

$$\sqrt{s} = 4.03 \text{ GeV} \text{ 下 } \tau^{\pm} \rightarrow \pi^{+} \pi^{-} \pi^{\pm} \nu_{\tau}$$

## 衰变的测量\*

BES 合作组

白景芝	陈光培	陈宏芳 <sup>①</sup>	陈少敏	陈申见	陈雅青	陈宇	陈元柏
陈向阳	程宝森	崔化传	崔象宗	丁慧良	杜志珍	范晓聆	方建
高翠山	高美丽	高树琦	高文绣	顾建辉	顾树棣	顾维新	顾以藩
过雅南	韩缨	韩世温	何炬	何瑁 <sup>②</sup>	何可人	胡贵云	胡洪波
胡涛	胡晓庆	黄德强	黄因智	姜春华	姜志进 <sup>②</sup>	金艳	康书辉
赖元芬	郎鹏飞	兰慧彬	李芳	李金	李群 <sup>②</sup>	李佩琴	李如柏
李蔚	李卫东	李卫国	李玉山	李勇	李小南	林树子	刘怀民
刘琦	刘荣光	刘延	刘经华	刘振安	吕军光	吕锋	罗勇
马爱民	马东红	马恩成	马基茂	毛慧顺	毛泽普	孟祥承	倪蕙苓
聂晶	漆纳丁	阙友昆	荣刚	邵毓莺	沈红	沈肖雁	沈定力
盛华义	宋晓非	史焕章	孙舫	孙汉生	谈益平	童国良	唐素秋
王临洲	王曼	王灵淑	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	谢小希	许榕生	徐芷青
徐德之	许明康 <sup>③</sup>	许亚娣	薛生田	颜浩	严武光	易凯	杨长友
杨春敏	杨蔚	叶铭汉	叶诗章	叶树伟 <sup>①</sup>	喻纯旭	郁忠强	于传松
虞炎华	苑长征	曾吉阳	张炳云	张长春	张达华	张会领	张建
张家文	张少强	张良生	张羽	张月元	庄保安	赵棣新	赵萌
赵京伟	赵平德	赵维仁	郑建平	郑林生	郑志鹏	周光谱	周化十
周莉	周月华	周小帆	祝红国	朱启明	祝玉灿	朱永生	

O. Bardon<sup>7</sup>, I. Blum<sup>11</sup>, A. Breakstone<sup>9</sup>, T. Buennett<sup>12</sup>, J. Campbell<sup>11</sup>, J. Chen<sup>6</sup>, R. Cowan<sup>7</sup>, W. Dunwoodie<sup>8</sup>, M. Fero<sup>7</sup>, P. Gratton<sup>11</sup>, F. Harris<sup>9</sup>, M. Hatanaka<sup>5</sup>, D. Hitlin<sup>5</sup>, J. M. Izen<sup>11</sup>, Q. P. Jia<sup>6</sup>, L. Jones<sup>5</sup>, M. Kelsey<sup>5</sup>, B. Kim<sup>11</sup>,

\* 国家自然科学基金资助.

A. Lankford<sup>10</sup>, X. C. Lou<sup>11</sup>, B. Lowery<sup>11</sup>, R. Malchow<sup>6</sup>, M. Mandelkern<sup>10</sup>,  
H. Marsiske<sup>8</sup>, S. Olsen<sup>9</sup>, J. Oyang<sup>5</sup>, D. Paluselli<sup>9</sup>, L. J. Pan<sup>9</sup>, J. Panetta<sup>5</sup>,  
F. Porter<sup>5</sup>, F. Prabhakar<sup>5</sup>, J. Quigley<sup>5</sup>, M. Schernau<sup>10</sup>, B. Schmid<sup>10</sup>, T. J.  
Shank<sup>4</sup>, X. R. Shi<sup>5</sup>, H. Shipman<sup>11</sup>, J. Shultz<sup>10</sup>, A. Smith<sup>10</sup>, E. Soderstrom<sup>8</sup>,  
J. Standifird<sup>11</sup>, D. Stoker<sup>10</sup>, J. Synodinos<sup>8</sup>, W. Toki<sup>6</sup>, E. Torrence<sup>7</sup>, S.  
Whittaker<sup>4</sup>, R. Wilson<sup>5</sup>, W. Wisniewski<sup>13</sup>, R. Yamamoto<sup>7</sup>, G. Zioulas<sup>10</sup>

(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 *Boston University, Boston, Massachusetts 02215*

5 *California Institute of Technology, Pasadena, California 91125*

6 *Colorado State University, Fort Collins, Colorado 80523*

7 *Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 02139*

8 *Stanford Linear Accelerator Center, Stanford, California 94309*

9 *University of Hawaii, Honolulu, Hawaii 96822*

10 *University of California, Irvine, California 92717*

11 *University of Texas, Dallas, Richardson, Texas 75083-0688*

12 *University of Washington, Seattle, Washington 98195*

13 *Superconducting Supercollider Laboratory, Dallas, Texas 75237-3946*

1994-11-01 收稿

## 摘 要

利用北京谱仪 (BES) 在 4.03GeV 正负电子对撞能量下获取的数据,研究了  $\tau^+\tau^-$  产生过程。借助双标记方法分析了  $\tau^\pm \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^\pm\nu_\tau$  衰变事例。测定分支比  $Br(\tau^\pm \rightarrow a_1^\pm\nu_\tau \rightarrow \rho^0\pi^\pm\nu_\tau, \rho^0 \rightarrow \pi^+\pi^-) = (7.3 \pm 0.5)\%$ ,  $Br(\tau^\pm \rightarrow K^{*\pm}\nu_\tau \rightarrow K_s^0\pi^\pm\nu_\tau, K_s^0 \rightarrow \pi^+\pi^-) = (6.0 \pm 1.5) \times 10^{-3}$ 。并由 Dalitz 投影分布的分析,确认  $a_1$  的主要衰变方式  $\rho\pi$ 。同时,也观察到  $a_1$  衰变中以  $S$  波贡献为主的现象。采用 Kühn 模型拟合实验数据,得到:  $m_{a_1} = 1.24 \pm 0.02\text{GeV}$ ,  $\Gamma_{a_1} = 0.57 \pm 0.07\text{GeV}$ 。

**关键词**  $\tau$  衰变,  $3\pi$  分支比、Dalitz 投影、共振参数。

## 1 引 言

$\tau^\pm$  衰变的  $\pi^+\pi^-\pi^\pm\nu_\tau$  末态,在理论上可以由两种两体衰变过程加以描述。其中,  $\tau$  衰变为一个共振态与  $\tau$  中微子:

$$\tau^\pm \rightarrow a_1^\pm\nu_\tau \rightarrow \rho^0\pi^\pm\nu_\tau \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^\pm\nu_\tau, \quad (1)$$

$$\tau^\pm \rightarrow K^{*\pm}\nu_\tau \rightarrow K_s^0\pi^\pm\nu_\tau \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^\pm\nu_\tau. \quad (2)$$

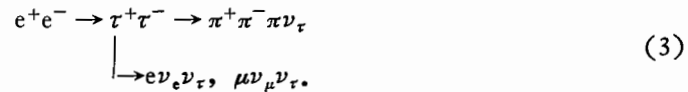
在弱作用理论中,强子流与  $W$  玻色子进行耦合时,将产生不含奇异数的轴矢量部分与含奇异数的矢量部分,分别对应于上述两种过程。虽然在高于  $\tau$ -Charm 能区的能量点上已

研究这两种衰变,但由于粒子动量较高,粒子分辨困难,会造成分支比测量中存在较大的误差<sup>[1]</sup>。同样地,由于本底(份额约占 20—30%)的影响, $a_1$ 的共振参数长期成为理论与实验研究的对象。一般从  $\tau$  衰变中测量得到的  $a_1$  共振态质量与宽度都比从强子碰撞反应中得到的要大。

本文首次研究在正负电子对撞能量  $4.03\text{GeV}$  处,  $\tau^\pm$  衰变为  $\pi^+\pi^-\pi^\pm\nu_\tau$  末态的过程。末态粒子动量的平均值在  $0.5\text{GeV}$  左右。北京谱仪 (BES)<sup>[2]</sup> 上飞行时间计数器 (TOF) 的时间和主漂移室 (MDC) 的  $dE/dx$  测量在该动量范围具有良好的  $\pi/K$  粒子分辨能力。这为研究衰变  $\tau^\pm \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^\pm\nu_\tau$  提供了有利条件。实验的总积分亮度为  $22.3 \pm 0.9\text{pb}^{-1}$ , 对应产生  $(76.3 \pm 0.2 \pm 3.1) \times 10^3$  个  $\tau^+\tau^-$  事例。其中第一项误差来自连续截面计算中各种辐射过程修正的精度;第二项误差为积分亮度的不确定程度。

## 2 事例选择

BEPC 处在  $\tau$ -Charm 能区,具有较大的  $\tau^+\tau^-$  产生截面。 $\tau^+\tau^-$  衰变的末态粒子并不具备明显的背对背拓扑特征,因此,实验拟采用双标记方法挑选事例。本文中,要求一个  $\tau$  衰变为  $e$  或  $\mu$  的纯轻子末态,而另一个  $\tau$  衰变为三个荷电  $\pi$  末态,即



$\tau$  事例的选择条件如下<sup>[3]</sup>:

- 1) 四根荷电径迹,总电荷为零,而且径迹动量范围在  $0.06$  到  $1.5\text{GeV}$  之间。
- 2) 对于不含  $K_s^0$  的事例,每根荷电径迹与对撞点之间的最短距离满足  $R_{xy} < 1.5\text{cm}$ ,  $|z| < 15\text{cm}$ , 以剔除非  $e^+e^-$  对撞产生的本底。
- 3) 径迹飞行方向为  $|\cos\theta_i| < 0.85$  ( $i = 1, 2, \dots, 4$ ), 以确保有良好的荷电粒子动量分辨率与粒子分辨能力。
- 4) 要求总动量丢失  $p_{\text{miss}}$  大于  $0.2\text{GeV}$ 。
- 5) 不含孤立光子  $N_\gamma$  或者  $\pi^0$ 。这里孤立光子定义为在量能器中的能量沉积大于  $80\text{MeV}$ , 与邻近的带电径迹的夹角  $\cos\alpha < 0.96$ , 并且飞行方向与簇射方向的夹角  $\cos\delta > 0.95$  的光子。该条件对于剔除含 Charm 本底与  $q\bar{q}$  本底十分有效。
- 6) 剔除两相交荷电径迹满足  $m_{ee} < 50\text{MeV}$  条件的光子转换成电子对本底。如果不含  $K_s^0$  的事例,需剔除满足  $|m_{\pi^+\pi^-} - m_{K_s^0}| < 50\text{MeV}$ , 且  $K_s^0$  衰变顶点到对撞点之间的距离  $D_{xy} > 0.5\text{cm}$ , 观测的  $K_s^0$  飞行方向与预期的飞行方向张角  $\cos\xi > 0.96$ 。
- 7) 荷电粒子识别,定义  $\chi^2(i) = \chi^2(i)_{\text{TOF}} + \chi^2(i)_{dE/dx}$ ,  $i$  代表各种不同的粒子假设,结合量能器的信息以及  $\mu$  计数器的信息,根据  $\chi^2$  的大小判断径迹动量在  $0.06$  与  $1.5\text{GeV}$  范围内的轻子 ( $e, \mu$ ), 与径迹动量在  $0.06$  与  $1.0\text{GeV}$  范围内的强子。事例应满足一个轻子与三个  $\pi$  条件。
- 8) 计算丢失粒子质量的平方,即要求  $(\sqrt{s} - E_{3\pi})^2 - p_{3\pi}^2 > 3.5\text{GeV}^2$ , 且  $(\sqrt{s} - E_{4\pi})^2 - p_{4\pi}^2 > 0.5\text{GeV}^2$ 。这里  $\sqrt{s}$  为  $e^+e^-$  质心能量。在第二式中将轻子看为  $\pi$ , 以剔

除因  $K$ 、 $\pi$  衰变或  $\pi^0$  丢失而造成的本底。

9) 对于不含  $K_s^0$  的事例, 要求三个  $\pi$  粒子满足顶点约束条件。

10) 采用文献[4]所定义的可观测量进一步确认  $3\pi$  事例:

$$\cos \psi = \frac{x((m_\tau^2 + m_{3\pi}^2) - 2m_{3\pi}^2)}{(m_\tau^2 - m_{3\pi}^2)\sqrt{x^2 - 4m_{3\pi}^2/s}}, \quad x = \frac{E_{3\pi}}{E_{\text{beam}}}, \quad (4)$$

要求  $-1 < \cos \psi < 1$ 。

表1 实验数据和各蒙特卡罗样本对于三个事例选择条件的筛选比率

条件 \ 模式	数据	$\tau^+\tau^-$	DD*	D* $\bar{D}$ *	D $^+\bar{D}$ $^-$	q $\bar{q}$
—	100%	100%	100%	100%	100%	100%
4叉, $N_\gamma = 0$	3.4%	5.9%	1.4%	0.5%	0.9%	4.5%
$p_{\text{miss}} > 0.2 \text{ GeV}$	2.7%	5.8%	1.4%	0.5%	0.9%	3.1%
轻子标记	0.3%	1.7%	0.4%	0.2%	0.3%	0.2%

表1列出了实验数据和各蒙特卡罗样本对于三个事例选择条件的筛选比率。可以看出四根荷电径迹和不含孤立光子条件有效地排除了含 Charm 本底。这是因为含 Charm 本底的衰变具有较大的粒子多重数, 且大都伴随光子或  $\pi^0$  的产生。而对于总动量丢失条件的限制仅对数据和  $q\bar{q}$  本底影响较为显著。轻子标记对各种样本均有明显的影响, 而以  $q\bar{q}$  最明显。这是因为大部分  $q\bar{q}$  强子事例不含有轻子产生。比率不为零主要是因粒子分辨的误判。由于 Charm 本底可以衰变为含轻子的末态, 因此, 本底的进一步剔除需要确定另一个  $\tau$  的三个荷电  $\pi$  末态衰变, 即所谓的双标记方法。在实验数据中共有 839 个事例通过上述所有的选择条件。

### 3 衰变过程与分支比测量

#### 3.1 不含 $K_s^0$ 的 $\tau^\pm \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^\pm\nu_\tau$ 衰变

图1给出了实验数据的  $\pi^+\pi^-\pi$  不变质量分布(带误差的实验点), 同时还给出了蒙特卡罗本底的分布(图中的阴影部分)。可以看出, 信号与本底分布的范围是一致的, 所不同的是本底呈相空间分布, 因而较宽。本底的存在会造成实验观察到的  $a_1$  信号变宽。因此, 不能简单地以  $\pi^+\pi^-\pi$  不变质量在  $1.2 \text{ GeV}$  上的堆积看作实验上观察到了  $a_1^\pm$  共振信号。进一步分析, 在实验数据  $\pi^+\pi^-\pi$  不变质量谱(见图2带误差的实验点)中, 可以看到强烈的  $\rho^0$  信号, 图中阴影部分为两同号  $\pi$  的不变质量分布, 带影线部分为蒙特卡罗本底的分布, 因此, 在非  $\tau$  衰变的本底分布中确实无信号出现。根据  $a_1$  主要衰变为  $\rho\pi$  的特点, 可以断定观察到  $\tau^\pm \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^\pm\nu_\tau$  过程。轻子标记下  $\tau^\pm \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^\pm\nu_\tau$  的接收度可以用蒙特卡罗模拟进行估计。  $e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-$  及其衰变利用 KORALB<sup>[5]</sup> 程序模拟。BES 探测器的模拟及其真实化已考虑在内。接收度计算如下:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{sel}}\varepsilon_{\text{tri}}\varepsilon_{\text{fil}}\varepsilon_\tau, \quad (5)$$

接收度  $\epsilon$  对于两种不同的轻子标记方式分开计算。 $\epsilon_{e,\mu}$  为事例的重建与选择效应,  $e$  标记与  $\mu$  标记分别为  $(22.8 \pm 1.1)\%$  与  $(12.9 \pm 0.8)\%$ 。触发效率  $\epsilon_{tr}$  估计为 99%。过滤效率  $\epsilon_{fil}$  接近 100%。研究 BES 所收集的  $J/\psi$  非辐射衰变四叉事例中的假光子特征, 决定假光子的判选标准, 然后将这一标准用于  $\tau$  衰变研究, 得到  $\epsilon_\gamma = (91.9 \pm 2.3)\%$ 。因此, 事例的整体接收度对于  $e$  与  $\mu$  标记分别为  $(20.7 \pm 1.2)\%$  与  $(11.7 \pm 0.6)\%$ 。

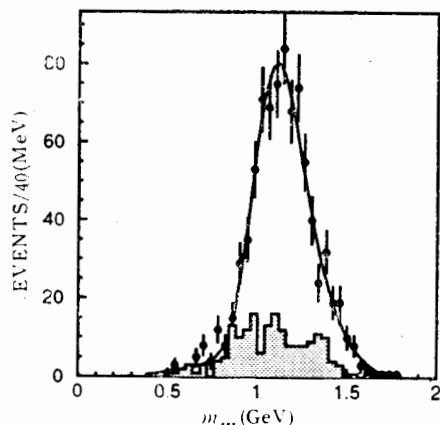


图 1 数据的  $3\pi$  不变质量谱(带误差实验点)  
阴影部分为本底分布, 曲线为拟合结果。

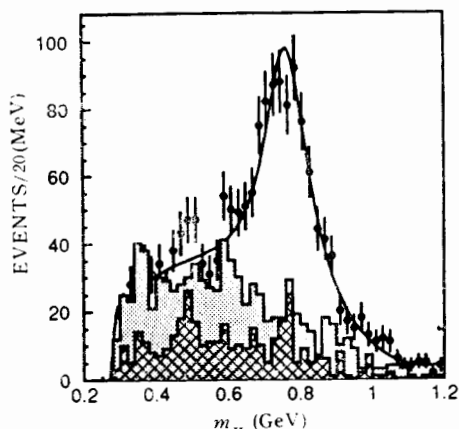


图 2 数据的  $\pi^+\pi^-$  不变质量谱(带误差实验点)  
阴影部分为同号  $\pi$  的不变质量分布, 影线部分为本底分布, 曲线为拟合结果。

在估计本底份额时, 主要考虑了其它  $\tau$  衰变模式的本底,  $q\bar{q}$  产生的强子本底以及含 Charm 本底 (包括  $DD^*, D^*\bar{D}^*$  以及  $D_s^+D_s^-$ ),  $\tau$  自身衰变的本底研究中, 考虑了  $e\nu_e\nu_\tau, \mu\nu_\mu\nu_\tau, \pi\nu_\tau, K\nu_\tau, \rho\nu_\tau, K^*\nu_\tau, a_1\nu_\tau, 4\pi\nu_\tau, 5\pi\nu_\tau, K2\pi\nu_\tau$  与  $KK\pi\nu_\tau$  等衰变模式。 $\tau$  的本底研究表明, 本底主要来自  $\tau^\pm \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^\pm\nu_\tau$ , 误差主要来自输入的衰变分支比测量。

表 2 在  $\tau^\pm \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^\pm\nu_\tau$  研究中, 不同轻子标记下信号与本底的数目

样本 \ 标记	$e$	$\mu$
数据	$523 \pm 23$	$308 \pm 18$
$\tau^+\tau^-$	$49 \pm 10$	$24 \pm 6$
$q\bar{q}$	$39 \pm 8$	$21 \pm 6$
charm	$40 \pm 9$	$17 \pm 5$
信号	$396 \pm 28$	$246 \pm 21$

本文采用了 Lund6.3<sup>[6]</sup> 版本模拟  $q\bar{q}$  强子产生过程。本底估计受到该模型是否适用于低能情况下的限制, 估计有 15% 的误差。根据 Eichen 耦合道模型<sup>[7]</sup>可以计算出含 Charm 本底的产生截面。以上本底影响大小见表 2。因此可以计算在两种不同轻子标记下的分支比。结果为

$$e \text{ 标记: } Br(\tau^\pm \rightarrow a_1^\pm\nu_\tau \rightarrow \rho^0\pi^\pm\nu_\tau, \rho^0 \rightarrow \pi^+\pi^-) = (7.0 \pm 0.5 \pm 0.5)\%;$$

$\mu$  标记:  $Br(\tau^\pm \rightarrow a_1^\pm \nu_\tau \rightarrow \rho^0 \pi^\pm \nu_\tau, \rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-) = (7.8 \pm 0.7 \pm 0.5)\%$ ,

这里第一项误差代表信号事例数的统计涨落; 第二项误差考虑了接收度,  $\tau^+ \tau^-$  产生总数以及  $\tau$  轻子道衰变分支比值的误差。将两种不同轻子标记下的分支比值作加权平均得到<sup>[8]</sup>

$$Br(\tau^\pm \rightarrow a_1^\pm \nu_\tau \rightarrow \rho^0 \pi^\pm \nu_\tau, \rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-) = (7.3 \pm 0.5)\%.$$

计算每根径迹识别为  $e$  或  $\pi$  的权重, 可以综合利用 MDC, TOF 和 BSC (桶部簇射计数器) 鉴别  $e$  和  $\pi$  粒子的能力。采用这一权重方法, 得到  $e$  标记下的分支比同上述结果一致<sup>[9]</sup>。

### 3.2 含 $K_s^0$ 的 $\tau^\pm \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^\pm \nu_\tau$ 衰变

在衰变  $\tau^\pm \rightarrow K^{*\pm} \nu_\tau$  中, 带电  $K^*$  可以衰变为  $K_s^0 \pi^\pm \nu_\tau$ , 而  $K_s^0$  又可衰变为  $\pi^+ \pi^-$ . 根据 Clebsh-Gorden 系数可知  $\tau^\pm \rightarrow K^{*\pm} \nu_\tau$  应有三分之一衰变为  $K_s^0 \pi^\pm \nu_\tau$ . 在事例选择中通过次级顶点重建确定含  $K_s^0$  的事例。要求  $|m_{\pi^+ \pi^-} - m_{K_s^0}| < 20 \text{ MeV}$ . 所得的  $3\pi$  不变质量分布见图 3, 阴影部分为蒙特卡罗模拟的本底分布, 图中可见到明显的  $K^*$  信号。经过类似于 3.1 节的分析, 估计出  $e$  与  $\mu$  标记下的总接收度分别为  $(6.9 \pm 0.3)\%$  与  $(3.3 \pm 0.2)\%$ . 在两种标记下找到的实验事例数分别为  $16 \pm 4$  与  $13 \pm 4$ , 本底分别为  $6 \pm 2$  与  $6 \pm 2$ . 因此, 两种标记下的分支比为

$e$  标记:  $Br(\tau^\pm \rightarrow K^{*\pm} \nu_\tau \rightarrow K_s^0 \pi^\pm \nu_\tau, K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-) = (5.3 \pm 1.7 \pm 0.3) \times 10^{-3}$ ;

$\mu$  标记:  $Br(\tau^\pm \rightarrow K^{*\pm} \nu_\tau \rightarrow K_s^0 \pi^\pm \nu_\tau, K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-) = (7.9 \pm 2.9 \pm 0.5) \times 10^{-3}$ ,

加权平均得到<sup>[8]</sup>

$$Br(\tau^\pm \rightarrow K^{*\pm} \nu_\tau \rightarrow K_s^0 \pi^\pm \nu_\tau, K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-) = (6.0 \pm 1.5) \times 10^{-3}.$$

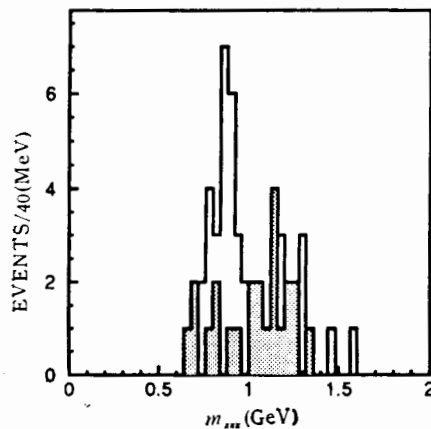


图 3 数据的  $3\pi$  不变质量谱(带误差实验点)  
阴影部分为本底分布。

## 4 Dalitz 投影分布的分析

这里不包括含  $K_s^0$  末态。由于  $3\pi$  末态具有负的 G 宇称, 因此在第一类流中, 衰变是

通过  $W$  中间玻色子与轴矢量流耦合而产生的。这样  $3\pi$  形成的共振态自旋-宇称  $J^P$  可以为  $0^-$  或  $1^+$ 。由于部分轴矢流守恒, 而且满足  $m_{3\pi}^2 \gg m_\pi^2$ , 因此,  $0^-$  分量对  $3\pi$  末态基本无贡献。而占主要部分的  $1^+$  分量形成了共振态  $a_1$ 。  $a_1$  产生的  $\rho\pi$  轨道角动量可以取  $S$  波与  $D$  波两种状态。不同的轨道角动量将对应于不同的  $s_1 = m_{\pi_1\pi_2}^2$  与  $s_2 = m_{\pi_2\pi_3}^2$  的 Dalitz 分布。本文采用 Kühn 模型<sup>[10]</sup>拟合数据, 图 4 为不同的  $3\pi$  不变质量区间  $0.9 < m_{3\pi} < 1.05 \text{ GeV}$ ,  $1.05 < m_{3\pi} < 1.2 \text{ GeV}$  与  $1.2 < m_{3\pi} < 1.777 \text{ GeV}$  中所对应的  $s_1$  或  $s_2$  投影到  $m_{\pi^+\pi^-}^2$  上的分布。其中  $\rho^0$  共振态的截断条件为  $0.5 < s_{1,2} < 0.7 \text{ GeV}^2$ 。由于本底基本上呈均匀分布, 因此不会对信号的形状造成影响。将 Kühn 模型<sup>[10]</sup>中  $d\Gamma/dQ^2 ds_1 ds_2$  表式的  $3\pi$  不变质量的平方  $Q^2$  以及  $s_1$  或  $s_2$  在取定的范围内进行积分, 然后与数据进行拟合(见图 4), 可以看到两者符合得较好。如果对  $Q^2$  以及  $s_1$  或  $s_2$  进行全空间积分, 可以得到  $d\Gamma/dm_{\pi^+\pi^-}$  的理论预期分布。图 2 中的实线为  $m_{\pi^+\pi^-}$  不变质量的拟合结果。

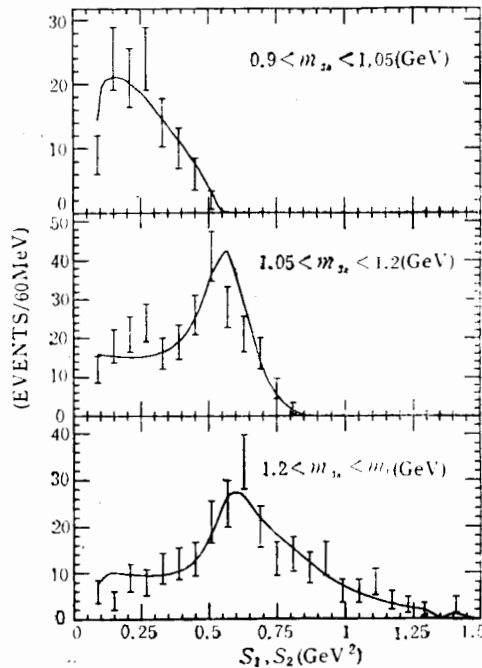


图 4 衰变  $\tau^\pm \rightarrow a_1^\pm \nu_\tau \rightarrow \rho^0 \pi^\pm \nu_\tau$  的 Dalitz 投影分布

## 5 $a_1$ 共振参数的确定

本文采用 Kühn 模型<sup>[10]</sup>确定  $a_1$  的共振参数。采用二次多项式首先拟合本底的分布, 然后同理论的  $3\pi$  不变质量分布进行叠加。对数据进行拟合(见图 1 的实线)得到

$$m_{a_1} = 1.24 \pm 0.02 \text{ GeV}, \quad \Gamma_{a_1} = 0.57 \pm 0.07 \text{ GeV},$$

$$\chi^2/\text{dof} = 24.0/26$$

本文结果支持  $\tau$  衰变中,  $m_{a_1}$  与  $\Gamma_{a_1}$  的测量值比强子碰撞反应中的值要偏大的结论。

作者感谢 BEPC 以及中科院高能物理研究所计算中心的工作人员在实验条件与数据分析环境方面所提供的辛勤劳动。

### 参 考 文 献

- [1] Particle Data Group, *Phys. Rev.*, **D45**, (1992).
- [2] BES Collaboration, *Nucl. Instr. & Meth. in Phys. Res.*, **A344** (1994) 319.
- [3] 陈少敏, The  $\nu_\tau$  Mass and Helicity Measurement at BES, 第二届 BES 年会, 北京, 1993 年 7 月.
- [4] J. H. Kühn, F. Wagner, *Nucl. Phys.*, **B236** (1984) 16.
- [5] S. Jadach, Z. Was, *Comp. Phys. Commun.*, **36** (1985) 191.  
S. Jadach, J. H. Kühn, Z. Was, *Comp. Phys. Commun.*, **64** (1990) 275.  
S. Jadach, B. F. L. Ward, Z. Was, *Comp. Phys. Commun.*, **66** (1991) 276.
- [6] B. Anderson et al., *Phys. Rep.*, **97** (1983) 31; *Phys. Letts.*, **B199** (1987) 191.
- [7] E. Eichten, et al., *Phys. Rev. Letts.*, **36** (1976) 132.
- [8] 郑志鹏, 漆纳丁, 北京谱仪最新物理结果, 第一届北极圈加速器和物理的未来发展讨论会会刊, 芬兰, 萨里塞卡, 1994 年 8 月.
- [9] 童国梁, 李勇等, Measurement of the BR of Decay  $\tau^- \rightarrow a_1^- \nu_\tau (\pi^+ \pi^- \pi^-)$ , 第三届 BES 年会, 杭州, 1994 年 7 月.
- [10] J. H. Kühn, A. Santamaria, *Z. Phys.*, **C48** (1990) 445.

## Study of the Decay $\tau^\pm \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^\pm \nu_\tau$ at $\sqrt{s} = 4.03$ GeV

BES collaboration

Received 1 November 1994

### Abstract

The  $\tau^+ \tau^-$  production has been studied in the data acquired by the Beijing Spectrometer (BES) at the center-of-mass energy 4.03 GeV. Using a double-tagging technique, the decay  $\tau^\pm \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^\pm \nu_\tau$  has been investigated. The branching ratios are determined to be  $Br(\tau^\pm \rightarrow a_1^\pm \nu_\tau \rightarrow \rho^0 \pi^\pm \nu_\tau, \rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-) = (7.3 \pm 0.5)\%$  and  $Br(\tau^\pm \rightarrow K^{*\pm} \nu_\tau \rightarrow K_s^0 \pi^\pm \nu_\tau, K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-) = (6.0 \pm 1.5) \times 10^{-3}$ . From the Dalitz projection distribution, the dominant decay mode of  $\rho\pi$  in  $a_1$  decay has been observed. Meanwhile, we have also found that the  $S$ -wave contribution dominates the  $a_1$  decay. Applying the Kühn model to fit the data, we have obtained the  $a_1$  resonance parameters of  $m_{a_1} = 1.24 \pm 0.02$  GeV and  $\Gamma_{a_1} = 0.57 \pm 0.07$  GeV.

**Key words**  $\tau$  decay,  $3\pi$  branching ratio, Dalitz projection, resonance parameters.