



——“基本”粒子大家庭 的一些故事 (下)

柯 之

原子核的“年”

——相互作用的强弱标准

吕：今天我们继续讲“基本”粒子大家庭的一些故事。

玲：上次我回家，一路走一路想，“基本”粒子大家庭真是五光十色，有的那么重，有的那么轻，有的有强相互作用，有的又那么孤僻，很难发生相互作用。…

吕：就是这样，重和轻是区别各种粒子的一种标志，相互作用也是区别不同粒子的一种标志，当然还有其他的标志，例如电荷等。

玲：相互作用这个标志还好象很重要。寻找 π 介子的故事里，不就是因为 μ 子没有强相互作用而断定它不是所要寻找的粒子吗？

吕：是的，相互作用可以用来作为“基本”粒子分类的一种根据，例如凡是有强相互作用的粒子都叫“强子”。 μ 子、电子、中微子都没有强相互作用，但是都有弱相互作用（ μ 子和电子还有电磁相互作用），它们质量都

比较轻，所以统称“轻子”，“轻子”的自旋角动量都是 $\hbar/2$ ；光子既没有强作用，又没有弱作用，只有电磁作用，自旋角动量为 \hbar ，又自成一类。

玲：叔叔，你好几次提到弱相互作用，怎么才算是弱相互作用呢？



图1 中微子是左旋的，画上了螺旋线。 μ 子、电子自旋方向不限，没画螺旋线。

吕：强弱是相对的。一般来说，强作用快，时间短，弱作用慢，时间长，电磁作用介于两者之间。为了说明作用的强弱，我们需要一个自然的时间间隔作为标准。就拿地球来说吧，它有两个自然的时间间隔，一个是地球绕太阳一周所需的时间，叫年；一个是月亮绕地球一周所需的时间，叫月。在原子核的世界里，核子（质子和中子）是以波的方式运动，根据它运动的

波长（即原子核的大小），可以按照量子力学推算出它的速度大致是 10^{10} 厘米/秒。如果核子也像地球绕太阳那样绕圈，它以 10^{10} 厘米/秒的速度绕原子核一圈，所需时间为 10^{-22} 秒的数量级。这样长的时间间隔可以把它叫作原子核世界的一“年”。

玲：那么强相互作用衰变需要多少原子核“年”呢？

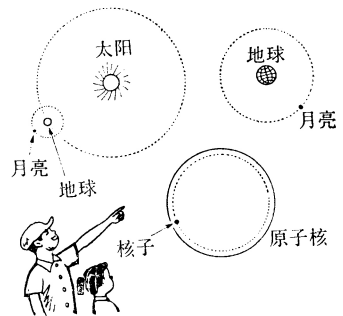


图 2

吕：我们先估计一下高能质子与质子相撞产生 π 介子的强相互作用反应需要多长时间。前面说过，两个质子必须相互接近到 10^{-13} 厘米以内，才能发生强相互作用反应，而且这个反应的机会随着高能质子的离开转瞬间就要失去。高能质子以接近光速（ 3×10^{10} 厘米/秒）的速度走过 10^{-13} 厘米的距离，所需时间大致是 10^{-23} 秒，强相互作用产生介子的反应必定是在 10^{-23} 秒的时间内完成的。由此可以估计出来，强相互作用衰变的

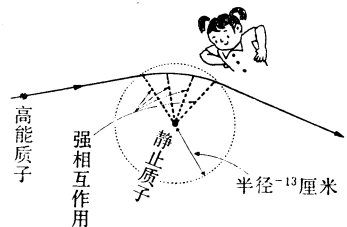


图3 图中虚线代表核力作用的大致范围。高能质子进入这个范围方能与静止质子发生强相互作用，出了这个范围就不发生强相互作用。

寿命大致是 10^{-23} — 10^{-24} 秒,即1/10到1/100原子核“年”。

玲: 这是怎么估计的呢?

吕: 因为强相互作用衰变也是一种强相互作用的反应,很多强相互作用衰变也产生介子,强相互作用衰变的寿命就是强相互作用反应所需的时间。

玲: 强相互作用的反应真快啊!电磁作用要慢些吧?

吕: 要慢得多,上次讲 π^0 通过电磁相互作用衰变成两个 γ 光子所需的时间平均略少于亿亿分之一秒,相当于原子核的80万“年”。

玲: 那弱相互作用呢?

吕: π^+ 、 π^- 介子的衰变,都是弱相互作用的结果,所需时间(寿命)是 2.6×10^{-8} 秒,相当于原子核的260万“年”。 μ 子衰变所需时间(寿命)是 2×10^{-6} 秒,相当于原子核的二亿“年”。中子衰变所需时间(寿命)是1000秒,相当于原子核的十亿亿“年”。

玲: 嗨,这么慢,怪不得叫弱相互作用。叔叔,你讲的这些故事里,与弱相互作用有关的故事似乎都更曲折一些,例如找 π 介子的故事、找中微子的故事……

奇异的现象

吕: 我再给你讲一个故事,也和弱相互作用有关,就是带奇异数的粒子的故事:在五十年代初期,在宇宙线中发现了一些新粒子,其中有的比核子稍重一些,叫做超子,后来又区分为 Λ 超子、 Σ 超子、 Ξ 超子(其中 Λ 是中性的, Σ 有 Σ^+ 、 Σ^0 、 Σ^- 三种, Ξ 有 Ξ^0 、 Ξ^- 两种,它们的自旋都是 $\hbar/2$,和核子一样);还有些粒子比核子轻,但是比 π 重,大约是电子质量的1000倍,后来称为 K 介子(有 K^+ 、 K^- 、 \bar{K}^0 、 K^0 四种,自旋都是0,和 π 一样)。当时这些新粒子有一种令人很不容易理解的性质,就是

它们产生得很快,衰变得很慢。你来看这张根据云室照片中的粒子径迹画出来的图(图7)。

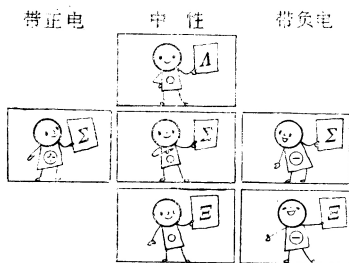


图4 超子,自旋 $\hbar/2$

玲: 这图上画的都是些什么?

吕: 图上从1到2是一个 π^- 介子的径迹,它在2的地方与一个质子相碰,经过强相互作用产生一个 Λ 和一个 K^0 ;

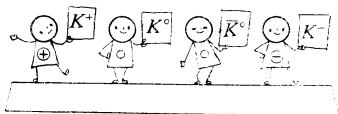


图5 K 介子,自旋0

K^0 和 Λ 超子都是中性的,不能引起电离,所以图中看不见径迹(用虚线来表示)。 K^0 走到3处衰变成 π^+ 和 π^- ,都是带电的,所以又都看见了。 Λ 超子走到4处衰变成质子和 π^- ,也都是带电的,所以也都看见了。因为质子速度较低,所以径迹水珠较密,线条显得粗些。

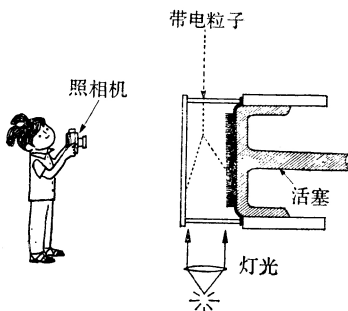


图6 云室示意图

玲: 我还不理解这说明什么问题。

吕: 是这样, π^- 和质子都是强子

——强相互作用粒子,它们在2处相互碰撞变成 K^0 和 Λ 超子,是强相互作用的反应。可是 K^0 和 Λ 超子的衰变却异乎寻常地慢, K^0 从2走到3, Λ 超子从2走到4,所花的时间都是 10^{-10} 秒的数量级。也就是说, K^0 和 Λ 超子衰变所需时间(即它们的寿命)是万亿原子核“年”的数量级。于是问题就来了: K^0 和 Λ 是参与强相互作用的粒子,它们的衰变产物质子和 π 介子也都是参与强相互作用的粒子,那么, K^0 衰变成 π^+ 、 π^- 和 Λ 衰变成质子与 π^- ,似乎理应是强相互作用的变化,衰变所需时间(寿命)应该是 10^{-23} — 10^{-24} 秒的数量级。可是事实上不然,不是 10^{-23} — 10^{-24} 秒,而是比 10^{-22} 秒的时间长3万亿倍,是弱相互作用的衰变。由于发现 Λ 、 Σ 、 Ξ 超子和 K 介子有这种强相互作用产生、弱相互衰变的奇异性质,所以人们把它们叫做“奇异”粒子。

玲: 这又是怎么回事呀?

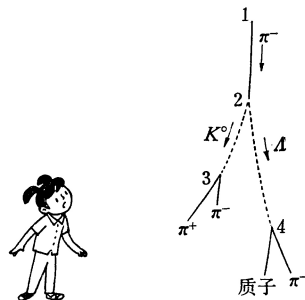


图7 奇异粒子成对产生

“奇异”量子数的出现

吕: 为了解释这种奇异现象,人们设想在质量、电荷、自旋、磁性等等性质之外,“基本”粒子还有一个性质,这个性质可以用“奇异”量子数来表示,简称“奇异数”。例如 K^0 、 K^+ 介子的奇异数为+1, \bar{K}^0 、 K^- 介子的奇异数为-1, Λ 、 Σ 的奇异数是-1, Ξ 的奇异数是-2, π 介子

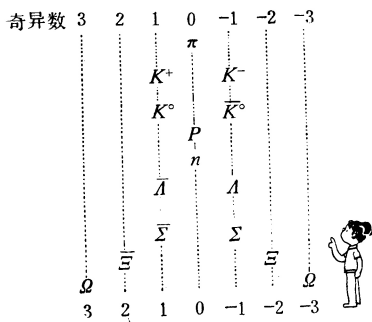


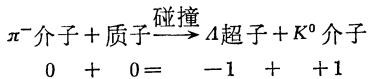
图8 奇异粒子和奇异数

和核子(质子和中子)是不奇异的粒子,它们的奇异数是0。

玲: 奇异量子数又是什么呢?

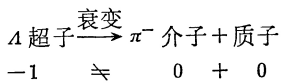
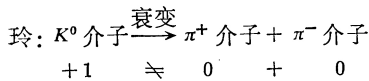
吕: 奇异量子数和“基本”粒子的结构有关,以后还要讨论这个问题。现在我们先看一看奇异量子数和强相互作用、弱相互作用到底有什么关系。小玲,你把刚才讲的产生 Λ 超子和 K^0 的过程再写一下,并且把奇异量子数也写上,看看有什么规律性。

玲: 好:



左边 π^- 和质子的奇异数都是0,右方 Λ 超子奇异数-1, K^0 奇异数+1,加起来也是0,两边相等。

吕: 从你写的式子可以看到,碰撞前和碰撞后,总的奇异数不变,说明强相互作用奇异数守恒。现在你再把 Λ 超子和 K^0 的衰变也写出来看看。



衰变后奇异数都是0,衰变前的奇异数一个是+1,一个是-1,这就是奇异数不守恒,对吗?

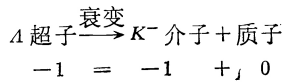
吕: 对。在这两个弱相互作用衰变过程中,奇异数是不守恒的。

前后一对比,就给我们一个印象:强相互作用的过程,总奇异数必须不改变(守恒);反之,总奇异数改变的过程,不能是强相互作用过程,也不能是电磁相互作用过程,只能是弱相互作用的过程。

玲: 可是叔叔,这个说法是不是普遍适用呢?

吕: 用其他的反应和衰变过程来检验,发见这是一条普遍适用的规律。

玲: 那么,叔叔, Λ 衰变成质子和 K^- 介子行不行呢? 你看



总奇异数正好守恒,这可以是强相互作用衰变呢?

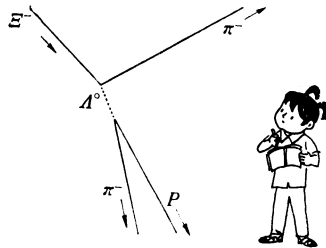
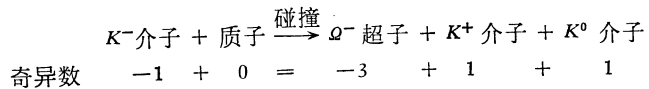
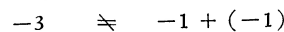
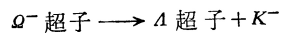
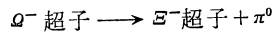
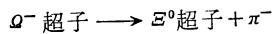


图9 Σ^- 的衰变



从强相互作用奇异数守恒,立刻就知道 Ω^- 的奇异数是-3。它主要通过下列几种方式衰变:



由于总奇异数不守恒,这些都是弱相互作用衰变,所以 Ω^- 的寿命也是 10^{-10} 秒的数量级,相当于万亿原子核“年”。

玲: 这些弱相互作用衰变的粒子,虽然相对于原子核“年” 10^{-22} 秒来说,它们的寿命极长,可是

吕: 不行,因为质子和 K^- 介子的质量加起来是电子质量的二千八百倍, Λ 超子的质量小得多,只有电子质量的二千一百八十倍。如果 Λ 真的衰变成质子和 K^- 介子,那这个衰变过程必定要凭空产生质量才行。可是质量是不能凭空产生的,所以 Λ 超子不能衰变成 K^- 介子和质子。

玲: 这样看来, Λ 超子的衰变只能通过总奇异数可以改变的弱相互作用了。

吕: 是的。对于强相互作用来说,除了奇异数守恒外,还有别的条件。至于质量守恒(与它伴随的是能量守恒),无论对于强相互作用,或是电磁相互作用,或是弱相互作用,都是必要的。这在中微子的故事里讲过,以后还要讲。

玲: 刚才讲的 Λ 超子、 Σ 超子、 Ξ 超子都是通过强作用产生,通过弱作用衰变吗?

吕: 不错。并且可以根据强相互作用来确定粒子的奇异数。现在我再举一个强作用的例子。

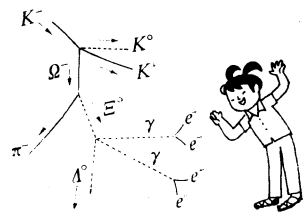


图10 Ω^- 超子的产生与衰变: 其中 Ξ^0 衰变成 $\Lambda^0 + \pi^0$, π^0 看不见,它衰变成两个 γ 光子,还是看不见。但两个 γ 光子又衰变成两对电子和阳电子,就看见了。

对我们的日常生活来说,它们的寿命真是太短了,有什么用呢?

吕: 有用没用主要不在于粒子的寿命长短,而在于我们能不能充分利用它的长处,避开它的

短处。比如说， μ 子的寿命只有百万分之二秒，它虽然像一个重电子，但是要想把它当做电子那样在收音机、电视机里使用，那是不行的，因为它的寿命太短。但是，百万分之二秒是原子核的二亿亿“年”，如果有一个带负电的 μ^- 子被原子核吸引，在原子核周围转圈，它完全可以在衰变之前绕原子核转多少亿圈。这样，就出现了一

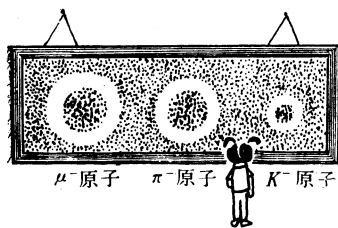


图 11 绕原子核运转的带负电粒子的质量越大，它离原子核的平均距离就越近。（白环代表带负电粒子的云）

种新型的原子，它不是由原子核同电子所组成，而是由原子核同 μ^- 所组成（原子核周围除 μ^- 外还可能有一些电子）。这种原子叫作 μ 原子。 π^- 介子、 K^- 介子，以及 Σ^- 超子、 Ξ^- 超子等也可以相仿地形成 π 原子、 K 原子、 Σ 原子、 Ξ 原子等，统称为奇异原子。在奇异原子里面，带负电的粒子越重，它在运转中离原子核的平均距离就越近。因此奇异原子对于研究原子核的构造很有利。此外，奇异原子在化学上可用来研究化学结构，反应过程和化学键等；在生物学、医学方面也有各种用途。另一方面，电子和正 μ 子、 π^+ 介子……等也可以形成另一种原子。在这种原子

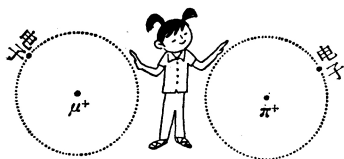


图 12 μ 子素和 π 介子素的原子

通的原子核，所以被人们称为 μ 子素， π 介子素，……等等（叫“素”是因为相当于一种特别的元素）。沿着这些方面的研究，将要开拓出来一些新的技术领域。

正粒子和反粒子

玲：叔叔，我又有一个问题，上次你说有中微子，又有反中微子，又说阳电子就是电子的反粒子，是不是所有的粒子都有它的反粒子呢？

吕：在微观世界里，所有的粒子都有它的反粒子。反粒子的存在，这是一个很重要的发现。它说明物质世界中存在着一种很基本的对称性，也可以说是很基本的一对矛盾，就是正粒子和反粒子的对称性，或正粒子和反粒子的矛盾。

玲：有反粒子，有没有反原子呢？

吕：有啊，现在已经找到了一些由反中子、反质子组成的反原子核，反原子核是带负电的，它同阳电子就可以组成反原子。

玲：这倒有趣，有反原子就可以有反分子，也可以有……。

吕：在我们周围的世界里，反原子是极少的，它们不可能组成一个大的物体。不过也不能排除这样的可能性，就是在离我们很远的宇宙深处，可能存在着由反原子做成的恒星和星系。反原子做成的行星上也可能有反原子做成的生物。

玲：这简直是另外一个世界了。

吕：但仍然是物质的世界。小玲，你知道吗？电子和阳电子（反电子）碰到一起，它们就会消失，并转化成两个或者更多个 γ 光子，这叫做“湮灭”现象。质子（或中子）与反质子（或反中子）碰到一起，也会“湮灭”，并转化成若干个高速的 π 介子。原子和反原子碰上，也会“湮灭”，转化成 γ 光子和 π 介子。这些现象都说明了不同形式的物质

可以互相转化，但是物质是不会消灭的。以后我们还要讨论这个问题。

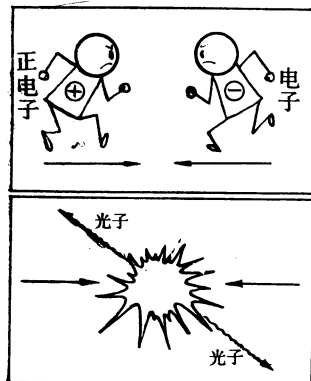


图 13 电子和正电子碰在一起，它们就会消失，并转化为两个或更多个光子，这叫湮灭现象

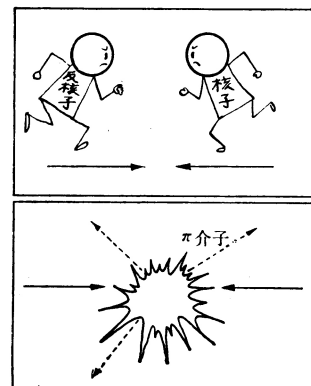


图 14 核子和反核子碰在一起也会消失，并转化为若干个 π 介子。

玲：叔叔，你讲了这么多种粒子和反粒子，我都快要记不住了。

吕：我们可以列出一张表，有了表就好记了。表中下边划横线的是不衰变的粒子，划波线的是通过电磁相互作用衰变的粒子，其余都是通过弱相互作用衰变的粒子。你可以看到，表中大部分的粒子是弱相互作用衰变的，不衰变的粒子是少数，电磁相互作用衰变的也少，只有 π^0 和 η （ η 音依它。表中 γ 、 π^0 、 η 的反粒子就是它们自身，所以在正、反粒子两边重复出现）。 π^0 主要衰变成两个 γ 光

子, η 的衰变有三种主要方式, 一种是衰变成两个 γ 光子, 一种是衰变成三个 π^0 , 一种是衰变成 π^+ 、 π^- 、 π^0 。寿命大致是 2×10^{-19} 秒, 即大约两千个原子核“年”。

玲: 从奇异数来看, η 和 π 介子的奇异数都是0, η 衰变成三个 π 是满足奇异数守恒的, 那么, 为什么不能通过强相互作用来衰变呢? 为什么 η 的寿命不是 $1/10-1/100$ 个原子核“年”, 而是两千多个原子核“年”呢?

吕: 这是因为还有一个叫做“G 宇称”的物理量。在强相互作用衰变中, 单是奇异数守恒还不够, 还必须“G 宇称”守恒才行。另一方面, 电磁相互作用衰变的要求较少, 并不要求“G 宇称”守恒, 而 η 衰变成三个 π 的过程正是“G 宇称”不守恒的。

玲: 表里把质子、中子、超子都归入重子类, 重子是什么意思?

吕: 凡自旋是 $\hbar/2$ 的奇数倍, 质量和质子、中子差不多或更重些的粒子, 都叫重子。

共振峰——强作用衰变的重子

玲: 这个表上没有看到强相互作用衰变的粒子, 到底有没有这种粒子呢?

| 电荷 | 正粒子 | | | 反粒子 | | | 自旋 | | |
|----|-----------------|------------|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---|-----------|
| | 1 | 0 | -1 | -1 | 0 | 1 | | | |
| 光子 | γ | | | γ | | | \hbar | | |
| 轻子 | $\bar{\nu}_e$ | | | $\bar{\nu}_e$ | | | $\hbar/2$ | | |
| | $\bar{\nu}_\mu$ | | | $\bar{\nu}_\mu$ | | | $\hbar/2$ | | |
| | e^- | | | e^+ | | | $\hbar/2$ | | |
| | μ^- | | | μ^+ | | | $\hbar/2$ | | |
| 介子 | π^+ | π^0 | 0 | π^- | π^0 | 0 | 0 | | |
| | κ^+ | κ^0 | 1 | κ^- | κ^0 | -1 | 0 | | |
| | η | | 0 | η | | 0 | 0 | | |
| 重子 | P | n | 0 | \bar{P} | \bar{n} | 0 | $\hbar/2$ | | |
| | Λ | | -1 | $\bar{\Lambda}$ | | 1 | $\hbar/2$ | | |
| | Σ^+ | Σ^0 | Σ^- | -1 | $\bar{\Sigma}^+$ | $\bar{\Sigma}^0$ | $\bar{\Sigma}^-$ | 1 | $\hbar/2$ |
| | Ξ^0 | Ξ^- | -2 | $\bar{\Xi}^0$ | $\bar{\Xi}^-$ | -2 | $\hbar/2$ | | |
| | Ω^- | | -3 | $\bar{\Omega}^-$ | | 3 | $3\hbar/2$ | | |

吕: 有, 但是这种粒子极其短命, 寿

命都在 $10^{-23}-10^{-24}$ 秒左右(刚才说过的强作用的时间)。这种粒子又都是通过强相互作用在碰撞中产生的, 强相互作用产生所需时间当然也是 $1/10-1/100$ 原子核“年”(即 $10^{-23}-10^{-24}$ 秒左右)。所以实际上这种粒子刚刚产生就衰变了, 是极不稳定的。

玲: 如果刚刚产生就衰变了, 那么怎么能够知道它们存在呢? 怎么探测呢?

吕: 它们既然是客观存在的东西, 就一定是可知的, 一定可以探测出来。这里讲两种常用的探测方法。第一种可以叫做寻找共振峰的方法, 第二种可以叫做求质心系能量的方法。

玲: 什么叫“共振峰”? 寻找共振峰是怎么回事?

吕: 是这样的: 用高能 π 介子去轰击质子, 当它经过质子近旁的时候, 就会发生相互作用: 可以使 π 介子的飞行方向偏转, 可以使质子被推开(又名“反冲”现象), 也可能产生一些新的 π 介子、 K 介子、……等等。为了叙述的方便, 可用碰撞截面(或散射截面)定量地表达发生这些碰撞现象的几率。(碰撞现象出现的多, 就说碰撞截面大; 碰撞现象出现的少, 就说碰撞截面小。见图15)。然后, 我们取 π^+ (或 π^-) 介子和靶质子这个体系的质心系能量作为横坐标,

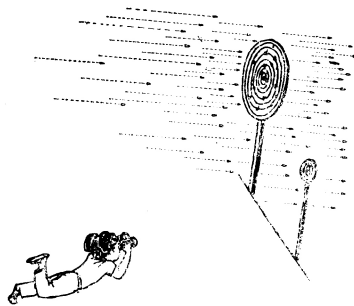


图15 很多平行的子弹, 它们速度相等, 空间分布均匀, 在这情况下, 靶的面积越大, 打中的机会越多。

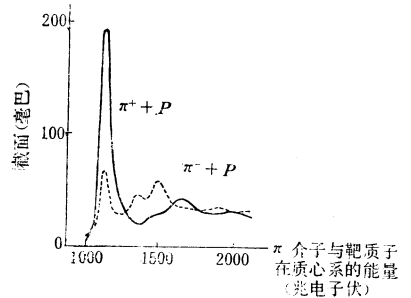


图16 π 介子与质子碰撞的截面与质心系能量的关系

取测出的截面(发生碰撞现象的几率)作为纵坐标, 就可以根据实验数据画出截面与质心系能量之间的关系曲线。在曲线上看到, 当能量调节到某几个数值时, 会出现截面的高峰, 表示在这几个能量, 碰撞现象的出现特别频繁。就好象旋转收音机的旋钮, 正好转到某一个电台的频率时, 声音就特别响一样。这种现象对无线电收音机来说, 是因为接收线路的固有频率经过调节后与电台的频率相同, 发生了“共振”。在高等物理实验中, 借用了“共振”这个词, 把调节到这几个能量时出现的截面的高峰叫做“共振峰”, 把相应的这几个质心系能量叫做“共振能量”。

玲: 这种“共振峰”和强作用衰变的粒子又有什么关系呢?

吕: 按照量子力学的规律, 如果高能 π 介子在某个能量恰好能够被质子所吸收, 并形成一个新的不稳定的粒子, 那末在这个能量就一定会出现截面的“共振峰”。所以, 每一个“共振峰”都与一个不稳定的粒子相对应, 这种不稳定粒子又名“共振态”粒子。根据量子力学, 还可以从共振峰的宽度来判断不稳定粒子的寿命。

玲: 寿命多长呢?

吕: 一般都在 $10^{-23}-10^{-24}$ 秒左右。

玲: 那它们就是我才要问的强作

用衰变的粒子了!

吕: 还有, π 的自旋为 0, 质子的自旋为 $\hbar/2$, π 和质子相对运动的角动量是 $\hbar/2$ 的偶数倍, 按照量子力学的角动量相加原理, 合起来的总的角动量, 也就是“共振态”粒子的角动量, 应该是 $\hbar/2$ 的奇数倍。再加上它们都比核子(质子和中子)重, 所以这一类“共振态”粒子都应该归入重子类。或者, 可以称它们为“强作用衰变的重子”。例如在图 16 里, 质心系能量 1236 兆电子伏处有一个很高的共振峰, 这是当初用 π^\pm 介子打质子(或中子)时发现的第一个共振峰, 它对应于“强作用衰变的重子” Δ 。 Δ 包括 Δ^{++} 、 Δ^+ 、 Δ^0 、 Δ^- 四种带电状态(和核子有质子、中子两种带电状态类似)。

玲: 用 K 介子打质子也能产生“共振态”粒子吗?

吕: 也能。用 K 介子打质子产生的是“有奇异数的强作用衰变的重子”。除强作用衰变外, 它们和 Λ 、 Σ 、 Ξ 很相像。例如 Σ^* (包括 Σ^{*+} 、 Σ^{*0} 、 Σ^{*-})、 Ξ^* (包括 Ξ^{*0} 、 Ξ^{*-}) 就是这种粒子。

强作用衰变的介子

玲: 也有介子一类的“共振态”粒子吧?

吕: 也有, 对于介子一类的“共振态”粒子, 用第二种方法去找比较方便: 举例来说, 在高能碰撞产生的一群介子中, 专门选择 π^+ 、 π^- 两个介子作为一组, 并根据测出的能量和动量, 按照狭义相对论的方法, 推算出 π^+ 、 π^- 两介子体系的质心系能量。假定这 π^+ 、 π^- 是某一个“共振态”介子的衰变产物, 那末这个“共振态”介子的静止质量乘上光速的平方就应该等于衰变出来的 π^+ 、 π^- 的质心系能量。如果实验上发现有很多组 $\pi^+\pi^-$ 的质心系能量都集中在某

一个能量数值的附近, 那就说明是有一种“共振态”介子, 其静止质量乘上光速平方等于这个能量数值, 这些组 $\pi^+\pi^-$ 都是由它衰变而来。(见图 17)

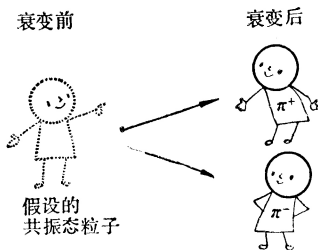


图 17

玲: 用这个方法找到“共振态”介子了吗?

吕: 找到了, 把碰撞实验中得到的上百组、上千组、甚至上万组 π^+ 、 π^- 的数据收集起来, 推算出每一组 π^+ 、 π^- 体系的质心系能量, 并把它们按质心系能量大小排列起来, 就可以看到, 这成千上万组 $\pi^+\pi^-$ 体系的质心系能量确有集中在某几个数值及其近旁的倾向。这就说明, 有很多组 π^+ 、 π^- 确实是某几种不稳定粒子(共振态)衰变的产物。

玲: 这些不稳定粒子一定是介子一类的“共振态”粒子吗?

吕: 是的, 因为它们的自旋必定都是 $\hbar/2$ 的偶数倍, 也可以叫做强作用衰变的介子。凡是介子, 自旋都是 $\hbar/2$ 的偶数倍。

玲: 用求质心系能量方法, 找到了哪些强作用衰变的介子呢?

吕: 找到了静止质量为电子的 1510 倍的 ρ 介子, 也称“ ρ 共振态”(有 ρ^+ 、 ρ^0 、 ρ^- 三种)。找到了静止质量为电子的 1750 倍的 K^{*+} 介子(也称“ K^{*+} 共振态”, 有 K^{*+} 、 K^{*0} 、 K^{*-} 、 \bar{K}^{*0} 四种衰变成 K 和 π)。静止质量为电子的 2000 倍的 ϕ^0 介子(只有一种衰变成两个 K)。静止质量为电子的 1535 倍的 ω^0 介子(ω^0 主要衰变成三个 π 介子, ω^0 只有一种)等等。

玲: 现在找到的共振态粒子有多少种了?

吕: 有两百多种。

玲: 哦, 所谓“基本”粒子有两百多种, 原来绝大多数都是“共振态”粒子呀!

吕: 是的。而且它们都是参与强相互作用的, 所以又都是“强子”。

虽然是摸熟了的路 却出现了新的事物

玲: 叔叔, 你上上次讲了电子和光子, 上次讲了质子、中子, 传递强相互作用的 π 介子, μ 子和像螺丝钉那样一边转一边走的中微子, 今天又讲了原子核的“年”, 强作用产生的、弱作用衰变的奇异粒子, 正粒子和反粒子, 强作用衰变的极其短命的“共振态”粒子……。“基本”粒子这个层次真是丰富多彩啊!

吕: 自然界是丰富多彩的, 自然界新事物的出现是永远不会完结的。但是在资产阶级的实证主义思想和形而上学思想的影响下, 总有一些人看不到这一点。在发现了很多“共振态”粒子和 Ω^- 超子之后, 大概有十年时间, 由于技术上的原因, 高能加速器实验上没有什么重要的新粒子的发现; 宇宙线中虽然发现过个别可能很重的粒子, 但是也没有能够最后证实。因此就有一种说法传播开来, 认为“基本”粒子领域不再会有重要的新现象出现了, 不会有新的类型的粒子, 不会有不断深入的物质结构层次。而且, 随着加速器能量的不断提高, 一切物理现象都会趋于各自的极限(只有量的变化), 但是不会出现新的现象(不会有质的变化)。

玲: 我看这个说法是违反辩证法的规律的, 量变怎么可能不引起质变呢?

吕: 按照这个说法, 不仅很高能量的广大范围是一片沙漠, 不会出现什么新东西, 而且在曾经

发现过很多奇异粒子和“共振态”的能量区域及其附近(即从十亿电子伏到几百亿电子伏的能量范围),那也已经是来回走过了多遍的老路,是早已摸熟了的,再也没有什么新鲜东西了。

玲:照这么说,高能物理可算是一门垂死的科学了,真是悲观哪。



图 18 戴上形而上学的眼镜,就会把丰富多彩的自然界看成一片沙漠

吕:可是自然界不听这一套,就在发见 ϕ^- 超子之后的第十年,像一声晴天霹雳一样,在几百亿电子伏的加速器上,也就是在摸熟了的老路上,同时用求质心系能量和寻找共振峰两种方法发现了一种新粒子。寻找共振峰方法是用高能电子与阳电子对撞,发现在 31 亿电子伏的能量处有一个共振峰。求质心系能量方法是用高能质子打铍靶,然后在产生的很多粒子中专门挑选电子和阳电子,发

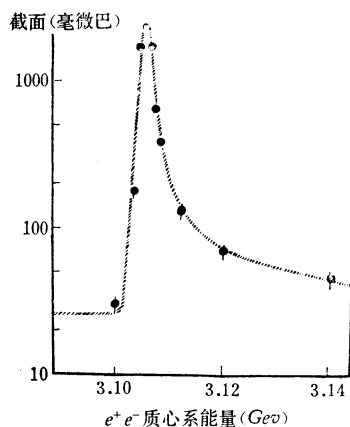


图 19 电子阳电子对撞产生强子的截面与质心系能量的关系。(毫微巴是 10^{-33} 厘米²)

现电子与阳电子体系的质心能量正好密集在 31 亿电子伏的地方。

玲:这么巧!

吕:不是巧,而是两种方法都说明存在着一种不稳定粒子,它的质量是电子质量的六千倍,或质子质量的 3.3 倍。它能够衰变成 $e^+ e^-$ (电子与阳电子),所以是电中性粒子,它的自旋是 \hbar ,是 $\hbar/2$ 的偶数倍。这个新粒子目前一般把它称为 J/ψ 粒子。

玲:那它也属于介子一类啦。

吕:是的,最不容易理解的是 J/ψ 粒子的寿命,大致是 100 原子核“年”。如果它是一个强子——“共振态”粒子,那它为什么不是强作用衰变?为什么它的寿命那么长,不是 $1/10-1/100$ 原子核“年”,什么原因限制了它的强作用衰变?假如它不是强子——“共振态”粒子,那又是什么?

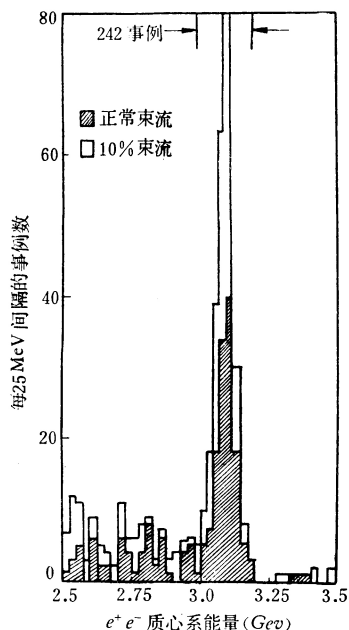


图 20 质子打铍靶产生的电子与阳电子的质心系能量分布

玲:叔叔那你快说它是什么呀!

吕:别急,我还没说完。在发现了 J/ψ 粒子之后,又用寻找共振

峰方法发现了更重的一种新粒子,它的静止质量是电子的七千二百多倍,是质子的 3.9 倍。一般称为 ψ' 粒子。 ψ' 可以衰变成电子-阳电子对,或正反 μ 子对,或衰变成 J/ψ 和 $\pi^+ \pi^-$,或衰变成 J/ψ 和两个 π^0 ,所以它是电中性的,它的自旋也是 \hbar ,是 $\hbar/2$ 的偶数倍。它的寿命比 27 个原子核“年”稍长一点,也比一般强作用衰变粒子(共振态粒子)的寿命长得多。这还没完,后来又发现了一些新粒子,我们以后还要讲到它们,这里就不多讲了。

玲:咳,听到最后还是一个没有讲完的故事!

吕:小玲,“故事”是讲不完的。毛主席教导我们:“人类的历史,就是一个不断地从必然王国向自由王国发展的历史。这个历史永远不会完结。在有阶级存在的社会内,阶级斗争不会完结。在无阶级存在的社会内,新与旧、正确与错误之间的斗争永远不会完结。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。因此,人类总得不断地总结经验,有所发现,有所发明,有所创造,有所前进。停止的论点,悲观的论点,无所作为和骄傲自满的论点,都是错误的。”

玲:新粒子的发现就说明停止的论点、悲观的论点是错误的,人类总是不断发展的。叔叔,下次你给我讲一讲“基本”粒子的结构罢。

吕:我想下次先给你介绍一下微观世界的矛盾、运动和变化。

玲:那好,再见。

吕:下次见。

(插图:尉迟横)