第 15 卷 第 5 期　　高能物理与核物理　　Vol. 15, No. 5
1991 年 5 月　　HIGH ENERGY PHYSICS AND NUCLEAR PEYSICS　　May, 1991

快报

胶子的极化态与 $\xi(2230)$ 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　100039)

摘　　要

本文讨论了当胶子只有横极化分量时对 $\xi(2230)$ 胶子球解释的影响.

一、引　　言

由二个或多个胶子构成的色单态——胶子球的存在是量子色动力学的直接结果. 实验上已发现了多个胶子球的候选者，例如 $\iota/\eta(1440)$[1]、$\theta/f_2(1720)$[2]、$G/f_0(1590)$[3]、$\xi(2230)$[4] 和三个 g_T 态[5].

对于束缚在胶子球内部的价胶子，我们只知道它们是自旋为 1 的粒子，但不能确定应该把它们作为有质量粒子还是无质量粒子处理. 与此相关的问题是，胶子具有三种极化态还是象光子一样只有二种横极化态. 在非相对论的位势模型中[6]，胶子是自旋为 1 的有质量粒子，其动力学质量来自于强胶子束缚力. D. Robson 也指出[7]，对于囚禁在强子内部的胶子，它并不在质量壳上，亦即，要把它作为有质量粒子处理，于是必须考虑三种极化态. 但在文献[8]中，作者提出了另一种观点，认为规范不变性的要求只允许每种颜色的胶子有二种自由度，即二种横极化方式，其它的极化是依赖于规范的，因此是非物理的. 这与文献[6]有原则的差别. 而在通常的 MIT 口袋模型中[9]，胶子被认为是无质量的，因此只有二种横极化自由度. 但文献[10]利用等效拉氏量方法，假定 MIT 口袋模型中的横磁 (TM) 胶子是有质量的，并在此基础上讨论了 $\xi(2230)$ 是胶子球的可能性. 因此，构成胶子球的胶子到底有三种极化态还是只有二种横极化态，众说不一，不同的处理对胶子球理论将会产生多大的影响? 这是一个很有兴趣的问题.

在文献[11]中，我们计算了 $\xi(2230)$ 的螺旋性振幅之比 x 和 y，通过与实验值的比较得到如下结论: (1) $\xi(2230)$ 不可能是一个纯 S 波(或纯 D 波)的 2^{++} 胶子球，但可能是一个 S 波和 D 波混合的 2^{++} 胶子球; (2) 如果 $\xi(2230)$ 是一个 4^{++} 的 D 波胶子球，计算得到的螺旋性振幅之比 x 和 y 的值和实验值符合得很好. 在计算中我们采用了文献[7]的观点，假定胶子具有三种极化态.

本文采用 MIT 口袋模型，假定胶子只有二种横极化态，计算了 $\xi(2230)$ 的螺旋性

本文 1990 年 12 月 11 日收到.

振幅之比,对 $\xi(2230)$ 的胶子球理论作进一步的检验。我们发现,$\xi(2230)$ 的螺旋性振幅之比的值随着对胶子极化态的不同考虑有很大变化。当胶子只有二种横极化时,对于 $s=2$, $l=0$ 的 2^{++} S 波胶子球有 $x=0$; 对于 $s=0$, $l=2$ 的 $2^{++}D$ 波胶子球有 $y=0$。如果假定 $\xi(2230)$ 是一个 4^{++} 的 D 波胶子球,计算得到的 x 和 y 的绝对值都比实验值大得多,从而排除了 $\xi(2230)$ 是一个 4^{++} D 波胶子球的可能性,这些结论和胶子具有三种极化态时的结论完全不同。

二、数值计算

1983 年,Mark III 实验组发现了一个新的共振态 $\xi(2230)$[4],但它的自旋还没有被完全确定,或者是 2 或者是 4。$\xi(2230)$ 的螺旋性振幅之比 x 和 y 已被测量[12],当 ξ 粒子的自旋为 2 时,结果为

$$x=-0.67^{+0.14}_{-0.16},\quad y=0.13^{+0.21}_{-0.19}. \tag{1}$$

当 ξ 粒子的自旋为 4 时,测量给出

$$x=1.29^{+0.62}_{-0.30},\quad y=0.40^{+0.76}_{-0.39}. \tag{2}$$

在 ξ 粒子发现后,理论物理学家已对 ξ 粒子提出了多种解释,胶子球是其中的一种可能性[11]。

由于 Mark III 实验组仅仅在 J/ψ 辐射衰变的 K^+K^- 和 $K_s^0K_s^0$ 道发现了 ξ 粒子,因此如果 ξ 粒子是由二个胶子构成的胶子球,这二个胶子很可能是 $J^{PC}=1^{--}$ 的横磁 (TM) 型胶子,这是因为 M. Chanowitz 曾指出[13]: TM 型胶子主要衰变成一对正反奇异夸克,从而由 TM 胶子构成的胶子球将主要衰变成 $K\bar{K}$ 终态,而非 $\pi\pi$ 终态。

对于由二个 TM 胶子构成的 2^{++} S 波、D 波或 4^{++} D 波胶子球,其波函数的形式与文献[11]中给出的完全类似,唯一的差别是现在要重新进行归一化处理,因为现在组元胶子的极化矢量 e^m 只有二种横极化,即

$$e^1=\left(0,\ -\frac{1}{\sqrt{2}},\ -\frac{i}{\sqrt{2}},\ 0\right),\quad e^{-1}=\left(0,\ \frac{1}{\sqrt{2}},\ -\frac{i}{\sqrt{2}},\ 0\right). \tag{3}$$

利用文献[11]给出的计算方法,可以得到相应于不同胶子球的螺旋性振幅。(本文将采用文献[11]中的符号)对于 $l=0$, $s=2$ 的 2^{++} S 波胶子球,有

$$\begin{aligned}
T_2 &= -\frac{32}{3\sqrt{3}}g^2G(0)\phi_J(0)\frac{\sqrt{m_J}}{m_c^2}\left\{1-\frac{m_J^2-m_G^2}{2m_cm_J}\right\},\\
T_1 &= 0,\\
T_0 &= -\frac{64\sqrt{3}}{9\sqrt{2}}g^2G(0)\phi_J(0)\frac{\sqrt{m_J}}{m_c^2}\frac{1}{m_c^2+\frac{1}{4}m_J^2-\frac{1}{2}m_G^2}\\
&\quad\times\left[m_c^2+\frac{1}{8}(m_J^2-m_G^2)-\frac{m_c}{4m_J}(m_J^2+m_G^2)\right].
\end{aligned} \tag{4}$$

对于 $l=2$, $s=0$ 的 2^{++} D 波胶子球,可得

$$T_2=0,$$

$$T_1 = -\frac{64}{3\sqrt{3}} g^2 G(0)\phi_J(0) m_G^2 \sqrt{m_J} \frac{E_J}{m_c^4 m_J},$$

$$T_0 = \frac{32}{9} g^2 G(0)\phi_J(0) m_G^2 \sqrt{m_J} \frac{p_J^4}{m_c^6} \frac{1}{m_c^2 + \frac{1}{4} m_J^2 - \frac{1}{2} m_G^2}$$

$$\times\left[2m_c^2 - \frac{4m_c^3}{m_J} + m_G p_J - \frac{2m_G m_c}{m_J} E_J\right]. \tag{5}$$

对于 $l=2$，$s=2$ 的 2^{++} D 波胶子球，得到

$$T_2 = \frac{64}{9} g^2 G(0)\phi_J(0) \frac{m_G^2\sqrt{m_J}}{m_c^4}\left[1 + \frac{p_J^2}{m_c^2}\left(1 - \frac{m_G p_J}{m_J m_c}\right)\right],$$

$$T_1 = \frac{128}{3\sqrt{7}} g^2 G(0)\phi_J(0) \frac{m_G^2}{m_c^4\sqrt{m_J}}\left[\frac{p_J^2 m_G}{m_c^2 + \frac{1}{4} m_J^2 - \frac{1}{2} m_G^2} + \frac{E_J}{2\sqrt{3}}\right],$$

$$T_0 = \frac{128}{3\sqrt{3}} g^2 G(0)\phi_J(0) \frac{m_G^2\sqrt{m_J}}{m_c^4}\left\{\frac{1}{\sqrt{3}} + \frac{1}{3}\frac{p_J^2}{m_c^2 + \frac{1}{4} m_J^2 - \frac{1}{2} m_G^2}\right.$$

$$\left.\left[-\frac{1}{2} + \frac{m_c}{m_J} - \frac{m_G p_J}{4m_c^2} + \frac{m_G E_J}{2m_c m_J}\right]\right\}. \tag{6}$$

最后，对于 $l=2$，$s=2$ 的 4^{++} D 波胶子球，

$$T_2 = \frac{64}{9} g^2 G(0)\phi_J(0) \frac{m_G^2\sqrt{m_J}}{m_c^4}\left\{1 + \frac{p_J^2}{m_c^2}\left(1 - \frac{m_G p_J}{m_c m_J}\right)\right\},$$

$$T_1 = \frac{128}{3\sqrt{42}} g^2 G(0)\phi_J(0) \frac{m_G^2}{m_c^4\sqrt{m_J}}\left\{\frac{p_J^2 m_G}{m_c^2 + \frac{1}{4} m_J^2 - \frac{1}{2} m_G^2} - \sqrt{3}\, E_J\right\},$$

$$T_0 = \frac{128}{3\sqrt{114}} g^2 G(0)\phi_J(0) \frac{m_G^2\sqrt{m_J}}{m_c^4}\left\{1 + \frac{\sqrt{3}\, p_J^2}{m_c^2 + \frac{1}{4} m_J^2 - \frac{1}{2} m_G^2}\right.$$

$$\left.\times\left[1 - \frac{2m_c}{m_J} + \frac{m_G p_J}{2m_c^2} - \frac{m_G E_J}{m_c m_J}\right]\right\}. \tag{7}$$

因此，由

$$x = T_1/T_0,\quad y = T_2/T_0 \tag{8}$$

定义的螺旋性振幅之比包含的唯一参数为粲夸克的质量 m_c。表 1 列出了相应于三种 2^{++}

表 1

m_c (GeV)	$l=0,\ s=2$		$l=2,\ s=0$		$l=2,\ s=2$	
	x	y	x	y	x	y
1.1	0	0.52	2.1	0	0.90	0.52
1.3	0	0.55	2.8	0	0.75	0.54
1.5	0	0.72	3.6	0	0.65	0.54
1.7	0	0.76	4.4	0	0.59	0.54

胶子球的 x 和 y 的理论值随 m_c 的变化．对于 4^{++} 的 D 波胶子球有 $|x|,|y|>3.8(1.1\leqslant m_c\leqslant 1.7\ \text{GeV})$．

三、讨　论

表 1 给出的理论值与实验值(1)的比较表明，当胶子只有横极化态时，$\xi(2230)$ 不可能是纯 S 波(或纯 D 波)的 2^{++} 胶子球．但是，我们可以像文献[11]那样，对 S 波和 D 波进行混合，并选择适当的混合参数，使 x 和 y 的理论值和实验值符合得很好．(例如，对于固定的 $m_c=1.3\text{GeV}$，可选 $a=0.088$，$b=0.097$，使 x 和 y 的值和 (1) 完全符合．) 因此，ξ 粒子有可能是一个 S 波和 D 波混合的 2^{++} 胶子球． 上述结论和胶子有三种极化态时的结论是一样的，差别仅在于混合参数不同．

纯 D 波的 4^{++} 胶子球预言的 $|x|,|y|>3.8$，和实验值(2)不符，从而排除了 ξ 粒子是 4^{++} 纯 D 波胶子球的可能性．这个结论和胶子有三种极化态时的结论正好相反[11]．

参 考 文 献

[1] D. L. Scharre et al., *Phys. Lett.*, **97B**(1980), 329;
C. Edwards et al., *Phys. Rev. Lett.*, **49**(1982), 259.
[2] C. Edwards et al., *Phys. Rev. Lett.*, **48**(1982), 458;
R. M. Baltrusaitis et al., *Phys. Rev.*, **D35**(1987), 2077.
[3] F. Binon et al., *Nuovo Cimento*, **78A**(1983), 313.
[4] K. F. Einsweiler, SLAC-PUB-3202(1983);
R. M. Baltrusaitis et al., *Phys. Rev. Lett.*, **56**(1986), 107.
[5] A. Etkin et al., *Phys. Rev. Lett.*, **49**(1982), 1620.
[6] J. M. Cornwall and A. Soni, *Phys. Lett.*, **120B**(1983), 431.
[7] D. Robson, *Nucl. Phys.*, **B130**(1977), 328.
[8] Ted Barnes, *Z. Phys.*, **C10**(1981), 275.
[9] R. Jaffe and K. Johnson, *Phys. Lett.*, **60B**(1976), 201.
[10] B. F. L. Ward, *Phys. Rev.*, **D31**(1985), 2849; *Phys. Rev.*, **D32**(1986), 1260.
[11] Qi Xing Shen and Hong Yu, *Phys. Lett.*, **247B**(1990), 418.
[12] G. Eigen, CALT-68-1483(1987).
[13] M. S. Chanowitz, LBL-16489(1983).

The Polarization States of the Gluon and the Glueball Interpretation of the $\xi(2230)$

SHEN QIXING　YU HONG
(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing 100039)

ABSTRACT

The giueball interpretation of the ξ (2230) is discussed when the gluon has only the transverse components.