

## 快报

# 一个可能的新共振态—— $J/\psi \rightarrow X + f_0(975)$ 过程中玻色共振态 $X$ 的自旋-宇称分析\*

郁宏<sup>1)</sup> 沈齐兴<sup>1)</sup>

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

1994年2月4日收到

### 摘要

在  $J/\psi$  强子衰变过程中,伴随  $f_0(975)$  产生的玻色共振态  $X$ ,若衰变为一对正反赭标介子,它的自旋-宇称只能是  $J^{PC} = (\text{奇})^{--}$ . 这里给出了过程的角度分布螺旋度形式,并就如何确认  $X$  为  $1^{--}$  或  $3^{--}$  介子作了讨论. 认为北京谱仪在  $K^+K^-\pi^+\pi^-$  四叉道中见到的反冲  $f_0(975)$  的共振态  $X_1(1573)$  是一个可能的共振态.

**关键词** 共振峰, 遍举反应, 螺旋度.

Mark II<sup>[1]</sup>对  $J/\psi$  强子衰变中产生的  $S^*[f_0(975)]$  从  $\pi^+\pi^-$  衰变道作了观测. 给出了它的极点参数为  $(974 \pm 4 - i14 \pm 5)\text{MeV}$ , 单举反应  $\psi \rightarrow S^* + X$  分枝比为  $(0.42 \pm 0.08)\%$ . 现在, 已测得的遍举反应的分枝比为<sup>[2]</sup>  $\text{BR}(\psi \rightarrow \phi f_0(975)) = (3.2 \pm 0.9) \times 10^{-4}$ ,  $\text{BR}(\psi \rightarrow \omega f_0(975)) = (1.4 \pm 0.5) \times 10^{-4}$ , 与单举反应相比要小一个数量级. 这意味着可能还有相当多的遍举反应道未观测到.

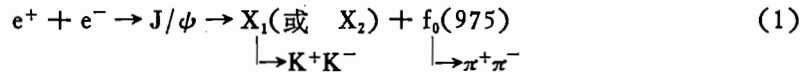
我们了解到北京谱仪(BES)在对  $9 \times 10^6 J/\psi$  事例的四叉衰变道( $K^+K^-\pi^+\pi^-$ )的分析中,发现伴随  $f_0(975) (\rightarrow \pi^+\pi^-)$ ,除  $\phi(1020)$  介子外,在  $1573\text{MeV}$  处有一个明显的共振峰  $X_1(1573)$ ,在  $1850\text{MeV}$  处有一共振峰  $X_2(1850)$ ;它们均衰变为  $K^+K^-$ <sup>[3]</sup>. 详细的实验结果不久将以 BES 合作组名义公布.

由于  $X_1$  和  $X_2$  衰变为一对正、反  $K$  介子,电荷共轭宇称守恒要求,  $X_1$  和  $X_2$  这二个共振态的  $C$  宇称为  $C = (-1)^{L+S} = (-1)^L = -$ . 其中  $S = 0$  是  $K^+K^-$  系统的总自旋,  $L = \text{奇}$  是  $K^+K^-$  系统的轨道角动量量子数. 显然,系统的总角动量量子数,亦即这二个共振态的自旋  $J = L = \text{奇}$ . 它们的空间反射宇称  $P = (-1)^L = -$ . 所以这二个共振态  $X_1$  和  $X_2$  的自旋-宇称  $J^{PC} = (\text{奇})^{--}$ , 若  $X_1$  或  $X_2$  与  $f_0(975)$  的相对轨道角动量  $L' = 0$ , 处于  $S$  波, 则  $X_1$  或  $X_2$  的  $J^{PC} = 1^{--}$ . 从粒子表<sup>[2]</sup>可知, 可能的候选者为

\* 国家自然科学基金和中国科学院资助.

1) 中国科学院理论物理所客座研究人员.

$\omega(1390), \rho(1450), \omega(1600), \phi(1680), \rho(1700)$ . 这时过程



的角分布螺旋度形式为<sup>[4]</sup>

$$W_1(\theta_v, \theta_1, \phi_1) \propto (1 + \cos^2\theta_v) \sin^2\theta_1 - \sin^2\theta_v (\sin^2\theta_1 \cos 2\phi_1 - 2z_1^2 \cos^2\theta_1) - \sin 2\theta_v \cdot z_1 \cdot \sin 2\theta_1 \cos \phi_1 \quad (2)$$

其中,  $\theta_v$  为  $J/\psi$  静止系中  $1^-$  粒子和正电子束之间的夹角.  $(\theta_1, \phi_1)$  描写  $1^-$  粒子  $X_1$  (或  $X_2$ ) 静止系中  $K^+$  的动量的方向. 这里, 我们取  $J/\psi$  静止系  $1^-$  粒子的动量方向为坐标系  $z$  轴,  $e^+, e^-$  束流在  $x-z$  平面.  $z_1$  为过程  $J/\psi \rightarrow X_1(\text{或 } X_2) + f_0(975)$  的螺旋度振幅  $A_{\lambda_{X_i}}$  的比  $A_{0,0}/A_{1,0}$ . 其中  $\lambda_{X_i}$  为  $X_1$  (或  $X_2$ ) 粒子的螺旋度.

过程(1)的归一化投影角分布为

$$W_1(\theta_v) \propto \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{(2+z_1^2)} [(1+z_1^2) + (1-z_1^2)\cos^2\theta_v], \quad (3)$$

$$W_1(\theta_1) \propto \frac{3}{2(2+z_1^2)} [1 - (1-z_1^2)\cos^2\theta_1], \quad (4)$$

$$W_1(\phi_1) \propto \frac{1}{(2\pi)(2+z_1^2)} [(2+z_1^2) - \cos 2\phi_1]. \quad (5)$$

若  $X_1$  或  $X_2$  与  $f_0(975)$  的相对轨道角动量  $L' = 2$ , 即处于  $D$  波. 则  $X_1$  或  $X_2$  的  $J^{PC} = 3^-$  或  $1^-$ . 对于  $J^{PC} = 3^-$  的情况, 从粒子表<sup>[2]</sup>可知, 可能的候选者是  $\omega_3(1670), \rho_3(1690), \phi_3(1850)$ . 这时, 过程(1)的角分布螺旋度形式为

$$W_3(\theta, \theta_1, \phi_1) \propto (1 + \cos^2\theta) \cdot \frac{3}{8} \sin^2\theta_1 (5\cos^2\theta_1 - 1)^2 + \sin^2\theta \left[ \frac{1}{2} z_1^2 \cos^2\theta_1 (5\cos^2\theta_1 - 3)^2 - \frac{3}{8} \sin^2\theta_1 (5\cos^2\theta_1 - 1)^2 \cos 2\phi_1 \right] - \sin 2\theta \cdot \frac{\sqrt{6}}{8} z_1 \sin 2\theta_1 (5\cos^2\theta_1 - 1) (5\cos^2\theta_1 - 3) \cos \phi_1 \quad (6)$$

其中  $\theta$  定义为  $J/\psi$  静止系中  $3^-$  粒子和正电子束之间的夹角, 以区别于对  $1^-$  粒子所用的  $\theta_v$ . 相应的归一化投影角分布为

$$W_3(\theta) \propto \frac{3}{4(2+z_1^2)} [(1+z_1^2) + (1-z_1^2)\cos^2\theta], \quad (7)$$

$$W_3(\theta_1) \propto \frac{21}{16(2+z_1^2)} \left[ 1 - (11 - 6z_1^2)\cos^2\theta_1 + (35 - 20z_1^2) \cdot \cos^4\theta_1 - \left(25 - \frac{50}{3} z_1^2\right) \cos^6\theta_1 \right], \quad (8)$$

$$W_3(\phi_1) \propto \frac{1}{2\pi(2+z_1^2)} [(2+z_1^2) - \cos 2\phi_1]. \quad (9)$$

以上, 利用了宇称守恒和时间反演不变. 可以看到, 归一化的投影角分布(3)和(7), (5)和(9)分别是相同的, 而式(4)和式(8)不同. 能否用来有效地区分  $X_i$  粒子为  $1^-$  或  $3^-$ ? 取

$z_1 = 0.1, 0.5$  和  $1.0$ , 发现  $W_1(\theta_1)$  和  $W_3(\theta_1)$  有很大的差别 (见图 1); 再取  $z_1 = 5.0$  和  $10.0$ , 二者同样有很大差别 (见图 2)。在  $z_1$  从  $0.1$  到  $10$  这么大的取值范围内,  $W_1(\theta_1)$  随着  $|\cos\theta_1|$  变大, 单调地下降或上升; 而  $W_3(\theta_1)$  却发生剧烈的变化。这说明, 角分布的螺旋度形式, 特别是对  $\theta_1$  角度的依赖可以用来确定共振态  $X_i$  的自旋是  $1$  还是  $3$ 。它们是

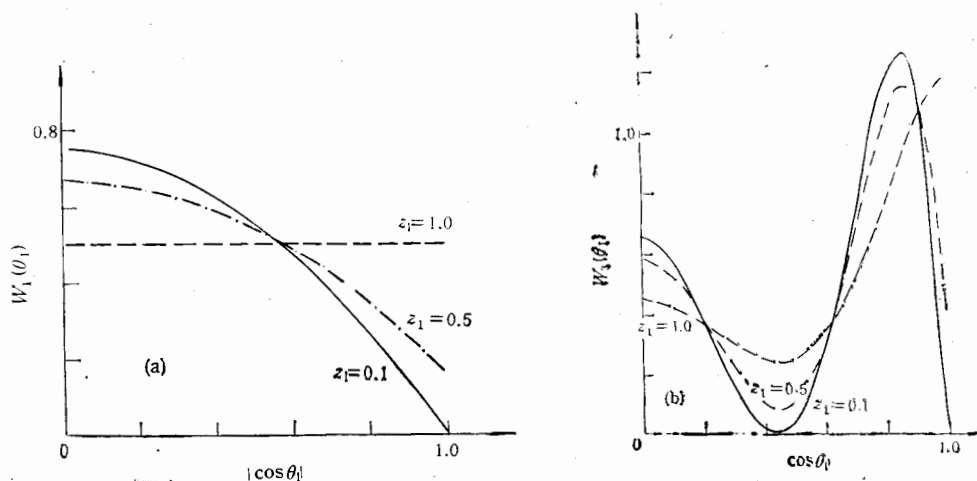


图 1 归一化的投影角分布  
(a)  $W_1(\theta_1)$ ; (b)  $W_3(\theta_1)$ ;  $z_1 = 0.1, 0.5, 1.0$

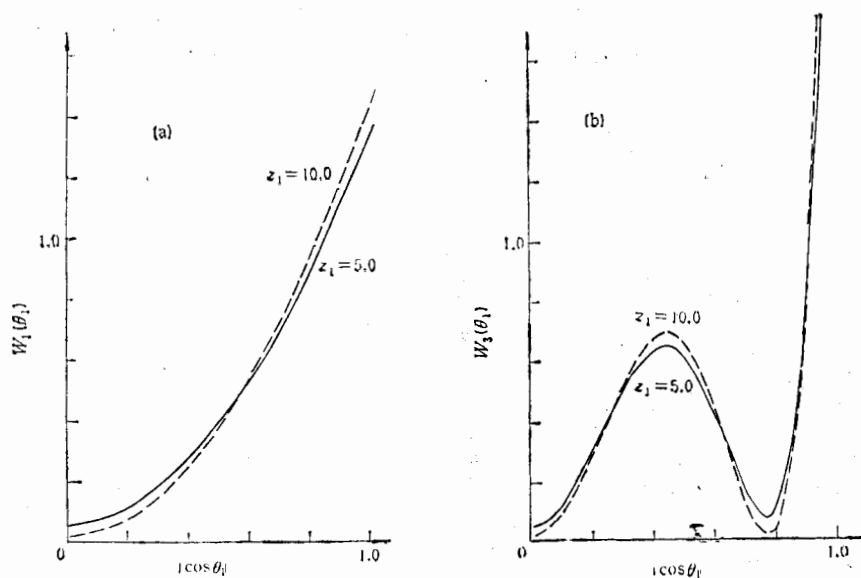


图 2 归一化的投影角分布  
(a)  $W_1(\theta_1)$ ; (b)  $W_3(\theta_1)$ ;  $z_1 = 5.0, 10.0$

比较敏感的。当  $z_1 < 0.1$  和  $z_1 > 10$  时,  $W_1(\theta_1)$  及  $W_3(\theta_1)$  与  $z_1 = 0.1$  和  $z_1 = 10$  相比变化不大。

我们建议, BES 继续研究 X 共振态的其它衰变道:  $\pi\pi$ ,  $\rho\pi$  和  $K\bar{K}^*$  以获取关于共振态 X 的更多的信息。这对于判明  $X_1(1573)$  和  $X_2(1850)$  的性质, 了解 1—2 GeV 能区的强子谱是有帮助的。鉴于  $X_1$  态在  $K^+K^-$  道呈现一明显的共振峰。而与  $\rho, \omega$  介子谱相比,  $\phi$  介子谱尚缺一个态, 我们认为,  $X_1(1573)$  很可能是一个粒子表中未列入的新共振态  $\phi(1573)$ 。

对于过程

$$\begin{array}{l}
 J/\psi \rightarrow X + f_0(975) \\
 \left. \begin{array}{l} \downarrow \\ \rightarrow \rho\pi \text{ 或 } K\bar{K}^* \\ \downarrow \end{array} \right\} \begin{array}{l} \rightarrow \pi^+\pi^- \\ \rightarrow 2\pi \\ \rightarrow \bar{K}\pi, \end{array}
 \end{array} \quad (10)$$

共振态 X 的自旋-宇称有较多的可能性:  $1^{--}, 1^{+-}, 2^{--}, 2^{+-}$  等等。我们将随着数据分析工作的进展, 另作专门的讨论。

### 参 考 文 献

- [1] G. Gidal et al., *Phys. Lett.*, **107B** (1981) 153.
- [2] Particle Data Group, *Phys. Rev.*, **D45** (1992) 1. 1—X1. 8.
- [3] 祝玉灿, 内部报告.
- [4] 郁宏、沈齐兴, 高能物理与核物理, **14**(1990)504.

## A Possible New Resonance State—Spin-Parity Analysis of the X Resonance in $J/\psi \rightarrow X + f_0(975)$ Process

Yu Hong      Shen Qixing

(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing 100039*)

Received on February 4, 1994

### Abstract

The boson resonance state X is produced in company with  $f_0(975)$  in the  $J/\psi$  hadronic decay process. If the X particle decays into a pair of pseudoscalar mesons its spin-parity is  $J^{PC} = (odd)^{--}$ . The helicity formalism of angular distribution of the process has been given. How to discriminate  $1^{--}$  meson from  $3^{--}$  meson for the X particle has been discussed. We think that the  $X_1(1573)$  which has been observed in the four prong channel ( $K^+K^-\pi^+\pi^-$ ) and in company with  $f_0(975)$  ( $\rightarrow \pi^+\pi^-$ ) by BES collaboration may be a new resonance state.

**Key words** resonance, exclusive reaction, helicity.