Hadronic charm hadron decays at BESIII

卢宇 中南大学物理与电子学院 2022年8月

On behalf of BESIII Collaboration





Content

基于质心能量为4.178-4.226 GeV的总计6.32fb⁻¹的正负电子对撞数据, BESIII实验对一系列 D_s 多体强子衰变展开系统研究,包括:

- $D_s^+ \rightarrow K_s^0 K^+ \pi^0$
- $D_s^+ \rightarrow K_s^0 K_s^0 \pi^+$
- $D_s^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^- \eta$
- $D_s^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \eta'$
- $D_s^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+ \pi^+ \pi^-$
- $D_s^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \pi^0$
- $D_s^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^0$
- $D_s^+ \to K^+ \pi^+ \pi^-$

通过对这些衰变进行振幅分析,精确确定其中间过程的衰变分支比,特别是之前一直缺乏 相关研究的含标量介子的衰变过程。为理论理解标量粒子的本质属性提供重要实验依据。

Content

基于质心能量为3.773GeV的总计2.93fb⁻¹的正负电子对撞数据,BESIII实验最近取得的一些 关于D⁰/ D⁺强子衰变的实验结果:

- $D^0 \rightarrow \omega \phi \Phi$, 末态矢量介子横向极化的测量。
- 通过测量衰变 $D^0 \rightarrow K_L^0 X(X = \eta, \eta', \omega, \phi)$ 研究 K_S^0/K_L^0 产额的不对称性。
- D⁰/D⁺强子衰变的分支比测量

基于质心能量为4.6000-4.6999 GeV的总计4.5fb⁻¹的正负电子对撞数据, BESIII实验最近取得的一些关于 Λ_c^+ 强子衰变的实验结果:

- $\Lambda_c^+ \rightarrow n\pi^+$
- $\Lambda_c^+ \to \Sigma^0 K^+ \pi \Lambda_c^+ \to \Sigma^+ K_S^0$

基于质心能量为3.773GeV的总计20 fb⁻¹的正负电子对撞数据(今明两年获取以及原有数据) 的展望



$D_s^+ \rightarrow K_s^0 K^+ \pi^0$ 的振幅分析与分支比测量 arXiv:2204.09614, submit to PRL

1050 DT events with purity of $(94.7 \pm 0.7)\%$ are used for amplitude analysis.



 $D_s^+ \rightarrow K_s^0 K^+ \pi^0$ 的振幅分析与分支比测量 arXiv:2204.09614



- 531217 ± 2235 单标记事例和 985 ± 40 双标记事例.
- $\mathcal{B}(D_s^+ \to K_s^0 K^+ \pi^0) = (1.46 \pm 0.06_{stat.} \pm 0.05_{syst.})\%$

$D_s^+ \rightarrow K_s^0 K_s^0 \pi^+$ 的振幅分析与分支比测量 PRD 105, L051103

用于振幅分析的样本中,信号事例数约为412,纯度为(97.3±0.8)%.





 $D_s^+ → \pi^+ \pi^+ \pi^- \eta$ 的振幅分析与分支比测量 PRD 104, L071101



D⁺_s → π⁺π⁰η'的振幅分析与分支比测量 arXiv:2202.04232, <u>JHEP04(2022)058</u>

用于振幅分析的样本中有大约411个信号事例, 纯度为 (96.1 ± 0.9)%。



$D_s^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+ \pi^+ \pi^-$ 的振幅分析与分支比测量 JHEP07(2022)051

137, 84 and 22 events are selected with purity of $(96.9 \pm 1.5)\%$, $(96.7 \pm 2.0)\%$ and $(94.9 \pm 4.7)\%$ for $\sqrt{s} = 4.178$, $4.189 \sim 4.219$ and 4.226 GeV data samples



 $\mathcal{B}(D_s^+ \to K^+ K^- \pi^+ \pi^+ \pi^-) = (6.60 \pm 0.47_{stat.} \pm 0.38_{syst.}) \times 10^{-3}$ BESIII上首个粲介子5体强子衰变振幅分析。

$D_s^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \pi^0$ 的振幅分析与分支比测量 arXiv:2205.13759, submit to JHEP

344, 222 and 64 events are selected with purity of $(85.1 \pm 1.9)\%$, $(90.0 \pm 2.0)\%$ and $(86.1 \pm 4.3)\%$ for $\sqrt{s} = 4.178$, $4.189 \sim 4.219$ and 4.226 GeV data samples



12

$D_s^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^0$ 的振幅分析与分支比测量 JHEP01(2022)052

322 and 250 events are selected with purity of $(78.9 \pm 2.3)\%$ and $(75.6 \pm 2.9)\%$ and $(94.9 \pm 4.7)\%$ for $\sqrt{s} = 4.178$ and, $4.189 \sim 4.226$ GeV data samples



Intermediate process	BF (10^{-3})		
$D_s^+ \to f_0(980)\pi^+, \ f_0(980) \to \pi^0\pi^0$	$2.8\pm0.4\pm0.4$		
$D_s^+ \to f_0(1370)\pi^+, f_0(1370) \to \pi^0\pi^0$	$1.3\pm0.3\pm0.5$		
$D_s^+ \to f_2(1270)\pi^+, f_2(1270) \to \pi^0\pi^0$	$0.5\pm0.2\pm0.3$		
$D_s^+ \to \pi^+ (\pi^0 \pi^0)_D$	$1.1\pm0.4\pm0.2$		
$D_s^+ \to (\pi^+ \pi^0)_D \pi^0$	$0.3\pm0.1\pm0.1$		
	BF listed on PDG [1] (10^{-3})		
$D_s^+ \to f_0(980)\pi^+, \ f_0(980) \to \pi^+\pi^-$	6.1 ± 0.7		
$D_s^+ \to f_0(1370)\pi^+, f_0(1370) \to \pi^+\pi^-$	3.5 ± 0.9		
$D_s^+ \to f_2(1270)\pi^+, f_2(1270) \to \pi^+\pi^-$	1.2 ± 0.2		

$D_s^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^-$ 的振幅分析与分支比测量 arXiv:2205.08844

722, 444 and 140 events are selected with purity of $(95.7 \pm 0.7)\%$, $(95.2 \pm 1.0)\%$ and $(92.6 \pm 2.2)\%$ for $\sqrt{s} = 4.178$, $4.189 \sim 4.219$ and 4.226 GeV data samples



D⁰ and D⁺ 衰变

 $D^0 \rightarrow \omega \phi$ 中的实验研究

PRL 128, 011803



单标记法: *N_{sig}* = 195.9 ± 29.1

 $\mathcal{B}(D^0 \to \omega \phi) = (6.48 \pm 0.96_{\text{stat.}} \pm 0.40_{\text{syst.}}) \times 10^{-4}$

- 与因子化模型的预言符合: Phys. Rev. D 81, 114020
 (2010); Phys. Rev. D 43, 843 (1991)
- 与基于SU(3)对称性的预言不符: Phys. Rev. D 43, 843 (1991); Chin. Phys. C 42, 063101 (2018); Phys. Rev. D 56, 7207 (1997)



末态矢量介子ω和φ以横向极化为主。

- 这一发现与D⁰ → K̄^{*0}ρ⁰中K̄^{*0}和ρ⁰的极化类似(也是 横向极化占主导地位) Phys. Rev. D 45, 2196 (1992)
- 与通常认为的纵向极化为主的预言不符 Phys. Rev. D 81
 114020 (2010); J. High Energy Phys. 03 (2014) 042

 $D^0 \rightarrow K_L^0 X(X = \eta, \eta', \omega 和 \phi)$ 的实验研究 PRD 105, 092010



衰变分支比和R(D⁰)的测量结果和理论模型的预计及差别

Decay	$\mathcal{B}_{\mathrm{exp}}$ (%)	$\mathcal{B}_{\mathrm{FAT}}$ (%)	Difference	$\mathcal{R}(D^0)_{\mathrm{exp}}$	${\cal B}(D^0)_{ m FAT}$	Difference
$D^0 \to K^0_L \phi$	$0.414 \pm 0.021 \pm 0.010$	0.33 ± 0.03	2.2σ	-0.001 ± 0.047		2.4σ
$D^0 \to K^0_L \eta$	$0.433 \pm 0.012 \pm 0.010$	0.40 ± 0.07	0.5σ	0.080 ± 0.022	0.113 ± 0.001	1.5σ
$D^0 \to K^0_L \omega$	$1.164 \pm 0.022 \pm 0.028$	0.95 ± 0.15	1.4σ	-0.024 ± 0.031	0.110 ± 0.001	4.4σ
$D^0 \to K^0_L \eta'$	$0.809 \pm 0.020 \pm 0.016$	0.77 ± 0.07	0.5σ	0.080 ± 0.023		1.6σ

D^0/D^+ 强子衰变的分支比测量

- $D^{0(+)} \rightarrow m_1 \pi^+ m_2 \pi^- m_3 \pi^0 n \eta \ ((m_1 + m_2 + m_3) \ge 3; n \ge 0)$, arXiv: 2206.13864
- $D^0 \to K^+ \pi^- \pi^0 \pi D^0 \to K^+ \pi^- \pi^0 \pi^0$, PRD 105, 112001
- $D^0 \to K^+ \pi^0 \pi^0 \pi D^0 \to K^+ \pi^0 \eta$, arXiv:2110. 10999
- $D^{0(+)} \to K_S^0 \pi^{0(+)} \omega \pi D^0 \to K^- \pi^+ \omega$, PRD 105, 032009



$\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow n\pi^+)$ 的实验测量 PRL 128. 142001

双标记法: $N_{sig} = 50 \pm 9$, $\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow n\pi^+) = (6.6 \pm 1.2_{stat.} \pm 0.4_{syst.}) \times 10^{-4}$



20

 $\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \to \Sigma^0 K^+)$ 和 $\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \to \Sigma^+ K_S^0)$ 的实验测量 arXiv:2207.10906



$$\begin{array}{c} 30 \\ 20 \\ 10 \\ 10 \\ 2.26 \\ 2.26 \\ 2.26 \\ 2.28 \\ M_{\rm BC}} \begin{array}{c} \Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma^0 {\rm K}^+ \\ \mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow \mathcal{B}$$

$$\mathcal{B}(\Lambda_{c}^{+} \to \Sigma^{0} K^{+}) = (4.7 \pm 0.9_{stat.} \pm 0.1_{syst.} \pm 0.3_{ref.}) \times 10^{-4}$$
$$\mathcal{B}(\Lambda_{c}^{+} \to \Sigma^{+} K_{s}^{0}) = (4.8 \pm 1.4_{stat.} \pm 0.2_{syst.} \pm 0.3_{ref.}) \times 10^{-4}$$

Prospects

近两年, BESIII探测器正在积累质心能量为3.773GeV的数据, 预期的总数据量将是原有数 据量的大约7倍。对于D⁰和D⁺强子衰变, 我们准备开展系列的工作:

➤ 强相位测量(仅对于D⁰), 如:

- D^0 介子的三个黄金衰变道 $K^-\pi^+, K^-\pi^+\pi^0$ 和 $K^-\pi^+\pi^-$ 的强相位测量。
- $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^- \pi D^0 \rightarrow K_L^0 \pi^+ \pi^-$ 的强相位测量。

已基于现有的质心能量为3.773GeV的总计2.93fb⁻¹的正负电子对撞数据发表了相应结 果。但是精确程度仍然无法满足未来LHCb以及Belle II实验上测量γ角时,需要输入的 强相位参数的精确度。而基于预期的所有质心能量为3.773GeV的数据,误差将下降至 大约目前的三分之一,将有效支持γ角测量实验。

多体强子衰变的振幅分析,通过振幅分析研究中间共振态中的标量介子,为理解标量 介子的物理本质提供关键实验依据。

总结

- ▶ 基于现有的3.773-4.6999 GeV的正负电子对撞数据, BESIII在粲介子和粲重子强子衰变的 研究中取得了丰富的实验结果。
 - 在4.178-4.226 GeV的总计6.32fb⁻¹的数据中,我们对一系列*D*⁺多体强子衰变展开研究,抽取了其中含标量介子子过程的衰变分支比等相关信息。为研究标量介子的本质属性提供了关键的实验输入。
 - 在3.773GeV的总计2.93fb⁻¹的数据中,我们最近的相关研究结果主要集中于单
 Cabibbo压低以及双Cabibbo压低衰变的分支比测量以及强相位相关参数的实验测量。
 - 在4.6000-4.6999 GeV的总计4.5 fb⁻¹ 数据中,我们首次测量了许多 A⁺_c 的衰变(绝对) 分支比。
- ▶ 基于总量将近20fb⁻¹的3.773GeV能量点的数据,
 - 我们将更新 D^0 介子的三个黄金衰变道 $K^-\pi^+, K^-\pi^+\pi^0$ 和 $K^-\pi^+\pi^-$ 以及自共轭衰变 道 $D^0 \to K^0_S \pi^+\pi^-$ 和 $D^0 \to K^0_L \pi^+\pi^-$ 的强相位测量。
 - 对于D⁰和D⁺的一系列多体强子衰变,我们将开展振幅分析,测量其中含标量介子
 衰变过程的相关分支比或者比例,为研究标量介子提供关键实验输入。







Back up

$D_s^+ \to K^+ \pi^+ \pi^- \pi^0$ 各个中间过程的分支比

arXiv:2205.13759, submit to JHEP

Intermediate process	BF (10^{-3})
$D_s^+[S] \to K^*(892)^0 \rho^+$	$1.41 \pm 0.23 \pm 0.07$
$D_s^+[P] \to K^*(892)^0 \rho^+$	$2.53 \pm 0.28 \pm 0.12$
$D_s^+ \to K^*(892)^0 \rho^+$	$3.95 \pm 0.35 \pm 0.17$
$D_s^+[P] \to K^*(892)^+ \rho^0$	$0.42 \pm 0.16 \pm 0.06$
$D_s^+ \to K^+ \omega$	$0.95 \pm 0.12 \pm 0.06$
$D_s^+ \to K_1(1270)^0 \pi^+, K_1(1270)^0[S] \to K^+ \rho^-$	$0.39 \pm 0.12 \pm 0.06$
$D_s^+ \to K_1(1400)^0 \pi^+, K_1(1400)^0[S] \to K^*(892)^+ \pi^-$	$0.55 \pm 0.09 \pm 0.03$
$D_s^+ \to K_1(1400)^0 \pi^+, K_1(1400)^0[S] \to K^*(892)^0 \pi^0$	$0.59 \pm 0.09 \pm 0.02$
$D_s^+ \to K_1(1400)^0 \pi^+, K_1(1400)^0[S] \to K^*(892)\pi$	$1.10\pm0.19\pm0.04$
$D_s^+ \to a_1(1260)^0 K^+, a_1(1260)^0 [S] \to \rho^+ \pi^-$	$0.19 \pm 0.07 \pm 0.09$
$D_s^+ \to a_1(1260)^0 K^+, a_1(1260)^0 [S] \to \rho^- \pi^+$	$0.19 \pm 0.07 \pm 0.09$
$D_s^+ \to a_1(1260)^0 K^+, a_1(1260)^0 [S] \to \rho \pi$	$0.32 \pm 0.12 \pm 0.15$
$D_s^+[S] \to (K^+\pi^0)_V \rho^0$	$1.01 \pm 0.20 \pm 0.06$
$D_s^+ \to (K^+ \pi^0)_{\mathrm{S-wave}} (\pi^+ \pi^-)_{\mathrm{S-wave}}$	$0.93 \pm 0.22 \pm 0.09$