

Measurements of the Mass and Width of the η_c

Using the Decay $\psi(3686) \rightarrow \gamma\eta_c$

汇报人：蒋小梅

指导老师：姬清平

目录

CONTENTS

- ▲ 1 Introduction
- ▲ 2 Analysis
- ▲ 3 Summary

1. Introduction

研究对象： η_c 的质量和宽度

研究背景： 近年来，人们发现了许多新的粲偶素或类粲偶素态，重新引起了人们对改进强子夸克模型图的兴趣。即使有了这些新的发现，与其他粲偶素态相比，处于最低位置的粲偶素态 η_c 的质量和宽度仍然有很大的不确定性。利用 J/ψ 辐射跃迁对 η_c 的性质进行的早期测量发现， η_c 的质量和宽度分别接近 $2978\text{MeV}/c^2$ 和 10MeV 。然而，最近的实验包括光子聚变和 B 衰变，已经报道了一个明显更高的质量和更大的宽度。

1. Introduction

研究方法：利用*BEPCII*储存环上的*BESIII*探测器收集的 $1.06 \times 10^8 \psi(3686)$ 衰变数据样本,在质心能量为 3.65 GeV 的情况下,用 42 pb^{-1} 连续介质样本测量非 $\psi(3686)$ 背景,使用一个包含信号反应 $\psi(3686) \rightarrow \gamma \eta_c$ 和非共振辐射背景之间完全干扰的模型来描述 η_c 的线型形状。

研究结果：测量 η_c 的质量为 $2984.3 \pm 0.6 \pm 0.6 \text{ MeV}/c^2$

宽度为 $32.0 \pm 1.2 \pm 1.0 \text{ MeV}/c^2$

其中第一个误差是统计误差,第二个是系统误差。

2. Analysis

• 2.1 事例选取

η_c 的质量和宽度是通过拟合 η_c 专属衰变模式的不变质量谱来确定的,六种模式用于重建 η_c :

$$K_S K^+ \pi^-, K^+ K^- \pi^0, \eta \pi^+ \pi^-, K_S K^+ \pi^+ \pi^- \pi^-, K^+ K^- \pi^+ \pi^- \pi^0 \text{和} 3 (\pi^+ \pi^-)$$

其中 K_S 在 $\pi^+ \pi^-$ 中重建, η 和 π^0 在 $\gamma\gamma$ 衰变中重建, 其中包含了电荷共轭模。

• 1. 确定带电径迹

从MDC击中重建的带电径迹应具有极角 θ , $|\cos \theta| < 0.93$

并且沿束流方向在相互作用点的10厘米和垂直于光束的平面内1厘米范围内通过

2. Analysis

- 2. 确定能量沉积范围，压低电子学噪声和无关的能量沉积

要求光子能量沉积在EMC的桶部区域 ($|\cos \theta| < 0.80$) 至少为25 MeV, 或在EMC端盖 ($0.86 < |\cos \theta| < 0.92$) 中为50 MeV

为了抑制与事例无关的电子噪声和能量沉积, 要求EMC中光子候选的时间 t 必须与 $0 \leq t \leq 700ns$ 范围内的碰撞事件相吻合。

- 3. 4C运动学拟合

为了减少背景并提高质量分辨率, 对选定的带电粒子和过渡光子相对于初始 $\psi(3686)$ 四动量进行四约束(4C)运动学拟合, 当在一个事件中发现额外的光子时, 循环所有可能的组合, 并从运动学拟合中保留 χ_{4C}^2 最佳的组合($\chi_{4C}^2 < 60$), 这是通过优值系数(FOM) $S/\sqrt{S+B}$ 得到的, 其中S和B分别为信号MC模拟和本底事例的数量。

此外, 为了消除事例 $\psi(3686) \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi$, 要求信号区域中不存在具有反冲质量的 $\pi^+ \pi^-$ 对。为了抑制来自 $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ 的背景, 要求跃迁光子不应与事例中的任何其他光子形成 π^0 。

2. Analysis

• 2.2 背景分析及拟合

背景的主要来源是 $\psi(3686) \rightarrow \pi^0 X_i$ 衰变，其中 $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ 衰变的光子缺失， X_i 代表研究中 η_c 的终态。这些衰变可以通过不同的中间态进行，并且大多数分支部分是未知的。为了估计它们的贡献，我们从数据中重建 $\psi(3686) \rightarrow \pi^0 X_i$ 衰变。

其他潜在的 $\psi(3686)$ 衰变背景使用 1.06×10^8 IncMC事例进行研究，其中 $\pi^0 X_i$ 事例已被排除。没有发现其他占主导地位的背景过程，但确实发现了几十个衰变道，每个道对背景的贡献都很小。这些衰变通常在其最终状态中有额外或更少的光子。这些背景事例的总和用于估计其他 $\psi(3686)$ 衰变的贡献。

2. Analysis

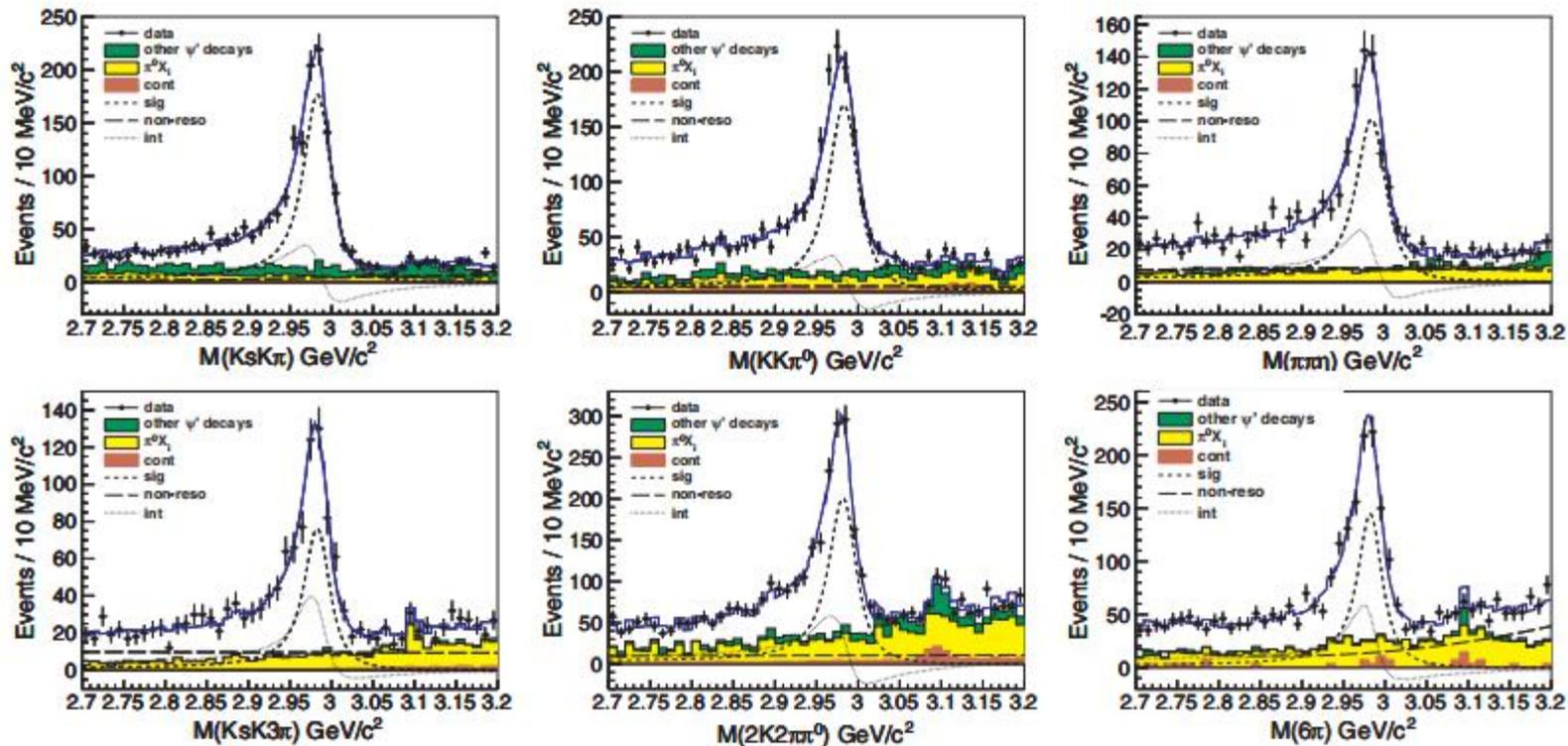


FIG. 1 (color). The $M(X_i)$ invariant mass distributions for the decays $K_S K^+ \pi^-$, $K^+ K^- \pi^0$, $\eta \pi^+ \pi^-$, $K_S K^+ \pi^+ \pi^- \pi^-$, $K^+ K^- \pi^+ \pi^- \pi^0$, and $3(\pi^+ \pi^-)$, respectively, with the fit results (for the constructive solution) superimposed. Points are data and the various curves are the total fit results. Signals are shown as short-dashed lines, the nonresonant components as long-dashed lines, and the interference between them as dotted lines. Shaded histograms are (in red, yellow, green) for [continuum, $\pi^0 X_i$, other $\psi(3686)$ decays] backgrounds. The continuum backgrounds for $K_S K^+ \pi^-$ and $\eta \pi^+ \pi^-$ decays are negligible.

左图显示了

$K_S K^+ \pi^-$, $K^+ K^- \pi^0$, $\eta \pi^+ \pi^-$,
 $K_S K^+ \pi^+ \pi^- \pi^-$, $K^+ K^- \pi^+ \pi^- \pi^0$
 和 $3(\pi^+ \pi^-)$ 衰变的 $M(X_i)$ 不变
 质量分布, 分别与拟合结果叠加。
 其中点为数据, 各曲线为总拟合
 结果。信号用短虚线表示, 非谐
 振分量用长虚线表示, 它们之间
 的干扰用虚线表示。阴影直方
 图(红色, 黄色, 绿色)为[连续,
 $\pi^0 X_i$, 其他 $\psi(3686)$ 衰变]背景。
 其中 $K_S K^+ \pi^-$, $\eta \pi^+ \pi^-$ 衰变的
 连续背景可以忽略。

2. Analysis

• 图中的实心曲线显示了在 $2.7 \sim 3.2 \text{ GeV}/c^2$ 范围内的无约束同时最大似然拟合的结果，该拟合包含三个分量：信号、非共振背景，以及由 $\pi^0 X_i$ 衰变、连续谱和其他 $\psi(3686)$ 衰变组成的组合背景。该信号由一个与分辨率函数卷积的Breit - Wigner函数描述。非共振振幅是实的，通过在拟合范围内定义并归一化的切比雪夫多项式的二阶展开式来描述。如前所述，组合背景固定在其预期强度。作为质量函数(m)的拟合概率密度函数：

$$F(m) = \sigma \otimes \left[\epsilon(m) \left| e^{i\phi} E_\gamma^{7/2} S(m) + \alpha \mathcal{N}(m) \right|^2 \right] + \mathcal{B}(m)$$

其中 $S(m)$, $\mathcal{N}(m)$ 和 $\mathcal{B}(m)$ 分别为信号、非共振 γX_i 分量和组合背景； E_γ 是光子能量， σ 是实验分辨率， $\epsilon(m)$ 是质量相关效率。 E_γ^7 乘 $|S(m)|^2$ 以反映了受阻-M1跃迁的预期能量依赖性，这部分导致了 η_c 低质量尾和干涉效应。允许干涉相位 ϕ 和非共振分量 α 的强度在拟合中变化。

2. Analysis

- 质量相关效率 $\epsilon(m)$ 由衰变的相空间分布MC模拟确定。从包含中间态的MC样品中获得的效率可以忽略不计地改变产生的质量和宽度。MC研究表明，在拟合范围内，分辨率几乎是恒定的。因此，在拟合中使用了大量独立的分辨率。探测器分辨率主要由MC模拟决定。用 $\psi(3686) \rightarrow \gamma\gamma J/\psi$ 衰变来检查数据和MC模拟之间的一致性，其中 J/ψ 衰变为与 η_c 相同的最终状态。我们使用一个模糊高斯函数来描述数据和MC之间可能的差异，通过拟合MC确定的形状，用一个模糊的高斯函数对数据进行卷积以此来确定高斯函数的参数。
- 在同时拟合中，所有衰变模式 η_c 的质量和宽度都被限制为相同，但仍然是自由参数；两个切比雪夫多项式系数和因子 α 也允许浮动。对于每个衰变模式，找到了两个相对相位的解，一个对应于 η_c 峰值处两个振幅之间的相干干涉，另一个对应于相消干涉。

2. Analysis

无论采用哪种解决方案, η_c 的质量和宽度始终保持不变。质量为 $2984.3 \pm 0.6 \pm 0.6 \text{ MeV}/c^2$, 宽度为 $32.0 \pm 1.2 \pm 1.0 \text{ MeV}$ 。拟合优度为 $\chi^2/ndf=283.4/274$, 表明拟合合理。然而, 如果没有干涉项拟合将丢失一些数据点, 特别是当*Breit - Wigner*函数的对称形状变形, 拟合优度为 $\chi^2/ndf=426.6/280$ 。干扰的统计显著性是根据有干扰和无干扰的拟合之间的似然度和自由度的差异计算的, 为 15σ 。

2. Analysis

• 2.3 系统误差

η_c 质量和宽度的系统误差主要来自背景估计、质量尺度和分辨率、非共振分量的形状、拟合范围和效率。

Source	Mass	Width
Background estimation	$0.24\text{MeV}/c^2$	0.44MeV
Mass scale	$0.38\text{MeV}/c^2$	0.27MeV
Mass resolution	$0.35\text{MeV}/c^2$	0.60MeV
the shape of the nonresonant component	$0.07\text{MeV}/c^2$	0.06MeV
Fitting range	$0.05\text{MeV}/c^2$	0.07MeV
Efficiency	$0.05\text{MeV}/c^2$	0.06MeV

假设所有这些系统误差源都是独立的，并将它们的求积和作为总系统误差。最后得到了 η_c 的质量和宽度：

$$M = 2984.3 \pm 0.6 \pm 0.6\text{MeV}/c^2$$

$$\Gamma = 32.0 \pm 1.2 \pm 1.0\text{MeV}$$

3. Summary

- 通过 $\psi(3686) \rightarrow \gamma\eta_c$ 测量 η_c 的质量和宽度(假设所有辐射非共振事件都会干扰 η_c), 是迄今为止对 η_c 的质量和宽度最精确的单次测量, 第一次考虑了 η_c 和 η_c 质量周围的非共振振幅之间的干涉。

$$M = 2984.3 \pm 0.6 \pm 0.6 \text{ MeV}/c^2$$

$$\Gamma = 32.0 \pm 1.2 \pm 1.0 \text{ MeV}$$

- 在拟合的假设下, 干扰的显著性为 15σ 。我们注意到, 这种干扰会显著影响 η_c 质量和宽度, 并且可能已经影响了之前使用辐射跃迁的所有 η_c 质量和宽度测量。结果与光子聚变和B衰变的结果一致, 这可能在一定程度上澄清了上述差异之谜。 η_c 质量和宽度的变化也可能对预期 η_c' 的质量和宽度产生影响, 并将修改粲素势模型中使用的参数, 其中 η_c 质量是输入参数之一。



谢谢!

