

快报

确定 $\xi(2230)$ 自旋的一种新方法*

郁 宏

(中国科学院高能物理研究所, 北京)

摘 要

本文得到了过程 $e^+e^- \rightarrow J/\psi \rightarrow \gamma B(J^\eta)$ 、 $B(J^\eta) \rightarrow P_1 P_2$ 的矩的光子角分布, 提供了确定 $\xi(2230)$ 自旋的新途径.

I. 引 言

MARK III 组通过以下过程

$$e^+e^- \rightarrow J/\psi \rightarrow \gamma \xi \quad (1)$$

$$\quad \quad \quad \downarrow$$

$$\quad \quad \quad \rightarrow K^+K^-, K_s^0\bar{K}_s^0,$$

发现了一个新的态 $\xi(2230)$ ^[1]. DM2 组考察了同样的过程, 但在 $K\bar{K}$ 质量谱中没有发现 2.23GeV 处有明显的结构^[2]. MARK III 组用最大似然法^[3]对 ξ 的自旋进行了分析, 所用程序完全类似于对 $\theta/f_2(1720)$ 的分析. 然而不能确定 ξ 的自旋是 2 还是 4. 由于 ξ 和 θ/f_2 一样衰变为两个赝标介子, 所以宇称和电荷共轭宇称都是 +, 自旋为偶.

在文献[4]中, 我们指出: θ/f_2 的自旋目前公认为 $J=2$. 实际上, 我们发现若用一般的螺旋性形式中的角分布去定 θ/f_2 的自旋时, 存在不敏感区. 而现有的 θ/f_2 的数据恰好落入不敏感区. 所以我们认为不能确定地说, θ/f_2 的自旋就是 $J=2$. 对于 ξ 的自旋, 目前不能确定它是 2 还是 4, 一个明显的原因是数据太少, 另一个原因就是现有的 ξ 的数据也正好落入不敏感区.

本文试图用矩分析法^[5]给 ξ (和 θ/f_2) 的自旋确定另辟一条新的途径.

II. 角 分 布

我们考虑反应过程

$$e^+ + e^- \rightarrow J/\psi \rightarrow \gamma + B(J^\eta), \quad (2)$$

其中, 共振玻色子 B 的自旋为 J , 宇称为 η . 然后 B 继续衰变为两个赝标介子 P_1 和 P_2 (这样 η 必然为 +)

* 本工作得到国家科学基金的资助.
本文 1988 年 5 月 24 日收到.

$$B(J^+) \rightarrow P_1 + P_2. \quad (3)$$

在一般的螺旋性形式中,该过程的角分布公式为^[4]

$$W_J(\theta_r, \theta, \phi) \propto \sum_{\Lambda \Lambda'} I(\lambda_J, \lambda_J') A_{\lambda_r \Lambda} A_{\lambda_r \Lambda'} D_{-\lambda_r, 0}^{J*}(\phi, \theta, 0) D_{-\Lambda', 0}^J(\phi, \theta, 0), \quad (4)$$

其中

$$A_{\lambda_r \Lambda} \sim \langle \gamma_{\lambda_r} B_{\Lambda} | T | \phi_{\lambda_J} \rangle. \quad (5)$$

是螺旋性振幅。 λ_r 、 Λ 和 λ_J 分别是光子、 B 和 J/ϕ 粒子的螺旋性。

$$I(\lambda_J, \lambda_J') \propto \frac{1}{4} \sum_{r r'} \langle \phi_{\lambda_J} | T | e^+ e^- \rangle \langle \phi_{\lambda_J'} | T | e^+ e^- \rangle^*, \quad (6)$$

(θ, ϕ) 描写 B 静止系中 P_1 粒子动量的方向。这里我们选择光子出射方向为 z 轴, e^+e^- 束流在 $x-z$ 平面内。在 J/ϕ 静止系,略去包含 (m_e/p) 的小项,我们有

$$\begin{aligned} I(1, 1) &= I(-1, -1) \approx p^2(1 + \cos^2 \theta_r) \\ I(1, 0) &= I(0, 1) = -I(-1, 0) = -I(0, -1) \approx \frac{1}{\sqrt{2}} p^2 \sin^2 \theta_r, \\ I(1, -1) &= I(-1, 1) \approx p^2 \sin^2 \theta_r, \\ I(0, 0) &\approx 2p^2 \sin^2 \theta_r, \end{aligned} \quad (7)$$

其中 $p = |\mathbf{p}_+| = |\mathbf{p}_-|$, \mathbf{p}_+ 和 \mathbf{p}_- 是正、负电子的动量, θ_r 是光子和正电子束之间的夹角。

III. 矩分析

在文献[5]中给出了如 $B(J^0) \rightarrow B_1(1^-) + B_2(1^-)$, B_1 和 B_2 继续衰变为两个赝标介子($B_1 \rightarrow P_1 P_2$, $B_2 \rightarrow P_3 P_4$)等过程的矩以及对一定的自旋 J 和宇称 η 组合的各种矩之间的线性关系式。根据这些关系式,我们能够确定 B 粒子的自旋和宇称。而且某些关系式相当有效。但是,我们现在观察到的 ξ (以及 θ/f_2)的衰变方式仅是双赝标介子道。因此,我们不能用[5]中给出的任何关系式来辨别 ξ 的自旋。

现在,我们把矩分析推广到过程

$$e^+e^- \rightarrow J/\phi \rightarrow \gamma + B(J^0) \rightarrow P_1 + P_2. \quad (8)$$

引进该过程的矩的光子角分布,它被定义为

$$H_J(\theta_r, LM) = \int W_J(\theta_r, \theta, \phi) D_{M0}^L(\phi, \theta, 0) \sin \theta d\theta d\phi. \quad (9)$$

这是一个实验上可测量的量。从(4)式,我们有

$$\begin{aligned} H_J(\theta_r, LM) &= \frac{4\pi}{2J+1} \sum_{\Lambda \Lambda'} I(\lambda_J, \lambda_J') A_{\lambda_r \Lambda} A_{\lambda_r \Lambda'} (J - \Lambda' LM | J - \Lambda) \\ &\quad \cdot (J0L0 | J0) \\ &= \frac{4\pi}{2J+1} t_{J,L}^{M*}(\theta_r) (J0L0 | J0), \end{aligned} \quad (10)$$

(3) 这里 $(j_1 m_1 j_2 m_2 | j_3 m_3)$ 是通常的 C-G 系数, 多极参数为

$$v_{j,L}^{M*}(\theta_r) = \sum_{M'} I(\lambda_j, \lambda_j') A_{\lambda_r \lambda'} A_{\lambda_r \lambda'} (J - \lambda' LM | J - \lambda) \quad (11)$$

(4) 我们取 L 为偶数, 则 $v_{j,L}^{M*}(\theta_r)$ 为纯实. 我们可按照螺旋性振幅之比 x 和 y 以及用式(7)来表示 $H_j(\theta_r, LM)$. 对于 $L=2$ 的情况, 我们有

$$(5) \quad H_2(\theta_r, 22) = H_2(\theta_r, 2-2) \propto -\frac{16\pi}{35} p^2 y \sin^2 \theta_r,$$

$$(6) \quad H_2(\theta_r, 21) = -H_2(\theta_r, 2-1) \propto -\frac{4\sqrt{2}\pi}{35} p^2 (x - \sqrt{6} xy) \sin 2\theta_r,$$

$$e^+e^- \text{束} \quad H_2(\theta_r, 20) \propto \frac{16\pi}{35} p^2 [x^2 \sin^2 \theta_r + (1-y^2)(1+\cos^2 \theta_r)] \sim 1 + A_1 \cos^2 \theta_r, \quad (12)$$

$$A_1 = \frac{1-y^2-x^2}{1-y^2+x^2}; \quad (13)$$

$$H_4(\theta_r, 42) = H_4(\theta_r, 4-2) \propto -\frac{16\sqrt{15}\pi}{231} p^2 y \sin^2 \theta_r,$$

$$(7) \quad H_4(\theta_r, 41) = -H_4(\theta_r, 4-1) \propto -\frac{8\sqrt{15}\pi}{693} p^2 \left(x - \frac{9}{\sqrt{10}} xy \right) \sin 2\theta_r,$$

间的夹

$$H_4(\theta_r, 40) \propto \frac{272\pi}{693} p^2 \left[x^2 \sin^2 \theta_r + \frac{10}{17} (1+0.4y^2)(1+\cos^2 \theta_r) \right] \\ \sim 1 + A_2 \cos^2 \theta_r, \quad (14)$$

几个赝标
J 各种矩
某些关
子道. 因

$$A_2 = \frac{\frac{10}{17} (1+0.4y^2) - x^2}{\frac{10}{17} (1+0.4y^2) + x^2}. \quad (15)$$

这里, 和一般的螺旋性形式中光子的角分布^[4]可相比的 $H_2(\theta_r, 20)$ 和 $H_4(\theta_r, 40)$ 显然是不同的. 而在一般的螺旋性形式中的光子的角分布不管 $J=2$ 或者 4 有相同的表达式:

$$W_J(\theta_r) \sim 1 + A \cos^2 \theta_r \\ A = \frac{1+y^2-2x^2}{1+y^2+2x^2}. \quad (16)$$

(8)

对于 $L=4$, 我们有

$$(9) \quad H_2(\theta_r, 40) \propto -\frac{64\pi}{105} p^2 \left[x^2 \sin^2 \theta_r - 0.75 \left(1 + \frac{1}{6} y^2 \right) (1 + \cos^2 \theta_r) \right] \\ \sim -(1 + A_3 \cos^2 \theta_r), \quad (17)$$

$$A_3 = \frac{-0.75 \left(1 + \frac{1}{6} y^2 \right) - x^2}{-0.75 \left(1 + \frac{1}{6} y^2 \right) + x^2}; \quad (18)$$

$$(10) \quad H_4(\theta_r, 40) \propto \frac{144\pi}{1001} p^2 \left[x^2 \sin^2 \theta_r + \left(1 - \frac{11}{18} y^2 \right) (1 + \cos^2 \theta_r) \right]$$

$$\sim 1 + A_4 \cos^2 \theta_r, \quad (19)$$

$$A_4 = \frac{\left(1 - \frac{11}{18} y^2\right) - x^2}{\left(1 - \frac{11}{18} y^2\right) + x^2}. \quad (20)$$

$H_2(\theta_r, 40)$ 和 $H_4(\theta_r, 40)$ 之间的差别更加明显。因此, 我们可以用矩的光子角分布来分辨 ξ (以及 θ/f_2) 的自旋。

IV. 结 果

已经知道, 对于 J/ψ 辐射衰变产生 ξ 和 θ/f_2 的螺旋性振幅之比 x, y , 拟合的结果是^[6]

$$\begin{aligned} \xi(J=2) \quad x &= -0.67 \pm \begin{matrix} 0.14 \\ 0.16 \end{matrix} \quad y = 0.13 \pm \begin{matrix} 0.21 \\ 0.19 \end{matrix} \\ \xi(J=4) \quad x &= 1.29 \pm \begin{matrix} 0.62 \\ 0.30 \end{matrix} \quad y = 0.4 \pm \begin{matrix} 0.76 \\ 0.39 \end{matrix} \\ \theta/f_2 \quad x &= -1.07 \pm 0.16 \quad y = -1.09 \pm 0.15. \end{aligned} \quad (21)$$

本文把这些值(略去误差)代入式(13)、(15)、(18)、(20), 则有

	A_1	A_2	A_3	A_4
$\xi(J=2)$	0.373		3.96	
$\xi(J=4)$		-0.453		-0.297
θ/f_2	-1.39	-0.138	-8.29	-0.614.

应用式(12)、(14)、(17)和(19), 得到矩的光子角分布, 如图 1, 2, 3, 4 所示。对于 θ/f_2 , 从图 2 可看到 $H_2(\theta_r, 40)$ 和 $H_4(\theta_r, 40)$ 的行为很不相同, 即这种矩的光子角分布对于辨别 θ/f_2 的自旋为 2 或 4 十分敏感。对于 ξ , $H_2(\theta_r, 20)$ 和 $H_4(\theta_r, 20)$, $H_2(\theta_r, 40)$ 和 $H_4(\theta_r, 40)$ 的差别均十分明显。于是, 我们可以期望, 实验物理学家用这个方法在对 $J/\psi \rightarrow \gamma K \bar{K}, \gamma \pi \pi, \gamma \eta \eta$ 进行重新分析之后将会得到某些有价值的结论。希望关于

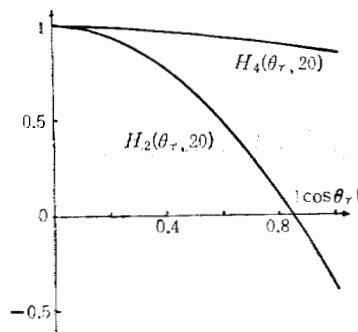


图 1 过程 $e^+ + e^- \rightarrow J/\psi \rightarrow \gamma \theta/f_2$ 的矩的光子角分布 $H_J(\theta_r, LM)$, $(JLM) = (220)$ 和 (420)

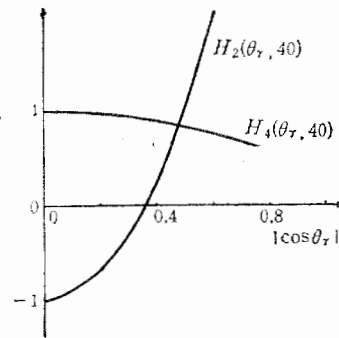


图 2 过程 $e^+ + e^- \rightarrow J/\psi \rightarrow \gamma \theta/f_2$ 的矩的光子角分布 $H_J(\theta_r, LM)$, $(JLM) = (240)$ 和 (440)

图 3

$\xi(223)$
们通

[1]
[2]
[3]
[4]
[5]
[6]

Ir
 e^+e^-
of ξ

(19)

(20)

来分

是 i6)

(21)

对于
分布
, 40)
法在
关于

角分

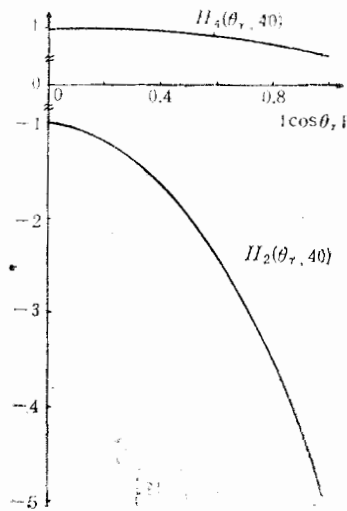
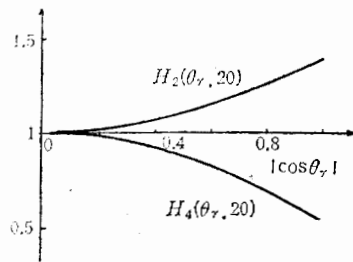


图 3 过程 $e^+ + e^- \rightarrow J/\psi \rightarrow \gamma \xi$ 的矩的光子角分布
 $\downarrow \rightarrow P_1 P_2$

图 4 过程 $e^+ + e^- \rightarrow J/\psi \rightarrow \gamma \xi$ 的矩的光子角
 $\downarrow \rightarrow P_1 P_2$

$H_j(\theta_\gamma, LM)$, $(JLM) = (220)$ 和 (420)

分布 $H_j(\theta_\gamma, LM)$, $(JLM) = (240)$ 和 (440)

$\xi(2230)$ 的自旋的确定的结论不久将会作出。此外,在确定了 ξ (和 θ/f_2) 的自旋之后,我们通过拟合矩的光子角分布可得到更精确的螺旋性振幅之比 x 和 y 。

参 考 文 献

- [1] K. Einsweiler, SLAC-PUB-3702 (1983); R. M. Baltrusaitis et al., *Phys. Rev. Lett.*, **56**(1986). 107.
- [2] J. E. Augustin et al., LAL/85-27(1985).
- [3] J. J. Becker et al., Contrib. to 23rd Int. Conf. on HEP, Berkeley, 1986.
- [4] 严武光和郁宏,高能物理与核物理,待发.
- [5] S. U. Chung, *Phys. Rev.*, **169**(1968), 1342.
- [6] G. Eigen, CALT-68-1483 (1987).

A NEW METHOD FOR THE DETERMINATION OF THE SPIN OF $\xi(2230)$

YU HONG

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

ABSTRACT

In this paper we have got the angular distributions of the photon for the moments of process $e^+e^- \rightarrow J/\psi \rightarrow \gamma B(J^\pi)$, $B(J^\pi) \rightarrow P_1 P_2$. It provides a new way to determine the spin of $\xi(2230)$.