# 第 9 章 原子核物理学和粒子物理学的发展

## 9.10 原子核模型理论

正如原子模型的建立是原子物理学发展中的重要环节一样，原子核模型的建立也是核物理学发展中的重要环节。模型是人类认识自然的必要途径，也是理论思维的基本方式之一。在物理学的研究中，往往是先提出恰当的模型，然后才能得出简明的运动规律，建立相应的理论体系。恰当的模型，可以概括已知的事实，这些事实经一定的理论联系在一起，得到统一的解释，而建立在可靠事实基础上的理论进一步又能预言新的事实，指导人们作出新的发现。

然而，原子核模型的研究，比起原子模型来，经历了更漫长的过程，至今仍在发展之中。几十年来，先后有好几种核模型被提出，它们从不同侧面反映了原子核的某些现象和某些性质，每种模型都只能解释一定范围内的实验事实，难以用同一种模型概括和解释全部实验事实。这反映了原子核的复杂性，也反映了人们对原子核的认识还不很充分。

下面略举几种最著名的核模型。

1．气体模型，是费米在 1932 年提出的。他把核子（中子和质子）看成是几乎没有相互作用的气体分子，把原子核简化为一个球体，核子在其中运动，遵守泡利不相容原理。每个核子受其余核子形成的总势场作用，就好像是在一势阱中。由于核子是费米子，原子核就可看成是费米气体，所以，对核内核子运动起约束作用的主要因素就是泡利不相容原理。但由于中子和质子有电荷差异，它们的核势阱的形状和深度都各不相同。

气体模型成功之处，在于它可以证明质子数和中子数相等的原子核最稳定。这一结论与事实相符。再有，用气体模型计算出的核势阱深度约为 – 50 meV，与其他方法得到的结果接近。不过这一模型没有考虑核子之间的强相互作用，过于简单，难以解释后来发现的许多新事实。

2．液滴模型，是 N.玻尔和弗伦克尔（Я.И.Френкель）在 1935 年提出的。其事实根据有二，一是原子核每个核子的平均结合能几乎是一常数，即总结合能正比于核子数，显示了核力的饱和性；二是原子核的体积正比于核子数，即核物质的密度也近似于一常数，显示了原子核的不可压缩性。这些性质都与液滴相似，所以把原子核看成是带电荷的理想液滴，提出液滴模型。

1936 年玻尔用这个模型计算核反应截面，由此说明了一些核现象。1939 年玻尔和惠勒在解释重核裂变时，又用上了液滴模型。

但是早期的液滴模型没有考虑核子运动，所以不能说明核的自旋等重要性质。后来加进某些新的自由度，液滴模型又有新的发展。

3．壳层模型，是迈耶夫人（M.G.Mayer，1906—1972）和简森（J.H.D.Jensen，1907—1973）在 1949 年各自独立提出的。在这之前，当有关原子核的实验事实不断积累时，1930 年后不久，就有人想到，原子核的结构可以借鉴于原子壳层的结构，因为自然界中存在一系列幻数核，即当质子数 *Z* 和中子数 *N* 分别等于下列数（称作幻数）之一：2，8，20，28，50，82，126 时，原子核特别稳定。这跟元素的周期性非常相似，而原子的壳层结构理论正是建立在周期性这一事实基础之上的。

然而，最初的尝试却是失败的，人们从核子的运动，求解薛定谔方程，却得不到与实验相等的幻数。再加上观念与壳层模型截然相反的液滴模型已取得相当成功，使得人们很自然地对壳层模型采取否定态度。

后来，支持幻数核存在的实验事实不断增加，而不论是气体模型还是液滴模型，都无法对这一事实作出解释。直到 1949 年，迈耶和简森由于在势阱中加入了自旋一轨道耦合项，终于成功地解释了幻数，并且计算出了与实验正好相符的结果。

壳层模型可以相当好地解释大多数核基态的自旋和宇称，对核的基态磁矩也可得到与实验大致相符的结果；但对电四极矩的预计与实验值相差甚大，对核能级之间的跃迁速率的计算也大大低于实验值，这些不足导致了核的集体模型的诞生。

4．集体模型也叫综合模型，是 1953 年由阿格·玻尔（A.Bohr，1922— ）和莫特尔逊（B.B.Mottelson，1926— ）提出的。在他们之前，雷恩沃特（L.J.Rainwater，1917—1986）1950 年就曾指出：具有大的电四极矩的核素，其核不会是球形的，而是被价核子永久地变形了。因为原子核内大部分核子都在核心，核心也就占有大部分电荷，因此即使出现小的形变，也会导致产生相当大的四极矩。在这一思想的基础上，A.玻尔和莫特尔逊提出了集体模型。他们指出，不仅要考虑核子的单个运动，还要考虑到核子的集体运动。集体模型（综合模型）实际上是对原子核中单粒子运动和集体运动进行统一描写的一种唯象理论。

壳层模型和集体模型各有成功之处，把两种模型综合起来，可以更全面地解释各种原子核的实验事实。