

# BES 上 $J/\psi \rightarrow \gamma \pi^0 \pi^0$ 的实验研究\*

BES 合作组

白景芝	卞建国	柴正维	陈光培	陈宏芳 <sup>1</sup>	陈江川
陈雅清	陈宇	陈元柏	程宝森	崔象宗	丁慧良
董燎原	杜志珍	冯胜	高翠山	高美丽	高树琦
顾建辉	顾树棣	顾维新	顾以藩	过雅南	郭子金
韩世温	韩纓	何景棠	何炬	何瑁 <sup>2</sup>	胡贵云
胡海明	胡敬亮	胡琼辉	胡涛	胡晓庆	黄俊东
黄因智	姜春华	金艳	柯尊建	赖元芬	郎鹏飞
李灿国	李德	李海波	李金	李佩琴	李如柏
李蔚	李卫东	李卫国	李新华	李小南	刘怀民
刘靖	刘经华	刘荣光	刘延	吕峰	吕军光
鲁建业	卢兰春	罗春晖	马爱民	马恩成	马基茂
毛慧顺	毛泽普	孟祥承	聂晶	漆纳丁	祁向荣
钱诚德 <sup>4</sup>	邱进发	屈云河	阙友昆	荣刚	邵毓莺
沈本蔚	沈定力	沈红	沈肖雁	盛华义	史焕章
宋晓非	孙舫	孙汉生	唐素秋	童国梁	王锋
王临洲	王灵淑	王曼	王萌	王佩良	王平
王少敏	王泰杰	王运永	魏诚林	吴义根	席德明
夏小米	谢佩佩	谢昱	谢跃红	熊伟军	徐春成
许国发	薛生田	颜洁	严武光	杨长友	杨春敏
杨杰	杨晓峰	叶铭汉	叶树伟 <sup>1</sup>	叶云秀 <sup>1</sup>	易凯

1998-06-15收稿

\* 国家自然科学基金和中国科学院重大基础研究项目资助

于传松	喻纯旭	虞炎华 <sup>3</sup>	余志堂	郁忠强	苑长征
袁野	张炳云	张长春	张达华	张德红	张会领
张建	张家文	张锦龙	张良生	张勤俭	张少强
张学尧 <sup>2</sup>	张羽	张月元	赵棣新	赵海文	赵京伟
赵萌	赵维仁	赵政国	郑建平	郑林生	郑志鹏
周光谱	周化十	周莉	朱启明	祝玉灿	朱永生
庄保安					

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

1 (中国科学技术大学近代物理系 合肥 230026)

2 (山东大学物理系 济南 250100)

3 (杭州大学物理系 杭州 310028)

4 (上海交通大学应用物理系 上海 200030)

**摘要** 基于北京谱仪收集的  $7.0 \times 10^6$  有中性触发的  $J/\psi$  事例, 分析了  $J/\psi \rightarrow \gamma \pi^0 \pi^0$  衰变道. 除了在  $\pi^0 \pi^0$  不变质量谱中看到了众所周知的  $f_2(1270)$  外, 还证实了  $f_J(1710)$  和  $\xi(2230)$  的存在, 同时给出了它们的质量以及相应的衰变分支比.

**关键词** 胶子球 北京谱仪  $J/\psi$  辐射衰变  $\xi(2230)$  粒子 衰变分支比

## 1 引言

QCD 被认为是描述强相互作用的基本理论, 它的非阿贝尔规范特性使得传递相互作用的胶子之间存在自相互作用. 由此, QCD 预言: 两个或多个胶子可以组成束缚态——胶子球. 胶子球的发现不仅将是对 QCD 理论的直接验证, 同时, 由于胶子球是参与强相互作用的全新类型的强子, 对它的性质的研究将有助于理解强相互作用的本质. 然而, 经过二十多年理论和实验的努力, 仍然未能从实验上确定胶子球的存在. 一方面是因为目前的理论还不能可靠地计算胶子球的质量、衰变宽度以及产生截面等, 从而给出确定胶子球的足够的判据. 其次, 1.0—3.0 GeV 质量范围内的介子谱非常复杂, 而且, 胶子球与普通介子态可以混合. 这些都给实验寻找胶子球带来困难. 即使如此, 实验上仍然发现了几个胶子球的候选态, 如  $\xi(2230)^{[1,2]}$ ,  $f_J(1710)^{[3,4]}$ ,  $f_0(1500)^{[5,6]}$  和  $\iota(1440)^{[7]}$  等.

近来, BES 对  $J/\psi \rightarrow \gamma K^+ K^-$  衰变道的分析表明<sup>[8]</sup>,  $f_J(1710)$  质量区间有两个结构.  $0^{++}$  标量态位于 1.78 GeV 附近, 而张量态却位于 1.69 GeV. 这一结果将有助于我们更好地理解  $f_J(1710)$  态.  $\xi(2230)$  是由 Mark3 合作组<sup>[9]</sup> 首先在  $J/\psi \rightarrow \gamma K\bar{K}$  衰变道中发现的. BES 利用所获取的  $8 \times 10^6 J/\psi$  事例, 不仅在同一衰变道中证实了  $\xi(2230)$  的存在, 而且还首次观察到  $\xi(2230)$  的两个非奇异衰变模式,  $\xi(2230) \rightarrow p\bar{p}$  和  $\pi^+ \pi^-$ .  $\xi(2230)$  非奇异衰变模式

的发现及其在上述衰变中显示出的味对称性都体现了一定的胶子球特征<sup>[1,2]</sup>,从而引起了人们的极大兴趣. 但是,到目前为止,我们所具有的实验信息仍然不足以确认这些态是不是胶球. 因此,从更多的衰变模式中研究这些态就显得尤其重要.

对 $J/\psi \rightarrow \gamma \pi^+ \pi^-$ 的分析表明<sup>[1]</sup>, $\pi^+ \pi^-$ 不变质量谱中存在 $\xi(2230)$ ,而且在 $f_2(1270)$ 质量的高端有一个“肩膀”,同时有 $f_J(1710)$ 存在的迹象. 但是,由于 $J/\psi \rightarrow \rho \pi$ 对该道的污染较大,我们无法给出清楚的 $f_J(1710)$ 信号以及 $f_2(1270)$ 质量高端的结构. $J/\psi \rightarrow \pi^0 \pi^0$ 以及 $J/\psi \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$ 是C宇称禁戒反应,同时, $J/\psi \rightarrow \rho \pi$ 道也不会污染到纯中性的 $J/\psi \rightarrow \gamma \pi^0 \pi^0$ . 与相应的带电 $J/\psi \rightarrow \gamma \pi^+ \pi^-$ 衰变道相比, $J/\psi \rightarrow \gamma \pi^0 \pi^0$ 的本底小得多. 因此,对 $J/\psi \rightarrow \gamma \pi^0 \pi^0$ 的分析将有助于认识1.2, 1.7以及2.2GeV附近的结构. Crystal Ball合作组<sup>[10]</sup>曾研究过 $J/\psi \rightarrow \gamma \pi^0 \pi^0$ 道,但在 $\pi^0 \pi^0$ 不变质量谱中只观察到 $f_2(1270)$ 质量附近一个很宽的分布. 本文将报告BES对该道的分析结果. 由于BES收集的 $9.0 \times 10^6$   $J/\psi$ 事例中只有约 $7.0 \times 10^6$ 个 $J/\psi$ 事例是有中性触发的,因此,我们的分析将基于这 $7.0 \times 10^6$ 个有中性触发的 $J/\psi$ 事例.

## 2 事例选择与结果

文献[11]已详细描述了BES探测器. 这里只简单介绍在探测中性径迹时主要用到的BES桶部簇射探测器(BSC). BSC具有较好的位置和角度分辨. BSC沿 $z$ 轴( $e^+$ 束流方向)方向的位置分辨和垂直于 $z$ 轴的平面上的角度分辨分别为: $\sigma_z = 36\text{mm}$ ,  $\sigma_\phi = 7.9\text{mrad}$ ,而能量分辨却相对较差, $\Delta E/E = 22\%/\sqrt{E}$  ( $E$ 是以GeV为单位的能量). 在事例选择中,将尽可能多的利用光子的位置和角度信息,以弥补能量分辨的不足.

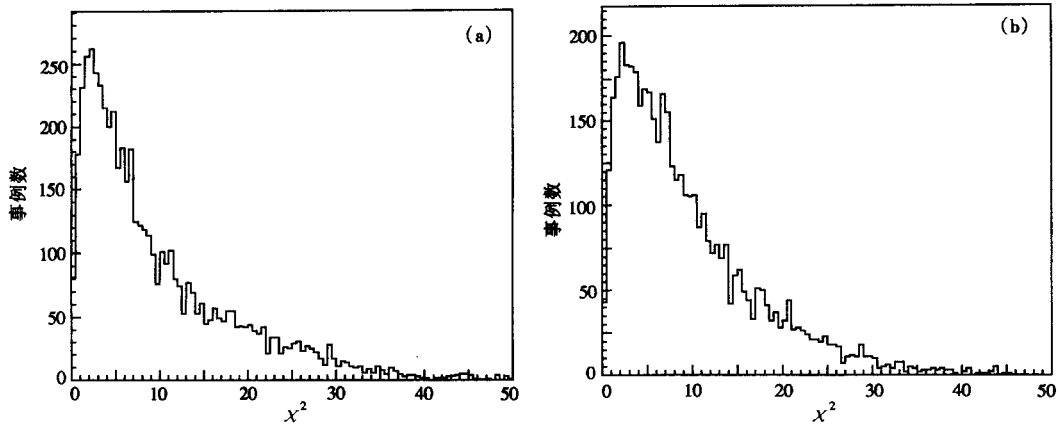
我们所研究的过程是5个光子的末态. 所以,事例选择的主要任务是尽可能地排除噪声光子,选择出物理光子. 首先,要求选取的事例中含有5到10根中性径迹,且这些中性径迹都落在极角范围 $|\cos\theta| < 0.75$ 之内. 其次,只有那些在BSC中至少有两层击中,且沉积的能量不低于50MeV的中性簇团被认为是可能的物理光子. 为去除不是来自于对撞中心的中性径迹,BSC中首层击中点和对撞中心的连线方向与簇团在BSC中发展方向之间的夹角应小于某一值,即 $\delta_c < 0.2$ . 这里,

$$\delta_c = (cx - scx)^2 + (cy - scy)^2 + (cz - scz)^2, \quad (1)$$

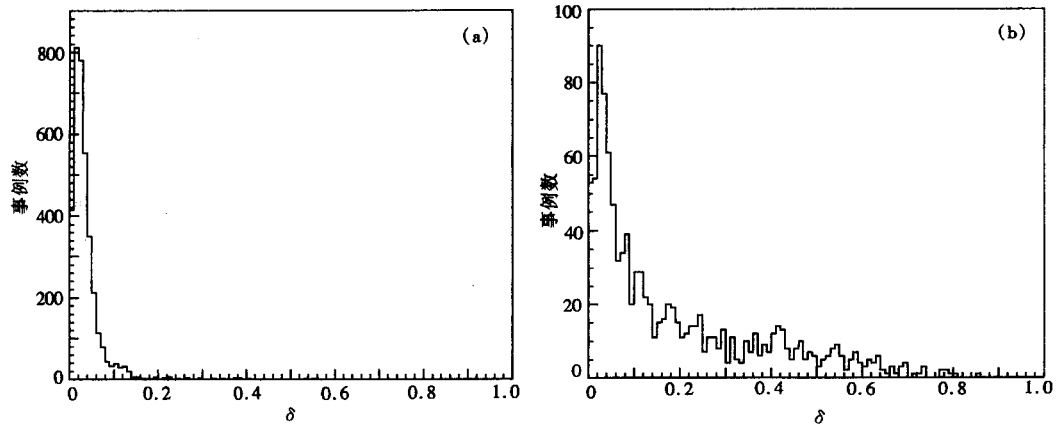
$cx$ ,  $cy$ ,  $cz$ 是光子在BSC中的首层击中点与对撞点连线方向的方向余弦,  $scx$ ,  $scy$ ,  $scz$ 是簇射在BSC中发展方向的方向余弦. 满足上述要求的中性径迹,被认为是物理光子. 其数目至少为5,但不超过7. 然后,将选择出的物理光子通过假设为 $5\gamma$ 末态事例的4C运动学拟合,事例的总能量和总动量被约束在 $J/\psi$ 的能量和动量. 对光子数大于5的情形,则对所有可能的 $5\gamma$ 组合进行4C拟合,并保留 $\chi^2_{4C}$ 最小的一种组合. Monte-Carlo数据与真实数据的 $\chi^2_{4C}$ 分布如图1所示.

由挑选出来的5个光子构成 $\gamma \pi^0 \pi^0$ 事例的可能组合一共有15种. 引入变量 $\delta$ ,

$$\delta = \sqrt{(M_{\gamma_1 \gamma_2} - M_{\pi^0})^2 + (M_{\gamma_3 \gamma_4} - M_{\pi^0})^2}. \quad (2)$$

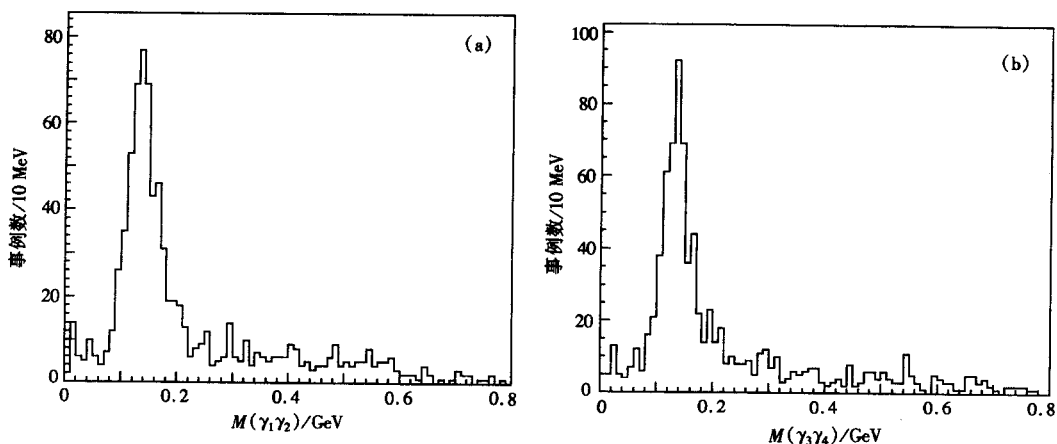
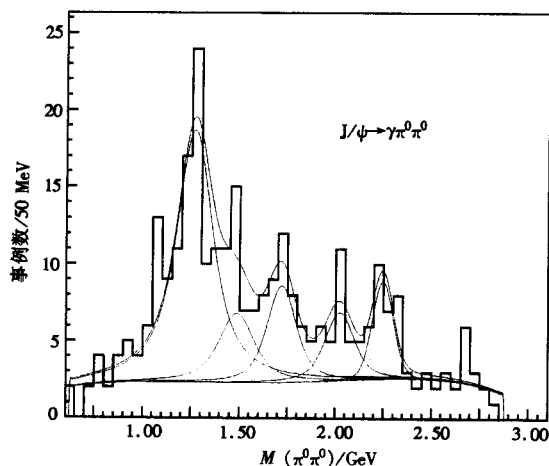
图1 4C运动学拟合的 $\chi^2$ 分布(a) 真实数据的 $\chi^2$ 分布; (b) MC数据的 $\chi^2$ 分布.

$\delta$  最小的组合即被认为是实际的组合. 图 2(a), (b) 分别为 Monte-Carlo 数据与真实数据的  $\delta$  分布. 从图中可以看出, 真实数据的  $\delta$  分布在大于 0.1 处仍有一定的概率. 说明经过上述事例筛选后, 仍有部分本底混入.

图2  $\delta$  分布图(a) Monte-Carlo 数据的  $\delta$  分布; (b) 真实数据的  $\delta$  分布.

$J/\psi \rightarrow \gamma\pi^0$ ,  $\gamma\eta$ ,  $\gamma\eta'$ ,  $\omega\pi^0$  和  $\omega f_2(1270)$  被认为是  $J/\psi \rightarrow \gamma\pi^0\pi^0$  的主要本底道. 采用 Monte-Carlo 方法, 分析了这些道对结果的可能影响.  $J/\psi \rightarrow \gamma\pi^0$  的分支比较小 ( $\sim 10^{-5}$ ), 而且末态光子的能量相对较大, 因此, 这一道几乎不会混入我们所分析的道. 对于过程  $J/\psi \rightarrow \gamma\eta$ ,  $\eta \rightarrow 3\pi^0$ , 经过事例选择条件后, 尚存大约 160 个事例. 所幸的是, 这些事例几乎都堆积在  $\pi^0\pi^0$  不变质量谱中低于 0.8 GeV 处, 远离我们的分析区间.  $J/\psi \rightarrow \gamma\eta'$ ,  $\eta' \rightarrow 2\pi^0\eta$  道在经过事例筛选后, 仍留下 36 个事例. 但这些事例在小于 1.2 GeV 处有一个峰, 不会影响分析结果. 而来自于  $\omega\pi^0$  的本底则大多可以由以下条件去除.

$$|M_{\gamma\pi^0} - M_{\omega}| > 30 \text{ MeV}/c^2. \quad (3)$$

图3  $\pi^0$ 不变质量谱(a)  $\gamma_1\gamma_2$ 的不变质量谱; (b)  $\gamma_3\gamma_4$ 的不变质量谱.图4  $\pi^0\pi^0$ 不变质量谱

至于过程  $J/\psi \rightarrow \omega f_2(1270) \rightarrow 7\gamma$ , 其分支比为  $1.0 \times 10^{-4}$ , 选择效率为 1.4%. 最终仍有 11 个事例混入我们所分析的  $\pi^0\pi^0$  不变质量谱, 并对  $\pi^0\pi^0$  谱提供一个比较平坦的本底.

为了更大程度地去除本底, 要求  $\delta < 0.1 \text{ GeV}/c^2$  和  $\chi^2_{4C} < 13.0$ , 得到最后的  $J/\psi \rightarrow \gamma\pi^0\pi^0$  事例样本. 该事例样本的两对光子的不变质量谱示于图 3, 从中可以看到清楚的  $\pi^0$  信号. 图 4 显示的是  $\pi^0\pi^0$  不变质量谱. 除了众所周知的  $f_2(1270)$  信号外, 还观察到了  $\xi(2230)$  和  $f_J(1710)$ . 同时,  $f_2(1270)$  质量高端 (约 1.5 GeV) 处的“肩膀”比  $\pi^+\pi^-$  不变质量谱更明显. 根据 Monte-Carlo 模拟, 1.7 GeV 和 2.23 GeV 区域的质量分辨约为 50 MeV, 选择效率分别为 5.4% 和 4.6%. 用一个平滑的本底函数和五个与高斯分辨函数卷积后的 Breit-Wigner 函数, 对  $\pi^0\pi^0$  不变质量谱进行不分 bin 的最大似然拟合. 由于该道的质量分辨较差, 统计又低, 在拟合时, 将  $f_2(1270)$  的质量和宽度固定在 PDG 值, 并将  $f_J(1710)$  和  $\xi$

(2230)的宽度固定在文献 [8]和 [1]测得的宽度值. 拟合得到的  $f_j(1710)$ 和  $\xi(2230)$ 的质量及分支比如下所示. 其中,分支比的第一项误差是统计误差;第二项误差为系统误差,来源于事例选择条件及本底形状的改变所带来的误差,拟合时不同的固定宽度带来的误差以及探测效率和  $J/\psi$ 总数的不确定性导致的误差. 由于质量的系统误差与统计误差相比可以忽略不计,因此,只列出了共振态质量的统计误差.

$$\begin{aligned}
 M_{f_j(1710)} &= (1720 \pm 39) \text{ MeV}, \\
 \Gamma_{f_j(1710)} &= 100 \text{ MeV (fixed)}, \\
 Br(J/\psi \rightarrow \gamma f_j(1710)) \cdot Br(f_j(1710) \rightarrow \pi^0 \pi^0) &= \\
 &= (8.3 \pm 5.3 \pm 2.8) \times 10^{-5}, \\
 M_{\xi(2230)} &= (2246 \pm 36) \text{ MeV}, \\
 \Gamma_{\xi(2230)} &= 20 \text{ MeV (fixed)}, \\
 Br(J/\psi \rightarrow \gamma \xi(2230)) \cdot Br(\xi(2230) \rightarrow \pi^0 \pi^0) &= \\
 &= (4.5 \pm 2.6 \pm 1.3) \times 10^{-5}.
 \end{aligned}$$

从  $Br(J/\psi \rightarrow \gamma f_2(1270)) \cdot BR(f_2(1270) \rightarrow \pi^0 \pi^0)$ 的拟合值  $(3.08 \pm 0.78 \pm 1.06) \times 10^{-4}$ ,可以计算出,  $Br(J/\psi \rightarrow \gamma f_2(1270)) = (1.2 \pm 0.7) \times 10^{-3}$ ,与 PDG 值符合很好. 除此之外,  $Br(J/\psi \rightarrow \gamma \xi(2230)) \cdot Br(\xi(2230) \rightarrow \pi^0 \pi^0)$ 在考虑了同位旋因子后,与  $J/\psi \rightarrow \gamma \pi^+ \pi^-$ 的结果<sup>[1]</sup>在误差范围内相符.

### 3 结论

基于 BES 获取的  $J/\psi$ 事例,我们分析了  $J/\psi \rightarrow \gamma \pi^0 \pi^0$ 衰变道,观察到了  $\xi(2230)$ 和  $f_j(1710)$ ,并给出了其质量和衰变分支比.  $f_2(1270)$ 质量高端的“肩膀”很明显,有  $X(1500)$ 存在的迹象. 这些结果从一个侧面为我们提供了这些态的性质. 然而,仅仅这些信息不足以说明我们所感兴趣的问题,还有待分析更多的衰变道,如  $J/\psi \rightarrow \gamma \eta \eta$ ,  $\gamma \eta \eta'$ 及  $\gamma \eta' \eta'$ 等,并进行共振态的自旋、宇称分析.

感谢加速器部门和计算中心的工作人员. 感谢北京大学赵光达和李振平教授对于本工作提出的许多有益建议.

### 参 考 文 献

- 1 Bai J Z et al. BES Collaboration. Phys. Rev. Lett., 1996, **76**:3502
- 2 Huang T et al. Phys. Lett., 1996, **B380**:189
- 3 Weingarten D. Nucl. Phys. (Proc. Suppl.), 1994, **B34**:29
- 4 Particle Data Group, Barnett R M et al. Phys. Rev., 1996, **D54**:1

- 5 Anisovich V et al. Phys. Lett., 1994, **B323**:233; Amsler C et al. phys. Lett., 1994, **B342**:433; 1992, **B291**:347; 1994, **B340**:259
- 6 Amsler C, Close F E. Phys. Lett., 1995, **B353**:385; Phys Rev., 1996, **D53**:295
- 7 Ishikawa K. Phys. Rev. Lett., 1981, **46**:978; Chanowitz M. Phys. Rev. Lett., 1981, **46**:981
- 8 Bai J Z et al. Phys. Rev. Lett., 1996, **77**:3959
- 9 Baltrusaitis R M et al. Phys. Rev. Lett., 1986, **56**:107; Einsweiler K F. Ph. D Thesis, SLAC Report No. SLAC-272, 1984 (unpublished)
- 10 Köpke L, Wermes N. Phys. Rep., 1989, **174**:67
- 11 Bai J Z et al. Nucl. Instr. Meth., 1994, **A344**:319

### Study of $J/\psi \rightarrow \gamma \pi^0 \pi^0$ at BES\*

BES Collaboration

Bai Jingzhi Bian Jianguo Chai Zhengwei Chen Guangpei Chen Hongfang<sup>1</sup>  
 Chen Jiangchuan Chen Yaqing Chen Yu Chen Yuanbo Cheng Baosen  
 Cui Xiangzong Ding Huiliang Dong Liaoyuan Du Zhizhen Feng Sheng  
 Gao Cuishan Gao Meili Gao Shuqi Gu Jianhui Gu Shudi Gu Weixin  
 Gu Yifan Guo Yanan Guo Zijin Han Shiweng Han Ying He Jingtang  
 He Ju He Mao<sup>2</sup> Hu Guiyun Hu Haiming Hu Jingliang Hu Qionghui  
 Hu Tao Hu Xiaoqing Huang Jundong Huang Yinzhi Jiang Chunhua  
 Jin Yan Ke Zunjian Lai Yuanfen Lang Pengfei Li Canguo Li De  
 Li Haibo Li Jin Li Peiqin Li Rubo Li Wei Li Weidong Li Weiguo  
 Li Xinhua Li Xiaonan Liu Huaimin Liu Jing Liu Jinghua  
 Liu Rongguang Liu Yan Lu Feng Lu Jinguang Lu Jianye Lu Lanchun  
 Luo Chunhui Ma Aimin Ma Encheng Ma Jimao Mao Huishun  
 Mao Zepu Meng Xiangcheng Nie Jing Qi Nading Qi Xiangrong  
 Qian Chengde<sup>4</sup> Qiu Jinfa Qu Yunhe Que Youkun Rong Gang  
 Shao Yuying Shen Bengwei Shen Dingli Shen Hong Shen Xiaoyan  
 Sheng Huayi Shi Huanzhang Song Xiaofei Sun Fang Sun Hansheng  
 Tang Suqiu Tong Guoliang Wang Feng Wang Linzhou Wang Lingshu  
 Wang Man Wang Meng Wang Peiliang Wang Ping Wang Shaomin  
 Wang Taijie Wang Yunyong Wei Chenglin Wu Yigen Xi Deming  
 Xia Xiaomi Xie Peipei Xie Yu Xie Yuehong Xiong Weijun  
 Xu Chuncheng Xu Guofa Xue Shengtian Yan Jie Yan Wuguang  
 Yang Changyou Yang Chunmin Yang Jie Yang Xiaofeng Ye Minghan  
 Ye Shuwei<sup>1</sup> Ye Yunxiu<sup>1</sup> Yi Kai Yu Chuansong Yu Chunxu Yu Yanhua<sup>3</sup>  
 Yu Zhitang Yu Zhongqiang Yuan Changzheng Yuan Ye Zhang Binyun

Zhang Changchun Zhang Dahua Zhang Dehong Zhang Huiling Zhang Jian  
Zhang Jiawen Zhang Jinlong Zhang Liangsheng Zhang Qinjian  
Zhang Shaoqiang Zhang Xueyao<sup>2</sup> Zhang Yu Zhang Yueyuan Zhao Dixin  
Zhao Haiwen Zhao Jingwei Zhao Meng Zhao Weiren Zhao Zhengguo  
Zheng Jianping Zheng Linsheng Zheng Zhipeng Zhou Guangpu  
Zhou Huashi Zhou Li Zhu Qiming Zhu Yucan Zhu Yongsheng  
Zhuang Baoan

(*Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039*)

1 (*University of Science and Technology of China, Hefei 230026*)

2 (*Shandong University, Jinan 250100*)

3 (*Hangzhou University, Hangzhou 310028*)

4 (*Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030*)

**Abstract** The decay  $J/\psi \rightarrow \gamma \pi^0 \pi^0$  is studied with  $7.0 \times 10^6$  produced  $J/\psi$  events collected by the Beijing Spectrometer (BES) with the trigger mode sensitive to both charged and neutral final state at the Beijing Electron-Positron Collider (BEPC). The evidences for the existence of  $f_j(1710)$  and  $\xi(2230)$  in this channel are presented, and the corresponding masses as well as the product branching ratios are obtained.

**Key words** glueball, BES,  $J/\psi$  radiative decay,  $\xi(2230)$ , branching ratio

---

Received 15 June 1998

\*Supported by the National Natural Science Foundation and the Chinese Academy of Sciences