 ( $10^{-13}$  厘米)。

其次,再讲一下共振态。截面的曲线随能量的提高变得越来越平,这不一定就表示共振态在消失。因为在高能量时可能有许多反应,即使在其中一个反应中(在某一给定的角动量态)产生共振态,它也只是总截面中的一小部分,因而从本底中看得出来。如果宽的共振态接连不断地迅速产生,截面可能会达到平均数。

除了这几点外,共振态还表现出什么样规律性? 我们首先感兴趣的,是共振态的质量和自旋。自旋或共振态的角动量,是由对散射角分布的分析来确定的。

标绘质量平方(静能)和共振态自旋之间关系的曲线图,称为雷其轨迹。这一术语来源于意大利理论物理学家 T. 雷其创建的理论。以  $\pi^+ + \rho$  (同旋 =  $\frac{3}{2}$ )

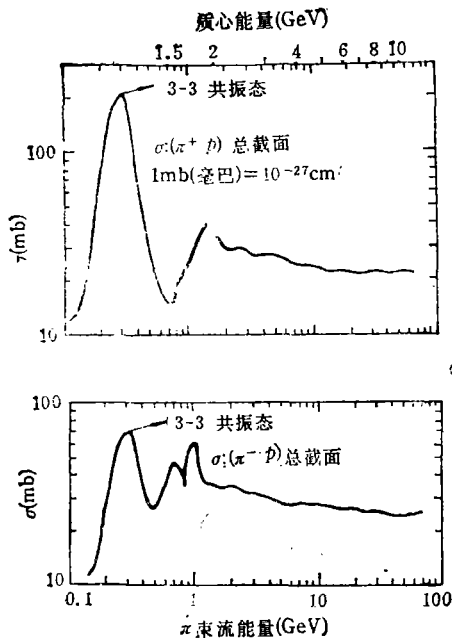


图 1

反应为例,从图3中可以看出,轨迹是一条漂亮的直线.位于轨迹上自旋  $j = \frac{3}{2}$  地方的共振态,是人们熟悉的3-3共振态.然后  $j$  按2为单位,增加到7/2、11/2等等.

其它像  $\pi^- + p, K^- + p$  这样的反应的结果大体相同.它们对应于内部量子数(奇异性、同位旋等)不同的重子共振态的雷其轨迹.这种分析也应该适用于像  $\pi + \pi$  这样的介子-介子反应.但实际上,无法进行这种实验,因  $\pi$  介子本身是不稳定的.尽管如此,人们还是从介子共振态的形成和衰变中(例如:  $p + p \rightarrow p + \dots p \rightarrow \pi + \pi$ ) 知道了自旋为0, 1, ... 的介子共振态的存在.这些共振态按雷其轨迹绘成曲线时,它们又会形成一条直线.

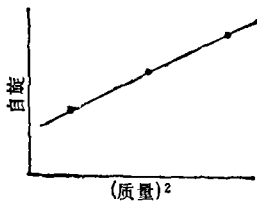


图3 雷其轨迹

进行这种实验,因  $\pi$  介子本身是不稳定的.尽管如此,人们还是从介子共振态的形成和衰变中(例如:  $p + p \rightarrow p + \dots p \rightarrow \pi + \pi$ ) 知道了自旋为0, 1, ... 的介子共振态的存在.这些共振态按雷其轨迹绘成曲线时,它们又会形成一条直线.

这些各种各样的雷其轨迹不仅直,而且彼此之间平行.因此,质量(的平方)随自旋变化增加的速率,对所有共振态来说都是一样的.因内部量子数不同,只有起始点存在着差别.雷其轨迹的这一规律性,是一个令人惊讶的事实,它必定是某种更深原理所产生的结果.如果直线无穷继续下去,共振态必定递归到能量无穷大和自旋无穷大.

从夸克模型的观点看来,在任意高的能量时有共振态这一事实,似乎表明夸克永远都不会自由.对于这一点,需要更详细的解释.

## 二、强子的弦模型

现在,从理论上对雷其理论进行一下讨论.现在我们可以从强子的弦模型来解释,这样做要比追溯概念的实际发展要容易些.根据这一模型,强子是被某种像橡皮带的东西束缚在一起的夸克.图4表示的是介子和重子的结构.每根弦的末端,都有一个夸克.弦和橡皮带的差别是,弦可以无限地拉长而张力保持不变,这有些像蜘蛛吐的丝.弦也可以断.断了之后,在断头处形成新的夸克.

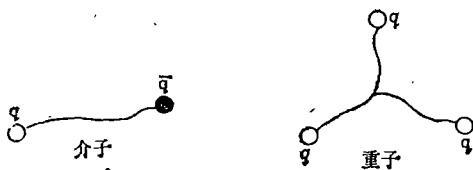


图4 强子的弦模型

现在让我们看一下介子的内部运动.它可以具有一种像用力拉似的运动,在这种运动中,弦可以伸长和收缩.也可有像投掷链球式的旋转运动.在后一种情

况里,离心力和张力互相抵消,系统看来与旋转的棍棒没有区别.如果质能等价性原理适用于存贮在弦中每端的张力势能,那么容易写出解释平衡的方程式.弦端部的速度不能超过光速,决定弦的长度.这点产生这样一种奇怪的结论:旋转越慢,弦就越长.无论如何,人们还是找到了弦的总能量  $E$  和角动量  $L$  之间的正确关系,这就是  $L \propto E^2$ . 该关系式中的比值常数决定于张力,从而得到结论是,雷其轨迹具有普遍斜率.

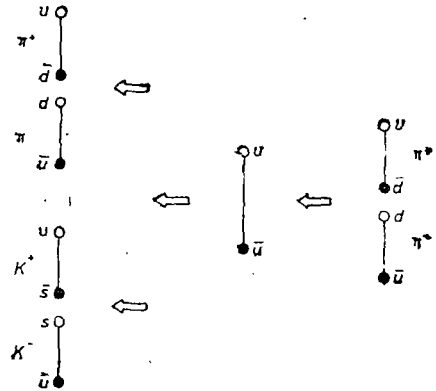


图5 两个弦的断裂和结合

把弦割断和连接起来的过程,也必须加以解释.在解释强子反应中,这点非常重要.现以  $\pi + \pi$  碰撞为例.因为  $u\bar{u}$  对或  $d\bar{d}$  对的湮没和随后又分裂成两个介子的单个弦暂时态的形成,  $\pi^+ = u\bar{d}$  弦和  $\pi^- = d\bar{u}$  弦的端部可能结合起来.介子的最终产物不一定非是  $\pi^+\pi^-$ , 而  $K^+ = u\bar{s}$ ,  $K^- = s\bar{u}$ , 或  $K^0 = d\bar{s}$ ,  $K^0 = s\bar{d}$ .

在图6(a)里,随着时间的延续,上述过程中弦的运动随即发生.弦及时流动形成一条带,带的边是夸克.两条带像暹罗双胞胎一样,一时变为一条.

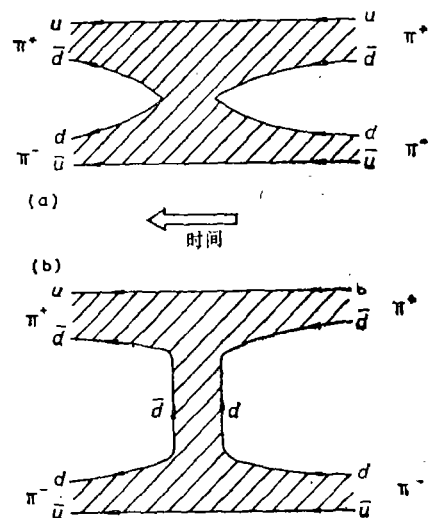


图6  $\pi^+$  和  $\pi^-$  与  $d\bar{d}$  介子交换

图 7(a) 逐渐变形, 最后变成图 7(b)。该图只表示两个介子间的  $K$  介子交换, 这属于汤川秀树类型的过程。如果把后面这个图形进一步旋转  $90^\circ$ , 它就会变成  $K^+$  介子和  $\pi^-$  介子之间散射的图(图 8)。在这个例子里, 带有与前一个例子不同指向的箭头的粒子, 必须重新解释为是反粒子。

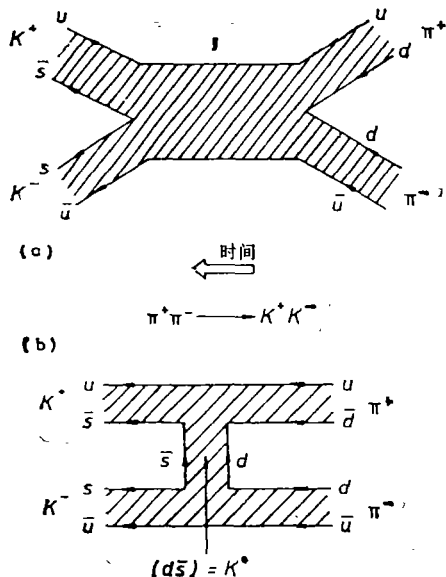


图 7 两个介子间的  $K$  介子交换

我小时, 喜欢用纸叠船玩。这种船可放在水上航行, 一会儿船帆就变成船首。强子散射就类似这种纸叠船。这一现象在技术上称为二重性原理。

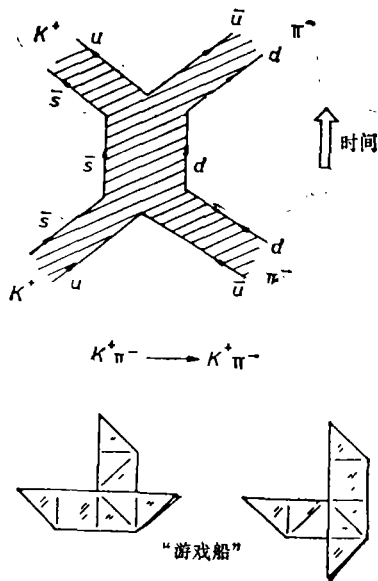


图 8 强子散射像“游戏船”

现在, 让我们设法在正负电子反应中运用一下弦模型。  $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$  反应所形成的夸克对在高能时向相反的方向射出。因为在  $q$  和  $\bar{q}$  之间有个弦, 所以如果弦不断, 最终它们必定会回到一起。但是, 弦很可能会断成几段, 然后每段作为介子出现。试把口香糖拉成弦并突然把其拉长。很难把它断成三段, 但就强子来说, 段的数量, 也就是说, 多重数随着能量而增加。

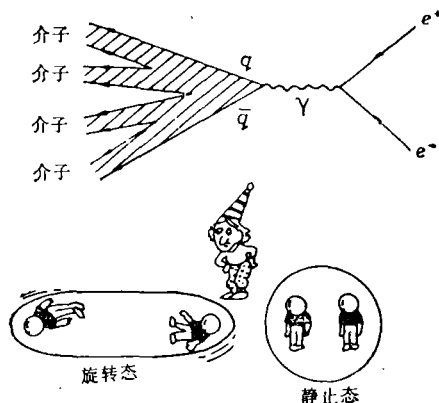


图 9 正负电子反应

### 三、什么是弦

到底什么是弦呢? 目前, 人们认为弦是一种像一束电力线样的东西。打个比方讲, 较为方便的是, 把它看成为磁力线。弦相当于条形磁铁, 夸克相当它的极。一个条形磁铁分成两个, 变为两个磁铁, 靠其本身不能把北极和南极隔离开来。单个夸克好像不存在。

如果上述比方具有意义, 那么就不应该把弦看作为数学线, 而是应该看作为具有某种厚度的物质。一个特别短的弦, 一种低能态, 应该具有大约相同的长度和厚度。为了解释这样的态, K. 约翰逊提出了口袋模型。根据这一模型, 强子是一种像橡皮气球中捕获到的夸克一样的东西。如果这个气球迅速旋转, 就会拉长, 看起来像是个飞艇。这不是别的, 正是弦。

(侯儒成 编译)

(上接第 19 页)

今尚未搞清。利用光电子能谱技术可有助于理解它的机制。

### 七、将来的方向

上面我们介绍了利用同步辐射光源在光电子能谱技术方面未来的几个主要研究方向。还有一些本文未能提及的很有前途的研究方向。如果今后同步辐射光源比现有的亮几倍, 我们就能进行光电发射显微术的研究。它不仅能分析元素的成份, 还能提供化学键的详细信息。此外时间分辨光电发射谱也有着令人兴奋的前景。

(徐彭寿 摘编于 Physics Today/Dec., 1985)