BESIII上$D \to SS$衰变研究



曾 鑫
zengxin@cdut.edu.cn

成都理工大学

2026粲强子物理研讨会

四川 成都

2026年10月17日

成都理工大學
CHENGDU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

目录 CONTENTS

01 物理目标

02 BESIII 实验数据

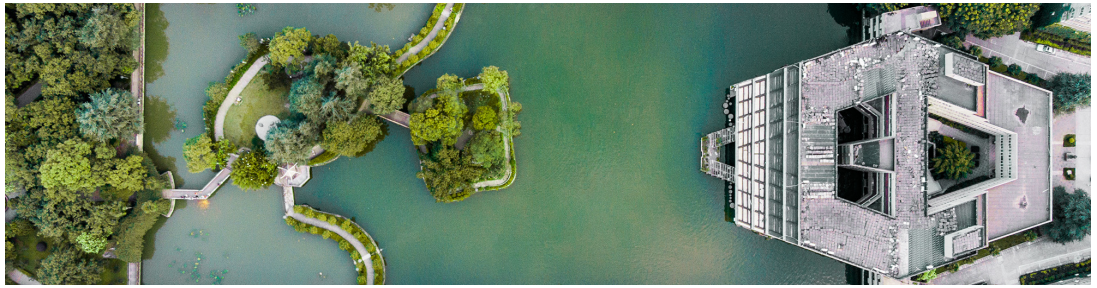
03 双标记实验方法

04 $D \rightarrow SS$衰变研究

05 总结和展望

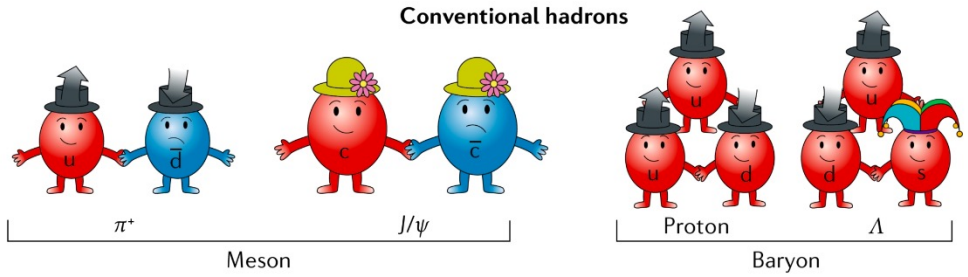


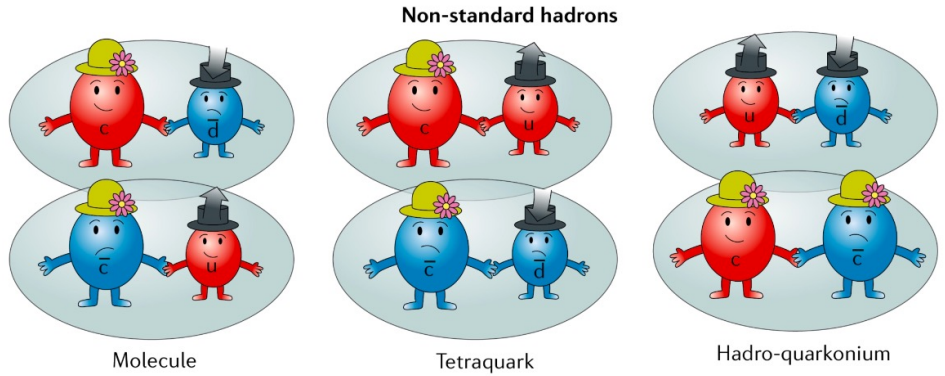




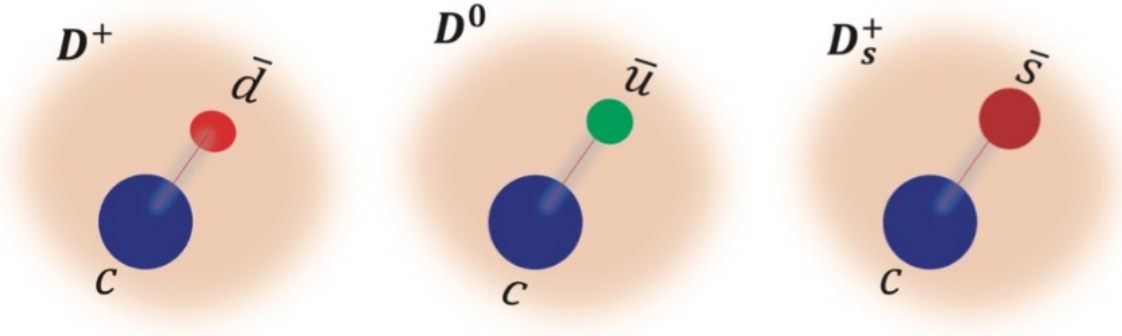
物理目标

诸如$f_0(500)$和$a_0(980)$这类标量(S)介子的内禀结构至今尚未厘清，关于其是传统夸克态、紧致四夸克态、强子分子态，或是动力学产生的争论延续至今。





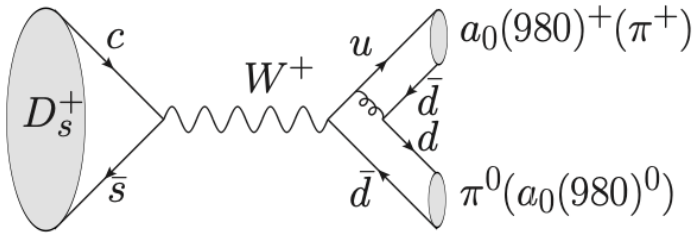
D介子通过$c \to s/d$跃迁发生衰变，能够规避大部分复杂本底直接产生轻夸克共振态，为研究轻介子的结构与动力学性质提供独特优势。

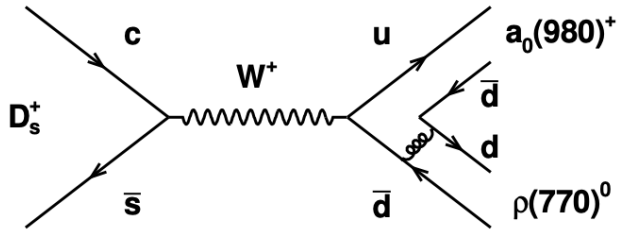


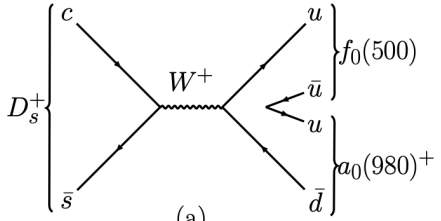
物理目标

实验和理论上已经开展了大量$D \to SP$与$D \to SV$衰变研究，此类包含S介子的强子末态粲衰变展现出若干显著特征，对短程理论描述构成挑战。

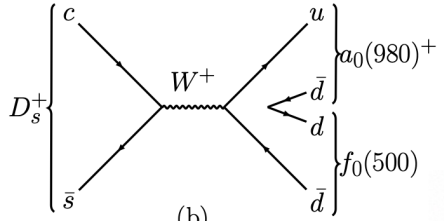
双标量介子末态的$D \to SS$衰变过程尚未在实验上被观测到，仅考虑短程贡献时，纯湮灭振幅$D \to W^+ \to 0^+ \to SS$受到压低，这也使得该衰变对其他产生机制及长程强子动力学效应格外灵敏。



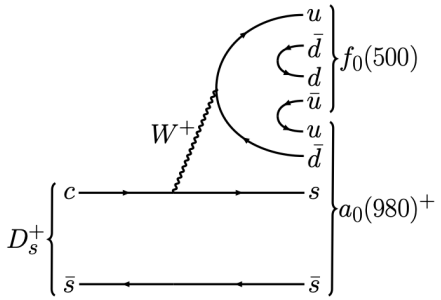




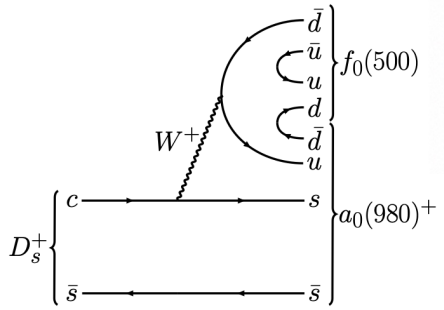
(a)



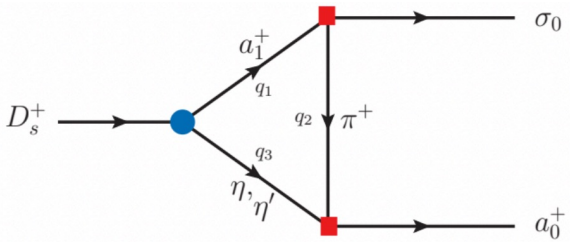
(b)



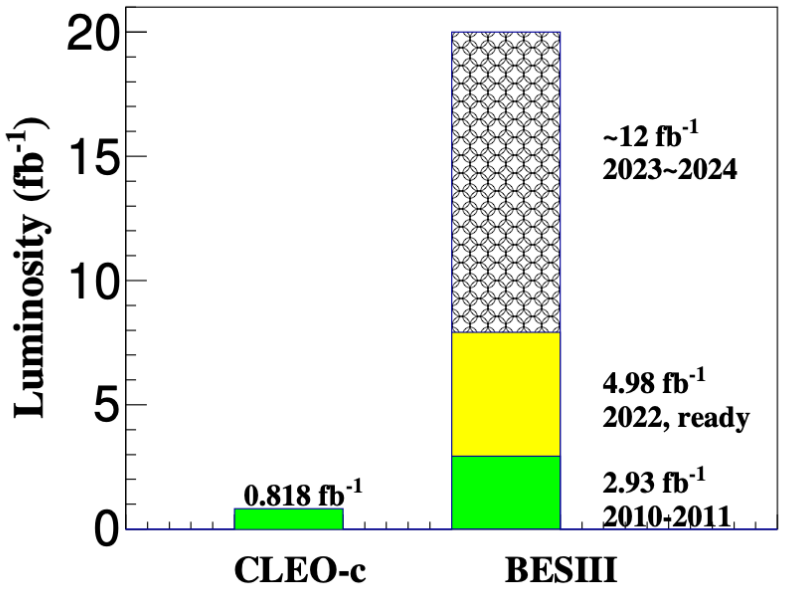
(c)

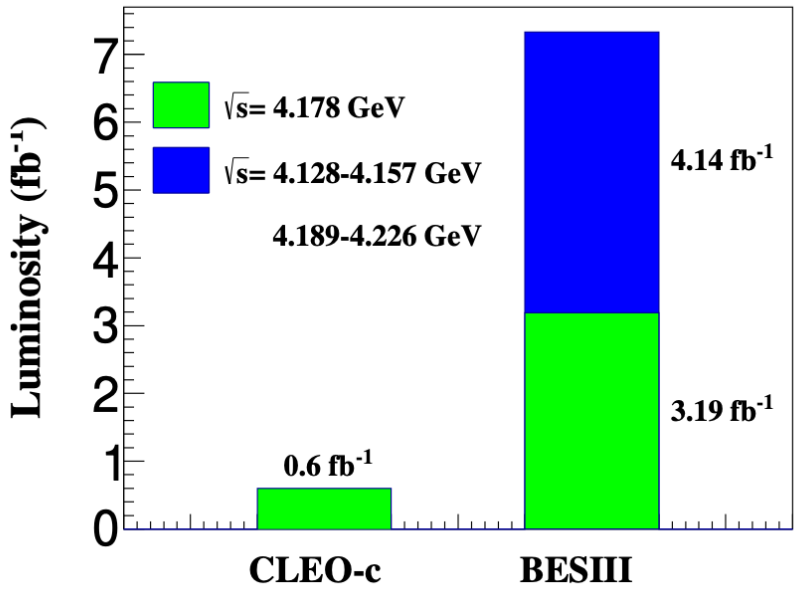


(d)



BESIII 实验数据



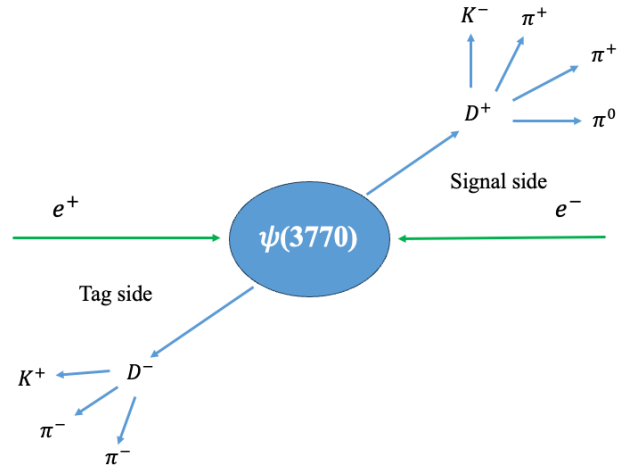


$$e^+e^- \to \psi(3770) \to D\bar{D}, \mathcal{L}_{int} = 2.93 + 4.98 + 12 = 20.3fb^{-1}$$

$$e^+e^- \to D_sD_s^*, \sqrt{s} = 4.128 - 4.226\ GeV, \mathcal{L}_{int} = 3.19 + 4.14 = 7.33fb^{-1}$$

正负电子对撞近阈产生，本底干净，介子对产生可用双标记进一步提高样本纯度

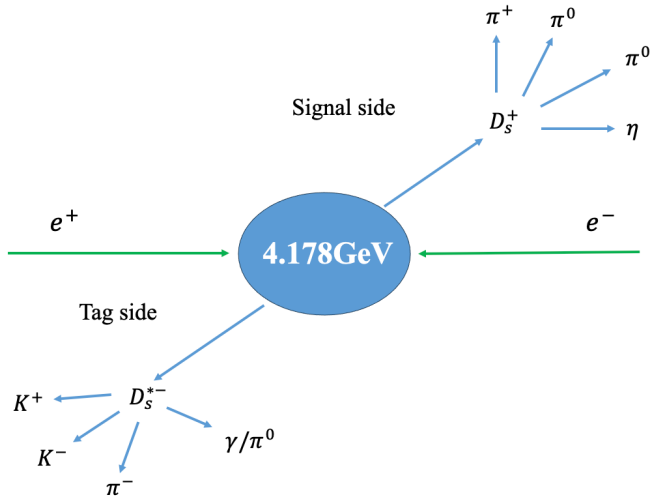
双标记实验方法



单标记(ST)：重建其中一个 D/D_s

— 相对较高本底

— 相对较高效率



双标记(DT)：同时重建信号侧和标记侧的 D/D_s

— 更干净的数据样本

— 运动学拟合约束丢失粒子

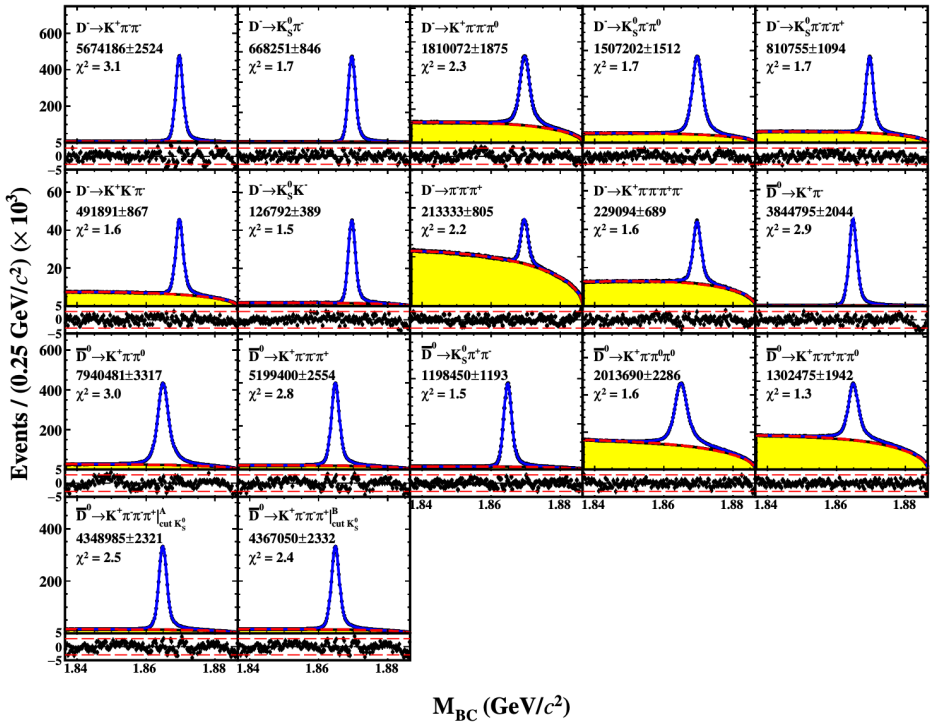
— 抵消标记侧的系统误差

双标记实验方法

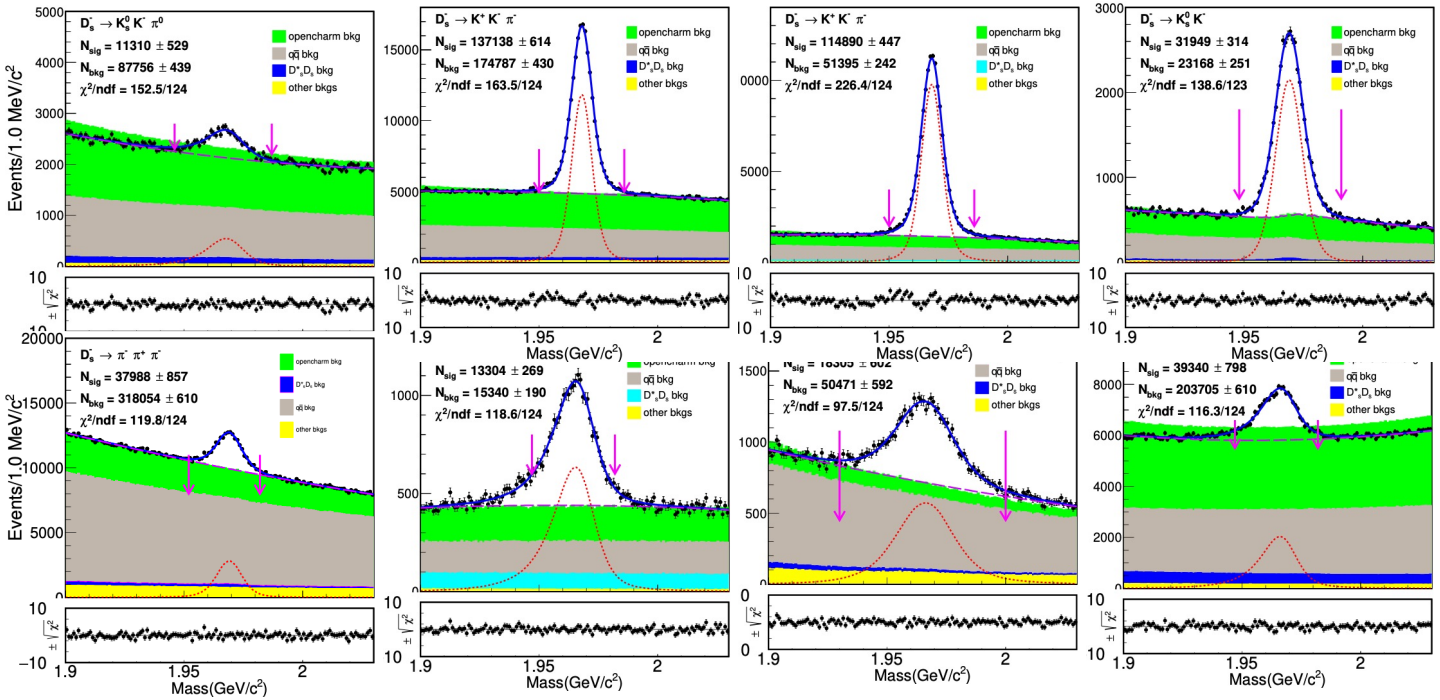
成都理工大學 CHENGDU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

大量标记道用于tag侧D介子的的重建，可在扩大数据统计量的同时，对复杂本底起到有效的控制

D介子



D_s介子

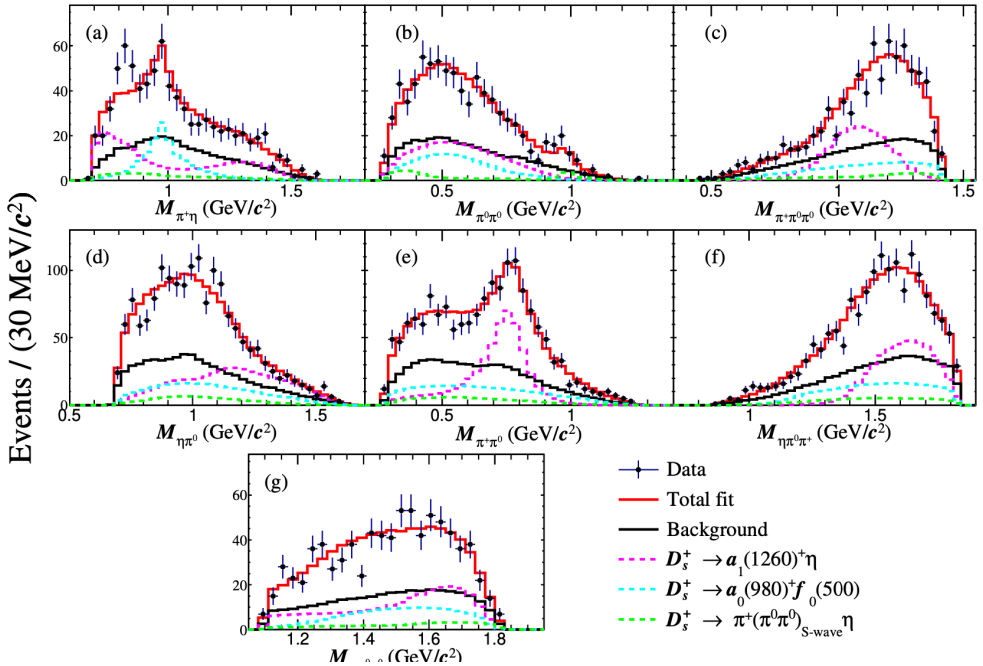


$D_s^+ \to \pi^+\pi^0\pi^0\eta$衰变研究

成都理工大學 CHENGDU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

arXiv:2603.18521

首次挑选到信号纯度为58%的821 个信号事例用于振幅分析研究



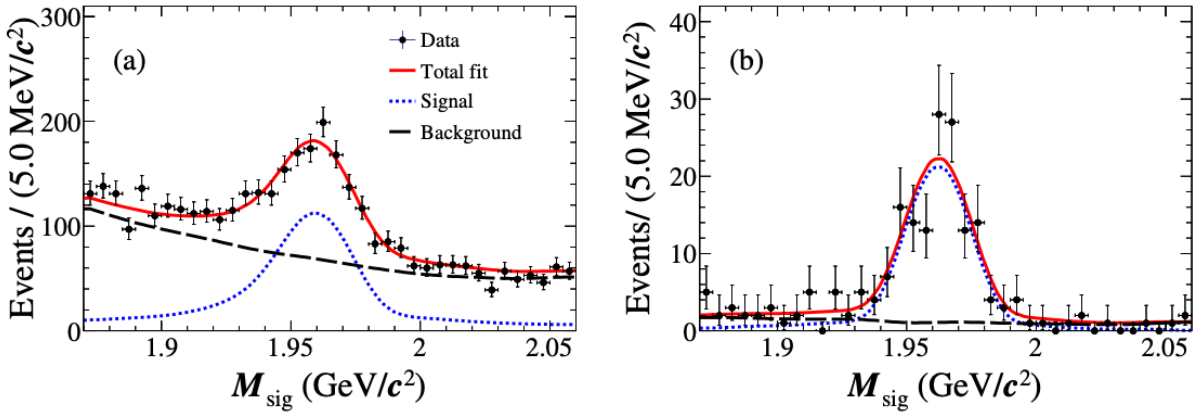
- 经过分析确定主导过程为$D_s^+ \to a_1(1260)^+\eta$，与在$D_s^+ \to \pi^+\pi^+\pi^-\eta$的实验测量结果相符。
- 首次观测到衰变到双标量介子的$D_s^+ \to SS$衰变模式，显著性超过10σ.

Amplitude	Phase (rad)	FF (%)	BF (%)	Significance
$D_s^+ \to a_1(1260)^+\eta, a_1(1260)^+ \to \rho(770)^+\pi^0$	0.0 (fixed)	$59.7 \pm 5.2 \pm 2.9$	$1.77 \pm 0.21 \pm 0.12$	$> 10\sigma$
$D_s^+ \to a_0(980)^+ f_0(500)$	$2.8 \pm 0.2 \pm 0.3$	$33.1 \pm 4.9 \pm 6.8$	$0.98 \pm 0.16 \pm 0.22$	$> 10\sigma$
$D_s^+ \to \pi^+(\pi^0\pi^0)_{S-\text{wave}}\eta$	$-0.8 \pm 0.2 \pm 0.3$	$9.4 \pm 1.9 \pm 4.1$	$0.28 \pm 0.06 \pm 0.13$	4.5σ

$D_s^+ \to \pi^+\pi^0\pi^0\eta$衰变研究

成都理工大學 CHENGDU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

arXiv:2603.18521



$$\mathcal{B}_{D_s^+\to\pi^+\pi^0\pi^0\eta|_{non-\eta'}} = (2.97 \pm 0.23 \pm 0.14)\times10^{-2}$$

$$\mathcal{B}_{D_s^+\to\eta'\pi^+,\eta'\to\pi^0\pi^0\eta} = (0.82 \pm 0.08 \pm 0.02)\times10^{-2}$$

Amplitude	Phase (rad)	FF (%)	BF (%)	Significance
$D_s^+ \to a_1(1260)^+\eta, a_1(1260)^+ \to \rho(770)^+\pi^0$	0.0 (fixed)	$59.7 \pm 5.2 \pm 2.9$	$1.77 \pm 0.21 \pm 0.12$	$> 10\sigma$
$D_s^+ \to a_0(980)^+ f_0(500)$	$2.8 \pm 0.2 \pm 0.3$	$33.1 \pm 4.9 \pm 6.8$	$0.98 \pm 0.16 \pm 0.22$	$> 10\sigma$
$D_s^+ \to \pi^+(\pi^0\pi^0)_{S-\text{wave}}\eta$	$-0.8 \pm 0.2 \pm 0.3$	$9.4 \pm 1.9 \pm 4.1$	$0.28 \pm 0.06 \pm 0.13$	4.5σ

结合分支比测量，$D_s \to a_0(980)^+ f_0(500)$ 的分支比测量在 10^{-2}量级.

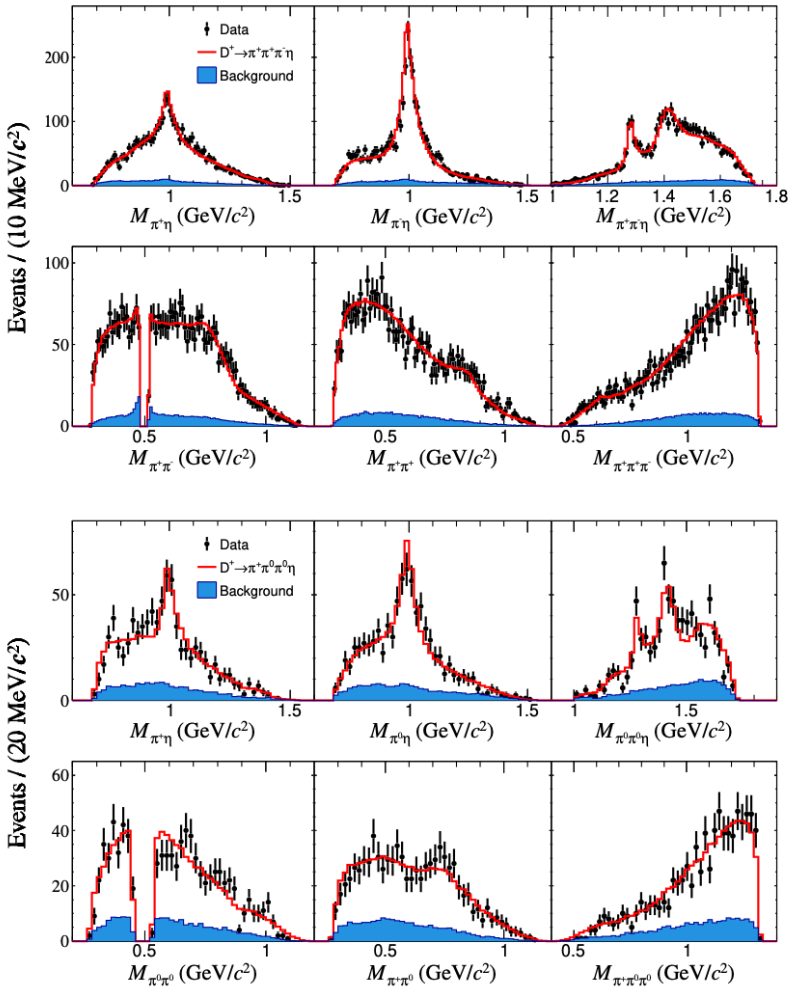
- TDA理论框架下，该测量结果预示着 $a_0(980)^+$ 和 $f_0(500)$ 更倾向是四夸克态成分.
- 也有理论预言此类$D_s \to SS$ 衰变过程存在显著的末态相互作用.

$D^+ \to \pi^+\pi^{+(0)}\pi^{-(0)}\eta$衰变研究

成都理工大学 CHENGDU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

arXiv:2604.10444

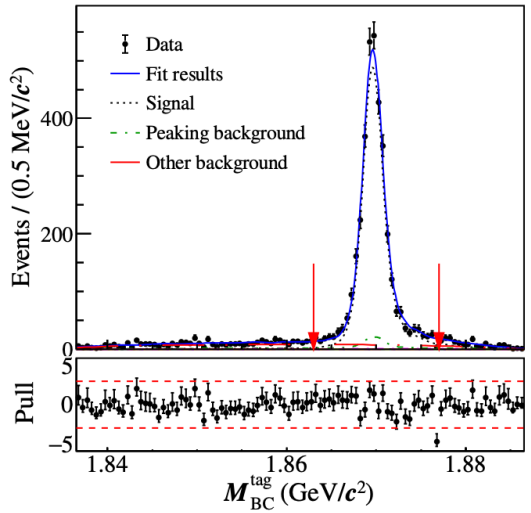
分别获取了信号纯度为89%的3122、58%的650 个信号事例用于振幅分析研究

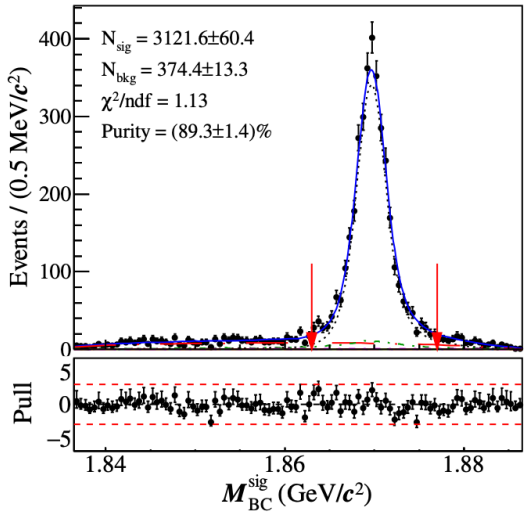


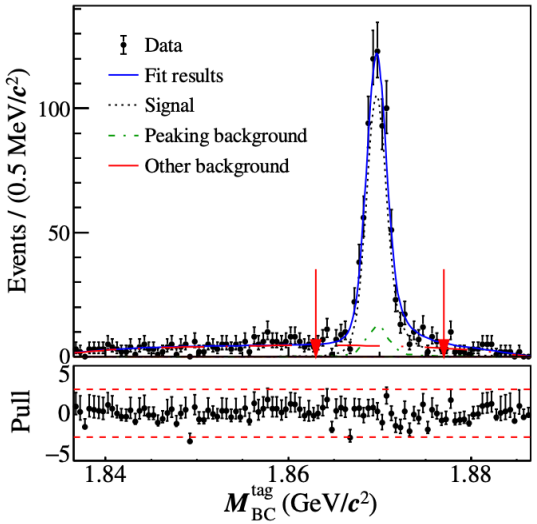
Amplitude	ϕ	FF(%)	Significance (σ)	BF($\times10^{-4}$)
$D^+ \to \pi^+\pi^+\pi^-\eta$ decay:				
$D^+ \to a_0(980)^+\rho(770)^0$	0 (fixed)	$14.7 \pm 1.1 \pm 1.0$	> 10	$4.7 \pm 0.4 \pm 0.3$
$D^+ \to a_0(980)^+ f_0(500)$	$5.5 \pm 0.1 \pm 0.2$	$23.2 \pm 2.3 \pm 2.2$	> 10	$7.5 \pm 0.7 \pm 0.7$
$D^+ \to \eta(1405)\pi^+$	$2.4 \pm 0.1 \pm 0.1$	$11.2 \pm 1.4 \pm 1.5$	> 10	$3.6 \pm 0.5 \pm 0.5$
$D^+ \to f_1(1285)\pi^+$	$4.9 \pm 0.1 \pm 0.3$	$17.3 \pm 0.9 \pm 0.8$	> 10	$5.5 \pm 0.3 \pm 0.3$
$D^+ \to f_1(1420)\pi^+$	$6.2 \pm 0.1 \pm 0.1$	$16.4 \pm 1.6 \pm 2.5$	> 10	$5.2 \pm 0.5 \pm 0.8$
$D^+ \to [a_0(980)^\pm\pi^\mp]_{S-wave}\pi^+$	$3.5 \pm 0.1 \pm 0.3$	$34.3 \pm 2.8 \pm 3.2$	> 10	$11.0 \pm 0.9 \pm 1.0$
$D^+ \to \pi^+\pi^0\pi^0\eta$ decay:				
$D^+ \to a_0(980)^0\rho(770)^+$	0 (fixed)	$35.0 \pm 3.5 \pm 2.6$	> 10	$8.5 \pm 0.9 \pm 0.6$
$D^+ \to a_0(980)^+ f_0(500)$	$0.4 \pm 0.1 \pm 0.0$	$34.6 \pm 3.1 \pm 1.0$	> 10	$8.4 \pm 0.8 \pm 0.3$
$D^+ \to \eta(1405)\pi^+$	$2.6 \pm 0.3 \pm 0.2$	$4.3 \pm 1.7 \pm 0.7$	5.1	$1.0 \pm 0.4 \pm 0.2$
$D^+ \to f_1(1285)\pi^+$	$2.9 \pm 0.2 \pm 0.3$	$12.8 \pm 1.9 \pm 0.7$	> 10	$3.1 \pm 0.5 \pm 0.2$
$D^+ \to f_1(1420)\pi^+$	$5.9 \pm 0.2 \pm 0.3$	$17.8 \pm 3.0 \pm 1.6$	> 10	$4.3 \pm 0.8 \pm 0.4$
$D^+ \to [a_0(980)^0\pi^0]_{S-wave}\pi^+$	$4.4 \pm 0.2 \pm 0.2$	$11.0 \pm 2.6 \pm 0.9$	8.6	$2.7 \pm 0.6 \pm 0.2$

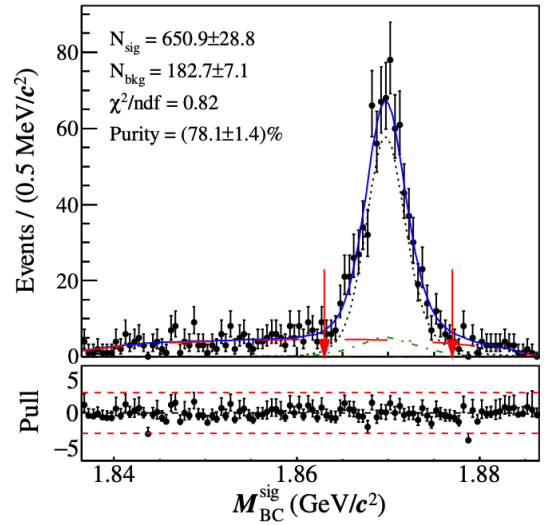
- ✓ 首次在D介子的衰变当中观测到超过10倍显著性的 $\boldsymbol{D^+ \to a_0(980)^+ f_0(500)}$ 的衰变信号
- ✓ 此衰变过程的分支比大小测定在$\mathbf{10^{-3}}$量级
- ✓ 该结果可由两种机制解释：S介子的四夸克组分增强直接产生，或是三角散射动力学。

$D^+ \to \pi^+\pi^{+(0)}\pi^{-(0)}\eta$衰变研究









- 2D fit method: (x denote M_{BC}^{sig}, y denote M_{BC}^{tag})
- Sig: MC shape s(x, y) ⊗ Gauss(x, y)
- Bkg1: b(x)*Argus(y) + b(y)*Argus(x)
- Bkg2: Argus(x+y) × MC shape(x-y)
- Bkg3: Argus(x) × Argus(y)

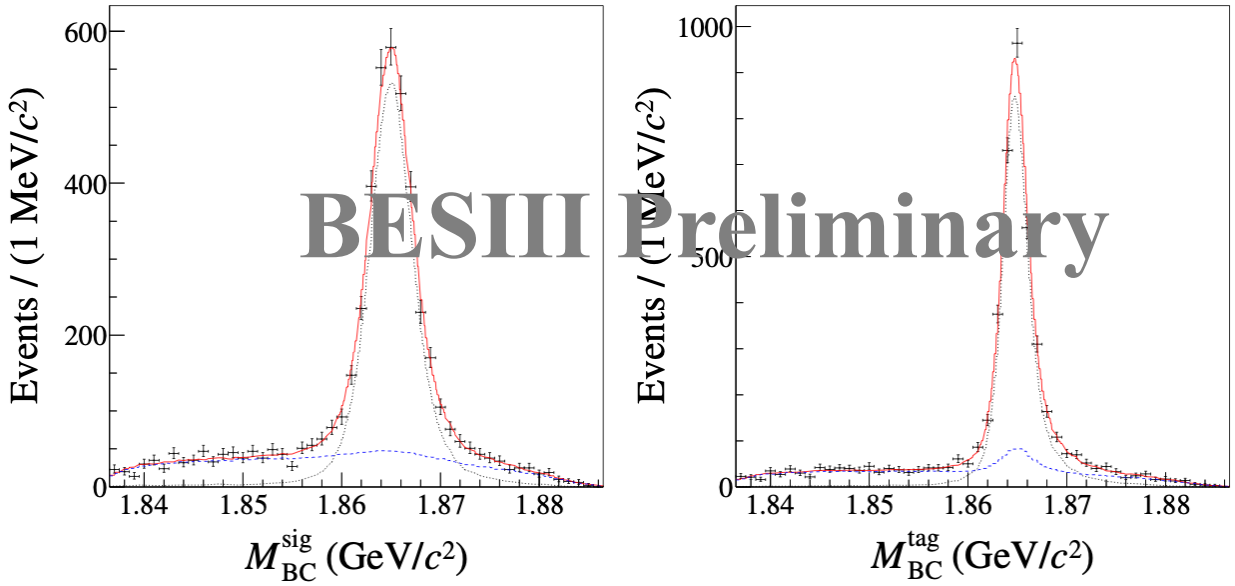
$$\mathcal{B}_{D^+\to\pi^+\pi^+\pi^-\eta} = (3.20 \pm 0.06 \pm 0.03)\times10^{-3}$$

$$\mathcal{B}_{D^+\to\pi^+\pi^0\pi^0\eta} = (2.43 \pm 0.11 \pm 0.04)\times10^{-3}$$

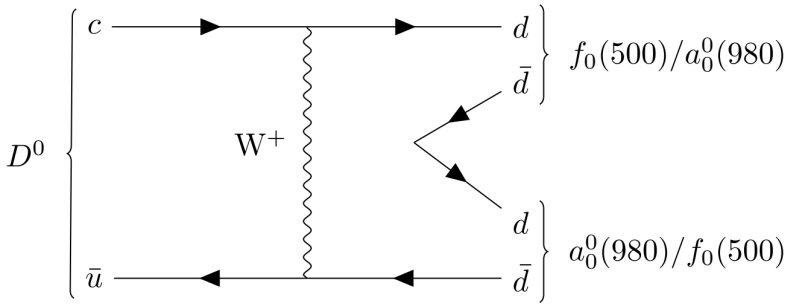
$D^0 \to \pi^+\pi^-\pi^0\eta$衰变研究

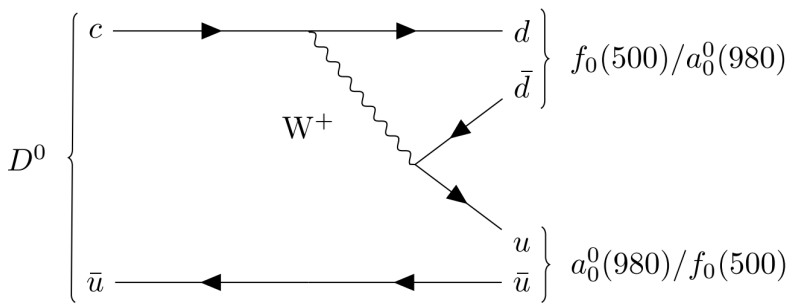
成都理工大學 CHENGDU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

首次挑选到信号纯度为91%的2949个信号事例用于振幅分析研究



- 2D fit method: (x denote M_{BC}^{sig}, y denote M_{BC}^{tag})
- Sig: MC shape s(x, y) ⊗ Gauss(x, y)
- Bkg1: b(x)*Argus(y) + b(y)*Argus(x)
- Bkg2: Argus(x+y) × MC shape(x-y)
- Bkg3: Argus(x) × Argus(y)



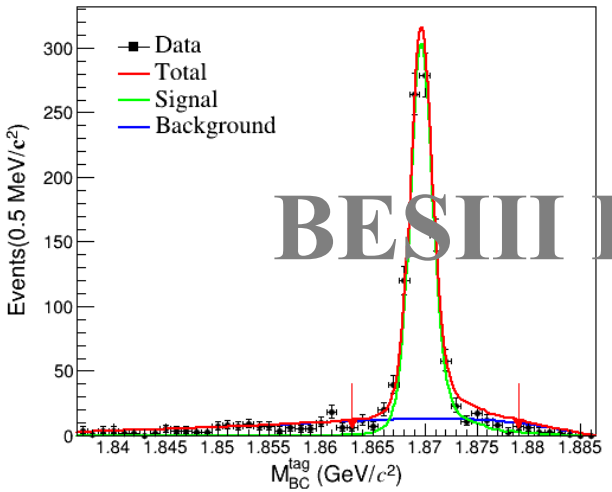


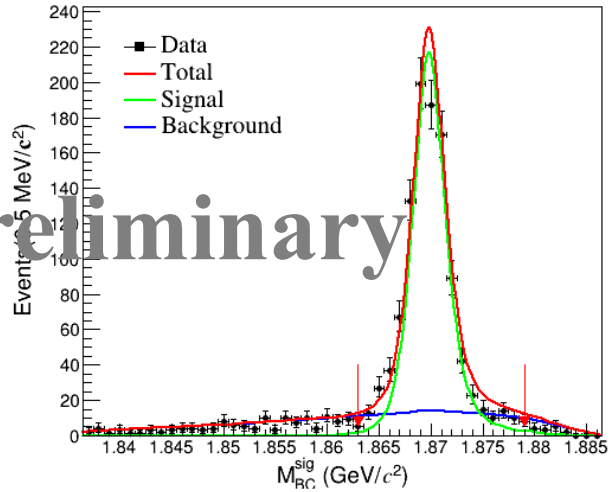
$D^0 \to a_0(980)^0 f_0(500)?$

$D^+ \to K^-\pi^+\pi^+\eta$衰变研究

成都理工大學 CHENGDU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

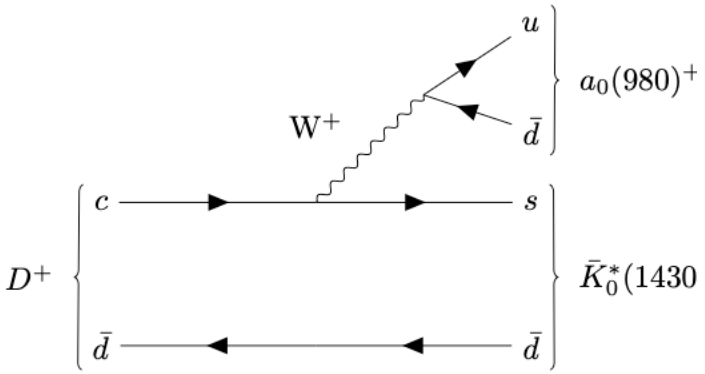
首次挑选到信号纯度为89%的947个信号事例用于振幅分析研究

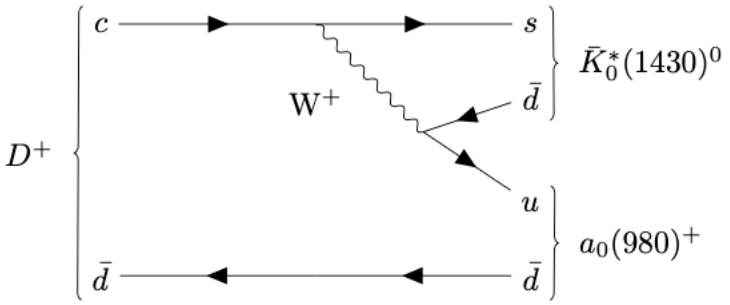




BESIII Preliminary

- 2D fit method: (x denote M_{BC}^{sig}, y denote M_{BC}^{tag})
- Sig: MC shape s(x, y) ⊗ Gauss(x, y)
- Bkg1: b(x)*Argus(y) + b(y)*Argus(x)
- Bkg2: Argus(x+y) × MC shape(x-y)
- Bkg3: Argus(x) × Argus(y)





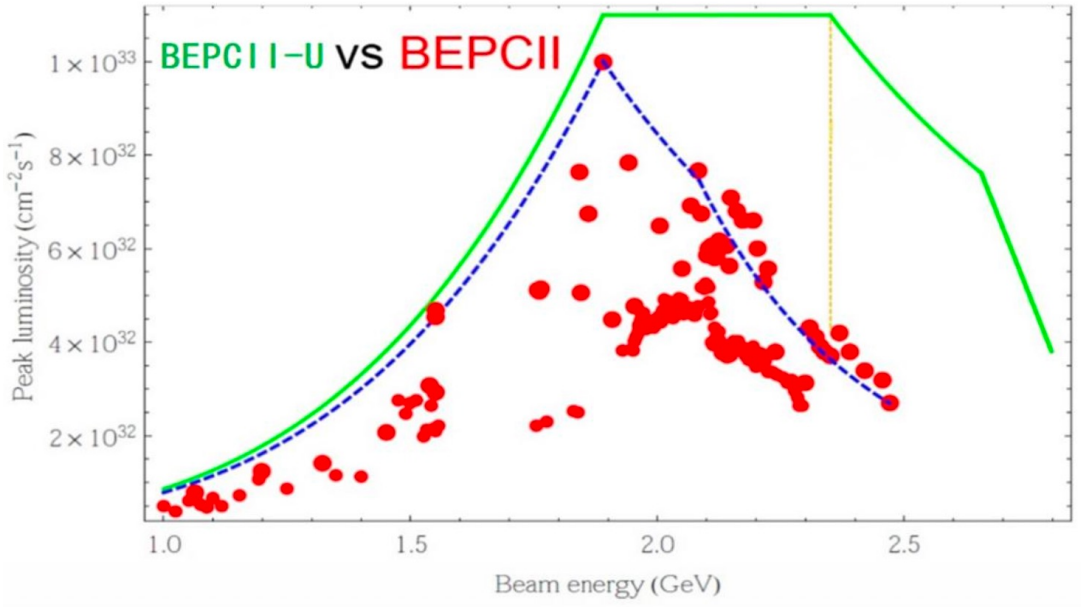
$D^+ \to K_0^*(1430)a_0(980)^+$?

总结展望

$D_s^+ \to \pi^+\pi^0\pi^0\eta$衰变研究首次发现了： $D_s^+ \to a_0(980)^+ f_0(500)$

$D^+ \to \pi^+\pi^0\pi^0\eta$和$D^+ \to \pi^+\pi^+\pi^-\eta$衰变研究首次发现了：$D^+ \to a_0(980)^+ f_0(500)$

更多数据



更多衰变道

$D^0 \to \pi^+\pi^-\pi^0\eta$衰变： $D^0 \to a_0(980)^0 f_0(500)$?

$D^+ \to K^-\pi^+\pi^+\eta$衰变： $D^+ \to K_0^*(1430)a_0(980)^+$?

$D^0 \to K_S^0 K_S^0\pi^+\pi^-$衰变： $D^0 \to a_0(980)^0 f_0(500)$?

……

感谢各位专家老师的倾听和指导！