基本粒子的对称性、内部結构和相互作用

胡　宁
（北京大学理论物理研究室）

引　言

物质结构问题一直是物理学的一个中心问题。十九世纪的原子的发现，使人们对于物质的微观结构的认识跨进了一大步。以放射性物质的发现为先导的近代物理的发展，又进一步揭示出原子的内部结构。按照近代物理所揭示的图象，所有原子都是由原子核和围绕着原子核运动的电子组成的，而各种原子核又是由不同数量的质子和中子相互结合而成的。人们称质子、中子和电子等为"基本粒子"或"原始粒子"，认为这些粒子是组成所有物质的最原始的单元。

近年来，人们利用高能加速器，产生了各种类型的基本粒子，数目达到五、六十种以上，并且可以按照类似于原子周期表的方式进行分类。这说明这些"基本粒子"也象原子一样具有内部结构，也就是说，它们是由更原始的单元所组成的。所以，关于物质结构认识的发展史，非常生动地说明了辩证唯物主义的物质不可穷尽性这一原理。

在表1中给出一些较肯定的基本粒子以及它们的性质。由这个表我们看到，已经确定存在的基本粒子的数目，多得已和门捷列夫排周期表时元素的数目相当（当时只发现了六十几种元素）。这些粒子间的相互作用，除去通常的电磁作用外，还有一种代表快速过程的強相互作用和另一种代表慢速衰变过程的弱相互作用。表中所有寿命在 10^{-24} 秒左右的衰变过程都是強作用所造成的。对于这种作用，奇异量子数是守恆的（超荷 Y 也是守恆的）。表中所有寿命长于 10^{-10} 秒的衰变过程都是弱作用所造成的；衰变寿命在 10^{-15} 秒左右的过程（如 π^0 和 Σ^0 的衰变）则是由电磁作用所造成的。

SU_3 对　称　性

目前研究基本粒子内部结构主要的课题是这些粒子的"对称性"。过去两年到一年半的时间内，我们基本粒子研究小组在这方面也作了一定数量的研究工作[1-33]。

坂田昌一[34]是最早提出基本粒子内部结构的人之一。按照他最初所引入的假定，所有基本粒子都是由质子、中子和 Λ 粒子所组成的。这三种基础粒子组成各种类型的基本粒子，和中子与质子组成各种类型的原子核的情形很相似。对于原子核来说，因为中子和质子除具有不同的电荷外（中子不带电，质子带有单位正电），其他性质都是相同的，所以如果把原子核里的一些质子换成中子，

所得的新原子核的性质将和原来的原子核的性质基本上是相同的。这种对两种粒子（中子和质子）交换的不变性，称为同位旋（即SU_2)对称性。同样道理,对于基本粒子来说，坂田所假定的三种基础粒子，除具有不同的电荷和超荷Y(见表1)外，其他性质也是相同的。这样，如在一个由一定数量的基础粒子所组成的复合粒子里,把一些粒子如p(质子)换成n(中子)或Λ，所得到的新复合粒子和原来的粒子的性质也将是大致相同的。这种在三种基础粒子的相互交换下的不变性质，称为SU_3对称性。

为着具体说明这种对称性对复合粒子的影响，我们考虑由一个基础粒子和一个反基础粒子所组成的复合态。由三个粒子p、n、Λ和三个反粒子$\bar{p}$、$\bar{n}$、$\bar{\Lambda}$共可组成九种不同的粒子-反粒子对。它们分别属于SU_3羣的一维和八维表示。由于系统的角动量不同，一组八维表示给出八种赝标介子：π^+、π^-、π^0、η、K^+、$K^\perp$、K^0、$\bar{K}^0$；另一组八维和一维表示给出九种矢量介子：ρ^+、ρ^0、ρ^-、K^{*+}、K^{*-}、K^{*0}、$\bar{K}^{*0}$、φ、ω。但是这个原始的坂田模型沒有能够给出除p, n, Λ外其他类型重子Σ^+、Σ^0、Σ^-、Ξ^0和Ξ^-合适的表示。Gell-Mann[35]和Ne'emann[36]建议这五种重子加上p、n、Λ构成和介子一样的SU_3的八维表示。这个建议得到实验的支持,但这样就不能把p、n、Λ看作坂田原来建议的基础粒子。有一部分理论工作者就认为，SU_3对称性的存在并不意味着有基础粒子存在，因而他们只在对称性的

表 1

（1）轻子类

符　号	名称和电荷	质　量 (Mev)	自　旋	寿　命 (秒)	衰变产物
γ	光子、0	0	1	∞	
ν_μ	μ-中微子、0	<2.5	1/2	∞	
ν_e	e-中微子、0	<0.00025	1/2	∞	
$e^\mp$	电子、∓1	0.51	1/2	∞	
$\mu^\mp$	μ介子、∓1	106	1/2	2.2×10^{-6}	$e^\mp\bar{\nu}_e\nu_\mu$

（2）介子类（S = 奇异量子数，Y = 超荷）

符　号	电　荷	质　量 (Mev)	$S=Y$	自　旋	寿　命 (秒)	主要衰变产物
$\pi^\pm$	±1	139.58±0.05	0	0	2.55×10^{-8}	$\mu^\pm+\nu_\mu$
π^0	0	134.97±0.05	0	0	1.05×10^{-16}	2γ
K_1^0	0	497.9±0.6	—	0	0.9×10^{-10}	$\pi^+\pi^-$、$\pi^0\pi^0$
K_2^0	0	497.9±0.6	—	0	6.3×10^{-8}	$3\pi^0$、$\pi^\pm e^\mp\nu_e$、$\pi^\pm\mu^\mp\nu_\mu$
$K^\pm$	±1	493.7±0.3	±1	0	1.23×10^{-8}	$\mu^\pm\nu_\mu$、$\pi^\pm\pi^0$
ρ	±1,0	760±5	0	1	10×10^{-24}	2π
ω^0	0	783±2	0	1	14×10^{-24}	$\pi^+\pi^-\pi^0$
K^*	+1,0	890.4	+1	1	24×10^{-24}	$K\pi$
$\bar{K}^*$	+1,0	890.4	−1	1	24×10^{-24}	$\bar{K}\pi$
φ	0	1019	0	1	450×10^{-24}	$K^0\bar{K}^0$
η	0	548.5±0.6	0	0	$\geqslant180\times10^{-24}$	3π
κ	+1,0	726	+1	0	$>90\times10^{-24}$	$K\pi$
B	±1,0	1220	0	1	13×10^{-24}	$\pi\omega$
f	0	1256	0		8×10^{-24}	2π

（3）重子类（N 代表 p 和 n）

符 号	电 荷	质 量 (Mev)	$S=-1+Y$	自 旋	寿 命 (秒)	主要衰变产物
p	+1	938.211±0.01	0	1/2	∞	
n	0	939.505±0.01	0	1/2	1013±26	$pe\nu_e$
Λ	0	1115.38±0.10	−1	1/2	$2.57\pm0.3\times10^{-10}$	$p\pi^-$、$n\pi^0$
Σ^+	+1	1189.35±0.15	−1	1/2	$0.78\pm0.03\times10^{-10}$	$p\pi^0$、$n\pi^+$
Σ^0	0	1193.2±0.7	−1	1/2	$>10^{-12}$, <0.1	$\Lambda\gamma$
Σ^-	−1	1197.6±0.5	−1	1/2	$1.59\pm0.05\times10^{-10}$	$n\pi^-$
Ξ^0	0	1315.2±1.0	−2	1/2	$2.80\pm0.26\times10^{-10}$	$\Lambda\pi^0$
Ξ^-	−1	1321.2±0.3	−2	1/2	$1.75\pm0.05\times10^{-10}$	$\Lambda\pi^-$
N^*_{33}	+2, +1 0, −1	1238	0	3/2	11×10^{-24}	$N\pi$
N^*_{13}	1, 0	1515±3	0	3/2	11×10^{-24}	$N\pi$
N^*_{15}	1, 0	1685±5	0	5/2	11×10^{-24}	$N\pi$
N^*_{37}	2, 1 0−1	1920	0	7/2	11×10^{-24}	πN、$K\Lambda$
Y^*_{13}	1, 0	2400±20	−1	3/2	33×10^{-24}	$\pi\Lambda$
Y^*_{01}	0	1404±0.4	−1	1/2	26×10^{-24}	$\Sigma\pi$、$\Lambda\pi$
Y^*_{03}	0	1518.7±1.7	−1	3/2	80×10^{-24}	$\bar{K}N$、$\Sigma\pi$
Ξ^*_{13}	0, −1	1533±3	−2	3/2	184×10^{-24}	$\Sigma\pi$
Y_{13}	±1, 0	1660±10	−1	3/2	32×10^{-24}	$\Sigma\pi$、$\Lambda\pi$
Y_{05}	0	1765±30	−1	5/2	26×10^{-24}	K^-p、$\Xi^-\pi^+$
Ω^-	−1	1675±3	−3	(3/2)	$\approx0.7\times10^{-10}$	$\Xi\pi$、ΛK^-

各种形式上作文章，而不愿涉及这个对称性的本质，即基本粒子的内部结构问题。

我们的看法是，在一个不长的阶段内，工作的重点是可以放在对称性形式的探讨上的，但它的目的只是为内部结构的探求作准备。在两年以前 SU_3 理论所预言的关键性的 Ω^- 粒子尚未发现，因此这个理论的优越性尚未完全肯定。在弱作用里，SU_3 对称性是否正确，更是一个空白，完全有可能在弱作用方面基本粒子所反映的是另一种对称性。从这个考虑出发，我们在 1963 年冬天开始这方面的研究时，除对 SU_3 对称性进行研究外，还系统地研究了其他可能有的对称形式，如 C_2[2]、B_2[4]、G_2[3] 等，并找出相应的各种表示以及 C-G 系数，同时也算出 SU_3 表示的 C-G 系数[1]，并把它们应用于探讨弱作用问题[12]，以及一些强作用问题。在同一时期，国际上也进行着相同的工作。我们的结论是在所有可能的对称形式中，SU_3 对称形式与实验最相符合。但是必须指出，由于在讨论相互作用时，SU_3 理论里的“重子流”是由两个八维表示给出的，这使得 SU_3 理论比别的理论多含有一个可供调整的参数。这种不确定和偶然因素是 SU_3 理论能够符合实验的一个重要的技术上的原因。目前大体的情况是：G_2 对称性在电磁现象里遇到较严重的困难，C_2 和 B_2 羣在态的填充上遇到困难[2,4]。但对于弱作用来讲，SU_3 的优越性并不很明显。另一方面，所有这些对称性都只能是近似的，被认为是 SU_3 理论的重要成就的质量关系就是由对称性的破坏给出的。

由上面结果我们看到，虽然 SU_3 理论和实验给出比较满意的结果，但任何对称性理论所能预言的，只不过是存在于物理量之间的全部关系的一部分，只有动力学的理论才能给出所有的关系。但是，也可能有这样的

情况： SU_3 对称性只代表存在于基本粒子间的对称性的一个方面，它并没有反映出对称性的全部。所以我们必须主动地不断地通过对实验的分析来总结出新的规律性，以扩充原有的对称性理论。

上面提到的 SU_3 理论里介子的质量关系为

$$m_{TY}^2 = a + b\left[T(T+1) - \frac{Y^2}{4}\right]$$

T、Y 代表同位旋和超荷(见表 1)，a、b 为常数，在上面所述的思想指导下，文献[20、23]根据实验分析指出 b 是一个与自旋 J 和宇称 P 无关的常数，其值为 $b = -0.151(\text{Bev})^2$。由 b 与 J^P 无关这一条件可以算出八维表示 $J^P = 0^+$ 介子 ζ 和 K 的质量差应为

$$m_\zeta^2 - m_K^2 = -0.226(\text{Bev})^2$$

实验测得 m_K 的值为 725 Mev，由上式算出的 m_ζ 值为 547 Mev，这是和实验值 $541 < m_\zeta < 565$ 不相矛盾的(ζ 粒子并未在表 1 中给出)。同样的考虑曾经用来处理 $J^P = 1^+$ 的赝矢介子 $B^{0\pm}(1220)$。按照上面的观点，如果这些介子属于八维表示，那么将有 $K^{**}(1310)$介子存在，这也是与目前的实验结果不相矛盾的。

由于 b 是 J^P 无关的常数，介子质量公式中就只含有一个待定的参数 a，减少了一个可调整的参数，将大大地有助于对以前尚无法分类的介子进行分类。文献[13]还进一步指出，对于任一 J^P 值都可能存在着两套介子，这两套介子的质量差(即 Δa)也是一个与 J^P 无关的常数。表 2 给出这两套介子的设想以及和实验的比较。

表 2

(括弧中数字代表由 Mev 表出的质量)

表　示	J^P	T	Y	粒　子　I	粒子 II (理论)	粒子 II (实验)
8+1	1^-	1	0	$\rho(755)$	(1220)	$B(1220)$
		1/2	±1	$K^*(890)$	(1310)	$K^{**}(1310)$
		0	0	$\varphi(1019)$	(1400)	$D(1410)$
		0	0	$\omega(783)$	(1236)	$D'(1275)$
8+1	0^+	1	0	$\zeta(541—565)$	(1100—1112)	
		1/2	±1	$\kappa(725)$	(1201)	(1200)
		0	0	$B_0(922)$	(1331)	(1340)
		0	0	$\sigma(395)$	(1036)	$K_3(1040)$
8	0^-	1	0	$\pi(138)$	(968)	$\beta_1(1000)$
		1/2	±1	$K(495)$	(1078)	$\beta_{1/2}(1100)$
		0	0	$\eta(548)$	(1104)	$\beta_0(1110)$
8	1^+	1	0	$\alpha(625)$	(1144)	$A(1200)$
		1/2	±1	$\alpha_{1/2}(785)$	(1238)	$C(1230)$
		0	0	$\alpha_0(854)$	(1284)	

在电磁性质方面，文献[24]利用 SU_3 预言的重子磁矩和已知的重子电荷利用二级微扰计算给出 SU_3 八维表示各种重子的电磁质量差，结果满意地与实验相符。这个结果也可看作是对由 SU_3 理论给出的重子磁矩值第一次在实验上的证实。

在弱作用方面，Cabbibo 曾经利用 SU_3 对称性满意地解释了各种粒子的轻子衰变[42]。

为了进一步考虑非轻子衰变，文献[12]引入属于八维表示相当于 K_0 介子的赝粒子(Spurion)(同样的做法也独立地被 Lee 引入[18])，再假定“RC”交换的不变性，得到能够给出正确衰变寿命和上下不对称性的解。为了使非轻子衰变和通常 β 衰变几率属于同一数量级，在理论中引入了 8 个中间玻色子。此外，文献[5]和文献[9]还用 C_2 和 B_2 对称性处理了弱作用问题。结论是：如果在 C_2 理论是允许“弱流”可由两种表示的迭加来描写，大致将会得出和 SU_3 一样满意的结果。B_2 羣和实验之间也没有明显的矛盾。

从今年年初开始，我们集中力量于强作用的碰撞问题。一方面的原因是我们希望通过强作用对称性的研究转入基本粒子的内部结构问题上去；另一方面的原因是在强作用领域内理论和实验之间存在着更尖锐的矛盾，比如 $Y_1^*(1385)$ 的衰变分支比，质子和反质子湮灭产生各种介子和超子的分支比等[44,45]。这些矛盾首先说明在碰撞问题里 SU_3 对称性已被破坏，问题是是否可以找出一个动力学的机构来说明 SU_3 对称性是怎样被破坏的。过去的尝试是唯象地引入一个新的相空间因子[51]或象在处理弱作用时所做的那样引入一个赝粒子[40]。我们曾经讨论强作用的高级效应对强作用顶点的重正化效应。我们发现即使 SU_3 对称性是完全正确的，它对 SU_3 理论里“F 型”和“D 型”作用常数的重正化效应是不同的[27]。因为重正化效应的大小又是与作用的强度的大小有关的，所以这两种作用常数实际的比值应与作用常数的大小有关。如果存在着一种新的对称性，它能够决定 F 型和 D 型作用的比值（这正是后面将要讨论的 $\tilde{U}_{12}$ 对称性的情况），那么这个新的对称性的存在将意味着作用常数的值也将在原则上由对称性完全决定（因为改变作用常数将破坏这个对称性）。上面的讨论也说明，从裸粒子的强作用顶点出发来计算碰撞问题是没有意义的，因为原始的 F/D 比值不知道，而且重正化对 F/D 比值的改变实际上也无法计算。所以，在计算中我们采取了下面的观点：把 SU_3 对称性所给出的强相互作用拉格朗日量看成物理粒子间的相互作用。这样，作用常数就应换为代表着高级微扰效应的形式因子，但在实际计算里可把这些形式因子看作常数(或缓变函数)。在利用简单的费曼图(如极点近似图)计算碰撞过程的跃迁矩阵时，所有始态、末态和中间态粒子的质量都取观察的值。引入观察的质量立即破坏了整个过程的 SU_3 对称性。文献[28、29]的计算结果指出，对于低能的质子——反质子湮灭产生 $\pi^+\pi^-$、$K^0\bar{K}^0$、K^+K^-、$\Lambda\bar{\Lambda}$、$\Sigma\bar{\Sigma}$ 的过程是可以与实验相符的。文献[31]计算了在较高能量质子——反质子湮灭产生质量为 1385Mev 的 Y_1^{*+}、$\bar{Y}_1^{*-}$ 对及 Y_1^{*-}、Y_1^{*+} 对的过程，计算结果也指出，经过适当的选择中间态，理论和实验即可不再存在着明显的矛盾。

从上面的讨论，我们看到只要对碰撞过程的动力学机构稍作规定(如极点近似等)，理论和实验的矛盾即可变得不那么尖锐。这说明理论本身有着过大的适应性和任意性。由于没有突出的矛盾，如果不进一步考虑造成 SU_3 对称性的模型，就很难发展理论。

前面已经提到过坂田的模型不能解释为什么重子是属于八维和十维表示。为着解决这个困难，Gell-Mann 提出了所谓“夸克”(quark) 模型[46]。按照这个模型，所有基本粒子都是由三种夸克 q_1、q_2、q_3 组成，它们的电荷分别为 2/3、−1/3、−1/3 单位电荷，超荷 Y 分别为 1/3、1/3、−2/3。因为在实验上

还沒有观察到电荷不等于整数的粒子，必须假定这些夸克具有很重的质量(比如说，质量 $M \approx 20$Bev)，因此在目前的实验条件下，这种粒子无法产生。按照这个模型，介子是由一个夸克和一个反夸克按照直乘 $3 \times 3^* = 1 + 8$ 所给出的单态和八重态；重子是由三个夸克按照直乘 $3\times3\times3 = 1+8+8+10$ 所给出的单态、八重态和十重态。这个结果立刻解释了为什么重子只可能属于一维、八维和十维表示。

SU_6 和 $\tilde{U}_{12}$ 对称性

在夸克模型的基础上，自然要提出下面问题：为什么八维表示的重子自旋为 1/2，而十维表示的重子自旋为 3/2？为着回答这个问题，Pais[38,43,47]等人假定夸克间的相互作用力是与自旋无关的，在这个作用下自旋为 1/2 的夸克不会转化为自旋为 $-1/2$ 的夸克。这样就可把两种不同旋向的夸克看成两种不同的粒子；三种夸克即可被看成是六种独立的基础粒子，这六种基础粒子将构成 SU_6 羣的最低维表示。在 SU_6 对称性理论里，介子属于由 $6 \times 6^* = 1 + 35$ 给出的一维和 35 维表示。这个 35 重态将包括一组八重态的赝标介子，一个单重态和一组八重态的矢量介子。因为每个矢量介子可处于自旋分量为 $+1, 0, -1$ 三种态，而按照 SU_6 分类的精神，不同旋向的态应看成不同的独立粒子，所以独立介子的数目应为 $8 + 3 \times (1+8) = 35$，正等于这个表示的维数。同样，重子将属于由 $6 \times 6 \times 6 = 56 + 70 + 70 + 20$ 所给出的四个表示。其中 56 是全对称的表示，20 是全反对称的表示，两个 70 是混合对称的表示。前面所述的 SU_3 的八维的 $J^P = 1/2^+$ 重子和十维的 $J^P = 3/2^+$ 重子都属于 56 维表示，因为 $J = 1/2$ 和 $J = 3/2$ 分别代表二重态和四重态，按照 SU_6 分类的精神，这个表示将含有 $2 \times 8 + 4 \times 10 = 56$ 个独立的粒子，这也正是这个表示的维数。

SU_6 理论满意地回答了上面所提出的问题，从而在基本粒子分类方面比 SU_3 理论前进了一步。但是这个理论不可能反映基本粒子间眞实存在的相互作用，因为大家都知道，基本粒子间的相互作用是与自旋有关的。为着克服这个困难，可以把 SU_6 对称性看成是所有粒子的动量都趋于零的极限，因为过去所有的实验上发现的自旋有关的相互作用都在这个极限趋于零。这对基本粒子分类方面的成就并无影响，因为分类只牵涉到静止的粒子。我们注意到 SU_6 羣可以看作是 SU_3 羣和二分量自旋波函数的 SU_2 羣直乘的结果，当粒子的动量不等于零时，二分量的自旋波函数即扩张为 Dirac 的四分量波函数，因而 SU_6 羣也相应的扩张为 $\tilde{U}_{12}$ 羣（$\tilde{U}$ 表示 Dirac 波函数的变换羣中含有虛数的参数，因此 $\tilde{U}_{12}$ 不是眞正的么正羣）。

Salam 和 Pais 等人[39,49,50]很自然地提出下面这个假设：强作用具有 $\tilde{U}_{12}$ 对称性。这个假设具有十分突出的后果。我们将在下面结合着我们所做的研究工作分条加以讨论。

1. 按照 $\tilde{U}_{12}$ 理论，基本粒子间的相互作用的形式将唯一的被确定，在介子和重子的汤川型作用中只含有一个未定的作用常数。对于相互作用来讲，$\tilde{U}_{12}$ 对称性意味着 SU_3 理论中各种作用常数之间存在着一些关系，正象同位旋的 SU_2 对称性意味着核子与各种介子的作用常数之间存在一些关系一样。在 $\tilde{U}_{12}$ 理论里，从前在 SU_3 理论里不能确定的 F 型和 D 型作用的比值已经完全确定。前面的讨论已经指出，由于重正化效应将改变 F 和

D的比值，对这个比值的确定可能意味着在 $\tilde{U}_{12}$ 理论里唯一看来可调整的作用常数也已完全确定了。这也意味着 $\tilde{U}_{12}$ 对称性将是可能存在的最高对称性，因为相互作用拉格朗日量中不再含有可供调整的参数。我们还看到 $\tilde{U}_{12}$ 理论所给出的相互作用，如果有真实意义的话，只可能代表物理粒子间的相互作用，因为如果它是裸粒子间的相互作用，任何重正化效应都将破坏 $\tilde{U}_{12}$ 对称性。

这个理论所给出核子和 π 介子之间的相互作用主要是赝矢型的。这个结论是和我们最近通过色散关系对实验结果的分析所得的结论是一致的[25]。

2. Salam 等人已经指出，任何系统的自由拉格朗日量，即拉格朗日量中代表动能的部分，是不可能满足 $\tilde{U}_{12}$ 对称性的。这是必然的，因为按照 SU_6 和 $\tilde{U}_{12}$ 对称性，自旋为 3/2 和自旋为 1/2 的重子同属一个表示，这意味着通过 SU_6 羣和 $\tilde{U}_{12}$ 羣的变换，$J = 1/2$ 的重子将会转变为 $J = 3/2$ 粒子。但我们知道，$J = 1/2$ 和 $J = 3/2$ 粒子具有完全不同的运动规律，这个规律由自由粒子拉格朗日量完全代表，除非抹杀这个运动规律上的差别（即完全忽略去自由拉格朗日量），SU_6 和 U_{12} 对称性是根本不可能的。在这里我们重温一下各阶段的对称性引入的历史是有益的。在引入同位旋的 SU_2 对称性时，人们忽略去质子电荷的影响，因为电磁作用比强作用弱得多。后来，在引入 SU_3 对称性时，人们认为超荷 Y 对强作用的影响也是可以忽略去的。尽管超荷的效应可被略去，在 SU_3 理论里超荷仍旧是守恆的（亦即奇异量子数是守恆的），正象在同位旋的 SU_2 对称的理论里，电荷是守恆的一样。现在，当人们引入 $\tilde{U}_{12}$ 对称性时，如前所述，必须认为粒子本身的动能的效应是可以略去的，但在所有的实际碰撞过程里，动能的效应（即自由拉格朗日量的效应）是不能被略去的。由于在 S 矩阵里的由自由拉格朗日量所决定的传播函数不是 $\tilde{U}_{12}$ 不变的，因此碰撞矩阵也将不具有 $\tilde{U}_{12}$ 对称性。在这个意义上，在强相互作用中引入 SU_6 和 $\tilde{U}_{12}$ 对称性是沒有很多的现实意义的。但是，以上的讨论并不排除 SU_6 和 $\tilde{U}_{12}$ 对称性在基本粒子的内部结构的问题上是真实存在的对称性这一情况。这个情况，可以通过下面类比加以说明。大家知道，在原子核内部，同位旋的 SU_2 对称性是确实存在的，但在原子核外部，即在原子核和电子的相互作用里，SU_2 对称性则是不存在的。

3. 前面已经指出过，对于对称性的另一种看法是：在各种作用常数之间存在着一些关系。人们可以认为由 $\tilde{U}_{12}$ 对称性所给出的相互作用表达出裸粒子或物理粒子之间真实存在的相互作用。我们认为这个观点是可以接受的，但由于传播函数的破坏以及计算的困难，这个对称性将无法确切的在实验上加以检验。当然我们可以用一些规定的近似计算（如前面提到的极点近似等）得出具体的结果，在这方面 $\tilde{U}_{12}$ 理论的情况并不比 SU_3 理论更坏些。按照这个观点，文献[30]曾经利用 $\tilde{U}_{12}$ 理论计算一些強衰变过程的衰变几率，其中包括 $N^*_{33}(1237)$、$Y^*_1(1385)$、$\Xi^*(1533)$、$\rho(755)$、$K^*(890)$ 和 $\varphi(1019)$ 的衰变过程。计算的结果指出，如果把强作用的顶点看成是物理的顶点，那么理论给出 K^* 的和 φ 粒子衰变几率将比实验值小很多。当然，如果把始态和末态粒子的质量换成 SU_6 和 $\tilde{U}_{12}$ 的平均质量，并允许观察值和理论值之间可以有 50% 的差异，上面的矛盾是不难消除的。

4. 大家知道，由于 SU_3 对称性被破坏而

给出的质量关系与实验非常满意地相符。就是这个原因，SU_3 理论被称为"描写它本身被破坏的一个成功的理论"。现在必须考查 $\tilde{U}_{12}$ 理论是否也能得到相同的荣誉。根据我们对一些最近发表的文献的分析，以及我们在这方面研究工作所得的结论，可以认为，在质量关系方面 $\tilde{U}_{12}$ 理论沒有给出比 SU_3 理论更多的预言。在弱作用方面情形也是一样。在基本粒子分类方面，除前面所述 $J^P = 0^-$ 和 1^- 的介子以及 $J^P = 1/2^+$，和 $3/2^+$ 的重子得到满意的安排外，在 $J^P = 3/2^-$ 的重子的安排的问题上遇到一些困难[30]。已观察到的 $J^P = 7/2^+$ 的重子只可能安排到 5 个夸克和 2 个反夸克所组成的 SU_6 的 4536 维表示中去，这将代表上千个结合态。这样多的结合态的存在是难以想象的！

只有在电磁性质方面 $\tilde{U}_{12}$ 理论给出一个比较满意的关系：中子磁矩对质子磁矩的比值为 $-2/3$，这和实验值 -0.684 是很接近的。但这个理论所给出的由质子到 $N_{33}^*(1237)$ 粒子的跃迁磁矩只有由光生介子实验所测出的值的 60%[52]。

综上所述，SU_6 理论，以及和它相应的相对论的推广，即 $\tilde{U}_{12}$ 理论，除掉较好的反映属于低维表示的基本粒子分类和电磁性质等只牵涉到基本粒子本身结构的性质外，对于这些基本粒子之间相互作用问题并沒有得到进一步的澄清。我们所能作出的最好结论是：SU_6 和 $\tilde{U}_{12}$ 理论至多只可能反映基本粒子内部存在的（即一个静止的基本粒子所具有的）对称性，在基本粒子外部，即在各种基本粒子之间，看来这种对称性并不是很显著的。

我们曾经进一步在 SU_3 和 $\tilde{U}_{12}$ 对称性的假定下利用通常的场论计算来处理夸克是怎样相互结合而构成复合粒子的[26]。也就是说，我们希望探讨一下，在基本粒子内部，这种对称性是不是可以占有显著的地位。当然我们应该在这个超微观的范围内估计到场论计算的局限性。但是，也可能出现和下面相似的情况：当由原子的范围进入到原子核的内部时，人们发现量子力学仍旧是正确的，但出现了强大的核力。下面的讨论将指出，在基本粒子的内部可能遇到相似的情况。

我们的计算结果指出，当夸克间的自旋无关的力非常强大时（可能比强作用还强一个数量级），夸克的动能项即可被略去。这时，整个体系将具有 SU_6 对称性。由于动能项很小，可用强作用近似进行计算，结果指出，一对夸克和反夸克组成的矢量和赝标介子和由三个夸克组成的属于全对称 SU_6 表示的八维和十维重子是可以同时存在的，但由三个夸克组成的其他表示很可能不存在有结合态。这是和实验结果相符的。由于宇称守恆条件的限制，这种超强的汤川型作用力不可能在基本粒子之间(即复合粒子的外部)存在。这说明了为什么这种超强的作用力不在通常的实验中被观察到。我们愿意在这里强调指出，尽管在基本粒子内部，量子理论可能不完全正确，但是只有通过应用旧理论，才能突出矛盾，暴露其不正确的部分，保存其正确的部分，从而为建立新理论创造条件。

在结束这篇文章的时候，我们愿意说明一下，这里所介绍的情况、研究成果以及很多的看法和评论都是我们基本粒子研究小组在过去两年内，尤其是在最近半年内，集体劳动和共同讨论的成果，其中当然可能有一些不正确的地方，应由作者自己负责。

在这篇文章里，我们沒有尝试报导国内其他单位在这方面的工作。过去两年，各单

位完成了很多有意义的工作，但由于我们了解还不够，难以在这里作出适当的全面的报导。

[1] 孙宏洲、韩其智，物理学报，**21**，56 (1965)。
[2] 杨国桢、孙宏洲、关洪、韩其智，北京大学学报，**10**，253 (1964)。
[3] 潘家汗、汤一民，北京大学毕业论文 (1964)。
[4] 关　洪，物理学报，**21**，1(1965)。
[5] 关　洪，物理学报，**21**，569 (1965)。
[6] 关　洪，物理学报，**20**，1053 (1964)。
[7] 杨国桢，物理学报，**20**，819 (1964)。
[8] 杨国桢、关洪，物理学报 **20**，928 (1964)。
[9] 杨国桢，物理学报，**21**，1080 (1965)。
[10] 杨国桢，SU(6) 理论中量子的电磁质量，待发表。
[11] 杨国桢，物理学报，**20**，819 (1964)。
[12] 宋行长，物理学报，**20**，1048 (1964)。
[13] 宋行长、高崇寿，未发表(见科学通报，1964 年 12 月号，1081 页，高崇寿的文章)。
[14] 宋行长，物理学报，**21**，218 (1965)。
[15] 宋行长，物理学报，**21**，469 (1965)。
[16] 高崇寿、宋行长，科学通报，1964 年 11 月号，1001 页。
[17] 高崇寿，物理学报，**20**，184 (964)。
[18] 高崇寿，物理学报，**20**，680 (1964)。
[19] 高崇寿，物理学报，**20**，1172 (1964)。
[20] 高崇寿，物理学报，**20**，1187 (1964)。
[21] 高崇寿，物理学报，**20**，1284 (1964)。
[22] 高崇寿，物理学报，**21**，465 (1965)。
[23] 高崇寿，科学通报，1964 年 12 月号，1081 页。
[24] 胡　宁、杨国桢，科学通报，1965 年 4 月号，347 页。
[25] 胡　宁，π 介子和核子在低能的散射，待发表。
[26] 胡　宁、关　洪，一个满足 SU_6 对称性的基本粒子模型，待发表。
[27] 胡　宁、马中骐，SU_3 理论里 F 型和 D 型作用的比值和重正化效应间的关系，待发表。
[28] 刘连寿，$p\bar{p}$ 的二介子湮灭，未发表。
[29] 刘连寿，$p\bar{p}$ 的超子对湮灭与 SU_3 理论，待发表。
[30] 马中骐、刘连寿、陈激，$S\tilde{U}(12)$ 理论里粒子的填充和強衰变问题，待发表。
[31] 陈　激，$p+\bar{p}\to Y^{*\pm}+\bar{Y}^{*\mp}$ 过程和 SU_3 理论，待发表。
[32] 陈启洲，物理学报，**20**，1292 (1964)。
[33] 陈启洲、胡宁，物理学报，**20**，374 (1964)。
[34] 坂田昌一，*Prog. Theor. Phys.*, **16**, 686 (1956).
[35] Gell-Mann M., *Phys. Rev.*, **125**, 1067 (1962).
[36] Ne'eman Y., *Nucl. Phys.*, **26**, 222 (1961).
[37] Okubo S., *Prog. Theor. Phys.*, **27**, 949 (1962).
[38] Gürsy and Radicati, *Phys. Rev. Letters*, **13**, 173 (1964).
[39] Bég, Pais, *Phys. Rev.*, **137B**, 1514 (1965); *Phys. Rev. Letters*, **13**, 299 (1964); *Phys. Rev. Letters*, **14**, 267, 509 (1965).
[40] Gupta, Singh, *Phys. Rev.* **135B**, 1442 (1964).
[41] Ferrari, Konuma, *Phys. Rev. Letters*, **14**, 378 (1965).
[42] Cabbibo N., *Phys. Rev. Letters*, **10**, 531 (1963).
[43] Pais, A., *Phys. Rev. Letters*, **13**, 175 (1964).
[44] Dothan et al., *Phys. Letters*, **1**, 308 (1962).
[45] Tanaka K., *Phys. Rev.*, 135 B, 1186 (1964).
[46] Gell-Mann M., *Phys. Letters*, **8**, 214 (1964).
[47] Gürsy. Pais. Radicati, *Phys. Rev. Letters*, **13**, 299 (1964).
[48] Lee W., *Phys. Rev. Letters*, **12**, 83 (1964).
[49] Salam, Delbourgo and Thrathlee, *Proc. Roy. Soc.*, A **284**, 146 (1965).
[50] Sakita and Wali, *Phys. Rev. Letters*, **14**, 404 (1965).
[51] Glashow & Rosenfeld, *Phys. Rev. Letters*, **10**, 192 (1963).
[52] Gaurdin & Salin, *Nuovo Cimento*, **27**, 309 (1963).