

BESIII 研究进展

朱凯（中科院高能所）

中国科学院粒子物理前沿 卓越创新中心第六次会议

2018年11月22日，北京

纲要

- BESIII 简介及现状概述
- BESIII 2018年物理成果节选
- BESIII 的未来

北京正负电子对撞机 (BEPC)

beam energy: 1.0 – 2.3 GeV

LINAC

e^+

e^-

BESIII
detector

τ -charm Physics

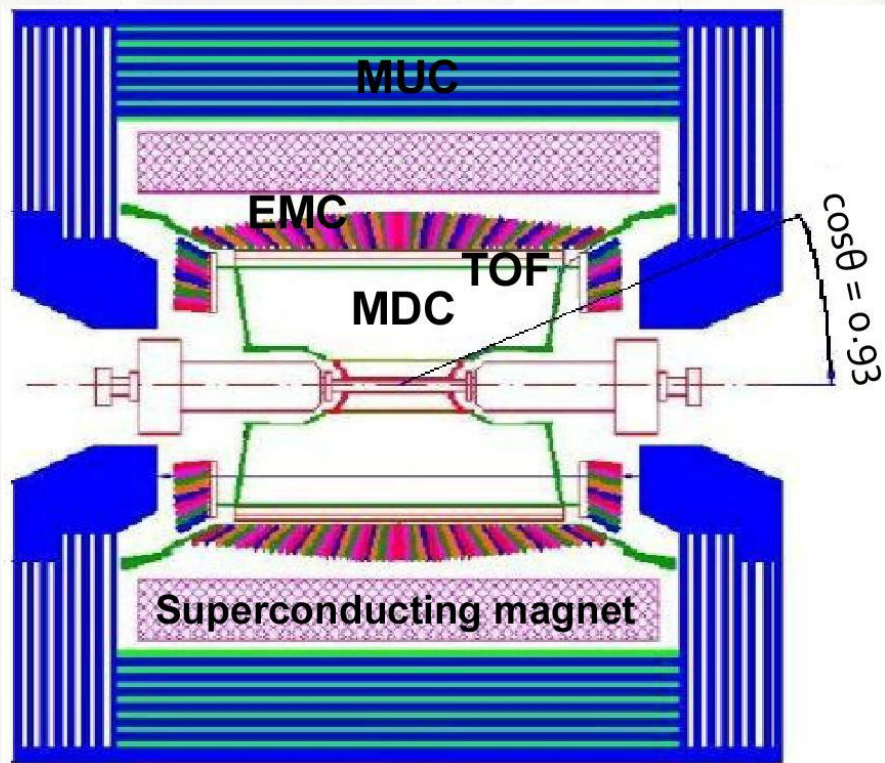
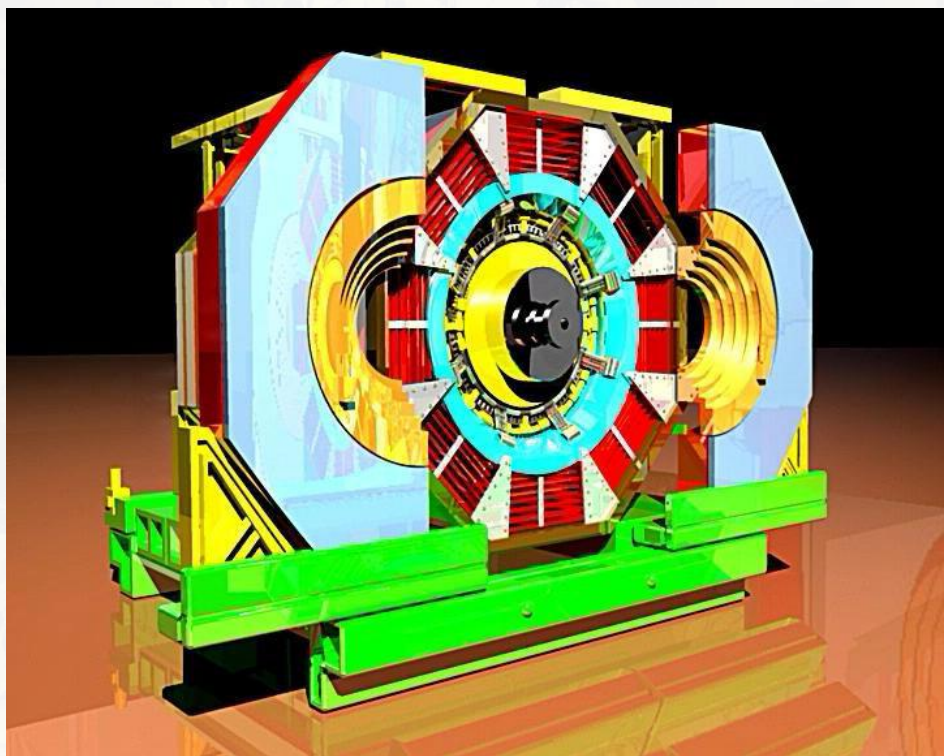
2004: BEPCII 开始升级,
BESIII 建造

2009-现在:

BESIII 物理取数

- 1989-2004 (BEPC) :
峰值亮度: $1.0 \times 10^{31} / \text{cm}^2 \text{s}$
- 2009-现在 (BEPCII) :
峰值亮度: $1.0 \times 10^{33} / \text{cm}^2 \text{s}$ (2016)

北京谱仪探测器 (BESIII)



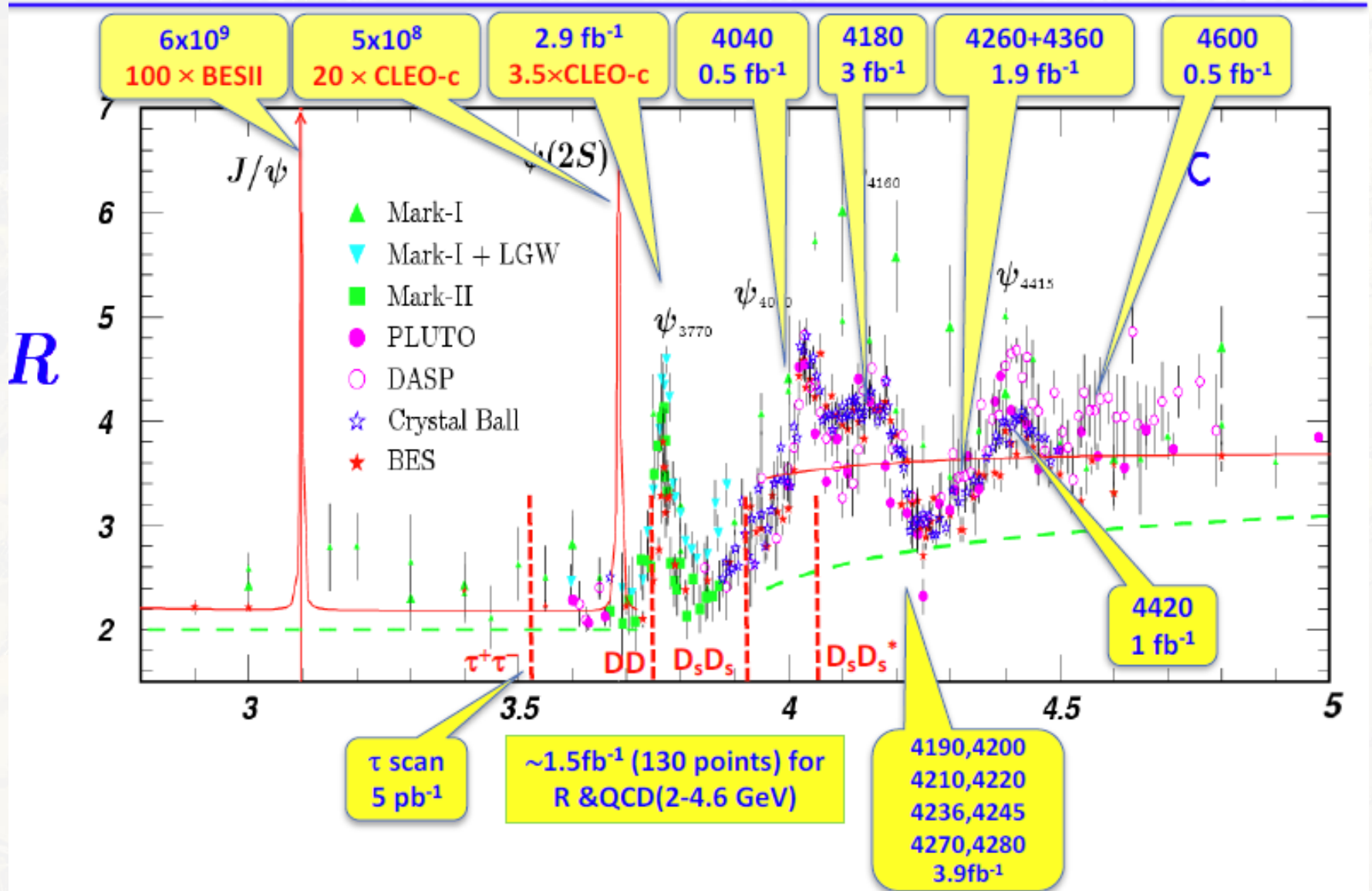
2015年10月，ETOF 升级为MRPC，分辨由120 ps 提升到 60 ps。
MDC 内室即将替换为 CGEM。

BESIII 合作组

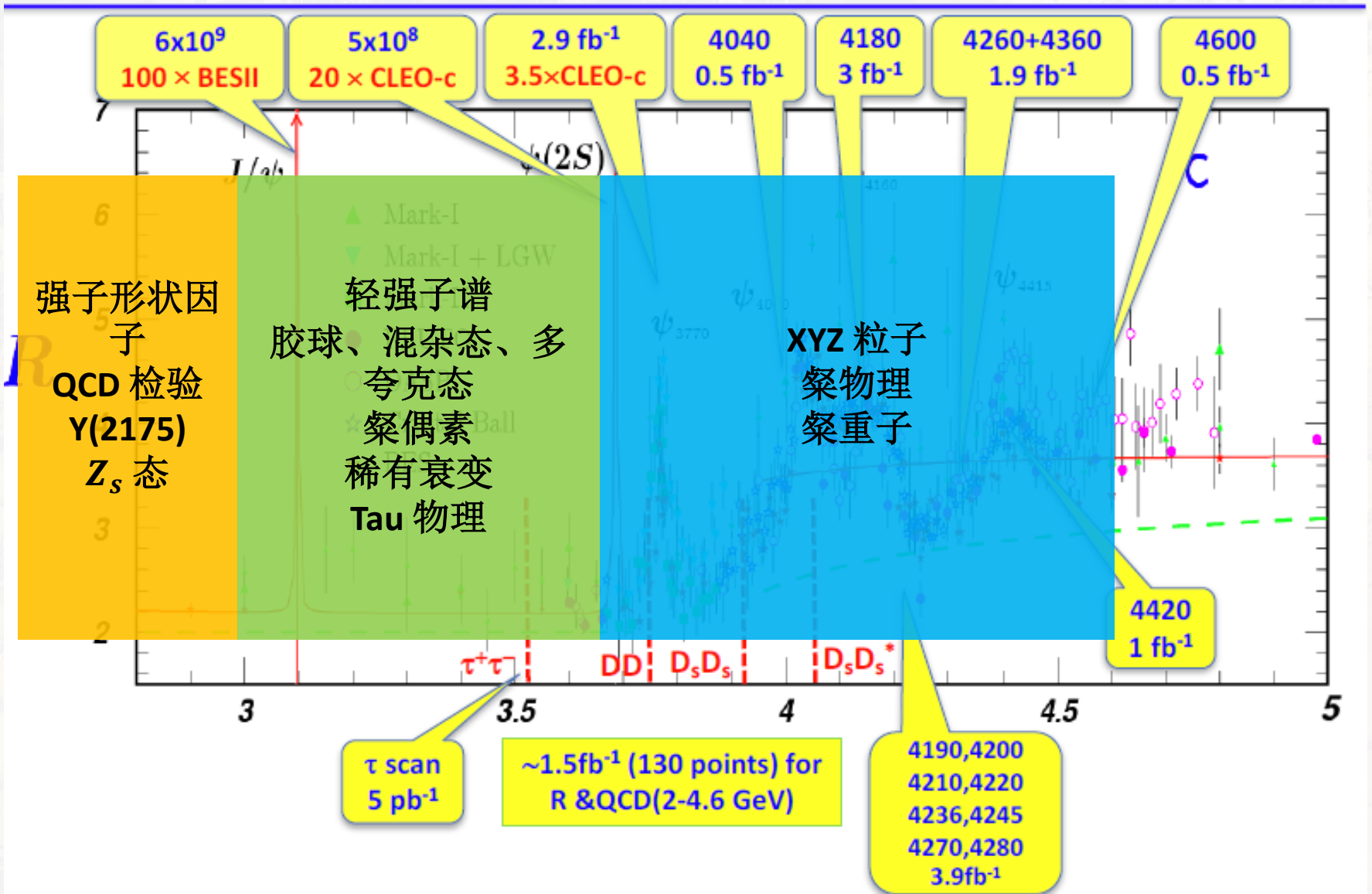


约 450 名成员，来自 18 个国家的 64 个机构
数据采集、存储、刻度、重建、大部分的物理分析由来自中国的合作组成员完成

τ - 粲能区世界上最大的直接对撞样本



丰富的物理



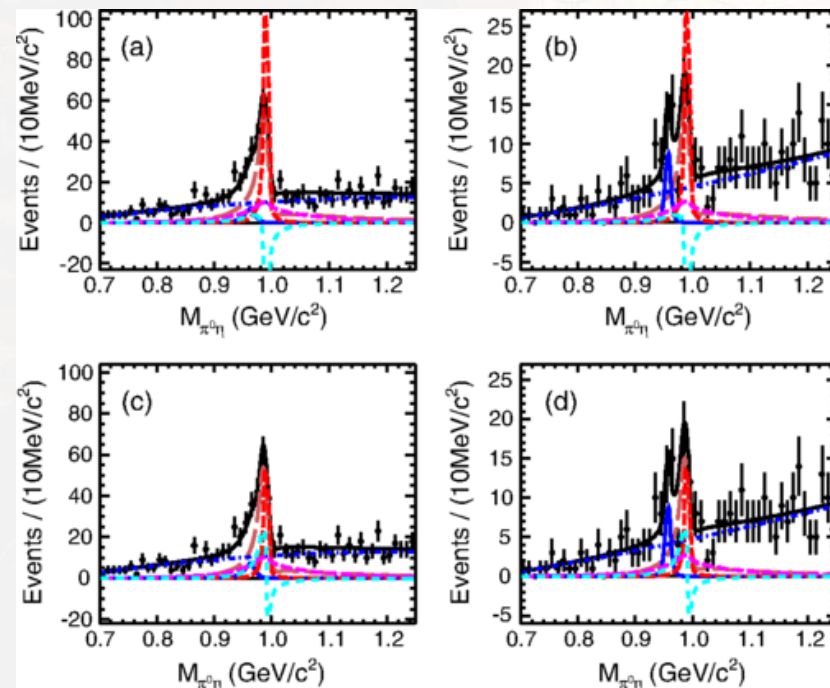
$a_0(980) - f_0(980)$ 的混合研究更新

PRL 121 022001 (2018)

- BESIII曾利用首批 J/ψ 和 ψ' 数据观测到 3σ 信号，测定了混合强度上限 [PR D83 032003(2011)]
- 利用更高统计量的数据 ($1.31 \times 10^9 J/\psi$ 和 $4.48 \times 10^8 \psi(2S)$) 观测到 5σ 以上信号 [PRL 121 022001(2018), **Editor's suggestion**]
- 基态标量粒子 $a_0(980)$ 和 $f_0(980)$ 的性质存在大量争议，是强子谱学的长期关注的问题
- $a_0(980) - f_0(980)$ 混合对理解 $a_0(980)$ 和 $f_0(980)$ 性质有重要意义，为标量胶球的混和的理论模型提供输入

$$J/\psi \rightarrow \phi f_0(980) \rightarrow \phi a_0^0(980) \rightarrow \phi \eta \pi^0$$

$$\chi_{c1} \rightarrow a_0^0(980) \pi^0 \rightarrow f_0(980) \pi^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$$



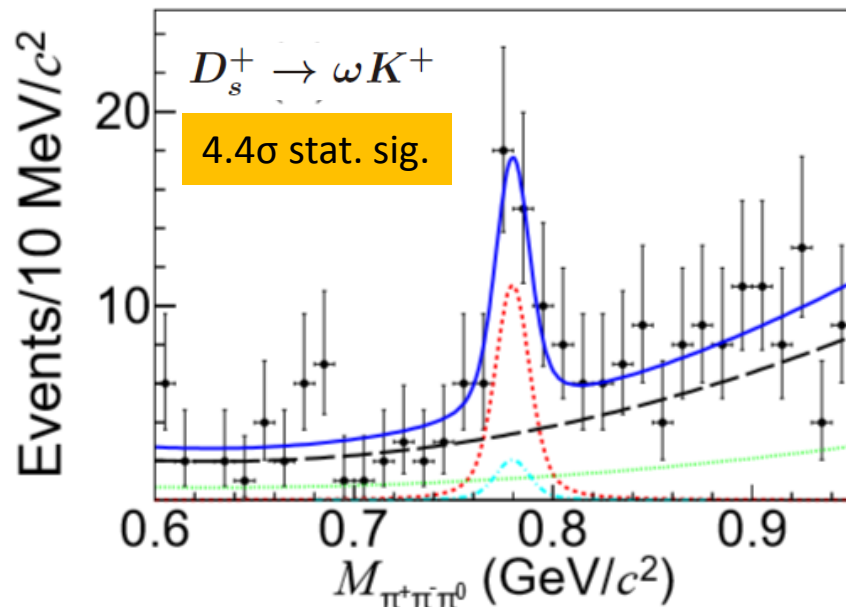
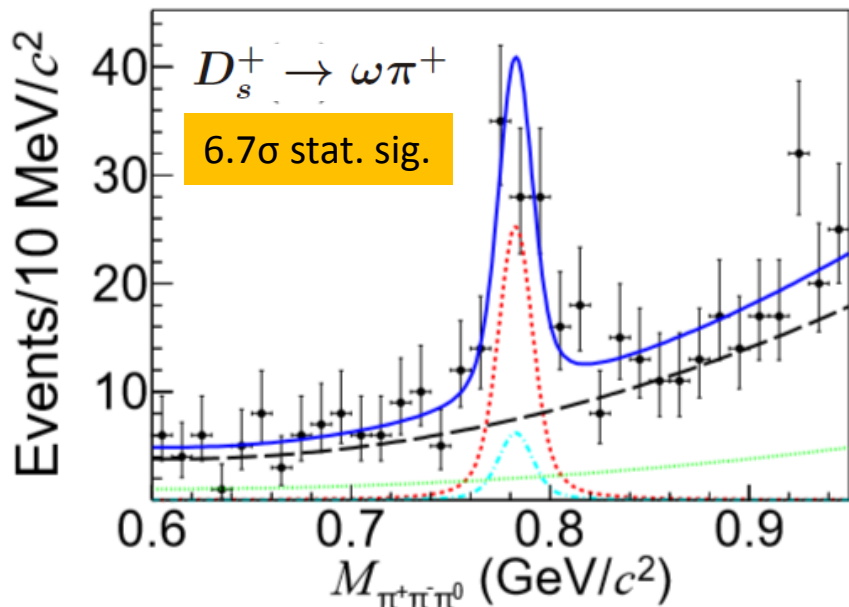
观测到 $D_s^+ \rightarrow \omega\pi^+$ 的衰变模式及 $D_s^+ \rightarrow \omega K^+$ 的迹象

Tag modes:

投稿至 PRL, <https://arxiv.org/abs/1811.00392>

$D_s^- \rightarrow K_S^0 K^-$, $D_s^- \rightarrow K^+ K^- \pi^-$

利用 BESIII 在 4.18 GeV 获取 $3.19 fb^{-1}$ 数据



Results:

$$\mathcal{B}(D_s^+ \rightarrow \omega\pi^+) = (1.77 \pm 0.32_{\text{stat.}} \pm 0.11_{\text{sys.}}) \times 10^{-3},$$
$$\mathcal{B}(D_s^+ \rightarrow \omega K^+) = (0.87 \pm 0.24_{\text{stat.}} \pm 0.07_{\text{sys.}}) \times 10^{-3}.$$

- 对 $D_s^+ \rightarrow \omega\pi^+$ 的测量为确定衰变过程中非微扰的 W-湮灭振幅提供了非常重要的信息。
- 对 $D_s^+ \rightarrow \omega K^+$ 的测量暗示了直接的 CP 不对称大约在 -0.6×10^{-3} 的量级 (PRD89, 054006)。

D 介子半轻衰变测量及轻子普适性检验

利用 BESIII 在 3.773 GeV 获取的 $2.93 fb^{-1}$ 数据

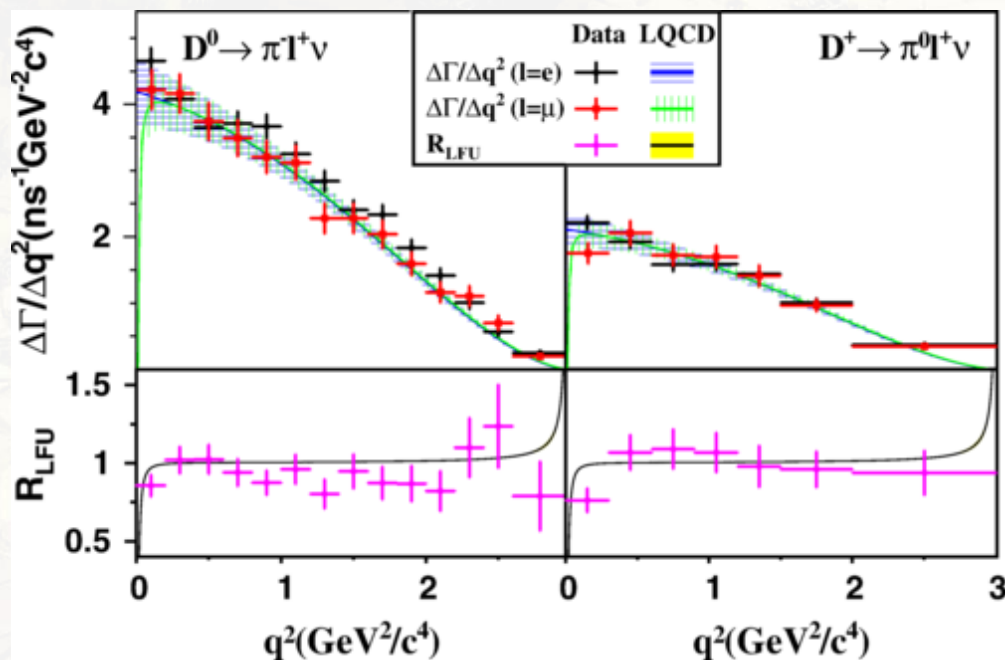
PRL121,171803(2018)

精度明显提升

$$B(D^0 \rightarrow \pi^- \mu^+ \nu_\mu) = (0.272 \pm 0.008_{stat} \pm 0.006_{sys}) \times 10^{-2}$$

首次测量

$$B(D^+ \rightarrow \pi^0 \mu^+ \nu_\mu) = (0.350 \pm 0.011_{stat} \pm 0.010_{sys}) \times 10^{-2}$$



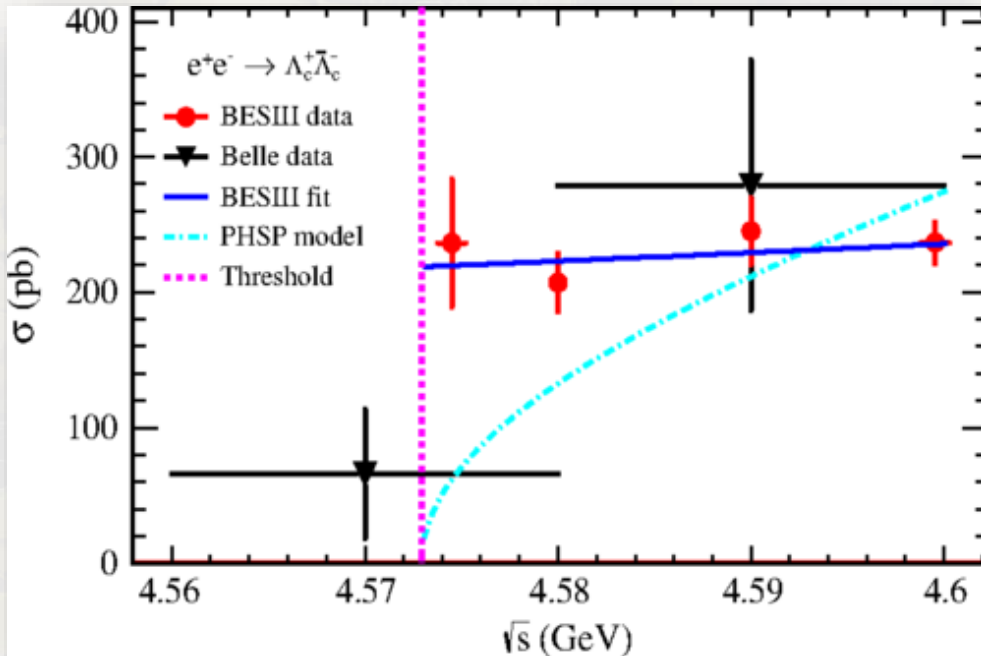
$$\mathcal{R}^+ \equiv \mathcal{B}_{D^+ \rightarrow \pi^0 \mu^+ \nu_\mu} / \mathcal{B}_{D^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e} = 0.964 \pm 0.037_{stat} \pm 0.026_{syst}$$

$$\mathcal{R}^0 \equiv \mathcal{B}_{D^0 \rightarrow \pi^- \mu^+ \nu_\mu} / \mathcal{B}_{D^0 \rightarrow \pi^- e^+ \nu_e} = 0.922 \pm 0.030_{stat} \pm 0.022_{syst}$$

$e^+e^- \rightarrow \Lambda_c^+ \bar{\Lambda}_c^-$ 近阈截面的精细测量

——研究 Λ_c 的产生机制与结构

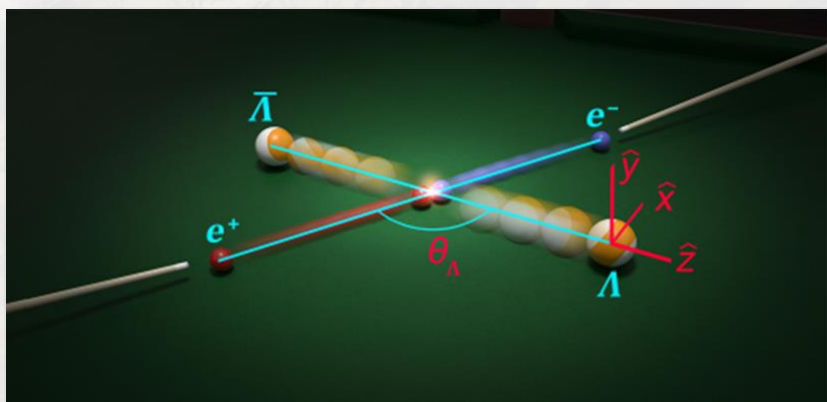
Phys. Rev. Lett. 120, 132001 (2018)



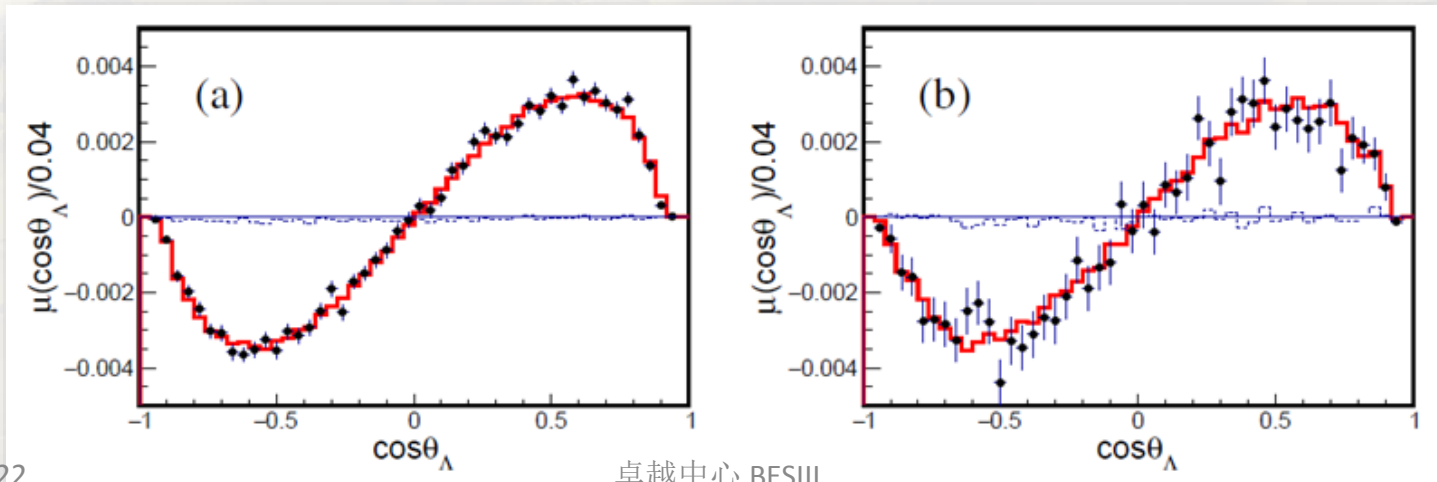
- 明显非零的近阈截面
 - ✓ BESIII的测量是迄今为止世界最高精度测量
 - ✓ 与 Belle 数据的趋势不同
 - ✓ 与相空间模型的预言不符
- 首次测量了电与磁形状因子的之比 $|G_E/G_M|$
 - $1.14 \pm 0.14 \pm 0.07$ @4.58 GeV
 - $1.23 \pm 0.05 \pm 0.03$ @4.60 GeV

首次观测到 $J/\psi \rightarrow \Lambda\bar{\Lambda}$ 过程中的横向极化

投稿至 *Nature Physics*, <https://arxiv.org/abs/1808.08917>



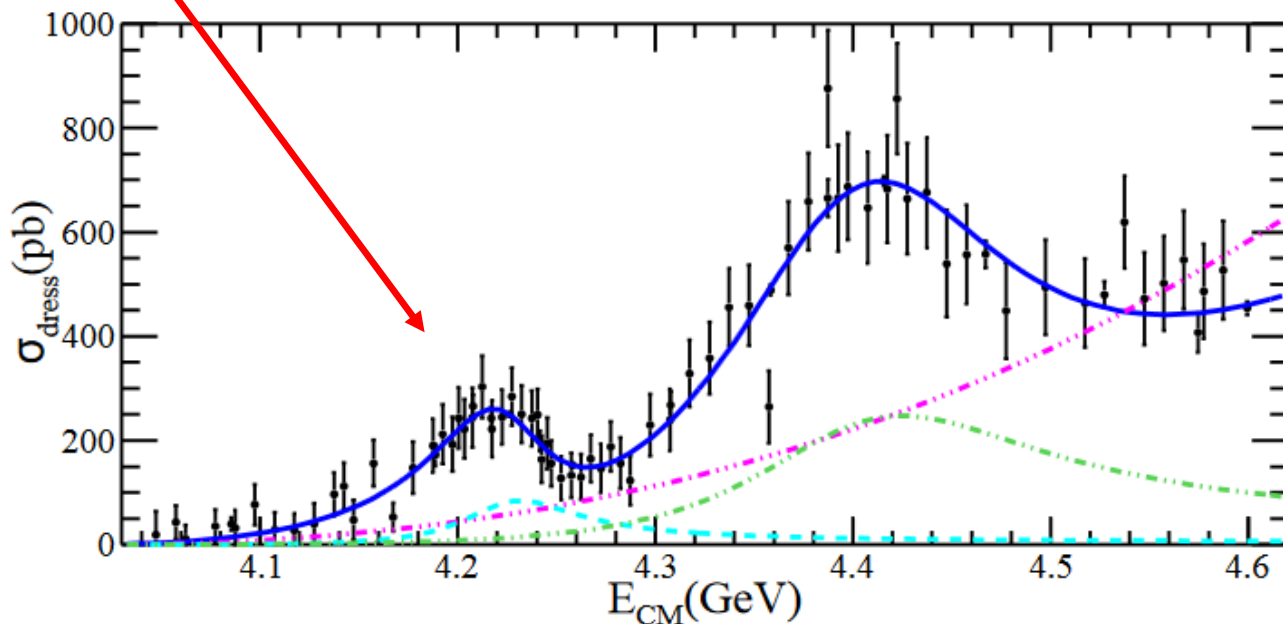
- 研究 J/ψ 衰变到 $\Lambda\bar{\Lambda}$ 重子对这一物理过程，采用完整的衰变链角分布公式联合拟合。
- BESIII 首次观测到了此过程中的横向极化效应，并确定极化的相位为 $(42 \pm 0.6 \pm 0.5)^\circ$ 。
- 利用这种极化效应还可以同时测量正反 Λ 的非对称性。新测量得到的 $\Lambda \rightarrow p\pi^-$ 的非对称性参数是 $0.750 \pm 0.009 \pm 0.004$ ，比以前的世界平均值要高 $(17 \pm 3)\%$ 。



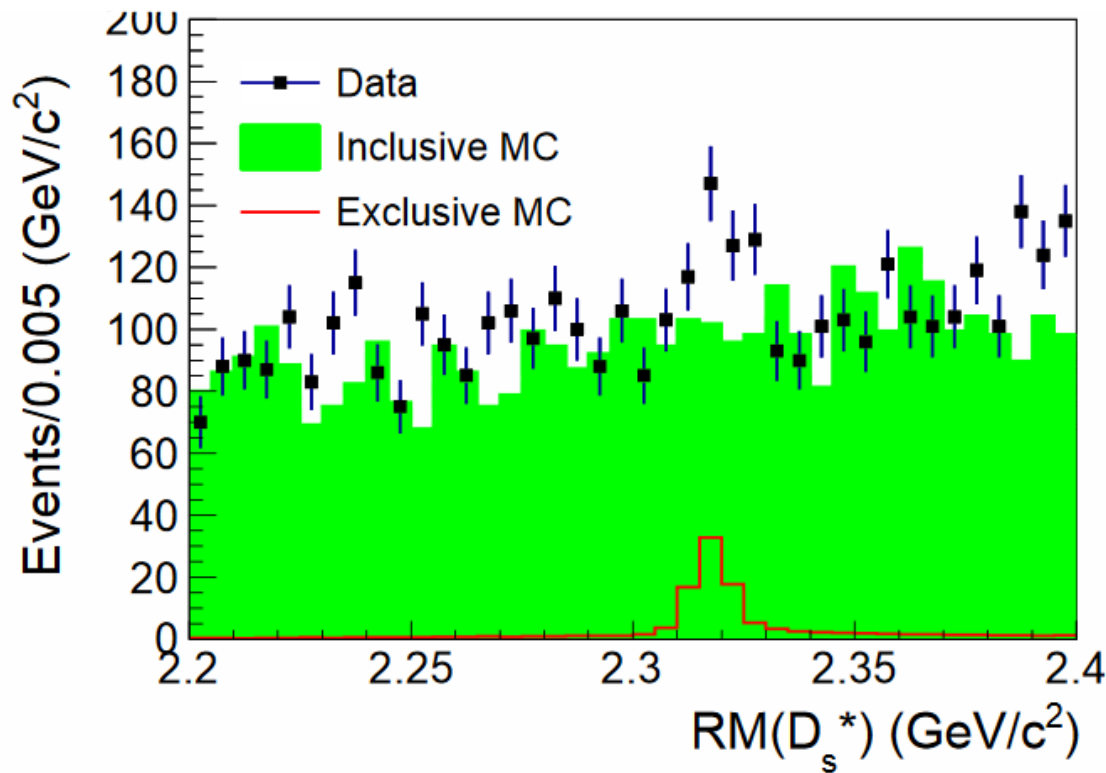
在质心能量为 4.05-4.6 GeV 的 $e^+e^- \rightarrow \pi^+ D^0 D^{*-}$ 反应截面中观测到Y(4220)

投稿至 PRL, <https://arxiv.org/abs/1808.02847>

R_1 , which are $M = (4228.6 \pm 4.1 \pm 5.9) \text{ MeV}/c^2$ and $\Gamma = (77.1 \pm 6.8 \pm 6.9) \text{ MeV}$.



- 首次在显粲过程中观测到Y(4220)
- 测量得到的质量与在隐粲过程中得到的结果相一致



$D_{s0}^*(2317)^\pm \rightarrow \pi^0 D_s^\pm$
绝对分支比测量

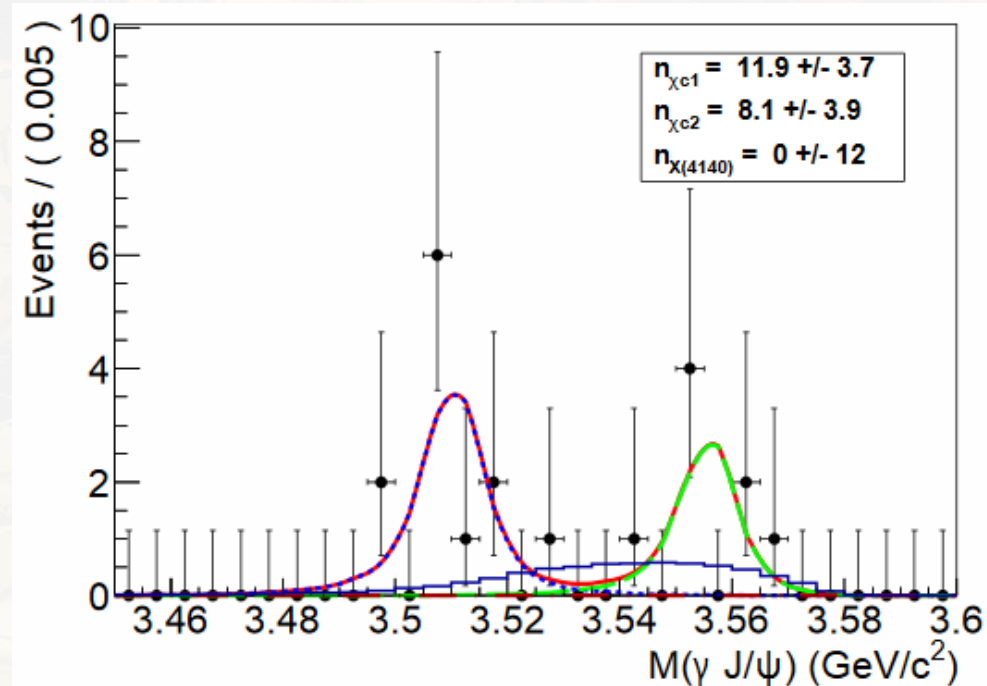
[PRD 97, 051103\(R\) \(2018\)](#)

- $D_{s0}^*(2317)^-$: 非常窄, 恰好处在 DK 的质量阈下, 是一个非常好的 DK 分子态、四夸克态、或者它们的混杂态的候选者。
- BESIII 首次观测到了 $e^+e^- \rightarrow D_s^{*+} D_{s0}^*(2317)^- + c.c.$
- 首次测量了 $D_{s0}^*(2317)^- \rightarrow \pi^0 D_s^-$ 的绝对分支比(100%), 说明 $D_{s0}^*(2317)^-$ 辐射衰变到 γD_s^{*-} 的分支比得小, 与它的夸克组分是 $\bar{c}s$ 的假说相矛盾。

首次在 $\sqrt{s} = 4.6$ GeV 观测到
过程 $e^+e^- \rightarrow \phi\chi_{1,2}$

[PRD 97, 032008 \(2018\)](#)

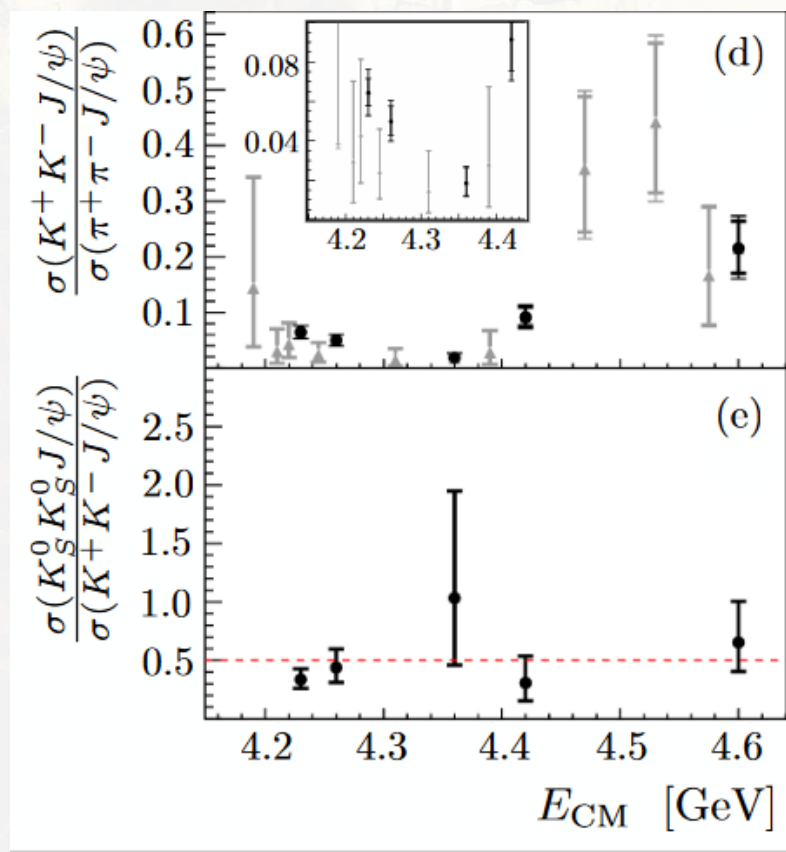
$(4.2_{-1.0}^{+1.7} \pm 0.3)$ and $(6.7_{-1.7}^{+3.4} \pm 0.5)$ pb.



- 没有明显的 $e^+e^- \rightarrow \phi\chi_0$ 或者 $e^+e^- \rightarrow \gamma X(4140)$ 的信号迹象。

在 \sqrt{s} 从 4.189 到 4.600 GeV
观测到过程 $e^+e^- \rightarrow K\bar{K}J/\psi$

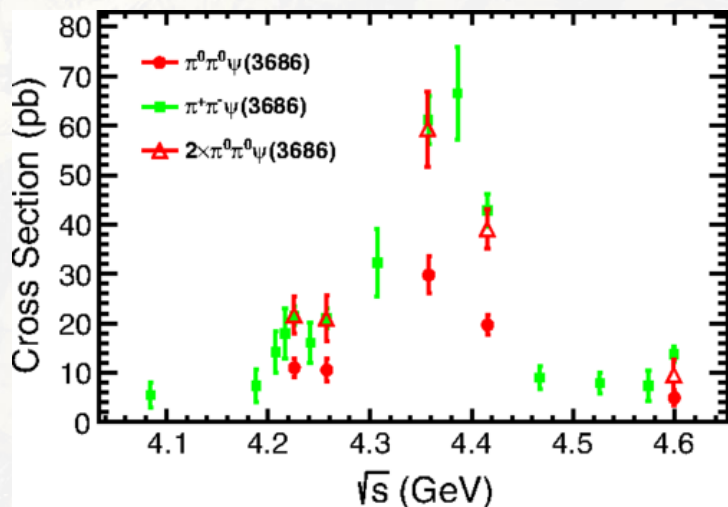
[PRD 97, 071101\(R\) \(2018\)](#)



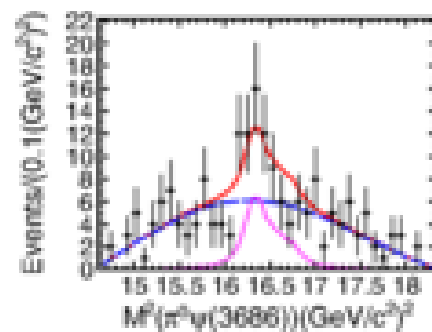
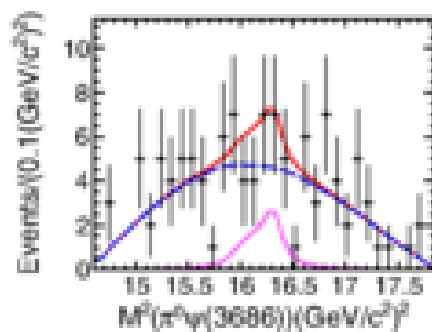
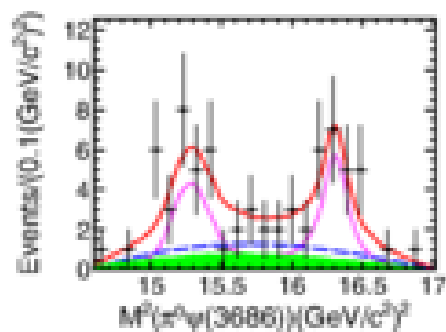
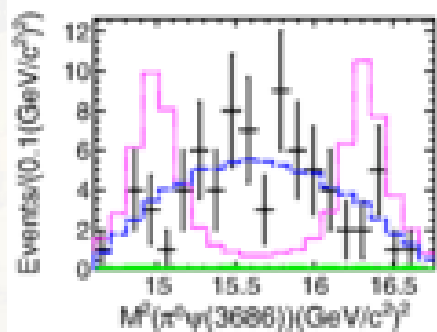
- 与 $\pi\pi J/\psi$ 的截面形状不一样

质心能量从 4.009 到 4.600 GeV $e^+e^- \rightarrow \pi^0\pi^0\psi(3686)$ 截面的测量

[Phys. Rev. D 97, 052001 \(2018\)](#)



- 截面是带电道的一半
- 复杂的中间过程结构（随能量变化）
- 中性 $Z_c(4040)$ （带电的同位旋共轭态）



观测到了 $\psi(3686) \rightarrow n\bar{n}$ 并以 更高精度测量了 $\psi(3686) \rightarrow p\bar{p}$

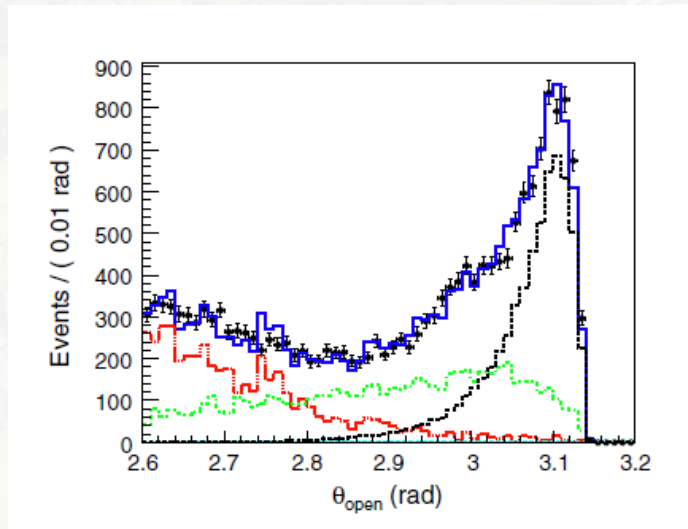
[Phys. Rev. D 98, 032006 \(2018\)](#)

$$\mathcal{B}(\psi(3686) \rightarrow n\bar{n}) = (3.06 \pm 0.06 \pm 0.14) \times 10^{-4}$$

$$\mathcal{B}(\psi(3686) \rightarrow p\bar{p}) = (3.05 \pm 0.02 \pm 0.12) \times 10^{-4}$$

$$\alpha_{n\bar{n}} = 0.68 \pm 0.12 \pm 0.11$$

$$\alpha_{p\bar{p}} = 1.03 \pm 0.06 \pm 0.03$$



- 1977年已有 $\psi(3686) \rightarrow p\bar{p}$ 的测量，
这是对 $\psi(3686) \rightarrow n\bar{n}$ 的首次测量
(得益于决策树方法的使用)。
- 角分布的测量预示了 $\psi(3686)$
衰变到 $N\bar{N}$ 的机制比 J/ψ 更复杂。
- 12% 规则对于此衰变道满足。

h_c 强子末态衰变测量

利用 $\psi(3686) \rightarrow \pi^0 h_c$

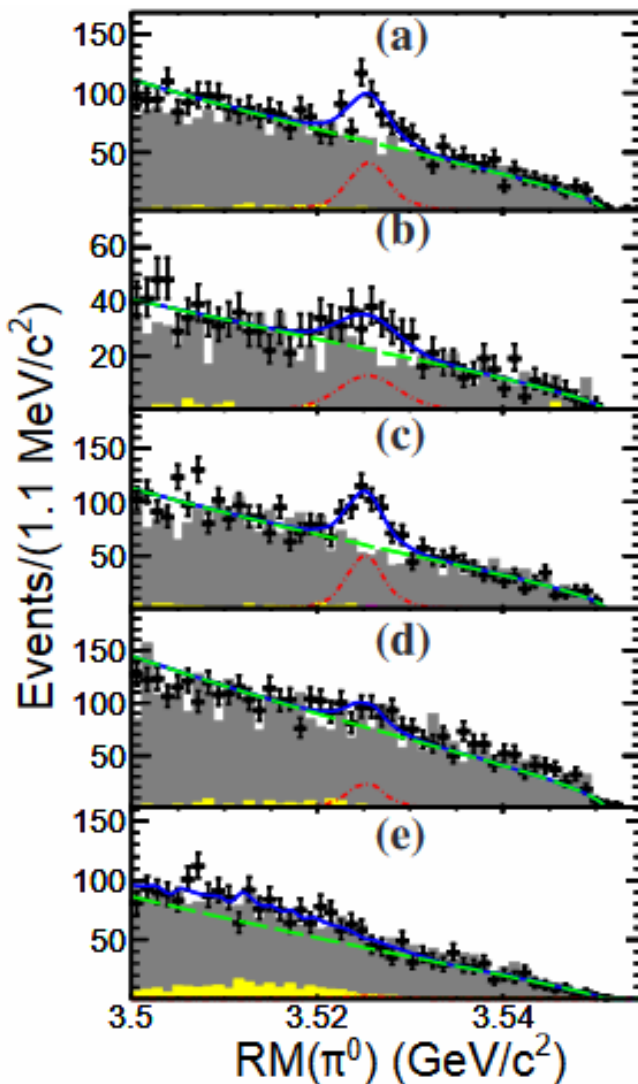
投稿至 PRL, <https://arxiv.org/abs/1810.12023>

$$p\bar{p}\pi^+\pi^- \quad (2.89 \pm 0.32 \pm 0.55) \times 10^{-3}$$

$$\pi^+\pi^-\pi^0 \quad (1.60 \pm 0.40 \pm 0.32) \times 10^{-3}$$

$$2(\pi^+\pi^-\pi^0) \quad (7.44 \pm 0.94 \pm 1.56) \times 10^{-3}$$

- CLEOc 曾报导过 $h_c \rightarrow 5\pi$ 的迹象
- **BESIII**的工作是首次观测（三个衰变道），精度大大提高
- 我们的结果明显小于 CLEOc 的结果（在误差范围内一致）
 - ✓ 原先基于 CLEOc 结果得出的结论“ h_c 的辐射跃迁几率与强衰变在一个量级”需要重新考虑。
- 可用于检验不同的理论模型



BESIII 物理白皮书

White Paper on the Future Physics Programme of BESIII

The BESIII collaboration^a

and

Lorenzo Calibbi^c, Jérôme Charles^a, S. I. Eidelman^{b,f},
Sébastien Descotes-Genon^e, Feng-Kun Guo^{c,h},
A. A. Petrovⁱ, J. L. Rosner^g, Zhiqing Zhang^d

^a Aix-Marseille Univ, Université de Toulon, CNRS, CPT, Marseille, France

^b Budker Institute of Nuclear Physics, SB RAS, Novosibirsk, 630090, Russia

^c Institute of Theoretical Physics, Beijing 100190, People's Republic of China

^d Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire, IN2P3-CNRS et Université Paris-Sud 11,
F-91898, Orsay Cedex, France

^e Laboratoire de Physique Théorique, UMR 8627, CNRS, Univ. Paris-Sud,
Université Paris-Saclay, 91405 Orsay Cedex, France

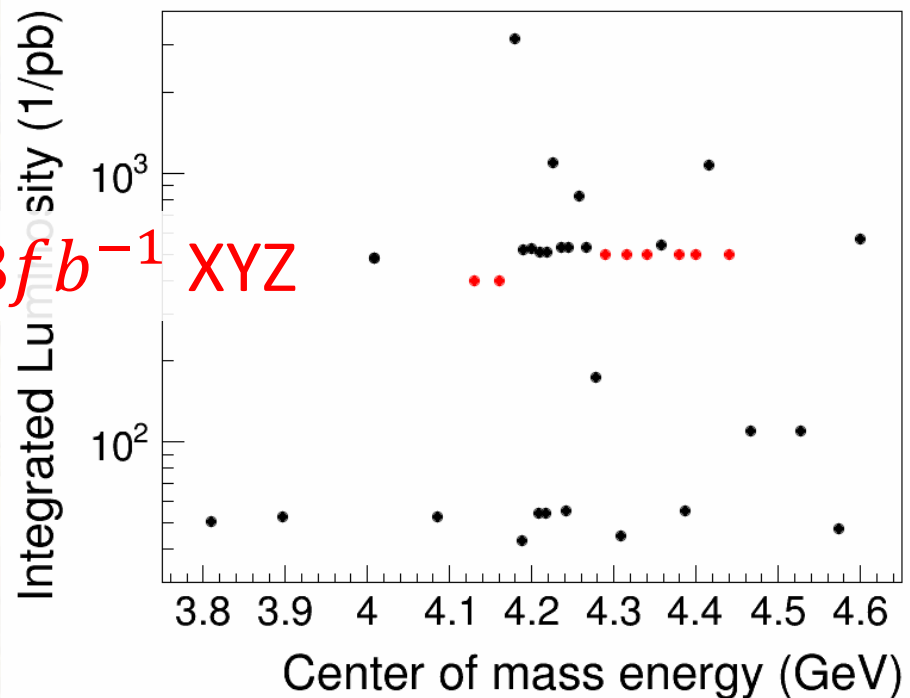
合作组内审阅中（两周）

BESIII 2018-2019 取数计划

40 亿 J/ψ
(已有 60 亿)

+

3.8 fb^{-1} XYZ



News: 2018-11-18 下午已正式开始在 J/ψ 峰上取数

BESIII (BEPCII) 未来升级

- MDC 内室替换为 CGEM
 - 明年二月份在 高能所 建造 第二层?
- BEPCII 能量升级
 - 4.6 GeV \rightarrow 4.7 GeV (已可行) \rightarrow 4.9 GeV
 - 更多物理可能性: $Y(4660)$, Λ_c 等。
- BEPCII 亮度升级
 - Top-up (进行中), 预计提升 20% 的积分亮度
 - 量级上的提升 (已成立 BEPCII-BESIII 联合工作组)

小结

- BESIII 探测器近期工作稳定，数据质量良好。
- 物理分析工作多元化，活跃且高产。在轻强子、粲物理、粲夸克偶素、XYZ 粒子等方向有多项重要成果。
- 随着更多数据的获取及升级（包括BEPCII），更多物理结果可以预期。

A photograph of a path covered in fallen yellow ginkgo leaves. The path is made of reddish-brown bricks with a circular pattern. The leaves are scattered across the path and the surrounding grass. A white rectangular box with a blue border is overlaid on the right side of the image, containing the text '谢谢!' in blue. Below the box, the text '谢谢!' is faintly visible on the path.

谢谢!