

# D<sup>+</sup> 和 D<sup>0</sup> 介子的 $\phi X l^+ \nu$ 遍举分支比 上限的测定\*

## BES 合作组

白景芝	班勇 <sup>5</sup>	卞建国	蔡啸	常劲帆	陈宏芳 <sup>1</sup>	陈和生
董杰 <sup>8</sup>	江川 <sup>5</sup>	元柏	迟少鹏	初元	崔象宗 <sup>1</sup>	戴又善 <sup>3</sup>
官燎原	杜志川	富洪玉	符力平 <sup>11</sup>	房双世	高翠山	高原宁 <sup>14</sup>
何炬宇	顾树榛	郭义庆	郭子金 <sup>7</sup>	过雅南	韩世温	韩贵云
胡海明	何康林	何瑁 <sup>2</sup>	贺翔顺	衡月昆	洪涛	胡春华
江晓山	胡金鹏	何秀萍	黄金艳	黄因智	季晓斌 <sup>2</sup>	姜春刚
李会红 <sup>6</sup>	李大金	李佩琴	李秋菊	柯尊建	赖元芬	李卫国
李学潜 <sup>8</sup>	刘峰 <sup>6</sup>	刘怀民	刘觉平 <sup>10</sup>	李仁英	李蔚容	李延国
刘振安	刘钟秀 <sup>12</sup>	鲁公儒 <sup>9</sup>	吕峰普	刘荣光	刘天志	刘延兰
马恩成	马凤才 <sup>12</sup>	马基茂	毛泽进	吕军祥	吕志虎	罗小晶
聂振东	漆纳丁	钱诚德 <sup>4</sup>	邱进华	孟刚峰	邵毓章	聂本汉
沈定昭	沈晓红	沈肖雁	王近珠	王君峰 <sup>2</sup>	史焕芳	沈孙灵
王永曼	王萌	王佩良	王平林	王文宁	王贻米	王运希
王征发	王崢	王至勇 <sup>7</sup>	魏沐霖 <sup>1</sup>	吴文标 <sup>1</sup>	夏小光	王谢小
许国敏	徐贵安	薛洪征	阎铭汉 <sup>7</sup>	鄢野文	严武云	杨应长
于传松	杨国达	张会领	叶建明 <sup>3</sup>	叶家元	曾云生 <sup>11</sup>	张炳琳
张长俭	张少强 <sup>1</sup>	张学尧 <sup>2</sup>	张一云 <sup>13</sup>	张家元	张子平 <sup>1</sup>	张琳宇
张勤棣	赵家林	赵京伟	赵平初	张月仁	赵豫斌	张章红
赵建科	郑生明	郑志鹏	钟学安	周宝庆	周高明	周政莉
朱科军	朱启明	朱永生	朱自安	祝玉灿	庄保安	邹冰松

(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 (浙江大学物理系 杭州 310028)

4 (上海交通大学应用物理系 上海 200030)

2002-02-22 收稿

\* 国家自然科学基金(19991480, 19825116), 中国科学院“九五”重大及特别支持项目(KJ95T-03)资助

- 5 (北京大学技术物理系 北京 100871)  
 6 (华中师范大学粒子物理研究所 武汉 430079)  
 7 (中国高等科学技术中心 北京 100080)  
 8 (南开大学物理学院 天津 300071)  
 9 (河南师范大学物理与信息工程学院 新乡 453002)  
 10 (武汉大学物理与电子信息学院 武汉 430072)  
 11 (湖南大学应用物理系 长沙 410082)  
 12 (辽宁大学物理系 沈阳 110036)  
 13 (四川大学物理系 成都 610064)  
 14 (清华大学物理系 北京 100084)

**摘要** 利用北京谱仪(BES)在北京正负电子对撞机(BEPC) $e^+e^-$ 质心系能量为4.03GeV处采集的积分亮度为 $22.3\text{pb}^{-1}$ 的数据,从D介子的5个非轻子衰变模式中共选出 $2471 \pm 218$ 组 $\bar{D}_{\text{tag}}^0 D^+ X$ (X可能是 $\gamma$ 或 $\pi^0$ 或 $\pi^\pm$ )和 $7629 \pm 251$ 组 $\bar{D}_{\text{tag}}^0 D^0 X$ 介子样本.在这些样本中没有找到 $D^+ \rightarrow \phi e^+ \nu$ ,  $\phi K^- \pi^+ e^+ \nu$ , 和 $D^0 \rightarrow \phi K^- e^+ \nu$ ,  $\phi K^- \mu^+ \nu$ 的衰变事例,测定在90%置信度下分支比的上限分别为 $B(D^+ \rightarrow \phi e^+ \nu) < 1.38\%$ ,  $B(D^+ \rightarrow \phi K^- \pi^+ e^+ \nu) < 2.01\%$ ,  $B(D^0 \rightarrow \phi K^- e^+ \nu) < 0.53\%$ 和 $B(D^0 \rightarrow \phi K^- \mu^+ \nu) < 0.53\%$ .

**关键词** 北京谱仪 北京正负电子对撞机 D介子 半轻子衰变 分支比

## 1 引言

自从实验上发现粲介子和B介子以来,重味粒子物理研究在粲介子和B介子的寿命、质谱学、纯轻子、半轻子及遍举衰变分支比等实验研究方面都取得了很大的进展.随着实验对粲介子寿命测量精度的进一步提高,物理上要求提高对粲介子单举,遍举半轻子衰变分支比的测定精度,并寻找一些新的可能的衰变模式,来进一步研究各种可能的衰变机制对衰变的贡献.

在标准模型的框架内, $D^+$ (如不特别声明,本文中各种粒子均包括其电荷共轭.)和 $D^0$ 介子可以通过如图1所示的过程衰变到 $\phi e^+ \nu$ ,  $\phi K^- \pi^+ e^+ \nu$ ,  $\phi K^- e^+ \nu$ 和 $\phi K^- \mu^+ \nu$ 末态.通过实验上寻找和测定这些衰变模式的分支比,不但有助于研究各种可能的衰变机制对总宽度的贡献,而且也有助于B介子物理的实验研究.例如,在B介子物理实验中,这些衰变模式的分支比往往被用于精确的模拟B介子的级联衰变过程及在B介子衰变研究中删除粲介子背景.比如,在 $B_s^0 \bar{B}_s^0$ 振荡实验中,常用 $\phi(l=e, \mu)$ 事例标记 $B_s^0$ 介子,在标记样本中不可避免地混入 $D^+ \rightarrow \phi e^+ \nu$ 及末态中含 $\phi X l^+ \nu$ (X跑到接收立体角范围之外,此处X代表 $\pi^\pm$ 和 $K^\pm$ ,或者 $K^0$ .)粒子的衰变事例. $B_s^0 \bar{B}_s^0$ 振荡实验要用D介子的这些衰变模式分支比或其上限来删除背景.因此,实验上寻找和测定D介子的这些衰变模式的分支比,无论是在理论还是在实验方面,都显得十分重要.

1992—1994年间,BES<sup>[2]</sup>实验组在BEPC $e^+e^-$ 质心系能量4.03GeV处采集了 $22.3\text{pb}^{-1}$

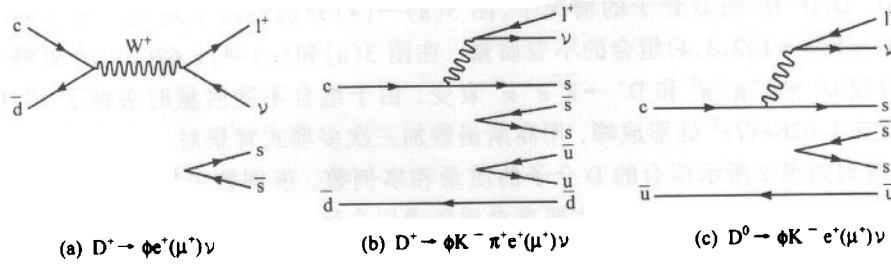


图 1  $D^+$  和  $D^0$  介子衰变到几个可能含  $\phi$  的半轻子衰变图

积分亮度的数据. 利用这些数据, 我们寻找了  $D^+ \rightarrow \phi e^+ \nu$ ,  $\phi K^- \pi^+ e^+ \nu$ , 和  $D^0 \rightarrow \phi K^- e^+ \nu$ ,  $\phi K^- \mu^+ \nu$  的衰变事例. 本文报道这些衰变模式寻找的实验结果.

## 2 单标记 D 介子样本的筛选与分析

### 2.1 $\pi^+$ 和 $K^+$ 径迹筛选

要求带电径迹必须有好的螺旋线拟合优度, 即要求按自由度归一化的单径迹拟合的  $\chi^2$  值小于 9. 径迹的极角  $\theta$  满足  $|\cos\theta| < 0.8$ , 事例顶点要求落在  $e^+ e^-$  对撞区域内. 利用  $dE/dx$  和 TOF 信息, 计算每条带电径迹作为  $\pi(K)$  介子的置信水平  $CL_x (CL_K)$ , 并要求它大于 1%. 对于 K 介子的候选径迹, 还要求  $CL_K > CL_x$ . 每个事例中至少要有通过以上判选的两条带电径迹.

### 2.2 单标记 D 介子事例分析

对于通过  $\pi(K)$  鉴别的径迹, 按照  $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$ ,  $K^- \pi^+ \pi^+ \pi^-$ ,  $\overline{K}^0 \pi^+ \pi^-$  和  $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$ ,  $\overline{K}^0 \pi^+ \pi^-$  5 种模式 (此处仅考虑用  $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$  的衰变过程重建  $\overline{K}^0$ ) 计算  $mKn\pi (m=0, 1; n=1, 2, 3, 4)$  组合的不变质量.

对在末态中含有  $\overline{K}^0$  的标记道, 根据该衰变模式的拓扑形态和  $\pi^+ \pi^-$  的不变质量, 可以选出该模式的单标记 D 介子样本. 在末态粒子不变质量组合中, 如果某种组合中  $\pi^+ \pi^-$  产生点的顶点位置在  $xy$  平面的投影距原点距离  $l_{xy} > 0.4\text{cm}$ , 这对  $\pi^+ \pi^-$  在其产生点的  $z$  向坐标分量差的绝对值小于 4cm, 并且,  $\pi^+ \pi^-$  的不变质量与  $K_S^0$  介子的质量差小于 23MeV, 那么就认为这对  $\pi^+ \pi^-$  来源于  $K_S^0$  介子.

图 2(a)–(e) 分别给出了对应上述 5 种模式的  $mKn\pi (m=1; n=1, 2, 3, 4)$  组合的动量谱, 这些组合对应的不变质量与  $D^0$  和  $D^+$  介子质量的差在  $D^0$  和  $D^+$  介子重建质量分辨的 5.0 倍标准偏差范围内一致. 图中最低端的动量峰内的事例来源于  $D^+ \overline{D}^+$  模式产生的 D 介子, 中间的峰来源于  $D^+ \overline{D}$  模式产生的 D 介子, 最高端的峰对应直接产生的  $D \overline{D}$  中的 D 介子.

为了降低单标记 D 介子的组合背景, 要求每一种组合的动量在  $\pm 2.5\sigma_p$  范围内 ( $\sigma_p$  是按高斯分布拟合动量谱得到的标准偏差) 与其应有的最可几值一致. 在只考虑来源于

$e^+e^- \rightarrow D^+ \bar{D}, D^+ \bar{D}^+$  的 D 介子的情况下, 图 3(a)–(e) 分别绘出了对应上述 5 种模式的  $m_{K\pi\pi}$  ( $m=1; n=1,2,3,4$ ) 组合的不变质量. 在图 3(a) 和 (e) 中,  $1.62\text{GeV}/c^2$  处峰内的事例分别对应  $D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^0$  和  $D^+ \rightarrow \bar{K}^0 \pi^+ \pi^0$  衰变. 由于组合不变质量时丢掉了  $\pi^0$ , 使得其不变质量在  $1.62\text{GeV}/c^2$  处形成峰. 用高斯函数加三次多项式背景对不变质量谱做最大似然拟合, 得到如表 1 所示拟合的 D 介子的质量和事例数. 事例数中第一项误差是统计误差, 第二项是系统误差, 系统误差主要来自质量谱拟合区间及背景多项式的选取对拟合事例数的影响. 总的单标记 D 介子事例数为  $11436 \pm 182 \pm 68$ . 由于粒子误判引起的  $K-\pi$  交换及随机组合, 某些 D 事例在信号区内出现不只 1 次而形成重复计数. 根据 D 介子边带区内的重复计数率可以计算出峰内事例数中的重复计数. 扣除重复计数的事例组合后, 得到单标记  $D^0$  和  $D^+$  净事例数为  $10100 \pm 162 \pm 59$ .

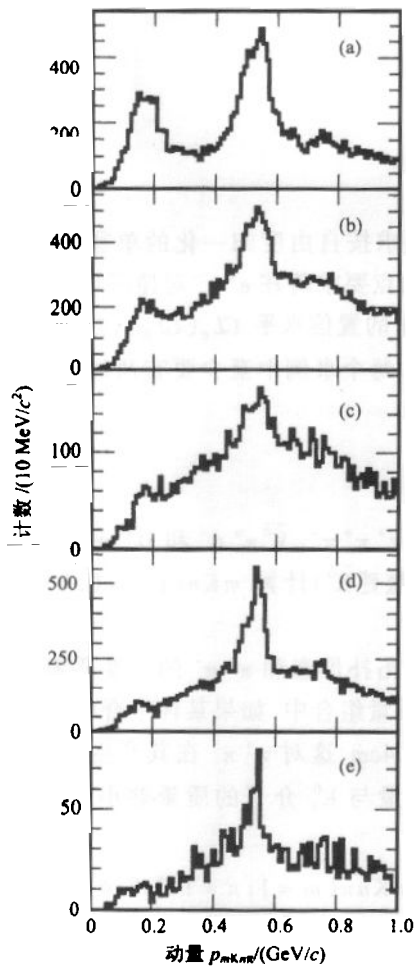


图 2  $m_{K\pi\pi}$  ( $m=0,1; n=1,2,3,4$ ) 组合的动量分布

(a), (b), (c), (d) 和 (e) 分别为  $K^- \pi^+$ ,  $K^- \pi^+ \pi^+ \pi^-$ ,  $\bar{K}^0 \pi^+ \pi^-$ ,  $K^- \pi^+ \pi^+$  和  $\bar{K}^0 \pi^+$  组合的动量分布.

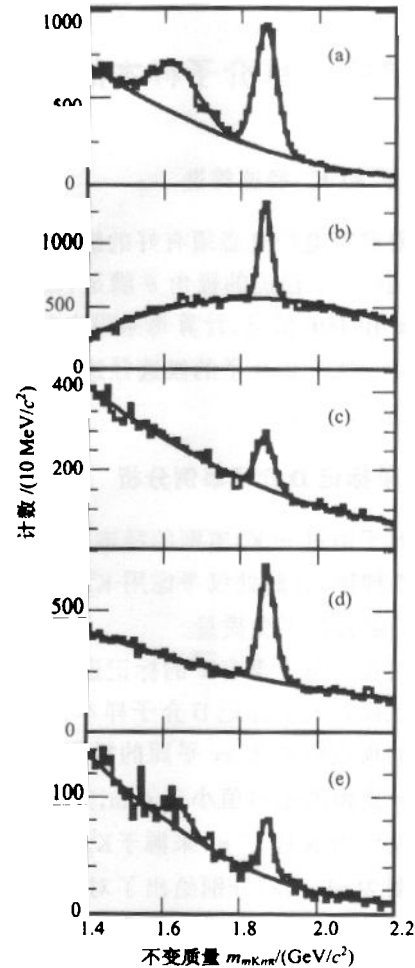


图 3  $m_{K\pi\pi}$  ( $m=0,1; n=1,2,3,4$ ) 组合的不变质量分布

(a), (b), (c), (d) 和 (e) 分别为  $K^- \pi^+$ ,  $K^- \pi^+ \pi^+ \pi^-$ ,  $\bar{K}^0 \pi^+ \pi^-$ ,  $K^- \pi^+ \pi^+$  和  $\bar{K}^0 \pi^+$  组合的不变质量分布.

表 1 单标记  $D^0$  和  $D^+$  介子质量谱的拟合结果

衰变模式	拟合质量/(MeV/c <sup>2</sup> )	拟合事例数	净事例数
$D^0 \rightarrow K^- \pi^+$	$1862.5 \pm 0.6$	$5040 \pm 113 \pm 53$	$4324 \pm 97 \pm 45$
$D^0 \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \pi^+$	$1862.5 \pm 0.6$	$3041 \pm 98 \pm 32$	$2559 \pm 82 \pm 27$
$D^0 \rightarrow \bar{K}^0 \pi^+ \pi^-$	$1863.1 \pm 1.9$	$760 \pm 58 \pm 8$	$745 \pm 57 \pm 8$
二道叠加		$8841 \pm 160 \pm 62$	$7628 \pm 139 \pm 53$
$D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$	$1868.7 \pm 0.7$	$2375 \pm 82 \pm 25$	$2256 \pm 78 \pm 24$
$D^+ \rightarrow \bar{K}^0 \pi^+$	$1871.7 \pm 2.0$	$220 \pm 28 \pm 10$	$216 \pm 27 \pm 10$
二道叠加		$2595 \pm 87 \pm 27$	$2472 \pm 83 \pm 26$
$D^0$ 和 $D^+$ 总数		$11436 \pm 182 \pm 68$	$10100 \pm 162 \pm 59$

根据“联合  $D^0$  和  $D^+$  单双标记方法”<sup>[3]</sup>, 在单标记 D 介子的反冲侧, 中性和带电 D 介子的总数分别为

$$N_{D_{tag}^{\bar{0}}} = (1 - \eta) N_{D_{tag}^0} + \beta N_{D_{tag}^+}, \quad (1)$$

$$N_{D_{tag}^{\bar{+}}} = \eta N_{D_{tag}^0} + (1 - \beta) N_{D_{tag}^+}. \quad (2)$$

式中  $N_{D_{tag}^0}$  和  $N_{D_{tag}^+}$  分别为单标记  $D^0$  和  $D^+$  介子总数;  $\eta$  和  $\beta$  分别是在单标记  $D^0$  和  $D^+$  的反冲侧,  $D^-$  和  $\bar{D}^0$  所占的比例. 文献[3]给出:

$$\beta = 0.546 \pm 0.066,$$

$$\eta = 0.177 \pm 0.018.$$

根据公式(1)和(2)计算得到在单标记 D 介子的反冲侧, 中性及带电 D 介子的总数分别为  $N_{D_{tag}^{\bar{0}}} = 7629 \pm 240$  和  $N_{D_{tag}^{\bar{+}}} = 2471 \pm 209$ . 其中误差包含单标记事例数的统计误差和系统误差, 及  $\eta$  和  $\beta$  的不确定性对反冲侧中性及带电 D 介子事例数的影响. 反冲侧中性和带电 D 介子的事例可以被用于研究和测定其他遍举衰变分支比.

### 3 $D^{*0} \rightarrow \phi X l^+ \nu$ 遍举半轻子衰变事例寻找

#### 3.1 $\phi \rightarrow K^+ K^-$ 事例的重建

在数据分析中, 仅选用了  $\phi \rightarrow K^+ K^-$  衰变模式来重建  $\phi$  介子. 图 4 绘出在同一数据样本中单举  $K^+ K^-$  介子组合的不变质量的分布. 利用高斯函数加三次多项式背景来拟合此分布, 得到拟合的  $\phi$  介子质量为  $M_\phi = 1.0194 \pm 0.0002 \text{ GeV}/c^2$ . 由此测定对应  $2.5\sigma$  的  $\phi$  介子质量区域为  $1.00\text{--}1.04 \text{ GeV}/c^2$ , 如图 4 中箭头所示. 为了寻找末态含  $\phi$  介子的半轻子衰变事例, 在单标记 D 介子反冲侧的径迹中, 寻找  $K^+ K^-$  并计算其不变质量. 图 5(a) 给出  $m_{K\pi\pi}$  组合的不变质量位于  $\pm 2.5\sigma_{m_D}$  的 D 介子质量窗内单标记 D 介子的反冲侧,  $K^+ K^-$  组合的不变质量的分布. 在  $1.00\text{--}1.04 \text{ GeV}/c^2$   $\phi$  介子质量区域内, 共

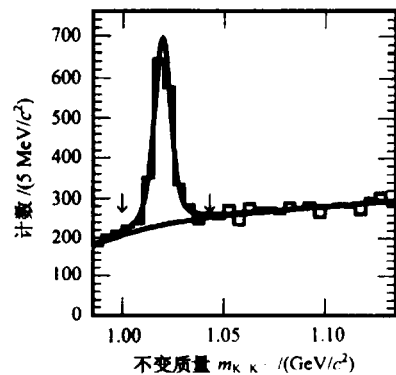


图 4 单举  $K^+ K^-$  组合的不变质量分布

有 17 个事例. 其中有 13 个事例出现在中性单标记 D 介子的反冲侧, 4 个事例出现在带电单标记 D 介子的反冲侧. 图 5(b)和图 5(c)分别给出在中性和带电单标记 D 介子的反冲侧  $K^+ K^-$  组合的不变质量的分布. 用一个描述质量分辨的高斯函数和一个描述  $\phi$  介子共振的 Breit-Wigner 函数的卷积, 加一个描述背景分布的二次多项式去拟合图 5(b)  $K^+ K^-$  不变质量分布, 得到在对应  $\pm 2.5\sigma_m$  的质量区域内有  $9.7 \pm 3.8$  个  $\phi$  事例. 图 5(c)  $\phi$  信号区内共有 4 个事例,  $\phi$  边带区内共有 3 个事例. 减掉  $\phi$  边带区背景后, 得到  $3.0 \pm 2.1$  个  $\phi$  事例. 根据  $m_{K\pi}$  组合的不变质量落入  $D^0$  和  $D^+$  边带区 ( $1.7-2.1 \text{ GeV}/c^2$  之内, 并且在  $\pm 3\sigma_{m_D}$  之外的区域被定为 D 信号质量的边带背景区.) 事例单标记反冲侧  $K^+ K^-$  的不变质量分布, 估计在中性和带电 D 介子反冲侧的  $9.7 \pm 3.8$  和  $3.0 \pm 2.1$  个  $\phi$  事例中, 分别有  $0.8 \pm 0.4$  和  $0.0 \pm 0.2$  个事例来自于连续的强子背景. 减掉连续强子背景的  $\phi$  事例数后, 得到在单标记  $D^0$  和  $D^+$  介子的反冲侧, 观测到的  $\phi$  事例数为分别为  $8.9 \pm 3.8$  和  $3.0 \pm 2.1$ .

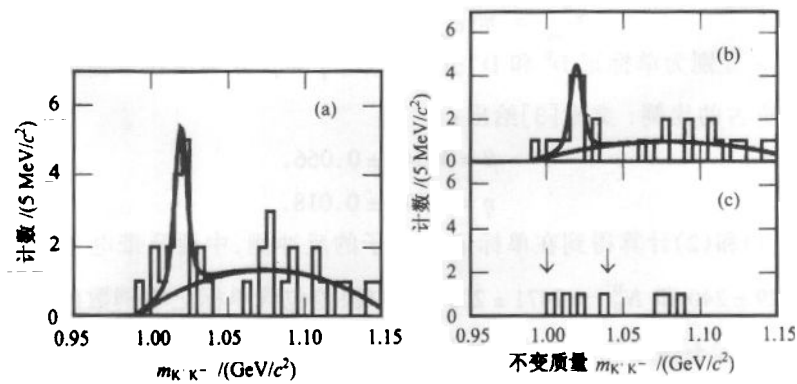


图 5

(a)  $K^+ K^-$  组合的不变质量分布; (b) 单标记  $D^0$  介子反冲侧  $K^+ K^-$  的不变质量分布;  
(c) 单标记  $D^+$  介子反冲侧  $K^+ K^-$  的不变质量分布.

### 3.2 $\phi X e^+ \nu$ 和 $\phi X \mu^+ \nu$ 事例的寻找

在单标记 D 介子的反冲侧含有  $\phi$  介子质量标记的剩余径迹中, 寻找  $e^+$  和  $\mu^+$  径迹. 与单标记侧  $\pi^+$  和  $K^+$  径迹筛选一样, 首先要求带电径迹必须有好的螺旋线拟合优度. 对于  $e^+$  和  $\mu^+$  的筛选, 径迹的极角  $\theta$  分别满足  $|\cos\theta| < 0.8$  和  $|\cos\theta| < 0.6$ . 要求候选径迹要与单标记侧径迹来源于同一顶点. 对于满足上述判选条件的径迹, 利用  $dE/dx$  信息, TOF 信息, 簇射计数器 (BSC) 的信息和  $\mu$  计数器的信息进一步鉴别  $e^+$  和  $\mu^+$ .

对于电子的筛选, 利用  $dE/dx$  信息和 TOF 信息对每一种粒子的假设计算一个联合置信度. 要求假设为电子的联合的置信度大于 1%. 满足这些判选条件的径迹, 被认定为电子.  $\mu$  子的识别则是根据它具有很强穿透能力的特性来识别.  $\mu$  子可以以很高的效率穿透谱仪的厄铁, 击中  $\mu$  计数器. 单标记 D 介子反冲侧的  $\pi^+$  和  $K^+$  径迹的筛选与单标记侧相同.

利用上述筛选  $e^+$ ,  $\mu^+$ ,  $\pi^+$  和  $K^+$  的判别条件, 在这 17 个单标记 D 介子的反冲侧含有候

选  $\phi$  介子的剩余径迹中, 即没有找到  $e^+ \nu, K^- \pi^+ e^+ \nu$  和  $K^- e^+ \nu$  事例, 也没有找到  $K^- \mu^+ \nu$  事例. 蒙特卡罗研究给出, 分析程序对寻找  $D^+ \rightarrow \phi e^+ \nu, \phi K^- \pi^+ e^+ \nu,$  和  $D^0 \rightarrow \phi K^- e^+ \nu, \phi K^- \mu^+ \nu$  这 4 个遍举半轻子衰变过程的效率分别为  $\epsilon_1 = 0.069, \epsilon_2 = 0.047, \epsilon_3 = 0.057, \epsilon_4 = 0.057.$

### 4 分支比上限的测定

实验观测到  $N$  个末态含  $\phi$  介子的遍举半轻子衰变事例满足以  $n$  为预期值的泊松分布, 其几率为

$$P(N) = \frac{n^N}{N!} e^{-n} \quad (3)$$

其中,  $n = B_i \times n_{D^{i(0)}} \times \epsilon_i, B_i (i = 1, 2, 3, 4)$  是第  $i$  个衰变模式的分支比,  $n_{D^{i(0)}} (i = 1, 2, 3, 4)$  是单标记样本的反冲侧  $D^+$  或  $D^0$  介子的总数  $N_{D^{i(0)}} (N_{D^+}$  或  $N_{D^0})$  的参数.  $n_{D^{i(0)}}$  服从高斯分布. 定义似然函数

$$L(B, n_{D^{i(0)}}) = \frac{n^N}{N!} e^{-n} \times \frac{e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{N_{D^{i(0)}} - n_{D^{i(0)}}}{\sigma_{N_{D^{i(0)}}}} \right)^2}}{\sqrt{2\pi\sigma_{N_{D^{i(0)}}}}}, \quad (4)$$

其中,  $N_{D^+} \pm \sigma_{N_{D^+}} = 2471 \pm 209, N_{D^0} \pm \sigma_{N_{D^0}} = 7629 \pm 240.$  积分掉参数  $n_{D^{i(0)}}$  得到,

$$L(B) = \int L(B, n_{D^{i(0)}}) dn_{D^{i(0)}}. \quad (5)$$

4 个末态中含  $\phi$  介子的遍举半轻子衰变的分支比值与其似然函数的关系如图 6 所示. 从分支比等于零的位置向等于 100% 的方向对似然函数积分, 积到总面积的 90% 的位置, 得到对应置信度为 90% 的分支比上限, 如图中箭头所示位置.

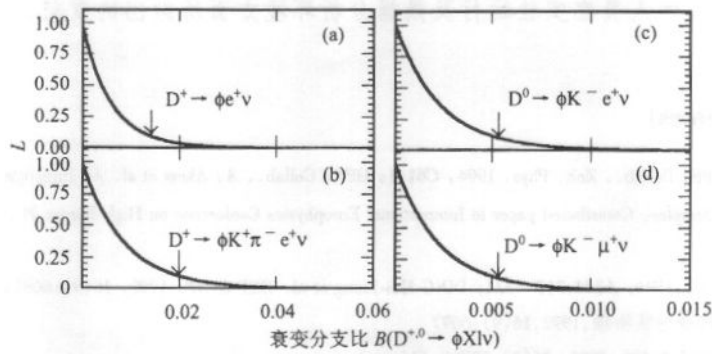


图 6 似然函数  $L$  与衰变分支比  $B$  的关系

表 2 列出北京谱仪实验测得的 4 个末态可能含  $\phi$  介子的遍举半轻子衰变分支比的上限值, 并与 2000 年国际粒子数据组 (PDG00<sup>[4]</sup>) 给出的有关分支比值做了对比. 北京谱仪实验测得的  $B(D^+ \rightarrow \phi e^+ \nu) < 1.38\%$  改进了 PDG00 引用的 MARK-III 实验测得的结果<sup>[5]</sup>. PDG00 对其他 3 个衰变模式的分支比尚无报道.

表 2  $D^0$  和  $D^+$  介子衰变到末态含  $\phi$  介子的通举半轻子衰变, 90% 置信度的分支比上限

衰变模式	观测事例数	效率 $\epsilon_{4\%}$	北京谱仪实验 (%)	PDG98 (%)
$D^+ \rightarrow \phi e^+ \nu$	0	0.069	< 1.38	< 2.09
$D^+ \rightarrow \phi K^+ \pi^- e^+ \nu$	0	0.047	< 2.01	无报道
$D^0 \rightarrow \phi K^- e^+ \nu$	0	0.057	< 0.53	无报道
$D^0 \rightarrow \phi K^- \mu^+ \nu$	0	0.057	< 0.53	无报道

## 5 结束语

利用 BES 实验组在 BEPC  $e^+e^-$  对撞质心系能量 4.03 GeV 处采集的  $22.3 \text{ pb}^{-1}$  积分亮度的数据, 基于中性和带电 D 介子 5 个单标记道, 共计筛选出  $2472 \pm 87$  组  $D_{\text{tag}}^- DX$  和  $7628 \pm 149$  组  $D_{\text{tag}}^0 DX$  (X 可能是  $\gamma$  或  $\pi^0$  或  $\pi^+$ ) 单标记 D 介子事例. 利用“联合  $D^0$  和  $D^+$  单双标记方法”<sup>[3]</sup>, 在单标记 D 介子的反冲侧, 共计得到  $7629 \pm 251$  组  $D^0 X$  和  $2471 \pm 218$  组  $D^+ X$  事例. 在单标记 D 介子反冲侧这些  $D^0$  和  $D^+$  介子的数据样本中没有找到  $D^+ \rightarrow \phi e^+ \nu$ ,  $\phi K^- \pi^+ e^+ \nu$ , 和  $D^0 \rightarrow \phi K^- e^+ \nu$ ,  $\phi K^- \mu^+ \nu$  的衰变事例, 测定在 90% 置信度下分支比的上限分别为  $B(D^+ \rightarrow \phi e^+ \nu) < 1.38\%$ ,  $B(D^+ \rightarrow \phi K^- \pi^+ e^+ \nu) < 2.01\%$ ,  $B(D^0 \rightarrow \phi K^- e^+ \nu) < 0.53\%$ , 和  $B(D^0 \rightarrow \phi K^- \mu^+ \nu) < 0.53\%$ .

本实验测得的  $B(D^+ \rightarrow \phi e^+ \nu) < 1.38\%$  改进 MARK-III 实验测得的结果  $B(D^+ \rightarrow \phi e^+ \nu) < 2.09\%$ <sup>[5]</sup>. 本实验首次给出  $D^+ \rightarrow \phi K^- \pi^+ e^+ \nu$ ,  $D^0 \rightarrow \phi K^- e^+ \nu$  和  $D^0 \rightarrow \phi K^- \mu^+ \nu$  衰变分支比上限的测定值.

作者感谢高能物理研究所杜东生、黄涛、吴济民教授, 清华大学邝宇平教授, 理论物理研究所张肇西教授在粲介子物理方面所做的多次有益的讨论, 感谢 BEPC 及高能物理研究所计算中心的工作人员在实验运行及数据分析环境方面所做出的贡献.

## 参考文献 (References)

- 1 Abreu P et al. DELPHI Collab., *Zeit. Phys.* 1994, **C61**:1; OPAL Collab., A. Akers et al. An Investigation of  $B_s$  Oscillation Using  $B_s$  Enhanced Samples. Contributed paper to International Europhysics Conference on High Energy Physics EPS0276, Brussels, July 1995.
- 2 BAI J Z et al. *N.I.M.* 1994, **A344**:319—334; DING Hui-Liang et al. *HEP & NP*, 1992, **16**(9):669 (in Chinese)  
(丁慧良等. 高能物理与核物理, 1992, **16**(9):669)
- 3 RONG Gang et al. *HEP & NP*, 2002, **26**(3):207 (in Chinese)  
(荣刚等. 高能物理与核物理, 2002, **26**(3):207)
- 4 Particle Data Group, Bartels J et al. *Eur. Phys. J.*, 2000, **C15**:544
- 5 BAI Z et al (MARK-III Collaboration). *PRL*, 1991, **66**:1011



**Search for the Decays  $D^+ \rightarrow \phi e^+ \nu$ ,  $D^+ \rightarrow \phi K^- \pi^+ e^+ \nu$ ,  
 $D^0 \rightarrow \phi K^- e^+ \nu$  and  $D^0 \rightarrow \phi K^- \mu^+ \nu^*$**

BES Collaboration

BAI Jing-Zhi BAN Yong<sup>5</sup> BIAN Jian-Guo CAI Xiao CHANG Jin-Fan CHEN Hong-Fang<sup>1</sup>  
 CHEN He-Sheng CHEN Jie<sup>8</sup> CHEN Jiang-Chuan CHEN Yuan-Bo CHI Shao-Peng  
 CHU Yuan-Ping CUI Xiang-Zong DAI You-Shan<sup>3</sup> DONG Liao-Yuan DU Zhi-Zhen FU  
 Hong-Yu FU Li-Ping<sup>11</sup> FANG Shuang-Shi GAO Cui-Shan GAO Yuan-Ning<sup>14</sup> GONG  
 Ming-Yu GU Shu-Di GUO Yi-Qing GUO Zi-Jin<sup>7</sup> GUO Ya-Nan HAN Shi-Wen HAN Ying  
 HE Ju HE Kang-Lin HE Mao<sup>2</sup> HE Xiang HENG Yue-Kun HONG Tao HU Gui-Yun  
 HU Hai-Ming HU Tao HUANG Xiu-Ping HUANG Guang-Shun HUANG Yin-Zhi JI Xiao-  
 Bin<sup>2</sup> JIANG Chun-Hua JIANG Xiao-Shan JIN Da-Peng JIN Shan JIN Yan KE Zun-Jian  
 LAI Yuan-Fen LI Gang LI Hui-Hong<sup>6</sup> LI Jin LI Pei-Qin LI Qiu-Ju LI Ren-Ying LI Wei  
 LI Wei-Guo LI Xue-Qian<sup>8</sup> LIU Feng<sup>6</sup> LIU Huai-Min LIU Jue-Ping<sup>10</sup> LIU Rong-Guang  
 LIU Tian-Rong LIU Yan LIU Zhen-An LIU Zhong-Xiu LU Gong-Ru<sup>9</sup> LÜ Feng LÜ Jun-  
 Guang LÜ Zhi-Jian LUO Xiao-Lan MA En-Cheng MA Feng-Cai<sup>12</sup> MA Ji-Mao MAO Ze-  
 Pu MENG Xiang-Cheng MO Xiao-Hu<sup>7</sup> NIE Jing NIE Zhen-Dong QI Na-Ding QIAN  
 Cheng-De<sup>4</sup> QIU Jin-Fa RONG Gang SHAO Yu-Ying SHEN Ben-Wei SHEN Ding-Li  
 SHEN Hong SHEN Xiao-Yan SHENG Hua-Yi SHI Feng SHI Huan-Zhang SUN Han-Sheng  
 SUN Yong-Zhao TANG Xiao TONG Guo-Liang WANG Jin-Zhu WANG Jun WANG Lan  
 WANG Ling-Shu WANG Man WANG Meng WANG Pei-Liang WANG Ping WANG Wen-  
 Feng<sup>2</sup> WANG Yi-Fang WANG Yun-Yong WANG Zheng WANG Zheng WANG Zhi-Yong<sup>7</sup>  
 WEI Cheng-Lin WU Ning XIA Xiao-Mi XIE Xiao-Xi XU Guo-Fa XU Ye XUE Sheng-  
 Tian YAN Mu-Lin<sup>1</sup> YAN Wen-Biao YAN Wu-Guang YANG Chang-You YANG Chun-Min  
 YANG Gui-An YANG Hong-Xun YE Ming-Han<sup>7</sup> YE Shu-Wei<sup>1</sup> YE Yun-Xiu<sup>1</sup> YING Jun<sup>5</sup>  
 YU Chuan-Song YU Guo-Wei YUAN Chang-Zheng YUAN Jian-Ming<sup>3</sup> YUAN Ye  
 ZENG Yun<sup>11</sup> ZHANG Bing-Yun ZHANG Chang-Chun ZHANG Da-Hua ZHANG Hui-Ling  
 ZHANG Jian ZHANG Jia-Wen ZHANG Liang-Sheng ZHANG Lin ZHANG Qin-Jian  
 ZHANG Shao-Qiang ZHANG Xue-Yao<sup>2</sup> ZHANG Yi-Yun<sup>13</sup> ZHANG Yue-Yuan ZHANG Zi-  
 Ping<sup>1</sup> ZHANG Hong-Yu ZHAO Di-Xin ZHAO Jia-Wei<sup>1</sup> ZHAO Jing-Wei ZHAO Ping-Ping  
 ZHAO Wei-Ren ZHAO Yu-Bin ZHAO Zheng-Guo ZHENG Jian-Ping ZHENG Lin-Sheng  
 ZHENG Zhi-Peng ZHONG Xue-Chu ZHOU Bao-Qing ZHOU Gao-Ming ZHOU Li ZHU Ke-  
 Jun ZHU Qi-Ming ZHU Yong-Sheng ZHU Zi-An ZHU Yu-Can ZHUANG Bao-An  
 ZOU Bing-Song

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

1 (Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

2 (Department of Physics, Shandong University, Ji'nan 250100, China)

3 (Department of Physics, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China)

Received 22 February 2002

\* Supported by National Natural Science Foundation of China (19991480, 19825116), CAS(KJ95T-03)

- 4(Department of Applied Physics, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)
- 5(Department of technical Physics, Peking University, Beijing 100871, China)
- 6(Institute of Particle Physics, Hua Zhong Normal University, Wuhan 430079, China)
- 7(China Center of Advanced Science and Technology (CCAST), Beijing 100080, China)
- 8(College of Physics, Nankai University, Tianjin 300071, China)
- 9(College of Physics and Information Engineering, Henan Normal University, Xinxiang 453002, China)
- 10(College of Physics and Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430072, China)
- 11(Department of Applied Physics, Hu'nan University, Changsha 410082, China)
- 12(Department of Physics, Liaoning University, Shenyang 110036, China)
- 13(Department of Physics, Sichuan University, Chengdu 610064, China)
- 14(Department of Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract** We report the results of a search for the semileptonic decays  $D^+ \rightarrow \phi e^+ \nu$ ,  $D^+ \rightarrow \phi K^- \pi^+ e^+ \nu$ ,  $D^0 \rightarrow \phi K^- e^+ \nu$  and  $D^0 \rightarrow \phi K^- \mu^+ \nu$  using the BES detector at the BEPC  $e^+ e^-$  Collider. Using a data sample of  $22.3 \text{ pb}^{-1}$  collected at the center-of-mass energy  $\sqrt{s} = 4.03 \text{ GeV}$ , we select  $2472 \pm 87 D_{\text{tag}}^- DX$  and  $7628 \pm 149 \bar{D}_{\text{tag}}^0 DX$  singly tagged D events, where the X could be  $\gamma$ ,  $\pi^0$  and/or  $\pi^\pm$ . Based on the method of “combined  $D^+$  and  $D^0$  single and double tags”, we determine that  $2471 \pm 218 D^+ X$  and  $7629 \pm 251 D^0 X$  are contained in the recoil side of the singly tagged neutral and charged D mesons, respectively. No events for the 4 semileptonic decay modes are observed in the recoil side of the tagged D mesons. The 90 % confidence-level upper limits of  $B(D^+ \rightarrow \phi e^+ \nu) < 1.38 \%$ ,  $B(D^+ \rightarrow \phi K^- \pi^+ e^+ \nu) < 2.01 \%$ ,  $B(D^0 \rightarrow \phi K^- e^+ \nu) < 0.53 \%$  and  $B(D^0 \rightarrow \phi K^- \mu^+ \nu) < 0.53 \%$  are determined from the search for the semileptonic decays of  $D^+$  and  $D^0$ .

**Key words** BES, BEPC, D meson, semileptonic decay, branching fraction