



ξ(2230) 的胶子球解释*

沈齐兴 郁宏

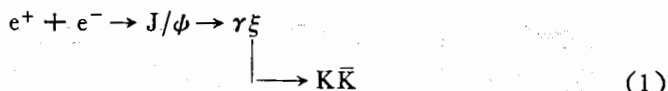
(中国科学院高能物理研究所, 北京)

摘 要

本文讨论了 ξ(2230) 作为胶子球解释的可能性。螺旋性振幅之比 x 和 y 的理论值与实验值的比较表明, ξ(2230) 不可能是一个纯的 $2^{++}S$ 波(或 D 波)的胶子球, 但可能是一个 $4^{++}D$ 波胶子球。

一、引 言

1983年, 在 SLAC SPEAR 上工作的 Mark III 实验组通过反应



发现了一个新的窄共振态, 即 ξ(2230)^[1]。利用最大似然法对 ξ 的自旋分析表明^[2], ξ(2230) 的自旋为 2 或者 4。实验还给出了 ξ(2230) 的螺旋性振幅之比 x 和 y 的实验值^[3]。当 ξ(2230) 的自旋 $J = 2$ 时,

$$x = -0.67 \begin{matrix} + 0.14 \\ - 0.16 \end{matrix}, \quad y = 0.13 \begin{matrix} + 0.21 \\ - 0.19 \end{matrix}, \quad (2)$$

当 $J = 4$ 时,

$$x = 1.29 \begin{matrix} + 0.62 \\ - 0.30 \end{matrix}, \quad y = 0.40 \begin{matrix} + 0.76 \\ - 0.39 \end{matrix}. \quad (3)$$

在 ξ 粒子发现后, 理论物理学家依据 ξ 粒子的产生、衰变方式以及它的宽度等性质, 对 ξ 粒子的解释给出了多种模式。Higgs 粒子^[4]、胶子球^[5]、混合态^[6]、四夸克态^[7]、高角动量的 $S\bar{S}$ 态^[8] 以及其它的一些解释^[9] 被一一提出。由于 ξ 粒子的自旋 $J \geq 2$, 以及理论预言的总分支比 $B(J/\psi \rightarrow \gamma H^0) \simeq 2.9 \times 10^{-5}$ 比 $B(J/\psi \rightarrow \gamma \xi) \cdot B(\xi \rightarrow K\bar{K}) = (9.3 \pm 1.2) \times 10^{-5}$ ^[3] 要小得多, 因此, ξ 作为 Higgs 粒子的解释已不太可能。但是, 由于缺少足够的实验资料, 目前还无法判断那一种解释的可能性最大。

本文利用螺旋性振幅之比 x 和 y 来讨论 ξ 粒子的性质, 这是本文区别于其它理论模式之处, 而我们知道, 这种方法对于判断 J/ψ 辐射衰变产生的玻色共振态是否是胶子球是一种比较有效的方法^[11]。本文在假定 ξ 粒子是胶子球的基础上计算了过程(1)的螺旋性振幅之比 x 和 y 的值, 通过和实验值(2)、(3)的比较, 可以得到如下结论: ξ(2230) 不可能

本文1989年11月24日收到。

*本工作得到国家自然科学基金会的支持。

F)
在
就
机

P.
)

if.

是一个纯的 $2^{++}S$ 波(或 D 波)的胶子球,但可能是一个 $4^{++}D$ 波胶子球.

二、螺旋性振幅之比 x 和 y 的计算

胶子球的存在是量子色动力学的直接结果. 根据位势模型^[10], 表 1 列出了由二个胶子构成的胶子球的各种可能的状态, 其中 S 是二个胶子的总自旋, l 是轨道角动量. 从表 1 看到, 如果忽略轨道角动量 $l \geq 4$ 的态, 一个 2^{++} 的胶子球可以是 $s = 2, l = 0$ 的 S 波, 也可以是 $s = 0, l = 2$ 的 D 波或 $s = 2, l = 2$ 的 D 波, 而一个 4^{++} 的胶子球是 $s = 2, l = 2$ 的 D 波态.

表 1 胶子球的各种可能的状态

l	$s = 0$	$s = 1$	$s = 2$
0	0^{++}		2^{++}
1		$0^{-+}, 1^{-+}, 2^{-+}$	
2	2^{++}		$0^{++}, 1^{++}, 2^{++}, 3^{++}, 4^{++}$
3		$2^{-+}, 3^{-+}, 4^{-+}$	
4	4^{++}		$2^{++}, 3^{++}, 4^{++}, 5^{++}, 6^{++}$
5		$4^{-+}, 5^{-+}, 6^{-+}$	
6	6^{++}		$4^{++}, 5^{++}, 6^{++}, 7^{++}, 8^{++}$

在文献[11]中, 已经给出了计算螺旋性振幅之比 x 和 y 的方法以及相应三种 2^{++} 胶子球有关 x 和 y 的计算公式. 下面我们考虑 4^{++} 胶子球的情况.

对于 $s = 2, l = 2$ 的 4^{++} 胶子球, 其波函数为

$$G_{\alpha\beta}^{ab}(x_1, x_2)_\lambda = \frac{\delta_{ab}}{\sqrt{2m_G}} e^{i p_G \cdot X} G(x) \sum_{m_1, \dots, m_6} C_{2m_2, 2m_6}^{4\lambda} C_{1m_1^2, 1m_2^2}^{2m_3^2} e^{m_1^* i} e^{m_2^* i} C_{1m_3^2, 1m_4^2}^{2m_5^2} m_G^2 (x \cdot e^{m_3^*}) (x \cdot e^{m_4^*}), \quad (4)$$

其中 $X = (x_1 + x_2)/2, x = x_1 - x_2$. 可以得到相应于 4^{++} 胶子球的螺旋性振幅

$$\begin{aligned} T_2 &= \frac{64}{3\sqrt{21}} g^2 G(0) \phi_J(0) \frac{\sqrt{m_J m_G^2}}{m_c^6} p_J^2 \left(1 - \frac{m_G p_J}{m_c m_J}\right), \\ T_1 &= \frac{64}{3\sqrt{21}} g^2 G(0) \phi_J(0) \frac{m_G^2 p_J^2}{\sqrt{m_J m_c^6}} \left\{ \frac{4m_G p_J^2}{m_J^2 - 2m_G^2 + 4m_c^2} \right. \\ &\quad \left. + E_J \left(1 - \frac{m_G p_J}{m_c m_J}\right) - \frac{m_G p_J^2}{m_c m_J} \right\}, \\ T_0 &= \frac{128}{3\sqrt{210}} g^2 G(0) \phi_J(0) \frac{\sqrt{m_J m_G^2} p_J^2}{m_c^6} \left\{ 1 - \frac{m_G p_J}{m_c m_J} \right. \\ &\quad \left. - \frac{2p_J^2}{m_c m_J} + \frac{8p_J^2}{m_J^2 - 2m_G^2 + 4m_c^2} \left(\frac{1}{2} + \frac{m_c}{m_J}\right) \right\}, \end{aligned} \quad (5)$$

其中

$$E_J = \frac{m_J^2 + m_G^2}{2m_G}, \quad p_J = \frac{m_J^2 - m_G^2}{2m_G}. \quad (6)$$

在得到(5)式时,我们已用零点波函数 $\phi_j(0)$ 和 $G(0)$ 分别代替内部波函数 $\phi_j(x)$ 和 $G(x)$,正如文献[12]所指出的,这是一个合理的近似.

螺旋性振幅之比为

$$x = T_1/T_0, \quad y = T_2/T_0. \quad (7)$$

显然, 粲夸克的质量 m_c 是 x 和 y 的唯一参数. 由文献[11]的(9)–(11)式及本文的(5)式,可以得到相应于三种 2^{++} 胶子球和 4^{++} 胶子球的 x 和 y 的理论值, 它们与 m_c 的关系见表 2.

表 2 螺旋性振幅之比 x 和 y 的理论值

m_c (GeV)	2^{++}						4^{++}	
	$(s=2, l=0)$		$(s=0, l=2)$		$(s=2, l=2)$		$(s=2, l=2)$	
	x	y	x	y	x	y	x	y
1.1	1.04	0.59	2.05	1.67	1.24	1.15	0.95	0.38
1.2	1.09	0.77	2.16	1.88	1.24	1.23	1.00	0.49
1.3	1.14	0.93	2.24	2.06	1.26	1.30	1.04	0.60
1.4	1.18	1.08	2.29	2.21	1.27	1.37	1.08	0.69
1.5	1.23	1.21	2.32	2.32	1.28	1.42	1.12	0.78
1.6	1.27	1.33	2.33	2.41	1.30	1.48	1.16	0.86

三、讨 论

从表 2 看到, 如果 $\xi(2230)$ 是 2^{++} 的胶子球, 对三种状态 x 总是正的, 这显然和实验值(2)不符, y 的理论值也比实验值大得多. 但是, 如果 $\xi(2230)$ 是 4^{++} 的 D 波胶子球, 对于粲夸克质量 $1.2\text{GeV} \leq m_c \leq 1.6\text{GeV}$, x 和 y 的理论值都在实验值的误差范围之内(见(3)式). 这表明, $\xi(2230)$ 不可能是一个纯的 $2^{++}S$ 波(或 D 波)的胶子球, 但可能是一个 $4^{++}D$ 波胶子球.

如果采用文献[11]的方法, 将 2^{++} 的 S 波和二个 D 波进行混合, 则总可以选择适当的参数 a 和 b , 使 x 和 y 的值完全符合实验值(2). 例如, 当 $m_c = 1.3\text{GeV}$ 时, 可选 $a = -0.525$, $b = 0.234$, 这时 $x = -0.67$, $y = 0.13$. 这样, 只依靠 x, y 的实验值就无法确定 ξ 是一个 S 波和 D 波混合的 2^{++} 胶子球还是 4^{++} 胶子球. 所以, 本文只是提供一种可能的理论模式. 更细致的分析, 更确切的结论将依赖于更多的实验数据, 如对比例 $R = B(\psi' \rightarrow \gamma\xi)/B(J/\psi \rightarrow \gamma\xi)$ 的测量以及更高的统计事例, 这也是大家期待于 BEPC 的一个重要之点.

参 考 文 献

- [1] K. Einsweiler, SLAC-PUB-3202(1983);
N. Wermes, SLAC-PUB-3312(1984);
R. Baltrusaitis et al., *Phys. Rev. Lett.*, **56**(1986), 107.
- [2] J. J. Becker et al., Contrib. to 23rd Int. Conf. On HEP, Berkeley, 1986;
T. Bolton, Ph D Thesis, SLAC Report (1988).
- [3] G. Eigen, CALT-68-1483(1987).

- [4] H. Haber and G. Kane, *Phys. Lett.*, **135B**(1984), 196;
R. Wiley, *Phys. Rev. Lett.*, **52**(1984), 585;
R. M. Barnett et al., *Phys. Rev.*, **D30**(1984), 1529.
- [5] B. F. L. Ward, *Phys. Rev.*, **D31**(1985), 2849; **D32**(1986), 1260.
- [6] M. Chanowitz and S. R. Sharpe, *Phys. Lett.*, **132B**(1983), 413.
- [7] S. Pakvasa et al., *Phys. Lett.*, **145B**(1984), 134; *Phys. Rev.*, **D31**(1985), 2378;
K. T. Chao, *Phys. Rev. Lett.*, **60**(1988), 2579.
- [8] S. Godfrey, R. Kokoski and N. Isgur, *Phys. Lett.*, **141B**(1984), 439.
- [9] H. Haber, SLAC Report, SLAC-PUB-3193(1983);
M. Shatz, *Phys. Lett.*, **138B**(1984), 209;
K. Yamawaki, M. Bando and K. Matumots, *Phys. Rev. Lett.*, **56**(1986), 1335;
S. Ono, *Phys. Rev.*, **D35**(1987), 944.
- [10] D. Robson, *Nucl. Phys.*, **B130**(1977), 328.
- [11] Qi-xing Shen and Hong Yu, *Phys. Rev.*, **D40**(1989), 1517.
- [12] B. A. Li and Q. X. Shen, *Phys. Lett.*, **126B**(1983), 125.

GLUEBALL EXPLANATION FOR THE $\xi(2230)$

SHEN QIXING YU HONG

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

ABSTRACT

The possibility that $\xi(2230)$ can be considered as a glueball is discussed in this paper. The ratios of the helicity amplitude are calculated. It is shown that $\xi(2230)$ can not be a pure 2^{++} glueball in S wave (or D wave), but it can be a 4^{++} glueball in D wave.