

发现 $Y(4260) \rightarrow \gamma X(3872)$

BESIII



李科 (like@ihep.ac.cn)

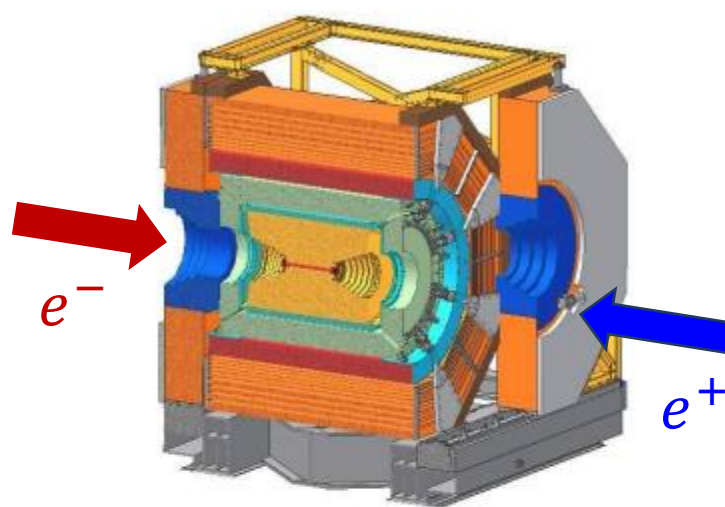
山东大学

(PRL 112,092001)

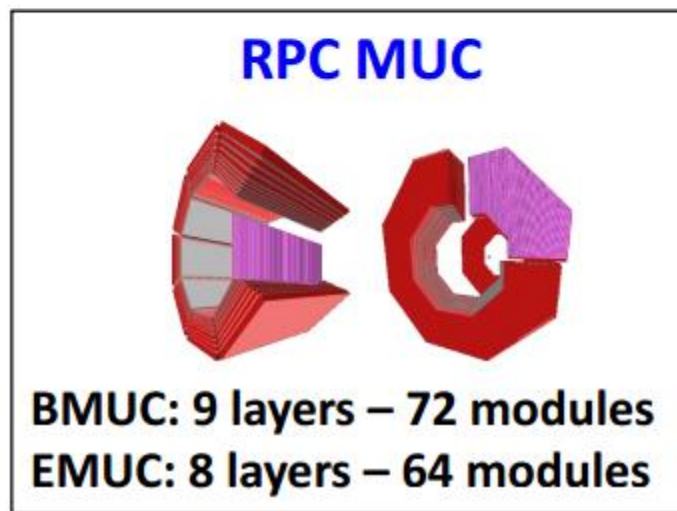
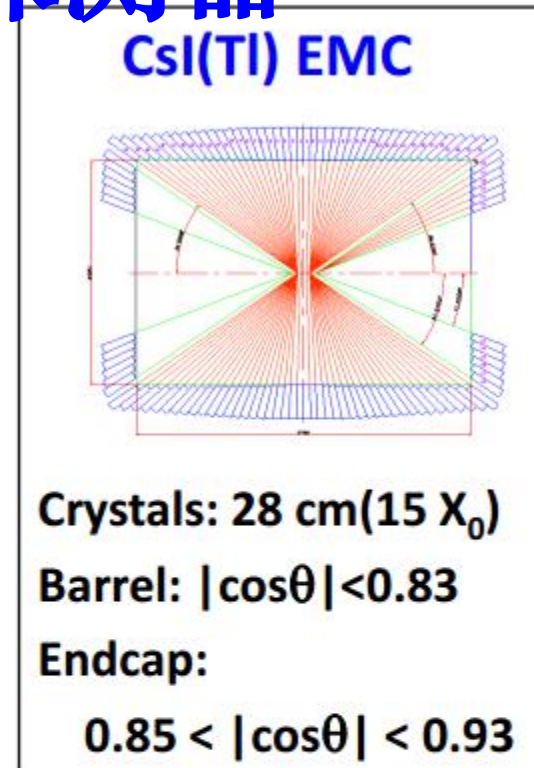
提纲

- BESIII实验简介
- 研究背景介绍
- 实验方法及结果
- 引用与评价
- 总结与讨论

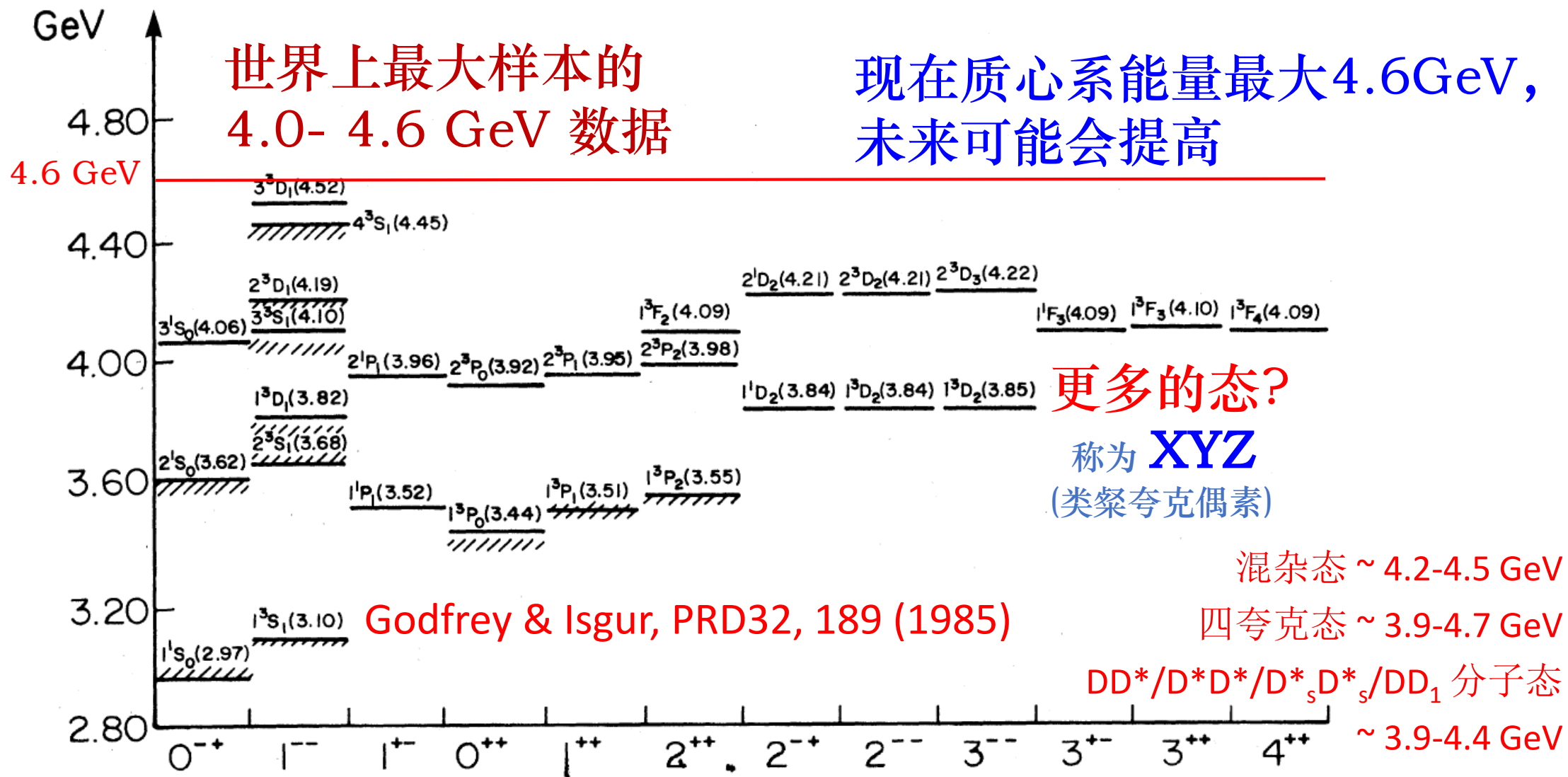
北京谱仪III (BESIII) 探测器



束流能量: 1.0-2.3 GeV



粲夸克偶素谱

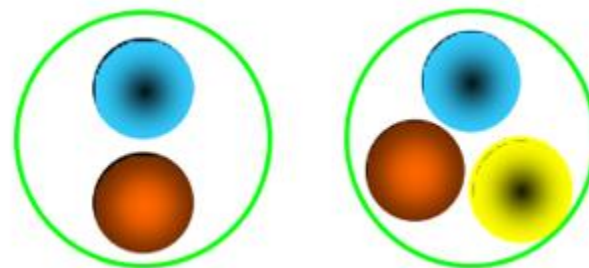


奇特态粒子 (XYZ)

夸克：物质最基本组成单位

介子：两个夸克

重子：三个夸克



此外，QCD同样允许其它态

空山不见人,但闻人语响

胶球：由胶子组成

混杂态：夸克和胶子

多夸克态：多于三个夸克

分子态：多个强子的结合态



2003年，日本Belle实验上首次观测到异常结构-X(3872)，质量 $3872.0 \pm 0.6 \pm 0.5$ MeV,宽度 <2.4 MeV.

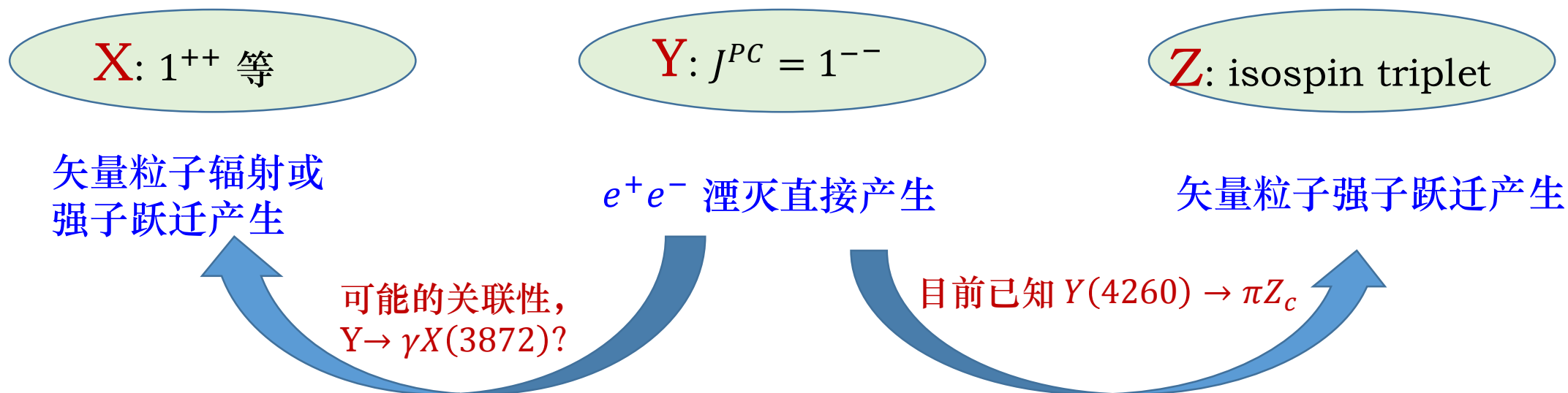
粲夸克偶素谱上并无相应粒子，命名X。

2005年，Babar观测到矢量粒子Y(4260)，
目前已知仅衰变到 $\pi\pi J/\psi$ ，与附近的粲夸克偶素
(主要衰变到粲介子对)截然不同。

实验上如何确定这些粒子的本质

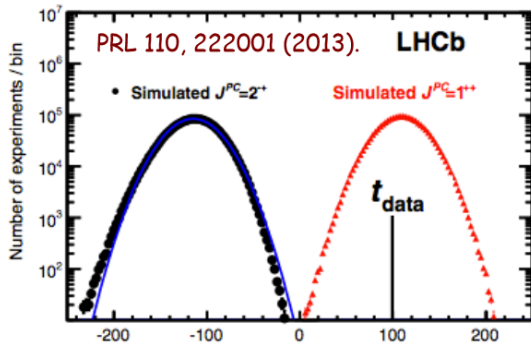
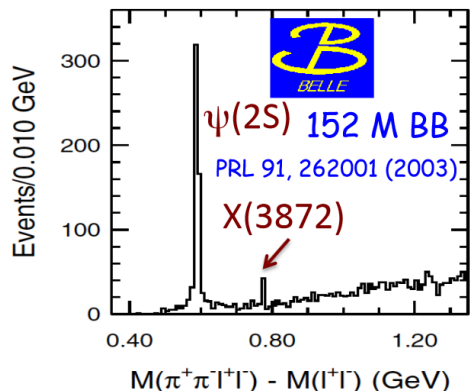
这些粒子均可在某些理论模型下得到解释，但没有统一的认识。

统一的框架下研究这些粒子的本质，
最关键的是研究他们之间的关联。



BESIII在Y(4260)附近已积累世界上最大统计量数据，可以对这些粒子的联系做相应的研究。

BESIII上如何做相应的研究



• 已知X(3872)

质量 3871.69 ± 0.17 MeV

宽度上限为 < 1.2 MeV

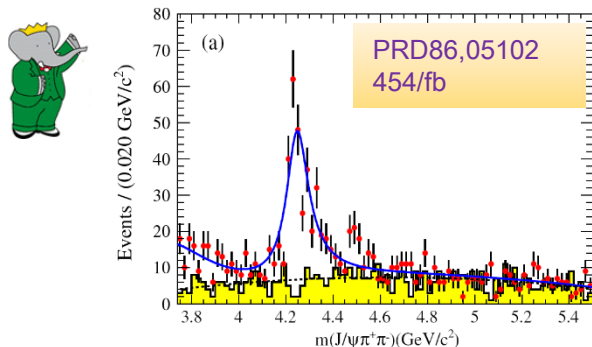
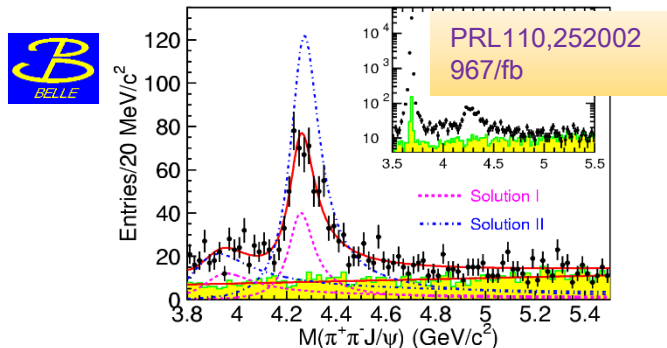
量子数被确定为 $J^{PC} = 1^{++}$ (LHCb)

• 已知Y(4260)

质量 4263^{+8}_{-9} MeV

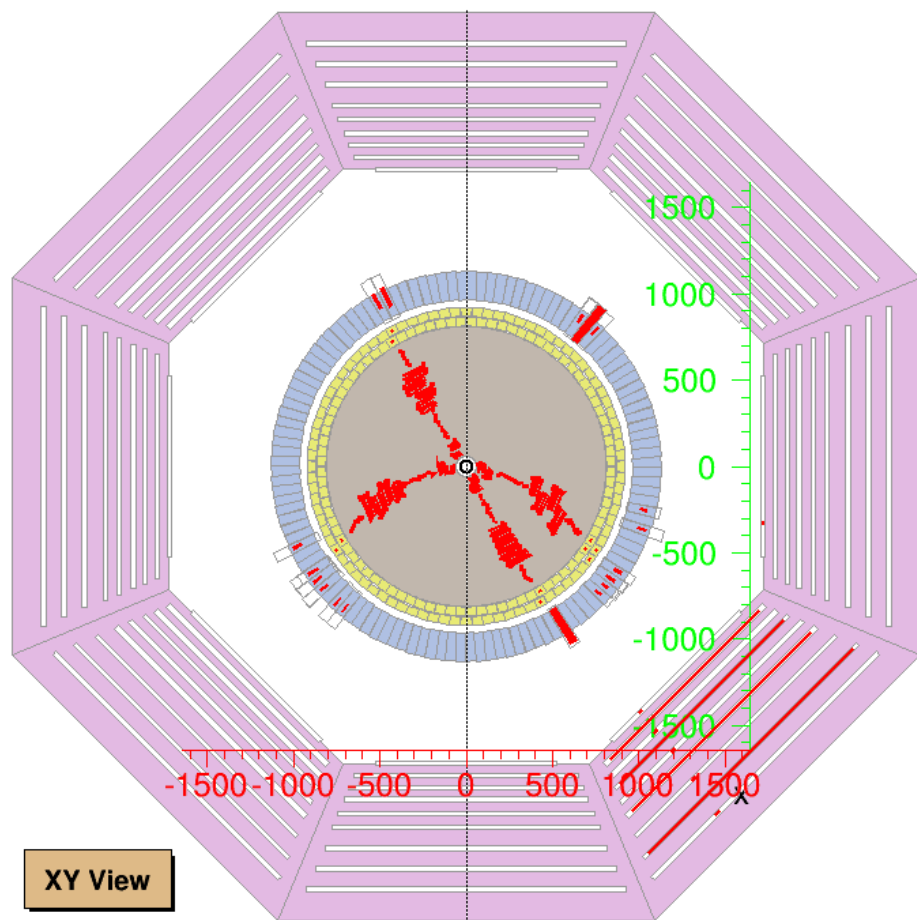
宽度为 95 ± 14 MeV

量子数为 $J^{PC} = 1^{--}$ (e^+e^- 湮灭产生)



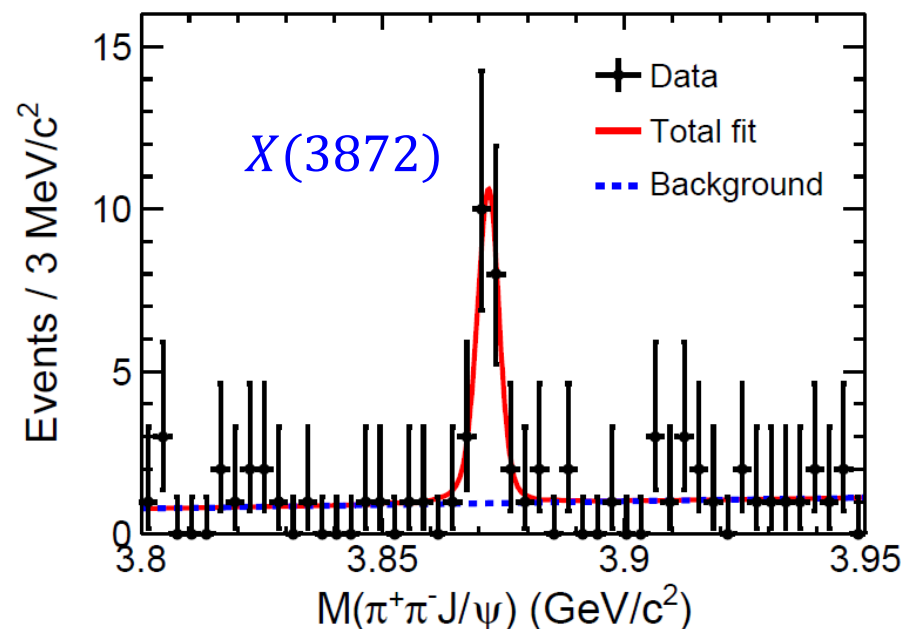
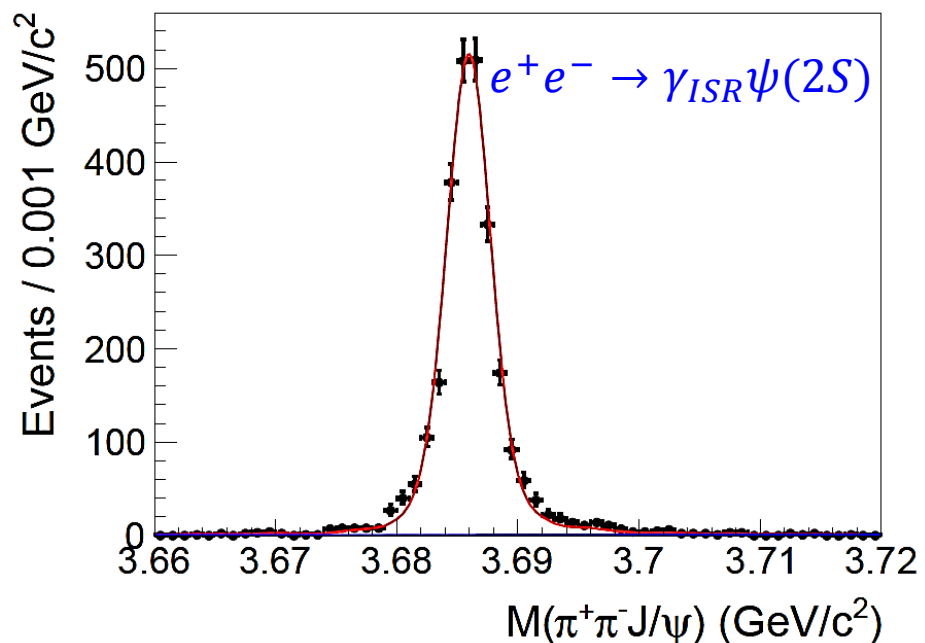
- 因此，可能有Y->X的辐射跃迁
- 已知X(3872) 衰变道中， $\pi^+ \pi^- J/\psi$ 易重建，本底低。
- BESIII本底相对于B工厂，强子对撞机较低：
- 寻找方式及末态粒子：
 - $e^+e^- \rightarrow Y(4260) \rightarrow \gamma X(3872)$
 - $\rightarrow \gamma \pi^+ \pi^- J/\psi \rightarrow \gamma \pi^+ \pi^- e^+ e^- (\mu^+ \mu^-)$

事例选择条件



- 末态四条带点径迹.
- 至少一个好光子.
- 用动量去区分轻子和 π 介子:
 $P_{MDC} > 1 \text{ GeV}$, 轻子. 否则为 π .
- EMC沉积能量去区分电子和缪子:
 - 电子: $E_{EMC} > 1 \text{ GeV}$; 缪子: $E_{EMC} < 0.35 \text{ GeV}$.
- 运动学拟合 (四动量守恒):
 $\chi^2 < 60$
- 去除本底 $\gamma^* \rightarrow e^+e^-$:
 $\cos\theta_{\pi^+\pi^-} < 0.98$
- 去除 $\eta J/\psi$ 本底: $M_{\gamma\pi^+\pi^-} > 0.6 \text{ GeV}$.
- J/ψ 质量窗口: $(3.08-3.12) \text{ GeV}$,
边带区: $(3.00-3.06)$ 和 $(3.14-3.20) \text{ GeV}$

$\pi^+\pi^-J/\psi$ 不变质量谱



本底水平低.

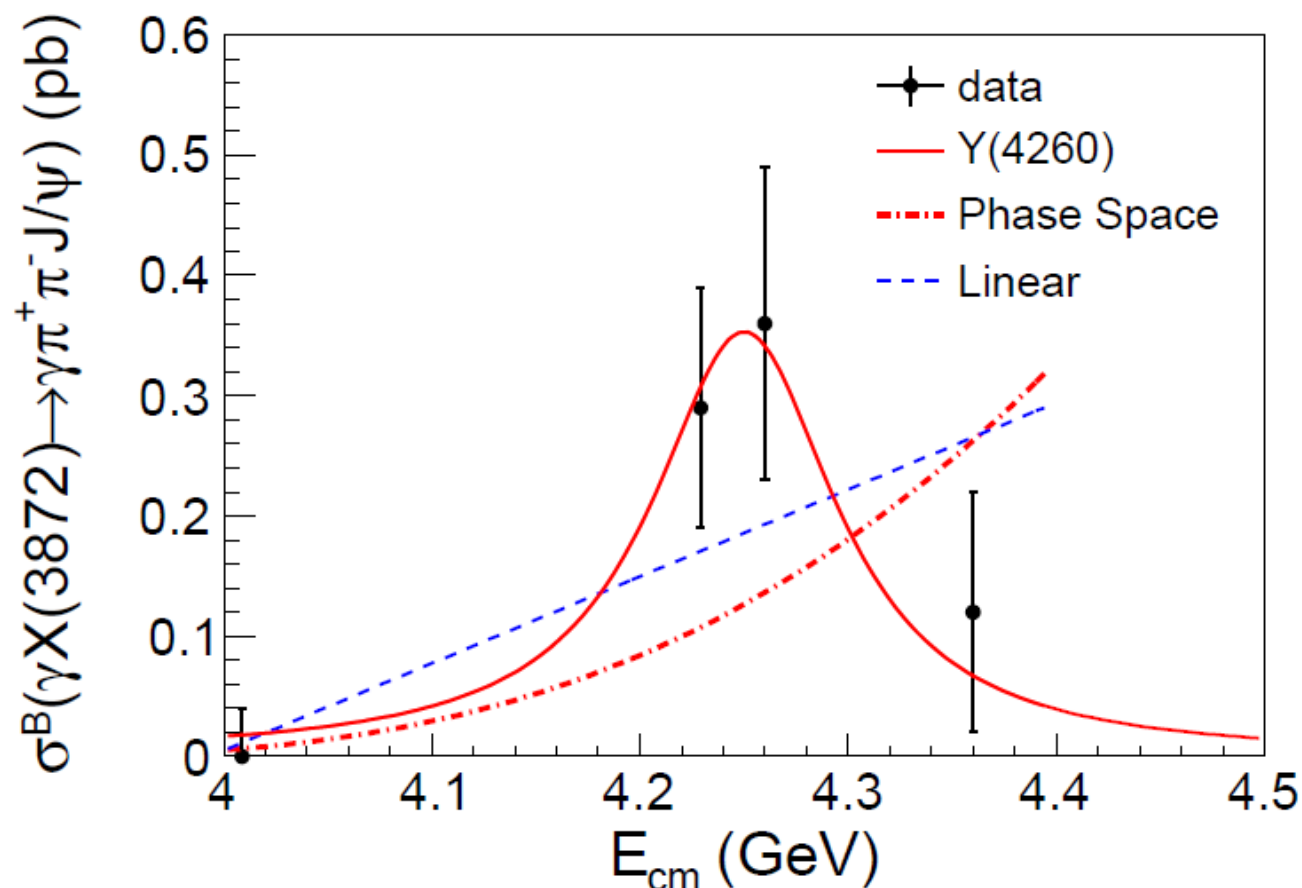
初态辐射的 $\psi(2S)$ 可以用来验证方法.

质量偏移: $\Delta M = -(0.34 \pm 0.04) \text{ MeV}$.

质量分辨: $\sigma = (1.14 \pm 0.07) \text{ MeV}$.

- 总数据中可观测到明显的信号
 $N(X(3872)) = 20.1 \pm 4.5$
- $M(X(3872)) = 3871.9 \pm 0.7 \text{ MeV}$
- $\Gamma(X(3872)) < 2.4 \text{ MeV}$ 90% 置信度
- 统计显著性: 6.3σ

玻恩截面随质心系能量的变化



连续态过程的产生截面比观测结果小一个数量级(arXiv:1310.8597)

$X(3872)$ 来自于 $Y(4260)$, 新的产生机制。

$Y(4260)$ 第二个衰变模式, 新的认识。

$X(3872)$ 与已知常规的粲夸克偶素 ($\psi(4040), \psi(4160), \psi(4415) \dots$) 并无关联。

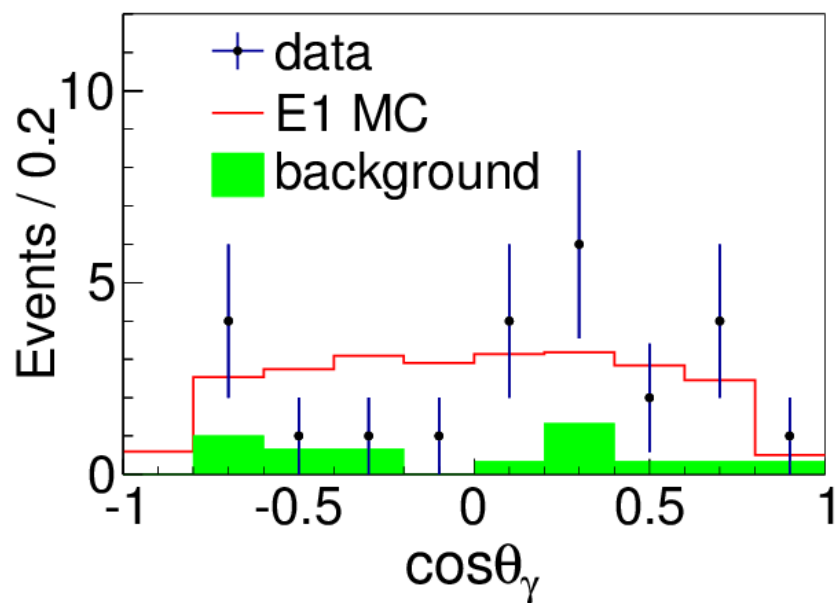
首次观测 **X** 和 **Y** 之间的联系。
Y 和 **Z** 也有关联。



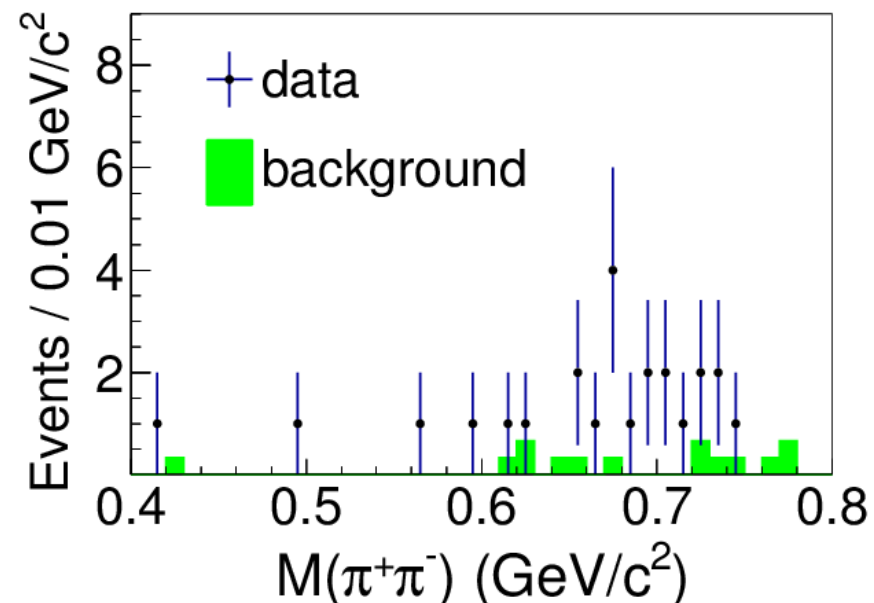
X, Y 和 Z 本质相关联

Take $\mathcal{B}(X(3872) \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi) = 5\%$ (arXiv:0910.3138)

$$R = \frac{\mathcal{B}(Y(4260) \rightarrow \gamma X(3872))}{\mathcal{B}(Y(4260) \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi)} = 0.1 \quad \text{比较大的衰变比例.}$$



辐射光子的角分布，
与E1辐射跃迁相符合。



$\pi^+\pi^-$ 不变质量。
与CDF 结果吻合，由 $\rho^0(770)$ 主导。

引用与评价

- $\Gamma(X(4260) \rightarrow X(3872)\gamma)/\Gamma_{\text{total}}$ PDG引用为新的Y(4260)衰变模式

Value	EVT S	Document ID	TECN	Comment
seen	20 ±5	ABLIKIM 2014	BES3	$e^+ e^- \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^- \gamma$

Observation of $e^+ e^- \rightarrow \gamma X(3872)$ at BESIII

BESIII Collaboration (M. Ablikim (Beijing, Inst. High Energy Phys.) *et al.*).

Published in **Phys.Rev.Lett.** **112** (2014) no.9, 092001

DOI: [10.1103/PhysRevLett.112.092001](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.112.092001)

e-Print: [arXiv:1310.4101](https://arxiv.org/abs/1310.4101) [hep-ex] | [PDF](#)

[References](#) | [BibTeX](#) | [LaTeX\(US\)](#) | [LaTeX\(EU\)](#) | [Harvmac](#) | [EndNote](#)

[ADS Abstract Service](#); [Interactions.org article](#)

[Detailed record](#) - [Cited by 65 records](#) 50+

外界评价及相关理论研究:

PRL审稿人评价: This important analysis provides the first observation of the X(3872) in production other than in B decays, no doubt that paper will help decipher the nature of the resonance.

(this channel) is substantial and suggestive of some commonality in the nature of the Y(4260), X(3872) and Zc(3900). (S. Olsen, arXiv:1411.7738)

The Y(4260) is assigned the same quark spin structure of the X(3872), making an electromagnetic, E1, transition possible $Y(4260) \rightarrow \gamma + X(3872)$ (L. Maiani, arXiv:1405.1551)

The study of the radiative decay $Y(4260) \rightarrow X(3872) + \gamma$ among other production and decay modes can give additional information on the nature of the exotic states Y(4260) and X(3872). (Y. Dong, arXiv:1404.6161)

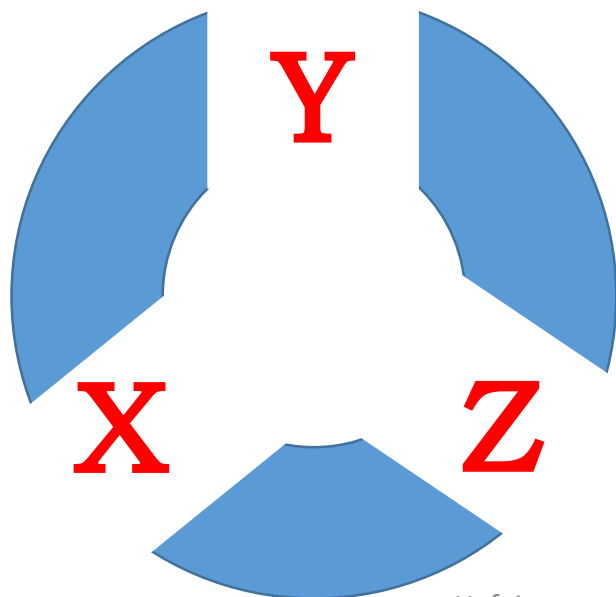
And the studies of $\psi(4160) \rightarrow X(3872)\gamma$ and $\psi(4260) \rightarrow X(3872)\gamma$ are proposed to probe the molecular content of the X(3872). (Y. Li, arXiv:1310.0374)

总结与讨论

- 首次在BESIII上观测到 $X(3872)$, 统计显著性为 6.3σ , 测得质量为 $3871.9 \pm 0.7 \pm 0.2$ MeV.
- 从测量的截面中显示 $Y(4260)$ 可以辐射跃迁到 $X(3872)$,
而且几率可相比于 $Y(4260) \rightarrow \pi\pi J/\psi(\pi Z_c)$.
三个奇异态粒子相关联! 其本质相似!
- 新的 $X(3872)$ 产生机制和新的 $Y(4260)$ 衰变模式。

总结与讨论

$X(3872)$ 是著名的X态 (引用>1000次),
 $Y(4260)$ 是著名的Y态, (矢量类粲偶素中最著名),
 $Z_c(3900)$ 是第一个确定的带电类粲偶素态,
我们的测量将三者联系了起来。



总结与讨论

实验结果表明 $X(3872)$, $Y(4260)$, $Z_c(3900)$ 需要在统一框架下研究。

BESIII上未来可取大范围 (4-5?) GeV大统计量(500 pb^{-1})的数据,
多个奇特态粒子($X(3872)$, $X(3915)$, $Y(4140)$, $Y(4260)$, $Y(4360)$
 $Z_c(3900)$, $Z_c(4025)$...)均可做细致研究,

主要研究各自可能的关联（联合多个粒子同时研究），
进而理解各自的本质？

谢谢！