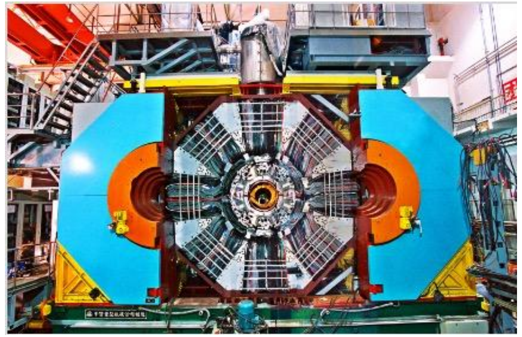


国家重点研发项目《粲强子衰变和标准模型的精确检验 》

课题2: 利用粲强子含轻子衰变精确检验标准模型

汇报人： 郑波
承担单位： 南华大学
合作单位： 高能所、湖南大学

国家重点研发项目“粲强子衰变和标准模型的精确检验“2025年夏季年会，
2025年8月12日-8月16日

报告大纲

- 研究动机
- 研究内容、研究目标以及研究方案
- 已取得研究成果
- 正在开展的研究
- 总结

报告大纲

- **研究动机**
- 研究内容、研究目标以及研究方案
- 已取得研究成果
- 正在开展的研究
- 总结

精确检验CKM矩阵幺正性

CKM矩阵

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$

BESIII+B工厂+LQCD

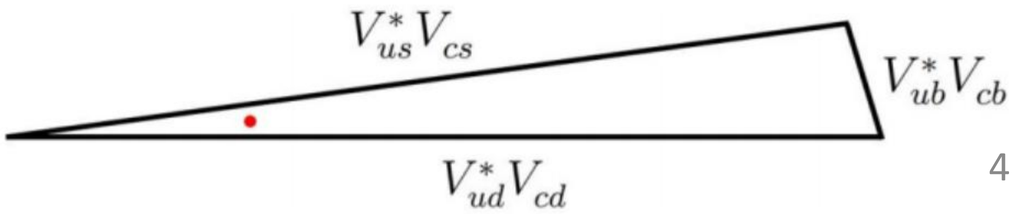
$|V_{ud}| = 0.97367(32)$, $|V_{us}| = 0.22431(85)$, $|V_{ub}| = 0.00382(20)$

$|V_{cd}| = 0.221(4)$, $|V_{cs}| = 0.975(6)$, $|V_{cb}| = 0.0411(12)$

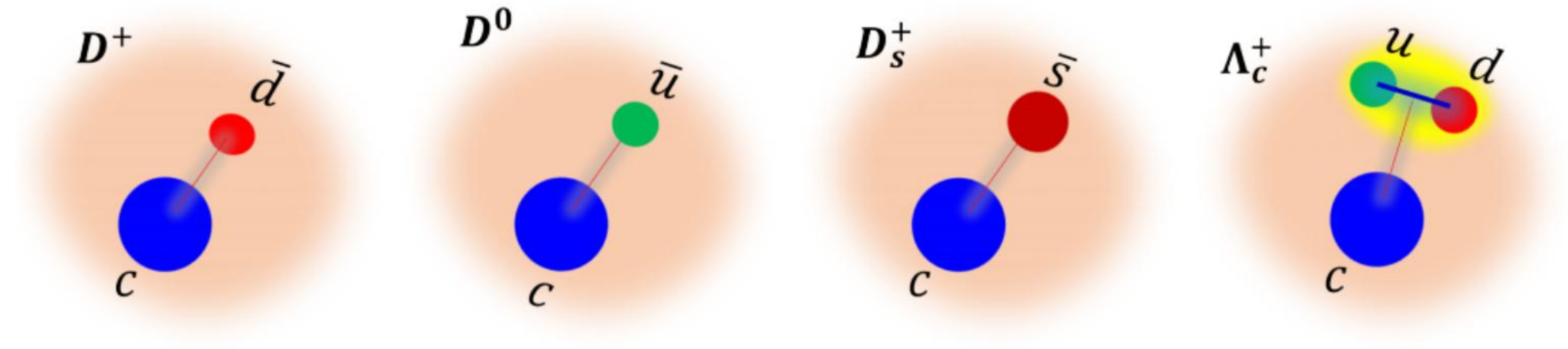
$|V_{td}| = 0.0086(2)$, $|V_{ts}| = 0.0415(9)$, $|V_{cb}| = 1.010(27)$

BESIII测量精度<2%?

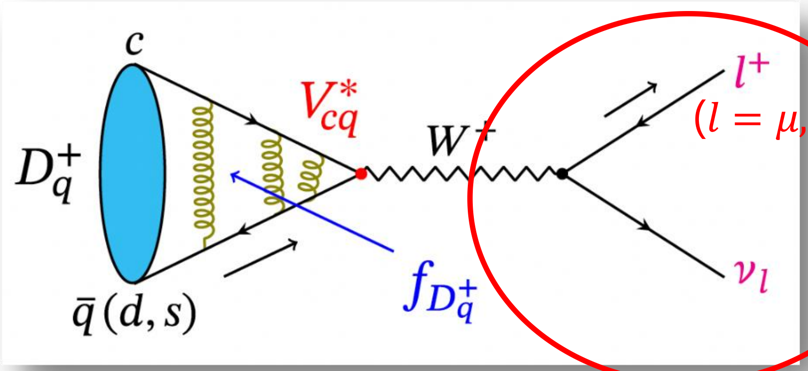
- 精确检验CKM矩阵幺正性是寻找超出标准模型的新物理的重要途径
- 利用c夸克的CKM三角形检验CKM矩阵幺正性：$V_{ud}^*V_{cd} + V_{us}^*V_{cs} + V_{ub}^*V_{cb} = 0$
- 进一步精密测量CKM矩阵元$|V_{cd(s)}|$可以提供重要实验数据



精确检验轻子味普适性



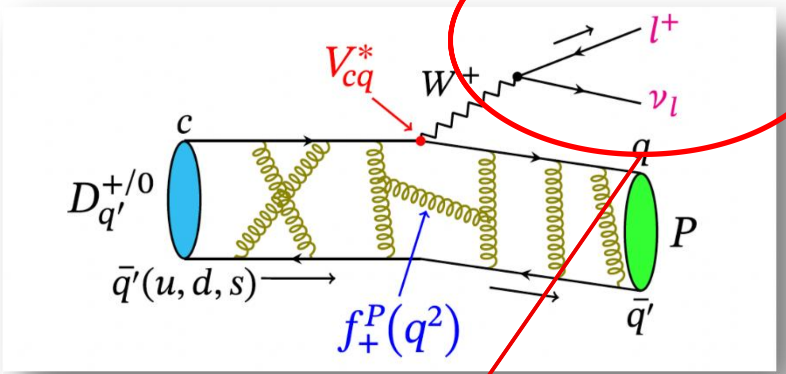
纯轻衰变



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

$$\mathcal{R}_{\tau/\mu} = \frac{\mathcal{B}(D^+ \to \tau^+\nu_\tau)}{\mathcal{B}(D^+ \to \mu^+\nu_\mu)}$$

半轻衰变 $(l = e, \mu)$

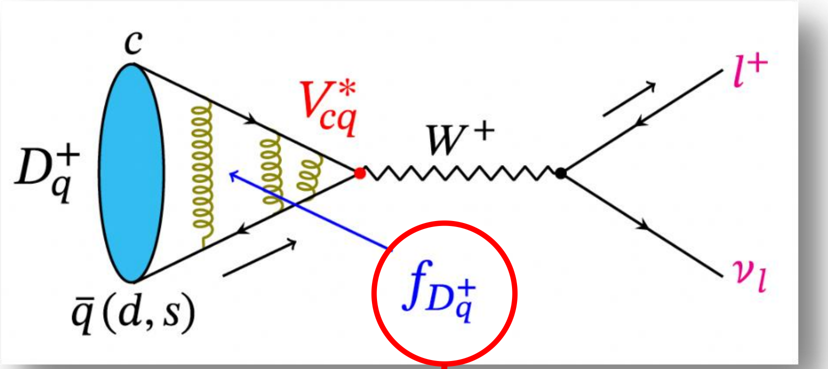


$$\frac{d\Gamma}{dq^2} = x\frac{G_F^2 p^3}{24\pi^3}\left|f_+^P(q^2)\right|^2\left|V_{cd(s)}\right|^2$$

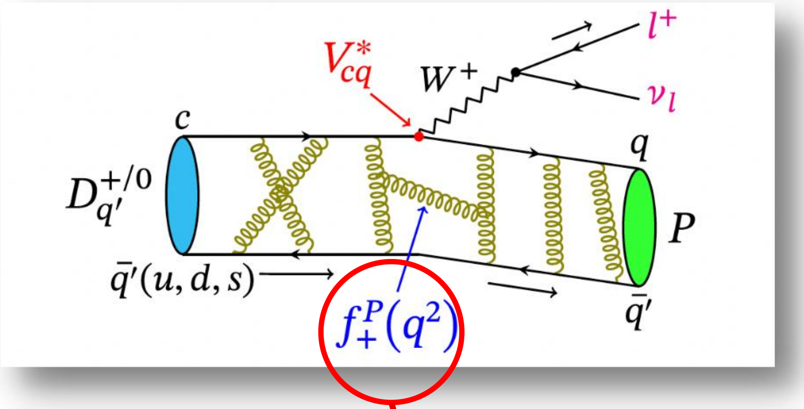
$$\mathcal{R}_{\mu/e} = \frac{\mathcal{B}(D \to X\,\mu^+\nu_\mu)}{\mathcal{B}(D \to X\,e^+\nu_e)}$$

精确检验QCD理论

纯轻衰变



半轻衰变



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

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

衰变常数

形状因子

非微扰能区的格点QCD理论计算

- $D \to \ell^+\nu_\ell$
- $D \to P$(赝标介子)$\ell^+\nu_\ell$
- $D \to V$(矢量介子)$\ell^+\nu_\ell$
- $D \to S$(标量介子)$\ell^+\nu_\ell$
- $D \to A$(轴矢介子)$\ell^+\nu_\ell$
- $\Lambda_c^+ \to B$(超子)$\ell^+\nu_\ell$

理解$f_0(500)$ / $a_0(980)$ / $K_1(1270)$等轻介子的结构与性质

报告大纲

- 研究动机
- **研究内容、研究目标以及研究方案**
- 已取得研究成果
- 正在开展中研究
- 总结

研究内容

绝对分支比；衰变常数和形状因子；$|V_{cd(s)}|$；轻强子结构

- $D^+ \to \ell^+ \nu_\ell (\ell = e,\ \mu, \tau)$
- $D \to P\ell^+\nu_\ell, P$：赝标量介子，如 $K, \pi, \eta^{(\prime)}$
- $D \to V\ell^+\nu_\ell,\ V$：矢量介子，如$\bar{K}^*, \rho, \omega$
- $D \to S\ell^+\nu_\ell, S$：标量介子，如 $f_0(500), f_0(980), a_0(980)$
- $D \to A\ell^+\nu_\ell, A$：轴矢介子，如 $K_1(1270), b_1(1235), a_1, f_1,$
- $\Lambda_c^+ \to B(h)\ell^+\nu_\ell, B$：重子，如 p, n, Σ；h：强子，如 K, π
- 降低系统误差（径迹、PID、产生子……）
- 半轻衰变物理振幅的理论完善，分波分析工具升级……

研究目标

精确检验电弱理论；深入理解强相互作用

- D^+ 介子的纯轻子衰变

  完成 $|V_{cd}|$ 和 f_{D^+} 测量的最好精度优于1.5%

- 粲介子的半轻子衰变

  完成 $\left|V_{cs(d)}\right|$ 和形状因子测量的最好精度优于1.0%

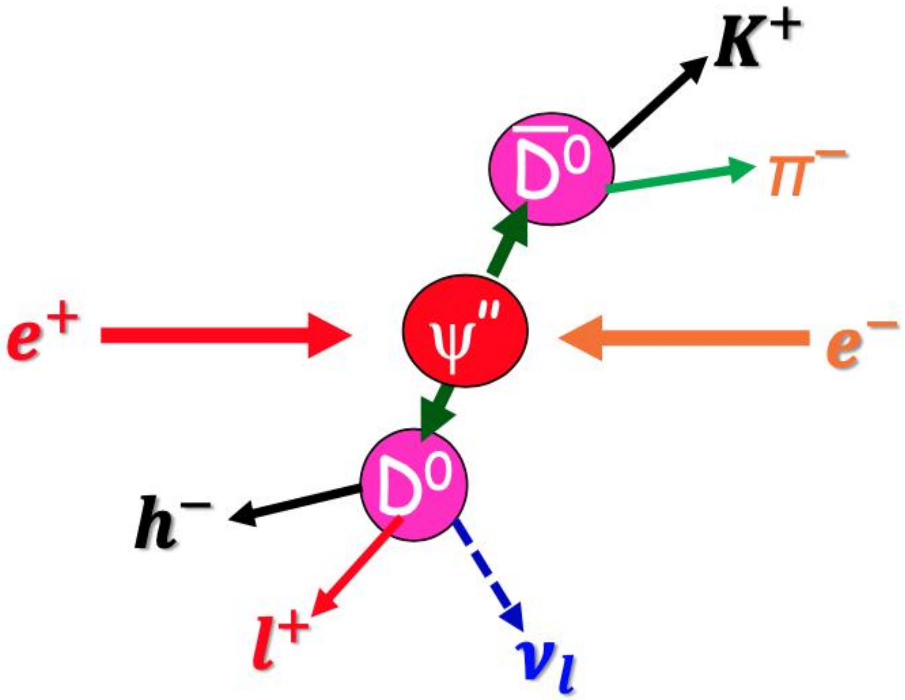
- Λ_c^+ 重子的半轻子衰变

  完成2-3项 Λ_c^+ 的半轻子衰变的分支比或形状因子测量

- 粲介子半轻衰变理论

  完成2-3项粲介子半轻衰变理论工作

研究方案：双标记方法



反冲观测丢失中微子信号

$$U_{miss} = E_{miss} - |\vec{p}_{miss}|$$

$$M^2_{miss} = E^2_{miss} - |\vec{p}_{miss}|^2$$

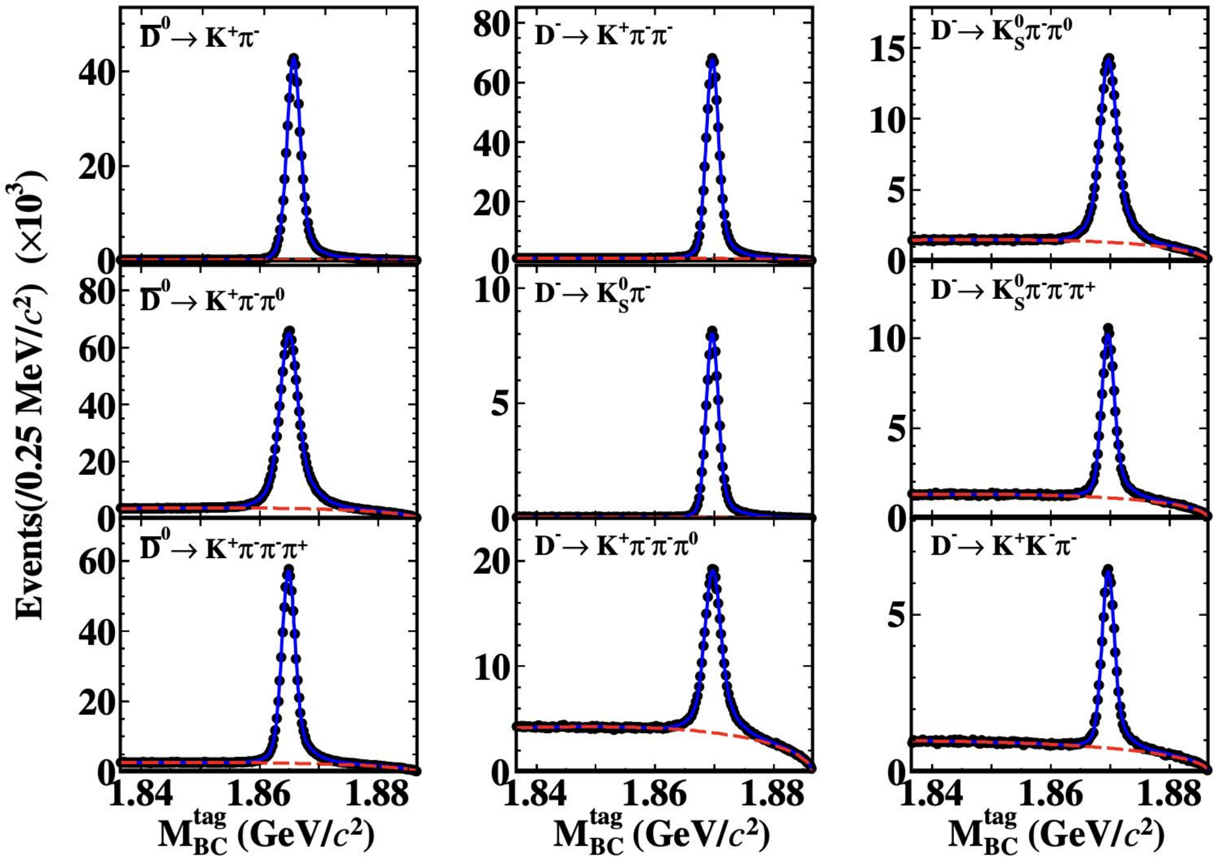
阈值附近采集的数据：

- 3.773GeV
  - 2022年：2.9 fb^{-1} ➔ 7.9 fb^{-1}
  - 2023年：7.9 fb^{-1} ➔ 16 fb^{-1}
  - 2024年：**16 fb^{-1} ➔ 20 fb^{-1}**
- 4.600-4.699GeV: 4.5fb^{-1}
- 采用成熟的**双标记方法**
  - 本底较低
  - 标记侧系统误差抵消
  - 可全重建，物理信息全

研究方案：双标记方法

单标记产额：

- 7.9 fb^{-1}数据@3.773GeV
  - $N_{ST}^{\bar{D}^0} \sim 6.3M$（3个黄金标记道）
  - $N_{ST}^{D^-} \sim 4.1M$（6个黄金标记道）
- 20.3 fb^{-1} 数据@3.773GeV
  - $N_{ST}^{\bar{D}^0} \sim 16.9M$（3个黄金标记道）
  - $N_{ST}^{D^-} \sim 11.0M$（6个黄金标记道）
- 4.5 fb^{-1} 数据@ 4.600-4.699GeV
  - $N_{ST}^{D^-} \sim 0.12M$（14个标记道）



研究方案：振幅分析

➢ 一维微分衰变宽度: $\boldsymbol{P}: K, \pi, \eta^{(\prime)}$

$$\frac{d\Gamma(D \to \boldsymbol{P}\ell^+\nu_\ell)}{dq^2} = \frac{G_F^2|V_{cd(s)}|^2}{24\pi^3} p_{(m_\mu)}^3 |f_+(q^2)|^2$$

➢ 二维微分衰变宽度: $\boldsymbol{S}: a_0(980), f_0(500), f_0(980)$

$$\frac{d^2\Gamma(D \to \boldsymbol{S}\ell^+\nu_\ell)}{dsdq^2} = \frac{G_F^2|V_{cd(s)}|^2}{192\pi^4 m_D^3} p_{(m_\mu)}^3 |f_+(q^2)|^2 P(s)$$

$$P(s) = \begin{cases} \dfrac{g_1\rho_{\pi\pi/\pi\eta}}{|m_0^2 - s - i(g_1\rho_{\pi\pi/\pi\eta} + g_2\rho_{KK})|^2}, & \text{Flatte: } f_0(980)/a_0(980) \\ \dfrac{m_{f_0}\Gamma(s)}{(s - m_{f_0}^2)^2 + m_{f_0}^2\Gamma^2(s)}, & \text{RBW: } f_0(500) \\ \dfrac{m_r\Gamma_{tot}(s)}{(m_r^2 - s - g_1^2\frac{s-s_A}{m_r^2-s_A}z(s))^2 + m_r^2\Gamma_{tot}^2(s)}, & \text{Bugg: } f_0(500) \end{cases}$$

研究方案：振幅分析

$$\Gamma(\boldsymbol{D} \to \boldsymbol{V}(\boldsymbol{S})\ell^{+}\boldsymbol{\nu}_{\ell}) \propto \left|V_{cd(s)}\right|^{2} \mathfrak{I}(A_1(q^2), A_2(q^2), V(q^2), \ldots) dm^2 dq^2 d\cos(\theta_h) d\cos(\theta_\ell) d\chi$$

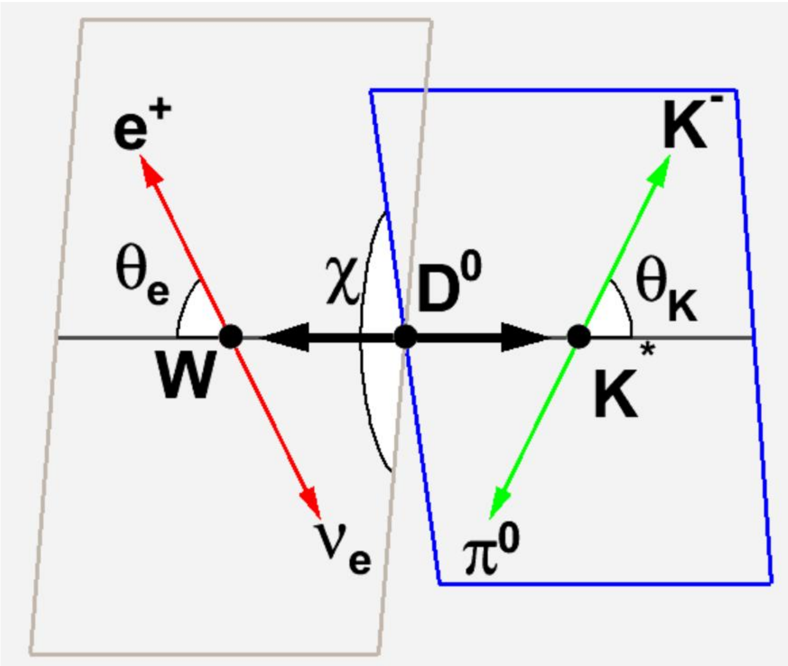
V: ρ, ω, K^*, ϕ
S: $f_0(500), f_0(980)$

物理振幅参考: Phys. Rev. **137**, B438 (1965)
Phys. Rev. D **46**,5040 (1992)

- 衰变强度 $\mathfrak{I}$ 包含了 *S, P, D* 波组分
- 不分bin的最大似然法 (基于RooFit)
- 形状因子参数化 (单极点模型)

$$A_i(q^2) = \frac{A_i(0)}{1 - q^2/M_A^2} \qquad V(q^2) = \frac{V(0)}{1 - q^2/M_V^2}$$

$$r_V = \frac{V(0)}{A_1(0)} \qquad r_2 = \frac{A_2(0)}{A_1(0)}$$



报告大纲

- 研究动机
- 研究内容、研究目标以及研究方案
- **已取得研究成果**
- 正在开展的研究
- 总结

Publication

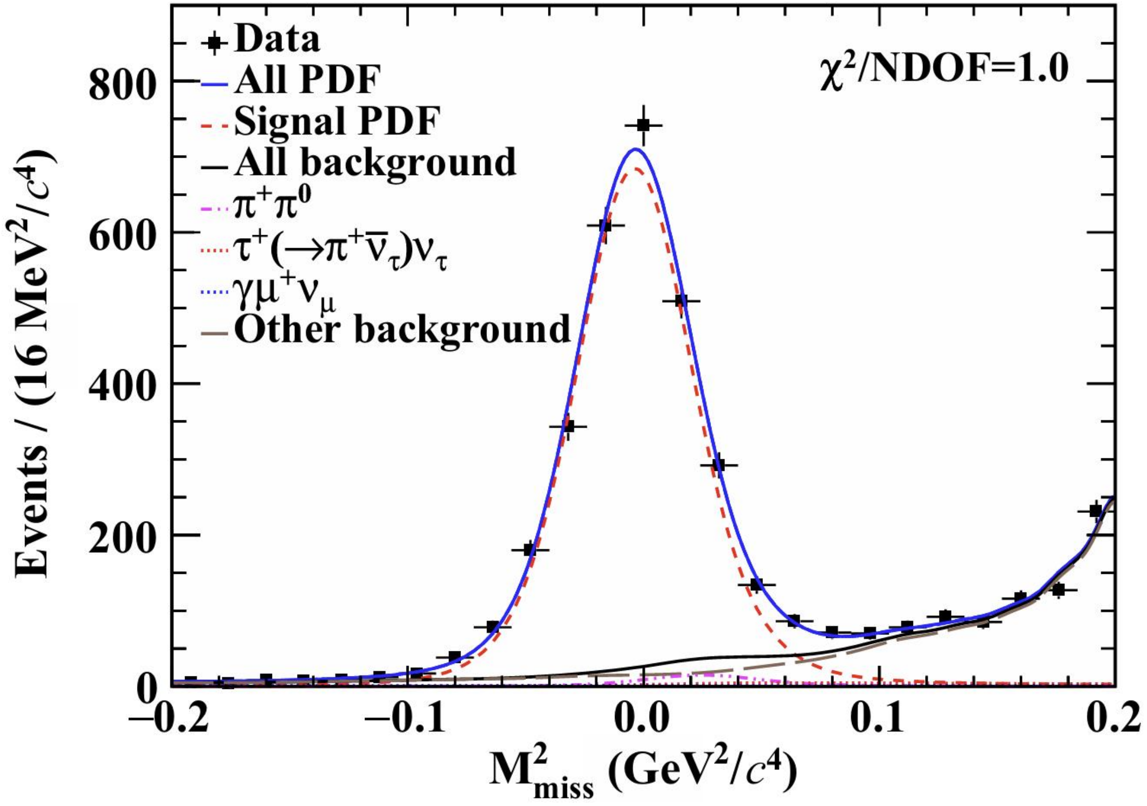
➢Charmed D meson decay f_{D^+}和 $|V_{cd}|$精度达到1.2% 纯轻道项目目标达成！

Topic	Channel	$\mathcal{L}_{\rm int}(\mathrm{fb}^{-1})/\mathrm{E_{cm}(GeV)}$	Reference
$D^+ \to \ell^+\nu_\ell$ 详见柯百谦的报告	$D^+ \to \mu^+\nu_\mu$	20.3 / 3.773	PRL 135, 061801 (2025)
	$D^+ \to \tau^+\nu_\tau$	7.9 /3.773	JHEP01(2025)089
$\boldsymbol{D_s^+ \to \ell^+\nu_\ell}$	$\boldsymbol{D_s^+ \to \ell^+\nu_\ell\ (\ell = \mu,\ \tau)}$	**10.64 /4.237-4.699**	PRD110(2024)052002
$D^{+(0)} \to P\ell^+\nu_\ell$ 详见何凯凯的报告	$D \to \eta'\ell^+\nu_\ell\ (\ell = e\,,\mu)$	20.3 / 3.773	PRL134(2025)111801
	$\boldsymbol{D \to \eta\ell^+\nu_\ell\ (\ell = e\,,\mu)}$	**20.3 / 3.773**	arXiv:2506.02521(Submitted to JHEP)
$D^{+(0)} \to V\ell^+\nu_\ell$ 详见马衡的报告	$D^+ \to \bar{K}^0\pi^0e^+\nu_e$	7.93 / 3.773	JHEP10(2024)199
	$D^0 \to \bar{K}^0\pi^-e^+\nu_e$		JHEP03(2025)197
	$D^0 \to \pi^0\pi^-e^+\nu_e$		PRD 110(2024)112018
	$\boldsymbol{D^+ \to \bar{K}^0\pi^0\ell^+\nu_\ell\ (\ell = e\,,\mu)}$	**20.3 / 3.773**	arXiv:2506.05761(Submitted to PRL)
	$D^0 \to K_S^0\pi^-\mu^+\nu_\mu$	20.3 / 3.773	arXiv:2504.10867(Submitted to PRL)
$D^{+(0)} \to S\ell^+\nu_\ell$	$D^+ \to f_0(500)\ell^+\nu_\ell\ (\ell = e\,,\mu)$	2.93 / 3.773	PRD 110(2024)092008
	$D^0 \to a_0(980)e^+\nu_e$	7.93 / 3.773	PRD111(2025)L091501
$D^{+(0)} \to A\ell^+\nu_\ell$ 详见吴潇的报告	$D \to b_1(1235)e^+\nu_e$	7.93 / 3.773	arXiv:2407.20551(Submitted to PRL)
	$D \to K_1(1270)\mu^+\nu_\mu$	7.93 / 3.773	PRD111(2025)L071101
	$D \to K_1(1270)e^+\nu_e$	20.3 / 3.773	arXiv:2503.02196(Accepted by PRL)

Precision measurement of the branching fraction $D^+ \to \mu^+\nu_\mu$

- 20.3 fb^{-1} @3.773 GeV

PRL 135, 061801 (2025)



$$\Gamma_{D^+\to\ell^+\nu_\ell} = \Gamma^0_{D^+\to\ell^+\nu_\ell}\left[1+\frac{\alpha}{\pi}C_p\right]$$

Radiative correction term

1. Short-distance electroweak correction increases BF by 1.8%[PRD98, 074512,NPB196,83]
2. Long-distance electroweak correction [inner bremsstrahlung and virtual photon] reduce BF by 2.5% with 0.6% uncertainty of unknown electromagnetic correction [PRD98,074512]

- $N_{sig} = 2833 \pm 57$
- $\mathcal{B}(D^+ \to \mu^+\nu_\mu) = (4.034 \pm 0.080 \pm 0.040) \times 10^{-4}$

The precision is **improved by a factor of 2.3** compared to the previous best measurement

$f_{D^+} \to (213.5 \pm 2.1 \pm 1.1 \pm 0.8 \pm 0.7)$ MeV(~1.2%)

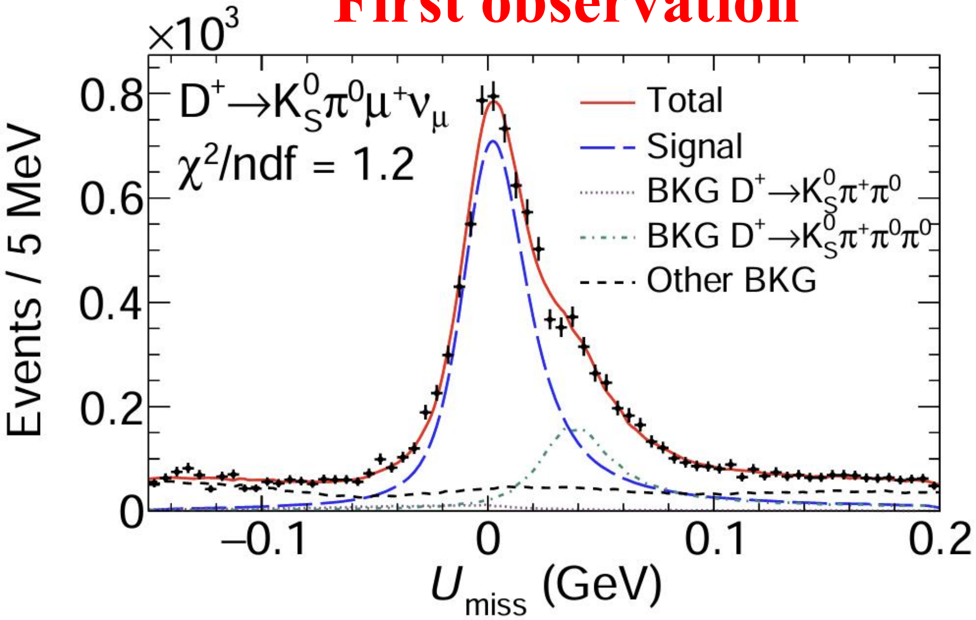
$|V_{cd}| = (0.2265 \pm 0.0023 \pm\pm 0.0011 \pm 0.0009 \pm 0.0007)$

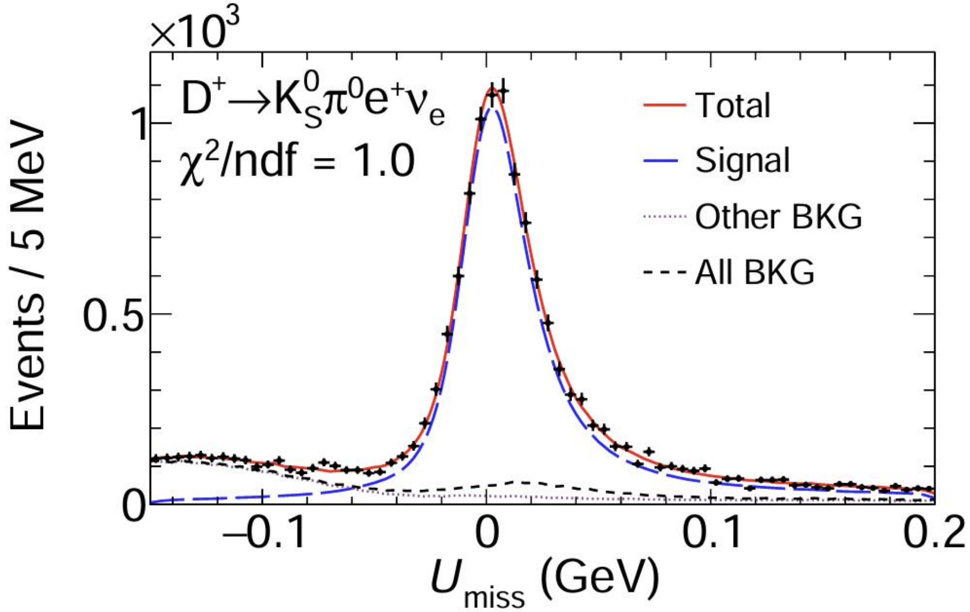
$D^+ \to \bar{K}^*(892)^0 \ell^+ \nu_\ell$

- Data: 20.3 fb^{-1} @3.773 GeV, Double-tag method

arXiv:2506.05761(Submitted to PRL)

First observation





- Signal shape: MC simulation ⊗ Gaussian
- BKG $D^+ \to K^0_S \pi^+ \pi^0$(fixed)
- Other BKG(Floated)

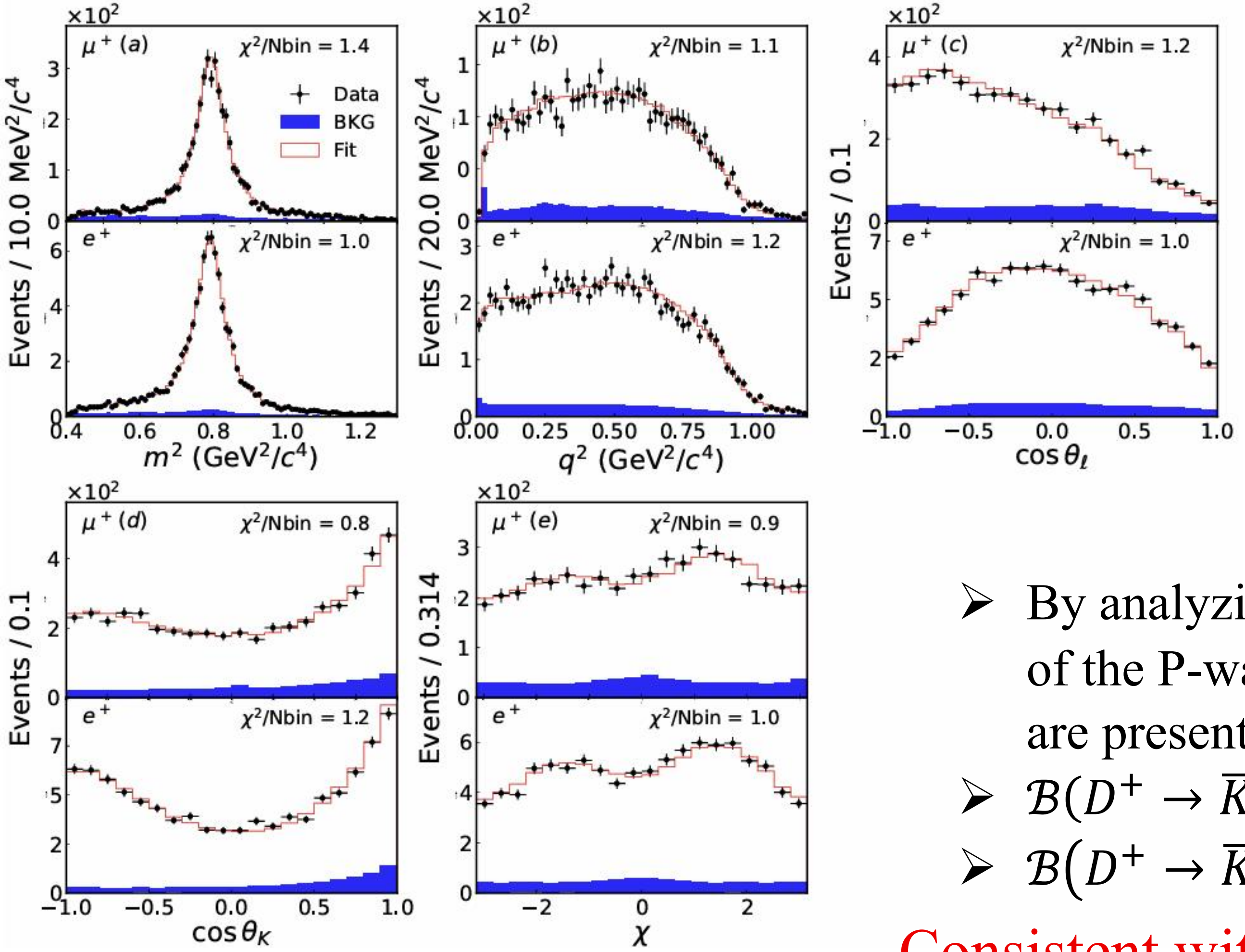
- Signal shape: MC simulation ⊗ Gaussian
- Other BKG(fixed): $D^+ \to K^0_S \pi^+ \pi^0$, $D^+ \to K^0_S \pi^0 \mu^+ \nu_\mu$ and $D^0 \to K^0_S \pi^- e^+ \nu_e$
- All BKG (Floated)

Channel	N_{DT}	$\bar{\epsilon}_{sig}$ (%)	$\mathcal{B}_{sig}$ (%)
μ^+	6767 ± 126	10.44 ± 0.04	$0.896 \pm 0.017 \pm 0.008$
e^+	11095 ± 137	17.09 ± 0.05	$0.943 \pm 0.012 \pm 0.010$

$D^+ \to \bar{K}^*(892)^0 \ell^+ \nu_\ell$

- Hadronic form factors

The projections of the nominal fit result.



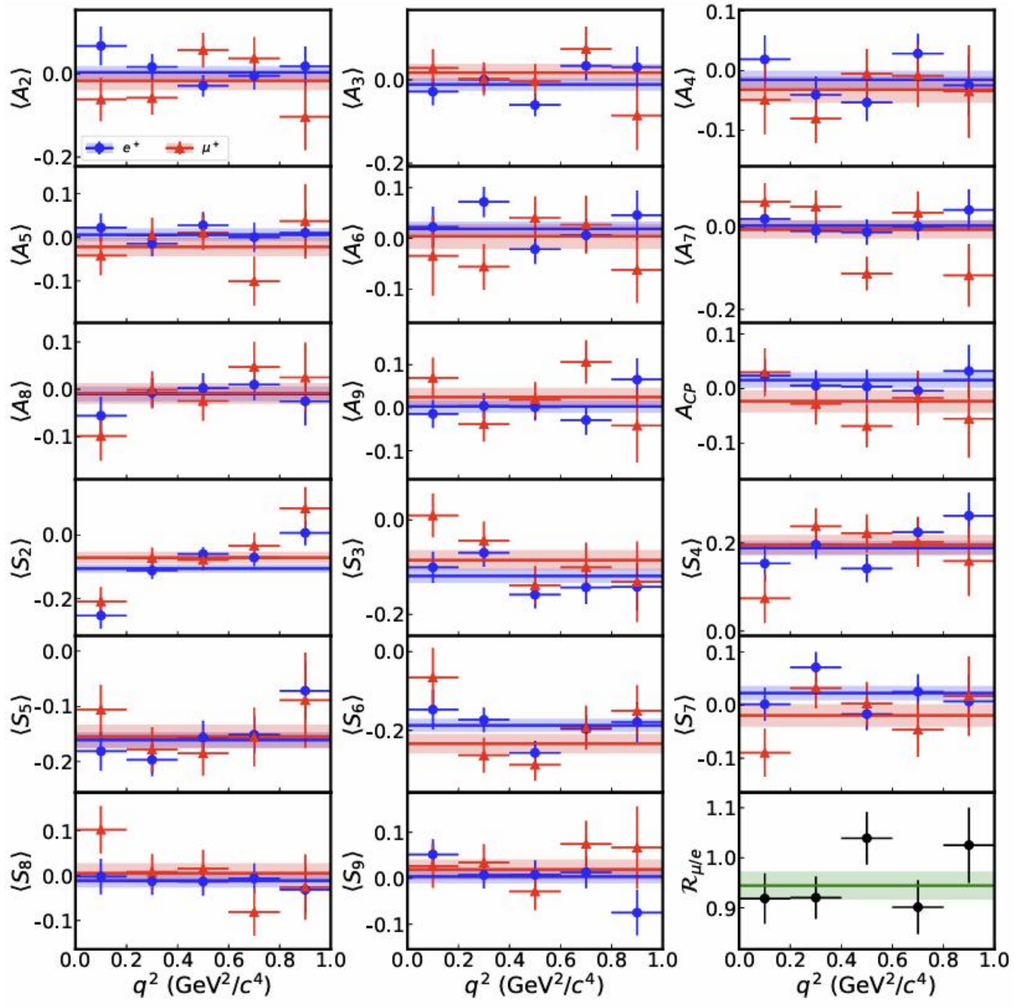
Variable	$D^+ \to K_S^0\pi^0 e^+\nu_e$	$D^+ \to K_S^0\pi^0\mu^+\nu_\mu$
$m_{\bar{K}^{*0}}$ (MeV/c^2)	894.76 ± 0.29	
$\Gamma_{\bar{K}^{*0}}$ (MeV/c^2)	$45.24 \pm 0.62 \pm 0.45$	
r_V	$1.42 \pm 0.03 \pm 0.02$	
r_2	$0.75 \pm 0.03 \pm 0.01$	
$a_{S,\mathrm{BG}}^{1/2}$ (GeV/c)$^{-1}$	$2.32 \pm 0.11 \pm 0.25$	$1.47 \pm 0.25 \pm 0.22$
r_S (GeV)$^{-1}$	$-8.44 \pm 0.13 \pm 0.37$	$-9.59 \pm 0.46 \pm 0.58$
$f_{S\text{-wave}}$	$6.39 \pm 0.17 \pm 0.14$	$7.10 \pm 0.68 \pm 0.41$
$f_{\bar{K}^{*0}}$	$93.50 \pm 0.18 \pm 0.28$	$92.81 \pm 0.67 \pm 0.47$

- By analyzing the $D^+ \to K_S^0\pi^0\ell^+\nu_\ell$ decay dynamics, the fraction of the P-wave component and hadronic FF ratios of $D^+ \to \bar{K}^{*0}$ are presented.
- $\mathcal{B}(D^+ \to \bar{K}^{*0} e^+\nu_e) = (5.29 \pm 0.07_{\mathrm{stat}} \pm 0.06_{\mathrm{sys}})\%$
- $\mathcal{B}(D^+ \to \bar{K}^{*0} \mu^+\nu_\mu) = (4.99 \pm 0.10_{\mathrm{stat}} \pm 0.05_{\mathrm{sys}})\%$

Consistent with PDG values with comparable precision.

$D^+ \to \bar{K}^*(892)^0 \ell^+ \nu_\ell$

- Angular and CP asymmetries

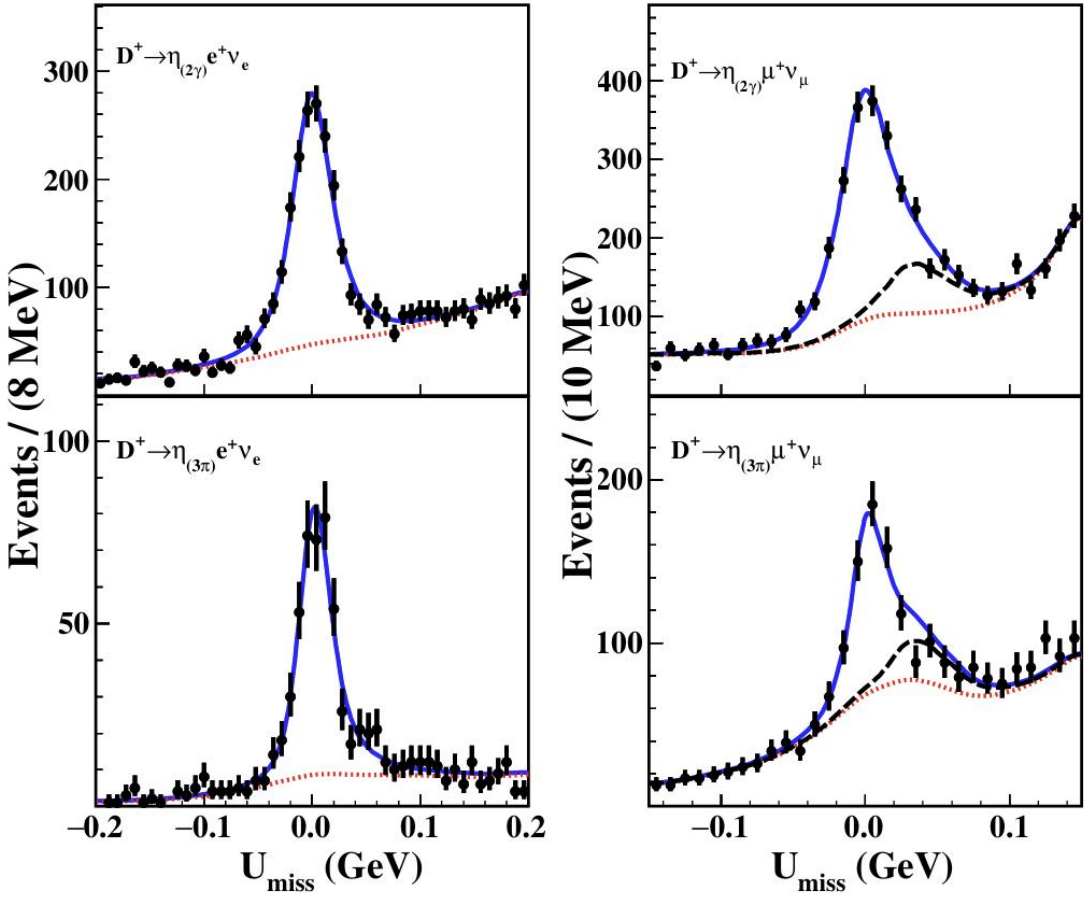


- LFV can be test via integrated and q^2-binned $R_{\mu/e}$;
- LFV can be test via A_{CP} and full set of angular observables $\langle A_i \rangle$ and $\langle S_i \rangle$;
- In SM model, all $\langle A_i \rangle$ and A_{CP} and $\langle S_{6,7,8} \rangle$ are zero;
- The **first measurement of full set of CP asymmetries and averaged angular observables** with A_{CP} in the decay $D^+ \to \bar{K}^{*0} \ell^+ \nu_\ell$ via $\bar{K}^{*0} \to K_S^0 \pi^0$ in reported;
- All measured null-test observables A_{CP}, $\langle S_{7-9} \rangle$ and $\langle A_{2-9} \rangle$ are **in agreement with the SM predictions** , with largest deviation being 1.7σ.

Improved measurements of $D^+ \to \eta\ell^+\nu_\ell(\ell=e,\mu)$

- Data: 20.3 fb^{-1}@3.773 GeV

arXiv: 2506.02521(Submitted to JHEP)



Decay	$N_{\rm sig}$	$\bar{\epsilon}_{\rm sig}$ (%)	$\mathcal{B}_{\rm sig}$ (10^{-4})
$D^+ \to \eta_{(2\gamma)}e^+\nu_e$	1567 ± 119	39.51 ± 0.07	$9.75 \pm 0.29 \pm 0.28$
$D^+ \to \eta_{(3\pi)}e^+\nu_e$	426 ± 57	18.76 ± 0.06	
$D^+ \to \eta_{(2\gamma)}\mu^+\nu_\mu$	1375 ± 136	36.52 ± 0.07	$9.08 \pm 0.35 \pm 0.29$
$D^+ \to \eta_{(3\pi)}\mu^+\nu_\mu$	400 ± 69	18.60 ± 0.06	

Both of which improve over the previous best measurements by more than two fold in precision.

- Combining the BFs of semielectronic and semimuonic decays, can obtain the ratio

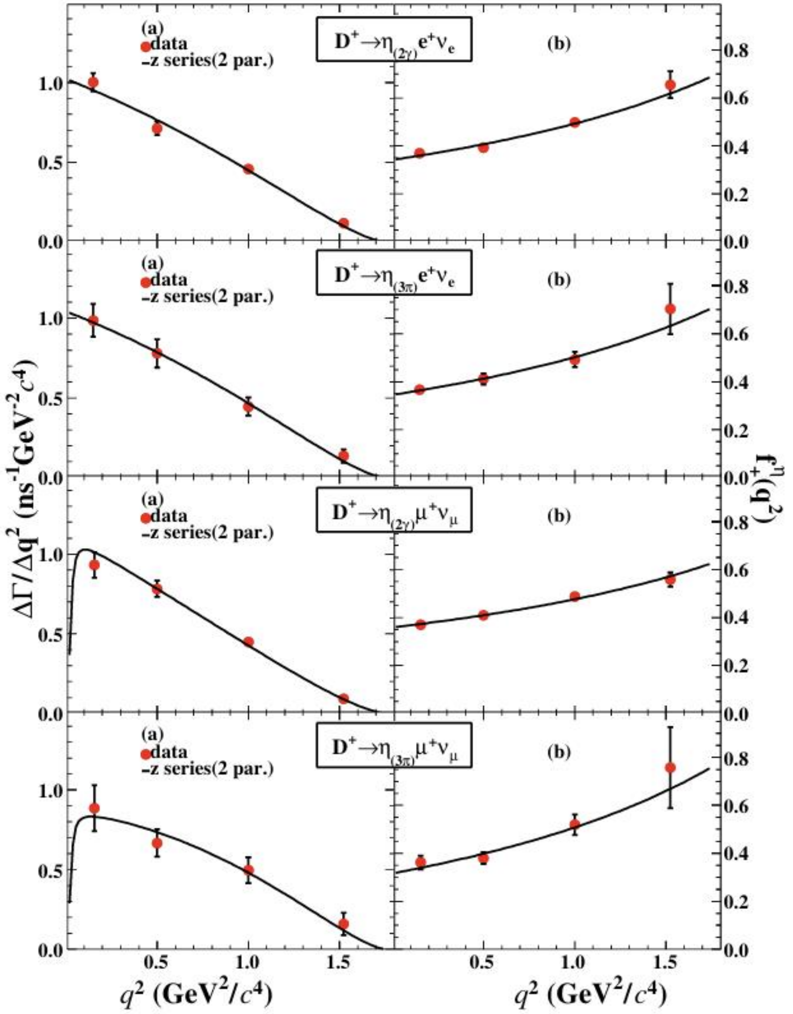
$$\frac{\mathcal{B}(D^+\to\eta\mu^+\nu_\mu)}{\mathcal{B}(D^+\to\eta e^+\nu_e)} = 0.93 \pm 0.05 \pm 0.02$$

Well consistent with theoretical calculation, thereby implying no violation of lepton universality under the current statistics

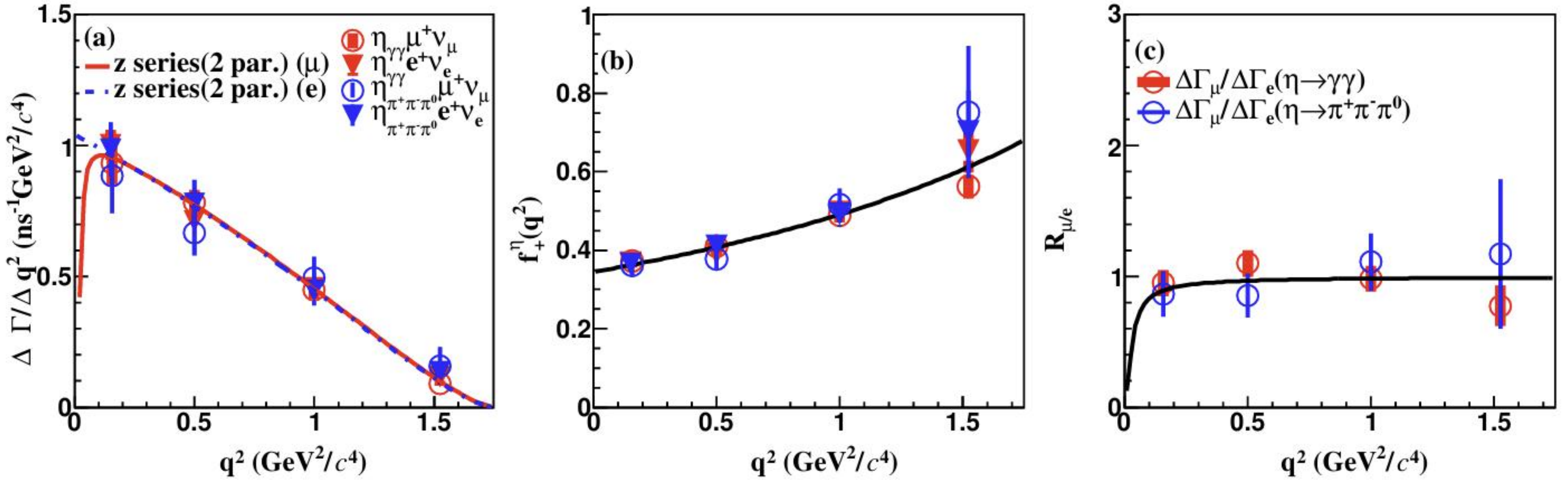
Improved measurements of $D^+ \to \eta\ell^+\nu_\ell(\ell=e,\mu)$

- Hadronic transition form factors

Separate fits to the partial decay rates



Simultaneous fit



Case	Decay	χ^2/NDF	r_1	$f_+^\eta(0)\lvert V_{cd}\rvert$	ρ	$f_+^\eta(0)$
Separate fit	$\eta_{(2\gamma)}e^+\nu_e$	$2.6/2$	$-3.1\pm0.9\pm0.1$	$0.077\pm0.002\pm0.001$	0.780	$0.341\pm0.011\pm0.005$
	$\eta_{(3\pi)}e^+\nu_e$	$0.5/2$	$-3.3\pm1.7\pm0.3$	$0.078\pm0.004\pm0.001$	0.816	$0.345\pm0.020\pm0.006$
	$\eta_{(2\gamma)}\mu^+\nu_\mu$	$0.5/2$	$-1.5\pm0.9\pm0.3$	$0.081\pm0.003\pm0.001$	0.816	$0.359\pm0.013\pm0.006$
	$\eta_{(3\pi)}\mu^+\nu_\mu$	$1.3/2$	$-5.0\pm2.5\pm0.4$	$0.071\pm0.007\pm0.001$	0.897	$0.316\pm0.030\pm0.006$
Simultaneous fit	$\eta\ell\nu_\ell$	$6.2/14$	$-2.9\pm0.7\pm0.1$	$0.078\pm0.002\pm0.001$	0.813	$0.345\pm0.008\pm0.003$

$f_\eta^+(0)$ is consistent with the previous measurements, and the precision is improved by a factor of 3.4 over the previous best one.

理论研究进展

T. Shen, Y. Chen, M. Gong, et al. **Form factors in semileptonic decay of D mesons.** (PoS LATTICE2024 (2025),294)

基于格点QCD方法，计算 $D \to K$半轻子衰变中的矢量(f_+)、标量(f_0)和张量(f_T)形状因子，使用RBC-UKQCD合作组提供的2+1味配置和改进的 z-展开进行拟合，在物理价夸克质量点得到初步结果$f_+(0) = f_0(0) = 0.760(39)$、$f_T(0) = 0.733(50)$，其中$f_T$的结果在$\overline{\mathrm{MS}}$方案下于2GeV尺度给出。

S. Cheng, and S. L. Zhang. **$D_s \to f_0(980)$ form factors and the $D_s^+ \to (f_0(980) \to)[\pi\pi]_S^{I=0} e^+\nu_e$decay from light-cone sum rules.** (Phys.Rev.D 111 (2025) 11, 113005)

基于光锥求和规则方法，重新分析$D_s \to f_0(980)$的形状因子，重点考虑了 $f_0(980)$ 的 $q\bar{q}$构型。研究动因是 BESIII 最近测得的 $D_s^+ \to [\pi\pi]_S^{I=0} e^+\nu_e$衰变宽度。发现在窄宽度近似下的微分衰变宽度低于实验数据，而使用 Flatté 共振模型所获得的结果与实验更一致，表明 f_0可能在 $\bar{s}s$态与$\bar{u}u + \bar{d}d$态之间有20° 的混合。为获得模型无关的预测，建议利用同位旋标量双π系统的光锥分布振幅来计算 $D_s \to [\pi\pi]_S^{I=0}$的形状因子。

W. Lin, X. E. Huang, S. Cheng, and D. L. Yao. **Semileptonic decays of $D \to \rho\ell\nu_\ell$ and $D_{(s)} \to K^*\ell^+\nu$ from light-cones sum rules. (Phys.Rev.D 111 (2025) 11, 113005)**

基于光锥求和规则方法，研究了 D介子衰变为 ρ介子和 K介子的形式因子。研究了粲介子到轻矢量介子的半轻子衰变过程。文中给出了多个衰变过程（如 $D^+ \to \rho^0\ell^+\nu_\ell, D_s^{*0} \to K^{*0}\ell^+\nu_\ell$ 等）的分支比，并发现与实验结果存在10%–20%的差异，指出共振宽度和非共振QCD背景效应可能具有重要影响，未来应进一步纳入以提高精度。

TABLE VI. Branching ratios of the semileptonic charm decays $D_{(s)} \to Vl^+\nu_l$ (in unit of 10^{-3}).

	$D^+ \to \rho^0\ell^+\nu_\ell$	$D_s^+ \to K^{*0}\ell^+\nu_\ell$	$D^0 \to K^{*-}\ell^+\nu_\ell$	$D^+ \to \bar{K}^{*0}\ell^+\nu_\ell$
This work	$2.30^{+0.32}_{-0.25}$	$1.55^{+0.30}_{-0.20}$	$17.6^{+2.4}_{-1.9}$	$45.2^{+6.2}_{-5.0}$
	$2.20^{+0.30}_{-0.23}$	$1.48^{+0.29}_{-0.19}$	$16.6^{+2.2}_{-1.8}$	$42.7^{+5.7}_{-4.5}$
LCSR2006 [21]	$2.29^{+0.23}_{-0.16}$	$2.33^{+0.29}_{-0.30}$	21.2 ± 0.9	$53.7^{+2.4}_{-2.3}$
	$2.20^{+0.21}_{-0.16}$	$2.24^{+0.27}_{-0.29}$	20.1 ± 0.9	$51.0^{+2.3}_{-2.1}$
CLFQM [51]	2.32	1.90	...	73.2
	2.22	1.82		69.3
HChPT [32]	2.50	2.20	22.0	56.0
PDG [2]	1.90 ± 0.10	2.15 ± 0.28	21.5 ± 1.60	54.0 ± 1.00
	2.40 ± 0.40	...	18.9 ± 2.40	52.7 ± 1.50

报告大纲

- 研究动机
- 研究内容、研究目标以及研究方案
- 已取得研究成果
- **正在开展的研究**
- 总结

正在开展的研究(I)

Topic	Channel	$\mathcal{L}_{\rm int}(\rm fb^{-1})$ /$\rm E_{cm}(GeV)$	status
$D^{+(0)} \to P\ell^+\nu_\ell$	$D^{+(0)} \to \bar{K}\ell^+\nu_\ell$	20.3/3.773	BAM-00931, Draft review
	$D^{+(0)} \to \pi\ell^+\nu_\ell$		BAM-00804, Memo review
$D^{+(0)} \to V\ell^+\nu_\ell$	$D^0 \to K^-\pi^0 e^+\nu_e$		BAM-00829, CWR release
	$D^+ \to K^-\pi^+ e^+\nu_e$		BAM-00962, Memo review
	$D^0 \to K_S\pi^-\ell^+\nu_\ell$		BAM-00973, CWR release
	$D^+ \to K^-\pi^+\mu^+\nu_\mu$		BESIII Collaboration Meeting in Winter of 2024
$D^{+(0)} \to S\ell^+\nu_\ell$	$D^0 \to a_0(980)^-(\eta\pi^-)e^+\nu_e$		Physics and Software Workshop in Autumn of 2024
	$D^+ \to a_0(980)^0(\eta\pi^0)e^+\nu_e$		Charm Group report
	$D^{+(0)} \to a_0(980)(\eta\pi)\mu^+\nu_\mu$		Charm Group report
	$D \to a_0(980)(K\bar{K})e^+\nu_e$		Charm Group report

正在开展的研究(II)

Topic	Channel	$\mathcal{L}_{\text{int}}(\text{fb}^{-1})$ /$\text{E}_{\text{cm}}(\text{GeV})$	status
$D^{+(0)} \to S\ell^+\nu_\ell$	$D^+ \to f_0(500)(\pi^+\pi^-)e^+\nu_e$	20.3/3.773	Charm group review
	$D^+ \to f_0(500)(\pi^+\pi^-)\mu^+\nu_\mu$		Charm Group report
	$D^+ \to f_0(980)(\pi^+\pi^-)e^+\nu_e$		Charm group review
	$D^+ \to f_0(980)(\pi^+\pi^-)\mu^+\nu_\mu$		Charm Group report
$D^{+(0)} \to A\ell^+\nu_\ell$	$D \to K_1(1270)\mu^+\nu_\mu$		BESIII Physics and Software Workshop in Spring of 2025
	$D \to K_1(1270)(\to K\omega)\mu^+\nu_\mu$		BAM-00942, CWR release
	$D \to b_1(1235)\ell^+\nu_\ell$		BESIII Collaboration Meeting in Winter of 2024
	$D \to f_1(1420)\ell^+\nu_\ell$		Charm group review

正在开展的研究(III)

topic	$\mathcal{L}_{\mathrm{int}}(\mathrm{fb}^{-1})/\mathrm{E}_{\mathrm{cm}}(\mathrm{GeV})$	status
$\Lambda_c^+ \to \Sigma^{\pm}\pi^{\mp}e^+\nu_e$	4.5 /4.6 -4.7	**BAM-00589, BESIII PubComm review**
$\Lambda_c^+ \to p\pi^- e^+\nu_e$		**BAM-00736, Memo Review**
$\Lambda_c^+ \to nK_S^0 e^+\nu_e$		Charm Group report
$\Lambda_c^+ \to \Lambda(1405/1520)[\to pK^-]e^+\nu_e$		BESIII Collaboration Meeting July 9, 2025

- 研究动机
- 研究内容、研究目标以及研究方案
- 已取得研究成果
- 正在开展的研究
- **总结**

总结

- D^+ 介子的纯轻子衰变：完成 $|V_{cd}|$ 和 f_{D^+} 测量的最好精度优于1.5%　（已完成）
- 粲介子的半轻子衰变： 完成 $|V_{cs(d)}|$ 和形状因子测量的最好精度优于1.0%，发表论文10篇及以上

  （正在开展，已发表8篇论文，正在投稿4篇论文）

- Λ_c^+ 重子的半轻子衰变：2-3项 Λ_c^+ 的半轻子衰变的分支比或形状因子测量（正在开展4项测量）

topic	$\mathcal{L}_{\rm int}(\rm fb^{-1})/E_{cm}(GeV)$	status
$\boldsymbol{\Lambda_c^+ \to \Sigma^{\pm}\pi^{\mp}e^+\nu_e}$	**4.5 /4.6 -4.7**	**BAM-00589, BESIII PubComm review**
$\boldsymbol{\Lambda_c^+ \to p\pi^-e^+\nu_e}$		**BAM-00736, Memo Review**
$\boldsymbol{\Lambda_c^+ \to nK_S^0e^+\nu_e}$		Charm Group report
$\boldsymbol{\Lambda_c^+ \to \Lambda(1405/1520)[\to pK^-]e^+\nu_e}$		BESIII Collaboration Meeting July 9, 2025

- 粲介子半轻衰变理论： 完成2-3项粲介子半轻衰变理论工作（已达成目标，持续开展相关工作）

谢谢大家！