厚德·博学·笃行·至善

山东理工大学 SHANDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

物理與光電工程學院 School of Physics and Optoelectronic Engineering

BESIII

BESIII上含粲强子末态过程截面的研究

杨雅鸽

山东理工大学

2026.10.18

粲强子物理研讨会 成都理工大学

Introduction

- 粲强子分类:

✓ D介子$(c\bar{u}, c\bar{d})$:

- D 、D^*
- $D_0^*(2300)$、$D_0^*(2400)$、$D_1(2420)$、$D_1(2430)^0$、$D_2^*(2460)$、$D_0(2550)^0$、$D_1^*(2600)^0$、$D^*(2640)^{\pm}$、$D_2(2740)^0$、$D_3^*(2750)$、$D_1^*(2760)^0$、$D_2^*(3000)^0$

✓ 奇异粲介子$(c\bar{s})$:

- D_s 、D_s^*
- P波奇异粲介子: $D_{s0}^*(2317)$、$D_{s1}(2460)$、$D_{s1}(2536)$、$D_{s2}^*(2573)$

- 粲强子伴随反粲强子产生:

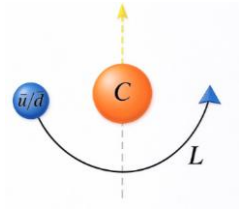
✓ $D\bar{D}$ 阈值在 3.77 GeV

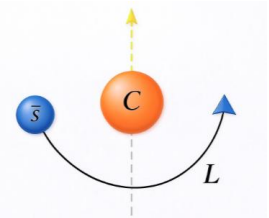
✓ $D^*\bar{D}$、$(D^*\bar{D}^*)$阈值需大于 3.88 (4.02) GeV

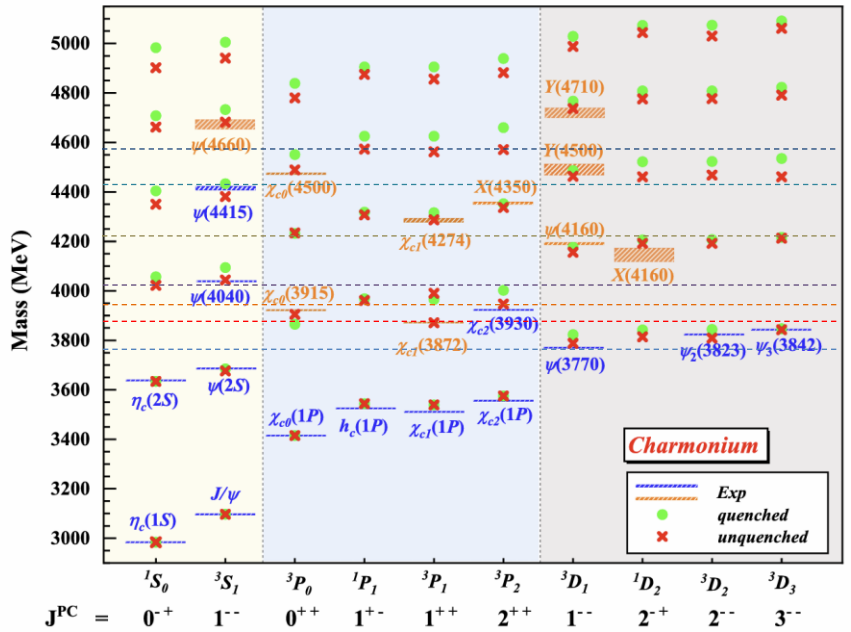
✓ $D_s^+D_s^-$阈值在 3.94 GeV

✓ $D_s^{*+}D_s^{*-}$阈值在4.22 GeV

✓ $D_s^+D_{sJ}^-$阈值需大于4.43 GeV; $D_s^{*+}D_{sJ}^-$阈值需大于 4.57 GeV



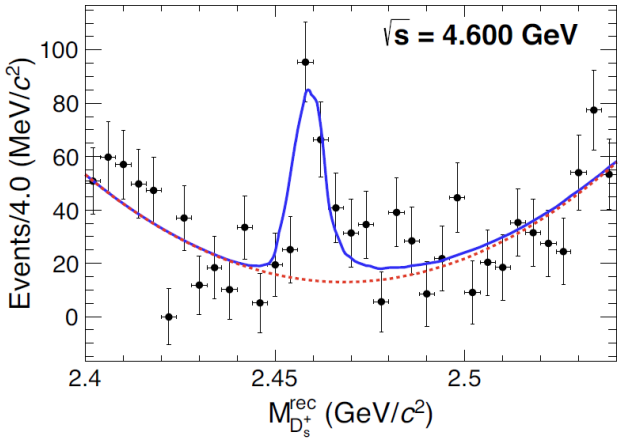


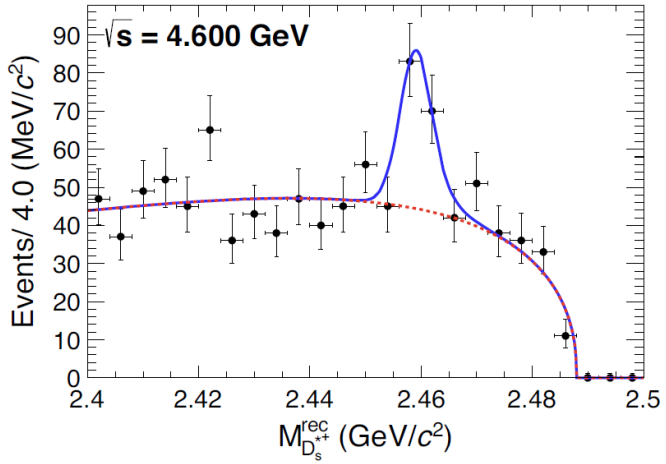


Recent Progresses at BESIII

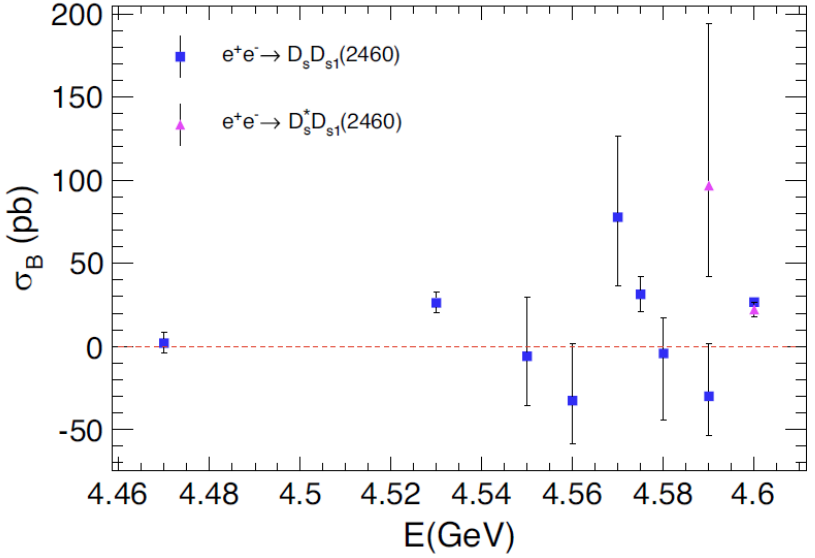
- $e^+e^- \to D_s^{(*)+} D_{s1}(2460)^- + c.c.$ Phys.Rev.D 101, 112008 (2020)
- $e^+e^- \to D_s^{*+} D_{sJ}^- + c.c.$ Phys.Rev.D 104,032012(2021)
- $e^+e^- \to D^{*+} D^{(*)-}$ JHEP 05, 155 (2022)
- $e^+e^- \to D_s^{*+} D_s^{*-}$ Phys.Rev.Lett. 131, 151903 (2023)
- $e^+e^- \to D\bar{D}$ Phys.Rev.Lett. 133, 081901 (2024)
- $e^+e^- \to D_s^+ D_s^-$ Phys.Rev.Lett. 133, 261902 (2024)
- $e^+e^- \to D_s^+ D_{s1}(2536)^- / D_s^+ D_{s2}^*(2573)^-$ Phys.Rev.Lett. 133, 171903 (2024)

$e^+e^- \to D_s^{(*)+} D_{s1}(2460)^- + c.c.$: Phys.Rev.D 101, 112008 (2020)

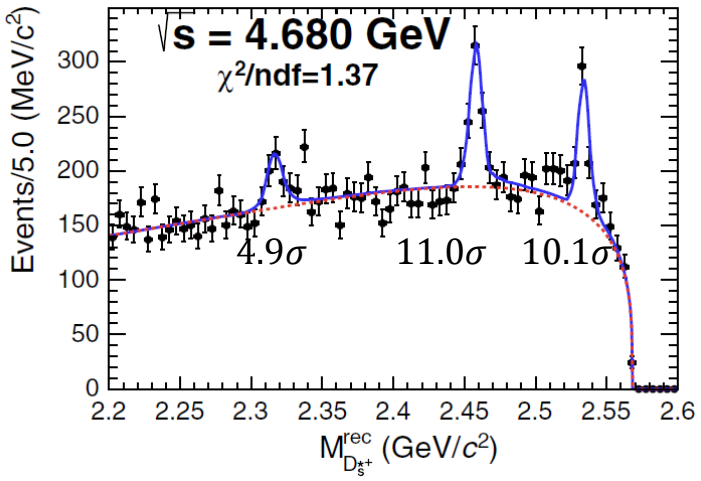


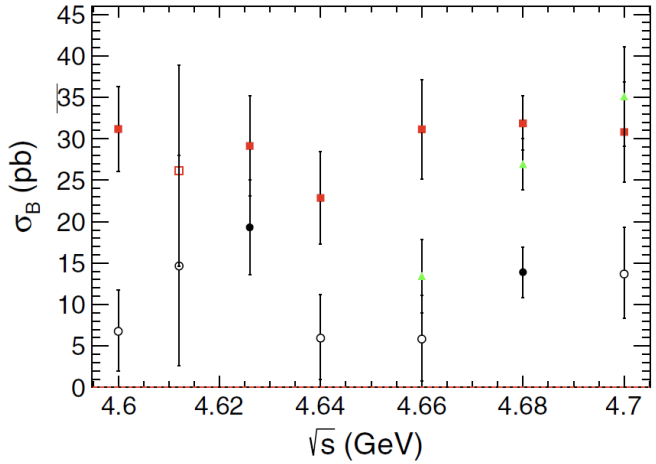


- $\sqrt{s}$: 4.467 ~ 4.600 GeV, $0.9fb^{-1}$
- $e^+e^- \to D_s^{*+} D_{s1}(2460)^- + \text{c.c.}$
- $e^+e^- \to D_s^{+} D_{s1}(2460)^- + \text{c.c.}$
- 重建D_s^{*+}: $D_s^{*+} \to \gamma D_s^+$
- 重建D_s^+: $D_s^+ \to K^+K^-\pi^+$
  - ✓ $D_s^+ \to \phi\pi^+ \sim (\phi \to K^+K^-)$
  - ✓ $D_s^+ \to \bar{K}^{*0}K^+ \sim (\bar{K}^{*0} \to K^-\pi^+)$
- D_{sJ}^-: 利用$D_s^{(*)+}$的反冲质量谱寻找信号
  - ✓ $D_{s1}(2460)^-$
- 分析方法：对每个能量点单独拟合
- 首次测量到该反应道的截面，$D_{s1}(2460)^-$显著性均大于3σ；截面随能量上升的趋势与阈值相空间一致，**未观测到明显的类粲偶素共振结构**



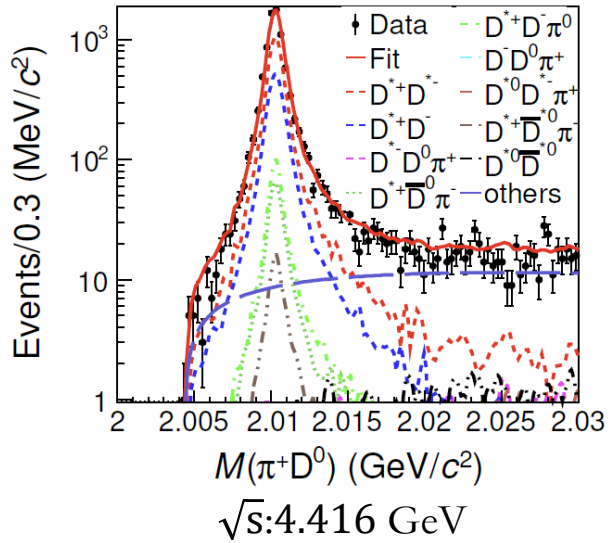
$e^+e^- \to D_s^{*+}D_{sJ}^- + c.c.$: Phys.Rev.D 104,032012(2021)



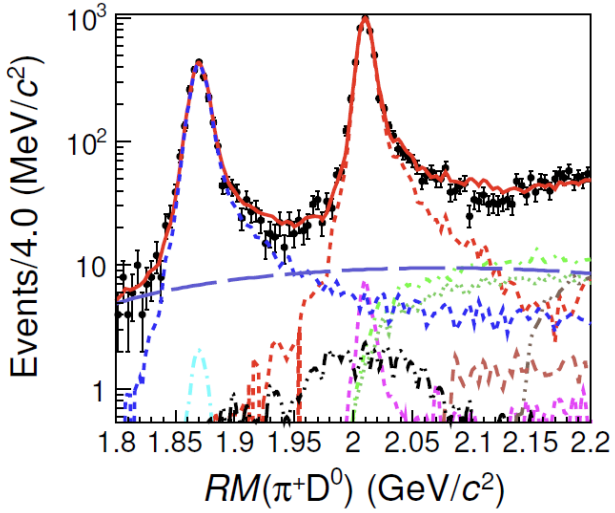


- $\sqrt{s}$: 4.600 ~ 4.700 GeV, $4.44fb^{-1}$
- 3组正负电子对撞过程
- ✓ $e^+e^- \to D_s^{*+}D_{s0}^*(2317)^- + \text{c.c.}$
- ✓ $e^+e^- \to D_s^{*+}D_{s1}(2460)^- + \text{c.c.}$
- ✓ $e^+e^- \to D_s^{*+}D_{s1}(2536)^- + \text{c.c.}$
- 重建D_s^{*+}: $D_s^{*+} \to \gamma D_s^+$
- 重建D_s^+: $D_s^+ \to K^+K^-\pi^+$
- ✓ $D_s^+ \to \phi\pi^+ \sim (\phi \to K^+K^-)$
- ✓ $D_s^+ \to \bar{K}^{*0}K^+ \sim (\bar{K}^{*0} \to K^-\pi^+)$
- D_{sJ}^-: 利用D_s^{*+}的反冲质量谱寻找信号
- ✓ $D_{s0}^*(2317), D_{s1}(2460), D_{s1}(2536)$
- 在不同质心系能量点观测到的全部信号统计显著性大于 3σ
- **测得的截面分布中未发现显著共振结构**

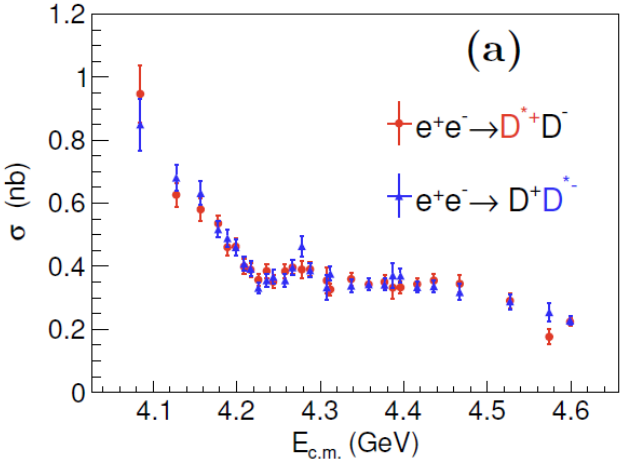
$e^+e^- \to D^{*+}D^{(*)-}$: JHEP 05, 155 (2022)

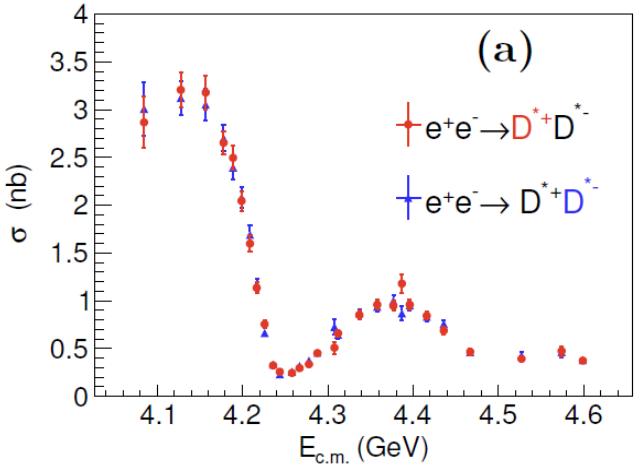


$\sqrt{s}$:4.416 GeV



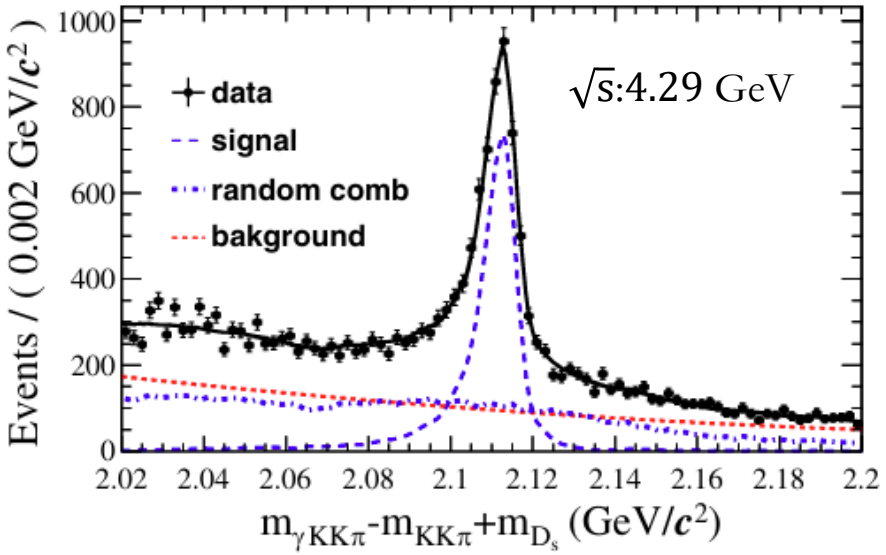
- $\sqrt{s}$: 4.085 ~ 4.600 GeV ， $15.7fb^{-1}$
- 研究过程$e^+e^- \to D^{*+}D^{*-}$, $e^+e^- \to D^{*+}D^-$
- 重建D^{*+}: $D^{*+} \to \pi^+D^0 \sim (D^0 \to K^-\pi^+)$
- ✓ $D^{(*)-}$: 利用D^{*+}的反冲质量寻找信号
- $M(\pi^+D^0)$ 与 $RM(\pi^+D^0)$, 采用二维极大似然拟合来提取信号事例数
- **观测到$\psi(4160)$传统粲偶素结构, 4.1–4.6 GeV 区间未发现额外窄共振信号**

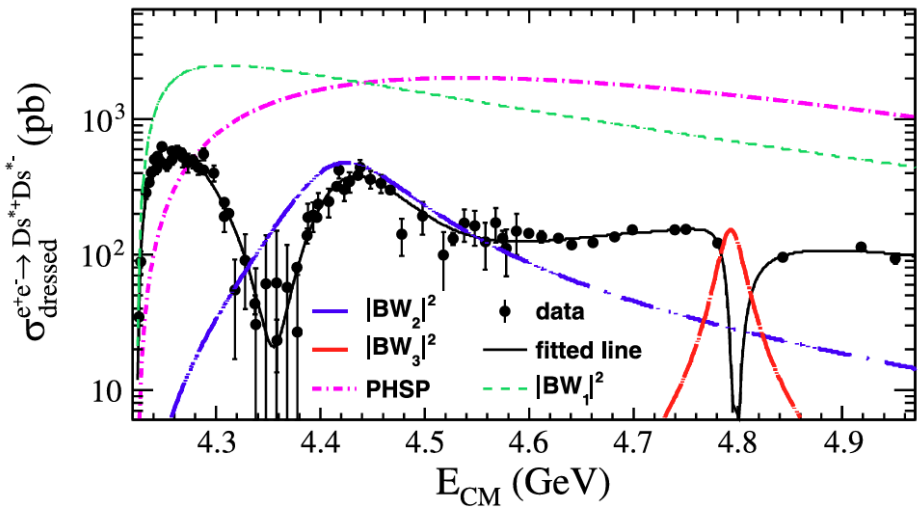




$e^+e^- \to D_s^{*+}D_s^{*-}$: Phys.Rev.Lett. 131, 151903 (2023)

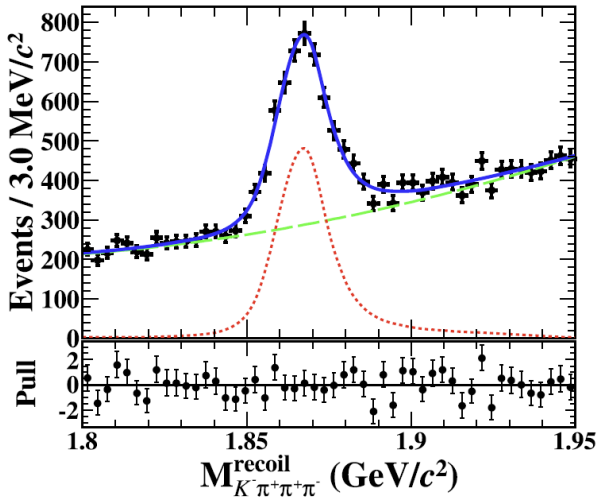
- $\sqrt{s}$: 4.226~ 4.95 GeV, $15.67 fb^{-1}$
- 重建$D_s^{*+} \to \gamma D_s^+ \sim (D_s^+ \to K^+K^-\pi^+)$
- D_s^{*-}由D_s^{*+}的反冲质量得到
- **在截面上观测到两个清晰共振结构**
- ✓ 对应$\psi(4160)$、$\psi(4415)$
- 加入第三个 BW 项后, 4.79 GeV 附近的结构拟合优度明显提升, 统计显著性超过 5.9σ



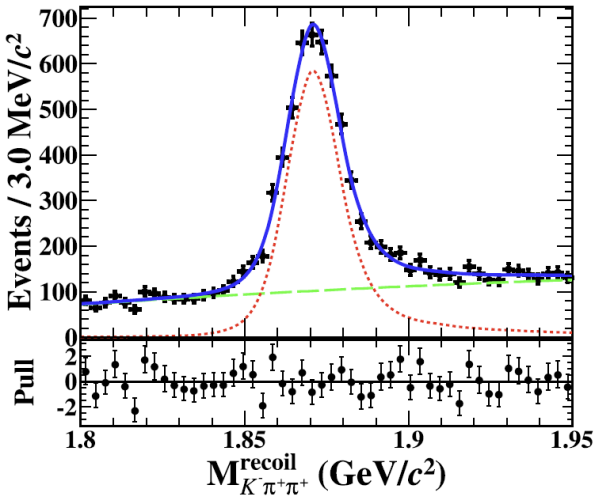


(a)

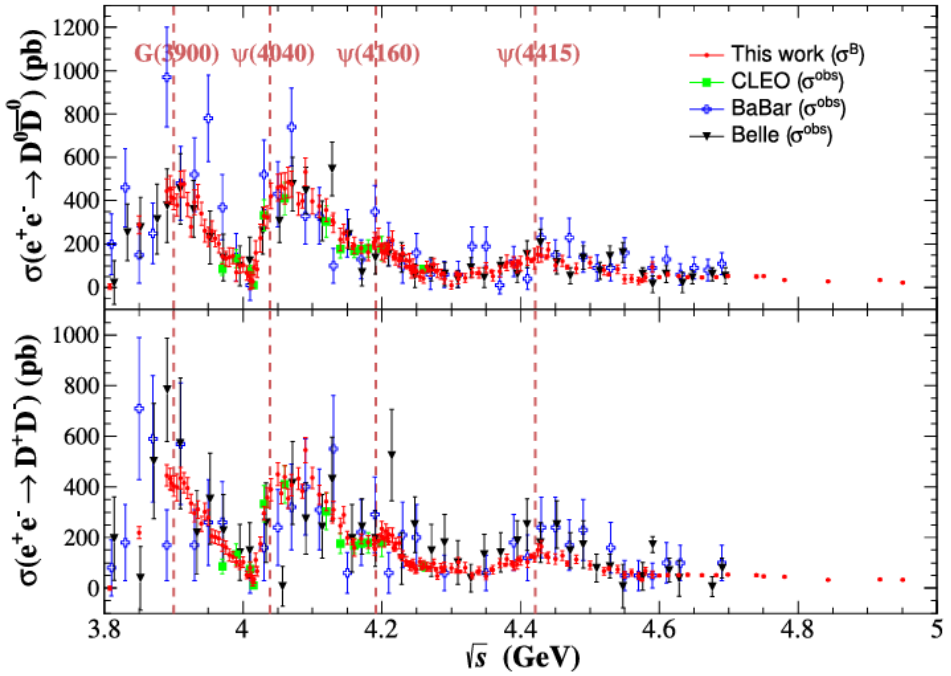
$e^+e^- \to D\bar{D}$: Phys.Rev. Lett. 133, 081901 (2024)



$\sqrt{s}$:4.1192 GeV

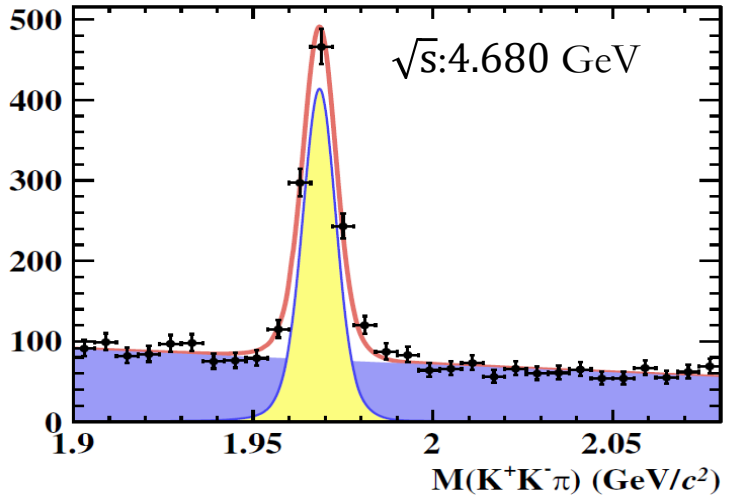


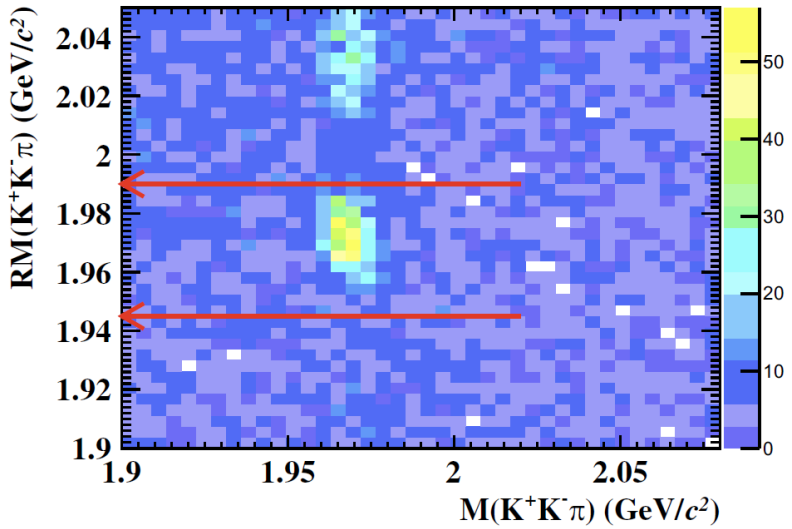
- $\sqrt{s}$: 3.80~4.95 GeV, $20fb^{-1}$
- 研究过程:
  - ✓ $e^+e^- \to D^0\bar{D}^0$
  - ✓ $e^+e^- \to D^+D^-$
- 重建采用单标记方法
  - ✓ $D^0 \to K^-\pi^+\pi^+\pi^-$
  - ✓ $D^+ \to K^-\pi^+\pi^+$
- $\bar{D}$由反冲质量M_D^{recoil} 得到



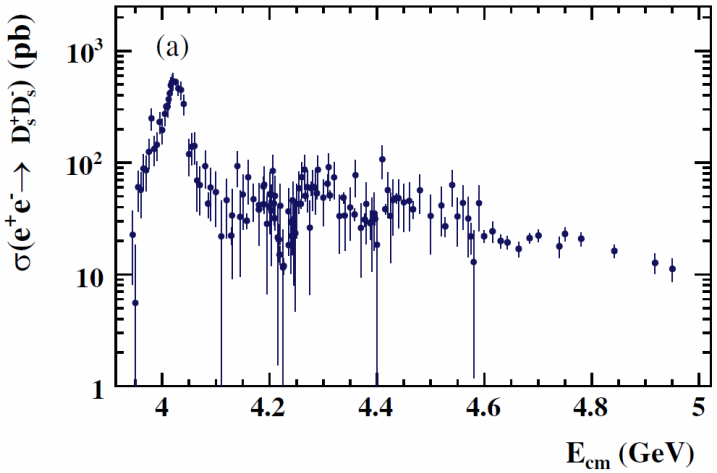
- 在截面谱上观测到多个明显峰
  - ✓ 对应 $G(3900)$、$\psi(4040)$、$\psi(4160)$、$\psi(4415)$
  - ✓ 3.9 GeV 附近的结构存在多种理论猜想, 需要耦合道 K 矩阵分析进一步验证

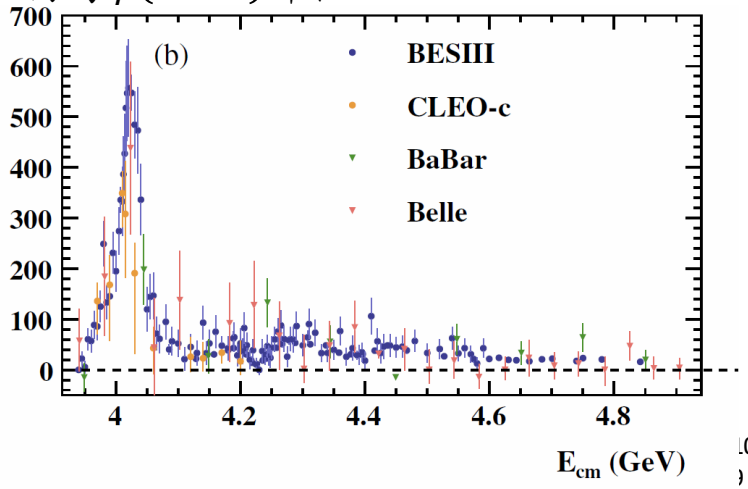
$e^+e^- \to D_s^+D_s^-$: Phys.Rev. Lett. 133, 261902 (2024)



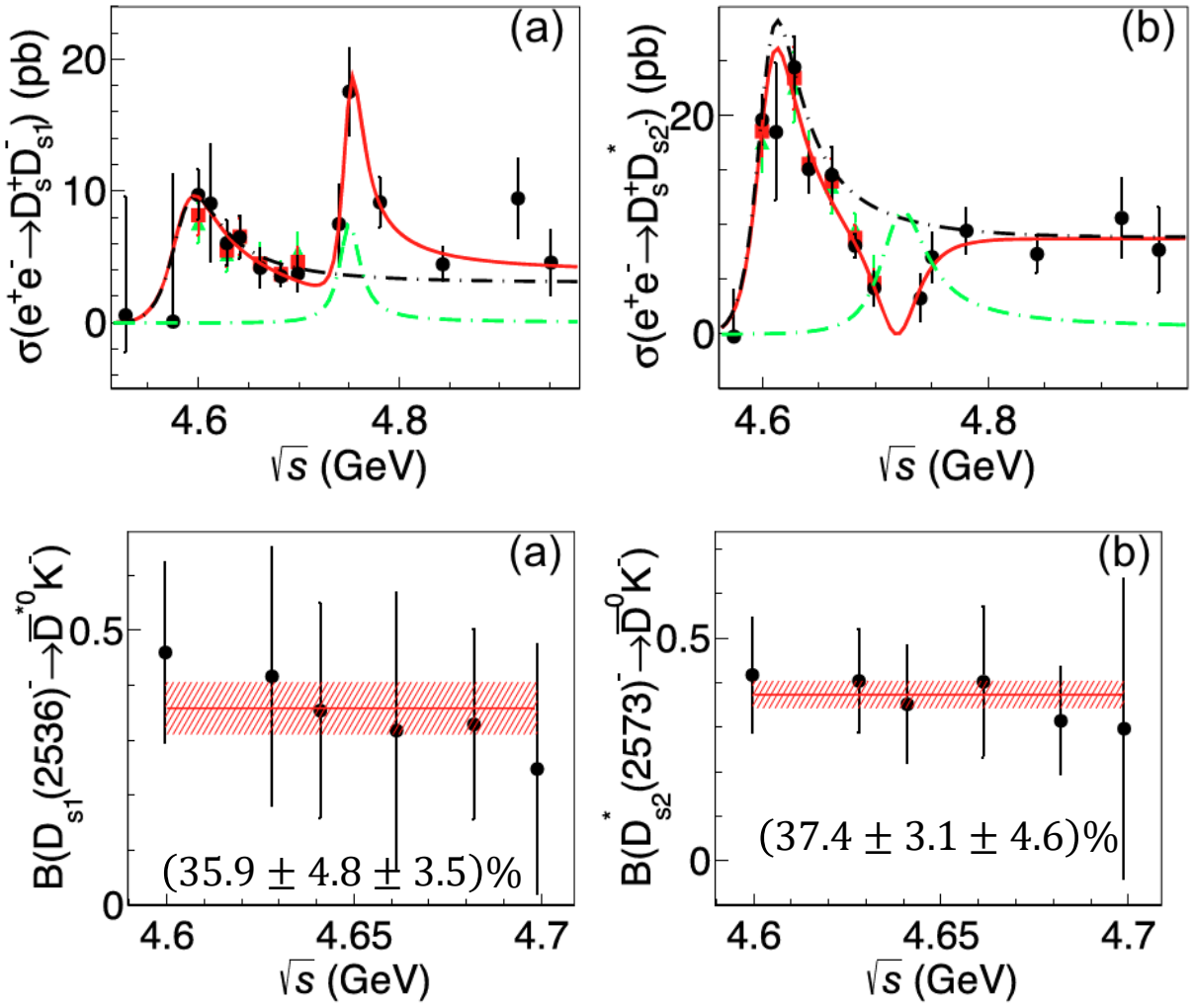


- $\sqrt{s}$: 3.94 ~ 4.95 GeV, $22.9fb^{-1}$
- 重建D_s^-: $D_s^- \to K^+K^-\pi^-$
- ✓ $D_s^- \to \phi\pi^- \sim (\phi \to K^+K^-)$
- ✓ $D_s^- \to \bar{K}^{*0}K^- \sim (\bar{K}^{*0} \to K^-\pi^+)$
- D_s^+由D_s^-的反冲质量得到
- 截面线性观测到多处特征结构
- 测得$\psi(4040)$宽度40 ± 4 MeV小于 PDG 给出的数值
- 在$D_s^{*+}D_s^{*-}$阈值附近观测到谷结构与$\psi(4230)$峰位





$e^+e^- \to D_s^+ D_{s1}(2536)^-/D_s^+ D_{s2}^*(2573)^-$ Phys.Rev.Lett. 133, 171903 (2024)



- $\sqrt{s}$: 4.530 ~ 4.946 GeV, $6.6 fb^{-1}$
- $e^+e^- \to D_s^+ D_{s1}(2536)^- + \text{c.c.}$
- $e^+e^- \to D_s^+ D_{s2}^*(2573)^- + \text{c.c.}$
- 重建D_s^+: $D_s^+ \to K^+K^-\pi^+$
  - ✓ $D_s^+ \to \phi\pi^+ \sim (\phi \to K^+K^-)$
  - ✓ $D_s^+ \to \bar{K}^{*0}K^+ \sim (\bar{K}^{*0} \to K^-\pi^+)$
- D_{sJ}^- : 利用D_s^+的反冲质量谱寻找信号
  - ✓ $D_{s1}(2536)^-$、 $D_{s2}^*(2573)^-$
- 两个道均观测到**4.6 GeV 附近共振结构**
- 同时观测到 4.75 GeV 附近峰信号的证据, 该结构可能是此前发现的 Y(4710)或Y(4790)

Summary

- 已完成测量的开粲道:

✓ $e^+e^- \to D\bar{D}$ (3.80 ~ 4.95 GeV)、$e^+e^- \to D^*\bar{D}^*/D^*\bar{D}$ (4.085 ~ 4.600 GeV)

✓ $e^+e^- \to D_s^{*+}D_{sJ}^-$ (4.600 ~ 4.700 GeV)、$e^+e^- \to D_s^+D_{sJ}^-$(4.530 ~ 4.946 GeV)

✓ $e^+e^- \to D_s^+D_s^-$ (3.94 ~ 4.95 GeV) 、 $e^+e^- \to D_s^{*+}D_s^{*-}$(4.226~ 4.95 GeV)

- 不同粲介子的实验测量选择:

✓ D 介子: $e^+e^- \to D^0\bar{D}^0/D^+D^-$过程, **截面峰值在3.9和4.1 GeV附近**

✓ D^*、D两体产生: $e^+e^- \to D^{*+}D^{*-}/D^{*+}D^-$过程, **截面峰值在4.16 GeV附近**

✓ D_s奇异介子: $e^+e^- \to D_s^+D_s^-$过程, **截面峰值在4.04 GeV附近**

✓ $D_{s0}(2317)$、$D_{s1}(2460)$: $e^+e^- \to D_s^{*+}D_{sJ}^-$过程, 并未观察到明显结构, 可开展4.600 GeV以上截面测量

✓ $D_{s1}(2536)$、$D_{s2}^*(2573)$: $e^+e^- \to D_s^+D_{sJ}^-$过程, **截面峰值在4.74和4.6 GeV附近**

✓ D_s^*介子: $e^+e^- \to D_s^{*+}D_s^{*-}$过程, **截面峰值在4.2和4.4 GeV附近**

- 展望:

✓ 以上有部分两体过程截面, 在4.600 GeV以上没有进行测量, 这些两体过程产生机制未知

✓ 4.6812 GeV正在取数, 对于P波奇异粲介子的研究来讲是一个新的机遇

Thanks for your listening