

J/ψ 衰变中赝标量介子混合的研究*

房双世¹ 祝玉灿¹ 鲁公儒²

1 (中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

2 (河南师范大学 新乡 453002)

摘要 利用 PDG-2000 公布的 $J/\psi \rightarrow VP, \gamma P$ 各个衰变道分支比的世界平均值, 对赝标量介子混合重新做了分析. 如果 η 和 η' 中不含有胶子成分, 则得到它们的混合角 $\theta_p = (-19.18 \pm 0.91)^\circ$. 对 J/ψ 衰变中 DOZI 的贡献、 $SU(3)$ 破坏以及矢量介子的混合也做了讨论和分析.

关键词 混合角 $SU(3)$ 破坏 J/ψ 衰变

1 引言

夸克模型预言所有的介子都是由一个夸克和一个反夸克组成, 对于由 u, d 和 s 3 种轻夸克组成的赝标量介子, 根据 $SU(3)$ 群理论, 9 个赝标量介子可以约化为八重态和单态之和. 但是实验上观测到的并不是 $SU(3)$ 本征态, 而是它们的混合. 自 Isgur^[1] 首先利用质量公式估算出 η 和 η' 的混合角 $\theta_p \approx -10^\circ$, 迄今已经有近三十年的历史, 理论和实验上都对 η 和 η' 的混合问题作了大量的研究^[2-4].

目前, η 和 η' 是否与其他赝标量粒子混合, 尤其是它们与胶球是否混合, 是混合问题倍受关注之所在. 在理论上, 如果 $SU(3)$ 严格对称, 那么只有 η' 中才可能含有胶子成分. 否则, η 和 η' 中都可能含有胶子成分.

$J/\psi \rightarrow VP$ (V, P 分别代表矢量介子和赝标量介子) 和 $J/\psi \rightarrow \gamma P$ 共有 14 个衰变道, 并且包括了所有九重态赝标量和矢量介子. 理论研究表明 J/ψ 衰变是寻找胶球的重要领域, 而且胶球可能会和带相同量子数的介子混合. 因此, 赝标量介子混合的研究对确认胶球存在与否也有重要的意义. 本文利用现有的实验结果讨论了 $J/\psi \rightarrow VP, \gamma P$ 中 $SU(3)$ 破坏、DOZI 的贡献以及 η 和 η' 内含有胶子成分的可能性.

如果仅考虑 η 和 η' 中的夸克成分, 它们的混合

可以写成如下形式:

$$\begin{pmatrix} \eta \\ \eta' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta_p & -\sin\theta_p \\ \sin\theta_p & \cos\theta_p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \eta_8 \\ \eta_0 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

上式中 θ_p 为 $\eta - \eta'$ 的混合角. η_8 和 η_0 分别是 $SU(3)$ 八重态和单态, 它们的夸克组成为: $\eta_8 = \frac{1}{\sqrt{6}}|uu + dd - 2s\bar{s}\rangle$, $\eta_0 = \frac{1}{\sqrt{3}}|uu + dd + s\bar{s}\rangle$. 为计算方便, 常把 η 和 η' 的夸克成分写成奇异和非奇异两部分:

$$\begin{pmatrix} \eta \\ \eta' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_\eta & Y_\eta \\ X_{\eta'} & Y_{\eta'} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N \\ S \end{pmatrix}, \quad (2)$$

其中 $N = \frac{1}{\sqrt{2}}|u\bar{u} + d\bar{d}\rangle$, $S = |s\bar{s}\rangle$. (1) 和 (2) 式之间存在如下关系:

$$X_\eta = Y_{\eta'} = \sqrt{\frac{1}{3}}\cos\theta_p - \sqrt{\frac{2}{3}}\sin\theta_p = \cos\phi_p, \quad (3)$$

$$X_{\eta'} = -Y_\eta = \sqrt{\frac{1}{3}}\sin\theta_p + \sqrt{\frac{2}{3}}\cos\theta_p = \sin\phi_p, \quad (4)$$

其中 $\phi_p = \theta_p + 54.7^\circ$. 当考虑 η 和 η' 与另外一个赝标量粒子 X 混合时, η, η' 和 X 的组成成分可写成如下形式

$$\begin{pmatrix} \eta \\ \eta' \\ X \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_\eta & Y_\eta & Z_\eta \\ X_{\eta'} & Y_{\eta'} & Z_{\eta'} \\ X_X & Y_X & Z_X \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N \\ S \\ G \end{pmatrix}, \quad (5)$$

2002-08-15 收稿, 2003-02-11 收修改稿

* 国家自然科学基金(19991482)和中国科学院重大项目基金(KJ95T-03)资助

(5)式中的 X 代表一个赝标量粒子, G 代表胶子成分. η, η' 和 X 之间的混合也可以用欧拉矩阵 M 的 θ_1, θ_2 和 θ_3 3 个角度表示如下

$$\begin{pmatrix} \eta \\ \eta' \\ X \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} \eta_8 \\ \eta_0 \\ \eta_X \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \eta_8 \\ \eta_0 \\ \eta_X \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$$M = \begin{pmatrix} C_1 C_2 & -C_1 S_2 S_3 - S_1 C_3 & -C_1 S_2 C_3 + S_1 S_3 \\ S_1 C_2 & -S_1 S_2 S_3 + C_1 C_2 & -S_1 S_2 C_3 - C_1 S_3 \\ S_2 & C_2 S_3 & C_2 C_3 \end{pmatrix}.$$

在矩阵 M 中, $C_i \equiv \cos \theta_i, S_i \equiv \sin \theta_i (i = 1, 2, 3)$. 当 θ_2, θ_3 等于零时, 赝标量粒子 X 和 $\eta(\eta')$ 没有混合, η 和 η' 的混合可以用(1)式表示, θ_1 即为混合角 θ_p . X_j, Y_j 和 $Z_j (j = 1, 2, 3)$ 分别代表 η, η' 和 X 与矩阵 M 的矩阵元有如下关系

$$X_j = \sqrt{\frac{2}{3}} \left(A_{j2} + \frac{A_{j1}}{\sqrt{2}} \right);$$

$$Y_j = \sqrt{\frac{1}{3}} (A_{j2} - \sqrt{2} A_{j1});$$

$$Z_j = A_{j3}.$$

2 $J/\psi \rightarrow VP$ 的有效拉氏量和衰变振幅

目前, 在理论上对 J/ψ 衰变主要处于唯象研究, 根据 $SU(3)$ 对称性和其他物理学中的守恒定律, 并考虑到 $SU(3)$ 破坏, $J/\psi \rightarrow VP$ 的有效拉氏量为^[5]

$$L_{int} = \underbrace{g_8 \delta^{ab} O_1^a O_2^b + g_1 S_1 S_2 + g_{M,88} d_{ab8} O_1^a O_2^b + \sqrt{\frac{2}{3}} (g_{M,81} O_1^8 S_2 + g_{M,18} O_2^8 S_1)}_I$$

$$+ \underbrace{g_{E,88} \left(d_{ab3} + \frac{d_{ab8}}{\sqrt{3}} \right) O_1^a O_2^b + \sqrt{\frac{2}{3}} [g_{E,81} \left(O_1^3 + \frac{O_1^8}{\sqrt{3}} \right) S_2 + g_{E,18} \left(O_2^3 + \frac{O_2^8}{\sqrt{3}} \right) S_1]}_{II} \quad (8)$$

其中 I 为强作用过程; II 是质量效应造成的 $SU(3)$ 破坏; III 是电磁作用过程. $O_{1(2)}$ 和 $S_{1(2)}$ 分别表示赝标量(矢量)介子八重态和单态. g_8 和 g_1 都是强相互作用常数, g_M 和 g_E 分别是反映质量效应和电荷对 $SU(3)$ 破坏大小的常数, d_{ab8} 是 $SU(3)$ 对称结构常数. 对(8)式参数化^[6]后, 即可得到 $J/\psi \rightarrow VP$ 的衰变振幅(见表 1). g 和 e 分别是强作用和电磁作用耦合常数, r 表示 DOZI 过程相对于 SOZI 过程在 $J/\psi \rightarrow VP$ 中的贡献, s 表示 SOZI 过程中质量效应对 $SU(3)$ 破坏, S_p 和 S_v 分别表示 DOZI 过程中赝标量和矢量介子中质量效应对 $SU(3)$ 破坏的贡献. 在表 1 中, $C_{\phi_v} \equiv \cos \phi_v, S_{\phi_v} \equiv \sin \phi_v, \phi_v$ 是和矢量介子混合有关的角度, 如果矢量介子是理想混合, 则 $\phi_v = 0$. S_E 表示电磁过程中质量效应造成的 $SU(3)$ 破坏, $S_E = 1 - s_E \approx \frac{m_u}{m_s}$.

3 $J/\psi \rightarrow \gamma P$ 的有效拉氏量和衰变振幅

对于 $J/\psi \rightarrow \gamma P$, 有效拉氏量为^[7]

$$L_{int} = d \text{Tr}([s_p][P]) + \frac{f}{2} \text{Tr}([s_v][[s_E], [P]]). \quad (9)$$

其中 d 和 f 为电磁作用过程耦合常数, $[P]$ 是夸克模型中赝标量介子的九重态矩阵. $[s_v], [s_p]$ 和

表 1 $J/\psi \rightarrow VP$ 的衰变振幅

末态粒子	g	e	rg
$\rho\pi$	1	1	0
$K^+ K^- (c.c.)$	$1 - s$	$2 - S_E$	0
$K^+ K^0 (c.c.)$	$1 - s$	$-(1 + S_E)$	0
$\omega\eta$	$C_{\phi_v} X_\eta - S_{\phi_v} Y_\eta (1 - 2s)$	$C_{\phi_v} X_\eta + 2S_{\phi_v} Y_\eta S_E$	$(\sqrt{2} X_\eta + S_p Y_\eta) (\sqrt{2} C_{\phi_v} - S_v S_{\phi_v})$
$\omega\eta'$	$C_{\phi_v} Y_{\eta'} - S_{\phi_v} Y_{\eta'} (1 - 2s)$	$C_{\phi_v} X_{\eta'} + 2S_{\phi_v} Y_{\eta'} S_E$	$(\sqrt{2} X_{\eta'} + S_p Y_{\eta'}) (\sqrt{2} C_{\phi_v} - S_v S_{\phi_v})$
$\phi\eta$	$S_{\phi_v} X_\eta + C_{\phi_v} Y_\eta (1 - 2s)$	$S_{\phi_v} X_\eta - 2C_{\phi_v} Y_\eta S_E$	$(\sqrt{2} X_\eta + S_p Y_\eta) (\sqrt{2} S_{\phi_v} + S_v C_{\phi_v})$
$\phi\eta'$	$S_{\phi_v} X_{\eta'} + C_{\phi_v} Y_{\eta'} (1 - 2s)$	$S_{\phi_v} X_{\eta'} - 2C_{\phi_v} Y_{\eta'} S_E$	$(\sqrt{2} X_{\eta'} + S_p Y_{\eta'}) (\sqrt{2} S_{\phi_v} + S_v C_{\phi_v})$
$\rho\eta$	0	$3X_\eta$	0
$\rho\eta'$	0	$3X_{\eta'}$	0
$\omega\pi^0$	0	$3C_{\phi_v}$	0
$\phi\pi^0$	0	$3S_{\phi_v}$	0

[s_E]的定义如下:

$$[s_V] = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & S_V \end{pmatrix},$$

$$[s_P] = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & S_P \end{pmatrix},$$

$$[s_E] = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -S_E \end{pmatrix}$$

上面 3 个矩阵中, S_V , S_P 和 S_E 分别是矢量介子、赝标量介子和电磁过程中由于夸克质量不同所造成的 $SU(3)$ 破坏因子. 如果没有 $SU(3)$ 破坏, 则三者都等于 1. 利用(9)式, 可以得到 $J/\psi \rightarrow \gamma P$ 的衰变振幅(见表 2).

表 2 $J/\psi \rightarrow \gamma P$ 的衰变振幅

末态粒子	d	f
$\gamma\eta'$	$\frac{2}{\sqrt{6}}X_{\eta'} + \frac{1}{\sqrt{3}}S_P Y_{\eta'}$	$\frac{1}{3}\left(\frac{2}{\sqrt{6}}X_{\eta'} - \frac{1}{\sqrt{3}}S_V S_E Y_{\eta'}\right)$
$\gamma\eta$	$\frac{2}{\sqrt{6}}X_{\eta} + \frac{1}{\sqrt{3}}S_P Y_{\eta}$	$\frac{1}{3}\left(\frac{2}{\sqrt{6}}X_{\eta} - \frac{1}{\sqrt{3}}S_V S_E Y_{\eta}\right)$
$\gamma\pi^0$	0	$\frac{1}{\sqrt{6}}$

4 拟合公式和拟合方法

根据宇称守恒定律, J/ψ 只有通过 P 波才能衰变到矢量介子(光子)和赝标量介子. 如果矢量介子(光子)在 J/ψ 质心系中动量的大小用 $p_{V(\gamma)}$ 表示, 定义约化分支比为

$$\widetilde{Br}(J/\psi \rightarrow V(\gamma) + P) = \frac{Br(J/\psi \rightarrow V(\gamma) + P)}{p_{V(\gamma)}^3}$$

表 3 $J/\psi \rightarrow VP, \gamma P$ 的分支比

末态粒子	分支比 ($\times 10^{-3}$)	末态粒子	分支比 ($\times 10^{-3}$)
$\rho\pi$	12.7 ± 0.9	$\phi\pi^0$	< 0.0068
$\rho\eta$	0.193 ± 0.023	$\phi\eta$	0.65 ± 0.07
$\rho\eta'$	0.105 ± 0.018	$\phi\eta'$	0.33 ± 0.04
$\omega\pi^0$	0.42 ± 0.06	$K^* \bar{K}^* + c.c.$	5.0 ± 0.4
$\omega\eta$	1.58 ± 0.16	$K^* \bar{K}^0 + c.c.$	4.2 ± 0.4
$\omega\eta'$	0.167 ± 0.025	$\gamma\pi^0$	0.039 ± 0.013
$\gamma\eta$	0.86 ± 0.08	$\gamma\eta'$	4.31 ± 0.30

则它们的衰变振幅 A 和相应的约化分支比有如下

关系:

$$\widetilde{Br}(J/\psi \rightarrow V(\gamma) + P) = |A|^2. \quad (11)$$

根据公式(11)和 $J/\psi \rightarrow VP, \gamma P$ 各衰变道分支比的值^[8](见表 3), 列出相应的约束方程, 然后用最小二乘法拟合, 即可得到表 1 和表 2 中各个参数的值.

5 拟合结果与分析

从表 1 和表 2 可知, 需要确定的参数很多, 加上强相互作用与电磁相互作用之间的相角 θ_F , 总共有 15 个参数, 但是只有 13 个约束方程 ($J/\psi \rightarrow \phi\pi^0$ 除外). J/ψ 衰变是 OZI ^[9] 禁戒的, $DOZI$ 的贡献较小, 为了提高 $J/\psi \rightarrow VP, \gamma P$ 中的重要参数的拟合结果的置信水平, 我们在以下的分析和讨论中, 没有考虑 $DOZI$ 过程中 S_P 和 S_V 对 $SU(3)$ 的破坏. 此外, 我们根据不同情况作了不同的假设, 对剩下的 13 个参数中相关的参数之间增加了约束条件.

$$\text{假设 I: } X_{\eta'}^2 + Y_{\eta'}^2 = X_{\eta}^2 + Y_{\eta}^2 = 1,$$

$$X_{\eta} Y_{\eta} + X_{\eta'} Y_{\eta'} = 0; \phi_V = 0.$$

根据(3)式和(4)式, 仅仅考虑 η 和 η' 混合时, $X_{\eta}, Y_{\eta}, X_{\eta'}$ 和 $Y_{\eta'}$ 4 个参数可以用混合角 θ_p 一个参数代替. ϕ_V 等于零意味着假设矢量介子是理想混合. 为了研究电磁过程中因质量效应不同造成的 $SU(3)$ 破坏的大小, 对 s_E 取不同的值分别作了拟合(还有 8 个待拟合的参数). 拟合结果表明, 除了相因子 θ_E 外, 其他参数基本上不受 s_E 的影响(见图 1), 所以认为, 在 J/ψ 衰变中, s_E 对 $SU(3)$ 的破坏可以忽略. 从图 1 可知, 当 s_E 等于零时 χ^2 最小, 拟合得到混合角 $\theta_p = (-19.18 \pm 0.91)^\circ$, 这与 Mark III^[3] 和 DM2^[4] 的结果在误差范围内符合得相当好. 其他参数的拟合结果见表 5, 其中 $X_{\eta}, Y_{\eta}, X_{\eta'}$ 和 $Y_{\eta'}$ 是根据公式(3)和公式(4)计算得到的. 在下面的分析中把 s_E 的值都固定为零, 忽略了它对拟合结果的影响.

$$\text{假设 II: } \phi_V = 0$$

不要求 $X_{\eta}, Y_{\eta}, X_{\eta'}$ 和 $Y_{\eta'}$ 满足归一和么正性条件, 把它们作为自由参数拟合, 这样就有 11 个待拟合参数. 表 5 列出了描述相互作用和 $SU(3)$ 破坏的各个参数的拟合结果, 在误差范围内与第一种情况完全一致. 另外, 对 $X_{\eta}, Y_{\eta}, X_{\eta'}$ 和 $Y_{\eta'}$ 有

$$X_{\eta}^2 + Y_{\eta}^2 = 0.91 \pm 0.27,$$

$$X_{\eta'}^2 + Y_{\eta'}^2 = 1.23 \pm 0.44,$$

$$X_\eta Y_\eta + X_{\eta'} Y_{\eta'} = 0.15 \pm 0.10 \quad (12)$$

这与 Mark III 在没有 $J/\psi \rightarrow \gamma P$ 参与拟合的情况下的结果^[3]相一致。

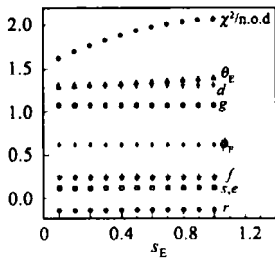


图 1 各个参数的拟合值随 s_E 的变化

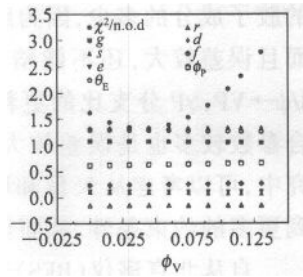


图 2 各个参数的拟合值随 ϕ_v 的变化

假设 III: $X_\eta^2 + Y_\eta^2 = X_{\eta'}^2 + Y_{\eta'}^2 = 1$; $X_\eta Y_\eta + X_{\eta'} Y_{\eta'} = 0$

与假设 I 相比,在这种情况下多了 ϕ_v 这个参数,共有 9 个参数. 为了研究矢量介子混合对赝标量介子混合的影响,对 ϕ_v 取不同的值时分别作了拟合,各个参数的拟合值基本上不随 ϕ_v 的变化而变化(见图 2)。而且, η 和 η' 的混合角 $\theta_p = (-18.29 \pm 1.14)^\circ$, 这与第一种情况的拟合结果符合得相当好,所以在不考虑 η 和 η' 中含有胶子成分时,矢量介子可以认为是理想混合. 表 5 列出了在 ϕ_v 为自由参数时的拟合结果, $\phi_v = (2.31 \pm 2.31)^\circ$, 在误差范围内,与 Branon 等人^[10]的结果一致. 根据表 1 中 $J/\psi \rightarrow \phi\pi^0$ 的衰变振幅可以预言出 $Br(J/\psi \rightarrow \phi\pi^0) = (5.41 \pm 10.82) \times 10^{-7}$.

假设 IV: $X_\eta^2 + Y_\eta^2 + Z_\eta^2 = X_{\eta'}^2 + Y_{\eta'}^2 + Z_{\eta'}^2 = 1$;
 $X_\eta Y_\eta + X_{\eta'} Y_{\eta'} + Z_\eta Z_{\eta'} = 0$; $\phi_v = 0$

为了更直观地研究赝标量介子中是否含有胶子成分,在 $J/\psi \rightarrow VP, \gamma P$ 衰变振幅中引入了胶子成分项(见表 4,参考文献[7]),同时也引入了 $Z_\eta, Z_{\eta'}$ 和 r' 3 个参数. 根据(6)式,此时 $X_\eta, X_{\eta'}, Y_\eta, Y_{\eta'}, Z_\eta$ 和 $Z_{\eta'}$ 可以用 θ_1, θ_2 和 θ_3 3 个参数描述,并假设矢量介子为理想混合,那么还有 11 个待拟合参数. 3 个角度和 r' 的拟合结果为: $\theta_1 = (-22.06 \pm 1.81)^\circ$, $\theta_2 = (16.57 \pm 6.53)^\circ$, $\theta_3 = (16.37 \pm 10.58)^\circ$, $r' = 0.02 \pm 0.03$. 其他参数的拟合结果见表 5. 根据 3 个混合角计算得到 η, η' 和赝标量粒子 X 的夸克和胶子分量为

$$X_\eta = 0.75 \pm 0.06, Y_\eta = -0.56 \pm 0.05,$$

$$Z_\eta = -0.36 \pm 0.12, X_{\eta'} = 0.54 \pm 0.05,$$

$$Y_{\eta'} = 0.82 \pm 0.04, Z_{\eta'} = -0.16 \pm 0.17,$$

$$X_\chi = 0.38 \pm 0.16, Y_\chi = -0.08 \pm 0.13,$$

$$Z_\chi = 0.92 \pm 0.06.$$

表 4 $J/\psi \rightarrow VP, \gamma P$ 衰变振幅中的胶子成分项

末态粒子	r'	末态粒子	r'
$\omega\eta$	$\sqrt{2}gZ_\eta$	$\phi\eta'$	$gS_V Z_{\eta'}$
$\omega\eta'$	$\sqrt{2}gZ_{\eta'}$	$\gamma\eta$	$\frac{d}{r}Z_\eta$
$\phi\eta$	$gS_V Z_\eta$	$\gamma\eta'$	$\frac{d}{r}Z_{\eta'}$

表 5 不同条件下各个参数的拟合结果

参数	假设 I	假设 II	假设 III	假设 IV
g	1.08 ± 0.03	1.11 ± 0.04	1.07 ± 0.03	1.11 ± 0.04
s	0.11 ± 0.03	0.13 ± 0.03	0.10 ± 0.04	0.13 ± 0.03
e	0.12 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.12 ± 0.01
r	-0.15 ± 0.01	-0.15 ± 0.02	-0.15 ± 0.01	-0.14 ± 0.02
d	1.32 ± 0.04	1.22 ± 0.14	1.32 ± 0.04	1.35 ± 0.06
f	0.24 ± 0.04	0.26 ± 0.04	0.26 ± 0.04	0.25 ± 0.04
θ_E	1.30 ± 0.17	1.29 ± 0.16	1.29 ± 0.17	1.31 ± 0.15
X_η	0.81 ± 0.01	0.79 ± 0.04	0.81 ± 0.01	0.75 ± 0.06
Y_η	-0.58 ± 0.01	-0.53 ± 0.04	-0.59 ± 0.02	-0.56 ± 0.05
Z_η	0.0(fixed)	0.0(fixed)	0.0(fixed)	-0.36 ± 0.12
$X_{\eta'}$	0.58 ± 0.01	0.62 ± 0.07	0.59 ± 0.02	0.54 ± 0.05
$Y_{\eta'}$	0.81 ± 0.01	0.92 ± 0.09	0.81 ± 0.01	0.82 ± 0.04
$Z_{\eta'}$	0.0(fixed)	0.0(fixed)	0.0(fixed)	-0.16 ± 0.17
ϕ_v	0.0(fixed)	0.0(fixed)	0.04 ± 0.04	0.0(fixed)
$\chi^2/n.o.d$	8.12/5	3.01/2	6.55/4	3.64/2

那么,根据(5)式, η, η' 和 X 可表示为

$$\begin{pmatrix} \eta \\ \eta' \\ X \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.75 & -0.56 & -0.36 \\ 0.54 & 0.82 & -0.16 \\ 0.38 & -0.08 & 0.92 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N \\ S \\ G \end{pmatrix}. \quad (14)$$

从(14)式可知,赝标量粒子 X 中绝大部分是胶子成分, s 夸克成分很少. 许多文献[11]认为 X 可能

表 6 约化分支比之间的比较

末态	约化分支比 ($\times 10^{-3}$)				
	PDG-2000	假设 I	假设 II	假设 III	假设 IV
$\rho\pi$	1.3898	1.2501	1.3203	1.2305	1.3152
$\rho\eta$	0.0706	0.0859	0.0809	0.0839	0.0722
$\rho\eta'$	0.0497	0.0437	0.0498	0.0457	0.0382
$\omega\pi^0$	0.1388	0.1296	0.1296	0.1294	0.1296
$\omega\eta$	0.5828	0.6088	0.5934	0.6252	0.5425
$\omega\eta'$	0.0798	0.0782	0.0868	0.0769	0.0739
$\phi\eta$	0.2825	0.3145	0.2628	0.2954	0.2775
$\phi\eta'$	0.1950	0.1711	0.2013	0.1796	0.1775
$K^* \rightarrow K^-$ (c.c.)	0.9650	1.0000	1.0112	1.0058	1.0067
$K^* \rightarrow \bar{K}^0$ (c.c.)	0.8144	0.8581	0.8617	0.8569	0.8707
$\gamma\pi^0$	0.0105	0.0096	0.0113	0.0113	0.0104
$\gamma\eta$	0.2547	0.2646	0.2461	0.2515	0.2537
$\gamma\eta'$	1.5695	1.5546	1.5963	1.5747	1.5779

是 $\eta(1440)$, 有待进一步探讨.

为了检验拟合结果的好坏, 把上面 4 种情况拟合的各参数输入得到的约化分支比与输入值作了比较(见表 6), 它们与用 PDG-2000 计算的约化分支比相一致.

6 总结与讨论

通过上面对不同情况下拟合结果的分析, 可得到如下结论:

a) 如果质量效应对 $SU(3)$ 没有破坏, s 的值应为零. 但是, 从表 5 可知, 质量效应在强作用中, 对 $SU(3)$ 对称性破坏的贡献约为 10%.

b) 从表 5 中对 r 的拟合结果看, DOZI 过程相对

于 SOZI 过程在 $J/\psi \rightarrow VP$ 中的贡献约为 15%.

c) 综合上面几种情况对 η 和 η' 混合的讨论, 得到赝标量介子混合角 $\theta_p \simeq -20^\circ$. 至于它们中含有的胶子成分的多少, 因为胶子成分所占的比例较小, 而且误差较大, 还不能精确测定. 这还有待于将来 $J/\psi \rightarrow VP, \gamma P$ 分支比的更精确的实验结果. 另外, 拟合参数较多也是误差较大的原因之一, 在今后的研究中, 可以考虑从矢量和赝标量介子的辐射衰变得到更多的约束条件, 从而得到更为可信的物理结果.

自从北京谱仪(BES)升级后, 在 J/ψ 能区已经获取 5800 万 J/ψ 事例, 并且开始了对数据的分析. $J/\psi \rightarrow VP, \gamma P$ 的分支比的统计误差将减少, 系统误差也将进一步改善, 这对精确测量赝标量介子混合角和研究 $SU(3)$ 破坏提供了有利的条件.

参考文献 (References)

- 1 Isgur N. Phys. Rev., 1975, **D12**:3770
- 2 Pinsky S S. Phys. Rev., 1985, **D31**:1753; Baltrusaitis R M et al. Phys. Rev., 1985, **D32**:2883; Gilman F J, Kauffman R. Phys. Rev., 1987, **D36**:2761; Kisselev A V, Petrov V A. Z. Phys., 1993, **C58**:595; Feldmann T. Int. J. Mod. Phys., 2000, **A15**:159
- 3 Coffman D et al. Phys. Rev., 1988, **D38**:2695
- 4 Jousset J et al. Phys. Rev., 1990, **D41**:1389
- 5 Haber H E, Perrier. J. Phys. Rev., 1985, **D32**:2961
- 6 Seiden A et al. Phys. Rev., 1988, **D38**:824
- 7 Morisita N, Kitamura I, Teshima T. Phys. Rev., 1991, **D44**:175
- 8 Particle Data Group. Eur. Phys. Jour., 2000, **C**:46
- 9 Okubo S. Phys. Lett., 1963, **5**:165; Zweig G. 1964(unpublished); Iizuka J. Prog. Theor. Phys. Suppl., 1966, **37**:21
- 10 Bramon A et al. Phys. Lett., 1997, **B403**:339
- 11 Kawai E. Phys. Lett., 1983, **B124**:262; Palmer W F, Pinsky S S. Phys. Rev., 1984, **D30**:1002; Bartelski J. Phys. Lett., 1992, **B289**:429

Pseudoscalar-Meson Mixing in J/ψ Decays

FANG Shuang-Shi¹ ZHU Yu-Can¹ LU Gong-Ru²

¹ (Institute of High Energy of Physics, CAS, Beijing 100039, China)

² (Henan Normal University, Xixiang 453002, China)

Abstract Based on the branching fractions of $J/\psi \rightarrow VP, \gamma P$ quoted in PDG-2000, we reexamined the quark content of pseudoscalars. If there is no gluonium content in η and η' , the mixing angle $\theta_p = (-19.18 \pm 0.91)^\circ$. We also present a discussion for DOZI contribution, $SU(3)$ breaking and scalar-meson mixing.

Key words mixing angle, $SU(3)$ breaking, J/ψ decay

Received 15 August 2002, Revised 11 February 2003

* Supported by National Natural Science Foundation of China (19991482), The Chinese Academy of Sciences (KJ 95T-03)