

**国家重点研发计划项目《BESIII上粲强子、QCD及新物理研究》**

**课题2：粲介子衰变研究**

**报告人：马海龙（高能所）**

**承担单位：中国科学院高能物理研究所、中国科学技术大学**

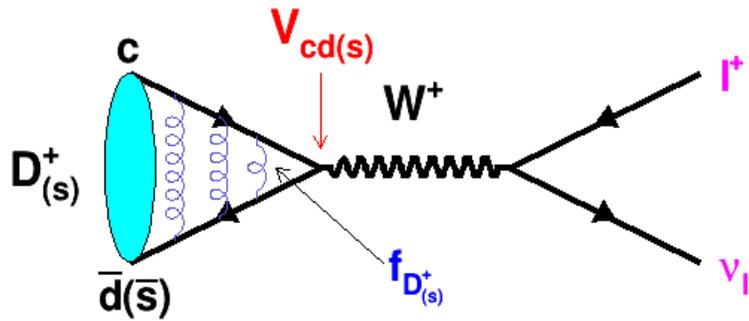
**BESIII实验上粲强子、QCD及新物理研讨会，2022年8月22日，兰州大学**

# 主要内容

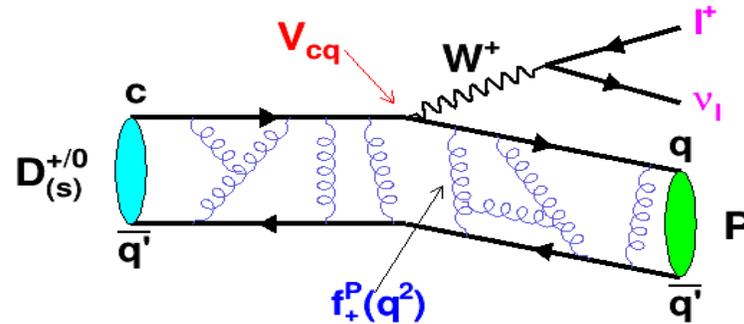
- **课题概况**
- **主要物理目标完成情况**
- **交流、合作、人才培养**
- **经费支出情况**
- **总结**

# 纯轻和半轻衰变

探讨夸克和轻子相互作用的理想桥梁，检验标准模型的理想探针之一



$$\Gamma(D_{(s)}^+ \rightarrow l^+ \nu_l) = \frac{G_F^2 f_{D_{(s)}^+}^2}{8\pi} |V_{cd(s)}|^2 m_l^2 m_{D_{(s)}^+} \left(1 - \frac{m_l^2}{m_{D_{(s)}^+}^2}\right)^2$$



$$\frac{d\Gamma}{dq^2} = X \frac{G_F^2 |V_{cd(s)}|^2}{24\pi^3} p^3 |f_+(q^2)|^2$$

- 衰变常数、半轻衰变形状因子
- CKM矩阵元  $|V_{cs}|$ 、 $|V_{cd}|$
- 分支比之比  $B_{\mu/e}$ 、 $B_{\tau/\mu}$

- 精密刻度格点QCD等计算
- 在更高精度下检验CKM矩阵的么正性
- 精确检验轻子普适性

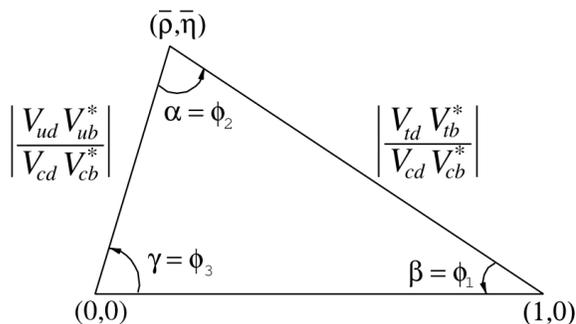
寻找超出标准模型的新物理效应

# 中性D介子强子衰变相差测量

在B物理研究中，精密测量CP破坏相角 $\alpha, \beta, \gamma$ 能够对电弱统一理论做出有力的检验，其中改进 $\gamma$ 测量精度最为迫切。这些测量需要输入中性D介子强相差参数

未来10-15年，预期对 $\gamma$ 角测量的统计误差：

Belle II  $\sim 1.5^\circ$ ，LHCb升级后  $\sim 0.5^\circ$



## BESIII近阈独特的量子关联特征

$$e^+e^- \rightarrow \psi(3770) \rightarrow D^0 \bar{D}^0$$

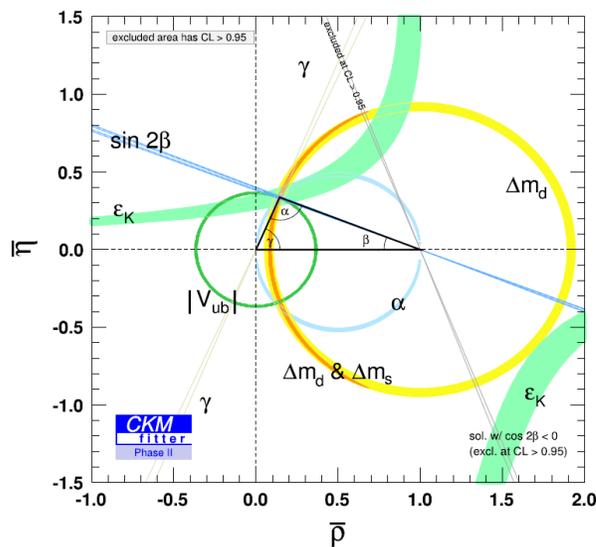
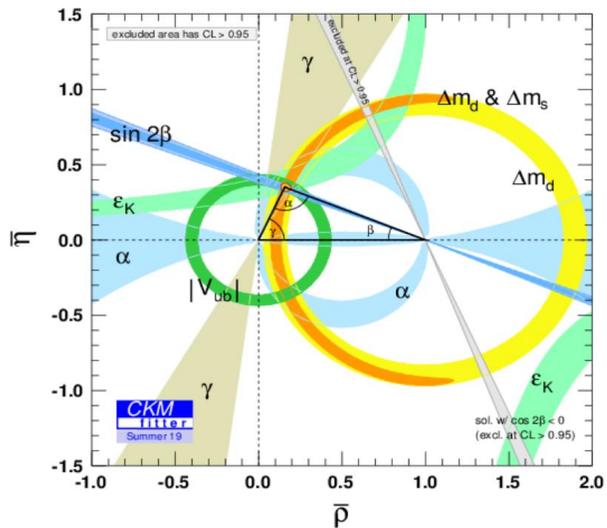
$$\psi(3770) : J^{PC} = 1^{--}$$

正反D介子处于反对称状态：

$$\hat{C}|D^0\rangle = |\bar{D}^0\rangle$$

$$\hat{C}|\bar{D}^0\rangle = |D^0\rangle$$

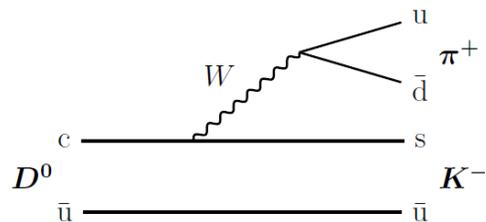
$$\psi_- = \frac{1}{\sqrt{2}} (|D^0\rangle|\bar{D}^0\rangle - |\bar{D}^0\rangle|D^0\rangle)$$



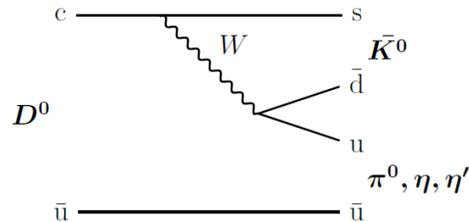
实验测量值和CKMfitter值偏离  $(6.3^{+5.5}_{-5.8})^\circ$

BESIII之前结果约束约 $2^\circ$ ，无法满足精密测量 $\gamma$ 需要，迫切需要BESIII系统和精密的测量

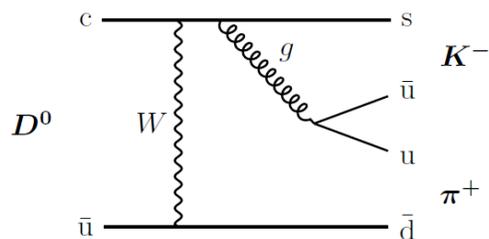
# 强子衰变振幅分析和绝对分支比测量



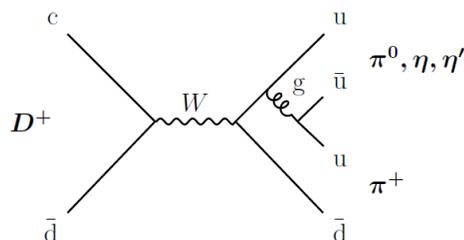
Tree



Color suppressed



W-exchange



Annihilation

■  $D_{(s)} \rightarrow VP, PP$  分支比

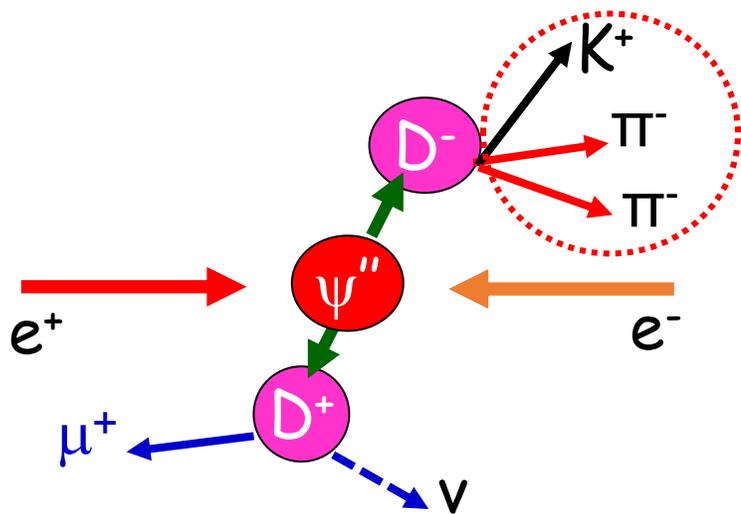
■  $D_{(s)} \rightarrow PPP$  振幅分析  $\rightarrow D_{(s)} \rightarrow VP, PS \dots$  分支比

■  $D_{(s)} \rightarrow PPPP$  振幅分析  $\rightarrow$  轻介子质量、宽度,  $D_{(s)} \rightarrow VV, TS, TP, AP \dots$  分支比

**分支比测量**  $\rightarrow$  检验两体衰变分支比的理论计算, 探讨夸克SU(3)对称性及破坏效应, 改进对  $D^0 - \bar{D}^0$  混合和CP破坏效应的理解

**振幅分析**  $\rightarrow$  为深入探讨轻介子谱提供更丰富数据

# 世界上最大的近阈粲介子样本



对产生→双标记方法  
背景低→系统误差小  
中性D介子量子关联

与Belle和  
LHCb优  
势互补

质心能量 (GeV)	采集 年份	亮度 (fb <sup>-1</sup> )	D <sup>0</sup> 产额 (M)	D <sup>+</sup> 产额 (M)	D <sub>s</sub> <sup>+</sup> 产额 (M)
3.773	2010-2011 (+2022)	2.93 (+5)	2.5 (+4.3)	1.7 (+2.9)	
4.13-4.23	2016, 2017, 2014, 2019	7.33			1.5

# 课题任务一：纯轻衰变 $D_S^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau$

## 研究目标：

- $\tau^+ \rightarrow \pi^+ \nu$
- $\tau^+ \rightarrow e^+ \nu \nu$
- $\tau^+ \rightarrow \rho^+ \nu$
- $\tau^+ \rightarrow \mu^+ \nu \nu$

考核指标：  $\delta f_{D_S^+} \sim 1.5\%$ ,  $\delta |V_{cs}| \sim 1.5\%$ ,  $\delta R_{\tau/\mu} \sim 5\%$

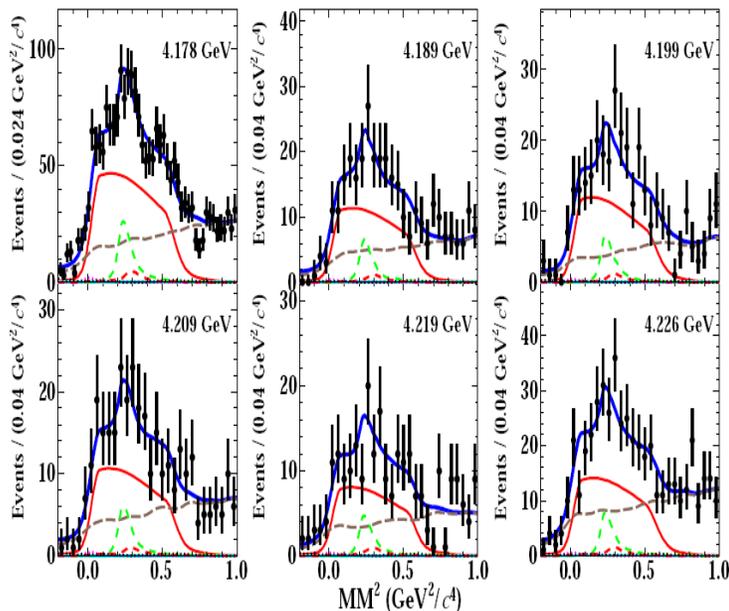
# 纯轻衰变 $D_S^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau$

PRD104(2021)032001

$$D_S^+ \rightarrow \tau^+ (\rho^+ \nu) \nu$$

6.3 fb<sup>-1</sup>

1745 ± 84



$$B[D_S^+ \rightarrow \tau^+ \nu] = (5.29 \pm 0.25 \pm 0.20)\%$$

$$f_{D_S^+} |V_{cs}| = (244.8 \pm 5.8 \pm 4.8) \text{ MeV}$$

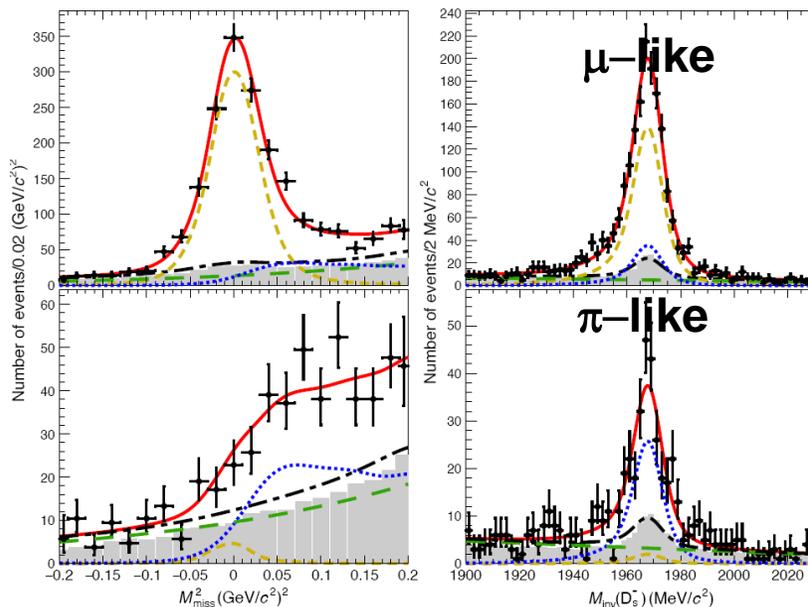
精度 ~ 3.1%

PRD104(2021)052009

$$D_S^+ \rightarrow \tau^+ (\pi^+ \nu) \nu$$

6.3 fb<sup>-1</sup>

946 ± 46



$$B[D_S^+ \rightarrow \tau^+ \nu] = (5.21 \pm 0.25 \pm 0.17)\%$$

$$f_{D_S^+} |V_{cs}| = (243.0 \pm 5.8 \pm 4.0) \text{ MeV}$$

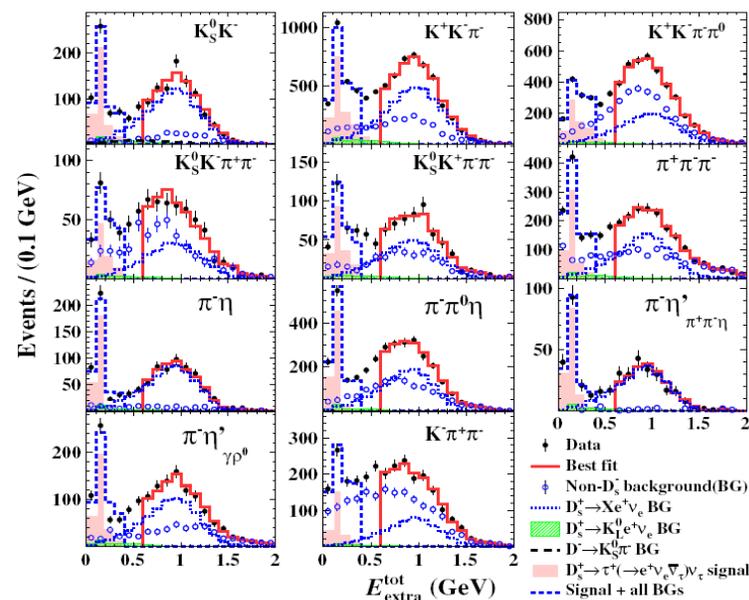
精度 ~ 2.9%

PRL127(2021)171801

$$D_S^+ \rightarrow \tau^+ (e^+ \nu \nu) \nu$$

6.3 fb<sup>-1</sup>

4940 ± 97



$$B[D_S^+ \rightarrow \tau^+ \nu] = (5.27 \pm 0.10 \pm 0.12)\%$$

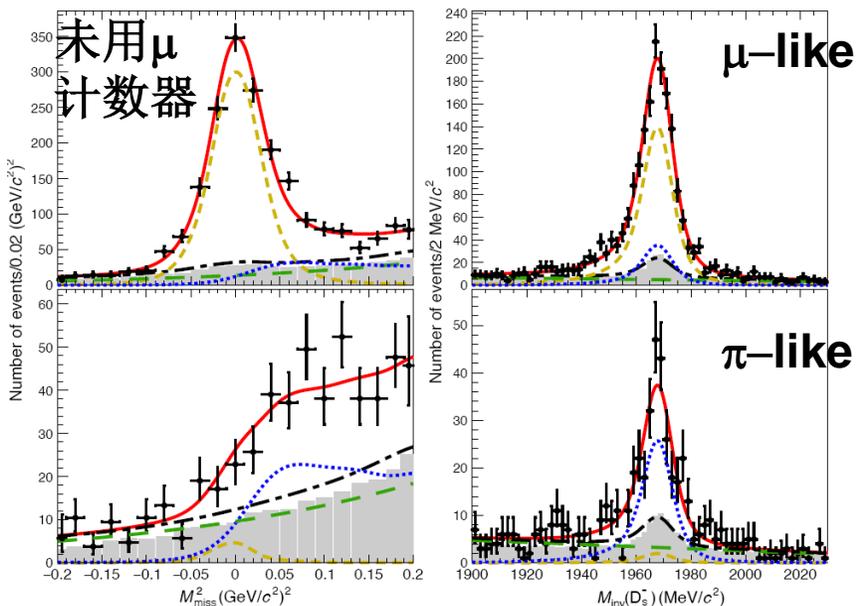
$$f_{D_S^+} |V_{cs}| = (244.4 \pm 2.3 \pm 2.9) \text{ MeV}$$

精度 ~ 1.5%

# 纯轻衰变 $D_s^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$

6.3 fb<sup>-1</sup>@4.18-4.23GeV

PRD104(2021)052009



2198±55

$$B[D_s^+ \rightarrow \mu^+ \nu] = (5.35 \pm 0.13 \pm 0.16) \times 10^{-3}$$

$$f_{D_s^+} |V_{cs}| = (243.1 \pm 3.0 \pm 3.7) \text{ MeV} \quad \text{精度} \sim 2.0\%$$

联合结果:

$$B[D_s^+ \rightarrow \mu^+ \nu] = (5.43 \pm 0.16) \times 10^{-3}$$

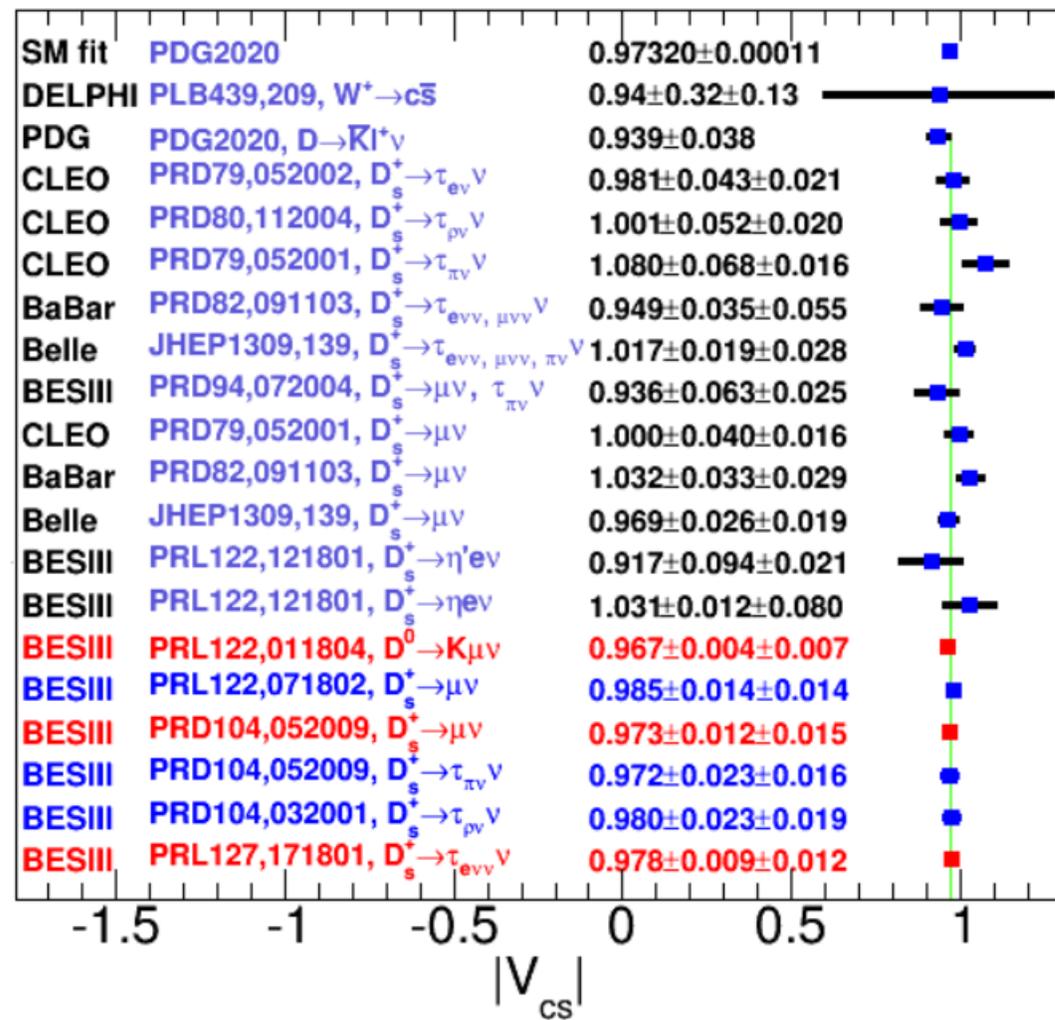
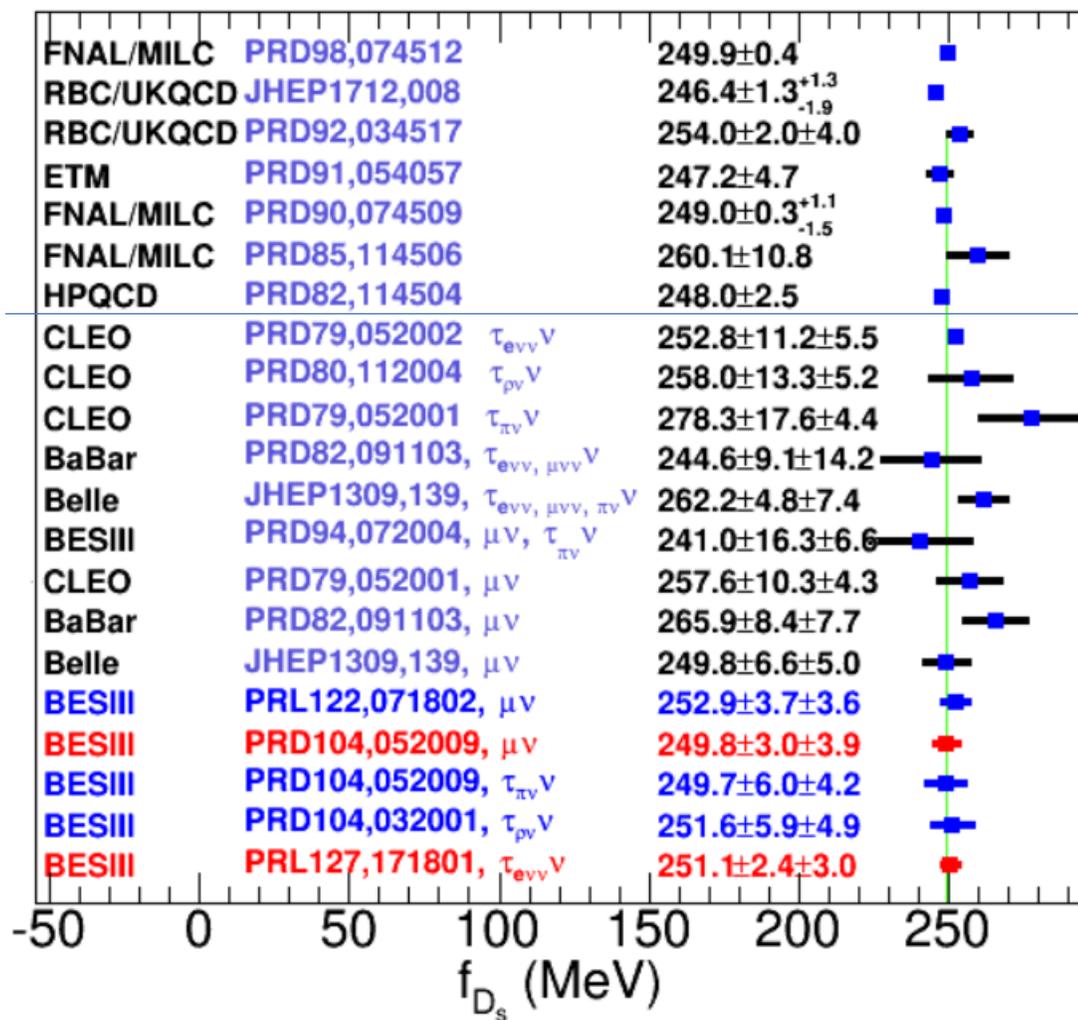
$$B[D_s^+ \rightarrow \tau^+ \nu] = (5.33 \pm 0.12)\%$$

$$R_{D_s} = \frac{B[D_s^+ \rightarrow \tau^+ \nu]}{B[D_s^+ \rightarrow \mu^+ \nu]} = 9.82 \pm 0.36 \quad \text{精度好于4\%}$$

标准模型预期: 9.75

表明现有精度下没有轻子普适性破坏迹象

# 衰变常数 $f_{D_s^+}$ 、CKM矩阵元 $|V_{cs}|$ 的比较



# 课题任务二：半轻衰变

## 研究目标：

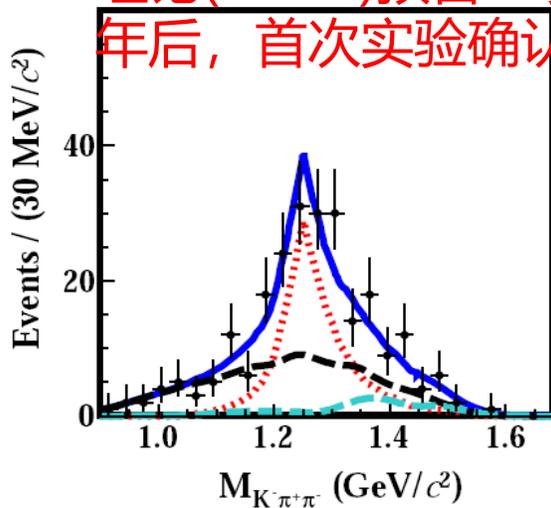
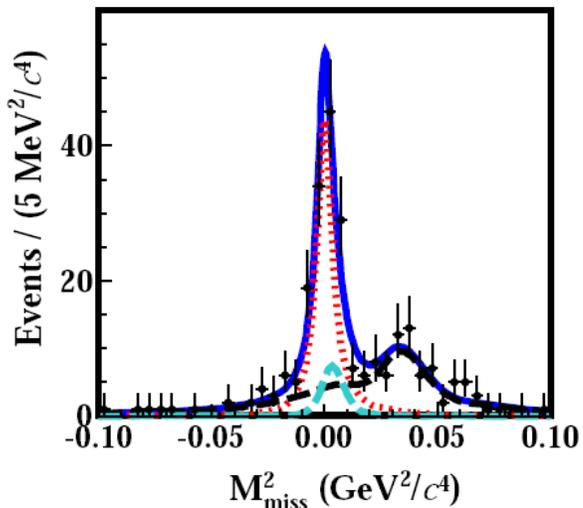
- $D^0 \rightarrow K_1(1270)^- e^+ \nu_e$  首次观测
- $D_s^+ \rightarrow X e^+ \nu_e$  单举衰变分支比的精密测量
- $D_s^+ \rightarrow \eta \mu^+ \nu_\mu$  和  $D_s^+ \rightarrow \eta' \mu^+ \nu_\mu$  形状因子、轻子普适性检验
- $D_s^+ \rightarrow K^+ K^- e^+ \nu_e$  和  $\pi^+ \pi^- e^+ \nu_e$  形状因子

**考核指标：完成4项研究，最好精度 $\delta B \sim (3-6)\%$ ，抽取一些形状因子**

# 首次观测到 $D^0 \rightarrow K_1(1270)^- e^+ \nu_e$ 半轻衰变

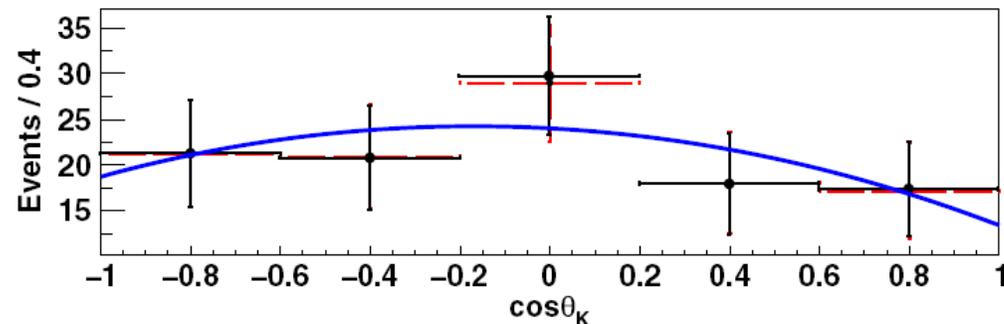
PRL123(2021)131801

理论(ISGW)预言30多年后, 首次实验确认



$$\frac{d\Gamma(D^0 \rightarrow K_1(1270)^- e^+ \nu_e)}{d \cos \theta_K} \propto 1 + k_1 \cos \theta_K + k_2 \cos^2 \theta_K$$

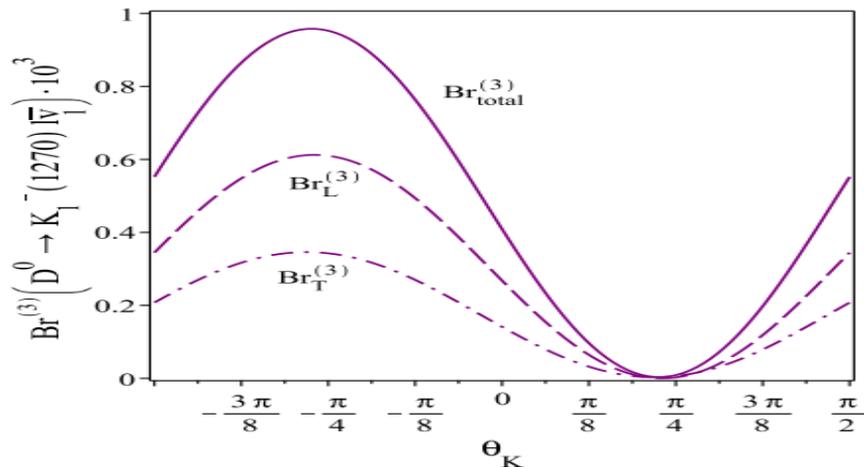
$$k_2 = (1 - 3F_L)/(1 + F_L)$$



$$B_{D^0 \rightarrow K_1(1270)^- e^+ \nu} = (1.09 \pm 0.13 \pm 0.13 \pm 0.12) \times 10^{-3}$$

S. Momeni, JPG46(2019)105006 检验理论计算

$$f_L = 0.50 \pm 0.17 \pm 0.08$$

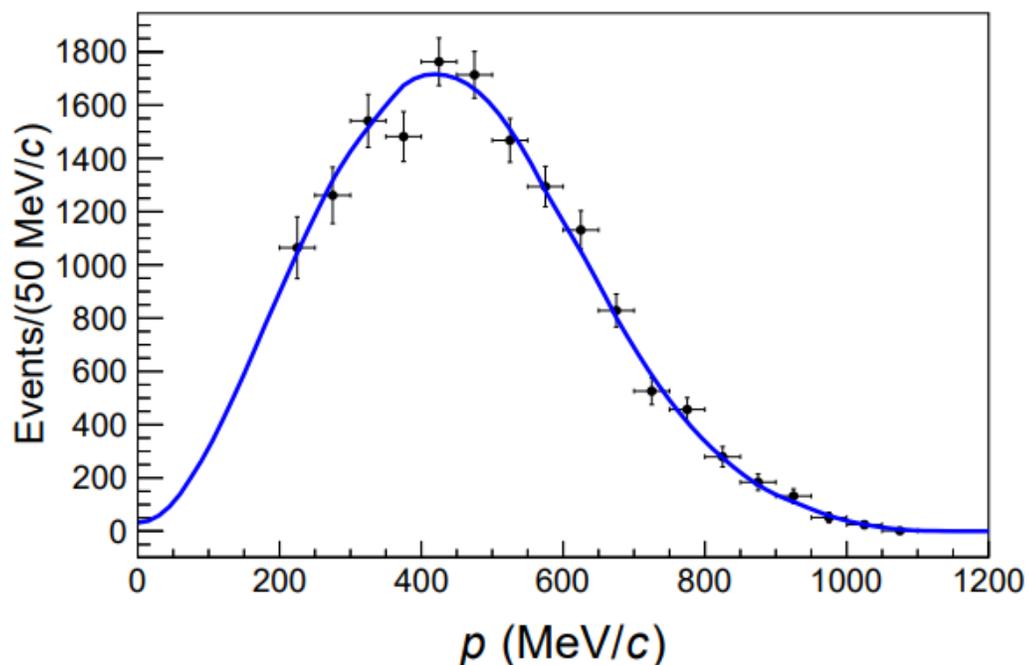


Wei Wang et al. PRL125(2020)051802

对  $D \rightarrow \bar{K}_1 e^+ \nu$  和  $B \rightarrow \gamma \bar{K}_1$  的联合分析, 能够对研究  $b \rightarrow s \gamma$  光子极化中的新物理效应提供有力的约束

# $D_s^+ \rightarrow Xe^+\nu_e$ 单举衰变分支比的测量

PRD104(2021)012003



$$B_{D_s^+ \rightarrow \nu_e e X} = (6.30 \pm 0.13 \pm 0.10)\%$$

与此前最好精度的CLEO结果比, 统计误差改进3倍, 系统误差改进1.5倍

$$\Gamma_{D_s^+ \rightarrow \nu_e e X} / \Gamma_{D^0 \rightarrow \nu_e e X} = 0.790 \pm 0.016 \pm 0.020$$

与理论预期0.813 [J. L. Rosner PRD83(2011)034025]一致

已知遍举电子半轻衰变道的分支比[PDG2020]

$D_s^+ \rightarrow \phi e^+ \nu_e$	$(2.37 \pm 0.11)\%$
$D_s^+ \rightarrow \eta e^+ \nu_e$	$(2.32 \pm 0.08)\%$
$D_s^+ \rightarrow \eta' e^+ \nu_e$	$(0.80 \pm 0.07)\%$
$D_s^+ \rightarrow K^0 e^+ \nu_e$	$(0.34 \pm 0.04)\%$
$D_s^+ \rightarrow K^*(892)^0 e^+ \nu_e$	$(0.21 \pm 0.03)\%$
$D_s^+ \rightarrow f_0(980) e^+ \nu_e, f_0(980) \rightarrow \pi\pi$	$(0.30 \pm 0.05)\%$
Sum of semielectronic modes	$(6.34 \pm 0.17)\%$
$B(D_s^+ \rightarrow Xe^+ \nu_e)$	$(6.52 \pm 0.42)\%$
$D_s^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau \rightarrow e^+ \bar{\nu}_\tau \nu_e \nu_\tau$	$(0.96 \pm 0.04)\%$

单举和遍举电子半轻衰变分支比之差:

$$\Delta B = (-0.04 \pm 0.23)\%$$

表明没有更多 $D_s^+$ 遍举电子半轻衰变

# 课题任务三：中性 $D$ 介子强子衰变相差

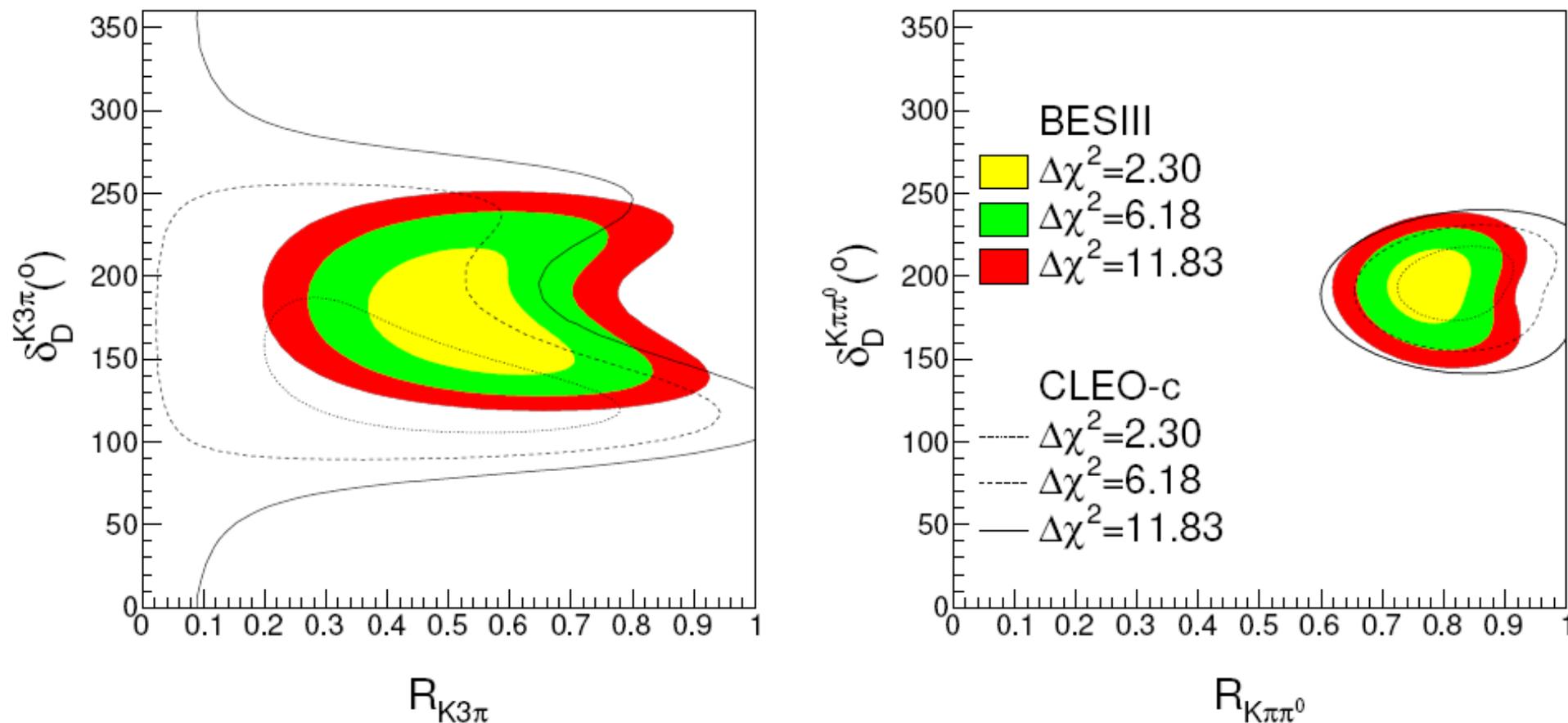
## 研究目标：

- $D^0/\bar{D}^0 \rightarrow K^-\pi^+\pi^+\pi^-$ 和 $K^-\pi^+\pi^0$ 强相差
- $D^0/\bar{D}^0 \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)$ 强相差
- $D^0/\bar{D}^0 \rightarrow K^+K^-\pi^0$ 和 $\pi^+\pi^-\pi^0$ 衰变CP+参数

**考核指标：完成3项相差测量，精度好于原有世界值2倍**

# $D^0/\bar{D}^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+ \pi^-$ 和 $K^- \pi^+ \pi^0$ 强相差测量

JHEP05(2021)164



预期对 $\gamma$ 角测量单道约束:  $\sim 6^\circ$

# 课题任务四：多体强子衰变振幅分析

## 研究目标：

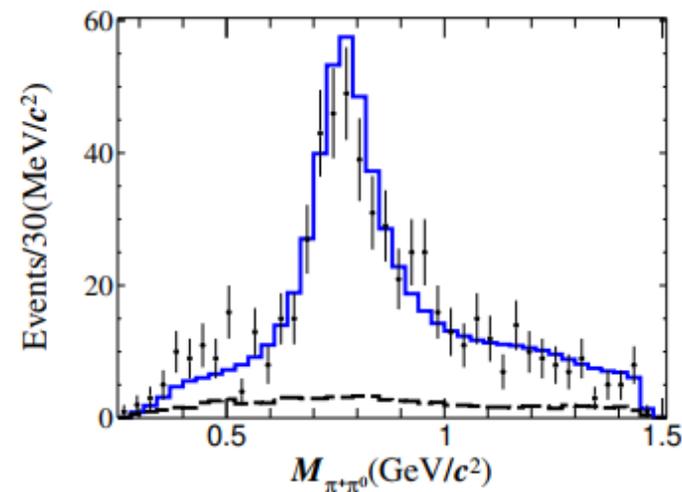
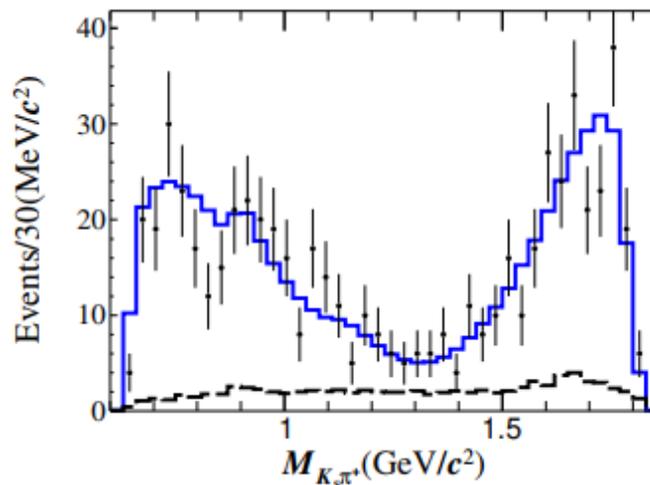
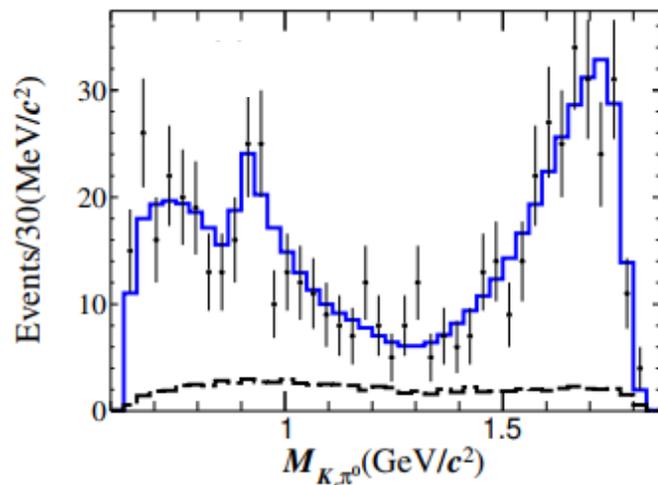
- 首次开展  $D_S^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^0$  振幅分析
- 首次开展  $D_S^+ \rightarrow K_S^0 K^+ \pi^0$  振幅分析
- $D_S^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$  振幅分析

**考核指标：完成3项以上振幅分析**

# 首次开展 $D_s^+ \rightarrow K_S \pi^+ \pi^0$ 振幅分析

JHEP06(2021)181

抽取到多个  $D_s^+ \rightarrow VP$  末态信息  
改进测量  $D_s^+ \rightarrow K_S \pi^+ \pi^0$  分支比



Amplitude	Magnitude ( $\rho_n$ )	Phase ( $\phi_n$ )	FF (%)	Significance ( $\sigma$ )
$D_s^+ \rightarrow K_S^0 \rho^+$	1.0(fixed)	0.0(fixed)	$50.2 \pm 7.2 \pm 3.9$	$>10$
$D_s^+ \rightarrow K_S^0 \rho(1450)^+$	$2.7 \pm 0.5$	$2.2 \pm 0.2 \pm 0.1$	$20.4 \pm 4.3 \pm 4.4$	$>10$
$D_s^+ \rightarrow K^*(892)^0 \pi^+$	$0.4 \pm 0.1$	$3.2 \pm 0.2 \pm 0.1$	$8.4 \pm 2.2 \pm 0.9$	5.0
$D_s^+ \rightarrow K^*(892)^+ \pi^0$	$0.3 \pm 0.1$	$0.2 \pm 0.2 \pm 0.2$	$4.6 \pm 1.4 \pm 0.4$	4.0
$D_s^+ \rightarrow K^*(1410)^0 \pi^+$	$0.8 \pm 0.2$	$0.2 \pm 0.3 \pm 0.1$	$3.3 \pm 1.6 \pm 0.5$	3.7

Intermediate process	BF ( $10^{-3}$ )
$D_s^+ \rightarrow K_S^0 \rho^+$	$2.73 \pm 0.42 \pm 0.22$
$D_s^+ \rightarrow K_S^0 \rho(1450)^+$	$1.11 \pm 0.24 \pm 0.24$
$D_s^+ \rightarrow K^*(892)^0 \pi^+$	$0.45 \pm 0.12 \pm 0.05$
$D_s^+ \rightarrow K^*(892)^+ \pi^0$	$0.25 \pm 0.08 \pm 0.02$
$D_s^+ \rightarrow K^*(1410)^0 \pi^+$	$0.18 \pm 0.09 \pm 0.03$

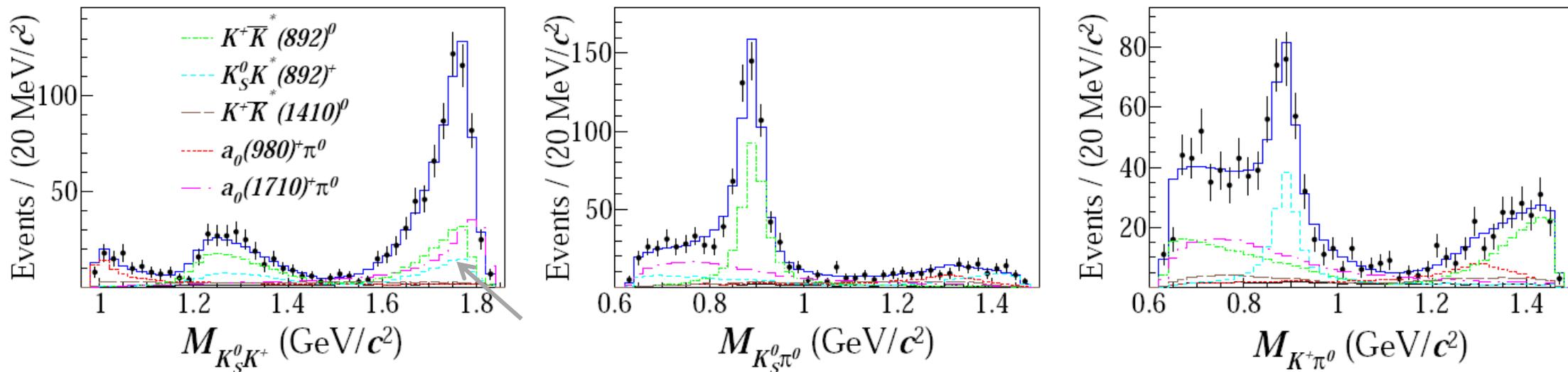
$$\mathbf{B}[D_s^+ \rightarrow K_S \pi^+ \pi^0] = (5.43 \pm 0.30 \pm 0.15) \times 10^{-3}$$

**精度改进约3倍**

# 首次开展 $D_s^+ \rightarrow K_S K^+ \pi^0$ 振幅分析

arXiv:2204.09614, submitted to PRL

抽取到多个  $D_s^+ \rightarrow VP$  末态信息  
改进测量  $D_s^+ \rightarrow K_S \pi^+ \pi^0$  分支比



首次观测到  $a_0(1812)^+$ :  $f_0(1710)$  和  $a_0(1817)$  可能的同位旋对称态

$$M = (1.817 \pm 0.008 \pm 0.020) \text{ GeV}/c^2$$

$$\Gamma = (97 \pm 22 \pm 15) \text{ MeV}$$

Amplitude	Phase (rad)	FF (%)	BF ( $10^{-3}$ )	$\sigma$
$D_s^+ \rightarrow \bar{K}^*(892)^0 K^+$	0.0(fixed)	$32.7 \pm 2.2 \pm 1.9$	$4.77 \pm 0.38 \pm 0.32$	$> 10$
$D_s^+ \rightarrow K^*(892)^+ K_S^0$	$-0.16 \pm 0.12 \pm 0.11$	$13.9 \pm 1.7 \pm 1.3$	$2.03 \pm 0.26 \pm 0.20$	$> 10$
$D_s^+ \rightarrow a_0(980)^+ \pi^0$	$-0.97 \pm 0.27 \pm 0.25$	$7.7 \pm 1.7 \pm 1.8$	$1.12 \pm 0.25 \pm 0.27$	6.7
$D_s^+ \rightarrow \bar{K}^*(1410)^0 K^+$	$0.17 \pm 0.15 \pm 0.08$	$6.0 \pm 1.4 \pm 1.3$	$0.88 \pm 0.21 \pm 0.19$	7.6
$D_s^+ \rightarrow a_0(1710)^+ \pi^0$	$-2.55 \pm 0.21 \pm 0.07$	$23.6 \pm 3.4 \pm 2.0$	$3.44 \pm 0.52 \pm 0.32$	$> 10$

$$\mathbf{B}[D_s^+ \rightarrow K_S K^+ \pi^0] = (1.46 \pm 0.06 \pm 0.05)\%$$

精度改进约2.8倍

# 课题任务五：强子衰变分支比测量

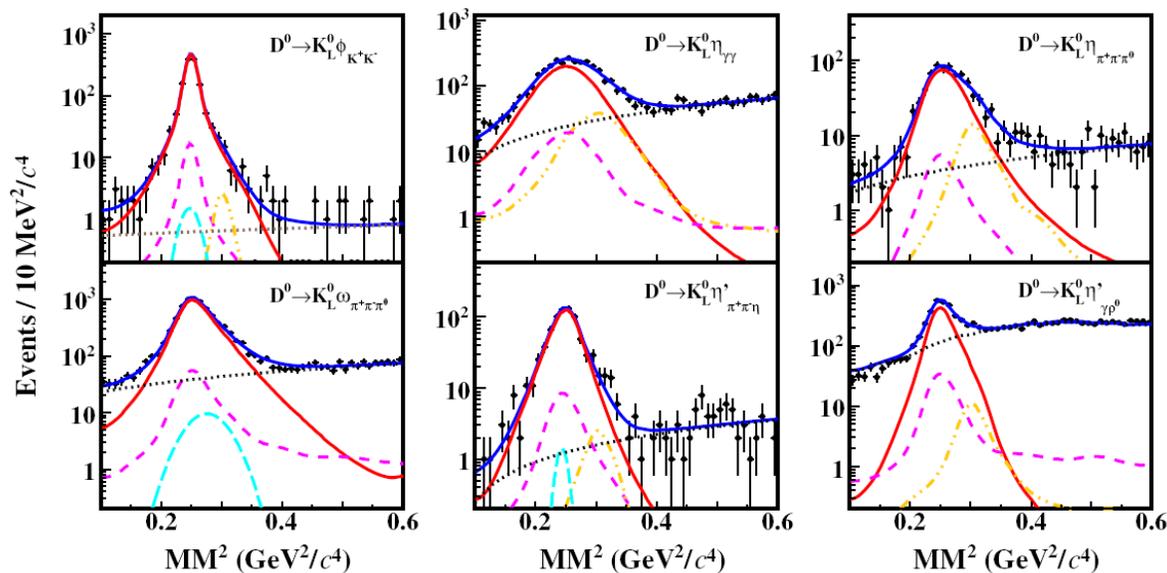
## 研究目标：

- 首次测量  $D^0 \rightarrow K_L^0 \eta$ 、 $K_L^0 \eta'$ 、 $K_L^0 \omega$  和  $K_L^0 \phi$  衰变的绝对分支比
- 精密测量  $D_S^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+$ 、 $D_S^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+ \pi^0$ 、 $D_S^+ \rightarrow K_S^0 K^+$ 、 $D_S^+ \rightarrow K_S^0 K^+ \pi^0$ 、 $D_S^+ \rightarrow K_S^0 K^+ \pi^+ \pi^-$ 、 $D_S^+ \rightarrow K_S^0 K^- \pi^+ \pi^+$ 、 $D_S^+ \rightarrow K_S^0 K_S^0 \pi^+$ 、 $D_S^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$ 、 $D_S^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^-$ 、 $D_S^+ \rightarrow \eta \pi^+$ 、 $D_S^+ \rightarrow \eta \pi^+ \pi^0$ 、 $D_S^+ \rightarrow \eta' \pi^+ \pi^0$ 、 $D_S^+ \rightarrow \eta \pi^+ \pi^+ \pi^-$ 、 $D_S^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^0$  衰变的绝对分支比

**考核指标：完成10项以上分支比测量**

# 首次测量 $D^0 \rightarrow K_L^0 \eta$ 、 $K_L^0 \eta'$ 、 $K_L^0 \omega$ 和 $K_L^0 \phi$ 衰变分支比

PRD104(2022)012003



测量正反中性D介子 $K_L^0 \eta$ 、 $K_L^0 \eta'$ 、 $K_L^0 \omega$ 和 $K_L^0 \phi$ 衰变的不对称性

Decay	$\mathcal{B}_{\text{sig}}^+$ (%)	$\mathcal{B}_{\text{sig}}^-$ (%)	$\mathcal{A}_{CP}^{\text{sig}}$ (%)
$D^0 \rightarrow K_L^0 \phi$	$0.428 \pm 0.029$	$0.405 \pm 0.034$	$2.7 \pm 5.4 \pm 0.7$
$D^0 \rightarrow K_L^0 \eta$	$0.445 \pm 0.018$	$0.421 \pm 0.017$	$2.8 \pm 2.9 \pm 0.4$
$D^0 \rightarrow K_L^0 \omega$	$1.200 \pm 0.030$	$1.121 \pm 0.031$	$3.4 \pm 1.9 \pm 0.6$
$D^0 \rightarrow K_L^0 \eta'$	$0.789 \pm 0.028$	$0.826 \pm 0.028$	$-2.2 \pm 2.5 \pm 0.4$

首次测量绝对分支比

$$\mathcal{R}(D^0, X) = \frac{\mathcal{B}(D^0 \rightarrow K_S^0 X) - \mathcal{B}(D^0 \rightarrow K_L^0 X)}{\mathcal{B}(D^0 \rightarrow K_S^0 X) + \mathcal{B}(D^0 \rightarrow K_L^0 X)}$$

有助于检验理论计算，深入探讨 $D^0$ - $\bar{D}^0$ 混合和CP破坏机制

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

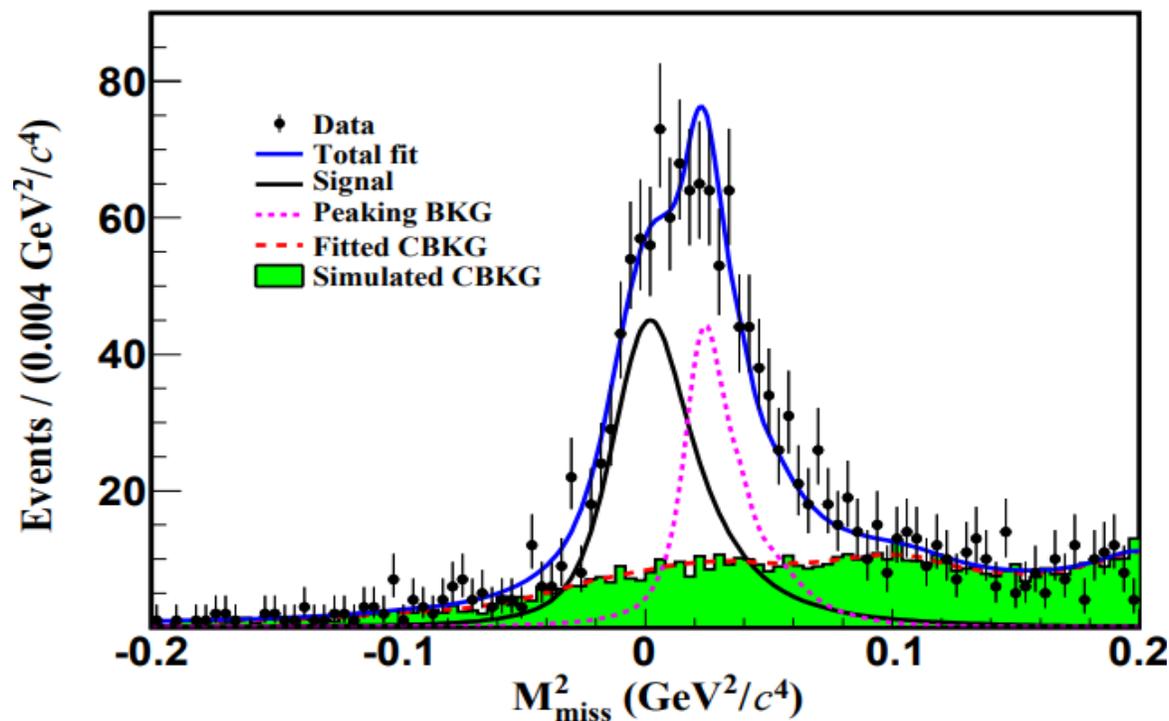
# 课题相关的其他研究

## 契合国际粲介子物理研究热点，拓展研究

- 轻子普适性检验
- 四体强子衰变振幅分析
- 丢失粲介子强子衰变的寻找和绝对分支比测量

# 1. $D^0 \rightarrow \rho^- \mu^+ \nu$ 的首次观测

PRD104(2021)L091103



理论(ISGW1989)预言30多年后, 首次实验确认

$$B[D^0 \rightarrow \rho^- \mu^+ \nu] = (0.135 \pm 0.009 \pm 0.009)\%$$

检验 $\mu$ - $e$ 轻子普适性

$$R_{D\rho} = \frac{\Gamma[D^0 \rightarrow \rho^- \mu^+ \nu]}{\Gamma[D^0 \rightarrow \rho^- e^+ \nu]} = 0.90 \pm 0.11$$

表明现有精度下没有轻子普适性破坏迹象

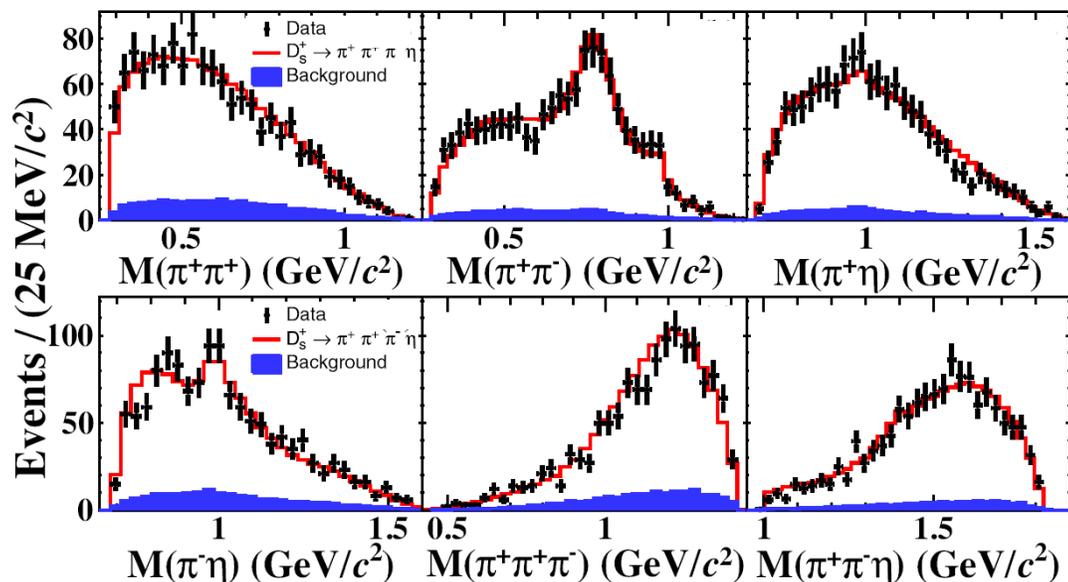
# 2. 四体衰变 $D_s^+ \rightarrow \eta \pi^+ \pi^+ \pi^-$ 振幅分析

PRD104(2021)L071101

首次观测到  $D_s^+ \rightarrow \eta \pi^+ \pi^+ \pi^-$  并测定其绝对分支比

$$B[D_s^+ \rightarrow \eta \pi^+ \pi^+ \pi^-] = (1.73 \pm 0.14 \pm 0.08)\%$$

发展  $D_s^+$  四体强子衰变振幅分析技术, 首次开展  $D_s^+ \rightarrow \eta \pi^+ \pi^+ \pi^-$  振幅分析, 抽取到多个两体衰变信息

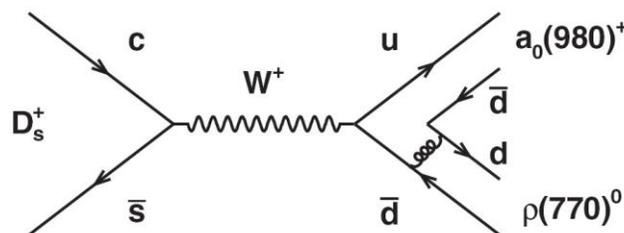


Amplitude	Phase	FF (%)
$a_1(1260)^+(\rho(770)^0 \pi^+) \eta$	0.0 (fixed)	$55.4 \pm 3.9 \pm 2.0$
$a_1(1260)^+(f_0(500) \pi^+) \eta$	$5.0 \pm 0.1 \pm 0.1$	$8.1 \pm 1.9 \pm 2.1$
$a_0(980)^+ \rho(770)^0$	$2.5 \pm 0.1 \pm 0.1$	$6.7 \pm 2.5 \pm 1.5$
$\eta(1405)(a_0(980)^- \pi^+) \pi^+$	$0.2 \pm 0.2 \pm 0.1$	$0.7 \pm 0.2 \pm 0.1$
$\eta(1405)(a_0(980)^+ \pi^-) \pi^+$	$0.2 \pm 0.2 \pm 0.1$	$0.7 \pm 0.2 \pm 0.1$
$f_1(1420)(a_0(980)^- \pi^+) \pi^+$	$4.3 \pm 0.2 \pm 0.4$	$1.9 \pm 0.5 \pm 0.3$
$f_1(1420)(a_0(980)^+ \pi^-) \pi^+$	$4.3 \pm 0.2 \pm 0.4$	$1.7 \pm 0.5 \pm 0.3$
$[a_0(980)^- \pi^+]_S \pi^+$	$0.1 \pm 0.2 \pm 0.2$	$5.1 \pm 1.2 \pm 0.9$
$[a_0(980)^+ \pi^-]_S \pi^+$	$0.1 \pm 0.2 \pm 0.2$	$3.4 \pm 0.8 \pm 0.6$
$[f_0(980) \eta]_S \pi^+$	$1.4 \pm 0.2 \pm 0.3$	$6.2 \pm 1.7 \pm 0.9$
$[f_0(500) \eta]_S \pi^+$	$2.5 \pm 0.2 \pm 0.3$	$12.7 \pm 2.6 \pm 2.0$

发现W湮灭衰变  $D_s^+ \rightarrow a_0^+(980) \rho(770)^-$ , 测定其分支比

$$B[D_s^+ \rightarrow a_0^+(980) \rho(770)^-] \times B[a_0^+(980) \rightarrow \eta \pi^+] = (0.21 \pm 0.08 \pm 0.05)\%$$

高于传统认知的W湮灭衰变分支比一个量级

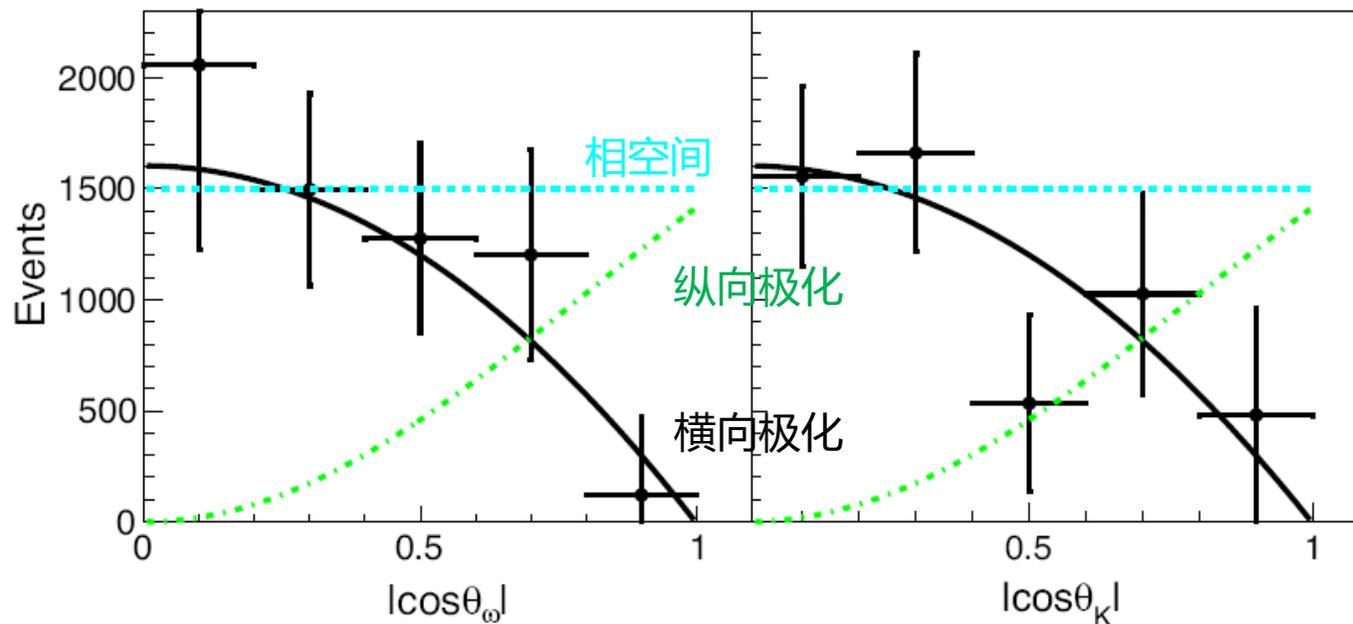
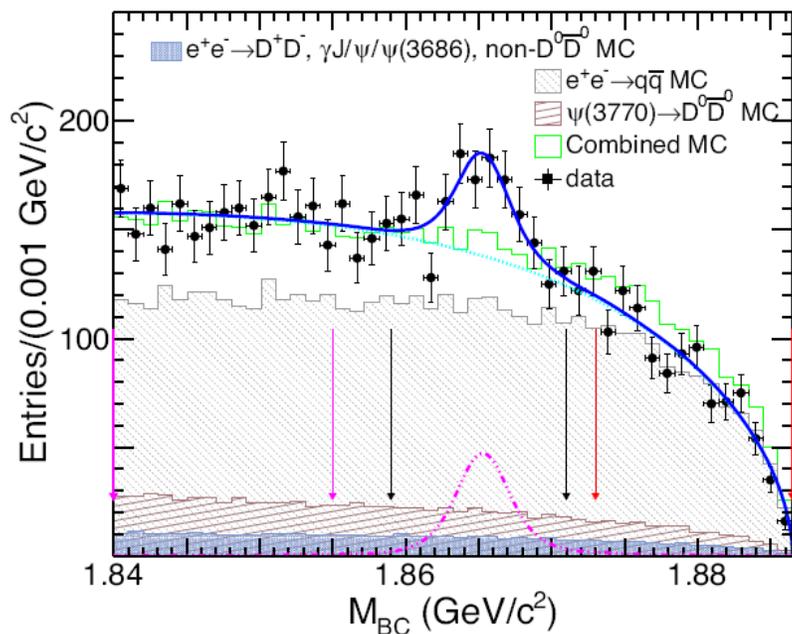


# 3. 发现 $D^0 \rightarrow VV$ 衰变横向极化反常

首次观测到 $D^0 \rightarrow \omega\phi$

发现 $D^0 \rightarrow VV$ 衰变横向极化与理论显著差异

PRL128(2022)011803



$$B[D^0 \rightarrow \omega\phi] = (6.48 \pm 0.96 \pm 0.40) \times 10^{-3}$$

有助于深入探讨 $D^0-\bar{D}^0$ 混合和CP破坏机制

# 4. 其它研究成果

## 半轻衰变

- $D_s^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e$
- $D_s^+ \rightarrow f_0 e^+ \nu_e$
- $D^{0(+)} \rightarrow \bar{K} e^+ \nu_e$
- $D_s^+ \rightarrow a_0(980)^0 e^+ \nu$
- $D^0 \rightarrow b_1(1235)^- e^+ \nu$

arXiv:2206.13870, 已投PRD  
PRD105(2022)L031101  
PRD104(2021)052008  
PRD104(2021)092004  
PRD101(2020)112005

## 强子衰变振幅分析

- $D_s^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \pi^0$
- $D_s^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^-$
- $D_s^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+ \pi^+ \pi^-$
- $D_s^+ \rightarrow \eta' \pi^+ \pi^0$
- $D_s^+ \rightarrow K_S^0 K_S^0 \pi^+$
- $D_s^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^0$
- $D^+ \rightarrow K_S^0 K^+ \pi^0$
- $D_s^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+ \pi^0$
- $D_s^+ \rightarrow K_S^0 K^- \pi^+ \pi^+$
- $D_s^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+$

arXiv:2205.13759, 已投JHEP  
arXiv:2205.08844, JHEP接受  
JHEP07(2022)051  
JHEP04(2022)058  
PRD105(2022)L051103  
JHEP01(2022)052  
PRD104(2021)012006  
PRD104(2021)032011  
PRD103(2021)092006  
PRD104(2021)012016

## 强子衰变绝对分支比

- BFs of  $D^{0(+)} \rightarrow K3\pi$  and  $K4\pi$
- DCS decays  $D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^0$  and  $K^- \pi^+ \pi^0 \pi^0$
- BFs of  $D^{0(+)} \rightarrow K\pi\omega$
- DCS decays  $D^+ \rightarrow K^+ \pi^0 \pi^0$  and  $K^+ \pi^0 \eta$
- DCS decay  $D^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \pi^0$  via *SL method*

PRD106(2022)032002  
PRD105(2022)112001  
PRD105(2022)032009  
arXiv:2110.10999, JHEP接受  
PRD104(2021)072005

# 团队骨干和研究队伍

■ **高能所：**马海龙、董燎原、何康林、赵光、刘朝峰、宫明

■ **科大：**朱莹春、彭海平、Vindy、高道能、Satoshi

■ **博士后：**

单心钰 (2021年5月至今)、  
张言 (2021年10月至今)、  
李贺 (2021年11月至今)、  
李旭红 (2022年6月至今)

■ **研究生：**

年份	姓名	类型	(合作)单位	导师
2017.9-2021.6	戴鑫琛	硕博	高能所	董燎原
2018.9至今	关春懿	硕博	高能所	董燎原
2019.9至今	卢泽辉	硕博	高能所	董燎原
2020.9至今	王家豪	硕博	高能所	董燎原
2020.9至今	奎贤	硕	高能所	董燎原
2021.9至今	李旭	硕	高能所	董燎原
2015.9-2021.4	单心钰	硕博	科大	彭海平
2017.9-2021.6	张言	硕博	科大	朱莹春
2015.9-2021.11	李贺	硕博	科大	彭海平
2016.9-2022.6	李旭红	硕博	科大	彭海平
2016.9-2021.6	师晓东	硕博	科大	彭海平
2017.9至今	石煌超	硕博	科大	彭海平
2018.9至今	刘亮	硕博	科大	彭海平
2019.9至今	高扬	硕博	科大	彭海平
2019.9至今	腾佳秀	硕博	科大	朱莹春
2019.9至今	贾泽坤	硕博	科大	彭海平
2020.9至今	谢智鹏	硕	科大	彭海平

# 交流合作、学生培养情况

## ■ 与多所高校合作，开展了研究生联合培养

年份	姓名	类型	(合作)单位	导师
2021.9至今	李嘉荣	博	清华大学+高能所	陈少敏、董燎原
2020.9至今	李慧	硕博	南开大学+高能所	赵明刚、董燎原
2020.9至今	葛潘婷	硕博	武汉大学+高能所	孙亮、董燎原
2019.9-2022.6	潘祥	博	复旦大学+高能所	罗涛、马海龙
2017.9-2021.6	屈三强	硕博	南开大学+高能所	赵明刚、马海龙
2019.9至今	上官剑锋	硕博	苏州大学+高能所	徐新平、马海龙
2020.9至今	吴潇	硕博	复旦大学+高能所	罗涛、马海龙
2020.9至今	何凯凯	硕博	苏州大学+高能所	徐新平、马海龙
2020.9至今	王腾蛟	硕博	南开大学+高能所	赵明刚、马海龙
2021.1至今	陈超	硕博	苏州大学+高能所	徐新平、马海龙

年份	姓名	类型	(合作)单位	导师
2021.9至今	李振轩	硕	广西大学+高能所	刘宏邦、董燎原
2020.9-2022.6	曾鑫	硕	华中师大+高能所	刘峰、董燎原
2020.9-2022.6	田文辉	硕	山西师大+高能所	柯百谦、董燎原
2020.9-2022.6	张旭颜	硕	苏州大学+高能所	徐新平、马海龙
2019.9-2021.6	苏彭彭	硕	苏州大学+高能所	徐新平、马海龙
2019.9-2021.6	范玉兰	硕	武汉大学+高能所	孙亮、马海龙
2019.9-2021.6	朱晓雨	硕	河南师大+高能所	郝喜庆、董燎原
2019.9-2021.6	杨玲	硕	山西师大+高能所	柯百谦、马海龙
2021.1至今	石勤强	硕	苏州大学+高能所	徐新平、马海龙
2021.9至今	陶璐燕	硕	南华大学+高能所	郑波、马海龙
2021.9至今	张进	硕	郑州大学+高能所	柯百谦、董燎原
2020.10至今	刘良辰	硕	河南工大+高能所	刘珂、马海龙
2021.9至今	谢陈	硕	南京大学+高能所	张雷、马海龙
2022.1至今	牛文迪	硕	苏州大学+高能所	徐新平、马海龙
2022.1至今	吴业昊	硕	苏州大学+高能所	徐新平、马海龙
2022.1至今	万宇	硕	苏州大学+高能所	徐新平、马海龙

# 学术交流

## 广泛参加BESIII合作组内会议:

- 年会: 2020年12月, 2021年7月, 2021年11月, 2022年6月
- 物理与软件研讨会: 2021年3月, 2021年9月, 2022年3月
- 粲物理组周会

## 积极参加国内外相关学术会议:

- 国际会议: CKM2021, Charm2020, QCD2021, PANIC2021, FPCP2021, FPCP2022。线上参加, 项目组承担人员报告8个
- 国内会议: 全国高能物理大会, 重味物理和量子色动力学研讨会, 强子与重味物理理论与实验联合研讨会等...。线上+线下

# 经费支出情况

	总预算 (万元)	支出 (万元)	执行率 (%)
<b>一、经费支出</b>	<b>818.00</b>	<b>488.60</b>	<b>59.7</b>
<b>(一) 直接费用</b>	<b>727.00</b>	<b>417.39</b>	<b>57.4</b>
1、设备费	268.00	267.99	100.0
2、材料费	29.00	3.29	11.3
3、测试化验加工费	73.00	41.03	56.2
4、燃料动力费			
5、差旅/会议/国际合作交流费	65.60	10.83	16.5
6、出版/文献/信息传播/知识产权事务费	6.40	0.00	0.0
7、劳务费	188.00	94.25	50.1
8、专家咨询费	12.00	0.00	0.0
9、其他支出			
<b>(二) 间接费用</b>	<b>91.00</b>	<b>71.30</b>	<b>78.4</b>

# 总结

- **课题既定研究工作进展顺利，已取得多项国际领先的重要物理成果，部分研究任务已达到或超过既定考核指标**
- **积极开展国内外交流、合作，经费执行良好**
- **未来2年，预期有更丰富的粲介子物理成果**

**感谢专家评议!**