

“粒子”概念的演变

吴慧芳

高能物理又称为粒子物理。让我们谈谈在微观世界里“粒子”的概念是什么。

提起粒子,人们很自然地想到一堆砂子中的许多小颗粒,如果将砂子不断地分割下去,就引入了不可分割粒子——原子的概念。在公元前五世纪后半叶在特雷斯海岸的古城阿伯迪拉,希腊哲学家留基伯和德谟克利特明确叙述所有物质是由原子构成的。这一思想延续了几千年,最早进入微观世界的粒子就是原子。后来人们知道原子是由电子、质子和中子构成的,人们称这些粒子为基本粒子。从廿世纪初以后人们发现了越来越多的粒子:光子、中微子、正电子、反质子、 μ 子、 π 介子、各种奇异粒子、很多参与强相互作用的强子等。六十年代人们相信更基本的粒子——夸克的存在,七十年代发现了更多的夸克和重轻子,八十年代发现了中间玻色子 W^+ 和 Z^0 粒子。在这漫长的年代里,粒子的概念不断演变发展。原子、质子、中子、电子都是可观察的实体,对于这些粒子我们大家可以理解,然而对于夸克,实验上至今未观察到自由夸克的存在,人们仍然称夸克为粒子,而且是粒子物理(高能物理)的研究对象。量子色动力学就是以夸克和胶子作为基本自由度的动力学理论。人们不禁要问,什么是“粒子”?

在经典物理中并不特别需要原子的概念,但在某些问题中原子的概念的确也提供了方便的术语。到十九世纪末,还有不少科学家,包括某些杰出的化学家在内,仍不相信原子的存在。

廿世纪初,一系列重要的实验技术发展,使得人们不仅确认了原子的存在,而且可以研究单个原子的性质。1909年,由于佩兰关于布朗运动的研究证明了分子的存在。到1911年原子假说已经有了牢固的基础。就在这段时间内卢瑟福和盖革所进行的 α 粒子散射实验揭示了原子内存在原子核。此外,还有一系列电子和原子散射的实验揭示了原子的各种特性。这些实验技术的发展使人们深入到微观世界里“观察”原子、电子、原子核的特性,人们的“观察”和“看到”的概念起了一个革命性的变化。粒子的概念也起了变化,不再是一堆砂子中的小颗粒,而是具有颗粒性的微观客体,迫使人们放弃经典的概念而以量子理论来描述。电子不仅具有颗粒性还有波动性,光子不仅具有波动性还有颗粒性,电子和光子都是微观粒子。

为了认识粒子概念的发展,我们再回顾一下卅年代中微子是怎样提出的。

早在1914年查德威克观察到放射性原子核的 β

衰变发射的电子不以确定的能量出现,而是一个连续能量谱,从零一直到某一最大值。1930年利用微量能器测量从镭E发射出的 β 粒子的平均能量,实验数据的积累表明在衰变中的蜕变能量等于连续 β 谱的平均能量,而不是连续谱的上限,而且表明没有伴随 γ 辐射产生。

泡里正是抓住这一结果指出在 β 衰变中不仅能退而且自旋和统计明显地是不守恒的。如果 β 粒子是唯一被发射的粒子,那么在 β 衰变中失掉了半整数($1/2$)的角动量(见泡里致参加1930年12月在图宾格会议的盖革和梅瑟的公开信),泡里从自旋统计性质出发提出了在 β 衰变中除了电子外还引入一个穿透力很强,质量几乎为零的新的中性粒子(中微子这一名词确切地反映了它的特点)的光辉思想。泡里说:“没有冒险就没有胜利。”的确如此,他在1931年6月的美国物理学年会上公布了这个奇异的新粒子的提议。这个提议的实质是维持守恒定律,因为在 β 衰变中,一个中子衰变为质子加上一个电子以后,不仅能量不守恒而且角动量不守恒。

泡里从坚持维护守恒定律的要求不惜引入新的不可见的粒子,在当时来讲这是难以接受的,事实上泡里建议的中微子在 β 衰变中象一个高明的神偷手,它偷走了能量和角动量,而且还有穿墙术,无声无迹地离开了,假定这样一个不可见粒子的存在,这当然是冒险的,以后的实验证明了泡里的胜利。

人们也可以从另一个角度批评泡里太保守了,因为他太尊重守恒定律了。当时的原子物理学权威厄内斯特·波尔就指出能量和动量守恒仅仅是在统计过程中成立而不是在单个的核子衰变过程中。波尔说“在原子理论的现阶段……无论从实验上还是从理论上,我们没有理由对于在 β 衰变的情况下维持能量守恒原理,而且甚至在试图这样做时会导致复杂性和困难。”而泡里却全力和波尔辩论说:“当涉及到轻粒子起重要作用的核过程时,由波尔所支持的解释允许能量和动量守恒不成立。这个假设对于我是不满意的或者甚至是不合理的。首先在衰变过程中电荷是守恒的,而我看不出来为什么电荷守恒比能量守恒更根本。”

在中微子的历史上,费米弱相互作用理论起了重要作用。恩里科·费米将泡里的中微子假设引入在弱相互作用中并给出一个定量的公式,在1934年以后的年代里费米弱相互作用定量理论成功地预言了在 β 衰

变过程中核的能谱以及角动量选择规则，这样这一未曾观察到的粒子逐渐为人们接受了。然而毕竟只是间接地证明了在 β 衰变中发射了中微子，保守的人们仍然可以说中微子只不过是“微妙的代替物”而已，它的微妙作用是对于 β 衰变允许能量和动量守恒。中微子起初是以携带能量和角动量而假设的一种无质量的中性粒子，这种假设是以反应中“看到”丢失能量和角动量为基础的。可是人们仍在问，我们实际需要它吗？我们能够没有它吗？这一怀疑一直维持了廿多年，随着证据的增加，怀疑论越来越站不住脚了，直至1956年，当科万和伦斯利用一个很强的核反应作为强中微子源并观察它的效应时怀疑论彻底失败了。

现在再回到夸克作为粒子概念的引入，六十年代初，当盖尔曼提出夸克时并不认为它是粒子而是数学符号，正象人们当初认为中微子只不过是维持能量动量守恒定律的“微妙代替物。”在1964年前后也有很多人问我们实际需要夸克吗？廿几年后的今天，人们虽然没有“看到”自由夸克存在，但是却有很多实验“看到”夸克的存在，例如1974年“看到”了粲夸克，1977年“看到”了底夸克，这几年正在寻找顶夸克。夸克已成为当今高能物理研究的基本对象。尽管对夸克的特性和本质还在研究之中，然而对夸克的存在已不再怀疑，它们是构成质子、中子等强子的组成成份，也就是组成原子核、原子的基本成份。只是它们的粒子性质更神秘，它们是永远被禁闭在质子、中子内部的基本组成成份。但是它们又可以在高能时以渐近自由形态而被“看到”。今天的粒子概念比起提出中微子假设时又起了革命性的变化。当今人们又在探讨夸克的内部结构，夸克是被囚禁在质子、中子内部的基本组成成份，而夸克的组成成份又是什么呢？我们相信在“看到”夸克的内部结构时，“粒子”的概念将既不同于原子、质子、中子、电子、中微子，也不同于夸克，将赋予崭新的物理内容。