BESIII上 D/D_s 介子绝对分支比测量

郑心如

河南师范大学

2026年10月17日，成都理工大学

目录

- 研究意义
- 研究方法
- 研究现状
- 总结

一、研究意义

- 检验标准模型与 QCD
  - $D^0/D^+/D_s^+$ 作为基态赝标介子，只能通过弱相互作用衰变，是研究粲夸克衰变动力学与非微扰 QCD 效应的理想场所
- 提供关键实验输入
  - 精确的绝对 BF 为提取 CKM 参数、归一化 B/B_s 物理本底建模提供必要输入
- 检验双卡压低 (DCS) 衰变机制
  - 测量 DCS 衰变，检验 DCS/CF 分支比比值相对于 $\tan^4\theta_C$ 的预期

二、研究方法

- 数据样本
  - ✓ D^0/D^+：20.3fb^{-1} @ $\sqrt{s} = 3.773$ GeV
  - ✓ D_s^+：7.33fb^{-1} @ $\sqrt{s} = 4.128 - 4.226$ GeV
- 双标记法（$e^+e^- \to \psi(3770) \to D\bar{D}$ 或 $e^+e^- \to D_s^{*\pm}D_s^{\mp} \to (\gamma,\pi^0)D_s^+D_s^-$）
  - ✓ 单标记 ST：重建一个 D；
  - ✓ 双标记 DT：同时重建两个 D，成对产生，本底低，系统误差部分抵消
- 绝对分支比（BF）测量方法
  - 公式计算：半轻标记道 $\mathcal{B}_{\text{sig}} = \dfrac{N_{\text{DT}}}{2\,N_{D^0\bar{D}^0}\,\epsilon_{\text{DT}}\,\mathcal{B}_{\text{SL}}}$ $N_{D^0\bar{D}^0} = (73.29 \pm 0.84) \times 10^6$

    强子标记道 $\mathcal{B}_{\text{sig}} = N_{\text{DT}}/(N_{\text{ST}} \cdot \epsilon_{\text{sig}})$ $\epsilon_{\text{sig}} = \epsilon_{\text{DT}}/\epsilon_{\text{ST}}$
  - 联合拟合：通过一个极大似然法的拟合来获取 **BF** 和 $\boldsymbol{D\bar{D}}$**总对数**，可以显著降低统计误差
  - 当无显著信号时，采用 Bayesian / Extended Profile Likelihood 方法扫描BF，给出90%置信水平上限

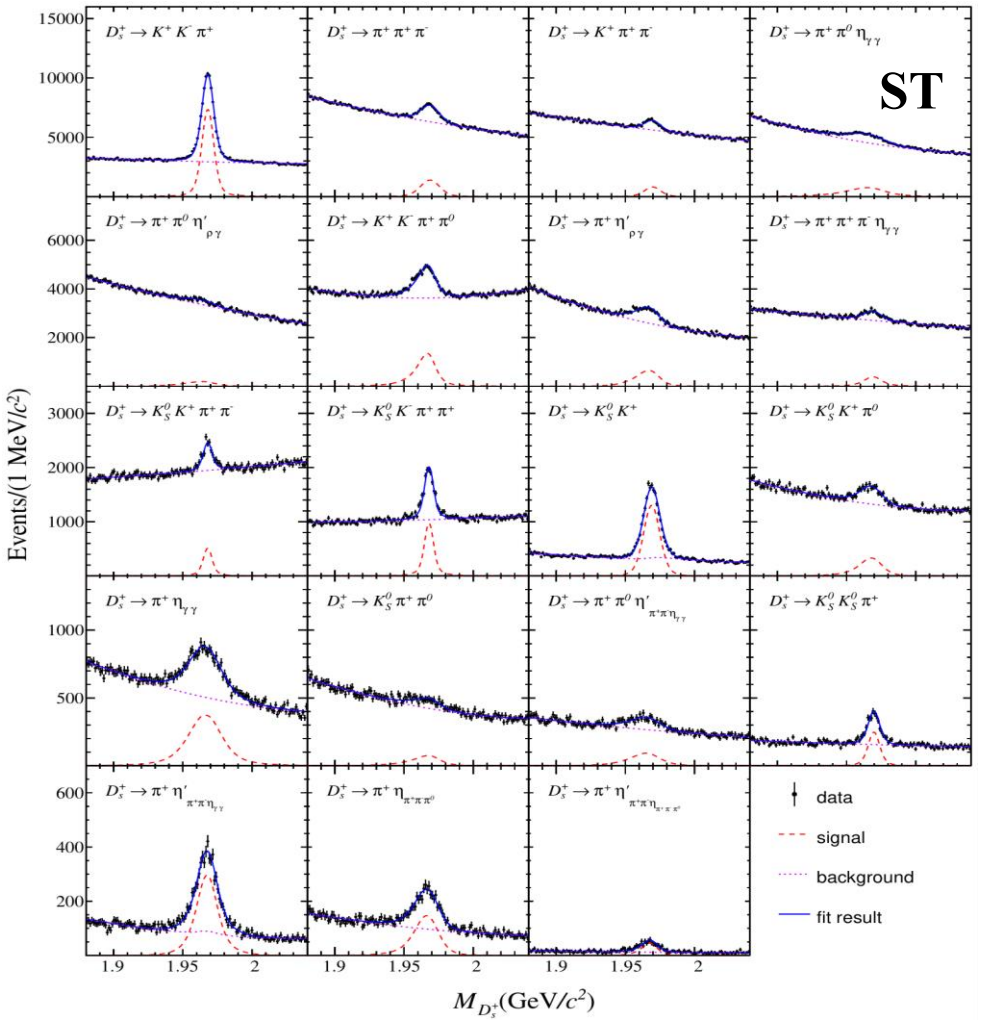
三、研究现状

介子		类型	文章
D_s^+	D_s^+ 多体衰变分支比	D_s^+ 强子衰变	JHEP05(2024)335
		$D_s^+ \to K_S^0 K_S^0 \pi^+ \pi^0 / K_S^0 K^+ \pi^0 \pi^0$ 衰变	PRD114,052017(2026)
	D_s^+ 含 $\eta(\eta')$ 衰变分支比	$D_s^+ \to \eta(\eta') X$ 单举衰变	arXiv:2609.36082v2
	双卡压低 D_s^+ 衰变分支比	$D_s^+ \to K^+ K^+ \pi^- / K^+ K^+ \pi^- \pi^0$ 衰变	PRD109,032011(2024)
D	D 介子多体衰变分支比	$D \to K\pi\pi\pi\pi$ 衰变	PRD112,012001(2025)
		$D \to KK\pi\pi\pi$ 衰变	PRD111,092005(2025)
		$D \to KKK\pi$ 衰变	arXiv:2510.18276v2
	双卡压低 D 衰变分支比	D^0/D^+ 衰变	JHEP06(2025)220
		$D^+ \to K^+ \pi^0 / \eta / \eta'$ 两体衰变	JHEP10(2025)178
		$D^{0(+)} \to K^+ \pi^{-(0)} \eta'$ 衰变	arXiv:2609.08266v2

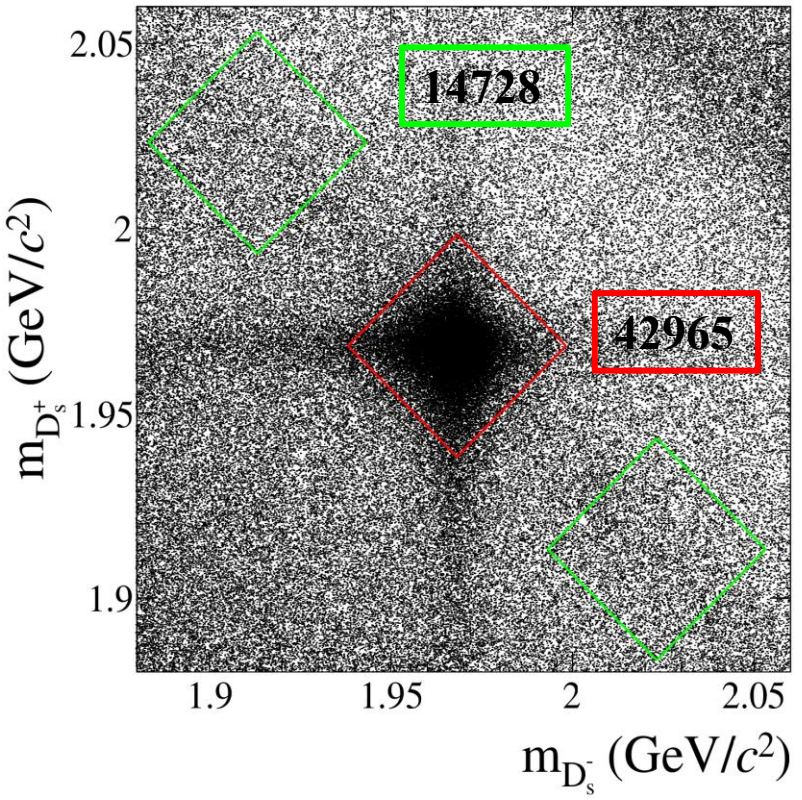
1. D_s^+ 强子衰变分支比

Data: 7.33fb^{-1} $\sqrt{s}$ = 4.128 – 4.226 GeV **JHEP05(2024)335**

➢ 采用 联合拟合方法测量了 15个 衰变道（19个衰变末态）的绝对 BF；



➢ ST (2种衰变)： 拟合 $M_{D_s^+}$ 和 $M_{D_s^-}$



➢ DT：二维平面计数 $M_{D_s^+}$ vs $M_{D_s^-}$

$$\mathcal{L} = \prod_{k=1}^{7} \mathcal{L}_k^{\mathrm{ST}} \prod_{i=1}^{19} \prod_{\bar{j}=1}^{19} \mathcal{L}_{i,\bar{j},k}^{\mathrm{DT}}$$

➢ 使用最大似然拟合，根据观测到的 ST 和 DT 产额来得到 BF 以及 $D_s^+D_s^-$对 的数量

1. D_s^+ 强子衰变分支比

Data: 7.33fb^{-1} $\sqrt{s}$ = 4.128 – 4.226 GeV JHEP05(2024)335

Mode	$\mathcal{B}$ (%)	PDG $\mathcal{B}$ (%)
$D_s^+ \to K_S^0 K^+$	$1.502 \pm 0.012 \pm 0.009$	1.453 ± 0.035
$D_s^+ \to K^+ K^- \pi^+$	$5.49 \pm 0.04 \pm 0.07$	5.37 ± 0.10
$D_s^+ \to K_S^0 K^+ \pi^0$	$1.47 \pm 0.02 \pm 0.02$	1.47 ± 0.07
$D_s^+ \to K_S^0 K_S^0 \pi^+$	$0.73 \pm 0.01 \pm 0.01$	0.71 ± 0.04
$D_s^+ \to K^+ K^- \pi^+ \pi^0$	$5.50 \pm 0.05 \pm 0.11$	5.50 ± 0.24
$D_s^+ \to K_S^0 K^+ \pi^+ \pi^-$	$0.93 \pm 0.02 \pm 0.01$	0.95 ± 0.08
$D_s^+ \to K_S^0 K^- \pi^+ \pi^+$	$1.56 \pm 0.02 \pm 0.02$	1.53 ± 0.08
$D_s^+ \to \pi^+ \pi^+ \pi^-$	$1.09 \pm 0.01 \pm 0.01$	1.08 ± 0.04
$D_s^+ \to \pi^+ \eta$	$1.69 \pm 0.02 \pm 0.02$	1.67 ± 0.09
$D_s^+ \to \pi^+ \pi^0 \eta$	$9.10 \pm 0.09 \pm 0.15$	9.5 ± 0.5
$D_s^+ \to \pi^+ \pi^+ \pi^- \eta$	$3.08 \pm 0.06 \pm 0.05$	3.12 ± 0.16
$D_s^+ \to \pi^+ \eta'$	$3.95 \pm 0.04 \pm 0.07$	3.94 ± 0.25
$D_s^+ \to \pi^+ \pi^0 \eta'$	$6.17 \pm 0.12 \pm 0.14$	6.08 ± 0.29
$D_s^+ \to K_S^0 \pi^+ \pi^0$	$0.51 \pm 0.02 \pm 0.01$	0.54 ± 0.03
$D_s^+ \to K^+ \pi^+ \pi^-$	$0.620 \pm 0.009 \pm 0.006$	0.620 ± 0.019

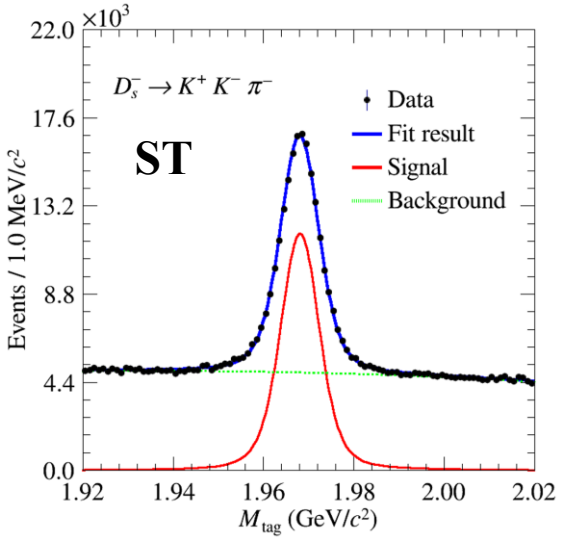
- 精确测量 D_s^+ 衰变 BF 是提取 $B_s^0 \to D_S^- X$ 衰变中 $|V_{cb}|$ 的关键输入；
- 所测分支比精度均显著提升，同时完成了 15个衰变道的 A_{CP} 测量。

2. $D_s^+ \to \eta(\eta')X$ 单举衰变分支比

Data: 7.33fb^{-1} $\sqrt{s} = 4.128 - 4.226$ GeV

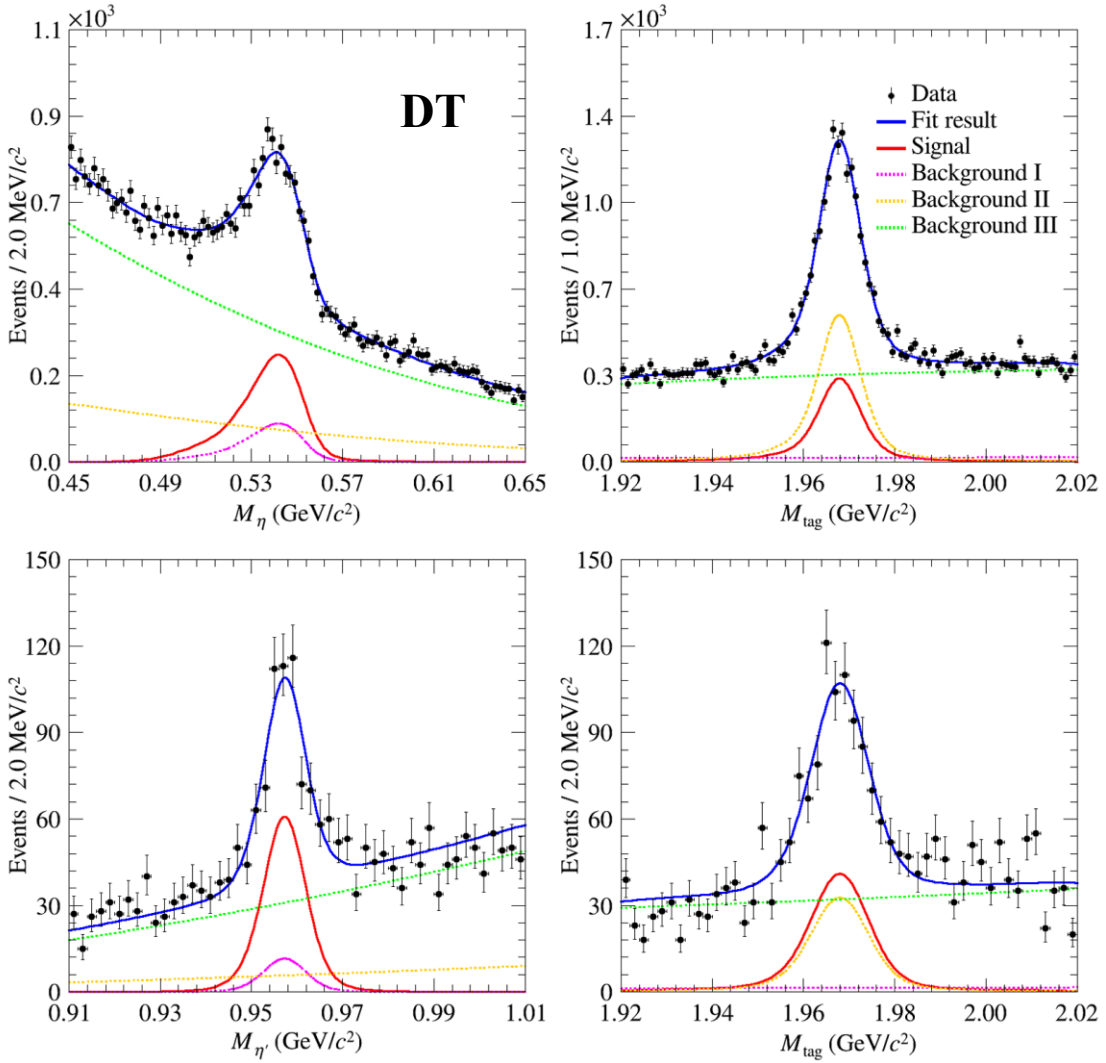
arXiv:2609.36028v1

➢ $D_s^+ \to \eta(\eta')X$ 单举衰变已由 CLEO 和 BESIII 合作组测量，但其精度都受限于统计量；



➢ 4个强子标记道

- $D_s^- \to K_S^0 K^-$
- $D_s^- \to K^+K^-\pi^-$
- $D_s^- \to K^+K^-\pi^-\pi^0$
- $D_s^- \to K_S^0 K^+\pi^-\pi^-$



➢ **ST**：拟合 $M_{\rm tag}$

➢ **DT**：二维拟合 $M_{\eta/\eta'}$ vs $M_{\rm tag}$

- Signal：η/η' signal × tag signal（MC形状 ⊗ 高斯函数）
- BKGI：η/η' signal × tag BKG（三阶Chebyshev多项式）
- BKGII：tag signal × η/η' BKG （二阶Chebyshev多项式）
- BKGIII：η/η' BKG × tag BKG

2. $D_s^+ \to \eta(\eta')X$ 单举衰变分支比

Data: 7.33fb^{-1} $\sqrt{s} = 4.128 - 4.226$ GeV

arXiv:2609.36028v1

- BF 计算

$$\mathcal{B}_{D_s^+\to\eta X} = \frac{N^{\rm DT}_{\rm total}}{\mathcal{B}_\eta \sum_{\alpha,i} N^{\rm ST}_{\alpha,i}\epsilon^{\rm DT}_{\alpha,i,{\rm sig}}/\epsilon^{\rm ST}_{\alpha,i}} \qquad \mathcal{B}_{D_s^+\to\eta' X} = \frac{N^{\rm DT}_{\rm total}}{\mathcal{B}_{\eta'}\mathcal{B}_\eta \sum_{\alpha,i} N^{\rm ST}_{\alpha,i}\epsilon^{\rm DT}_{\alpha,i,{\rm sig}}/\epsilon^{\rm ST}_{\alpha,i}}$$

- 本分析所测结果与 CLEO 一致， $D_s^+ \to \eta(\eta')X$ 道精度提升了 2.8 (1.9) 倍；

Experiment	$\mathcal{L}_{\rm int}$ and $\sqrt{s}$	Process	$\mathcal{B}(D_s^+ \to \eta X)$	$\mathcal{B}(D_s^+ \to \eta' X)$
CLEO [2]	586 pb^{-1}@$\sqrt{s} = 4.170$ GeV	$D_s^{*\pm}D_s^{\mp}$	29.90±2.20±1.70	11.70±1.70±0.70
BESIII [3]	482 pb^{-1}@$\sqrt{s} = 4.009$ GeV	$D_s^+D_s^-$	-	8.80±1.80±0.50
This work	7.33 fb^{-1}@$\sqrt{s} = 4.128$-4.226 GeV	$D_s^{*\pm}D_s^{\mp}$	30.72±0.89±0.49	12.30±0.94±0.37

Decay mode	BF (%)
$D_s^+ \to \eta e^+\nu_e$	2.27±0.06
$D_s^+ \to \eta\mu^+\nu_\mu$	2.24±0.07
$D_s^+ \to \eta\pi^+$	1.686±0.027
$D_s^+ \to \eta\pi^+\pi^0$	9.10±0.17
$D_s^+ \to \eta K^+$	0.176±0.008
$D_s^+ \to \eta\pi^+\pi^+\pi^-$	3.08±0.08
$D_s^+ \to \eta X$ via η'	6.08±0.14
$D_s^+ \to \eta\omega\pi^+$	0.54±0.13
$D_s^+ \to \pi^+\phi,\ \phi \to \gamma\eta$	0.06±0.01
$D_s^+ \to \rho^+\phi,\ \phi \to \gamma\eta$	0.07±0.01
$D_s^+ \to e^+\nu_e\phi,\ \phi \to \gamma\eta$	0.03±0.01
$D_s^+ \to \mu^+\nu_\mu\phi,\ \phi \to \gamma\eta$	0.03±0.01
Sum	25.40±0.20

Decay mode	BF (%)
$D_s^+ \to \eta' e^+\nu_e$	0.81±0.04
$D_s^+ \to \eta'\mu^+\nu_\mu$	0.80±0.06
$D_s^+ \to \eta'\pi^+$	3.95±0.08
$D_s^+ \to \eta'\pi^+\pi^0$	6.14±0.18
$D_s^+ \to \eta' K^+$	0.268±0.024
Sum	11.97±0.21

PDG结果

$$\mathcal{B}(D_s^+ \to \eta' X) - \sum_i \mathcal{B}(D_s^+ \to \eta' X_i) = (0.33 \pm 1.03)\%$$

$$\mathcal{B}(D_s^+ \to \eta X) - \sum_i \mathcal{B}(D_s^+ \to \eta X_i) = (5.33 \pm 1.04)\%$$

- 暗示可能存在含 η 的未观测到的 D_s^+ 衰变
  - ……

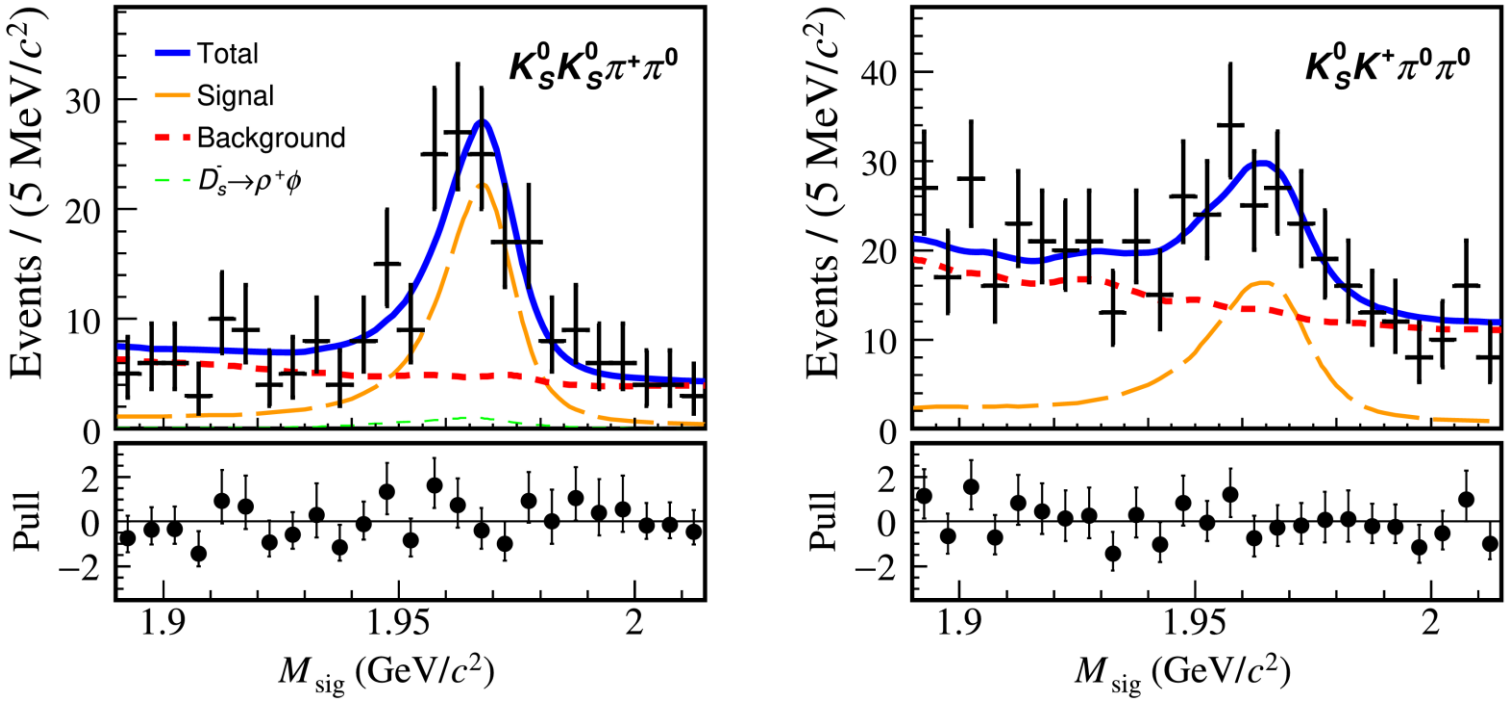
3. $D_s^+ \to K_S^0 K_S^0 \pi^+ \pi^0 / K_S^0 K^+ \pi^0 \pi^0$ 衰变

Data: 7.33fb^{-1} $\sqrt{s} = 4.128 - 4.226$ GeV

PRD114,052017(2026)

- 首次观测到 $D_s^+ \to K_S^0 K_S^0 \pi^+ \pi^0$ (8.3σ) 和 $D_s^+ \to K_S^0 K^+ \pi^0 \pi^0$ (5.1σ)，两道的 BF 在误差范围内是一致的，其差异可能是源于 $D_s^+ \to f_0(980)\rho^+$ 共振态的贡献（该共振态仅衰变为$K_S^0 K_S^0 \pi^+ \pi^0$ ）

$$\mathcal{B}(D_s^+ \to K_S^0 K_S^0 \pi^+ \pi^0) = (4.08 \pm 0.46_{\text{stat}} \pm 0.45_{\text{syst}}) \times 10^{-3} \quad \mathcal{B}(D_s^+ \to K_S^0 K^+ \pi^0 \pi^0) = (3.32 \pm 0.64_{\text{stat}} \pm 0.31_{\text{syst}}) \times 10^{-3}$$

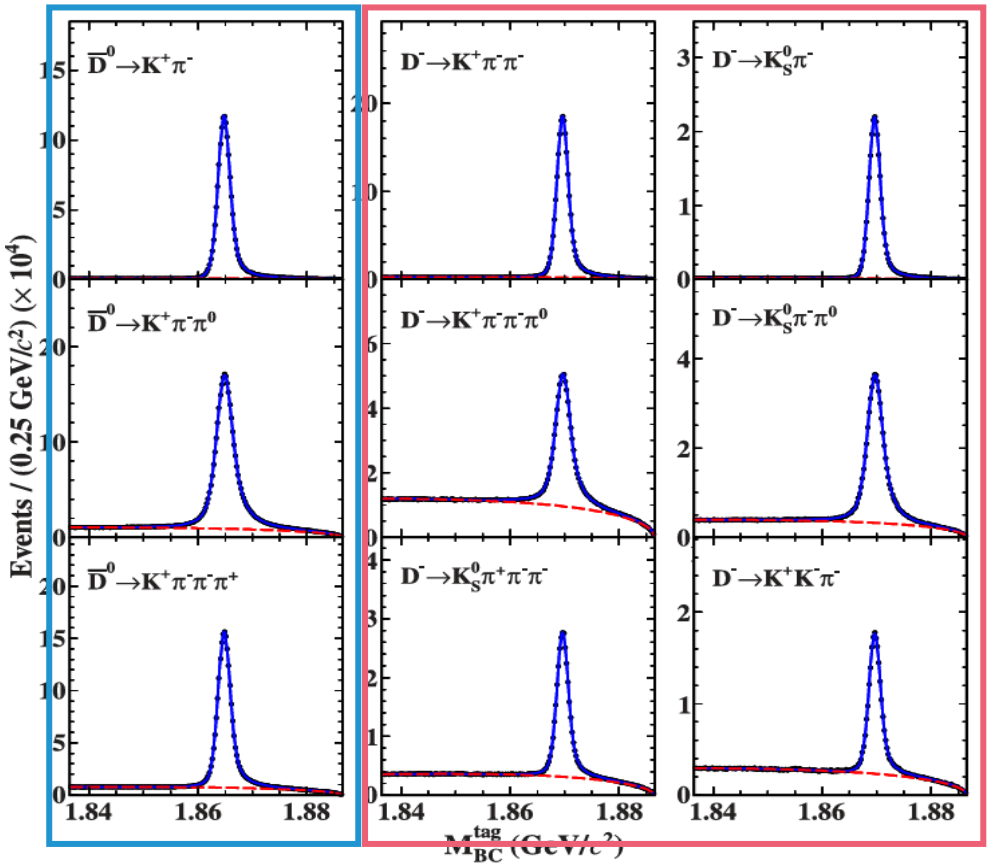


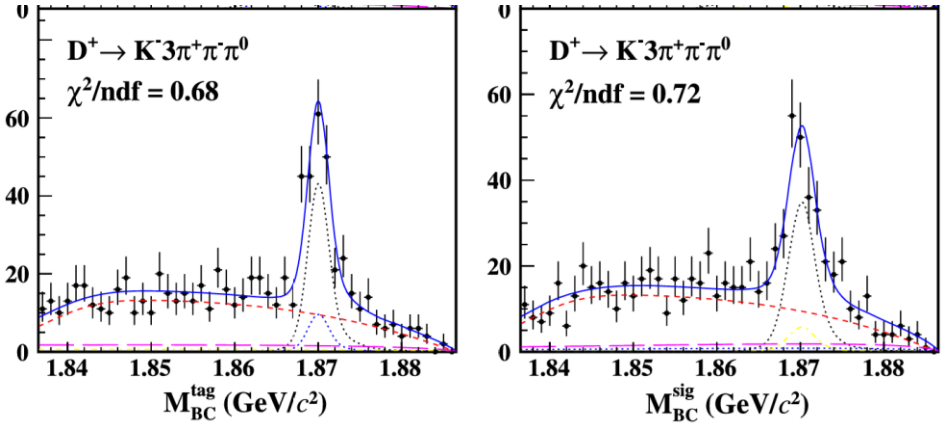
- **DT**：拟合 M_{sig}
  - Signal：MC形状
  - BKG： MC形状
  - Peaking：$D_s^+ \to \rho^+ \phi$ 由MC形状描述，产额固定

4. $D \to K\pi\pi\pi\pi\pi$ 衰变

Data: 7.9fb^{-1} $\sqrt{s} = 3.773$ GeV **PRD112,012001(2025)**

- 本分析测量了 3个 $D \to K5\pi$ 衰变， $\boldsymbol{D^0 \to K^-3\pi^+2\pi^-}$，$\boldsymbol{D^0 \to K^-2\pi^+\pi^-2\pi^0}$ 和 $\boldsymbol{D^+ \to K^-3\pi^+\pi^-\pi^0}$；
- 对于 $\boldsymbol{D^0}$ 衰变，使用 3个强子标记道；对于 $\boldsymbol{D^+}$ 衰变，使用 6个强子标记道；
- 首次观测到 $\boldsymbol{D^0 \to K^-2\pi^+\pi^-2\pi^0}$ 和 $\boldsymbol{D^+ \to K^-3\pi^+\pi^-\pi^0}$，显著性均 $> 5\sigma$。





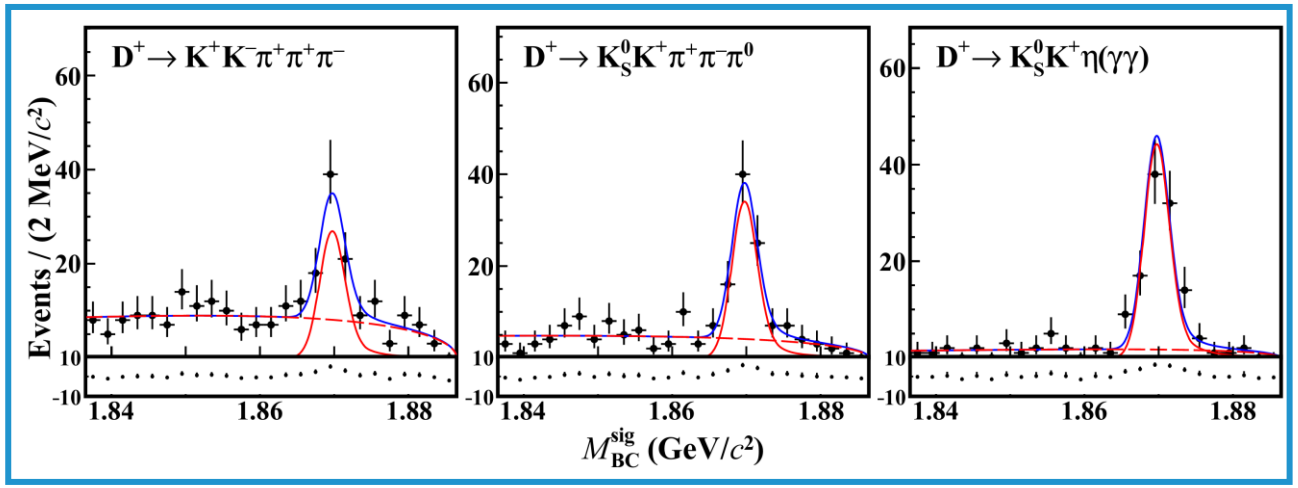
Signal decay	$\mathcal{B}_{\rm sig}(\times 10^{-4})$	$\mathcal{B}_{\rm FOCUS}(\times 10^{-4})$
$D^0 \to K^-3\pi^+2\pi^-$	$1.35 \pm 0.23 \pm 0.08$	$2.2 \pm 0.5 \pm 0.3$
$D^0 \to K^-2\pi^+\pi^-2\pi^0$	$19.0 \pm 1.1 \pm 1.5$	$\cdots$
$D^+ \to K^-3\pi^+\pi^-\pi^0$	$6.57 \pm 0.69 \pm 0.33$	$\cdots$

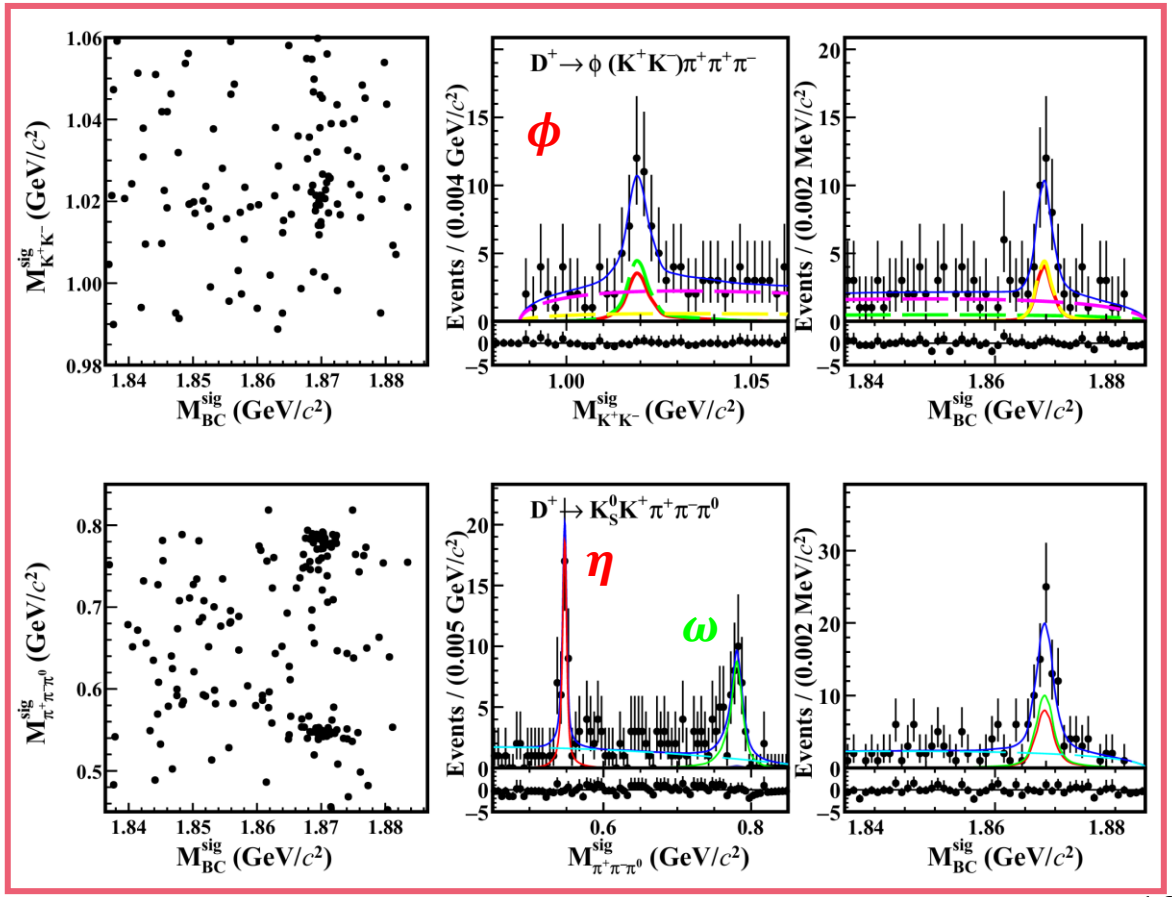
精度较优

5. $D \to KK\pi\pi\pi$ 衰变

Data: 20.3fb^{-1} $\sqrt{s} = 3.773$ GeV **PRD111,092005(2025)**

- 多体 $D \to KK\pi\pi\pi$ 衰变是 $B \to D^{(*)}\tau\nu$ 实验的关键本底输入，目前 $R_{\tau/\ell} = \frac{\mathcal{B}_{B\to\bar{D}^{(*)}\tau^+\bar{\nu}_\tau}}{\mathcal{B}_{B\to\bar{D}^{(*)}\ell^+\bar{\nu}_\ell}}$ 存在 3.1σ 偏差；
- 在 K^+K^- 谱上观察到显著的 ϕ 信号，在 $\pi^+\pi^-\pi^0$ 谱上观察到显著的 η/ω 信号





- 对于 $D^+ \to \phi\pi^+\pi^+\pi^-/K^0_S K^+ \eta_{\pi^+\pi^-\pi^0}/K^0_S K^+ \omega$
- DT：二维拟合 $M^{sig}_{K^+K^-/\pi^+\pi^-\pi^0}$ vs M^{sig}_{BC}

5. $D \to KK\pi\pi\pi$ 衰变

Data: 20.3fb^{-1} $\sqrt{s} = 3.773$ GeV **PRD111,092005(2025)**

- $D^+ \to K^+K^-\pi^+\pi^+\pi^-$ 精度显著提升， $D^+ \to K_S^0K^+\eta$ 精度优于此前结果；
- 首次测量 $D^+ \to \phi\pi^+\pi^+\pi^-$，$D^+ \to K_S^0K^+\pi^+\pi^-\pi^0$ 和 $D^+ \to K_S^0K^+\omega$ 的绝对 BF。

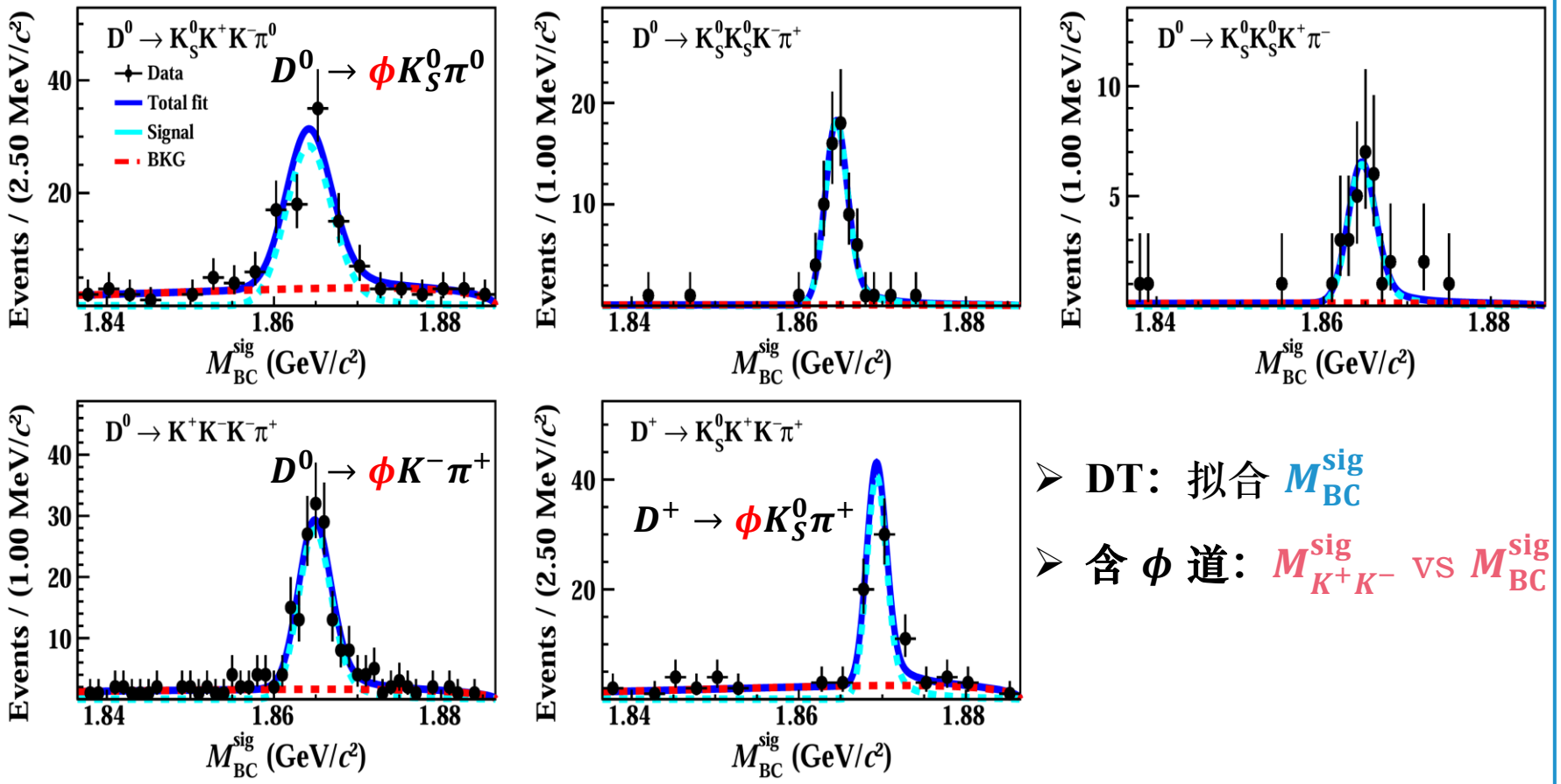
Signal decay	$N_{\rm DT}$	$\epsilon_{\rm sig}(\%)$	$\mathcal{B}_{\rm sig}(10^{-4})$	$\mathcal{B}_{\rm weight}(10^{-4})$	$\mathcal{B}_{\rm PDG}(10^{-4})$
$D^+ \to K^+K^-\pi^+\pi^+\pi^-$	61.8 ± 10.5	8.53 ± 0.08	$0.66 \pm 0.11 \pm 0.03$	$\cdots$	2.3 ± 1.2
$D^+ \to \phi\pi^+\pi^+\pi^-$	17.8 ± 6.3	6.09 ± 0.07	$0.54 \pm 0.19 \pm 0.02$	$\cdots$	$\cdots$
$D^+ \to K_S^0K^+\pi^+\pi^-\pi^0$	77.5 ± 10.5	4.05 ± 0.06	$2.51 \pm 0.34 \pm 0.14$	$\cdots$	$\cdots$
$D^+ \to K_S^0K^+\eta_{\gamma\gamma}$	101.5 ± 11.2	15.55 ± 0.11	$2.17 \pm 0.24 \pm 0.08$	$2.27 \pm 0.22 \pm 0.05$	1.8 ± 0.5
$D^+ \to K_S^0K^+\eta_{\pi^+\pi^-\pi^0}$	31.4 ± 6.3	6.17 ± 0.07	$2.90 \pm 0.59 \pm 0.15$		
$D^+ \to K_S^0K^+\omega$	40.4 ± 7.0	2.93 ± 0.05	$2.02 \pm 0.35 \pm 0.10$	$\cdots$	$\cdots$

首次测量

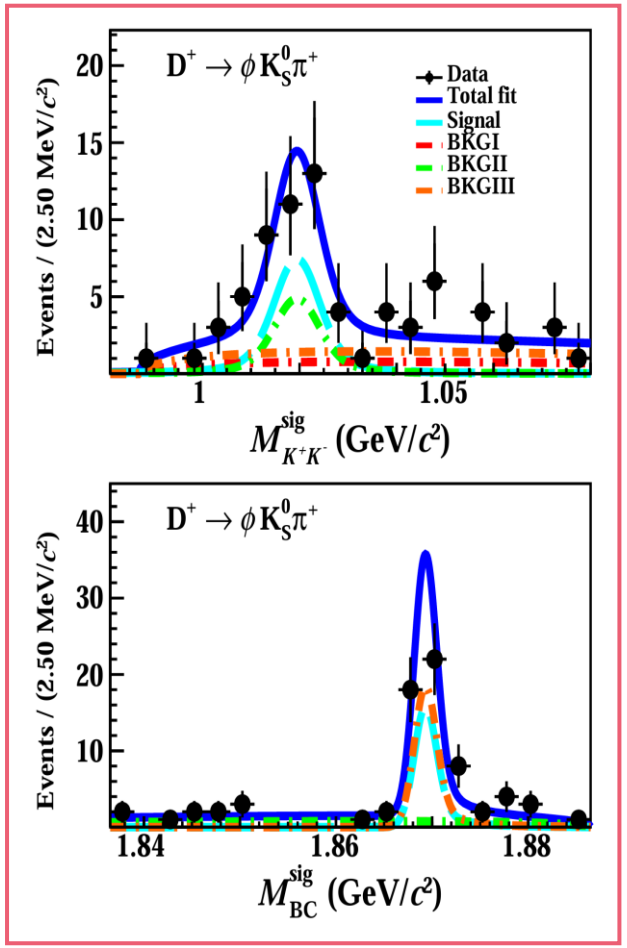
6. $D \to KKK\pi$ 衰变

Data: 20.3fb^{-1} $\sqrt{s} = 3.773$ GeV **arXiv:2510.18276v2**

- $D \to KKK\pi$ 衰变实验信息匮乏，仅 FOCUS 有测量但精度有限，本分析研究了 5个 $D \to KKK\pi$ 衰变；
- 在 K^+K^- 谱上观察到显著的 ϕ 信号。



- DT：拟合 M_{BC}^{sig}
- 含 ϕ 道：$M_{K^+K^-}^{sig}$ vs M_{BC}^{sig}



二维拟合

6. $D \to KKK\pi$ 衰变

Data: 20.3fb^{-1} $\sqrt{s} = 3.773$ GeV **arXiv:2510.18276v2**

- 发现 $D^0 \to K^0_S K^0_S K^{\pm}\pi^{\mp}$ 的 BF 之和与 FOCUS 结果存在 3σ 偏差；
- $D^0 \to K^+K^-K^-\pi^+$ 和 $D^+ \to K^0_S K^+K^-\pi^+$ 的 BF 与 PDG 值在 1.2σ 和 1.7σ 范围内一致；
- 首次测量 $D^0 \to K^0_S K^+K^-\pi^0$， $D^0 \to \phi K^0_S \pi^0$ 和 $D^+ \to \phi K^0_S \pi^+$ 的绝对BF。

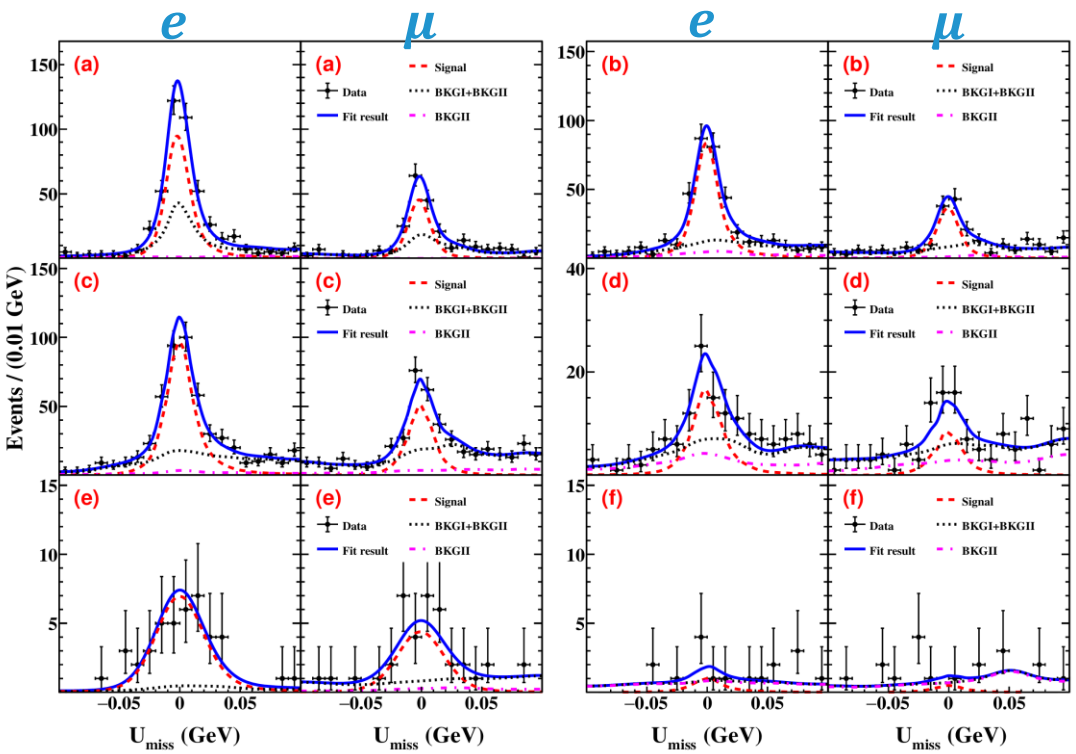
BFs ($\times 10^{-5}$)

Signal mode	$\Delta E_{\rm sig}$ (MeV)	$N_{\rm DT}$	$\mathcal{S}$ (σ)	$\epsilon_{\rm sig}$ (MeV)	$\mathcal{B}_{\rm sig}$	$\mathcal{B}_{\rm PDG}$
首次测量 $D^0 \to K^0_S K^+K^-\pi^0$	$(-27, 23)$	$81.0^{+11.3}_{-10.7}$	> 10	2.60±0.02	$18.4^{+2.6}_{-2.5} \pm 2.4$	...
首次测量 $D^0 \to \phi K^0_S \pi^0$	$(-27, 23)$	$36.8^{+8.7}_{-8.1}$	6.4	0.96±0.01	$22.7^{+5.4}_{-5.1} \pm 3.7$	...
$D^0 \to K^0_S K^0_S K^-\pi^+$	$(-20, 19)$	$66.2^{+8.6}_{-7.9}$	> 10	3.04±0.04	$12.9^{+1.7}_{-1.6} \pm 2.5$	59.0±13.0
$D^0 \to K^0_S K^0_S K^+\pi^-$	$(-20, 19)$	$28.7^{+5.9}_{-5.3}$	8.7	2.96±0.04	$5.7^{+1.2}_{-1.1} \pm 1.3$	
$D^0 \to K^+K^-K^-\pi^+$	$(-21, 19)$	$144.3^{+14.2}_{-13.5}$	> 10	4.91±0.04	$17.4^{+1.8}_{-1.7} \pm 2.2$	22.5 ± 3.2
$D^0 \to \phi K^-\pi^+$	$(-21, 19)$	$98.8^{+13.5}_{-12.7}$	> 10	2.32±0.01	$25.2^{+3.5}_{-3.3} \pm 4.6$	22.0 ± 4.3
$D^+ \to K^0_S K^+K^-\pi^+$	$(-21, 20)$	$52.9^{+9.0}_{-8.2}$	9.9	3.50±0.02	$13.8^{+2.4}_{-2.2} \pm 2.5$	24.0 ± 5.0
$D^+ \to \phi K^0_S \pi^+$	$(-21, 20)$	$20.6^{+7.5}_{-6.6}$	5.0	1.14±0.01	$16.5^{+6.0}_{-5.3} \pm 2.6$	...

7. 双卡压低 D 衰变分支比

Data: 20.3fb^{-1} $\sqrt{s}$ = 3.773 GeV **JHEP06(2025)220**

➢ 对于 D^0 衰变，使用 2 个半轻标记道： $\bar{D}^0 \to K^+ e^- \bar{\nu}_e$ 和 $\bar{D}^0 \to K^+ \mu^- \bar{\nu}_\mu$



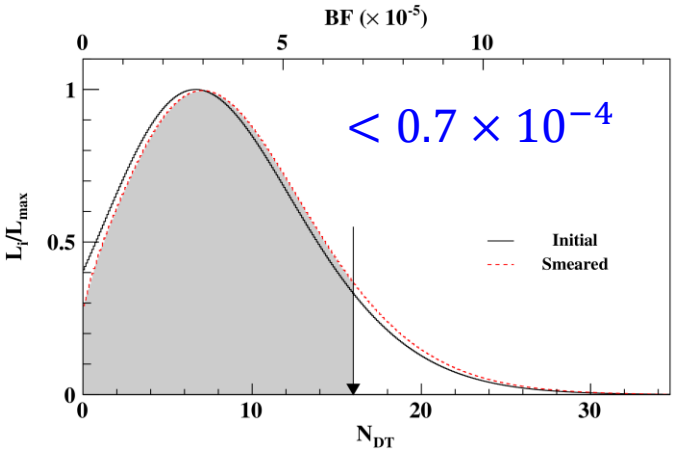
Signal decay	$\mathcal{B}_{\rm DCS}^{\rm This\ work}$ $(\times 10^{-4})$	$\mathcal{B}_{\rm DCS}^{\rm PDG}$ $(\times 10^{-4})$	$\mathcal{B}_{\rm CF}^{\rm PDG}$ $(\times 10^{-2})$
$D^0 \to K^+\pi^-$	$1.30 \pm 0.09 \pm 0.04$	1.50 ± 0.07	3.947 ± 0.030
$D^0 \to K^+\pi^-\pi^-\pi^+$	$2.38 \pm 0.19 \pm 0.12$	2.65 ± 0.06	8.22 ± 0.14
$D^0 \to K^+\pi^-\pi^0$	$3.06 \pm 0.21 \pm 0.10$	3.06 ± 0.16	14.4 ± 0.6
$D^0 \to K^+\pi^-\pi^0\pi^0$	$1.40 \pm 0.27 \pm 0.09$	< 3.6	8.86 ± 0.23
$D^0 \to K^+\pi^-\eta$	$1.04 \pm 0.16 \pm 0.08$	–	1.88 ± 0.05
$D^0 \to K^+\pi^-\pi^0\eta$	< 0.7	–	0.449 ± 0.027

➢ 拟合 $\mathbf{U_{miss}}$ → BF （e道 和 μ道 联合拟合）

- Signal：MC形状 ⊗ 高斯函数
- BKGI：CF 衰变，产额用已知的BF和误判率固定
- BKGII：MC形状

➢ $D^0 \to K^+\pi^-\pi^0\eta$ 无显著信号，采用**Bayesian**方法给出90%置信水平下的BF上限

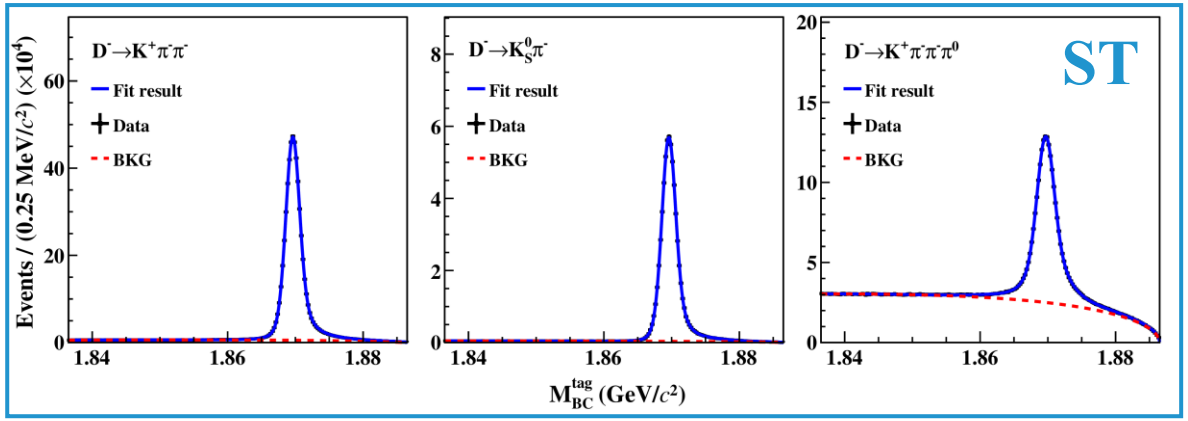
$$L(\mathcal{B}) \propto \int_0^1 L\left(\mathcal{B}\frac{\epsilon}{\epsilon_0}\right) \exp\left[\frac{-(\epsilon/\epsilon_0 - 1)^2}{2(\sigma_\epsilon)^2}\right] d\epsilon$$

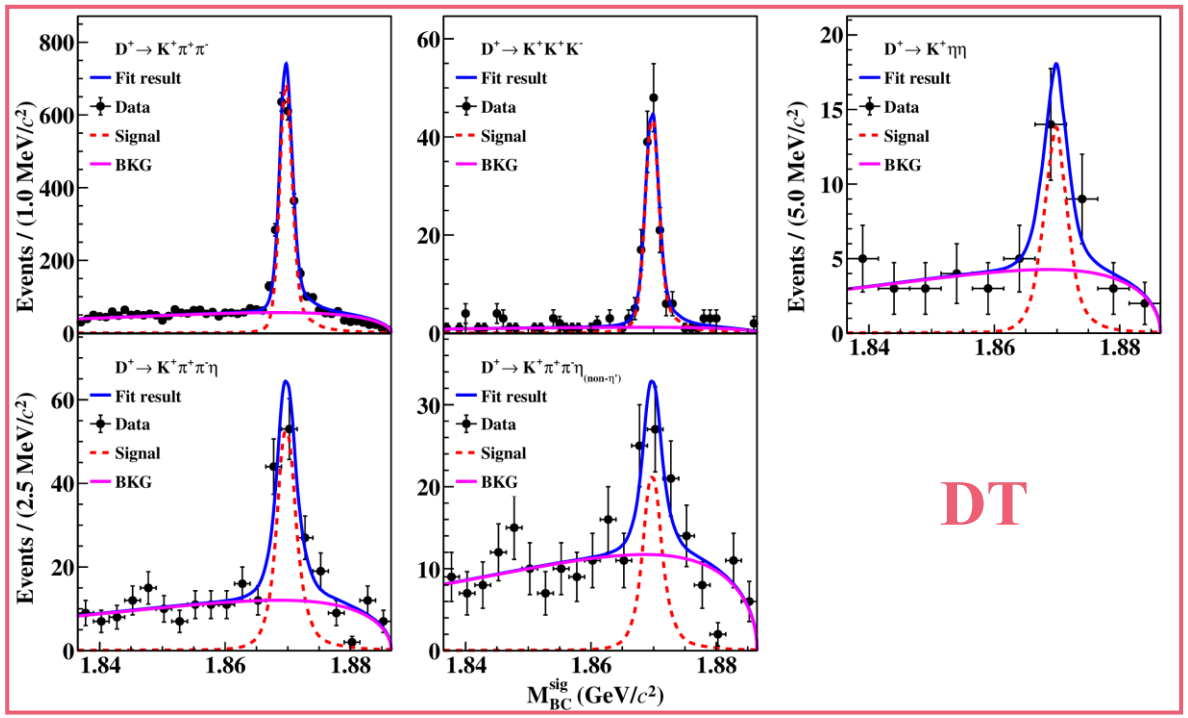


7. 双卡压低 D 衰变分支比

Data: 20.3fb^{-1} $\sqrt{s}$ = 3.773 GeV **JHEP06(2025)220**

➢ 对于 D^+ 衰变，使用3个强子标记道：$D^- \to K^+\pi^-\pi^-$、$D^- \to K^0_S\pi^-$ 和 $D^- \to K^+\pi^-\pi^-\pi^0$





Signal decay	$\mathcal{B}^{\text{This work}}_{\text{DCS}}$ $(\times10^{-4})$	$\mathcal{B}^{\text{PDG}}_{\text{DCS}}$ $(\times10^{-4})$	$\mathcal{B}^{\text{PDG}}_{\text{CF}}$ $(\times10^{-2})$
$D^+ \to K^+\pi^+\pi^-$	$4.50 \pm 0.12 \pm 0.35$	4.91 ± 0.09	9.38 ± 0.16
$D^+ \to K^+\pi^+\pi^-\eta$	$1.56 \pm 0.22 \pm 0.04$	–	–
$D^+ \to K^+(\pi^+\pi^-\eta)_{\text{non}-\eta'}$	$0.67 \pm 0.18 \pm 0.02$	–	0.135 ± 0.012
$D^+ \to K^+K^+K^-$	$0.51 \pm 0.05 \pm 0.01$	0.614 ± 0.011	–
$D^+ \to K^+\eta\eta$	$0.59 \pm 0.23 \pm 0.02$	–	–

➢ **ST**：拟合 $M^{\text{tag}}_{\text{BC}}$
- Signal：MC形状 ⊗ 双高斯函数
- BKG：ARGUS函数

➢ **DT**：拟合 $M^{\text{sig}}_{\text{BC}}$
- Signal：MC形状
- BKG：ARGUS函数

7. 双卡压低 D 衰变分支比

Data: 20.3fb^{-1} $\sqrt{s}$ = 3.773 GeV **JHEP06(2025)220**

- 将测量结果与相应的 CF 衰变的 PDG值结合，计算 **DCS/CF 分支比比值**；
- 其中 **$D^+ \to K^+(\pi^+\pi^-\eta)_{\text{non}-\eta'}$衰变**，该比值显著大于其他 DCS 衰变对应的比值。

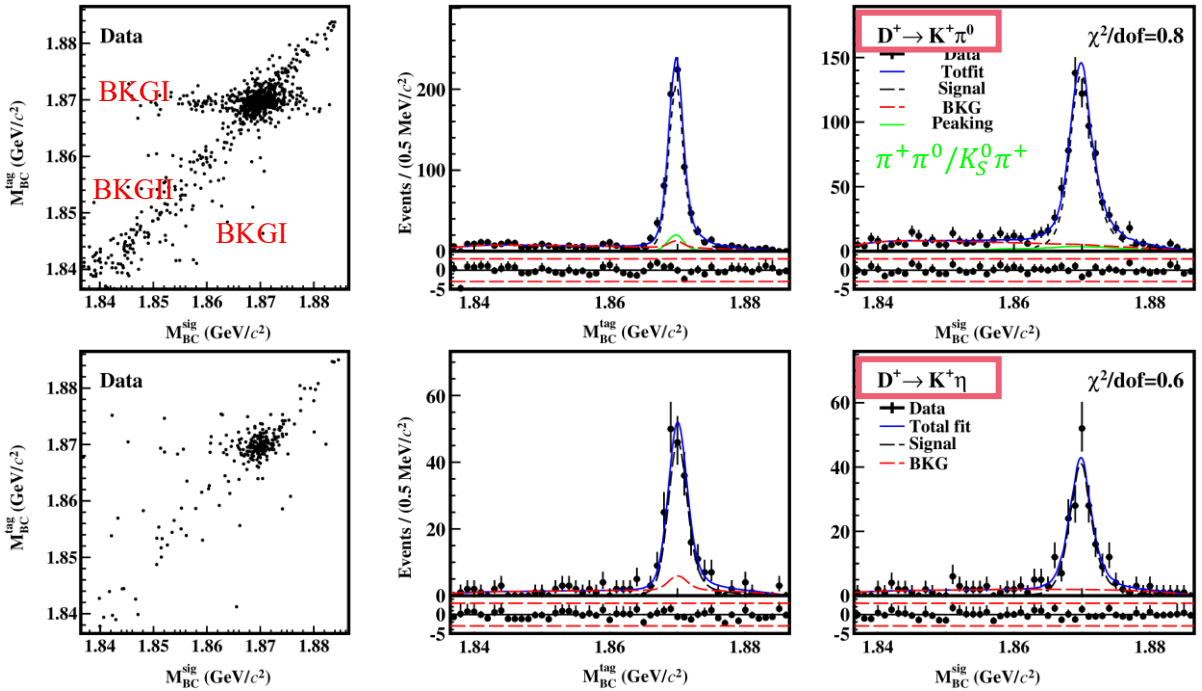
Signal decay	$\mathcal{B}_{\rm DCS}^{\rm This\ work}$ $(\times10^{-4})$	$\mathcal{B}_{\rm DCS}^{\rm PDG}$ $(\times10^{-4})$	$\mathcal{B}_{\rm CF}^{\rm PDG}$ $(\times10^{-2})$	$\mathcal{B}_{\rm DCS}^{\rm This\ work}/\mathcal{B}_{\rm CF}$ (%)	$\times \tan^4\theta_C$
$D^0 \to K^+\pi^-$	$1.30 \pm 0.09 \pm 0.04$	1.50 ± 0.07	3.947 ± 0.030	0.328 ± 0.027	1.14 ± 0.09
$D^0 \to K^+\pi^-\pi^-\pi^+$	$2.38 \pm 0.19 \pm 0.12$	2.65 ± 0.06	8.22 ± 0.14	0.289 ± 0.028	1.00 ± 0.10
$D^0 \to K^+\pi^-\pi^0$	$3.06 \pm 0.21 \pm 0.10$	3.06 ± 0.16	14.4 ± 0.6	0.212 ± 0.021	0.74 ± 0.07
$D^0 \to K^+\pi^-\pi^0\pi^0$	$1.40 \pm 0.27 \pm 0.09$	< 3.6	8.86 ± 0.23	0.158 ± 0.036	0.55 ± 0.12
$D^0 \to K^+\pi^-\eta$	$1.04 \pm 0.16 \pm 0.08$	–	1.88 ± 0.05	0.555 ± 0.092	1.93 ± 0.32
$D^0 \to K^+\pi^-\pi^0\eta$	< 0.7	–	0.449 ± 0.027	< 1.78	< 6.19
$D^+ \to K^+\pi^+\pi^-$	$4.50 \pm 0.12 \pm 0.35$	4.91 ± 0.09	9.38 ± 0.16	0.480 ± 0.019	1.67 ± 0.07
$D^+ \to K^+\pi^+\pi^-\eta$	$1.56 \pm 0.22 \pm 0.04$	–	–	–	–
$D^+ \to K^+(\pi^+\pi^-\eta)_{\text{non}-\eta'}$	$0.67 \pm 0.18 \pm 0.02$	–	0.135 ± 0.012	5.0 ± 1.4	17.3 ± 4.8
$D^+ \to K^+K^+K^-$	$0.51 \pm 0.05 \pm 0.01$	0.614 ± 0.011	–	–	–
$D^+ \to K^+\eta\eta$	$0.59 \pm 0.23 \pm 0.02$	–	–	–	–

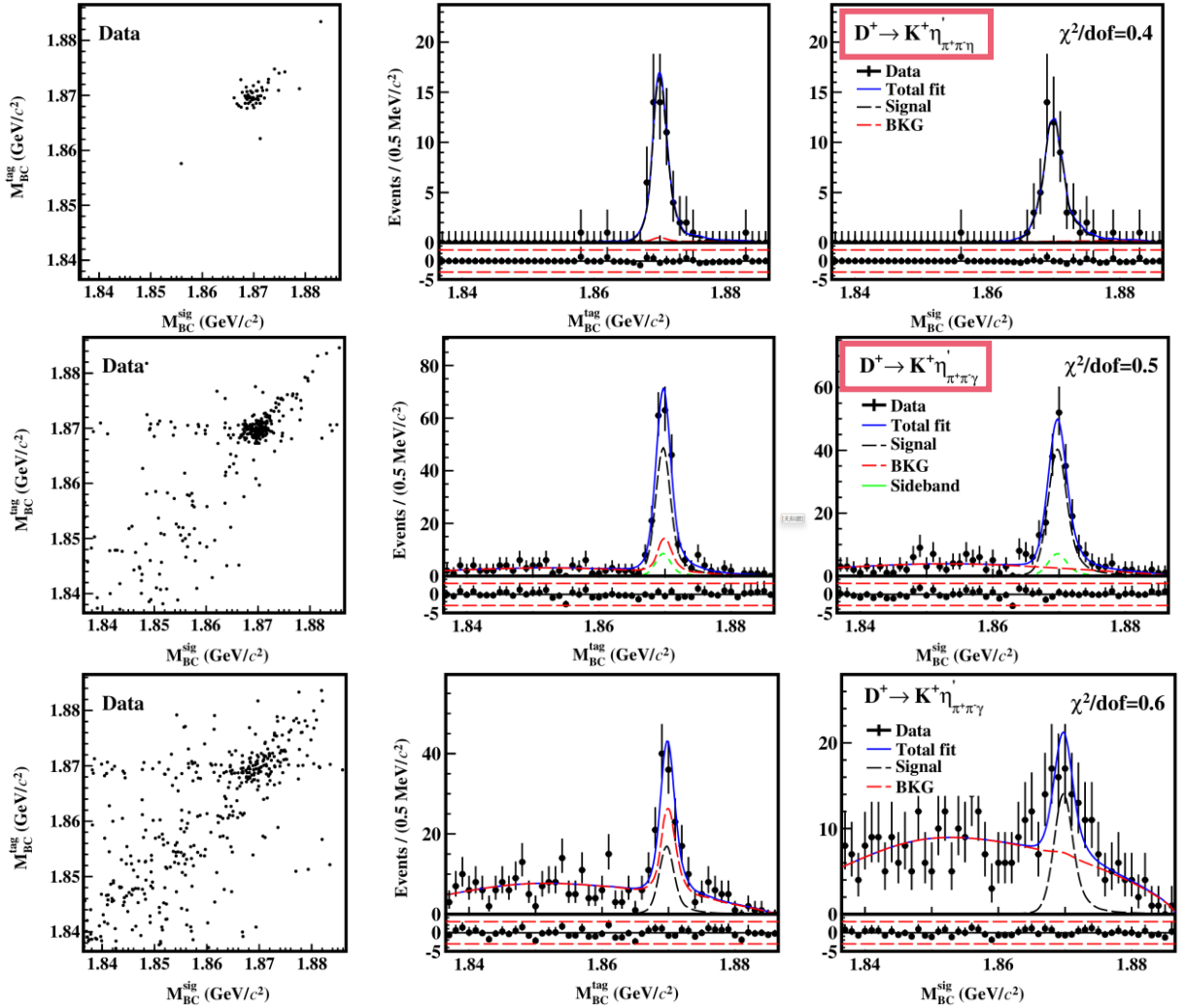
$$\frac{\mathcal{B}(\text{DCS})}{\mathcal{B}(\text{CF})} \sim (0.5 - 2.0)\tan^4\theta_C$$

8. $D^+ \to K^+\pi^0/\eta/\eta'$ 两体衰变

Data: 20.3fb^{-1} $\sqrt{s}$ = 3.773 GeV **JHEP10(2025)178**

➢ 对于这三个 DCS D^+ 衰变，使用3个强子标记道：$D^- \to K^+\pi^-\pi^-$、$D^- \to K^0_S\pi^-$ 和 $D^- \to K^+\pi^-\pi^-\pi^0$





➢ **DT**：二维拟合 M^{tag}_{BC} vs M^{sig}_{BC}

- Signal：二维PDF ⊗ 高斯函数
- BKG：多个PDF共同描述
- 对于 $D^+ \to K^+\eta'_{\pi^+\pi^-\eta/\pi^+\pi^-\gamma}$ 进行联合拟合

8. $D^+ \to K^+\pi^0/\eta/\eta'$ 两体衰变

Data: 20.3fb^{-1} $\sqrt{s}$ = 3.773 GeV **JHEP10(2025)178**

- 所测的 $D^+ \to K^+\eta$ 和 $D^+ \to K^+\eta'$ 的 BF 与 PDG值一致；
- $D^+ \to K^+\pi^0$ 的 BF 与 PDG 存在 3σ 偏差，与此前 BESIII 单标记结果存在 4σ 偏差。

BFs ($\times 10^{-4}$)

Signal decay	$D^+ \to K^+\pi^0$	$D^+ \to K^+\eta$	$D^+ \to K^+\eta'$
CLEO [8]	$2.28 \pm 0.36 \pm 0.17$	...	...
Belle [9]	...	$1.15 \pm 0.16 \pm 0.05$	$1.87 \pm 0.19 \pm 0.05$
BaBar [10]	$2.52 \pm 0.47 \pm 0.26$	...	...
单标记法，本底较高 BESIII [11]	$2.32 \pm 0.21 \pm 0.06$	$1.51 \pm 0.25 \pm 0.14$	$1.64 \pm 0.51 \pm 0.24$
PDG [12]	2.08 ± 0.21	1.25 ± 0.16	1.85 ± 0.20
DASU(3)L [1]	1.59 ± 0.15	0.98 ± 0.04	0.91 ± 0.17
TASU(3)B [2]	2.54 ± 0.06	1.04 ± 0.01	1.07 ± 0.01
GFRE [3]	2.2 ± 0.4	1.2 ± 0.2	1.0 ± 0.1
FDWC [4]	1.97	0.66	1.14
LSU(3)F [35]	...	...	2.11 ± 0.17
This work	$1.45 \pm 0.06 \pm 0.08$	$1.17 \pm 0.10 \pm 0.03$	$1.88 \pm 0.15 \pm 0.11$

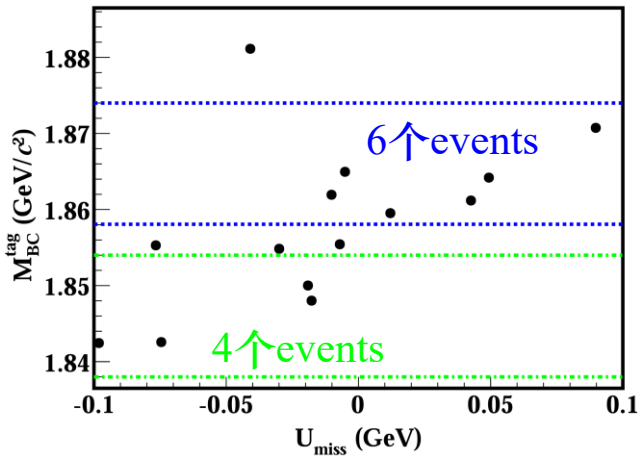
本分析采用双标记法，有效压低本底； $K^+\pi^0$ 的BF精度提升2倍， $K^+\eta/\eta'$ 的BF精度与PDG平均值相当

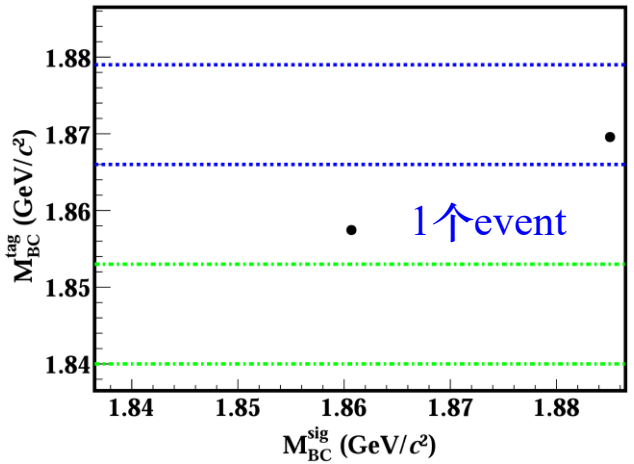
9. $D^{0(+)} \to K^+\pi^{-(0)}\eta'$衰变

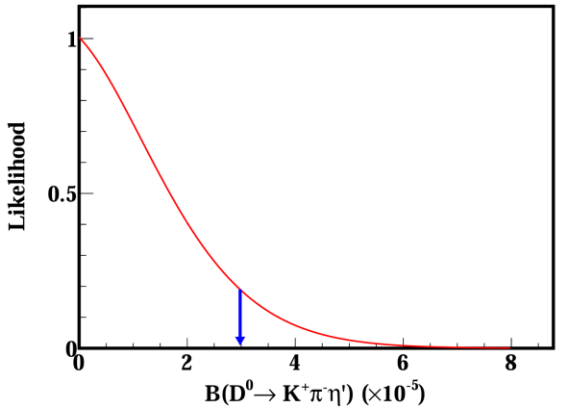
Data: 20.3fb^{-1} $\sqrt{s}$ = 3.773 GeV **arXiv:2609.08266v1**

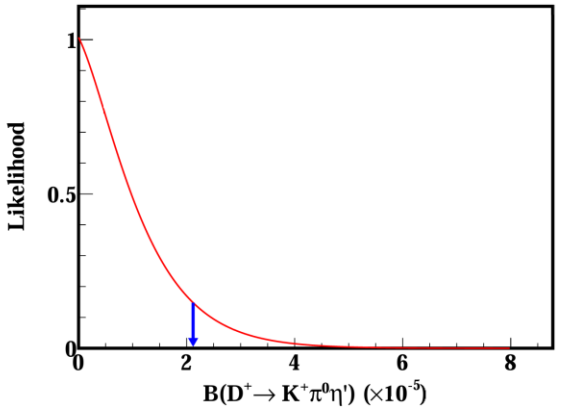
- 首次搜索 DCS 衰变 $D^0 \to K^+\pi^-\eta'$ 和 $D^+ \to K^+\pi^0\eta'$，未观察到显著信号；
- 采用 Extended Profile Likelihood 的方法，从0到9×10^{-5}扫描分支比，提取90%置信水平下BF上限。

CF	$\mathcal{B}(\times 10^{-3})$	DCS	$\mathcal{B}(\times 10^{-5})$	$\mathcal{B}_{\rm DCS}/\mathcal{B}_{\rm CF}(\%)$	$\mathcal{R}(\times \tan^4\theta_C)$
$D^0 \to K^-\pi^+\eta'$	6.43±0.34	$D^0 \to K^+\pi^-\eta'$	< 3.0	< 0.5	< 1.6
$D^+ \to K^0_S\pi^+\eta'$	1.90±0.21	$D^+ \to K^+\pi^0\eta'$	< 2.1	< 1.1	< 3.7









- D^0衰变的tag道: $\bar{D}^0 \to K^+e^-\bar{\nu}_e$
- DT：二维计数 $M_{\rm BC}^{\rm tag}$ vs U_{miss}
- D^+衰变的tag道：$D^- \to K^+\pi^-\pi^-$
- DT：二维计数 $M_{\rm BC}^{\rm tag}$ vs $M_{\rm BC}^{\rm sig}$
- 构造似然函数提取上限结果

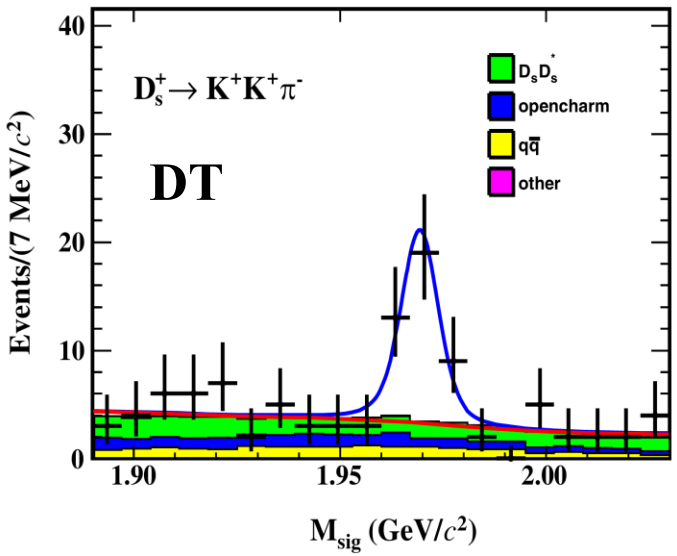
10. $D_s^+ \to K^+K^+\pi^-/K^+K^+\pi^-\pi^0$ 衰变

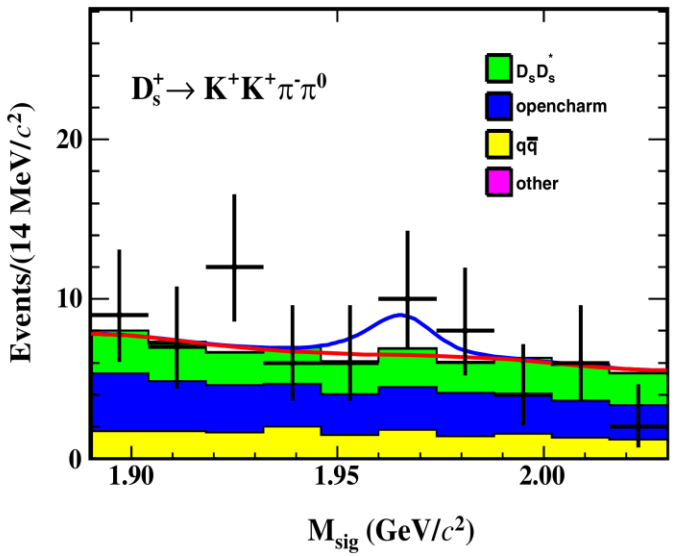
Data: 7.33fb^{-1} $\sqrt{s} = 4.128 - 4.226$ GeV

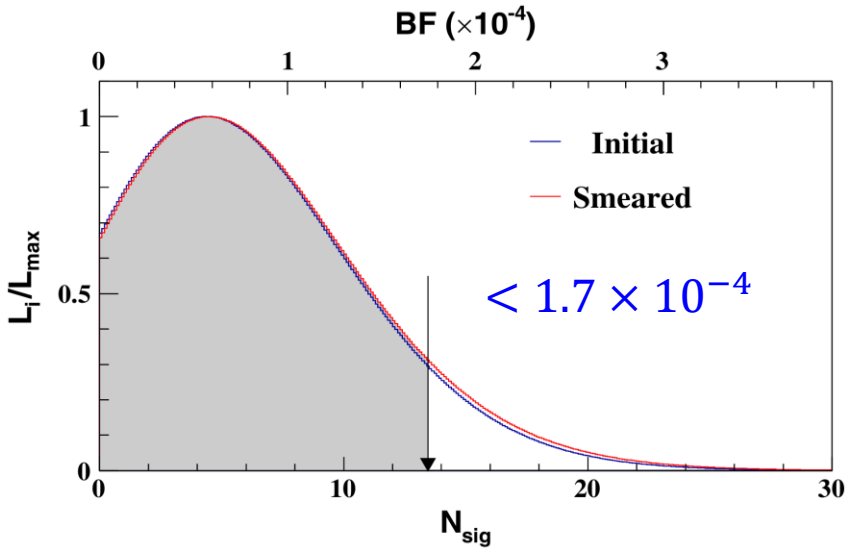
PRD109,032011(2024)

- 测量了DCS衰变 $D_s^+ \to K^+K^+\pi^-$ 的绝对BF，给出了 $D_s^+ \to K^+K^+\pi^-\pi^0$ 分支比上限；
- 所测 **DCS/CF分支比比值** 与 $(0.5-2.0)\tan^4\theta_C$ 的预期相符合。

DCS decay	$\mathcal{B}_{\rm DCS}^{\rm this\ work}$ $(\times10^{-4})$	CF decay	$\mathcal{B}_{\rm CF}^{\rm PDG}$ $(\times10^{-2})$	$\mathcal{B}_{\rm DCS}^{\rm this\ work}/\mathcal{B}_{\rm CF}^{\rm PDG}$ $(\times10^{-3})$	$\times\tan^4\theta_{\rm C}$
$D_s^+ \to K^+K^+\pi^-$	$1.24^{+0.28}_{-0.26} \pm 0.06$	$D_s^+ \to K^+K^-\pi^+$	5.37 ± 0.10	$2.31^{+0.52}_{-0.48}$	$0.80^{+0.18}_{-0.16}$
$D_s^+ \to K^+K^+\pi^-\pi^0$	< 1.7	$D_s^+ \to K^+K^-\pi^+\pi^0$	5.50 ± 0.24	< 3.09	< 1.07







- **DT**：拟合 $M_{\rm sig}$
- $D_s^+ \to K^+K^+\pi^-\pi^0$ 无显著信号

四、总结

- 基于 BESIII 在 3.773 GeV 和 4.128–4.226 GeV 的数据，利用双标记法，对 $\boldsymbol{D/D_s}$ 多个强子衰变道进行了绝对分支比测量，显著提升了精度，并首次观测了多个衰变道；
- D_s^+ 强子衰变
  - ✓ 测量了15个衰变道（19个衰变末态）的绝对BF，精度显著优于PDG；
  - ✓ $D_s^+ \to \eta(\eta')X$ 单举衰变：$\mathcal{B}(D_s^+ \to \eta X) = (30.72 \pm 0.89 \pm 0.49)\%$，$\mathcal{B}(D_s^+ \to \eta' X) = (12.30 \pm 0.94 \pm 0.37)\%$，精度提升 2.8(1.9) 倍；
  - ✓ 首次观测到 $D_s^+ \to K_S^0 K_S^0 \pi^+ \pi^0$ 和 $D_s^+ \to K_S^0 K^+ \pi^0 \pi^0$；
- D 介子多体衰变
  - ✓ $D \to K\pi\pi\pi\pi\pi$：首次观测到 $D^0 \to K^- 2\pi^+ \pi^- 2\pi^0$ 和 $D^+ \to K^- 3\pi^+ \pi^- \pi^0$，显著性均 $> 5\sigma$；
  - ✓ $D \to KK\pi\pi\pi$：首次测量 $D^+ \to \phi\pi^+\pi^+\pi^-$，$D^+ \to K_S^0 K^+ \pi^+ \pi^- \pi^0$ 和 $D^+ \to K_S^0 K^+ \omega$ 的绝对BF；
  - ✓ $D \to KKK\pi$：首次测量 $D^0 \to K_S^0 K^+ K^- \pi^0$，$D^0 \to \phi K_S^0 \pi^0$ 和 $D^+ \to \phi K_S^0 \pi^+$ 的绝对BF；

四、总结

- DCS 衰变
  - ✓ 测量多个 D^0/D^+ DCS 衰变分支比，检验 DCS/CF 比值相对于 $\tan^4\theta_C$ 的预期；
  - ✓ $\boldsymbol{D^+ \to K^+(\pi^+\pi^-\eta)_{\mathrm{non}-\eta'}}$ 的 DCS/CF 比值显著大于其他 DCS 衰变；
  - ✓ $D^+ \to K^+\pi^0$ 与 PDG 存在约 3σ 偏差；
  - ✓ 首次搜索 $D^0 \to K^+\pi^-\eta'$ 和 $D^+ \to K^+\pi^0\eta'$，未观测到显著信号，给出90%置信水平下的 BF 上限；
  - ✓ 测量了 DCS 衰变 $D_s^+ \to K^+K^+\pi^-$的绝对 BF，给出了 $D_s^+ \to K^+K^+\pi^-\pi^0$ 分支比上限；
- 除绝对 BF 测量外，振幅分析也可通过拟合多体衰变振幅提取中间共振态的 BF，二者互为补充，可从共振态角度进一步深化对 $\boldsymbol{D/D_s}$ 强子衰变动力学的理解。

谢谢！