



强子的层子模型

本史话的第一篇就说到了人类很早就开始探索物质结构的秘密，经过许许多多的科学实验和理论研究，人类对物质结构的认识不断深入。十九世纪初，证明原子是可分的，它是由原子核和围绕在原子核周围的电子云组成，接着，实验又证明原子核本身也是可分的，它由质子和中子组成，电子、质子和中子被称为基本粒子。

随着人类科学技术水平的发展，六十年代以来，实验上已发现了200多种基本粒子。

在研究的过程中，也有一些人探讨过基本粒子的结构，提出过几种强子结构模型，例如，早在1949年， π 介子发现后不久，费米和杨振宁提出过费米—杨振宁模型， π 介子是由核子和反核子组成，1955年坂田昌一提出以质子、中子和 Δ 粒子为基础粒子的坂田模型，认为所有强子都是由这三种基础粒子和它们的反粒子组成，1961年盖尔曼等人提出夸克模型，认为所有强子都由夸克和反夸克组成，夸克有三种（还有三种反夸克）。前两种模型存在一些难以解决的问题，后一种模型，作者只把它作为一种数学符号。

我国的基本粒子物理工作者，在毛泽东同志关于物质无限可分的哲学思想指导下，认真调查研究，系统地分析基本粒子的已有的实验和理论，在1965年提出了层子模型。

层子模型是基于核子存在内部

结构的实验事实，提出来的这些事实，我们在第十篇“核子结构的发现”中已经有过详细的叙述，从这些实验中得出的结论是：核子是有结构的，核子内部有点状的粒子存在。

其次，在发现了大量的基本粒子以后，发现粒子按质量可以组成一些有规律的族，如质子和中子的质量分别为 $938.3 \text{ MeV}/c^2$ 和 $939.6 \text{ MeV}/c^2$ ，只相差 0.1% 左右；三个超子 Σ^+ 、 Σ^0 、 Σ^- 的质量分别是 $1189.4 \text{ MeV}/c^2$ 、 $1192.5 \text{ MeV}/c^2$ 和 $1197.4 \text{ MeV}/c^2$ ，相差不到 0.8% ；两个 Ξ 粒子的质量是 $1314.9 \text{ MeV}/c^2$ 和 $1321.3 \text{ MeV}/c^2$ ，相差不到 0.7% 。此外， Δ 粒子家族的质量都在 $1236 \text{ MeV}/c^2$ 左右， Σ^* 粒子家族的质量都在 $1385 \text{ MeV}/c^2$ 左右， Ξ^* 粒子家族的质量都在 $1530 \text{ MeV}/c^2$ 左右， Ω^- 的质量为 $1672.5 \text{ MeV}/c^2$ 。我们把这些粒子的质量按电荷的不同排列成下面的图：

从这个图，我们看到某种规律

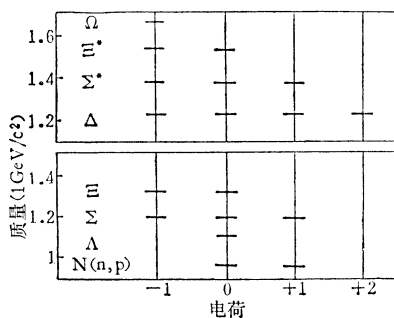


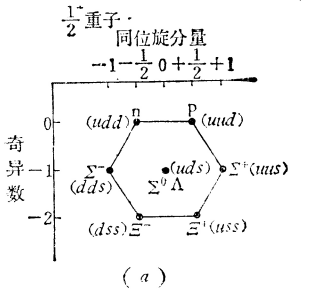
图 1

性。这种规律性类似于在氢原子内把量子态分成族的转动对称性，显示了某种内部结构的迹象。

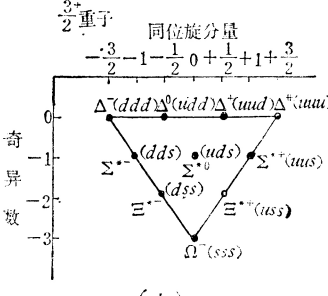
一般认为，基本粒子分成族是同位旋对称性的结果。质子和中子的许多特性都几乎相同，只是电荷不同，质子带一个单位正电荷，中子是电中性的，可以把它们看成是同一种核子在同位旋空间的两种不同状态，它们的同位旋分量为 $+1/2$ ， $-1/2$ ，组成同位旋二重态。类似地，三个 Σ 超子有 $+1$ ， 0 ， -1 三种电荷状态，它们的同位旋分量为 $+1$ ， 0 ， -1 ，组成同位旋三重态等等。实验证明，强相互作用是与电荷无关的，即具有同位旋空间变换下的不变性，假如不存在别的相互作用，则组成同一个同位旋多重态的各个成员，例如质子和中子，应该具有相同的性质，包括他们的质量相同，相互作用的性质相同等等，只是由于电磁相互作用的存在，使多重态成员之间的质量稍有差别，由于电磁相互作用比强相互作用大概弱100倍，所以这种差别也就很小。

1961年盖尔曼和内曼把各个小的同位旋多重态组成一个大的超多重态，叫做八重法。即把自旋和宇称相同的重子（或介子），按它们的同位旋（或电荷）和奇异数排列起来，发现强子可以形成有规则的族，例如下图就是自旋和宇称 (J^P) 为 $(1/2)^+$ 和 $(3/2)^+$ 的重子和 0^- ， 1^- 的介子的排列图。

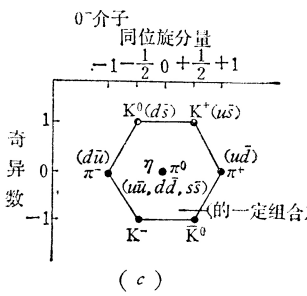
强子的这种分类法的数学基础是群论，具体地说是所谓 $SU(3)$ 群。



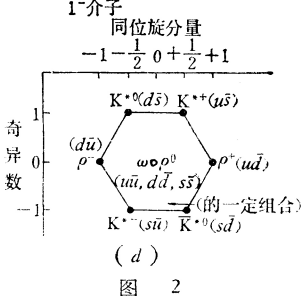
(a)



(b)



(c)



(d)

图 2

最初用八重法对强子分类时，在自旋为 3/2 的重子十重态中，最后一个单态是空着的，当时还没有合适的粒子可填。按照十重态的要求，1962 年，盖尔曼预言，第十个粒子应该有下列的性质：电荷 $Q = -1$ ，奇异性 $S = -3$ ，质量为 1680 MeV/c²，自旋为 3/2，宇称为正。在这个预言推动下，1964 年布鲁克海汶实验室发现了这个粒子，命名 Ω^- 。 Ω^- 粒子的发现是对八重法的

极大支持。

超多重态分类法成功，显示了在这些对称性的后面有它内在的本质。正如元素周期表的周期性规律，反映了围绕原子核转动的电子的排列规律一样。

我国理论物理工作者提出的层子模型的基本图象是：认为强子是由“更基本”的粒子组成的，并把这种“更基本”的粒子命名为“层子”。

层子有多少种呢？从最简单的可能性出发，即从强子表现出 SU(3) 对称性的事实出发，先假定层子有三种，而所有近 300 种强子都是由这三种层子和三种反层子组成。层子可能都带分数电荷，也可能都带整数电荷。下面举一种比较简单的情况，通俗地说一说，以下是三种层子的一些基本性质。

层子	电荷	奇异性	自旋	重子数
u	$+(2/3)e$	0	1/2	1/3
d	$-(1/3)e$	0	1/2	1/3
s	$-(2/3)e$	-1	1/2	1/3

层子是如何组成强子的呢？简单地讲，有两条规则，一是重子由三个层子组成，当三个层子自旋方向相同时，它们的自旋为 3/2，当其中二个层子自旋方向相反时，它的自旋为 1/2，反重子由三个反层子组成；二是介子由一个层子和一个反层子组成和重子类似，它们可以组成自旋为 1 和 0 两种介子。例如，质子由两个 u 层子一个 d 层子组成 (uud)，它的电荷 $=2/3+2/3-1/3=1$ ，重子数 $=1/3+1/3+1/3=1$ 。中子的层子组成为 (udd)，电荷 $=2/3-1/3-1/3=0$ ，重子数 $=1$ 。质子和中子不含 s 层子，奇异性为 0。详细说明见图 2。

我们知道，在量子力学中，自旋为整数的粒子服从玻色-爱因斯坦统计（因而这种粒子叫做玻色子），简单地讲，就是各种量子数都相同的玻色子可以很多个处于相同量子

状态，而不受什么限制。自旋为半整数的粒子服从费米-狄拉克统计（因而这种粒子叫做费米子），各种量子数都相同的费米子不能处于同一个量子状态中。层子的自旋是半整数 1/2，应该服从费米-狄拉克统计，但是在组成重子时，往往两个或者三个相同的层子同在一个量子状态中。例如， Ω^- 粒子就是由三个相同量子状态的 s 层子组成。这是和费米-狄拉克统计矛盾的。

这几年发展了新的一种理论，叫量子色动力学，把 u 、 d 、 s 三种层子比喻为层子有三种不同的味，每一种味的层子又有三种“颜色”，例如红、黄、蓝三种。层子的“颜色”事实上也是一种量子数，只不过人们为了方便，形象化地把它叫做“颜色”而已。带“颜色”的层子按照什么规则组成强子呢？有两条规则，第一，组成重子的三个层子具有三种不同的颜色。第二，组成介子的层子和反层子的颜色是互为补色。如果层子是红色，反层子的颜色则是红色的补色，如果层子是黄色，反层子的颜色则是黄色的补色等等。由于红黄蓝三种基色合在一起就变成白色，任何一种颜色和它的补色合在一起也是白色的，所以重子和介子都是白色的。

颜色的引入解决了层子的统计性问题。而且也得到一些实验事实的支持。（详见 1979 年第一期“量子色动力学浅说”一文）。

是不是 9 个层子的假设已经很完善了呢？人们的认识总是随着实践经验的积累而不断发展的。1974 年美国布鲁克海汶国家实验室丁肇中小组和斯坦福直线加速器中心里彻特小组同时宣布发现同一个新粒子，人们称之为 J/ψ 粒子。 J/ψ 粒子所具有的新特性，需要人们引入一个新的层子——粲层子，才能很好解释。

关于 J/ψ 粒子及粲粒子家族，将在第十五篇详细叙述，这里只作一个简单说明。

丁肇中小组的实验是用 30

