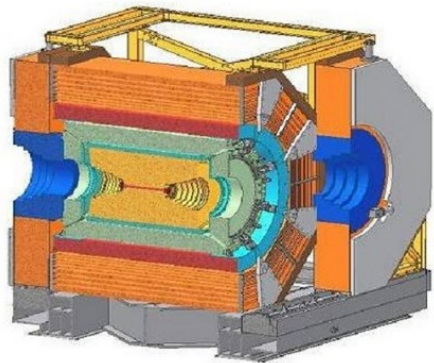




国家自然科学基金委重大项目

BESIII

《北京谱仪BESIII实验上粲夸克衰变中标准模型的精确检验》之课题二

粲强子的强子末态衰变机制研究

董燎原

中国科学院高能物理研究所

承担单位：中国科学院高能物理研究所

合作单位：南华大学



2025年BESIII粲强子物理研讨会 兰州 2025/8/8

总体目标： 基于BESIII实验在阈值附近采集的世界上最大的粲强子样本，开展粲强子(D^0 , D^+ , D_s^+ 和 Λ_c^+)强子衰变精密实验研究，建立粲强子遍举强子衰变的完整图像。

☞ 粲强子强子衰变分支比测量

1. 测量粲强子Cabibbo允许和压低强子衰变绝对分支比
→ 实现对粲强子遍举强子衰变的全面观测
2. 测量 $D \rightarrow 3\pi X, K_S^0 X, \eta X$ 单举衰变分支比

☞ 粲强子多体强子衰变振幅分析

→ 实现对所有中间两体衰变类型的全面测量

☞ 双Cabibbo压低衰变的寻找及分支比测量和振幅分析

☞ $D \rightarrow K_S^0 X, K_L^0 X$ 衰变不对称性测量

二. 研究计划执行情况

- ④ 粲强子Cabibbo允许及Cabibbo压低强子衰变绝对分支比测量：
完成 D_s^+ 衰变分支比测量； Λ_c^+ 衰变测量处于CWR申请阶段； D^0 和 D^+ 衰变测量处于charm组审核阶段。
- ④ 粲介子双Cabibbo压低衰变绝对分支比测量：
分支比测量：3项成果已发表(共6个衰变道)；2025年1项成果已发表(10衰变道),1项投稿(3衰变道)。
振幅分析： $D^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \pi^0$ 和 $D^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^-$ → 文章撰写； $D^+ \rightarrow K^+ \pi^0 \pi^0 / \eta$ → charm组审核。
- ④ D^0 和 D^+ 介子多体衰变振幅分析： 2024年发表: $D^+ \rightarrow K_S^0 K_S^0 \pi^+$ ； 2025年发表: $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+ \pi^0$
在研>30个分析： 投稿: $D^+ \rightarrow \pi^+ \eta \eta$ ； 即将投稿 $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^0 \eta$, $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^0 \pi^0$, $D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^0$
10项工作处于BESIII内部审核阶段；6项工作处于charm组审核阶段。
- ④ D_s^+ 介子多体衰变振幅分析： 2025年发表: $D_s^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^0$, $D_s^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^0 \pi^0$
在研>3个分析： 投稿: $D_s^+ \rightarrow K_S^0 K_L^0 \pi^+$ ； Draft阶段: $D_s^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^0 \eta$
- ④ Λ_c^+ 多体衰变振幅分析：
在研>3个分析： BESIII内部审核: $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$, $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^+ K^-$, $\Lambda_c^+ \rightarrow p K_S^0 \pi^0$ 。
- ④ $D \rightarrow K_S^0 X, K_L^0 X$ 衰变不对称性测量：
完成 $D^0 \rightarrow K_L^0 \phi / \eta / \omega / \eta'$ 分支比测量和 $K_L^0 - K_S^0$ 衰变不对称性测量。
- ④ $D \rightarrow 3\pi X, K_S^0 X, \eta X$ 分支比测量：
完成 $D \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ X$, $D_s^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^- X$, $D^+ \rightarrow K_S^0 X$, $D^0 \rightarrow K_S^0 X$ 分支比测量； $D_s^+ \rightarrow \eta X$ → BESIII内部审核。 3

三. 粲强子强子衰变研究进展

D_s^+ 介子强子衰变分支比测量:

JHEP05(2024)335, 7.33fb⁻¹@4.178 – 4.226GeV

Mode	$\mathcal{B}$ (%)	$\mathcal{A}_{CP}$ (%)
$D_s^+ \rightarrow K_S^0 K^+$	$1.502 \pm 0.012 \pm 0.009$	$0.29 \pm 0.50 \pm 0.21$
$D_s^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+$	$5.49 \pm 0.04 \pm 0.07$	$0.48 \pm 0.26 \pm 0.24$
$D_s^+ \rightarrow K_S^0 K^+ \pi^0$	$1.47 \pm 0.02 \pm 0.02$	$-0.85 \pm 1.97 \pm 0.46$
$D_s^+ \rightarrow K_S^0 K_S^0 \pi^+$	$0.73 \pm 0.01 \pm 0.01$	$1.14 \pm 1.58 \pm 0.44$
$D_s^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+ \pi^0$	$5.50 \pm 0.05 \pm 0.11$	$-0.66 \pm 0.91 \pm 0.33$
$D_s^+ \rightarrow K_S^0 K^+ \pi^+ \pi^-$	$0.93 \pm 0.02 \pm 0.01$	$2.00 \pm 2.37 \pm 0.70$
$D_s^+ \rightarrow K_S^0 K^- \pi^+ \pi^+$	$1.56 \pm 0.02 \pm 0.02$	$-0.24 \pm 1.05 \pm 1.07$
$D_s^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$	$1.09 \pm 0.01 \pm 0.01$	$-0.88 \pm 1.17 \pm 0.38$
$D_s^+ \rightarrow \pi^+ \eta$	$1.69 \pm 0.02 \pm 0.02$	$-0.44 \pm 0.89 \pm 0.19$
$D_s^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \eta$	$9.10 \pm 0.09 \pm 0.15$	$1.05 \pm 1.45 \pm 0.62$
$D_s^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^- \eta$	$3.08 \pm 0.06 \pm 0.05$	$2.42 \pm 2.85 \pm 0.78$
$D_s^+ \rightarrow \pi^+ \eta'$	$3.95 \pm 0.04 \pm 0.07$	$-0.59 \pm 0.76 \pm 0.20$
$D_s^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \eta'$	$6.17 \pm 0.12 \pm 0.14$	$-1.60 \pm 2.57 \pm 0.64$
$D_s^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^0$	$0.51 \pm 0.02 \pm 0.01$	$-2.17 \pm 4.65 \pm 1.10$
$D_s^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^-$	$0.620 \pm 0.009 \pm 0.006$	$1.81 \pm 2.01 \pm 0.45$

以上测量与世界平均值一致，精度大幅提升

D^0, D^+ 介子强子衰变分支比测量:

PRD 111 (2025) 092005, 20.3 fb⁻¹@3.773GeV

Signal decay	$\mathcal{B}_{\text{sig}}(10^{-4})$	$\mathcal{B}_{\text{weight}}(10^{-4})$	$\mathcal{B}_{\text{PDG}}(10^{-4})$
$D^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+ \pi^+ \pi^-$	$0.66 \pm 0.11 \pm 0.03$	...	2.3 ± 1.2
$D^+ \rightarrow \phi \pi^+ \pi^+ \pi^-$	$0.54 \pm 0.19 \pm 0.02$	...	...
$D^+ \rightarrow K_S^0 K^+ \pi^+ \pi^- \pi^0$	$2.51 \pm 0.34 \pm 0.14$	...	...
$D^+ \rightarrow K_S^0 K^+ \eta_{\gamma\gamma}$	$2.17 \pm 0.24 \pm 0.08$	$2.27 \pm 0.22 \pm 0.05$	1.8 ± 0.5
$D^+ \rightarrow K_S^0 K^+ \eta_{\pi^+ \pi^- \pi^0}$	$2.90 \pm 0.59 \pm 0.15$		
$D^+ \rightarrow K_S^0 K^+ \omega$	$2.02 \pm 0.35 \pm 0.10$	...	...

PRD 112 (2025) 012001, 7.9 fb⁻¹@3.773GeV

Signal decay	$\mathcal{B}_{\text{sig}}(\times 10^{-4})$	$\mathcal{B}_{\text{FOCUS}}(\times 10^{-4})$
$D^0 \rightarrow K^- 3\pi^+ 2\pi^-$	$1.35 \pm 0.23 \pm 0.08$	$2.2 \pm 0.5 \pm 0.3$
$D^0 \rightarrow K^- 2\pi^+ \pi^- 2\pi^0$	$19.0 \pm 1.1 \pm 1.5$	...
$D^+ \rightarrow K^- 3\pi^+ \pi^- \pi^0$	$6.57 \pm 0.69 \pm 0.33$	...

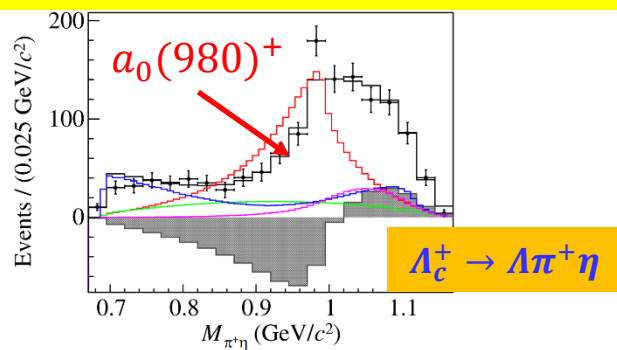
完善粲介子强子衰变的实验信息，为粲物理和B物理的本底研究提供关键输入

粲强子三体强子衰变的振幅分析

粲强子强子衰变的振幅分析，发现末态含 $a_0(980)$ 的一系列新衰变

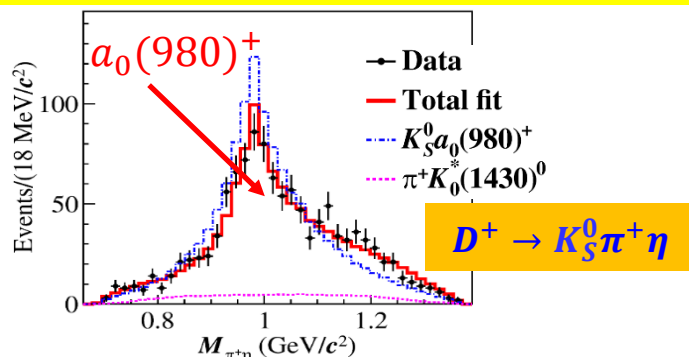
发现 $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda a_0(980)^+$

PRL 134 (2025) 021901, 6.1 fb^{-1} @ $4.6 - 4.843 \text{ GeV}$



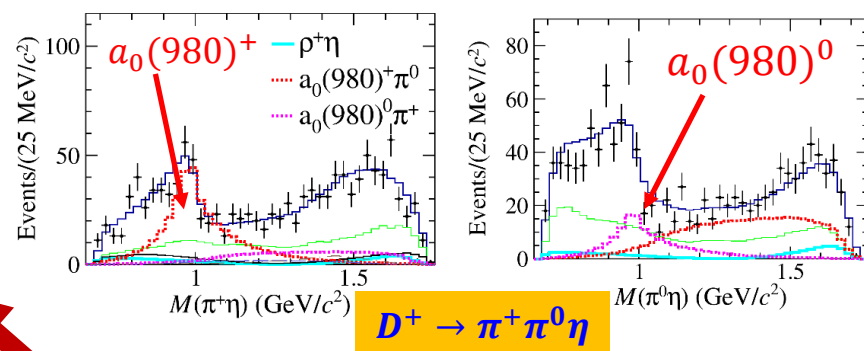
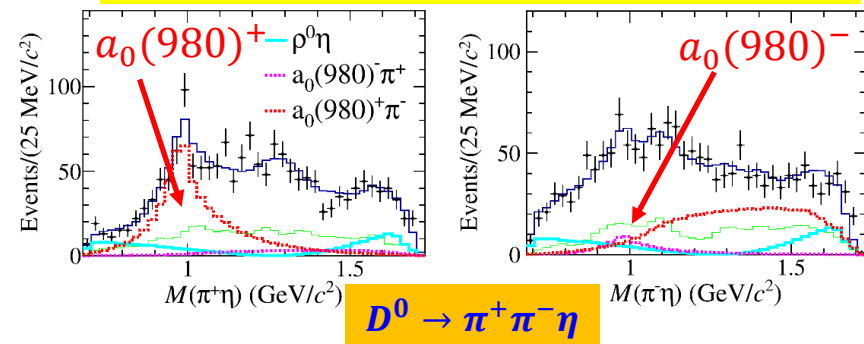
发现 $D^+ \rightarrow K_S^0 a_0(980)^+$

PRL 132 (2024) 131903, 2.93 fb^{-1} @ 3.773 GeV



发现 $D \rightarrow a_0(980)\pi$

PRD 110 (2024) L111102, 7.9 fb^{-1} @ 3.773 GeV



$$\begin{aligned}
 &B(D^+ \rightarrow K_S^0 a_0(980)^+, a_0(980)^+ \rightarrow \pi^+ \eta) = (1.33 \pm 0.05_{\text{stat}} \pm 0.04_{\text{syst}})\% \\
 &B(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda a_0(980)^+, a_0(980)^+ \rightarrow \pi^+ \eta) = (1.05 \pm 0.16_{\text{stat}} \pm 0.05_{\text{syst}} \pm 0.07_{\text{ext}})\% \\
 &B(D^0 \rightarrow a_0(980)^+ \pi^-) = (0.55 \pm 0.05 \pm 0.07) \times 10^{-3} \\
 &B(D^0 \rightarrow a_0(980)^- \pi^+) = (0.07 \pm 0.02 \pm 0.01) \times 10^{-3} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{比值为: } 7.5_{-0.8}^{+2.5} \pm 1.7 \\
 &B(D^+ \rightarrow a_0(980)^+ \pi^0) = (0.95 \pm 0.12 \pm 0.05) \times 10^{-3} \\
 &B(D^+ \rightarrow a_0(980)^0 \pi^+) = (0.37 \pm 0.10 \pm 0.04) \times 10^{-3} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{比值为: } 2.6 \pm 0.6 \pm 0.3
 \end{aligned}$$

衰变分支比的测量结果比理论预测高1-2数量级

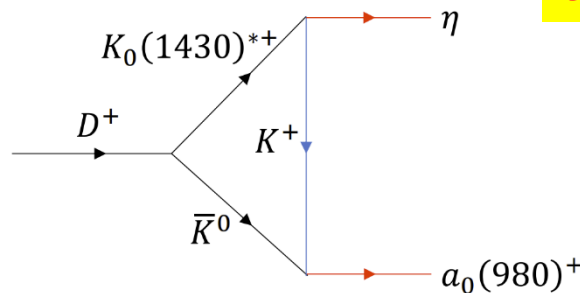
为理解粲强子的强子衰变机制和确定奇特态 $a_0(980)$ 内部结构，提供了重要实验信息。

粲强子三体强子衰变的振幅分析

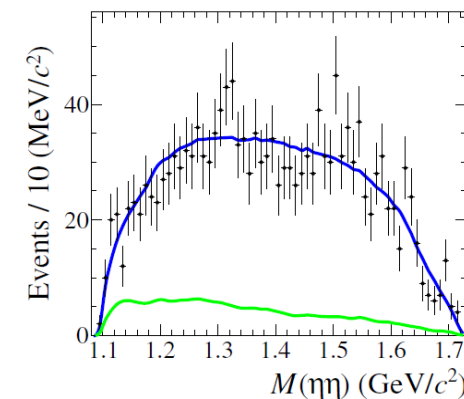
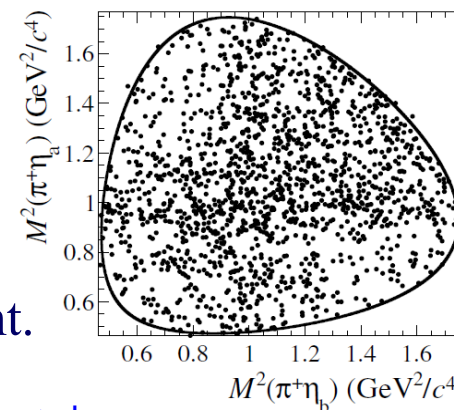
Amplitude analysis of $D^+ \rightarrow \pi^+ \eta \eta$

arXiv:2505.12086, 20.3fb^{-1} @3.773GeV

First observation of an altered $a_0(980)$ line-shape due to triangle loop rescattering



Fit1: $P_{a_0(980)}$ three-channel coupled Flatte formulae, the fitted pole position is inconsistent with previous measurement.



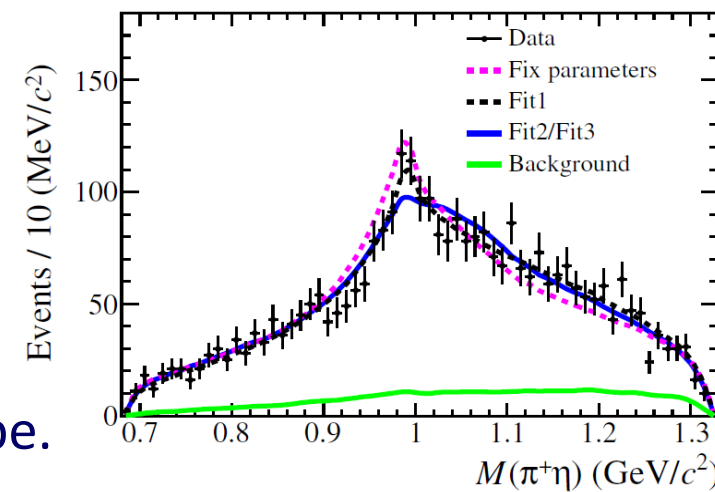
To consider the rescattering process $D^+ \rightarrow \bar{K}_0^*(1430)^0 K^+ \rightarrow a_0(980)^+ \eta$ we perform Fit2 and Fit3

Fit2: $(1 + |C|e^{i\phi_C} A_{\text{loop}}) P_{a_0(980)}$

Fit3: $(1 + |C| A_{\text{loop}}) P_{a_0(980)}$ with ϕ_C fixed to zero.

$$|C| = 0.113 \pm 0.015_{\text{stat.}} \pm 0.048_{\text{syst.}}$$

Fit2 and Fit3 give good descriptions of the altered $a_0(980)$ line-shape.



BF measurement $\mathcal{B}(D^+ \rightarrow \pi^+ \eta \eta) \mathcal{B}(a_0(980)^+ \rightarrow \pi^+ \eta) \} = (3.67 \pm 0.12_{\text{stat.}} \pm 0.06_{\text{syst.}}) \times 10^{-3}$

粲强子三体强子衰变的振幅分析

Amplitude analysis of $D_s^+ \rightarrow K_S^0 K_L^0 \pi^+$

arXiv:2503.11383, 7.33fb^{-1} @ $4.178 - 4.226\text{GeV}$

Measurement of $\phi \rightarrow K_S^0 K_L^0$

$$\mathcal{B}_{D_s^+ \rightarrow K_S^0 K_L^0 \pi^+} = (1.86 \pm 0.06_{\text{stat}} \pm 0.003_{\text{syst}})\%$$

Amplitude	Phase (rad)	BF (%)
$D_s^+ \rightarrow \phi \pi^+$	0.0(fixed)	$1.32 \pm 0.05 \pm 0.04$
$D_s^+ \rightarrow K_L^0 K^*(892)^+$	$0.68 \pm 0.17 \pm 0.21$	$0.42 \pm 0.03 \pm 0.03$
$D_s^+ \rightarrow K_S^0 K^*(892)^+$	$-2.40 \pm 0.18 \pm 0.31$	$0.31 \pm 0.02 \pm 0.02$

$$\frac{\mathcal{B}(\phi(1020) \rightarrow K_S^0 K_L^0)}{\mathcal{B}(\phi(1020) \rightarrow K^+ K^-)} = 0.597 \pm 0.023_{\text{stat}} \pm 0.018_{\text{syst}} \pm 0.016_{\text{PDG}}$$

Taking from PDG

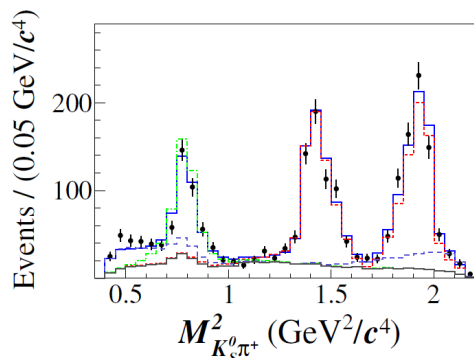
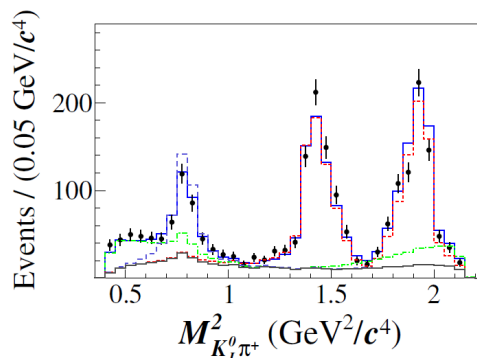
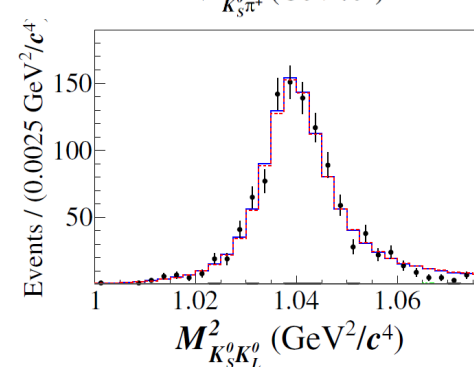
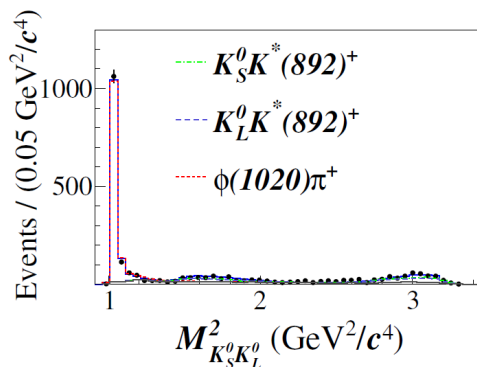
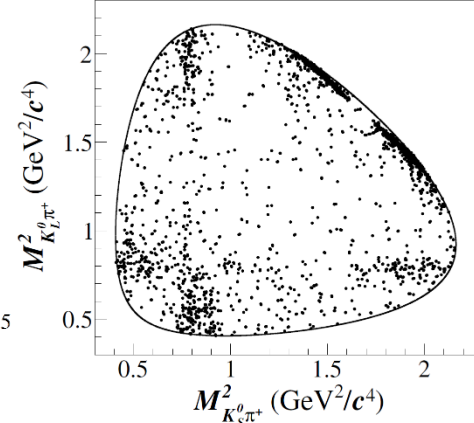
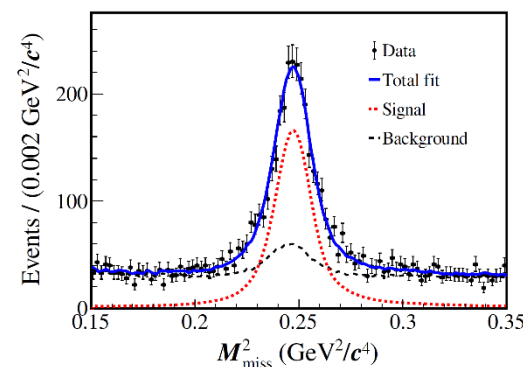
Deviates from PDG value (0.740 ± 0.031) by $>3\sigma$

First observation of $K_S^0 - K_L^0$ asymmetry

$$\frac{\mathcal{B}(D_s^+ \rightarrow K_S^0 K^*(892)^+) - \mathcal{B}(D_s^+ \rightarrow K_L^0 K^*(892)^+)}{\mathcal{B}(D_s^+ \rightarrow K_S^0 K^*(892)^+) + \mathcal{B}(D_s^+ \rightarrow K_L^0 K^*(892)^+)} = (-13.4 \pm 5.0_{\text{stat}} \pm 3.4_{\text{syst}})\%$$

Model	DAT(F4)	DAT(F1')
$D_s^+ \rightarrow \bar{K}^0 K^{*+}$	-0.164 ± 0.032	-0.159 ± 0.028

Predictions by H.-Y. Cheng *et al.*, PRD109, 073008 (2024)



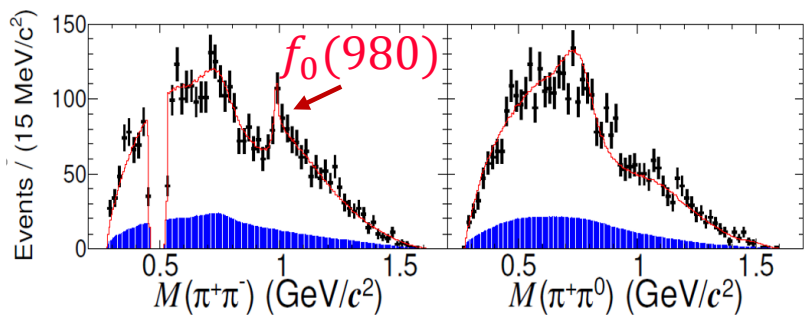
☯ $D_s^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^0$

PRL 134, 011904 (2025), 7.33fb⁻¹@4.178 – 4.226GeV

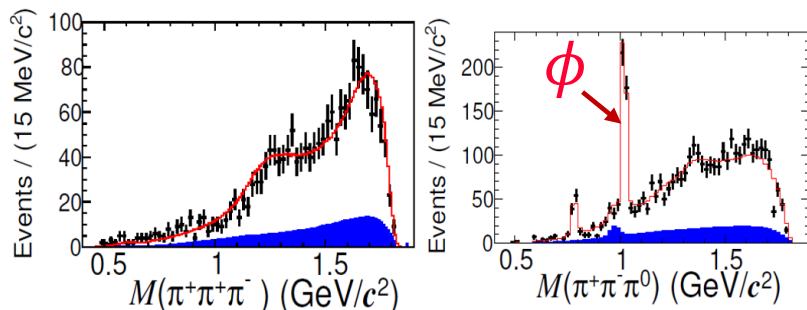
首次发现 $D_s^+ \rightarrow f_0(980)\rho(770)^+$

$$\mathcal{B}(D_s^+ \rightarrow f_0(980)\rho^+) = (2.57 \pm 0.44 \pm 0.20) \times 10^{-3}$$

$$\frac{\mathcal{B}(\phi(1020) \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0)}{\mathcal{B}(\phi(1020) \rightarrow K^+ K^-)} = 0.230 \pm 0.014_{\text{stat.}} \pm 0.010_{\text{syst.}}$$



偏离世界平均值
(0.313±0.010)
超过4σ



☯ 10项振幅分析在BESIII内部审核

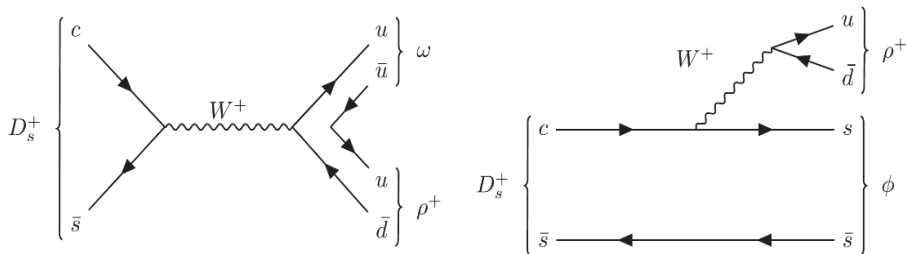
$D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^0$	BAM-00735
$D^+ \rightarrow K_S^0 K_S^0 K^+$	BAM-00838
$D^0 \rightarrow K_S^0 K^+ \pi^- \pi^0$	BAM-00844
$D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^- \eta, \pi^+ \pi^0 \pi^0 \eta$	BAM-00984, Draft
$D^0 \rightarrow \pi^0 \eta \eta$	BAM-00992
$D^0 \rightarrow K^+ K^- \pi^0 \pi^0$	BAM-00998, Draft
$D^+ \rightarrow K_S^0 K_L^0 \pi^+$	BAM-01013
$D^+ \rightarrow K_S^0 K^- \pi^+ \pi^+$	BAM-01017
$D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-, K_L^0 \pi^+ \pi^-$	BAM-01024
$D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^- \pi^0$	BAM-01025

该分支比测量严格约束外W发射理论计算，有助于理解奇特态 $f_0(980)$ 的性质

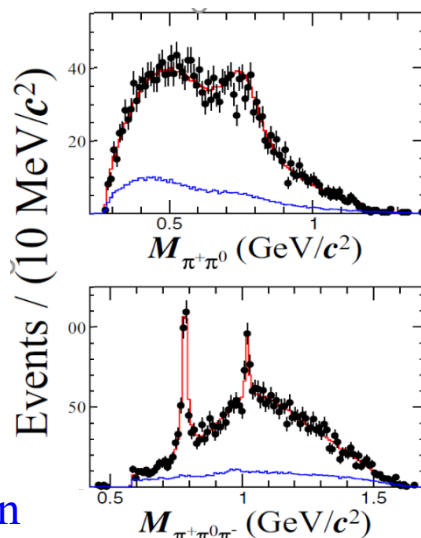
粲介子多体强子衰变的振幅分析

☯ $D_s^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^0$

首次发现 $D_s^+ \rightarrow \omega \rho(770)^+$



Pure W -annihilation Pure W -external emission



PRL 134, 201902 (2025), $7.33\text{fb}^{-1}@4.178 - 4.226\text{GeV}$

☯ 6项振幅分析在Charm组审核

$D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$	DocDB-1718
$D^0 \rightarrow K_S^0 K^+ K^-, K_L^0 K^+ K^-$	DocDB-1716
$D^0 \rightarrow K^+ K^- \eta$	DocDB-1683
$D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \eta$	DocDB-1669
$D^+ \rightarrow K_S^0 K^+ \eta$	DocDB-1653
$D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \eta'$	DocDB-1441

在研: $D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 \eta, D^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+ \pi^0,$

$D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^0, D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+, D^+ \rightarrow K^- K^+ \pi^+,$
 $D^0 \rightarrow K_S^0 K^- \pi^+ \pi^0, D^+ \rightarrow K_S^0 K^- \pi^+ \pi^+, \dots$

☯ Polarization puzzle

Amplitude	BF (%)
$D_s^+ \rightarrow \rho(1450)^+ \pi^0, \rho(1450)^+ \rightarrow \omega \pi^+$	$0.39 \pm 0.04^{+0.03}_{-0.03}$
$D_s^+[S] \rightarrow a_1(1260)^0 \rho^+, a_1(1260)^0[S] \rightarrow \rho^+ \pi^-$	$0.23 \pm 0.02^{+0.01}_{-0.01}$
$D_s^+[P] \rightarrow a_1(1260)^0 \rho^+, a_1(1260)^0[S] \rightarrow \rho^+ \pi^-$	$0.50 \pm 0.04^{+0.02}_{-0.02}$
$D_s^+ \rightarrow a_1(1260)^0 \rho^+, a_1(1260)^0 \rightarrow \rho^+ \pi^-$	$0.50 \pm 0.04^{+0.02}_{-0.02}$
$D_s^+[S] \rightarrow a_1(1260)^0 \rho^+, a_1(1260)^0[S] \rightarrow \rho^- \pi^+$	$0.16 \pm 0.02^{+0.01}_{-0.01}$
$D_s^+[P] \rightarrow a_1(1260)^0 \rho^+, a_1(1260)^0[S] \rightarrow \rho^- \pi^+$	$0.17 \pm 0.01^{+0.01}_{-0.01}$
$D_s^+ \rightarrow a_1(1260)^0 \rho^+, a_1(1260)^0 \rightarrow \rho^- \pi^+$	$0.33 \pm 0.02^{+0.02}_{-0.02}$
$D_s^+[S] \rightarrow a_1(1260)^+ \rho^0, a_1(1260)^+[S] \rightarrow \rho^+ \pi^0$	$0.41 \pm 0.05^{+0.05}_{-0.05}$
$D_s^+[P] \rightarrow a_1(1260)^+ \rho^0, a_1(1260)^+[S] \rightarrow \rho^+ \pi^0$	$0.31 \pm 0.04^{+0.02}_{-0.02}$
$D_s^+ \rightarrow a_1(1260)^+ \rho^0, a_1(1260)^+ \rightarrow \rho^+ \pi^0$	$0.73 \pm 0.07^{+0.07}_{-0.07}$
$D_s^+ \rightarrow b_1(1235)^+ \pi^0, b_1(1235)^+[S] \rightarrow \omega \pi^+$	$0.53 \pm 0.05^{+0.03}_{-0.03}$
$D_s^+ \rightarrow b_1(1235)^0 \pi^+, b_1(1235)^0[S] \rightarrow \omega \pi^0$	$0.72 \pm 0.06^{+0.05}_{-0.05}$

Amplitude	BF (%)
$D_s^+[S] \rightarrow \omega \rho^+$	$0.30 \pm 0.07^{+0.02}_{-0.03}$
$D_s^+[P] \rightarrow \omega \rho^+$	$0.25 \pm 0.04^{+0.04}_{-0.04}$
$D_s^+[D] \rightarrow \omega \rho^+$	$0.52 \pm 0.07^{+0.04}_{-0.07}$
$D_s^+ \rightarrow \omega \rho^+$	$0.99 \pm 0.08^{+0.05}_{-0.07}$
$D_s^+[S] \rightarrow \phi \rho^+$	$3.32 \pm 0.29^{+0.19}_{-0.17}$
$D_s^+[P] \rightarrow \phi \rho^+$	$0.63 \pm 0.12^{+0.05}_{-0.06}$
$D_s^+ \rightarrow \phi \rho^+$	$3.98 \pm 0.33^{+0.21}_{-0.19}$

D>S>P

S>P>D

Naive prediction: PRL 128,011803

transverse dominates than longitudinal in charm decays

$$\frac{\mathcal{B}(\phi(1020) \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0)}{\mathcal{B}(\phi(1020) \rightarrow K^+ K^-)} = 0.222 \pm 0.019_{\text{stat}} \pm 0.016_{\text{syst}}$$

Deviates from PDG value
 (0.313 ± 0.010) by $>3\sigma$

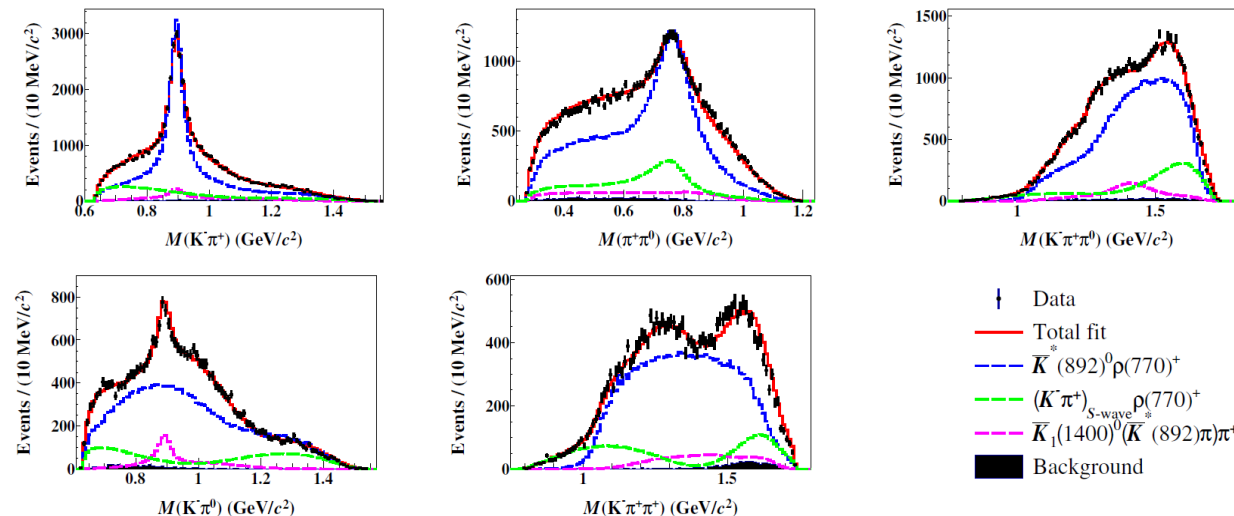
粲介子多体强子衰变的振幅分析

☯ $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^- \pi^0$ Golden tag mode

7.9fb⁻¹ @3.773GeV, JHEP05(2025)195

Intermediate process	BF (10 ⁻²)
$D^+ \rightarrow \bar{K}^*(892)^0 \rho(770)^+, \bar{K}^*(892)^0 \rightarrow K^- \pi^+, \rho(770)^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	$4.35 \pm 0.07 \pm 0.17$
$D^+ \rightarrow \bar{K}_1(1270)^0 \pi^+, \bar{K}_1(1270)^0 \rightarrow K^- \rho(770)^+, \rho(770)^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	$0.24 \pm 0.02 \pm 0.02$
$D^+ \rightarrow \bar{K}_1(1400)^0 \pi^+, \bar{K}_1(1400)^0 \rightarrow \bar{K}^*(892) \pi, \bar{K}^*(892) \rightarrow K \pi$	$0.46 \pm 0.01 \pm 0.02$
$D^+ \rightarrow \bar{K}(1460)^0 \pi^+, \bar{K}(1460)^0 \rightarrow \bar{K}^*(892) \pi, \bar{K}^*(892) \rightarrow K \pi$	$0.32 \pm 0.01 \pm 0.02$
$D^+ \rightarrow \bar{K}(1680)^* \pi^+, \bar{K}(1680)^* \rightarrow \bar{K}^*(892) \pi, \bar{K}^*(892) \rightarrow K \pi$	$0.25 \pm 0.02 \pm 0.05$
$D^+ \rightarrow (K^- \pi^+)_{S\text{-wave}} \rho(770)^+, \rho(770)^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	$1.16 \pm 0.04 \pm 0.05$
$D^+ \rightarrow \bar{K}(1460)^0 \pi^+, \bar{K}(1460)^0 \rightarrow K^- (\pi^+ \pi^0)_V$	$0.53 \pm 0.05 \pm 0.03$
$D^+ \rightarrow \bar{K}(1460)^0 \pi^+, \bar{K}(1460)^0 \rightarrow (K^- \pi)_V \pi$	$0.22 \pm 0.03 \pm 0.02$
$D^+ \rightarrow (K^- \rho(770)^+)_A \pi^+, \rho(770)^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	$0.11 \pm 0.01 \pm 0.01$
$D^+ \rightarrow (\bar{K}^*(892) \pi)_A \pi^+, \bar{K}^*(892) \rightarrow K \pi$	$0.05 \pm 0.01 \pm 0.01$
$D^+ \rightarrow (\bar{K}^*(892)^0 \pi^+)_A \pi^0, \bar{K}^*(892)^0 \rightarrow K^- \pi^+$	$0.05 \pm 0.01 \pm 0.02$
$D^+ \rightarrow (K^- \pi^+)_V \rho(770)^+, \rho(770)^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	$0.03 \pm 0.01 \pm 0.01$
$D^+ \rightarrow (K^- (\pi^+ \pi^0)_V)_P \pi^+$	$0.05 \pm 0.01 \pm 0.01$

Decay channel and Collaboration	$\mathcal{B}(D^+ \rightarrow \bar{K}^*(892)^0 \rho(770)^+) (\times 10^{-2})$
$D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+ \pi^0$, current analysis	$6.52 \pm 0.11 \pm 0.26$
$D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+ \pi^0$, MARK-III [4]	$7.2 \pm 1.8 \pm 2.1$
$D^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^0 \pi^0$, BESIII [21]	$5.82 \pm 0.49 \pm 0.29$



$D \rightarrow K3\pi$ 7个四体衰变振幅分析研究现状

$D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+ \pi^-$

BESIII PRD95, 072010 (2017); LHCb EPJC 78, 443 (2018)

$D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^- \pi^0$

在研: memo→BESIII内部审核阶段

$D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^0 \pi^0$

BESIII PRD99, 092008 (2019)

$D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^0 \pi^0 \pi^0$

在研: memo→粲组审核阶段

$D^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^+ \pi^-$

BESIII PRD100, 072008(2019)

$D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+ \pi^0$

BESIII JHEP05 (2025) 195

$D^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^0 \pi^0$

BESIII JHEP 09 (2023) 077

$$\mathcal{B}(D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+ \pi^0) = (6.35 \pm 0.04_{\text{stat.}} \pm 0.07_{\text{syst.}})\%$$

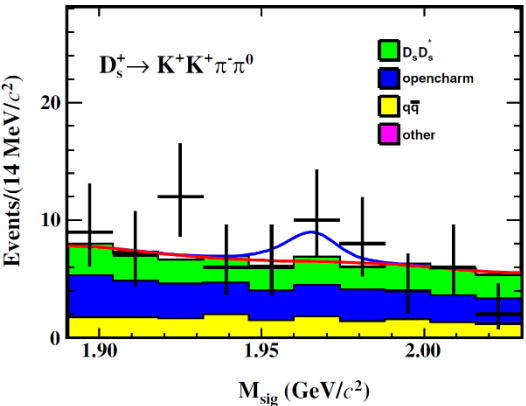
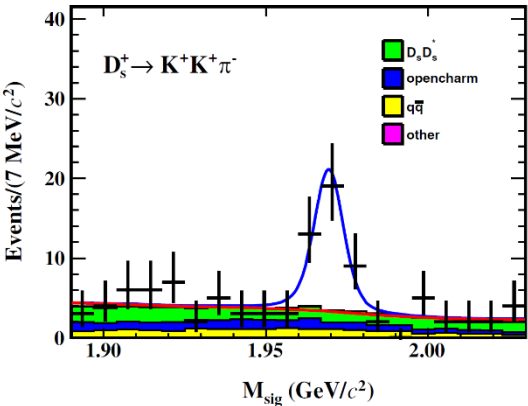
双Cabibbo压低强子衰变研究

$R = \mathcal{B}(DCS)/\mathcal{B}(CF) \sim (0.5 - 2.0) \tan^4 \theta_C$

arXiv:2506.15533, 20.3fb⁻¹ @ 3.773GeV

BFs (×10⁻⁴) of $D^+ \rightarrow K^+ \pi^0$, $D^+ \rightarrow K^+ \eta$ and $D^+ \rightarrow K^+ \eta'$

Signal decay	$D^+ \rightarrow K^+ \pi^0$	$D^+ \rightarrow K^+ \eta$	$D^+ \rightarrow K^+ \eta'$
CLEO	$2.28 \pm 0.36 \pm 0.17$	...	...
Belle	...	$1.15 \pm 0.16 \pm 0.05$	$1.87 \pm 0.19 \pm 0.05$
BaBar	$2.52 \pm 0.47 \pm 0.26$	...	...
This work	$1.45 \pm 0.06 \pm 0.06$	$1.17 \pm 0.10 \pm 0.03$	$1.88 \pm 0.15 \pm 0.06$



JHEP06(2025)220, 20.3fb⁻¹ @ 3.773GeV

Signal decay	$\mathcal{B}_{\text{DCS}}^{\text{This work}} (\times 10^{-4})$	$\mathcal{B}_{\text{DCS}}^{\text{PDG}} (\times 10^{-4})$	$\mathcal{B}_{\text{DCS}}^{\text{This work}}/\mathcal{B}_{\text{CF}} (\%)$	$\times \tan^4 \theta_C$
$D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$	$1.30 \pm 0.09 \pm 0.04$	1.50 ± 0.07	0.328 ± 0.027	1.14 ± 0.09
$D^0 \rightarrow K^+ \pi^- \pi^- \pi^+$	$2.38 \pm 0.19 \pm 0.12$	2.65 ± 0.06	0.289 ± 0.028	1.00 ± 0.10
$D^0 \rightarrow K^+ \pi^- \pi^0$	$3.06 \pm 0.21 \pm 0.10$	3.06 ± 0.16	0.212 ± 0.021	0.74 ± 0.07
$D^0 \rightarrow K^+ \pi^- \pi^0 \pi^0$	$1.40 \pm 0.27 \pm 0.09$	< 3.6	0.158 ± 0.036	0.55 ± 0.12
$D^0 \rightarrow K^+ \pi^- \eta$	$1.04 \pm 0.16 \pm 0.08$	—	0.555 ± 0.092	1.93 ± 0.32
$D^0 \rightarrow K^+ \pi^- \pi^0 \eta$	< 0.7	—	< 1.78	< 6.19
$D^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^-$	$4.50 \pm 0.12 \pm 0.35$	4.91 ± 0.09	0.480 ± 0.019	1.67 ± 0.07
$D^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \eta$	$1.56 \pm 0.22 \pm 0.04$	—	—	—
$D^+ \rightarrow K^+ (\pi^+ \pi^- \eta)_{\text{non-}\eta'}$	$0.67 \pm 0.18 \pm 0.02$	—	5.0 ± 1.4	17.3 ± 4.8
$D^+ \rightarrow K^+ K^+ K^-$	$0.51 \pm 0.05 \pm 0.01$	0.614 ± 0.011	—	—
$D^+ \rightarrow K^+ \eta \eta$	$0.59 \pm 0.23 \pm 0.02$	—	—	—

PRD 109, 032011 (2024), 7.33fb⁻¹ @ 4.178 – 4.226GeV

$\mathcal{B}_{D_s^+ \rightarrow K^+ K^+ \pi^-} = (1.24_{-0.26}^{+0.28}(\text{stat}) \pm 0.06(\text{syst})) \times 10^{-4}$
 $\mathcal{B}_{D_s^+ \rightarrow K^+ K^+ \pi^- \pi^0} < 1.7 \times 10^{-4}$

DCS decay	$\mathcal{B}_{\text{DCS}}^{\text{this work}}/\mathcal{B}_{\text{CF}}^{\text{PDG}} (\times 10^{-3})$	$\times \tan^4 \theta_C$
$D_s^+ \rightarrow K^+ K^+ \pi^-$	$2.31_{-0.48}^{+0.52}$	$0.80_{-0.16}^{+0.18}$
$D_s^+ \rightarrow K^+ K^+ \pi^- \pi^0$	< 3.09	< 1.07

测量双Cabibbo压低衰变，为研究双Cabibbo压低的动力学机制提供实验信息

$D \rightarrow 3\pi X$ 单举衰变分支比测量

$$\textcircled{R} D \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ X$$

PRD 107, 032002 (2023), 2.93fb^{-1} @3.773GeV

$$\mathcal{B}(D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^- X) = (17.60 \pm 0.11 \pm 0.22)\%$$

$$\mathcal{B}(D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^- X) = (15.25 \pm 0.09 \pm 0.18)\%$$

→ 与相关遍举衰变分支比之和一致

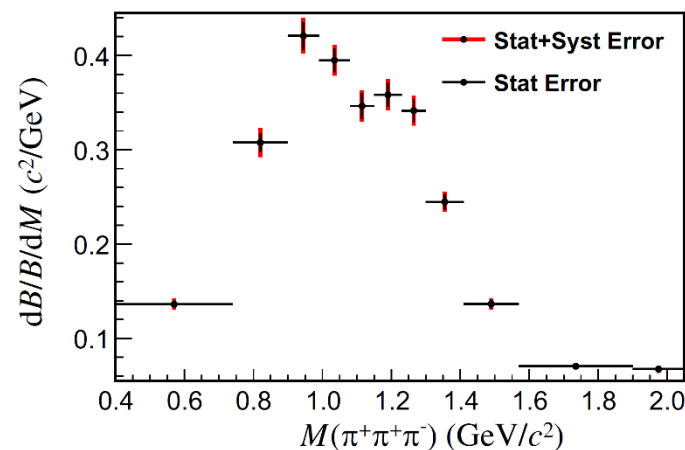
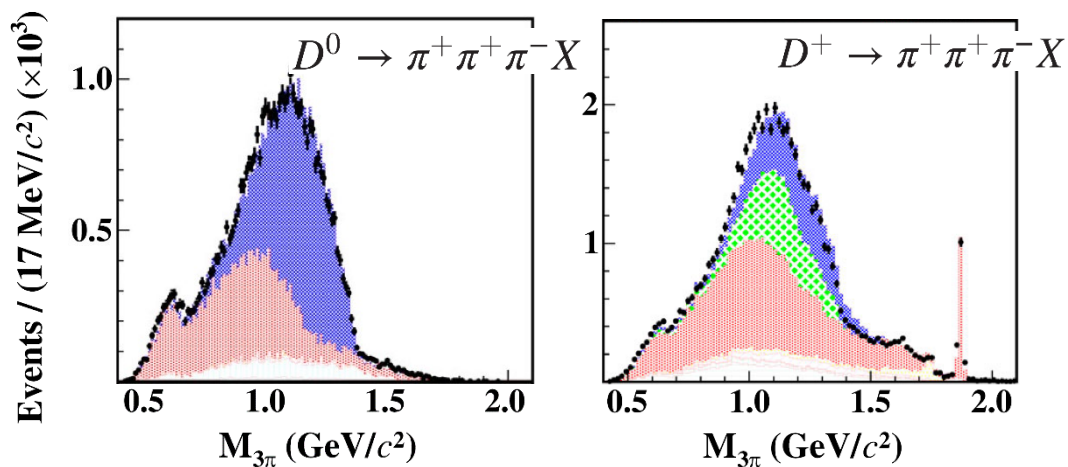
$$\textcircled{R} D_s^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ X$$

PRD 108, 032001 (2023), 3.19fb^{-1} @4.178GeV

$$\mathcal{B}(D_s^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^- X) = (32.81 \pm 0.35_{\text{stat}} \pm 0.63_{\text{syst}})\%$$

较相关遍举衰变分支比之和 $\sim 25\%$

→ 有一些涉及 $3\pi X$ 的衰变未被实验测量



3 πX 单举衰变分支比的测量结果是 B 工厂测量轻子味道普适性的关键输入

- 利用在阈值附近采集的粲强子样本，开展强子衰变研究，对
 - 检验并刻度理论计算非微扰效应的参数化方法和唯象模型，
 - 理解粲强子弱衰变机制，
 - 检验SU(3)味对称性和提高粲强子CP破坏的理论预言，具有重要意义
- 课题组按计划开展了粲强子衰变的精密测量工作，进展顺利，已取得一系列重要成果。
- 课题组将按研究计划，推进并完成后续各项工作。

谢谢！