

奇异的K介子

喻传赞

K介子,是五十年代中期基本粒子丰收的年代里发现的,称为奇异粒子,它象一把打开微观世界某些领域大门的钥匙。关于它的研究,曾荣获1957年和1980年两次诺贝尔物理奖,这是科学史上独一无二的。它还将给人类更多更丰富的知识,还有许多启示我们的东西。让我们先从几个有趣的故事讲起。

τ - θ 之谜

1956年以前,人们发现的物理规律都满足空间左右对称,称为镜像反射不变性,按基本粒子的术语,称之为“宇称守恒”。当时人们发现了两种带电的奇异粒子,一种称为 τ ,它可以衰变为三个 π 介子;另一种叫做 θ ,它只能衰变为两个 π 介子。这种衰变过程,物理上称为弱相互作用。实验测量得到 τ 和 θ 的质量和寿命在实验误差范围内完全一致,如果是两种粒子,会如此地巧合吗?但是通过对 τ 和 θ 衰变产物的分析表明,如果 θ 介子和 τ 介子是同一种粒子,则宇称在上述两衰变过程中不可能守恒。因为由 $\pi^- + D \rightarrow n + \pi$ 的实验表明 π 介子的内禀宇称为负,再考虑到 2π 和 3π 系统的角分布,对于 θ 衰变为 2π 系统,其角动量和宇称可能为 $0^+, 1^-, 2^+, 3^- \dots (J^P, J$ 是系统的角动量, P 是宇称),而 τ 衰变的 3π 系统,其角动量和宇称可能为 $0^-, 1^+, 2^-, 3^+, \dots$ 。可见,如果衰变过程中宇称守恒,则 θ 和 τ 介子的宇称总是相反。这样,就存在两种可能性:即在衰变过程中,物理规律是严格左右对称的,则 τ 、 θ 是两种不同的粒子;反之, τ 、 θ 是同一种粒子,则在弱相互作用过程中,左右就不对称,谓之宇称不守恒。这就是当时著名的 τ - θ 之谜。

左右对称,几千年来从未有人怀疑过,但当时年青的物理学家李政道、杨振宁却敢于向传统的观念挑战,认为 τ 、 θ 是同一种粒子,在弱衰变过程中宇称不守恒。他们详尽地研究了所有的实验,发现直至当时为止并没有任何实验曾经证明过弱相互作用中宇称是否守恒,接着他们提出了一些具体的物理实验的建议,其中之一是“极化核 β -衰变”实验,很快就由吴健雄等利用低温技术实现了,接着许多实验都证明了在弱相互作用中,宇称是不守恒的。于是李-杨荣获1957年诺贝尔物理奖。 τ - θ 之谜解开了,将它命名为K介子。

科学家总爱寻根刨底,为什么弱相互作用宇称会不守恒呢?什么量又该是守恒的呢?

谁是瘸子?

1957年人们推测,弱相互作用中宇称不守恒可能

和中微子的本性有关。中微子是1931年奥地利物理学家泡里为了解释 β^- 衰变的能量、动量守恒预言存在的一种粒子,当时认为它不带电、没有磁矩、没有静止质量,仅参与弱相互作用,直到1953年才被实验所证实。微观世界里的粒子自身具有自转的性质,很象一个小陀螺,称为自旋。如果说它仅会向一个方向旋转,譬如说是左旋的,那么在镜子中的像就成为右旋的了(见图1)。当时德高望重极有成就的诺贝尔奖金获得者泡里决不相信,打赌说:“我不相信上帝会造出一个瘸子。”不久实验就证明了现实世界中仅有左旋的中微子 ν ,而反中微子 $\bar{\nu}$ 是右旋的。泡里只好认输。

由于中微子这种奇怪的特性,于是人们进一步猜

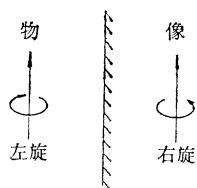


图1

想,是不是在弱相互作用过程中,作一次镜向反射(用P表示)后,再作一次正反粒子变换(用C表示,即正粒子变为反粒子),称为CP变换,也就是说作一次“正反左右变换”,物理规律就守恒了呢?

果然,实验证明,在弱相互作用中,CP变换是守恒的。

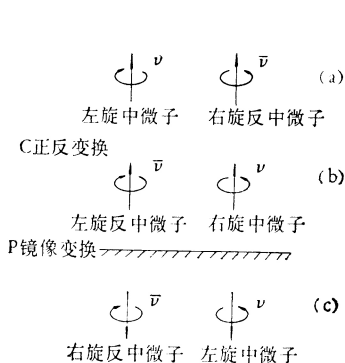


图2 经过CP变换后(a)=(c)

那么CP守恒在微观世界里是不是绝对正确了呢?也不是。问题又出在K介子,这次不是带电的K介子,而是不带电的 K^0 介子,这又是一把开门的钥匙,它究竟意味着什么呢?

CP破坏之谜至今仍在探讨

原来 K^0 和它的反粒子 $\bar{K}^0$ 是在强相互作用中产生的,然而当它们在衰变过程中是由弱相互作用支配的。在衰变过程中,它们只能以 K^0 和 $\bar{K}^0$ 的叠加形式出现,一种组合给出中性短寿命K介子,称为 K_S^0 ,其寿命为 $\tau_S \sim 0.89 \times 10^{-10}$ 秒。另一种组合给出中性寿命K介子,其寿命为 $\tau_L \sim 5.17 \times 10^{-8}$ 秒。 K_S^0 和 K_L^0 在CP变换下性质是不同的。根据理论分析,如果 K_L^0 的衰变过程严格遵守CP守恒,那么 K_L^0 就只能衰变成三个 π 介子,不能衰变成两个 π 。早期的实验确实没有发现 K_L^0 衰变为两个 π 介子。1964年美国的克罗宁和费奇,利用高能质子轰击钨靶,产生 K^0 介子,经过大约17米的路程之后,短寿命的 K_S^0 完全都“死”光了,只剩下了长寿命的 K_L^0 。 K_L^0 衰变出来的带电 π 介子,用两个谱仪记录,发现在长寿命的 K_L^0 衰变中,仍有两个 π 介子的

衰变,不过为数很少,仅占衰变总数的千分之二。

十九年过去了,尽管人们作了种种猜测,但始终没有找到 CP 破坏的内在原因,不过它的作用在微观领域中似乎越来越显得它的重要。特别是它揭示了在弱相互作用中不仅宇称不守恒,而且 CP 联合反演下也是不守恒的,这意味着在微观世界里,守恒是相对的,在强相互作用中宇称是守恒的,CP 也是守恒的。然而在弱相互作用中,宇称不守恒,CP 也不守恒。正因为这一发现具有重要的意义而获得了 1980 年诺贝尔物理学奖。值得强调的是这两种不守恒(宇称和 CP)都是在 K 介子的弱衰变过程中发现的。那么它到底有些什么意义和重要性呢?

还有那些不对称性?

自从实验发现反质子以后,科学家确认一定有反物质存在。反质子是质子的反粒子,它带负电荷,与正电子可以组成一个反氢原子,现在各种基本粒子的反粒子都已为实验找到了,物理学家认为物质与反物质应当是对称的。但是粒子和反粒子不能碰到一起,如果一旦相遇立刻就会淹没为光子或中微子对,因此在我们生活的世界里只有正物质,没有反物质,因为只要有一点反物质就会被淹没掉。实验物理学家通过对宇宙线的测量,确认在我们生活的宇宙之中,反物质不到正物质的十亿分之一。那么反物质到哪里去了呢?是不是有一个反物质的宇宙与我们正物质的宇宙并存?这些都是极大的科学之谜。

自从发现 CP 不守恒之后,科学家猜想宇宙在它产生的最初,只需正物质比反物质多一点,当绝大多数的正反物质淹没成为光子和中微子之后,剩下的就是我们现在的正物质宇宙。近几年来发展了一种大统一理论,它预言构成我们宇宙的基石——质子是不稳定的,它的寿命 $\sim 10^{31\pm 2}$ 年。现在全世界有六个实验小组在准备进行实验,有的已宣布了测得质子寿命的上限,预计在 1985 年可以得到更确切的结果,如果质子是不稳定的,就直接验证了上述理论的正确性。

如果质子可以衰变,说明了重子数不守恒。那么电荷是不是也可以不守恒?世界上什么才是绝对守恒和对称的呢?经过物理学家们研究,证明 CPT 对称性是绝对守恒量。CP,前面说过了, τ 是时间反演变换,说得形象一点,就象把正拍的电影片倒过来放,电影“阿诗玛”中的花顺水而上就是这个结果。在微观世界中,1970 年实验又证实“ T 变换”在弱相互作用中肯定被破坏了,但 CPT 变换的不变性至今还是正确的。

在宏观世界里,时间反演变换从来都是不成立的。否则,人可以由老变小,从今到古,秦始皇就会从棺材里爬起来,岂不可笑。

自然界是丰富多采的, τ - θ 之谜虽然解决了,然而还有更多的谜有待人们去探索。