第21卷 第5期 物 理 学 报 Vol. 21, No. 5
1965 年 5 月 ACTA PHYSICA SINICA May, 1965

C_2 羣和弱相互作用对称性*

楊 国 楨
(北京大学物理系)

Cabibbo[1] 从几个合理的假定出发，討論了弱相互作用重子流么正（SU_3）对称性，預言了 $\Delta S = \Delta Q$ 奇异粒子輕子衰变的分支比，与实驗符合得較好．在此基础上，d'Espagnat[2] 进一步考虑了重子流、中間玻色子和弱相互作用拉氏算符的么正对称性，提出了一个值得注意的理論方案，定性地討論了弱相互作用的主要特点：解释了 $\Delta S \neq 2$ 和 $|\Delta I| = 1/2$ 非輕子衰变的选择定則；$\Delta S = \Delta Q$ 和 $\Delta S = 0$ 輕子衰变的結果估計与 Cabibbo 的結果[1]相仿(尙未看到詳細报导)．

本文的目的是用 d'Espagnat 的方法[2]（簡称 SU_3 羣方案），討論 C_2 羣弱相互作用对称性．这种方法的要点是：(1) 基本粒子属于对称羣的某一不可約表示（簡称表示），因而，弱相互作用的流算符 $\bar{A}B$ 也属于对称羣的某一表示，它由粒子对应的場量 $\bar{A}$ 和 B 的直乘决定．(2)假定弱相互作用通过中間玻色子作为媒介，把中間玻色子納入对称羣的某一表示．(3)因此，相互作用拉氏算符

$$L = (\bar{A}B)W \tag{1}$$

也属于对称羣的某一表示（电荷守恆要求它是这一表示的中性分量），从而給出了弱相互作用的选择定則．

把 d'Espagnat 的方法[2]应用到 C_2 羣．实驗显示奇异粒子非輕子衰变存在 $\Delta S \neq 2$ 和 $|\Delta I| = 1/2$ 选择定則．那么，满足上述要求的拉氏算符 L 应属于几維表示呢？假如 L 属于 4 維表示，非輕子衰变矩陣元 $(L \times L^+)$ 就含有 1, 5 和 10 維表示(因 $4 \times 4^* = 1 + 5 + 10$)．在这三种表示中，有 $\Delta S = 1$, $|\Delta I| = 1/2$ 的中性分量，但沒有 $\Delta S > 1$ 和 $\Delta I > 1/2$ 的中性分量，因而能給出实驗要求的 $\Delta S \neq 2$ 和 $|\Delta I| = 1/2$ 的选择定則．进一步，假如 L 按照 5 維或更高維表示变化，在 5×5 或两个更高維表示直乘分解成不可約表示的直和中，将出現 $\Delta S > 1$ 和 $|\Delta I| > 1/2$ 的中性分量，这将导致 $\Delta S = 2$ 的非輕子衰变过程．因此，L 只能属于 4 維表示．

和 SU_3 羣方案一样，为了保証表示基矢对应的电荷是整数，L 不是按照 C_2 羣的 4 維表示变化，而是按照 $C_2 \times U_1$ 羣的 4 維表示变化．这里 U_1 羣是一維么正羣，其表示基矢以 K 量子数标記，表征 C_2 羣不可約表示的权图沿超荷 Y 方向平移的距离．下面的討論都建立在 $C_2 \times U_1$ 羣基础上，所用到的 4 和 4* 維表示的 K 量子数分别是 $K = +1$ 和 $K = -1$，而 1, 5 和 10 維表示的 K 量子数为 $K = 0$．

矢量流守恆要求弱流的矢量部分属于 10 維（正規）表示，因此至少有属于 10 維表示的弱流存在．L 属于 4 維表示，$\bar{A}B$ 属于 10 維表示，式(1)規定了中間玻色子 W 只能属

* 1964年6月6日收到.

于 4，16 或 20 維表示，加上它們的复共軛 4^*，16^* 或 20^* 維表示(中間玻色子場是复場)，故存在 8 个、32个和40个三种中間玻色子模型. 后两种模型引入的中間玻色子数目太多了，这里不准备討論. 在 C_2 羣方案中，我們就采用 8 个中間玻色子模型，把中間玻色子及其反粒子分别填在 4 維 ($K=1$) 和 4^* 維 ($K=-1$) 表示.

为了滿足非輕子衰变 $\Delta S \neq 2$ 和 $|\Delta I|=1/2$ 的选择定則，L 必須属于 4 維表示，W 也属于 4 維表示，那么，弱流 ($\bar{A}B$) 除 10 維表示外还可能属于哪几个表示呢？由于 $4 \times 4^* = 1 + 5 + 10$，重子流可能属于 1，5 和 10 維三种表示，但属于 1 維表示的弱流对輕子衰变过程无影响.

綜上所述，在 C_2 羣方案中，L 属于 $C_2 \times U_1$ 羣的 4 維表示，W 属于 4 維表示，($\bar{A}B$) 属于 1，5 和 10 維表示. 利用 C_2 羣不可約表示直乘分解的約化系数[3]，不难得到相互作用拉氏算符的具体形式:

$$\mathscr{L} = L + L^+,$$
$$L = k\left(L_{\Delta S=0} + L'_{\Delta S=0} + L''_{\Delta S=0}\right) + \left(L_{\Delta S=1} + L'_{\Delta S=1} + L''_{\Delta S=1}\right), \tag{2}$$

这里

$$L_{\Delta S=0} = g\left(\sqrt{\frac{2}{5}}\, W_2^+ J_{-2,0} - \sqrt{\frac{1}{5}}\, W_0^0 J'_{0,0} - \sqrt{\frac{1}{5}}\, W_1^0 J_{-1,\frac{1}{2}} + \sqrt{\frac{1}{5}}\, W_1^+ J_{-1,-\frac{1}{2}}\right)$$

和

$$L_{\Delta S=1} = g\left(-\sqrt{\frac{1}{5}}\, W_0^0 J_{1,-\frac{1}{2}} + \sqrt{\frac{1}{5}}\, W_2^+ J_{-1,-\frac{1}{2}} + \sqrt{\frac{2}{5}}\, W_1^+ J_{0,-1} - \sqrt{\frac{1}{5}}\, W_1^0 J_{0,0}\right), \tag{3}$$

相应于 10 維表示弱流的貢献；

$$L'_{\Delta S=0} = f\left(\sqrt{\frac{1}{5}}\, W_0^0 j_{0,0} - \sqrt{\frac{2}{5}}\, W_1^0 j_{-1,\frac{1}{2}} + \sqrt{\frac{2}{5}}\, W_1^+ j_{-1,-\frac{1}{2}}\right)$$

和

$$L'_{\Delta S=1} = f\left(-\sqrt{\frac{1}{5}}\, W_1^0 j_{0,0} + \sqrt{\frac{2}{5}}\, W_0^0 j_{1,-\frac{1}{2}} - \sqrt{\frac{2}{5}}\, W_2^+ j_{-1,-\frac{1}{2}}\right), \tag{4}$$

相应于 5 維表示弱流的貢献；

$$L''_{\Delta S=0} = h\, W_0^0 \mathscr{I}_{00}$$

和

$$L''_{\Delta S=1} = h\, W_1^0 \mathscr{I}_{00}, \tag{5}$$

相应于 1 維表示弱流的貢献. 式(3)—(5)中，中間玻色子 W_Y^Q 的上下附标 Q 和 Y 是电荷和超荷；弱流 J_{S,I_3}，j_{S,I_3} 和 $\mathscr{I}_{S,I_3}$ 分别属于 10 維、5 維和 1 維表示，附标 S 和 I_3 表示 ΔS 和 ΔI_3，它們可以从两个 10 維表示直乘分解的約化系数得到[3]；g，f 和 h 由耦合常数和 Dirac 矩陣組成，在矢量-贋矢量耦合的情况下，

$$\left.\begin{aligned} g &\to g'\gamma_\mu(1+\alpha\gamma_5), \\ f &\to f'\gamma_\mu(1+\beta\gamma_5), \\ h &\to h'\gamma_\mu(1+\gamma\gamma_5). \end{aligned}\right\} \tag{6}$$

以式(6)代入式(2)—(5)，重新安排旋量場算符和 Dirac 矩陣的次序，写成 $\bar{A}\gamma B$ 的形式，就得到了弱流和中間玻色子相互作用拉氏算符的具体形式.

和通常一样，我們取輕子和中間玻色子耦合的相互作用拉氏算符为

$$\mathscr{L}_l = \frac{g}{\sqrt{15}} \bar{l} \gamma_\mu (1 + \gamma_5) \nu_l (W^+_{1,\mu} + W^+_{2,\mu}) + \text{h.c.}, \tag{7}$$

这里 l 代表輕子 μ 和 e. 矢量流守恆要求中子 β 衰变耦合常数与 μ 衰变耦合常数相等. 从(3)式得到 $\bar{p}n$ 与中間玻色子的耦合常数等于 $\frac{g}{\sqrt{15}}$, 因此,式(7)中輕子流与中間玻色子耦合常数也等于 $\frac{g}{\sqrt{15}}$.

利用式(2)—(5)和(7)給出的相互作用拉氏算符, 在矢量流守恆的假定下, 我們計算了 $\Delta S = \Delta Q$ 和 $\Delta S = 0$ 的輕子衰变,主要結果列举如下:

(1) 8 个中間玻色子的 C_2 羣方案, 給出了 $\Delta S \fallingdotseq 2$ 和 $|\Delta I| = 1/2$ 非輕子衰变选择定則; $\Delta S = 0$ 輕子衰变的結果和矢量流守恆假設的預言一致; $\Delta S = \Delta Q$ 奇异粒子輕子衰变的理論結果与現今的实驗材料不矛盾; 可以說明 Fermi 型作用中 β 衰变和 μ 介子衰变耦合常数微小的差別和 $\Delta S = 2$ 輕子型衰变几率小的現象. 具体結果和 Cabibbo 的工作[1]頗为一致.

(2) 8 个中間玻色子的 C_2 羣方案的弱流只能属于 1, 5 和 10 維表示,排除了 $\Delta S = -\Delta Q$ 和 $|\Delta I| = 3/2$ 弱流的存在. 由于 $\Delta S = -\Delta Q$ 輕子衰变实驗数据变化較大,是否存在 $\Delta S = -\Delta Q$ 过程还有待于最后肯定[4],所以目前要得出結論是困难的.

(3) 在 C_2 羣方案給出的属于 1, 5 和 10 維表示的弱流中,不存在弱流 $(\bar{\Lambda}\Sigma)$. 但是,实驗上已經观察到 $\Sigma^- \to \Lambda e^- \bar{\nu}$ 衰变过程. 为了定性地解释上述現象,需要在原来 C_2 羣理論方案基础上,額外引入 C_2 羣对称性破坏的強作用重正化效果,这不能不認为是 C_2 羣方案的一个缺点.

假使不采用 8 个中間玻色子的 C_2 羣方案,而采用 32 个或 40 个中間玻色子的 C_2 羣方案(中間玻色子分別填在 C_2 羣的 16 和 16* 維,以及 20 和 20* 維表示). 要 L 属于 4 維表示,弱流可以属于 35 維表示,因而能引入 $\Delta S = -\Delta Q$ 和 $|\Delta I| = 3/2$ 的弱流(今后的实驗証实它們存在的話), 并且能包含 $(\bar{\Lambda}\Sigma)$ 弱流. 不过这些方案引入的中間玻色子的数目太多了,是不能令人滿意的.

作者深切地感謝导师胡宁教授对本工作的指导, 并对关洪同志和宋行长同志許多有益的討論表示謝忱.

参 考 文 献

[1] Cabibbo, N., *Phys. Rev. Letters*, **10** (1963), 531.
[2] d'Espagnat, B., *Phys. Letters*, **7** (1963), 209.
[3] 楊国楨、孙洪洲、关 洪、韩其智,北京大学学报自然科学版, **10** (1964), 269.
[4] Nauenberg, U., et al., *Phys. Rev. Letters*, **12** (1964), 679.