

带电中间矢量玻色子 W_{\pm} 已经

在西欧中心被发现

今年一月,从位于日内瓦近郊的西欧中心(CERN)传来了令人极为振奋的消息,全世界物理学家们长期渴望和期待着的中间矢量玻色子终于被发现了.这一成果是粒子物理发展史中又一个重要里程碑.根据理论预言,中间矢量玻色子(简称中间玻色子)共有三种,二种是带电荷的,分别以 W^+ , W^- 表示,一种是中性的,以 Z^0 表示,而这次被发现的是 W^{\pm} .

中间玻色子是目前所有已知粒子都要重得多的粒子,其自旋为 1. 在粒子物理学中,中间玻色子的功能是传递弱相互作用. 它们是弱相互作用的传递者,正好象光子是电磁相互作用的传递者,胶子是强相互作用的传递者,引力子是引力相互作用的传递者一样. 中间玻色子的存在是由弱作用理论所预言的,但不同的弱作用理论所预言的中间玻色子质量是很不相同的. 例如,过去有一种理论是认为 W^{\pm} 的质量为 37 京电子伏(质子的质量为 0.938 京电子伏)等等. 已被多种实验普遍证实的温伯格-萨拉姆(W-S)的电弱统一理论则预言 W^{\pm} 和 Z^0 的质量是接近 80 京电子伏(Z^0 约比 W^{\pm} 大 10 京电子伏). 中间玻色子的质量之所以这样大,直观地看,就是由于弱作用的作用力程太小(约 10^{-16} — 10^{-17} 厘米),因为作用力程是与传递作用粒子的质量成反比的,例如电磁作用是长程作用力(作用力程为无穷大),其传递作用的粒子(光子)的静止质量为零.

要寻找 W-S 理论预言的中间玻色子,首先必须具备三个条件:① 加速粒子与靶粒子碰撞,总的有效能量应远大于 80 京电子伏.② 加速器要有足够的束流强度,因为产生中间玻色子的作用几率太小.③ 要有可靠的探测器,以便使它们在产生后能无误地被探测到. 西欧中心正是具备了这些条件才找到了 W^{\pm} 粒子的.

① 利用目前世界上最大的质子加速器,如西欧中心的超级质子同步加速器(SPS,直径为 2.2 公里,能量为 400 京电子伏),以及利用质子打静止靶的方式来产生质量约为 80 京电子伏的 W^{\pm} 粒子是完全不可能的,因为在质子打靶的质心系中总的有效能量还不超过 30 京电子伏.显然,要产生 W^{\pm} 粒子和 Z^0 粒子只能利用高能粒子对撞机.由于质子(P)和反质子(\bar{P})碰撞是物质和反物质之间的碰撞,碰撞后会互相湮没而产生任何一种粒子或多种粒子(只要满足次级粒子的质量之和小于碰撞总能量以及其他守恒定理等条件),而且 P 和 \bar{P} 又能在同一贮存环中实现对撞,所以

利用 P 和 \bar{P} 作为对撞束是最为有利的. 然而要实现质子和反质子对撞,首先要用高能质子打击原子核靶以产生反质子(因为在地球上并不存在天然的反质子),同时把它们收集和贮存起来. 西欧中心利用了一种新的粒子束冷却(随机冷却)技术,使粒子束团的发散度和能散度大大减小,从而可使由质子同步加速器(PS)上的 26 京电子伏的 P 打靶产生的,平均能量为 3.5 京电子伏的 \bar{P} 长时间地在积累器(AA)中积累起来,当积累到足够数量 \bar{P} 时,再使其从 AA 回到 PS,并加速到 26 京电子伏,之后再注入到 SPS 中,使其以与 P 相反的方向旋转和加速,并在二个点上实现 $P\bar{P}$ 对撞. 1981 年 10 月,西欧中心首次实现了 P 和 \bar{P} 在同一加速环中的对撞运行,每一束粒子能量为 270 京电子伏,二束粒子在质心系(即实验室系)中总的有效能量为 540 京电子伏. 这样大的能量用来产生 W^{\pm} 粒子是完全足够了.

② $P\bar{P}$ 碰撞产生 W^{\pm} 的几率是非常小的. 根据目前实验结果,大约在 2 亿次碰撞中,才会产生一个 W^{\pm} . 因此又要求 $P\bar{P}$ 对撞机具有足够的亮度或者是有足够的积分亮度(西欧中心 540 京电子伏 $P\bar{P}$ 对撞机的目标是要达到亮度为 10^{30} 厘米⁻²·秒⁻¹,但目前只达到 5×10^{28} 厘米⁻²·秒⁻¹). 只有这样,才能在较短的时间内,积累较多的 $P\bar{P}$ 碰撞事例. 西欧中心在实现了 $P\bar{P}$ 对撞后,为了提高亮度,再次作了巨大的努力,终于也解决了积分亮度问题,最后导致了一定数量 W^{\pm} 粒子的产生.

③ W^{\pm} 被产生(通过 $P + \bar{P} \rightarrow W^{\pm} + X$ 作用)以后,会立即衰变成电子 e 和中微子 ν , 即 $W^{\pm} \rightarrow e^{\pm} + \nu(\bar{\nu})$, 因此要探测到 W^{\pm} 粒子,就必须记录到由它衰变的大横能量(相对于对撞束方向)的 e^{\pm} 和 $\nu(\bar{\nu})$. 而西欧中心利用了大型二极磁铁($7 \times 3.5 \times 3.5$ 米³)作为粒子能量分析器,用围绕对撞区的探测器(圆柱形漂移室,电磁量能器,强子量能器, μ 子探测器等)记录次级粒子的飞行轨迹,得到了具有气泡室质量的照片. 这种大型精密装置,既可测定带电粒子的动量,也可测定粒子径迹的电离. 从而即能可靠地确定由 W^{\pm} 衰变的粒子的物理性质. 而根据探测到的大横能量的电子和中微子,最后确证了 W^{\pm} 的存在.

宣布发现 W^{\pm} 粒子的实验是由二个大实验组完成的. 参加的国家包括 8 个欧洲国家和美国,总共约有 180 位物理学家参与了这项工作. 一个组的实验代号

为 UA1,他们在10亿次 $P\bar{P}$ 碰撞中,观察到5个 W^\pm 粒子事例,确定 W^\pm 的质量 ~ 80 京电子伏(质子质量的85倍).另一组的实验代号为 UA2,在相同数量的碰撞中,观察到4个 W^\pm 事例,质量也接近80 京电子伏.

弱相互作用早在20世纪初就已为物理学家所知,如 β 放射性.然而经过了近80年的奋斗,只是由于高能加速器对撞机技术及束流冷却技术的发展,才使中间玻色子 W^\pm 的发现成为可能,而 W^\pm 粒子的发现,更进一步证明:W-S的电弱统一理论是完全正确的.这样,在人类认识的四种基本相互作用中,温伯格和萨拉姆用 $SU(2)\times U(1)$ 的规范理论把电磁作用和弱作用二者统一起来了.这在人们对微观世界的认识上是又一个飞跃.随着 W^\pm 的发现,下一步西欧中心的 $P\bar{P}$ 对撞实验则是期待着观察到 Z^0 . 以上二个实验组没有观察到 Z^0 ,很可能是 Z^0 的产生截面要比 W^\pm 的来得小,然而 Z^0 的发现想必也已为期不远了.

(悦 先)