

中性介子的混合问题

张本良
(四川师范学院)

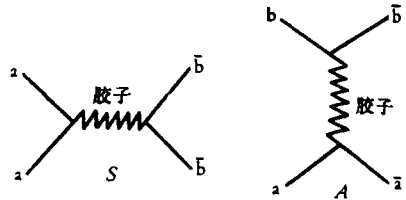
摘 要

采用 Morpurgo 关于正、反层子间存在两种相互作用势的简化假设后, 本文将 Isgure 考虑过的 0^{-+} , 1^{-} , 2^{++} 两个中性介子混合问题扩充到 $SU(4)$ 范围三个中性介子的混合. 经计算表明, 特别对于 1^{-} 介子, 在质量谱与衰变行为两方面都与实验较为符合.

关于中性介子的混合问题近几年来曾有不少人研究过. 但由于对混合的机制还不清楚, 因此在理论计算上存在参数过多的困难, 同时又很难使计算结果在质量关系及衰变行为上同时都与实验符合^[1]. 故此问题尚待进一步探讨.

为了避免在构成中性介子的质量平方矩阵中引入过多的参数, 采用 Morpurgo^[2] 作出的下述假定: 层子-反层子间的相互作用势是如下图所示“散射势”与“湮灭势”二部分之和. 且假定对所有 u, d, s, c 层子, $a\bar{b}$ 态与 $\bar{a}b$ 态之间的“散射势”矩阵元 S 均相同 (a, b 可为相同或不相同层子), $a\bar{a}$ 态与 $b\bar{b}$ 态之间的“湮灭势”矩阵元 A 亦均相同. 由此可得如下以

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(u\bar{u} + d\bar{d}), s\bar{s}, c\bar{c}$$



为基的中性混合介子质量平方矩阵:

$$M^2 = \begin{vmatrix} (m_u + m_d)^2 + S + 2A & \sqrt{2} A & \sqrt{2} A \\ \sqrt{2} A & (2m_s)^2 + S + A & A \\ \sqrt{2} A & A & (2m_c)^2 + S + A \end{vmatrix}, \quad (1)$$

式中 S, A 为待定参量, 对于具有不同 J^{PC} 的介子, 取值不同.

下面我们采取 Isgure^[3] 确定参量 S, A 值的方法. 他首先分别对 $0^{-+}, 1^{-}, 2^{++}$ 中同位旋为 1 及 1/2 的介子用下述质量平方关系式

$$\begin{aligned} M^2(I=1, I_3=\pm 1) &= (m_u + m_d)^2 + S, \\ M^2\left(I=\frac{1}{2}, I_3=\pm \frac{1}{2}\right) &= (m_s + m_d)^2 + S \end{aligned} \quad (2)$$

确定 S 的值 S_P, S_V, S_T . 而后在将以 $u\bar{u}, d\bar{d}, s\bar{s}$ 为基的, 中性混合介子的质量平方矩阵对

角化中,确定对应的 A 值 A_P, A_V, A_T . 他的关于质量谱及混合角的计算结果与实验符合得甚好. 但他当时只考虑了 $\eta-\eta', \omega-\phi, f-f'$ 二个中性介子的混合,没有考虑 $c\bar{c}$.

我们在(1)式中包含了 $c\bar{c}$ 态的基,也就考虑到在 $SU(4)$ 范围内,可以存在三个 J^{PC} 相同的, I, Y, S 均为 0 的中性介子进行混合. 以 1^{--} 介子为例. 在利用 (2) 式确定参数 S_V 值后,我们选定 A_V 值,使 (1) 式在对角化后的三个本征值对应进行混合的 $\omega, \phi, J/\psi$ 的质量的平方. 而对应的三个本征矢量也就给出它们所含 $\frac{1}{2}(u\bar{u} + d\bar{d}), s\bar{s}, c\bar{c}$ 的成分. 在(1)中作为参数的层子质量,我们取

$$m_u = m_d = 0.34 \text{ GeV}, \quad m_s = 0.48 \text{ GeV}, \quad m_c = 1.55 \text{ GeV}.$$

它们是 Ong^[4] 为符合轻子衰变实验而确定的值. 现将关于质量谱的计算结果列于表 1.

表 1 $0^{-+}, 1^{--}, 1^{++}, 2^{++}$ 介子质量谱 (GeV) 理论与实验值比较

0^{-+} $S_P = -0.43$ $A_P = 0.27$	实验	$\pi(0.14)$	$K(0.49)$	$\eta(0.548)$	$\eta'(0.958)$	$\eta_c(2.983)^{1)}$
	理论	0.14	0.49	0.521	1.018	3.078
1^{--} $S_V = 0.141$ $A_V = 0.001$	实验	$\rho(0.77)$	$K^*(0.89)$	$\omega(0.783)$	$\phi(1.02)$	$J/\psi(3.10)$
	理论	0.77	0.90	0.778	1.031	3.122
1^{++} $S_{V'} = 0.71$ $A_{V'} = 0.20$	实验	$A_1(1.10)$	$Q_c(1.18)^{2)}$	$D(1.285)$	$E(1.42)$	$X(3.150)^{3)}$
	理论	1.106	1.19	1.20	1.432	3.25
2^{++} $S_T = 1.31$ $A_T = -0.06$	实验	$A_2(1.31)$	$K^*(1.43)$	$f(1.27)$	$f'(1.515)$	$X(3.55)^{4)}$
	理论	1.32	1.41	1.28	1.478	3.30

1) 见“高能物理”1980年1期31页关于1979年尔文(Irvine)基本粒子会议的报道.

2) $Q_c(1.18)$ 系 1^{++} 中 $I = \frac{1}{2}$ 的粒子,此处未列入可能与 1^{++} 的 Q_c 进行混合的 $Q_c(1280)^{[5]}$.

3) 按 Feldman (1977) 的分析 $X(3510)$ 的 J^{PC} 倾向于为 $1^{++[6]}$.

4) $X(3555)$ 的 J^{PC} 倾向于为 $2^{++[6]}$.

为了与衰变实验进行比较,在表 2 中列出了我们计算的成分值以及 Boal 等^[7]为符合 $0^{-+}, 1^{--}$ 的中性介子衰变实验而确定的成分值(这里是根据他所确定的三个混合角及该文(4)、(5)、(6)式算出的.表中用“()”列出).表 2 中同时以“[]”列出 Rosenzweig^[8]为符合衰变实验用其他的方法确定的这些介子的微量成分值.由表 2 可见,在微量成分上各人的结果差别较大.

在 $SU(3)$ 框架内, 2^{++} 的 $f-f'$ 混合角 θ_T 由下式定义

$$f' = \cos\theta_T f_8 - \sin\theta_T f_0, \quad f = \sin\theta_T f_8 + \cos\theta_T f_0. \quad (3)$$

对于 $2^{++} \rightarrow 0^{-+}$ 衰变,考虑到 $SU(3)$ 对称性及 OZI 法则的破坏,有下列关系式^[9]

$$R_1 = \frac{\Gamma(f \rightarrow k\bar{k})}{\Gamma(f \rightarrow \pi\pi)} = \frac{1}{3} [1 + \sqrt{2} \tan(\theta_0 - \theta_T)]^2 \left(\frac{k'}{k}\right)^5, \quad (4)$$

$$R_2 = \frac{\Gamma(f' \rightarrow k\bar{k})}{\Gamma(f' \rightarrow \pi\pi)} = \frac{1}{3} [\sqrt{2} - \tan(\theta_0 - \theta_T)]^2 \left(\frac{m_l}{m_{l'}}\right)^2 \left(\frac{k'}{k}\right)^5, \quad (5)$$

$$R_3 = \frac{\Gamma(f \rightarrow k\bar{k})}{\Gamma(A_2 \rightarrow k\bar{k})} = [\cos(\theta_0 - \theta_T) + \sqrt{2} \sin(\theta_0 - \theta_T)]^2 \left(\frac{m_{A_2}}{m_f}\right)^2 \left(\frac{k'}{k}\right)^5. \quad (6)$$

由表 3 可见, R_1 的计算结果与实验值符合得较差, 而 R_3 的计算值则符合得好些.

表 2 $0^{-+}, 1^{-}, 2^{++}$ 中性混合介子的成分表

		$\frac{1}{\sqrt{2}}(u\bar{u} + d\bar{d})$	$s\bar{s}$	$c\bar{c}$
0^{-+}	η	-0.7927 (-0.7460)	0.6094 (0.6659)	0.0151 (0.00102) [0.02]
	η'	0.6082 (0.6659)	0.7920 (0.7460)	0.035 (0.0023) [0.055]
	η_c	0.0442 (-0.000818) [0.005]	0.0328 (-0.0024) [0.005]	0.9984 (1.000)
1^{-}	ω	0.9996 (0.9994)	-0.0275 (-0.0355)	-0.000758 (-0.000115) [0.0045]
	ϕ	0.0286 (0.0354)	0.9996 (0.9993)	-0.000598 (0.0000557) [0.0025]
	J/ψ	0.000774 (0.000141) [0.00015]	0.000576 (0.0000368) [0.00015]	1.000 (0.99936)
2^{++}	f	0.9873	0.1580	0.0101
	f'	-0.1581	0.9873	0.0053
	$X(3555)$	-0.0093	-0.0068	1.000

表 3

	R_1	R_2	R_3
$\theta_T = 26.148^\circ$	0.0527	0.246	1.02
$\theta_T = 31^\circ(\text{Okubo}^{(9)})$	0.043	0.282	0.864
实验值	0.033 ± 0.008	0.274 ± 0.097	1.014 ± 0.490

综上所述, 在质量谱方面, 对于 $0^{-+}, 1^{-}, 1^{++}, 2^{++}$ 介子, 我们总共只用了 13 个参数 (包括 3 个层子质量及 8 个 S, A 值) 算出了 20 个基态粒子质量. 除了 $X(3510), X(3555)$ 外, 都符合得较好. 在衰变方面, $0^{-+}, 1^{-}$ 中性介子的层子大含量成分与由衰变实验得出的值符合得较好, 而微小含量成分则符合得差些. 又从质量谱与衰变行为两方面总起来看, 1^{-} 符合得好些. 这是由于 $\omega, \phi, J/\psi$ 三个实际粒子接近于纯的 $\frac{1}{\sqrt{2}}(u\bar{u} + d\bar{d})$, $s\bar{s}$,

$c\bar{c}$ 态, 因而可能较接近于 Morpurgo 的简化模型. 这也可说明他的假定与实际情况有一定程度的吻合.

本工作曾得郑希特,高崇寿,赵尚勃等同志的有益帮助.

参 考 文 献

- [1] 高崇寿,高能物理与核物理,2(1979),152.
- [2] G. Morpurgo, New Phenomena in Subnuclear Physics B, edited by Zichichi, (1977), p. 803.
- [3] N. Isgure, *Phys. Rev.*, **D13** (1976), 122.
- [4] C. L. Ong, *Phys. Rev.*, **D16** (1977), 835.
- [5] D. D. Brayshaw, *Phys. Rev. Lett.*, **42** (1979), 1106.
- [6] Particle Data Group, *Phys. Lett.*, **75B** (1978), 125.
- [7] D. H. Boal et al., *Phys. Rev.*, **D15** (1977), 327.
- [8] C. Rosenzweig, *Phys. Rev.*, **D13** (1976), 3080.
- [9] S. Okubo, *Suppl. Prog. Theor. Phys.*, **63** (1978), 18.

ON THE PROBLEM OF MIXING OF NEUTRAL MESONS

ZHANG BEN-LIANG

(*Szechuan Teacher's College*)

ABSTRACT

After simplifying the two types of Morpurgo's quark-antiquark interaction potential, in the framework of $SU(4)$, the three neutral mesons of 0^{-+} , 1^{-} , 1^{+-} , 2^{++} , whose charges, strangeness and isospins are all null, are mixed.

The mass spectrum for the quark-antiquark constituents of the mixing mesons are calculated and compared with experiments.