

CCAST博士后申请面试答辩

申请人：陈 超¹

指导教师：马海龙²

¹苏州大学

²中国科学院高能物理研究所

2025·1·11

目 录

1. 个人简介
2. 科研经历
3. 研究计划
4. 总结

个人简历



基本信息

- 出生年月： 1997年10月18日
- 籍贯： 安徽-宣城
- 民族： 汉
- 研究方向： 实验上粲物理的相关研究

教育经历

- | | | | |
|---------------------|--------|------------|------|
| ■ 2020.09 - 至今 | 苏州大学 | 粒子物理与原子核物理 | 博士在读 |
| ■ 2015.09 - 2019.06 | 安庆师范大学 | 物理学 | 理学学士 |

论文成果

成果均以BESIII 合作组成员身份投稿发表

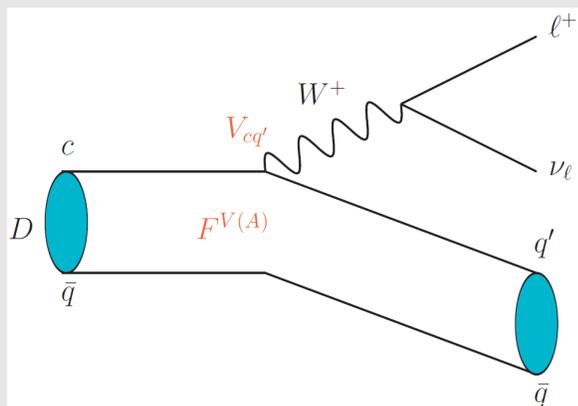
- Search for $D^0 \rightarrow K^- \eta e^+ \nu_e$, $D^0 \rightarrow K_S^0 \eta e^+ \nu_e$ and $D^+ \rightarrow \eta \eta e^+ \nu_e$ decays 在线发表
实际第一作者 Phys. Rev. D 110, 112001 (2024) IF: 4.6
- Improved measurement of the semileptonic decay $D_s^+ \rightarrow K^0 e^+ \nu_e$ 在线发表
实际第一作者 Phys. Rev. D 110, 052012 (2024) IF: 4.6
- Measurement of branching fraction of $D_s^{*+} \rightarrow D_s^+ \pi^0$ relative to $D_s^{*+} \rightarrow D_s^+ \gamma$ 在线发表
实际第二作者 Phys. Rev. D 107, 032011 (2023) IF: 4.6



2 科研经历

粲介子的半轻衰变研究

物理动机



夸克间强作用:

$$\text{强子形状因子 } |F_+^{V(A)}(0)|$$

格点量子色动力学 (LQCD) 等
理论可以计算 $F_+^{V(A)}(0)$

夸克间弱作用:

$$\text{CKM矩阵元 } |V_{cq'}|$$

进行全局拟合从实验上提取 $|V_{cq'}|$

$$\frac{d\Gamma}{dq^2} = \frac{G_F^2}{24\pi^3} |F_+^{V(A)}(0)|^2 |V_{cq'}|^2 |\vec{p}_{V(A)}|^3$$

半轻衰变为检验格点QCD理论等模型, 测量 $F_+^{V(A)}(0)$ 提供可能的途径, 也是寻找粲介子衰变中是否存在新物理的一个途径

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

CKM表征夸克的质量本征态与夸克的弱相互作用本征态之间的变换, 应具备幺正性

测量CKM矩阵元, 进而检验CKM矩阵的幺正性, 可验证电弱理论和寻找超出标准模型的新物理

$$R_h = \frac{\Gamma(D^{0/+} \rightarrow h^{-/0} \mu^+ \nu_\mu)}{\Gamma(D^{0/+} \rightarrow h^{-/0} e^+ \nu_e)}$$

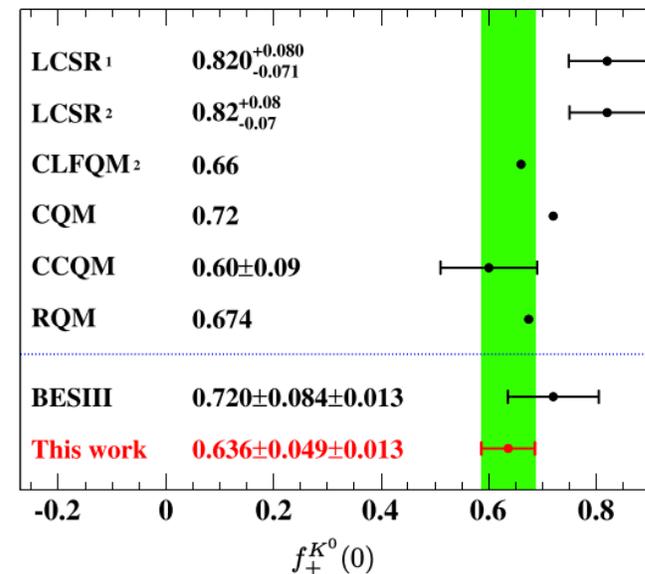
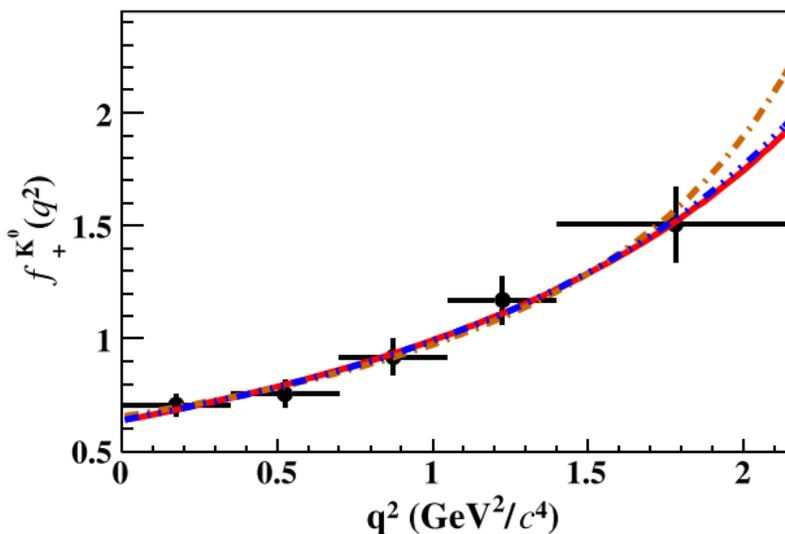
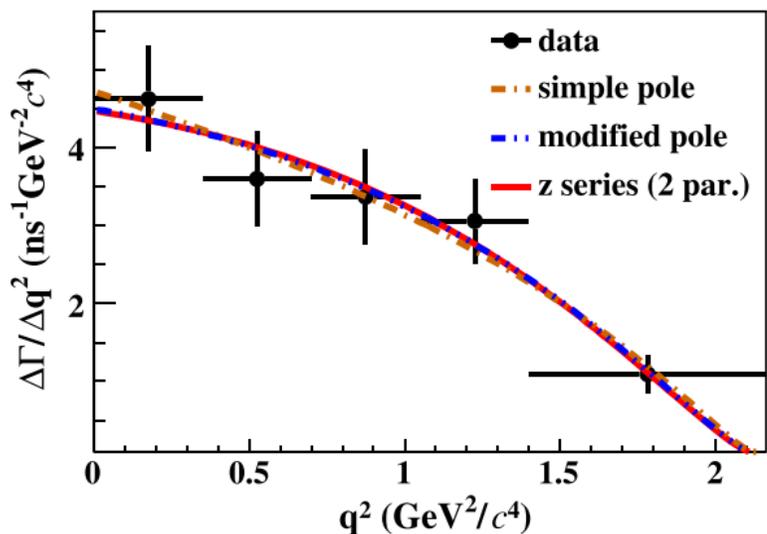
实验上的测量可以检验标准模型的轻子普适性假定



物理动机

- 目前Cabibbo压低的半轻衰变的物理机制有待进一步研究
- $D_s^+ \rightarrow K^0 e^+ \nu_e$ 的衰变分支比和强子 K^0 形状因子的实验测量有助于检验理论的预测结果
- 基于BESIII采集的总亮度为 7.33fb^{-1} 实验数据样本, 改善 $D_s^+ \rightarrow K^0 e^+ \nu_e$ 衰变的测量精度

Phys. Rev. D 110, 052012 (2024)

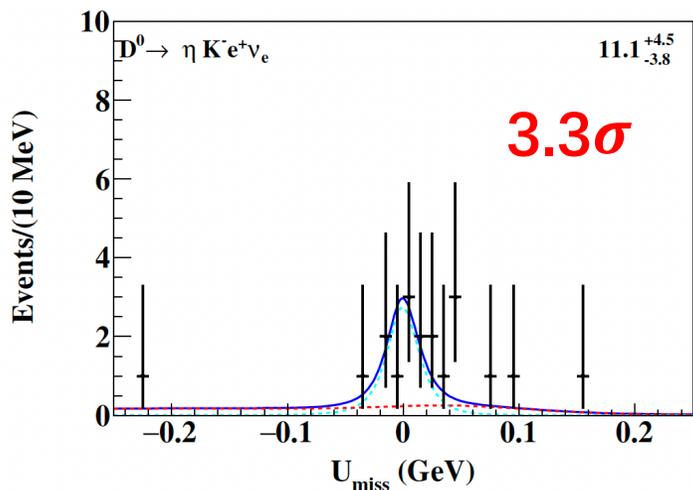
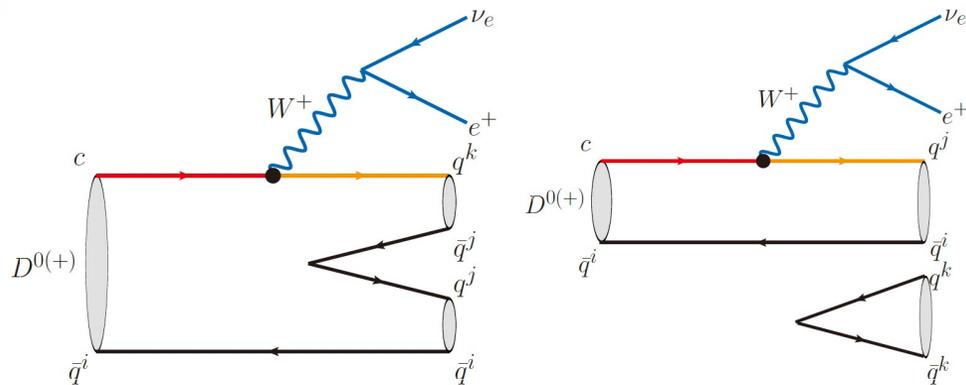


- 相较于《粒子物理手册》(PDG)的世界平均值, 分支比精度改进1.6倍, 在 $D_s^+ \rightarrow K^0 e^+ \nu_e$ 衰变中测量的强子 K^0 形状因子精度改进1.7倍



物理动机

- 在四体半轻衰变 $D \rightarrow PP\ell^+\nu_\ell$ 研究 $c \rightarrow s/d\ell^+\nu_\ell$ 的夸克跃迁衰变过程，理解半轻中标量或矢量介子在其中的衰变贡献
- 有助于理解标准模型和寻找标准模型以外的新物理
- 基于SU(3)预期有希望在当前实验精度下观测到 $D \rightarrow PP\ell^+\nu_\ell$ 四体衰变



BEIII在 $\sqrt{s}=3.773\text{GeV}$ 采集的 7.93fb^{-1} 数据测量结果

Decay	$N_{\text{sig}}^{\text{fit}}$	Significance (σ)	$N_{\text{sig}}^{\text{up}}$	$\bar{\epsilon}_{\text{SL}}(\%)$	$\mathcal{B}(\times 10^{-4})$	$\mathcal{B}^{\text{up}}(\times 10^{-4})$
$D^0 \rightarrow K^-\eta e^+\nu_e$	$11.1^{+4.5}_{-3.8}$	3.3	...	5.29 ± 0.05	$0.84^{+0.34}_{-0.29} \pm 0.22$...
$D^+ \rightarrow K_S^0\eta e^+\nu_e$	$8.4^{+4.7}_{-3.9}$	1.9	17.8	7.79 ± 0.05	...	<2.0
$D^+ \rightarrow \eta\eta e^+\nu_e$	$0.3^{+1.9}_{-1.2}$	0.0	4.8	7.52 ± 0.05	...	<1.0

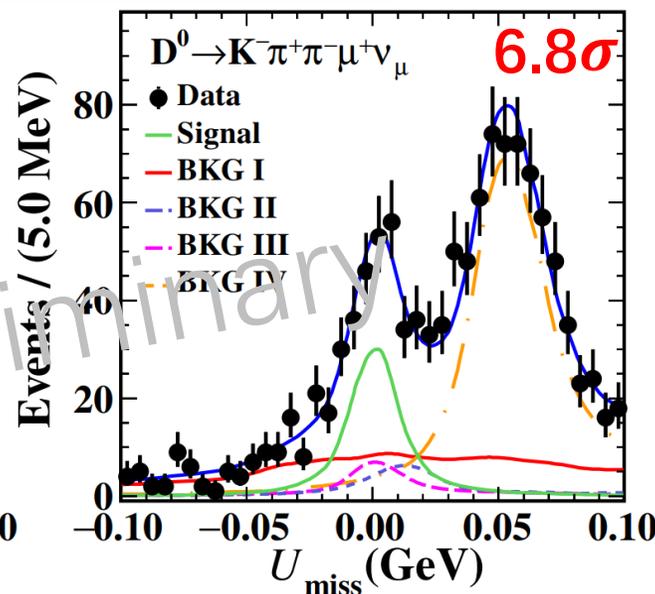
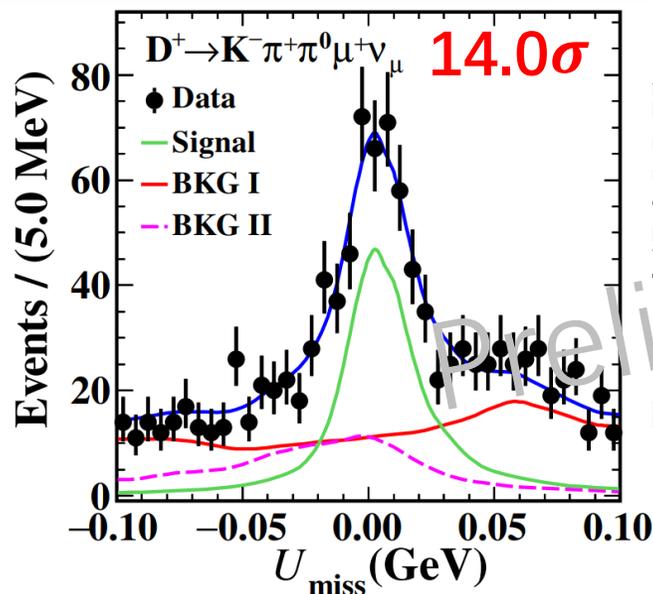
基于BEIII在 $\sqrt{s}=3.773\text{GeV}$ 采集的 20.3fb^{-1} 数据，进一步研究 $D \rightarrow \eta P e^+ \nu_e$ 衰变的物理机制

Phys. Rev. D 110, 112001 (2024)



物理意义与目的

- 多种理论预期该衰变，实验测量有助于检验不同理论
- 研究 $D \rightarrow K_1(1270)\mu^+\nu_\mu$ 衰变过程有助于理解 $K_1(1270)$ 动量混合态，探索粲衰变的强弱效应
- 结合电子衰变过程，检验轻子普适性
- 结合 D 介子寿命，检验同位旋对称性



Signal decay	N_{DT}	Significance (σ)	$\bar{\epsilon}_{SL}$ (%)	$\mathcal{B}_{K_1} \mathcal{B}_{SL} (\times 10^{-4})$	\mathcal{B}_{K_1} (%)	$\mathcal{B}_{SL} (\times 10^{-3})$
$D^+ \rightarrow \bar{K}_1(1270)^0 \mu^+ \nu_\mu$	382.8 ± 31.9	14.0	8.45 ± 0.05	$10.92 \pm 0.91_{-1.26}^{+0.82}$	46.24 ± 9.33	$2.36 \pm 0.20_{-0.27}^{+0.18} \pm 0.48$
$D^0 \rightarrow K_1(1270)^- \mu^+ \nu_\mu$	180.3 ± 25.9	6.8	10.92 ± 0.07	$2.62 \pm 0.38_{-0.29}^{+0.17}$	33.74 ± 6.54	$0.78 \pm 0.11_{-0.09}^{+0.05} \pm 0.15$

研究进展

- 基于BEIII在 $\sqrt{s}=3.773\text{GeV}$ 采集的 7.93fb^{-1} 数据，首次观测该衰变
- 分析结果正在BESIII合作组发言人审核阶段，计划投稿期刊Phys. Rev. D



2 科研经历

$D^0 \rightarrow \pi^- \ell^+ \nu_\ell$ 和 $D^+ \rightarrow \pi^0 \ell^+ \nu_\ell$ 衰变的研究

研究现状

分支比测量

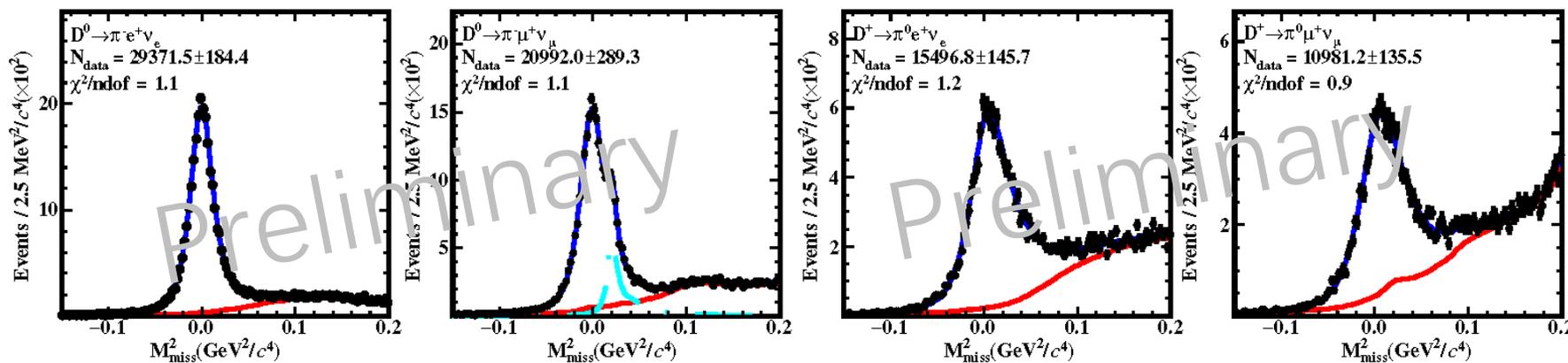
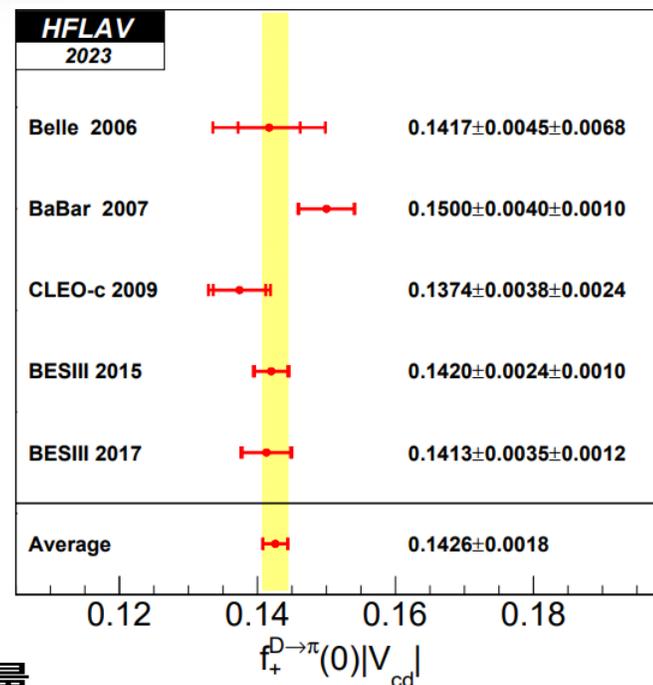
- 实验测量分支比以统计误差为主导
- BESIII采集的 20.3fb^{-1} 的 3.773GeV 近阈数据,可以降低统计误差

强子形状因子 $f_+^{D \rightarrow \pi}(0)$ 的提取

- LQCD的计算,2011年 $D \rightarrow \pi$ 的形状因子精度为4.4%,2022年已改善至0.8%
- 实验测量的最高精度为1.3%
- 首次尝试结合含 μ 子衰变模式的动力学信息提取形状因子

分支比的实验测量

- 基于 20.3fb^{-1} 的 $\sqrt{s}=3.773\text{GeV}$ 的近阈数据,开展 $D^0 \rightarrow \pi^- \ell^+ \nu_\ell$ 和 $D^+ \rightarrow \pi^0 \ell^+ \nu_\ell$ 分支比测量



Decays	$\mathcal{B}_{\text{sig}} (\times 10^{-3})$
$D^0 \rightarrow \pi^- e^+ \nu_e$	$2.924 \pm 0.018 \pm 0.016$
$D^0 \rightarrow \pi^- \mu^+ \nu_\mu$	$2.702 \pm 0.037 \pm 0.019$
$D^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e$	$3.606 \pm 0.034 \pm 0.018$
$D^+ \rightarrow \pi^0 \mu^+ \nu_\mu$	$3.377 \pm 0.042 \pm 0.025$

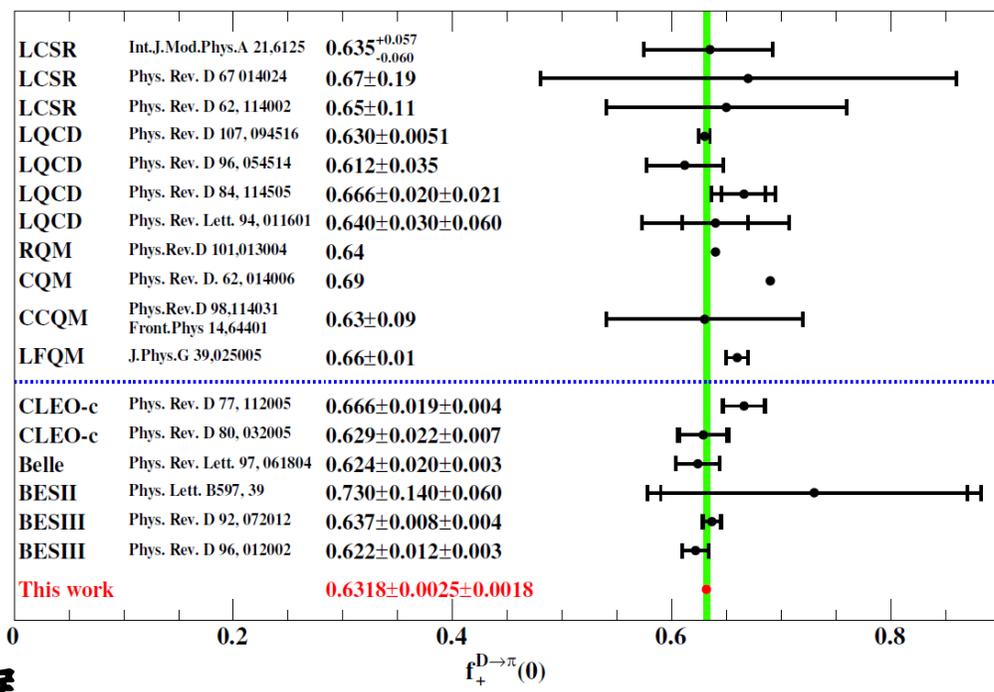


2 科研经历

$D^0 \rightarrow \pi^- \ell^+ \nu_\ell$ 和 $D^+ \rightarrow \pi^0 \ell^+ \nu_\ell$ 衰变的研究

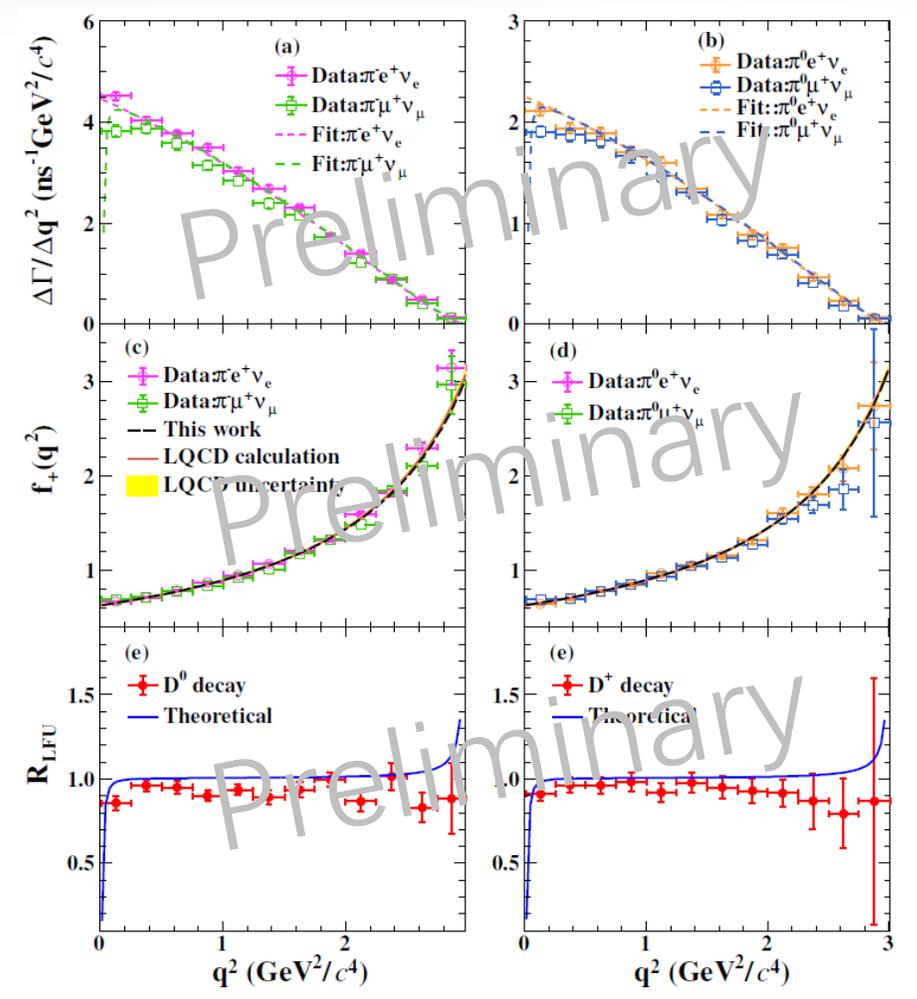
● 提取强子形状因子 $f_+^{D \rightarrow \pi}(0)$

- 拟合 $D^0 \rightarrow \pi^- \ell^+ \nu_\ell$ 和 $D^+ \rightarrow \pi^0 \ell^+ \nu_\ell$ 的微分跃迁率，提取形状因子
- 检验 q^2 依赖的轻子普适性
- 结合 D 介子寿命，检验同位旋对称性



● 研究进展

- 实验上的测量结果精度好于理论计算结果，可为理论计算提供更精确的输入参数
- 基于BEIII采集的 20.3 fb^{-1} 数据分析结果正在BESIII合作组审核阶段





基于第三代北京谱仪 (BESIII) 在近阈附近采集的世界最大的粲介子实验数据 ($\sqrt{s} = 3.773\text{GeV}$ 采集的积分亮度为 20.3fb^{-1} 的数据), 开展以下研究

■ 半轻衰变 $D \rightarrow K_1(1270)\mu^+\nu_\mu$ 的研究

- 借助人工神经网络工具, 降低背景水平
- 提取轴矢量介子的质量和宽度, 研究 $K_1(1270) \rightarrow K\pi\pi$ 模式中的共振结构
- 开展 K_1 的动力学研究, 检验理论模型

■ Generic 标记方法的探究

- CLEO 合作组使用 Generic 标记方法对衰变过程 $D^+ \rightarrow \eta^{(\prime)}\ell^+\nu$ 开展过相关研究, BESIII 合作组基于 Generic 标记方法, $D \rightarrow \bar{K}\eta e^+\nu_e$ 衰变的研究正在进行
- 计划使用该方法, 开展以下课题的探究
 - a. 探究半轻 $D^{0(+)} \rightarrow \pi\ell^+\nu_\ell$ 衰变过程中改善其形状因子提取精度的可能
 - b. 探究纯轻 $D^+ \rightarrow \mu^+\nu_\mu$ 衰变中测量精度改进的可能
 - c. 探究半轻 $D^+ \rightarrow \eta\ell^+\nu$ 衰变和 $D^+ \rightarrow \eta'\ell^+\nu$ 衰变分支比测量精度的改进以及提取其形状因子的可能



3 研究计划

Generic标记方法的简单介绍

在3.773 GeV能量点, e^+e^- 湮灭为 $\Psi(3770)$ 共振态并迅速衰变为 $D\bar{D}$ 介子对

● 传统双标记方法

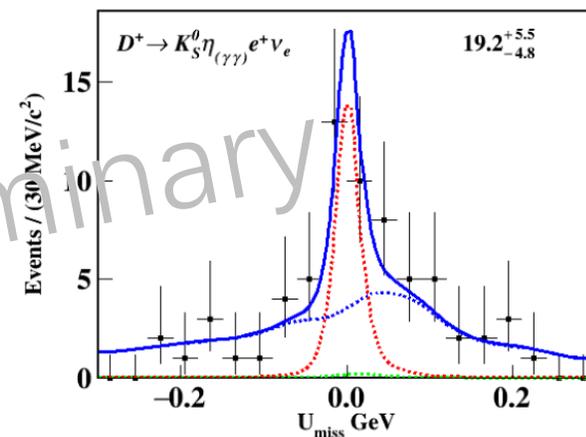
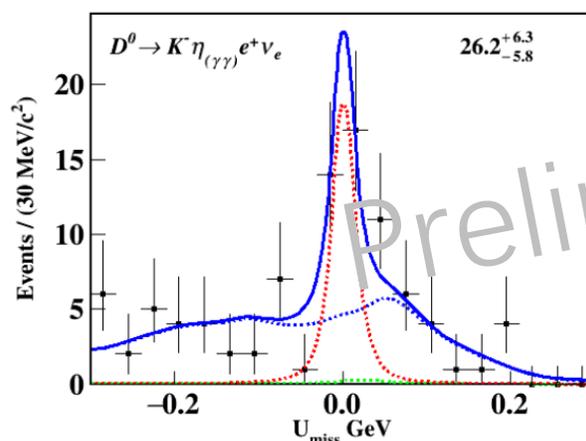
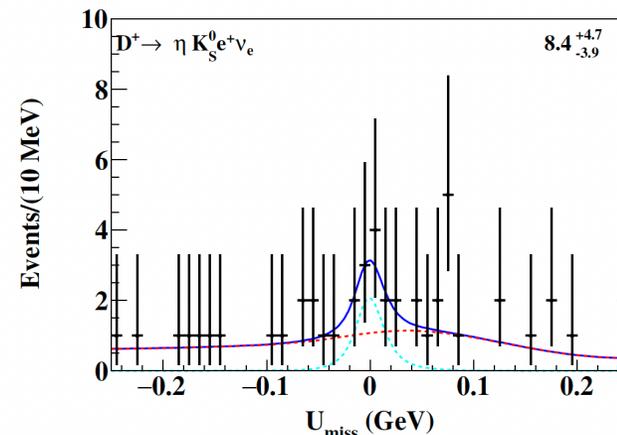
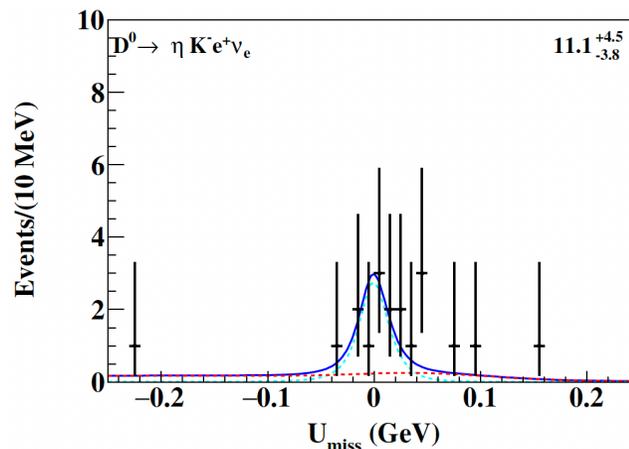
- 在完全重建标记侧 D 介子后反冲重建信号侧 \bar{D} 介子

● Generic标记方法 -- 半轻衰变过程

- 寻找信号侧一条轻子径迹, 再寻找半轻衰变中的强子末态
- 基于重建的信号侧再重建另一侧的 D 介子
 - 先加入所有的带电径迹
 - 再逐步加入中性径迹
 - 直到所有粒子的组合总能量与束流能量最接近为止

基于BEIII在3.773 GeV采集的 7.93fb^{-1} 数据, 两种方法寻找 $D \rightarrow \bar{K}\eta e^+ \nu_e$ 的对比

- Generic方法可增加约一倍统计量
- $D \rightarrow \bar{K}\eta e^+ \nu_e$ 过程的衰变机制可被研究



3 研究计划

阶段安排



- 1) 完成对 $D \rightarrow K_1(1270)\mu^+\nu_\mu$ 事例重建
- 2) 使用人工神经网络工具, 对其背景进行研究
- 3) 尝试提取 $K_1(1270)$ 相应物理参数
- 4) 构建Generic Tag算法

- 1) 推进纯轻衰变 $D^+ \rightarrow \mu^+\nu_\mu$ 以及半轻衰变 $D^+ \rightarrow \eta^{(\prime)}\ell^+\nu$ 衰变的研究
- 2) 完成计划中的相关学术论文成果的发表工作
- 3) 完成博士后工作的总结和撰写出站报告

2026年1-12月

2025年6-12月

2027年1-6月

- 1) 推进 $D \rightarrow K_1(1270)\mu^+\nu_\mu$ 分析, 在BESIII合作组内进行同行专家评审
- 2) 验证Generic Tag重建方法的可靠性, 开展对 $D^{0(+)} \rightarrow \pi\ell^+\nu_\ell$ 改进研究
 - a. 结合人工神经网络工具, 基于Generic Tag方法展开物理分析
 - b. 尝试基于Generic Tag方法的形状因子提取研究, 与经典双标记进行对比
- 3) 基于Generic Tag方法, 对纯轻衰变 $D^+ \rightarrow \mu^+\nu_\mu$ 或半轻衰变 $D^+ \rightarrow \eta^{(\prime)}\ell^+\nu$ 进行测试工作



● 科研学习经历

- 自2021年至今，开展粲物理衰变的测量，作为主要作者发表文章三篇
- 两项半轻衰变在研，预期一年内发表
- 已达到毕业要求，预计2025年6月毕业

● 科研计划

- 继续推进现有研究分析
- 基于BESIII在3.773GeV采集的 20.3fb^{-1} 数据，在 $D \rightarrow K_1(1270)\mu^+\nu_\mu$ 过程中提取 $K_1(1270)$ 相应物理参数
- 开展Generic标记方法的可行性研究并开展相关含轻衰变的研究

请批评指正!