

“基本粒子”物理学的发展与展望

张文裕 朱洪元 汪 容

物理学的发展已经经历了三次大突破。

第一次大突破是牛顿力学的提出，与之相伴的是产业革命；第二次大突破是法拉第和麦克斯韦的电磁理论的提出，与之相伴的是工业上的电气化；第三次大突破是放射性的发现和相对论与量子力学的提出，与之相伴的是原子武器的出现和原子能在各个方面的广泛应用，以及半导体、等离子体、受激光发射等一系列新领域、新技术的出现。看来，这第三次大突破对于人类生活的巨大影响还没有充分显示出来。随着煤和石油矿藏的不断消耗与减少，动力用原子堆技术的不断提高，我们日常所需要的动力将逐渐转移到原子能的基础上。一旦原子能的宇宙火箭实现了，受控热核反应实现了，我们就将完全进入原子能的时代。

世界是无穷无尽的，人类对于自然界的认识也是无穷无尽的。物理学在取得了第三次大突破的成就以后，又继续前进，正在酝酿着第四次大突破。如果说在第三次大突破中发现了原子是由基本粒子组成的，揭露了微观世界所特有的波动性与颗粒性的矛盾，那末，在第四次大突破中就将要进一步发现基本粒子内部的结构，并揭露属于基本粒子领域的更深入一层的矛盾。

第四次大突破将带来什么，目前还很难预料。但是由于物理学研究的是有关物质结构和物质运动的最基本的规律，换句话说，是在自然界普遍起作用的规律，所以一旦有所突破，就一定会给人类的生活带来巨大的影响。

基本粒子物理学研究的是各种微观高速现象，包括基本粒子的产生、湮灭、衰变、散射，以及基本粒子的内部结构。与原子核结构、原子核反应的研究相比，基本粒子物理的研究是对于物质微观结构更深入一层的探讨。

现代基本粒子的研究可以溯源到 1897 年，这一年发现了电子，它是人类知道的第一种基本粒子。1905 年，从光电效应的研究证实了光子的存在，光子就成了人类知道的第二种基本粒子。1911 年发现原子是由原子核和电子组成的。最小的原子核——氢原子核——被称为质子。1932 年又发现了中子，肯定了原子核是由质子和中子组成的。同一年还在宇宙线的研究中找到了理论上预言存在的阳电子(反电子)。到此为止，人类知道的基本粒子只有光子、电子、阳电子、质子和中子一共五种。

发现这五种基本粒子的三十几年正好处在第三次大突破时期。随着微观世界的波粒

二重性这一矛盾的揭露，在物理学中划时代地提出了和发展了量子力学。但是，这个时期的研究对象基本上是原子或原子核范围内的微观低速（低能量）现象，研究微观高速（高能量）现象的基本粒子物理还没有成为一个学科。

对微观高速（高能量）现象的研究是从二十年代末期对宇宙线的研究开始的，上述阳电子的发现就是宇宙线研究的第一个重要的收获。三十年代中期，由于核子力（中子与质子统称核子）的短程性质，理论上预言了核子力是通过一种新的基本粒子——介子作为媒介来传递的。这就又给宇宙线的研究提出了寻找新粒子的课题。但是一直到四十年代中，也没有找到这种介子，倒是找到了另外的一种粒子，后来叫作 μ 子。它在弱相互作用中担任重要的角色，但并不参与强相互作用（核子力是强相互作用力的一种）。总起来看，整个三十年代和四十年代前半，微观高速现象的科学实验都只在宇宙线方面进行，而且进展是缓慢的。虽然在1932年就有了第一架回旋加速器，但由于能量不高，还不能用于研究微观高速现象。

四十年代前半，原子弹爆炸的成功反过来对于原子核方面的基础研究起了很大的推动和促进作用，同时，战时和战后又发展了一系列新技术，为基础研究提供了高效率的新装备，所以，微观高速现象的研究在这时获得了空前迅速的发展。一方面，在宇宙线的研究中终于找到了作为传递核子力的媒介的 π 介子，在四十年代末还接二连三地发现了一系列的奇异粒子，包括各种超子和 K 介子，使已知的基本粒子一下子就增加到了近20种。另一方面，加速器的能量提高了，通过高速粒子的碰撞来研究粒子间相互作用的

工作开始有可能系统地进行了。与此同时，理论工作也有了明显的进展，提出了可以更好地描述基本粒子的相对论不变的量子场论的数学工具，还提出了可以绕过点模型所固有的发散困难的重正化方法。在电磁相互作用中应用重正化方法得到了很大的成功，推算得到的氢原子能级和电子的反常磁矩都同最精确的实验结果符合得非常好。

可以说，四十年代末和五十年代初是基本粒子物理学开始形成独立的学科并且初步给出一些重要成果的时期。

五十年代中期，研究的重点转到了弱相互作用的领域。发现了有名的弱相互作用宇称不守恒的现象，提出了弱相互作用普适理论，从而澄清了一批过去不清楚的弱相互作用的理论问题。同时，由于加速器能量的进一步提高，发现新粒子的工作不仅在宇宙线方面可以进行，在加速器方面也可以进行了。主要的成果是发现反质子和反中子，证实了理论上的预言。

到了五十年代后期，大部分理论工作者的兴趣转到了强相互作用方面。强相互作用不能用微扰论的方法来处理，所以遇到了较大的困难。经过很多人的努力发展了研究散射矩阵的解析性质的色散关系方法，但是这些年来收获并不很多。应该说，强相互作用还是一个远远没有澄清的问题。

随着一个一个高能加速器的投入运转和探测技术的不断改进，在六十年代初已知的基本粒子的数目已增加到三十几种。此外，还发现了一大批共振现象，一般都认为这些现象的出现是由于存在着极短暂寿命的基本粒子，如果把共振都算在内，那么已发现的基本粒子就有一百多种。这就很自然地发生一个疑问，能够说这一百多种粒子都是基本的

粒子吗？很多人都认为，目前的情况有点象发现原子和原子核结构的前夜。这种看法是有道理的。既然上百种的原子都是由电子、质子和中子组成的，那末这些已知的基本粒子是不是也是由什么更基本的东西组成的？坂田昌一在1955年提出的基本粒子模型是一个有启发性的尝试，他认为重子（包括超子和核子）和介子（包括 π 介子和K介子）都是由基础粒子做成的，基础粒子只包括中子、质子和 Λ 超子以及它们的反粒子。六十年代初，在坂田开辟的道路上又继续前进，提出了八重态模型。这个模型预言存在一种奇异数为 -3 的 Ω^- 超子，已在1964年初得到了证实；还预言存在一种电荷只有 $-\frac{e}{3}$ 或 $\frac{2}{3}e$ 电荷的基础粒子（ e 是质子的电荷），但是到目前为止，实验上还不能肯定这种粒子是否存在。

在弱相互作用领域里，近年来也有两项重要的收获。一项是1962年证实了有两种不同的中微子（中微子是弱相互作用中的重要角色）；另一项是1964年发现了不满足时间反演守恒定律的衰变过程。

以上就是基本粒子研究史的简单的回顾。总起来看，基本粒子的研究大致可以分为两个方面，一个方面研究的是基本粒子的各种外部联系，即基本粒子之间的相互作用问题；另一个方面研究的是基本粒子是不是基本的，什么是更基本的？即研究基本粒子内的运动和内部构造问题（这两个方面又是相互渗透，相互交错的）。前一个方面的研究已经（1）在电磁相互作用领域里取得了较大的进展；（2）在弱相互作用领域里摸清楚了一些规律，但是弱相互作用的一些基本问题（例如弱相互作用中有没有作为媒介物的

所谓中间玻色子存在）还并不清楚；（3）在强相互作用领域，可以说基本上是不清楚的。后一方面的研究目前只达到把各种基本粒子按照某种对称性的规律加以分类的阶段（偏于唯象的阶段）。例如坂田模型、八重态模型都属于这一性质。至于基本粒子为什么具有这些对称性，什么东西决定了这些对称性，这些都是有待于进一步探讨的问题。

对于今后，特别是在七十年代结束以前，也许可以估计：在相互作用的研究方面，首先将要澄清弱相互作用的某些基本问题，而且在强相互作用的领域中将出现若干决定性的突破。为了彻底改造目前的很不完善的点模型理论，还将从超高能粒子流的电磁作用与弱作用的散射实验入手，去探讨比 10^{-13} 厘米更小得多的范围内的基本粒子的形状。另一方面，即基本粒子的内部运动与内部构造的研究方面，发现新粒子与新共振态的工作，研究粒子的对称性与模型的工作都将随着加速器的不断改进而继续进行，还将要发现有些粒子和共振态之间的内在联系，它们实际上可能属于同一个激发态的系列。

无论是上述的相互作用的研究，或者是基本粒子的内部运动与内部构造的研究，它们都终将把人类对于自然界的认识带向物质结构的更深入的一个层次，去发现组成基本粒子的更基本的东西，去揭露目前已有的理论在原则上所不能解释的更深入层次所特有的矛盾。

每一次物理学中的大突破是从揭露一些新的本质性的矛盾开始的。基本粒子领域的更深入层次的矛盾将在什么时候出现，目前还不很肯定，也许是七十年代，也许更晚一些，但不会离七十年代太远。一旦发现了这种矛盾，物理学的第四次大突破就将揭开序幕。