

Observation of η_c decay into $\Sigma^+ \bar{\Sigma}^-$ and $\Xi^- \bar{\Xi}^+$ final states

主讲人：齐玉豪

研究目的
RESEARCH PURPOSE

1

研究背景
RESEARCH BACKGROUND

2

研究方法
RESEARCH METHODS

3

研究结果
RESEARCH CONCLUSION

4

在粲素大规模区域，QCD的复杂性仍未得到解决，pQCD计算与实验测量之间仍存在许多矛盾。特别是，pQCD螺旋度选择规则在许多独占粲单衰变过程中都被违反了，其他的例子包括最终态的重子反重子对的衰变过程。为了理解这些矛盾，人们做了很多尝试，例如质子的夸克-双夸克模型，组成夸克-质量修正，粲偶态和胶球之间的混合，以及夸克对产生模型。然而，测量的分支分数与任何这些模型的预测都不一致。

■ 研究现状

在参考文献中介子环 (IML) 跃移，其中长距离相互作用可以避开OZI规则，允许违反pQCD螺旋度选择规则。利用2009年BESIII探测器采集的 $2.25 \times 10^8 J/\psi$ 事件样本，通过 $J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c$ 辐射衰减过程，首次测量了 $\eta_c \rightarrow \Sigma^+ \bar{\Sigma}^-$ 和 $\eta_c \rightarrow \Xi^- \bar{\Xi}^+$ 的分支分数。

探测器

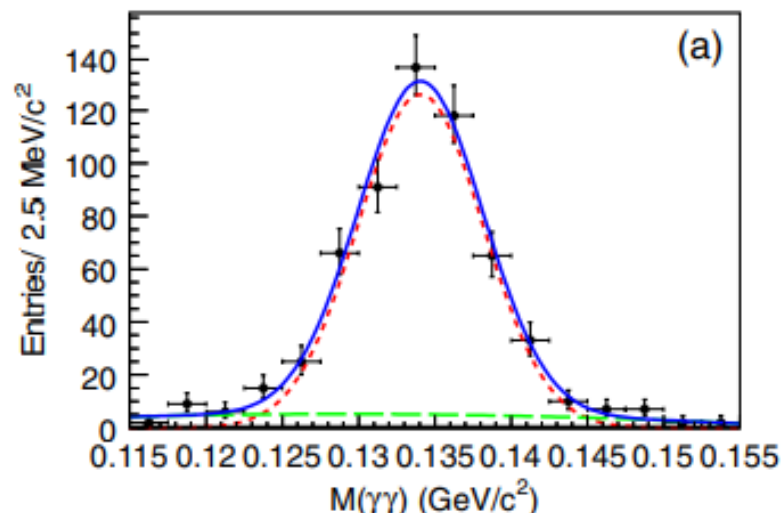
BEPCII是一个双环 e^+e^- 对撞机，在质能中心为3.77 GeV时，提供了 $10^{33} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的峰值光度。BESIII的探测器的几何接受93%的 4π 和有四个主要组件:(1)一个小细胞, helium-based (40%, 60% C_3H_8)，43层的主漂移室提供平均single-hit分辨率为 $135 \mu\text{m}$, 带电粒子动量决议在1 T磁场0.5% $1 \text{ GeV} / c$ 。(2)由6240个CsI(Tl)晶体组成的圆柱形结构(筒形结构)和两个端盖组成的电磁量能器(EMC)。对于1 GeV光子，桶(端盖)中的能量分辨率为2.5%(5%)，桶(端盖)中的位置分辨率为6 mm (9 mm)。(3)由5厘米厚的塑料闪烁体组成的飞行时间系统，筒体内两层有176个2.4 m长的探测器，尾盖有96个扇形探测器。桶(端盖)的时间分辨率为80 ps (110 ps)，提供了动量高达 1 GeV 的 $2\sigma K/\pi$ 的分离。(4) μ 子系统由9个管体和8个端盖层的 1000m^2 电阻板腔组成，具有2cm的位置分辨率

蒙特卡洛模拟

利用蒙特卡罗模拟数据对事件选择和背景估计进行优化。基于geant4的仿真软件BOOST包括BESIII光谱仪的几何和材料描述，探测器响应和数字化模型，以及探测器运行条件和性能的跟踪。共振的产生 J/ψ 由MC事件发生器KKMC模拟，而对于已知的衰变模式，分支分数设为世界平均值，衰变由EVTGEN产生，对于剩余的未知衰变，衰变由LUNDCHARM[21]产生。

事例选取

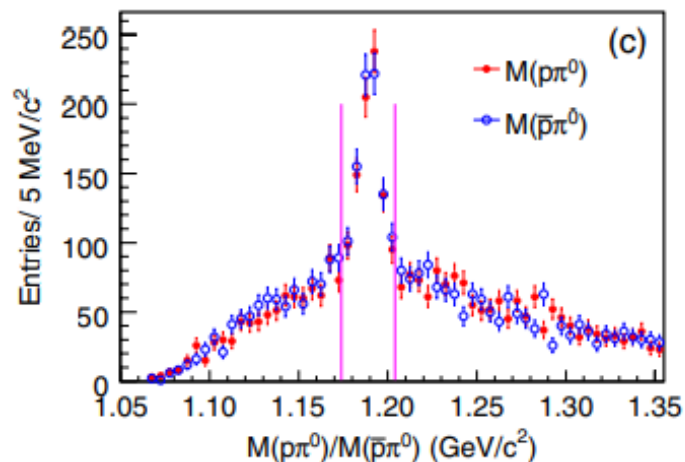
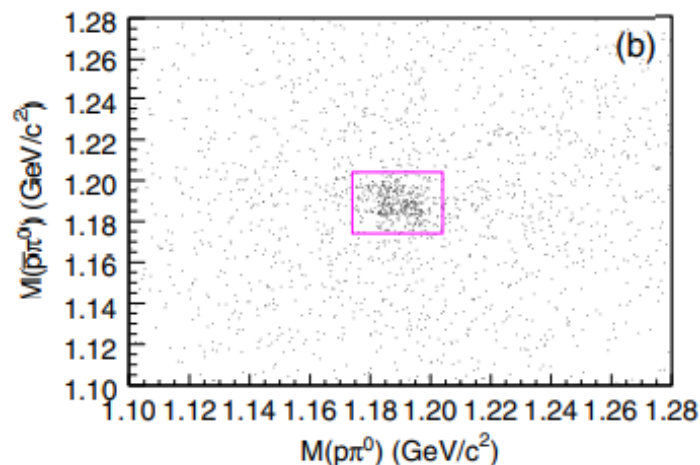
我们通过 $J/\psi \rightarrow \gamma\eta_c$ 辐射衰变选择 η_c 介子，其随后衰变为 $\Sigma^+\bar{\Sigma}^-$ 和 $\Xi^-\bar{\Xi}^+$ 。 Σ^+ 候选粒子由衰变 $\Sigma^+ \rightarrow p\pi^0$ 其中 π^0 衰变为一对光子重建而成；由 $\Xi^- \rightarrow \Lambda\pi^-$ 和 $\Lambda \rightarrow p\pi^-$ 衰变重建候选 Ξ^- 。将候选反粒子 $\bar{\Sigma}^-$ 和 $\bar{\Xi}^+$ 以类似的方式重构，但将衰变产物转化为相应的反粒子。



候选介子 π^0 是由粒子中具有不变质量的光子对重建的范围 $0.115 \text{ GeV}/c^2 < M(\gamma\gamma) < 0.155 \text{ GeV}/c^2$ 。
应用除 π^0 质量窗口外的所有要求，根据数据拟合 $\gamma\gamma$ 对的不变质量分布，确定 π^0 不变质量分辨率为 $4.2 \text{ MeV}/c^2$

进行4约束运动学拟合

对于 $J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c \rightarrow \gamma \Sigma^+ \bar{\Sigma}^-$



$$\chi_{4c}^2 < 30$$

$$\chi_{4c}^2(p\bar{p}\pi^0\pi^0) > 200$$

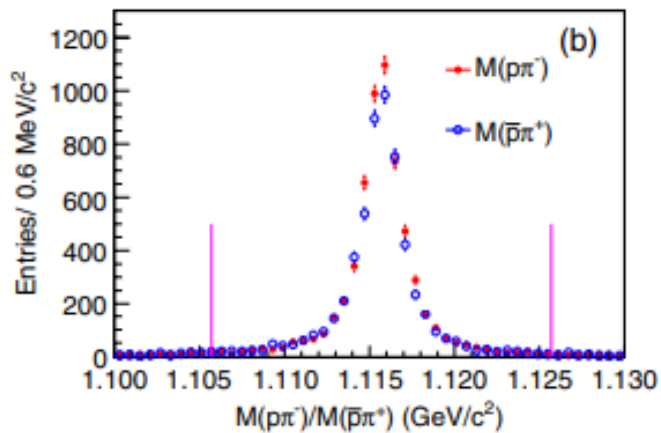
$$\chi_{4c}^2(\gamma p\bar{p}\pi^0\pi^0) < \chi_{4c}^2(\gamma\gamma\bar{p}\pi^0\pi^0)$$

p 、 $\bar{p}$ 和两个 π^0 候选者通过最小化 $(M_{p\pi_1^0} - M_{\Sigma^+})^2 + (M_{\bar{p}\pi_1^0} - M_{\Sigma^-})^2$ 组合成 Σ^+ 和 $\bar{\Sigma}^-$ 候选者

组合的 p 、 π^0 ($\bar{p}$ 、 π^0)对必须在 Σ^+ (Σ^-)质量的 $15\text{MeV}/c^2$ 范围内具有不变质量

进行4约束运动学拟合

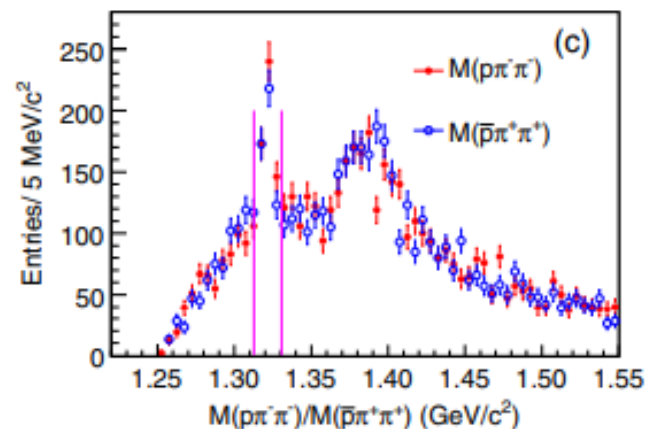
对于 $J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c \rightarrow \gamma \Xi^- \bar{\Xi}^+$



$$\chi_{4c}^2 < 90$$

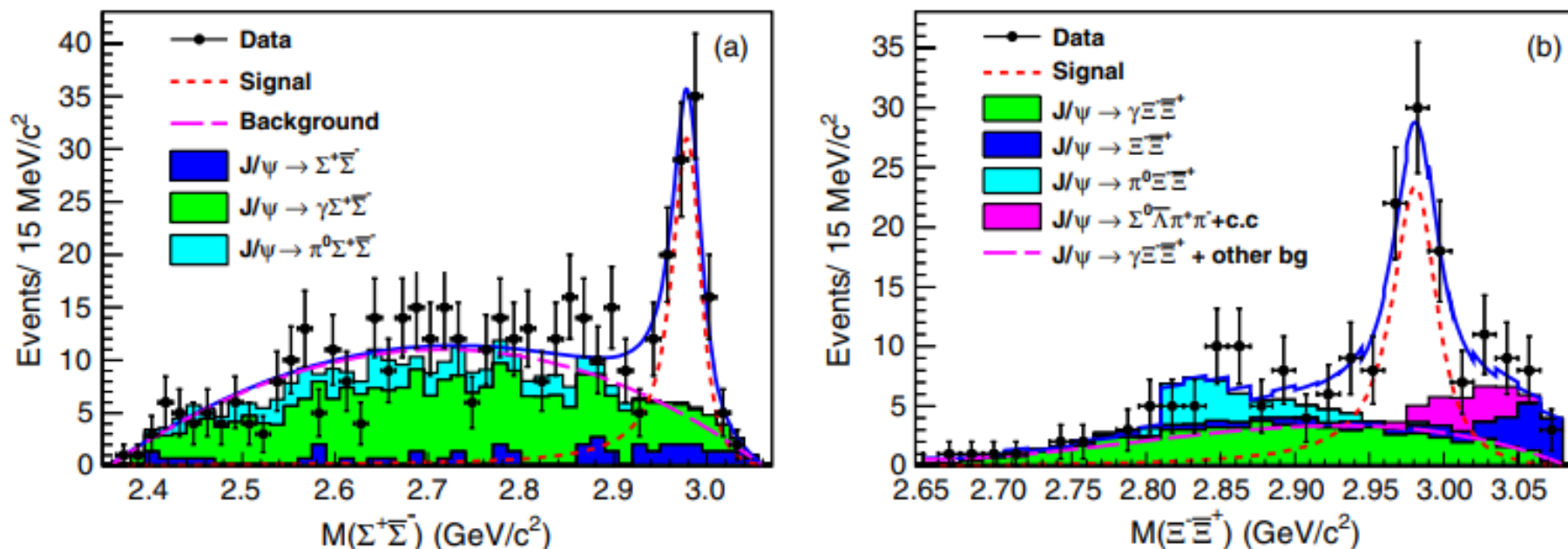
$$\chi_{4c}^2(p\bar{p}\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-) > 200$$

$$\chi_{4c}^2(\gamma p\bar{p}\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-) < \chi_{4c}^2(\gamma\gamma p\bar{p}\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-)$$



选择 p, π^- ($\bar{p}, \pi^+$) 与最接近 Λ ($\bar{\Lambda}$) 质量的不变质量组合形成 Λ ($\bar{\Lambda}$), 且质量差必须在 $10 \text{ MeV}/c^2$ 范围内, 如图 (b) 所示。
 p, π^-, π^- ($\bar{p}\pi^+\pi^+$) 组合必须在 Ξ^- ($\bar{\Xi}^+$) 质量的 $9 \text{ MeV}/c^2$ 范围内具有不变质量, 如图 (c) 所示。

事例的选择和背景



数据和MC背景通道的不变量质量分布以及(a) $\Sigma^+\Sigma^-$ 和(b) $\Xi^-\Xi^+$ 的拟合曲线。带误差条的点为数据，直方图为模拟的 J/ψ 衰减的背景。实线是总的拟合结果，信号用短虚线表示，背景用长虚线和阴影直方图表示。

信号提取

信号产量是由 $\Sigma^+\bar{\Sigma}^-$ 和 $\Xi^-\bar{\Xi}^+$ 候选的不变量质量分布的非分箱极大似然拟合得到的。拟合中使用的概率密度函数(PDF)由

$$F(m) = \sigma_{res} \otimes (\varepsilon(m) \times E_\gamma^3 \times \text{damping}(E_\gamma) \times BW(m)) + BKG(m)$$

分支比计算

计算 $\eta_c \rightarrow \Sigma^+ \bar{\Sigma}^-$ 的分支比

$$\mathcal{B}(\eta_c \rightarrow \Sigma^+ \bar{\Sigma}^-) = \frac{N_{obs} - N_{peaking}}{N_{J/\psi} \times \mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c) \times \mathcal{B}^2(\Sigma^+ \rightarrow p \pi_0) \times \mathcal{B}^2(\pi_0 \rightarrow \gamma \gamma) \times \varepsilon'}$$

其中 $N_{peaking}$ 是由背景研究确定的达到峰值的背景事件的数量, $N_{J/\psi}$ 是 J/ψ 事件的总数, 即 2.25×10^8 , 有1.2%的不确定性, ε 是总检测效率

$\eta_c \rightarrow \Xi^- \bar{\Xi}^+$ 的分支比为:

$$\mathcal{B}(\eta_c \rightarrow \Xi^- \bar{\Xi}^+) = \frac{N_{obs} - N_{peaking}}{N_{J/\psi} \times \mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c) \times \mathcal{B}^2(\Xi^- \rightarrow \Lambda \pi^-) \times \mathcal{B}^2(\Lambda \rightarrow p \pi^-) \times \varepsilon'}$$

分支比计算

	$\eta_c \rightarrow \Sigma^+ \bar{\Sigma}^-$	$\eta_c \rightarrow \Xi^- \bar{\Xi}^+$
Statistical significance	9.3σ	6.4σ
N_{obs}	112 ± 15	78 ± 14
N_{peaking}	0.7	2.0
ε	5.3%	5.5%
Branching fraction (10^{-3})	$2.11 \pm 0.28 \pm 0.18 \pm 0.50$	$0.89 \pm 0.16 \pm 0.08 \pm 0.21$
Branching fraction based on IML [13] (10^{-3})	0.51–1.00	0.48–0.96

表由该分析和基于IML的预测得到 $\eta_c \rightarrow \Sigma^+ \bar{\Sigma}^-$ 和 $\eta_c \rightarrow \Xi^- \bar{\Xi}^+$ 的分支比。对于测量的分支部分，第一个不确定度是统计的，第二个是实验系统的，第三个是来自于参考文献的输入分支部分。

系统的不确定性

Source	$\eta_c \rightarrow \Sigma^+ \bar{\Sigma}^-$	$\eta_c \rightarrow \Xi^- \bar{\Xi}^+$
Tracking and PID	2.8	4.8
Photon reconstruction	5.0	1.0
π^0 selection	1.0	
Σ^+ -mass window	0.6	
Λ -mass window		0.3
Ξ^- -mass window		0.3
Vertex fits		0.5
Kinematic fits	4.3	3.8
Signal fitting	4.7	6.4
Event generators	0.4	2.8
Peaking backgroud	0.3	1.3
$N_{J/\psi}$	1.2	1.2
Intermediate states	23.5	23.6
Total (BESIII)	8.7	9.5
Total	25.1	25.5

使用BESIII收集的 $2.25 \times 10^8 J/\psi$ 事件探测器, $J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c \rightarrow \gamma \Sigma^+ \bar{\Sigma}^-$ 和 $J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c \rightarrow \gamma \Xi^- \bar{\Xi}^+$ 第一次观测到, 并测量到它们的分支分数为

$$\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c \rightarrow \gamma \Sigma^+ \bar{\Sigma}^-) = (3.60 \pm 0.48 \pm 0.31) \times 10^{-5}$$

$$\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c \rightarrow \gamma \Xi^- \bar{\Xi}^+) = (1.51 \pm 0.27 \pm 0.14) \times 10^{-5}$$

利用 $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c) = (1.7 \pm 0.4)\%$ [1]的已知值, 得到 $\eta_c \rightarrow \Sigma^+ \bar{\Sigma}^-$ 和 $\eta_c \rightarrow \Xi^- \bar{\Xi}^+$ 的分支比:

$$\mathcal{B}(\eta_c \rightarrow \Sigma^+ \bar{\Sigma}^-) = (2.11 \pm 0.28 \pm 0.18 \pm 0.50) \times 10^{-3}$$

$$\mathcal{B}(\eta_c \rightarrow \Xi^- \bar{\Xi}^+) = (0.89 \pm 0.16 \pm 0.08 \pm 0.21) \times 10^{-3}$$

第一个不确定性是统计的, 第二个是系统的, 第三个是中间分支分数的精度。