

文章编号:1673-0062(2016)04-0006-05

BESIII 上 J/ψ 共振峰处单举 K_S 探测效率的研究

荆茂强, 严芳, 李小华, 张振华, 郑波*

(南华大学核科学技术学院, 湖南 衡阳 421001)

摘要:基于北京谱仪 III 的离线软件系统, 利用 J/ψ 蒙特卡罗样本和 $e^+e^- \rightarrow$ 强子的蒙特卡罗样本对单举 K_S 介子的探测效率展开了研究. 结果表明两种样本 K_S 介子的某些主要动力学分布有一定差异, 这些差异最终导致单举 K_S 介子总体探测效率约相差 3%. 该研究为后续对 K_S 介子的背景研究及截面谱测量提供了重要的参考价值.

关键词:北京谱仪 III; 单举 K_S 介子; 探测效率

中图分类号: O572 **文献标志码:** A

Study of the Efficiency for Inclusive K_S Detection on J/ψ resonance peak at BESIII

JING Mao-qiang, YAN Fang, LI Xiao-hua, ZHANG Zhen-hua, ZHENG Bo*

(School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: Based on BESIII Offline Software System, we performed a study on the efficiency for inclusive K_S detection with J/ψ MC samples and $e^+e^- \rightarrow$ Hadrons MC samples. The results show that there are differences in some main dynamic distributions of two samples, which leads to about 3% difference of the overall efficiency for inclusive K_S detection. This study provides important information for the background study and cross section measurement for K_S meson.

key words: BESIII detector; inclusive K_S ; efficiency for detection

0 引言

对粲偶素产生与衰变特性的研究是检验和发展粒子物理标准模型的重要手段^[1], 绝大多数粲偶

素特性的研究都是通过研究粲偶素衰变的分支比得到的. 在粲偶素衰变的分支比测量实验中, 大都是利用在粲偶素共振峰处采集的数据^[2]. 但是对于某些衰变模式, 由于其通过共振态产生的截面与通

收稿日期: 2016-08-31

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(11475090)

作者简介: 荆茂强(1996-), 男, 山东淄博人, 南华大学核科学技术学院. 主要研究方向: 粒子物理实验. * 通讯作者.

过正负电子直接湮灭产生截面大小相当,若只是基于峰值处的数据,则测得的结果极有可能偏离真实的物理结果.实验上处理此类问题的最好方法是利用扫描的方法对所关心过程的观测截面谱进行整体拟合,历史上 $\psi(3686)$ 和 $\psi(3770)$ 等粲偶素都是通过这种方法直接发现的^[3-7].

1 BESIII 探测器介绍

BESIII 用于观察和测量粒子对撞后产生的 e^+ , μ^+ , π^+ , K^+ , p 和 γ 等粒子以及它们反粒子的能量、动量、位置、出射角等各种参数,进而重建出反应过程,研究基本的物理规律.BESIII 探测器的主要组成有:主漂移室(MDC)、飞行时间探测器(TOF)、电磁量能器(EMC)和 μ 子探测器(MUC).在 EMC 外围包裹着一个圆柱形的超导磁体,其提供 1 T 磁场.BESIII 的具体信息可参考文献[2].

2 事例初选

2.1 径迹初选

本文研究的是单举 K_S 介子的探测效率,只要求末态中重建出 K_S 介子即可. K_S 是寿命较长的粒子,它在飞行一段距离后衰变,它主要衰变到 $\pi^+\pi^-$ 和 $\pi^0\pi^0$.本文利用 $\pi^+\pi^-$ 过程重建 K_S 介子.因而本文所研究的过程仅包含 π^+ 和 π^- 介子,并且不要求候选带电粒子来自于对撞区.带电粒子利用 MDC 中的信息重建出,并利用 MDC 测量的 dE/dx 及 TOF 测得的飞行时间来计算假设为某种粒子的置信水平.在假设分别为 π, K, p 时,对应的置信水平分别用 CL_π, CL_K, CL_p 表示.为筛选出候选 $\pi^+\pi^-$ 介子,要求两条带电径迹都满足 $CL_\pi > CL_K$ 且 $CL_\pi > CL_p$.

2.2 K_S 的重建

由于 K_S 介子飞行一段距离后衰变,其离对撞点有一定的距离.为重建出候选 K_S 介子,对候选 $\pi^+\pi^-$ 组合进行次级顶点拟合^[8].次级顶点拟合考虑了探测器内的材料属性、物质层几何分布和各种控制参数,然后将 $\pi^+\pi^-$ 在第一个击中点处的径迹信息作为种子不断向内推进,同步地修正各种物质效应和磁场的不均匀效应,直至到达 K_S 的衰变点附近,最后进行一次坐标变换,得到最终的参数.次级顶点拟合能够明显去除来自非共面的背

景事例、改善粒子的质量和动量分辨.为进一步压低背景,要求重建得到的 K_S 介子衰变长度(即对撞点到 K_S 介子衰变点的距离)与其误差的比值小于 2.得到的候选 K_S 介子信号如图 1 所示,从图中可以看到明显的 K_S 介子信号.图 1 中实线为总拟合结果,实箭头所示区间为信号区,两边虚箭头表示边带区.

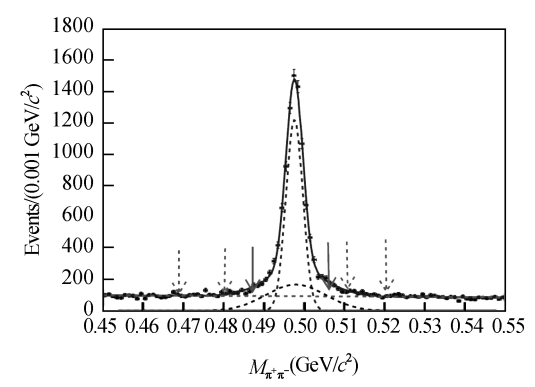


图 1 部分单举 J/ψ 蒙特卡罗样本中的 $\pi^+\pi^-$ 不变质量谱

Fig.1 Invariant mass spectrum of $\pi^+\pi^-$ in a part of J/ψ inclusive sample

3 数据分析

为正确得到 K_S 介子探测效率,需要对 K_S 介子的一些主要性质的一致性进行研究,包括动量分布、角分布、质量中心值及分辨等,并对探测效率随这些因素的变化关系进行研究.本研究采用了两种单举蒙特卡罗样本,一种为 J/ψ 共振态单举衰变样本(简称单举 J/ψ 样本),另一种为由正负电子对撞产生的虚光子的单举衰变样本(简称单举虚光子样本).

3.1 K_S 的主要动力学分布比较

根据探测器对不同角度、不同动量的带电粒子探测效率有区别这一特点,首先比较单举 J/ψ 样本和单举虚光子样本中 K_S 介子的极角、动量、方位角、衰变长度等.图 2(a) 和(b) 给出了这两种样本中 K_S 介子的极角和动量的比较.从该图中发现两个样本中的 K_S 介子极角分布符合得比较好,但是 K_S 介子的动量有少量差别.图 2 中带误差棒的点来自单举虚光子样本,直方图来自单举 J/ψ 样本.

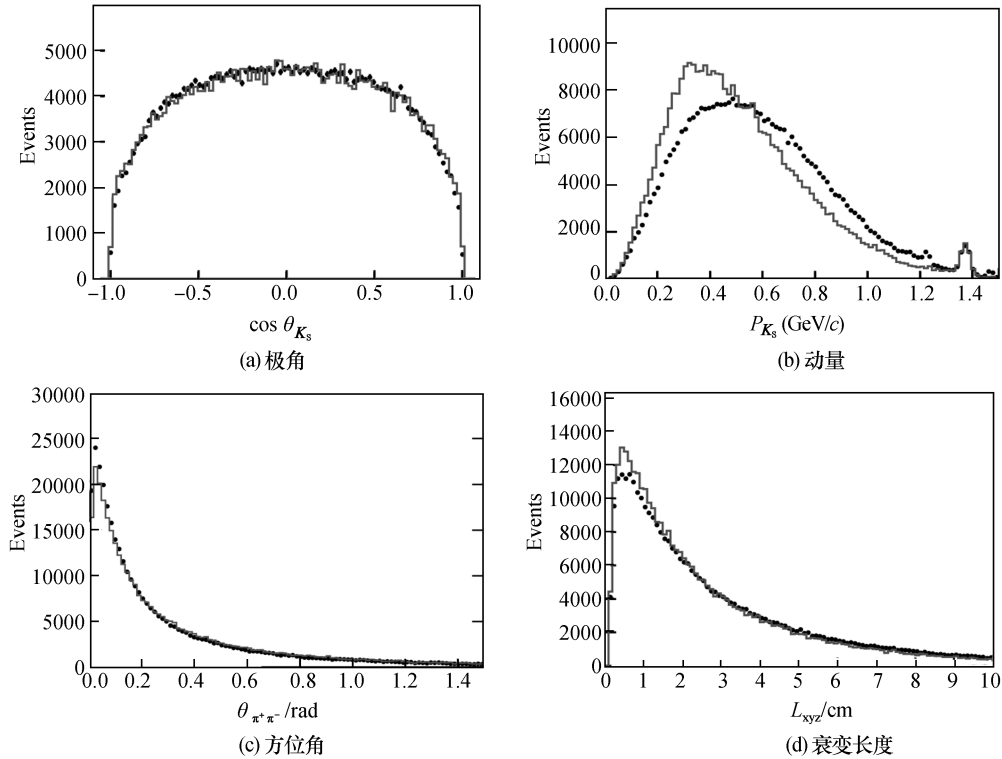


图 2 单举 J/ψ 样本和单举虚光子样本中 K_S 介子各种动力学变量分布比较

Fig.2 Comparisons of dynamic distributions for K_S meson decays between inclusive samples from J/ψ and virtual photon decays

3.2 不变质量中心值与分辨的研究

由于动量分辨随动量变化而变化,本工作首先检查重建得到的候选 K_S 介子质量中心值的变化情况.对动量从 $0\sim1.5\text{ GeV}/c$ 分成 15 个区间,对各区间内的候选 $\pi^+\pi^-$ 不变质量谱利用双高斯函数拟合信号,利用切比雪夫多项式拟合背景,可得到各区间内候选 K_S 介子质量中心值及分辨,其

随动量的变化关系见图 3(a)和(b).图 3 中带误差棒的三角形来自单举 J/ψ 样本,带误差棒的圆点来自单举虚光子样本,表明候选 $\pi^+\pi^-$ 不变质量中心值基本不随动量变化而变化,而其分辨则随着动量的增加,总体呈现增加的趋势,但在 $0.6\sim0.9\text{ GeV}/c$ 动量区间,变化较少.

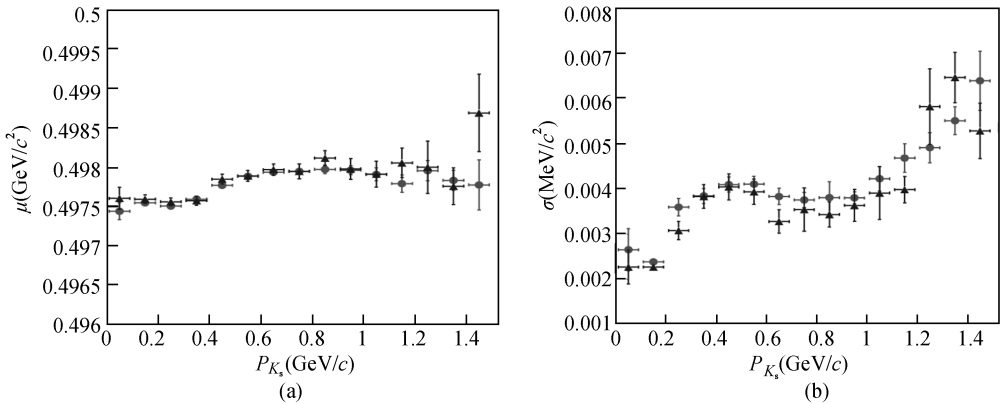


图 3 (a) 候选 K_S 介子质量中心值与动量的变化关系;(b) 候选 K_S 介子质量分辨与动量的变化关系

Fig.3 (a) Relationship of mass and momentum for candidate K_S meson

(b) Relationship of mass resolution and momentum for candidate K_S meson

3.3 探测效率与极角的关系

为研究探测器结构对 K_S 介子探测效率的影响^[9-12], 首先检查了 K_S 介子探测效率随极角的变化关系. 将 K_S 介子根据极角范围分成 20 个区间, 对各区间内的候选 $\pi^+\pi^-$ 不变质量谱按前述方式拟合可得到 K_S 介子的信号事例数 N^{obs} . 通过 MCtruth 信息读取 K_S 介子在该极角范围的总数 N^{tot} , 利用下式计算 K_S 介子探测效率 ε

$$\varepsilon = N^{\text{obs}}/N^{\text{tot}} \quad (1)$$

得到 K_S 介子探测效率随极角变化的关系如图 4 所示. 图 4 中带误差棒的三角形来自单举 J/ψ 样本, 带误差棒的圆点来自单举虚光子样本.

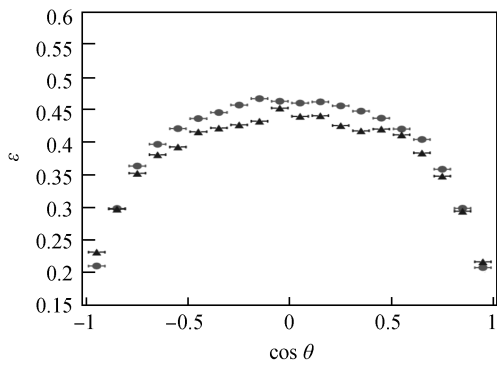


图 4 K_S 介子探测效率与极角的变化关系
Fig.4 Relationship of detection efficiency and polar angle for K_S mesons

3.4 探测效率与动量的关系

为研究动量对 K_S 介子探测效率的影响, 将 K_S 介子根据角动量范围分成 15 个区间, 对各区间内的候选 $\pi^+\pi^-$ 不变质量谱按前述方式拟合可

得到 K_S 介子的信号事例数 N^{obs} . 通过 MCtruth 信息读取 K_S 介子在该极角范围的总数 N^{tot} , 利用式 (1) 计算 K_S 介子探测效率 ε , 得到 K_S 介子探测效率随动量变化的关系如图 5 所示. 图 5 中带误差棒的三角形来自单举 J/ψ 样本, 带误差棒的圆点来自单举虚光子样本.

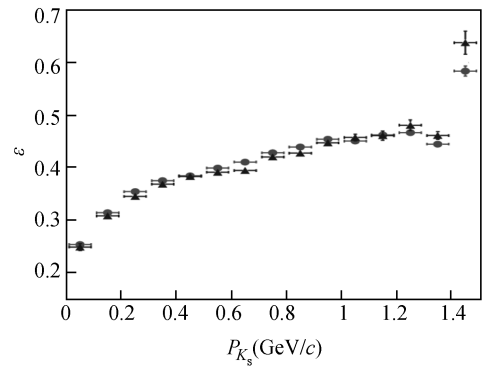


图 5 K_S 介子探测效率与动量的变化关系
Fig.5 Relationship of detection efficiency and momentum for K_S meson

3.5 二维探测效率差异研究

为了进一步研究探测器结构和动量对 K_S 介子探测效率的影响, 将 K_S 介子根据极角范围分成 20 个区间, 将 K_S 介子根据角动量范围分成 15 个区间, 作为图中的横轴和纵轴. 对各区间内的候选 $\pi^+\pi^-$ 不变质量谱按前述方式拟合可得到 K_S 介子的信号事例数 N^{obs} . 通过 MCtruth 信息读取 K_S 介子在该极角范围的总数 N^{tot} , 利用式 (1) 计算 K_S 介子探测效率 ε , 得到 K_S 介子探测效率随极角和动量变化的关系, 如图 6 所示.

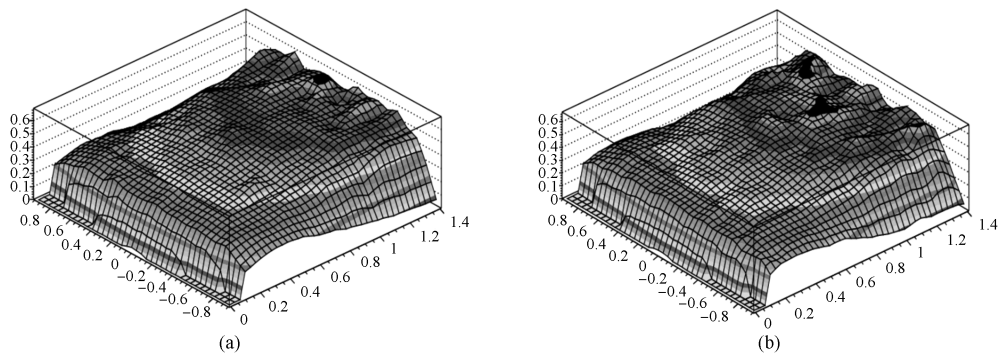


图 6 (a) 单举 J/ψ 样本中 K_S 介子探测效率与极角和动量的变化关系
(b) 单举虚光子样本中 K_S 介子探测效率与极角和动量的变化关系

Fig.6 (a) Relationship of detection efficiency and momentum for K_S meson in inclusive J/ψ sample
(b) Relationship of detection efficiency and momentum for K_S meson in inclusive virtual photon sample

为了最终确定两种样本的一致性,利用式(1)求得的探测效率,利用下式计算出两种样本的相对误差 δ :

$$\delta = \varepsilon_{J/\psi} / \varepsilon_{\gamma^*} \quad (2)$$

得到相对误差 δ 的分布如图 7 所示.从该图中发现两种样本得到的 K_s 介子探测效率在探测器各位置的差异分布呈高斯分布,拟合结果中心值为 -0.02 ,标准方差为 0.06 .

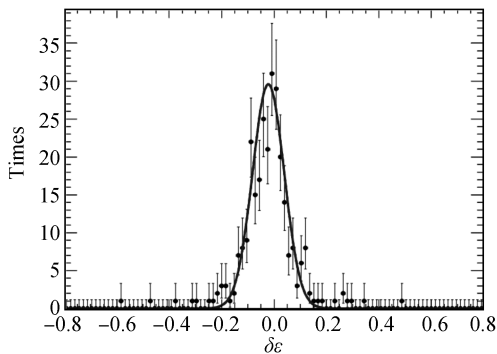


图 7 单举 J/ψ 样本和单举虚光子

样本中 K_s 介子探测效率差异分布及拟合结果

Fig.7 Fit to the detection efficiency differences of K_s meson between inclusive J/ψ sample and inclusive virtual photon sample

4 结 论

通过对单举 J/ψ 样本和单举虚光子样本中 K_s 介子动力学分布、探测效率随极角和动量的变化等的研究,本工作表明单举 J/ψ 样本和单举虚光子样本中 K_s 介子某些分布存在差异,这些差异最终对 K_s 介子的总探测效率影响约在 3% 左右.当需要开展非常精细的截面谱研究时,这些差异是必须进行考虑的.

参考文献:

[1] OLIVE K A, AGASHE K, AMSLER C, et al. (Particle Data Group). Review of Particle Physics [J]. Chin. Phys. C, 2014, 38: 090001.

[2] 王贻芳.北京谱仪(BESIII)的设计与研制[M].上海:上海科学技术出版社,2011.

[3] ABLIKIM M, BAI J Z, BAN Y, et al. (BES Collaboration). Measurements of the branching fractions for $\psi(3770) \rightarrow D^0 \bar{D}^0, D^+ D^-, D \bar{D}$ and the resonance parameters of $\psi(3770)$ and $\psi(2S)$ [J]. Phys. Rev. Lett., 2006, 97: 121801.

[4] ABLIKIM M, BAI J Z, BAN Y, et al. (BES Collaboration). Direct measurements of the cross sections for $e^+ e^- \rightarrow \text{hadrons}|_{\text{non-}D\bar{D}}$ in the range from 3.65 to 3.87 GeV and the branching fraction for $\psi(3770) \rightarrow \text{non-}D\bar{D}$ [J]. Phys. Lett. B, 2008, 659: 74-79.

[5] ABLIKIM M, BAI J Z, BAN Y, et al. (BES Collaboration). Precision measurements of the mass, the widths of $\psi(3770)$ resonance and the cross section $\sigma[e^+ e^- \rightarrow \psi(3770)]$ at $E_{\text{cm}} = 3.7724$ GeV [J]. Phys. Lett. B, 2007, 652: 238-244.

[6] ABLIKIM M, BAI J Z, BAN Y, et al. (BES Collaboration). Anomalous line shape of the cross section for $e^+ e^- \rightarrow \text{Hadrons}$ in the center-of-mass energy region between 3.650 and 3.872 GeV [J]. Phys. Rev. Lett., 2008, 101: 102004.

[7] ABLIKIM M, BAI J Z, BAN Y, et al. (BES Collaboration). Measurements of the line shapes of $D \bar{D}$ production and the ratio of the production rates of $D^+ D^-$ and $D^0 \bar{D}^0$ in $e^+ e^-$ annihilation at $\psi(3770)$ resonance [J]. Phys. Lett. B, 2008, 668(4): 263-267.

[8] 王纪科, 毛泽普, 何康林, 等. BESIII 次级顶点重建专用工具的开发 [J]. 核电子学与探测技术, 2010, 30(2): 194-198.

[9] 庞彩莹. 粲夸克偶素的重子对衰变及其蒙特卡罗产生子的研究 [D]. 桂林: 广西师范大学, 2008: 32-41.

[10] 王文峰, 朱永生, 张学尧. ψ' 强衰变分支比测定中探测效率的修正 [J]. 高能物理与核物理, 2003, 27(2): 89-94.

[11] 平荣刚, 李海波. $J/\psi \rightarrow \text{重子} + \text{反重子}$ 衰变的 HoWL 产生子的效率修正 [J]. 高能物理与核物理, 2006, 30(9): 819-823.

[12] 焦健斌, 朱永生, 张学尧. $\psi' \rightarrow p \bar{p}$ 角分布测量中的效率修正 [J]. 高能物理与核物理, 2006, 30(10): 931-935.