

BESIII 上粲介子稀有半轻衰变的研究

李晓宇

xiaoyuli@ihep.ac.cn

2023 年 4 月 9 日

目录

① 研究背景

② BESIII 近期进展

③ 总结

目录

1 研究背景

2 BESIII 近期进展

3 总结

研究背景

- BESIII 积累了世界上**最大、拓扑完整**的近阈粲介子对数据，可以提供**最精确**的分支比测量/**最严格**的上限设置
 - D^+ $\sim 1.7\text{M}$ (2010-2011)
 - D^0 $\sim 2.7\text{M}$ (2010-2011)
 - D_s^+ $\sim 0.8\text{M}$ (2016-2019)
- 近阈产生的样本中，**本底水平较低**，适合开展对稀有衰变的研究
- 通过双标记方法，重建除中微子以外的可重建粒子，通过丢失动量 $\vec{p}_{\text{miss}}$ 与丢失能量 E_{miss} 构造观测量（如 $U_{\text{miss}} = E_{\text{miss}} - |\vec{p}_{\text{miss}}|$ 和 $\text{MM}^2 = E_{\text{miss}}^2 - \vec{p}_{\text{miss}}^2$ ），**研究方法成熟**，适合开展系统研究
- 粲介子稀有半轻衰变过程的测量，对**检验与发展**各种相关的物理机制（例如 $\pi^0 - \eta$ 、 $\eta - \eta'$ 混合机制、OZI 规则、同位旋对称等）
- 半轻过程为弱作用，适合于在强子侧寻找各种量子数的**高激发态和新粒子态**

目录

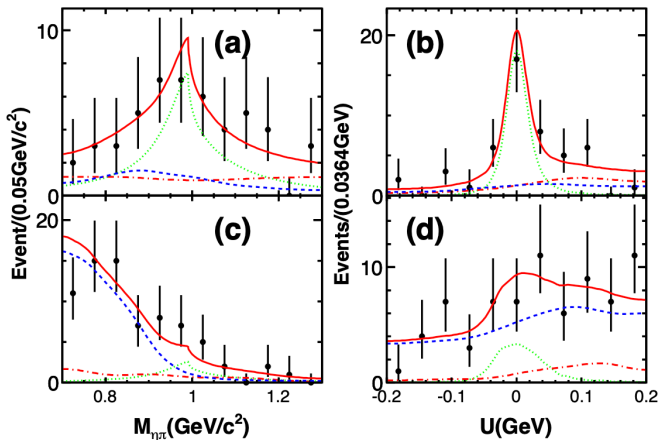
1 研究背景

2 BESIII 近期进展

3 总结

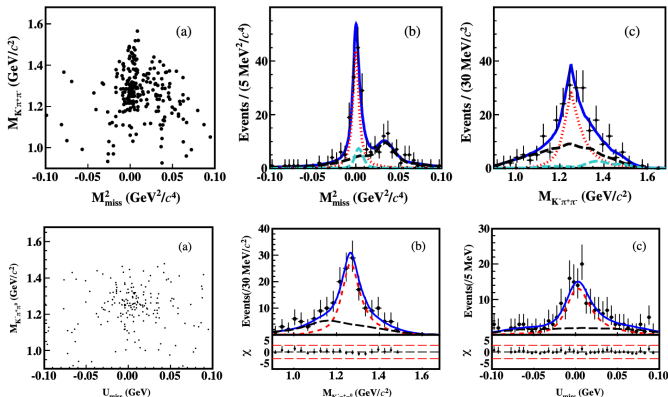
$$D^{0(+)} \rightarrow a_0(980)^{- (0)} e^+ \nu_e$$

- 发表于 Phys.Rev.Lett. 121,081802(2018)
- 对 $D^{+ (0)} \rightarrow Sl^+ \nu_l$ 类过程的寻找, 其中 D^0 衰变为对该过程的**首次测量**
- 为探明 $f_0(500)$ 和 $f_0(980)$ 的性质提供实验依据
- $B(D^+ \rightarrow a_0(980)^0 (\rightarrow \eta\pi^0) e^+ \nu_e) = (1.66^{+0.81}_{-0.66} \pm 0.11) \times 10^{-4}$
- $B(D^0 \rightarrow a_0(980)^- (\rightarrow \eta\pi^-) e^+ \nu_e) = (1.33^{+0.33}_{-0.29} \pm 0.09) \times 10^{-4}$



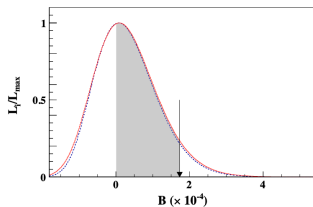
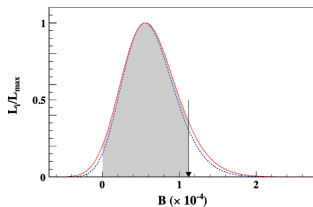
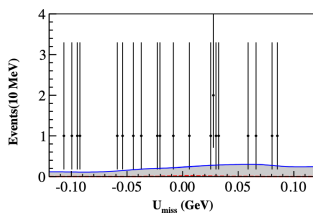
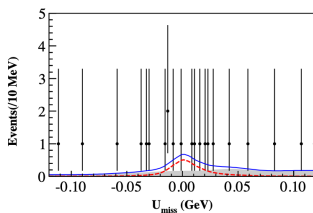
$$D^{0(+)} \rightarrow \bar{K}_1(1270)^{- (0)} (\rightarrow K^- \pi^+ \pi^-^{(0)}) e^+ \nu_e$$

- 发表于 Phys.Rev.Lett. 127,131801(2021) 与 Phys.Rev.Lett. 123,231801(2019)
- 对 $D^{+(0)} \rightarrow A l^+ \nu_l$ 类过程的测量, 均为对该过程的**首次测量**
- 检验**ISGW(2)**模型与**QCD 求和规则**给出的预言, 为测量 $K_1(1270)$ 与 $K_1(1400)$ 混合角 θ_{K1} 提供实验数据
- $B(D^+ \rightarrow \bar{K}(1270)^0 (\rightarrow K^- \pi^+ \pi^0) e^+ \nu_e = (1.06 \pm 0.12 \pm 0.08) \times 10^{-3}$
- $B(D^0 \rightarrow \bar{K}(1270)^- (\rightarrow K^- \pi^+ \pi^-) e^+ \nu_e = (3.59 \pm 0.41^{+0.31}_{-0.44}) \times 10^{-4}$



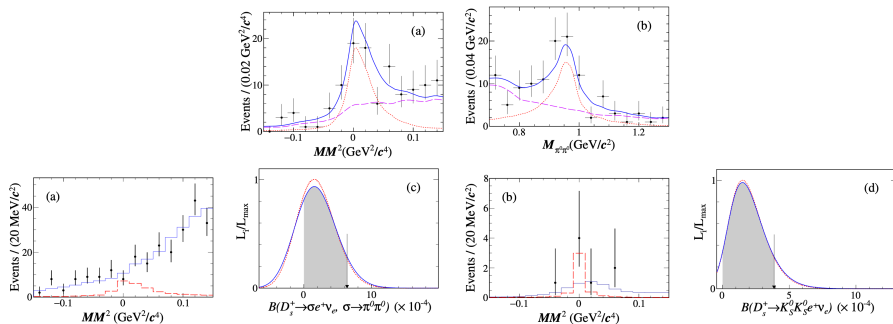
$$D^{0(+)} \rightarrow b_1(1235)^{-(0)} (\rightarrow \omega \pi^{-(0)}) e^+ \nu_e$$

- 发表于 Phys.Rev.D 102,112005(2020)
- 对 $D^{+(0)} \rightarrow A l^+ \nu_l$ 类过程的寻找, 均为对该过程的首次寻找
- 检验 ISGW(2) 模型给出的预言
- $B(D^+ \rightarrow b_1(1235)^0 (\rightarrow \omega \pi^0) e^+ \nu_e) < 1.75 \times 10^{-4}$
- $B(D^0 \rightarrow b_1(1235)^- (\rightarrow \omega \pi^-) e^+ \nu_e) < 1.12 \times 10^{-4}$



$D_s^+ \rightarrow \pi^0 \pi^0 e^+ \nu_e$ 和 $K_S^0 K_S^0 e^+ \nu_e$

- 发表于 Phys.Rev.D 105,L031101(2022)
- 对 $D_s^+ \rightarrow Sl^+ \nu_l$ 类过程的测量与寻找。均为对这些过程的首次测量与寻找
- 为探明 $f_0(500)$ 和 $f_0(980)$ 的性质提供实验依据
- $B(D_s^+ \rightarrow f_0(980)(\rightarrow \pi^0 \pi^0) e^+ \nu_e) = (7.9 \pm 1.4 \pm 0.3) \times 10^{-4}$
- $B(D_s^+ \rightarrow f_0(500)(\rightarrow \pi^0 \pi^0) e^+ \nu_e) < 6.4 \times 10^{-4}$
- $B(D_s^+ \rightarrow K_S^0 K_S^0 e^+ \nu_e) < 3.9 \times 10^{-4}$

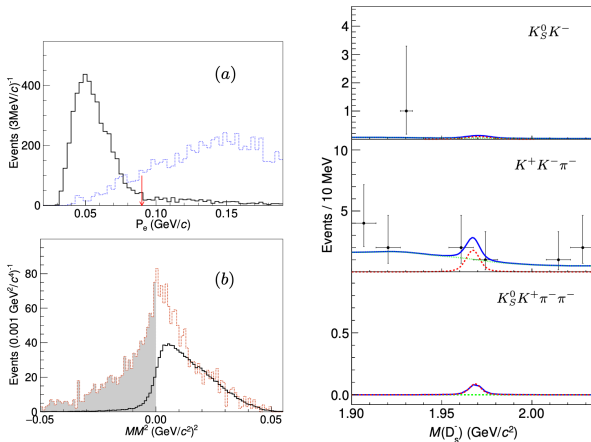


$$D_s^+ \rightarrow K_1(1270)^0 e^+ \nu_e \text{ 和 } b_1(1235)^0 e^+ \nu_e$$

- 合作组审核中, 计划投稿至 PRD
- 对 $D_s^+ \rightarrow A l^+ \nu_l$ 类过程的**首次寻找**
- 检验**ISGW(2)**模型、**同位旋守恒**、**OZI 机制**
- $B(D_s^+ \rightarrow K_1(1270)^0 (\rightarrow K^+ \pi^- \pi^0) e^+ \nu_e) = (\text{Internal Review})$
- $B(D_s^+ \rightarrow b_1(1235)^0 (\rightarrow \omega \pi^0) e^+ \nu_e) = (\text{Internal Review})$

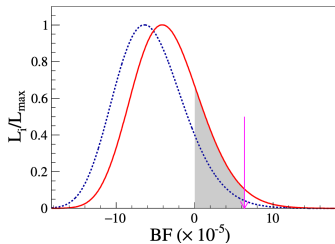
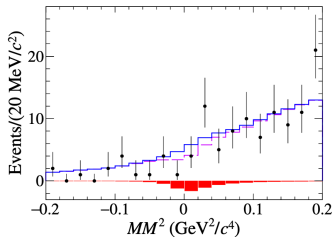
$$D_s^+ \rightarrow p\bar{p}e^+\nu_e$$

- 发表于 Phys.Rev.D 100,112008(2019)
- 对粲介子含重子半轻衰变的**首次寻找**，使用三个单标记道
- 检验**手征微扰论**预言、搜寻**重子对阈值增强效应**
- $B(D_s^+ \rightarrow p\bar{p}e^+\nu_e) < 2.0 \times 10^{-4}$



$$D_s^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e$$

- 发表于 Phys.Rev.D 106,112004(2022)
- 对 $D_s^+ \rightarrow Pl^+ \nu_l$ 类过程的寻找。是对该过程的**首次寻找**
- 检验 $\pi^0 - \eta$ 混合机制、**同位旋对称**和**OZI 机制**
- $B(D_s^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e) < 6.4 \times 10^{-5}$



目录

1 研究背景

2 BESIII 近期进展

3 总结

总结

粲介子	末态	分支比 (上限)
D^+	$a_0(980)^-(\rightarrow \eta\pi^-)e^+\nu_e$ $\bar{K}_1(1270)^0(\rightarrow K^-\pi^+\pi^0)e^+\nu_e$ $b_1(1235)^0(\rightarrow \omega\pi^0)e^+\nu_e$	$(1.66^{+0.81}_{-0.66} \pm 0.11) \times 10^{-4}$ $(1.06 \pm 0.12 \pm 0.08) \times 10^{-3}$ $< 1.75 \times 10^{-4}$
D^0	$a_0(980)^0(\rightarrow \eta\pi^0)e^+\nu_e$ $\bar{K}_1(1270)^-(\rightarrow K^-\pi^+\pi^-)e^+\nu_e$ $b_1(1235)^-(\rightarrow \omega\pi^-)e^+\nu_e$	$(1.33^{+0.33}_{-0.29} \pm 0.09) \times 10^{-4}$ $(3.59 \pm 0.41^{+0.31}_{-0.44}) \times 10^{-4}$ $< 1.12 \times 10^{-4}$
D_s^+	$f_0(980)(\rightarrow \pi^0\pi^0)e^+\nu_e$ $f_0(500)(\rightarrow \pi^0\pi^0)e^+\nu_e$ $K_1(1270)^0(\rightarrow K^+\pi^-\pi^0)e^+\nu_e$ $b_1(1235)^0(\rightarrow \omega\pi^0)e^+\nu_e$ $K_S^0 K_S^0 e^+\nu_e$ $p\bar{p}e^+\nu_e$ $\pi^0 e^+\nu_e$	$(7.9 \pm 1.4 \pm 0.3) \times 10^{-3}$ $< 6.4 \times 10^{-4}$ Internal Review Internal Review $< 3.9 \times 10^{-4}$ $< 2.0 \times 10^{-4}$ $< 6.4 \times 10^{-5}$

总结

- BESIII 积累的大量干净、拓扑完整的实验数据，为研究粲介子稀有半轻衰变过程提供了基本的实验条件。目前对 D^+ ， D^0 和 D_s^+ 的分支比上限最低可达到 10^{-5} 的水平
- 粲介子稀有半轻衰变过程的测量，可以（半）定量地检验相关的各种理论，为新理论方法的发展提供材料与灵感
- 随着 BESIII 未来在 $\psi(3770)$ 上的进一步的数据积累，将可以为更多过程设置可靠的上限甚至进行分支比测量，是研究稀有半轻过程的一个契机
- 未来的 STCF 项目预计可以比 BESIII 统计量提升两个数量级，同时保持着 BESIII 的特色优势，这将为粲介子稀有半轻衰变研究打开新的窗口

谢谢各位老师同学！