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

北京谱仪合作组中方成员名表

一九九九年十月

摘要

利用北京谱仪（BES）在北京正负电子对撞机（BEPC）上获取的、质心能量为4.03GeV 的数据，从5个$D$介子非轻子衰变模式中共选出$2471\pm209$对$\overline{D}_{tag}D^+$ 和$7629\pm240$对$\overline{D}_{tag}D^0$ 介子样本。在这些样本中没有找到$D^+\to\phi e^+\nu$, $\phi K^-\pi^+e^+\nu$, 和$D^0\to\phi K^-e^+\nu$, $\phi K^-\mu^+\nu$ 的衰变事例, 测定在90%置信度下分支比的上限分别为$B(D^+\to\phi e^+\nu)<1.38\%$, $B(D^+\to\phi K^-\pi^+e^+\nu)<2.01\%$, $B(D^0\to\phi K^-e^+\nu)<0.53\%$, 和$B(D^0\to\phi K^-\mu^+\nu)<0.53\%$。

关键词: 北京谱仪, 北京正负电子对撞机, $D$介子, 遍举半轻子衰变, 分支比。

## 1 引言

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。实验上寻找和测定这些衰变模式的分支比有助于加深理解粲介子的弱衰变机制。

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。例如, 在$B^0_S\overline{B^0_S}$振荡实验中, 常用$\phi l(l=e,\mu)$事例标记$B^0_S$[1]介子, 在标记样本中不可避免的混入$D\to\phi e^+\nu$ 及末态中含$\phi X l^+\nu$($X$跑到接收立体角范围之外) 粒子的衰变事例。$B^0_S\overline{B^0_S}$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。

北京谱仪[2]对电子和强子($K$, $\pi$)有较好的分辨能力, 对$\phi$介子有较高的探测效率。利用北京谱仪这方面的优势, 从$2471\pm209$对$\overline{D}_{tag}D^+$ 和$7629\pm240$对$\overline{D}_{tag}D^0$

*国家自然科学基金”九五”资助重大项目(19991480,19825116), 中国科学院”九五”重大及特别支持项目(KT95T-03)

介子样本中测定了$D^+ \to \phi e^+\nu$, $\phi K^-\pi^+e^+\nu$, 和$D^0 \to \phi K^-e^+\nu$, $\phi K^-\mu^+\nu$分支比上限。

## 2 $\overline{D}_{tag}D^+$和$\overline{D}_{tag}D^0$介子对样本

工作[3]报道了利用BES在质心系能量$4.03GeV$的$e^+e^-$对撞实验中采集的数据, 观测到的粲介子$D^0$和$D^+$的产生,分类及单标记$D^0$和$D^+$介子样本的筛选结果。从$D^0 \to K^-\pi^+, K^-\pi^+\pi^+\pi^-, \overline{K^0}\pi^+\pi^-$ 和$D^+ \to K^-\pi^+\pi^+, \overline{K^0}\pi^+$ 这5个非轻子衰变模式中, 共选出$2471 \pm 209$对$\overline{D}_{tag}D^+$ (下标"tag"指该$D$介子通过不变质量方法被完整的重建) 和$7629 \pm 240$对$\overline{D}_{tag}D^0$介子样本。

图2(a)标绘出$K^-\pi^+, K^-\pi^+\pi^+\pi^-$和$\overline{K^0}\pi^+\pi^-$组合的不变质量分布。图2(b)标绘出$K^-\pi^+\pi^+$ 和$\overline{K^0}\pi^+$组合的不变质量分布。两个不变质量峰中的事例分别对应$D^0$和$D^+$衰变到上述末态的事例。详细的分析[3]给出, 在这$10100 \pm 162$个单标记$D$介子样本中, 其反冲侧中性和带电$D$介子样本总数分别为$\mathrm{N}^{\overline{\mathrm{D}^0}}_{\mathrm{D_{tag}}} = 7629 \pm 240$和$\mathrm{N}^{\mathrm{D}^-}_{\mathrm{D_{tag}}} = 2471 \pm 209$。

## 3 半轻子衰变事例寻找

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3给出$K^+K^-$组合不变质量的分布。在$1.0 - 1.04\mathrm{GeV}/c^2$ $\phi$介子质量区域内, 共有17个事例。对这17个事例使用$dE/dx$粒子识别信息在剩余径迹中没有找到电子候选径迹。在这17个事例的剩余径迹中也没有找到$K^\mp\mu^\pm$候选事例。

寻找$D^+ \to \phi e^+\nu$, $\phi K^-\pi^+e^+\nu$, 和$D^0 \to \phi K^-e^+\nu$, $\phi K^-\mu^+\nu$ 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$N = 0$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:

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

**1:** $D^0$和$D^+$介子衰变到末态含$\phi$介子的遍举半轻子衰变, 90%置信度的分支比上限。

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

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

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

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

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

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4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。

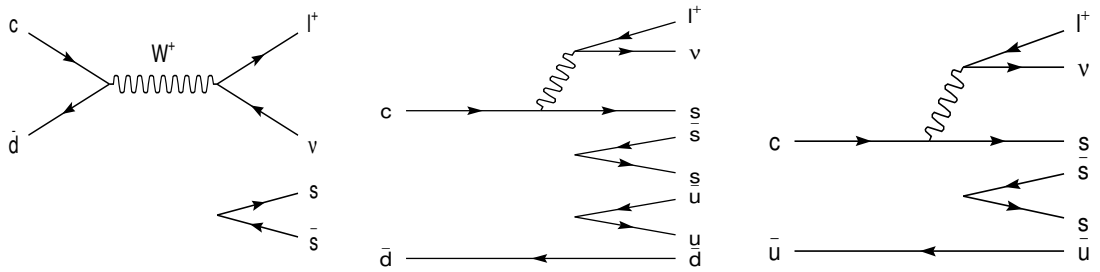
表1列出北京谱仪实验测得的4个末态可能含$\phi$介子的遍举半轻子衰变分支比的上限值, 并与1998年国际粒子数据组(PDG98[4])给出的有关分支比值做了对比。北京谱仪实验测得的$B(D^+ \to \phi e^+\nu) < 1.38\%$改进了PDG98给出的结果。PDG98对其它3个衰变模式的分支比尚无报道。


[1] DELPHI Collab., P. Abreu *et al.* , Zeit. Phys. **C61** (1994) 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, July 1995, Brussels.

[2] J. Z. Bai *et al.*, Nucl. Instr. and Methods **A344**, 319 (1994).

[3] "$D^0$和$D^+$介子单标记的研究及$D^{0,+} \to \phi$X单举衰变分支比的测量"。将送**高能物理与核物理** 杂志发表。

[4] Particle Data Group, C. Caso *et al.*, Eur. Phys. J. **C3** (1998) 1.




**(a)** $D^+ \to \phi e^+(\mu^+)\nu$ **(b)** $D^0 \to \phi K^-\pi^+ e^+(\mu^+)\nu$ **(c)** $D^0 \to \phi K^- e^+(\mu^+)\nu$

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

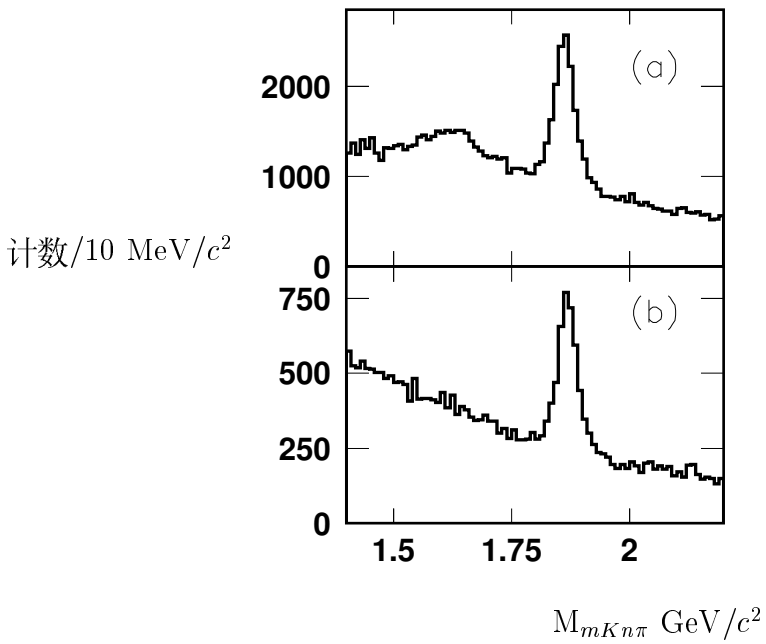



图2. $mKn\pi$ $(m = 0, 1; n = 1, 2, 3, 4)$ 组合的不变质量分布[3],
(a)是$K^-\pi^+$, $K^-\pi^+\pi^+\pi^-$ 和$\overline{K^0}\pi^+\pi^-$组合的不变质量,
(b)是$K^-\pi^+\pi^+$ 和$\overline{K^0}\pi^+$组合的不变质量。

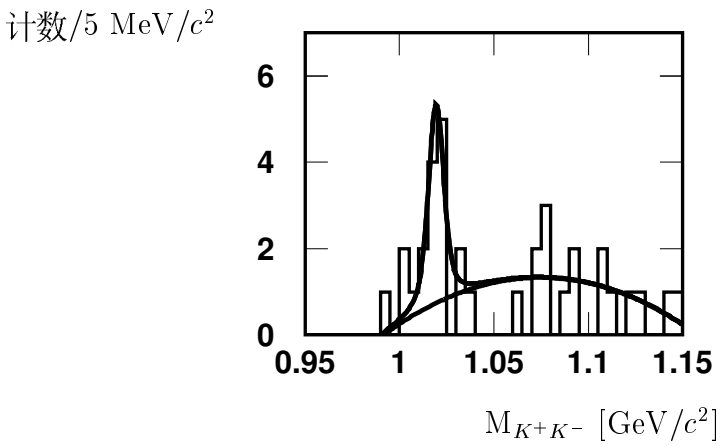



图3. $K^+K^-$组合的不变质量分布。

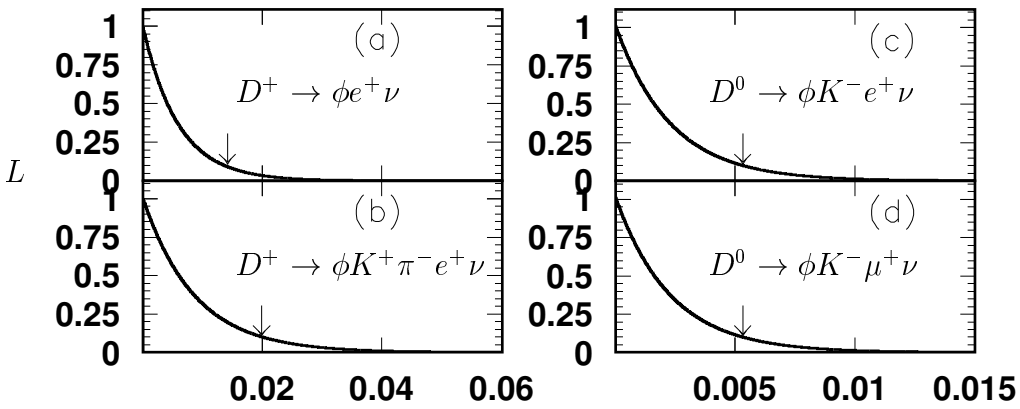



图4. 似然函数$L$与衰变分支比$B$的关系。