

# 在 BEPC II / BES III 上测量 $K^*(892)$ 质量劈裂的 Monte Carlo 研究\*

孙胜森<sup>1,2;1)</sup> 沈肖雁<sup>2</sup> 郑志鹏<sup>2</sup> 闫沐霖<sup>1</sup>

1(中国科技大学近代物理系 合肥 230026)

2(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

**摘要** 对 BEPC II / BES III 上的  $J/\psi \rightarrow K^+ K^*(892)^-$  和  $J/\psi \rightarrow K^0 \bar{K}^*(892)^0$  过程进行了 Monte Carlo 模拟, 对测量  $K^*(892)$  的质量劈裂的可行性进行了研究. 在 BES III 探测器的设计指标下, 采用  $6 \times 10^8 J/\psi$  数据, 若输入  $K^*(892)^0$  和  $K^*(892)^+$  的质量差为  $6.00\text{MeV}$ , 经过 BES III 模拟和拟合后的质量差则是  $5.79 \pm 0.16 \pm 0.13\text{MeV}$ , 其中第一项误差为统计误差, 第二项误差为系统误差. 这表明, BES III 的建造将为精确测量  $K^*(892)$  质量劈裂提供极佳机遇.

**关键词** Monte Carlo 模拟  $K^*(892)$  质量劈裂 电磁质量反常

## 1 引言

在介子共振态中, 矢量介子  $K^*(892)$  是迄今少数几个在实验上测出其同位旋分量间质量劈裂的粒子.  $K^*(892)$  的同位旋、自旋和宇称为  $I(J^P) = \frac{1}{2}(1^-)$ , 它的  $SU(3)$  自旋多重态的夸克组分为  $\bar{K}^{*0} = \bar{d}\gamma_\mu s$ ,  $K^{*0} = \bar{s}\gamma_\mu d$ ,  $K^{*+} = \bar{s}\gamma_\mu u$ ,  $K^{*-} = \bar{u}\gamma_\mu s$ . 造成强子(重子和介子)同位旋分量间质量劈裂的原因是  $u$  夸克与  $d$  夸克质量不相等以及电磁相互作用的贡献. 一般可将质量劈裂写为  $\Delta m = (\Delta m)_Q + (\Delta m)_{EM}$ , 其中  $(\Delta m)_Q$  是  $u$ - $d$  夸克质量差效应的贡献,  $(\Delta m)_{EM}$  来自电磁相互作用贡献.  $(\Delta m)_Q$  和  $(\Delta m)_{EM}$  的理论估算与强子结构模型相关, 反映强子内部的夸克结构和动力学. 中性强子的电磁质量一般小于带电强子<sup>[1-3]</sup>, 然而中性  $K^*(892)$  的电磁质量可能大于带电  $K^*(892)$  的电磁质量, 这是一种反常现象, 在文献[4]中, 称之为  $K^*(892)$  电磁质量反常.

2002 年粒子手册(PDG)中  $K^*(892)^+$  和

$K^*(892)^0$  的质量<sup>[5]</sup> 分别是  $891.66 \pm 0.26\text{MeV}$  和  $896.10 \pm 0.27\text{MeV}$ , 由此计算得到不同同位旋分量的  $K^*(892)$  的质量劈裂  $(m_{K^{*0}} - m_{K^{*+}}) = 4.44 \pm 0.37\text{MeV}$ . Brookhaven 实验组先后 3 次在  $p\bar{p}$  和  $pK^-$  对撞实验中直接测量  $K^*(892)$  的质量劈裂<sup>[6-8]</sup>. 直接测量是指在相同的末态粒子中通过不同的衰变过程来测量不同同位旋分量的  $K^*(892)$  的质量, 相减得到的质量差是直接测量的结果. 例如文献[8]中:  $p\bar{p} \rightarrow K^+ K^*(892)^- \rightarrow K_S^0 K^+ \pi^-$  和  $p\bar{p} \rightarrow K^0 \bar{K}^*(892)^0 \rightarrow K_S^0 K^+ \pi^-$ . 粒子手册(PDG)中对这 3 次的结果的平均给出:  $(m_{K^{*0}} - m_{K^{*+}}) = 6.7 \pm 1.2\text{MeV}$ .

在文献[9]中用“等效强子动力学”理论计算得到的  $(m_{K^{*0}} - m_{K^{*+}})_Q$  值在  $2.04\text{MeV}$  到  $6.78\text{MeV}$  区间中, 最佳参数匹配的结果是  $(m_{K^{*0}} - m_{K^{*+}})_Q = 4.47\text{MeV}$ . 对于间接测量的结果  $(m_{K^{*0}} - m_{K^{*+}})_{EM} = -0.03 \pm 0.37\text{MeV}$ ; 直接测量的结果  $(m_{K^{*0}} - m_{K^{*+}})_{EM} = 2.23 \pm 1.20\text{MeV}$ .

在文献[10]中, “手征夸克模型”导出<sup>[11]</sup>  $(m_{K^{*0}} - m_{K^{*+}})_Q = \frac{1}{2}(m_d - m_u)$ , 而在同一模型中, 由  $\rho^0 - \omega$

2003-10-24 收稿, 2003-12-15 收修改稿

\* 国家自然科学基金(19991480, 90103002)和中国科学院知识创新工程项目(U-602)资助

1) E-mail: sunss@mail.ihep.ac.cn

混合导出的  $m_d - m_u = 6.14 \pm 0.36 \text{ MeV}$ , 从而预言  $(m_{K^{*0}} - m_{K^{*+}})_Q = 3.07 \pm 0.18 \text{ MeV}$ . 对于间接测量的结果  $(m_{K^{*0}} - m_{K^{*+}})_{EM} = 1.37 \pm 0.41 \text{ MeV}$ , 而直接测量给出  $(m_{K^{*0}} - m_{K^{*+}})_{EM} = 3.63 \pm 1.21 \text{ MeV}$ .

可见, 目前直接测量的结果和间接测量的结果符合得不好. 以现在实验得到的误差水平, 也无法确认  $K^*(892)$  是否存在电磁质量反常. 本文的目的就是利用 BES III<sup>[12]</sup> 优良的探测器性能和大统计量样本对直接测量  $K^*(892)$  的质量劈裂做模拟, 估计误差水平, 从而为实验的可行性提供依据.

BES III 探测器由主漂移室 (MDC), 飞行时间计数器 (桶部 TOF 和端盖 TOF), 晶体电磁量能器 (EMC),  $\mu$  探测器 ( $\mu$  Counter) 和磁铁组成. 主漂移室用于测量带电粒子的动量并提供  $dE/dx$  信息做粒子鉴别; 飞行时间计数器用来测量粒子飞行的时间, 与 MDC 信息相配合, 实现粒子鉴别; 电磁量能器用来测量  $\gamma$  和电子的能量和位置;  $\mu$  探测器用来做  $\mu$  的鉴别.

计划中的 BEPC II 在质心能量  $3.89 \text{ GeV}$  处峰值亮度将达到  $L = 10^{33} / \text{cm}^2 \cdot \text{s}$ , 运行一年预期可产生  $6 \times 10^9 J/\psi$  事例. BES III 的设计指标<sup>1)</sup> 是: 主漂移室 (MDC) 单丝分辨率  $\sigma_{xy} = 130 \mu\text{m}$  (BES II<sup>[13,14]</sup>:  $\sigma_{xy} = 280 \mu\text{m}$ ), 动量分辨  $\sigma_{p_i}/p_i = 0.32\% \oplus 0.37\%$  ( $p_i$  GeV,  $x-y$  平面的动量), (BES II:  $\sigma_p/p = 1.7\% \sqrt{1+p^2}$ ),  $dE/dx$  的分辨率  $\sigma_{dE/dx} = 6\% - 7\%$  (BES II:  $\sigma_{dE/dx} = 8.5\%$ ); 桶部飞行时间计数器 (TOF) 的时间分辨率  $\sigma_{\text{BTOF}} = 100 \text{ ps}$ , 端盖 TOF 的时间分辨率  $\sigma_{\text{ETOF}} = 110 \text{ ps}$  (BES II:  $\sigma_{\text{BTOF}} = 180 \text{ ps}$ ,  $\sigma_{\text{ETOF}} = 350 \text{ ps}$ ); 在  $1 \text{ GeV}$  处, 电磁量能器能量分辨  $\sigma_E/\sqrt{E} = 2.5\%$  (BES II:  $\sigma_E/\sqrt{E} = 22\%$ ); BES III 使用超导螺线管磁铁, 场强是  $1.0 \text{ T}$  (BES II:  $B = 0.4 \text{ T}$ ). 对于类似测量  $K^*(892)$  质量劈裂这样的精密实验, 不仅需要高统计量的数据样本, 而且要求探测器具有好的动量分辨和粒子鉴别等性能. BEPC II/BES III 相比较 BEPC I/BES II 在精密测量实验方面具有显著的优势. 本文采用的蒙特卡罗模拟是基于 Geant3.21 模拟框架, 加入设计中的 BES III 探测器的几何尺寸及物质量. 事例产生器给出的粒子送入 Geant 并模拟粒子在探测器中的相互作用和输运, 最后得到各个粒子在探测器中的信息.

曾经试图利用 BES II 获取的  $5.8 \times 10^7 J/\psi$  数据测量  $K^*(892)$  的质量劈裂, 然而, BES II 探测器的动

量分辨较差, 并且  $K^*(892)$  的质量峰低端靠近阈值, 使峰值测量不够准确. 同时受粒子鉴别能力的限制,  $K/\pi$  误判数目较多, 由此形成的本底难以估计和扣除. 实验数据统计量较小也使得精确测量该质量劈裂失去意义.

## 2 测量 $K^*(892)$ 质量劈裂的 Monte Carlo 模拟

### 2.1 反应道的选择和事例产生

通过  $J/\psi$  衰变产生  $K^*(892)$ , 分别测量  $K^*(892)^+$  和  $K^*(892)^0$  的质量, 从而可给出  $K^*(892)$  不同同位旋分量间的质量劈裂. 可供选择的信号道见表 1, 其分支比按照 PDG(2002) 给出.

表 1 可选择的信号道及分支比

衰变模式	分支比
1 $J/\psi \rightarrow K^+ K^*(892)^- + \text{c.c.}$	$(5.0 \pm 0.4) \times 10^{-3}$
2 $J/\psi \rightarrow K^0 \bar{K}^*(892)^0 + \text{c.c.}$	$(4.2 \pm 0.4) \times 10^{-3}$
3 $J/\psi \rightarrow K^*(892)^0 \bar{K}_2^*(1430)^0 + \text{c.c.}$	$(6.7 \pm 2.6) \times 10^{-3}$
4 $J/\psi \rightarrow \omega K^*(892) \bar{K} + \text{c.c.}$	$(5.3 \pm 2.0) \times 10^{-3}$
5 $J/\psi \rightarrow \phi K^*(892) \bar{K} + \text{c.c.}$	$(2.04 \pm 0.28) \times 10^{-3}$
6 $J/\psi \rightarrow \gamma K^*(892) \bar{K}^*(892) + \text{c.c.}$	$(4.0 \pm 1.3) \times 10^{-3}$

选择  $J/\psi \rightarrow K^+ K^*(892)^- + \text{c.c.}$  ( $K^*(892)^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+$ ,  $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ ),  $J/\psi \rightarrow K_S^0 \bar{K}^*(892)^0 + \text{c.c.}$  ( $K^*(892)^0 \rightarrow K^+ \pi^-$ ,  $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ ) 作为研究对象. 理由是: 这些道的分支比相对较大, 且末态粒子少, 事例的选择效率高; 这两个衰变模式不含有中性径迹, 而含有固定动量值的  $K$  (对  $J/\psi \rightarrow K^+ K^*(892)^-$ ,  $P_K = 1.373 \text{ GeV}$ ) 或者  $K_S^0$  (对  $J/\psi \rightarrow K^0 \bar{K}^*(892)^0$ ,  $P_{K_S^0} = 1.371 \text{ GeV}$ ), 本底比较低. 更重要的原因是, 它们的末态粒子相同, 都是  $KK_S^0 \pi$ , 这样, 一部分系统带来的不确定性对于  $K^*(892)^+$  和  $K^0(892)^0$  是相同的, 可以互相抵消, 使测量结果的系统误差降低. 表 2 列出了所要研究的信号道  $J/\psi \rightarrow K^*(892)^+ K^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+ K^+$  和  $J/\psi \rightarrow \bar{K}^*(892)^0 K^0 \rightarrow K^+ \pi^- K_S^0$  以及本底道的模拟事例数 (利用分支比归一到  $6 \times 10^8 J/\psi$  总数). 对于 PDG 中只给出上限的衰变道, 按照所给上限和同位旋对称性来计算分支比. 这些本底道可以分为 3 类, 一是与信号道的末态产物相同; 二是带电粒子与信号道相同并且含有  $\pi^0$ ; 三是与信号的末态粒子不

1) 《北京正负电子对撞机重大改造工程初步设计》, 高能所内部文件, 2003 年.

表 2 本底道及其分支比

	衰变模式	分支比	模拟事例数
信号 1	$J/\psi \rightarrow K^*(892)^+ K^- \rightarrow K_S^0 \pi^+ K^-$	$1.14 \times 10^{-3}$	685420
信号 2	$J/\psi \rightarrow K^*(892)^0 K^0 \rightarrow K^\mp \pi^+ K_S^0$	$9.58 \times 10^{-4}$	575000
本底 1	$J/\psi \rightarrow K_1(1400)^+ K^- \rightarrow K^*(892)^+ \pi^0 K^- \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^0 K^-$	$2.7 \times 10^{-4}$	163380
本底 2	$J/\psi \rightarrow K_1(1400)^+ K^- \rightarrow K^*(892)^0 \pi^+ K^- \rightarrow K_S^0 \pi^0 \pi^+ K^-$	$2.7 \times 10^{-4}$	163380
本底 3	$J/\psi \rightarrow K_1(1400)^+ K^- \rightarrow K^*(892)^0 \pi^+ K^- \rightarrow K^+ \pi^- \pi^+ K^-$	$1.6 \times 10^{-3}$	952800
本底 4	$J/\psi \rightarrow K_S^0 \bar{K}_2^*(1430)^0 \rightarrow K_S^0 K^+ \pi^-$	$2.3 \times 10^{-4}$	136920
本底 5	$J/\psi \rightarrow K_S^0 \bar{K}_2^*(1430)^0 \rightarrow K_S^0 K^*(892)^+ \pi^- \rightarrow K_S^0 K^+ \pi^0 \pi^-$	$3.8 \times 10^{-5}$	22593
本底 6	$J/\psi \rightarrow K_S^0 \bar{K}_2^*(1430)^0 \rightarrow K_S^0 K^*(892)^0 \pi^0 \rightarrow K_S^0 K^+ \pi^- \pi^0$	$3.8 \times 10^{-5}$	22593
本底 7	$J/\psi \rightarrow K_1(1270)^+ K^- \rightarrow K_S^0 \rho^+ K^- \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^0 K^-$	$2.9 \times 10^{-4}$	172860
本底 8	$J/\psi \rightarrow K_1(1270)^+ K^- \rightarrow K^+ \rho^0 K^- \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- K^-$	$4.2 \times 10^{-4}$	252000
本底 9	$J/\psi \rightarrow K_1(1270)^+ K^- \rightarrow K^*(892)^+ \pi^0 K^- \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^0 K^-$	$3.7 \times 10^{-5}$	21954
本底 10	$J/\psi \rightarrow K_1(1270)^+ K^- \rightarrow K^*(892)^0 \pi^+ K^- \rightarrow K^+ \pi^- \pi^+ K^-$	$2.1 \times 10^{-4}$	127980
本底 11	$J/\psi \rightarrow K_1(1270)^+ K^- \rightarrow K^*(892)^0 \pi^+ K^- \rightarrow K_S^0 \pi^0 \pi^+ K^-$	$3.7 \times 10^{-5}$	21954
本底 12	$J/\psi \rightarrow K^*(892)^0 \bar{K}^*(892)^0 \rightarrow K^- \pi^+ K^+ \pi^-$	$2.2 \times 10^{-4}$	133300
本底 13	$J/\psi \rightarrow K^*(892)^0 \bar{K}^*(892)^0 \rightarrow K^+ \pi^- K_S^0 \pi^0$	$7.6 \times 10^{-5}$	45732

同(例如末态粒子中没有  $K_S^0$ ), 但分支比较大. 探测器也存在粒子误判的问题, 所以也必须加以考虑. 用事例产生子产生蒙特卡罗模拟事例(具体数目见表 2)时, 为节约计算机资源, 所有的信号道和本底道都按照  $6 \times 10^8$   $J/\psi$  产生, 结果的合理性也不会受到影响.

### 2.2 对 $K_S^0$ 衰变的末态粒子 $\pi$ 的 TOF 时间修正

飞行时间计数器(TOF)测量带电粒子从  $e^+ e^-$  对撞点到该击中点的飞行时间. 粒子的动量和击中点的位置由 MDC 测得. 联合两者的信息实现粒子的鉴别. 其运动学公式:

$$T_{\text{exp}}^i = \frac{L \sqrt{p_i^2 + m_i^2}}{0.3 p_i} \quad (1)$$

其中  $i$  是粒子的种类,  $T_{\text{exp}}^i$  是质量为  $m_i$  的粒子  $i$  的预期飞行时间值,  $p_i$  是粒子的动量,  $L$  是粒子从顶点到击中 TOF 的飞行距离. 可以得到各粒子的相应的  $\chi_i$ :

$$\chi_i = \frac{T_{\text{mea}} - T_{\text{exp}}^i}{\sigma_i} \quad (2)$$

$T_{\text{mea}}$  是 TOF 测量的时间,  $\sigma_i$  是  $i$  粒子的分辨率. 若该径迹确是粒子  $i$ , 那么量  $\chi_i$  大体服从正态分布  $N(0, 1)$ , 若不是粒子  $i$ , 则  $\chi_i$  比较大. 因此可以用  $\chi_i$  来判定径迹为何种粒子的可能性<sup>[15]</sup>.

图 1(a) 是  $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$  衰变道  $\pi$  样本的  $\Delta T = T_{\text{mea}} - T_{\text{exp}}$  分布. 很明显  $\Delta T$  不是一个标准的正态分布, 中心值发生了偏离. 这意味着对于  $K_S^0$  衰变的  $\pi$  粒

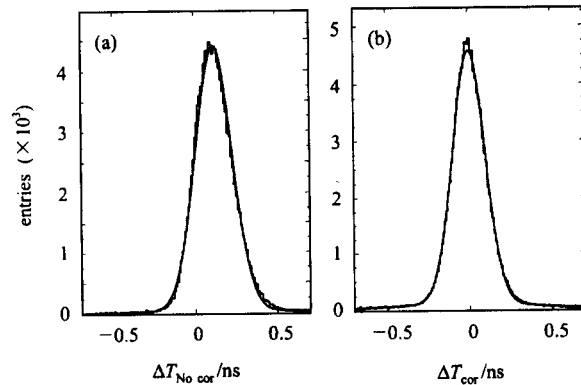


图 1 做时间修正前后的  $\Delta T$  比较

(a) 是修正前; (b) 是修正后, 给修正后  $\Delta T$  的分布趋于对称.

子的鉴别有系统偏差. 造成这个偏离的原因是,  $K_S^0$  的寿命比较长(平均寿命  $\tau = (0.8935 \pm 0.0008) \times 10^{-10}$  s), 它不是在  $e^+ e^-$  对撞点衰变, 而是飞行一段距离以后再衰变( $c\tau = 2.6786$  cm). 因此, 式中的  $L$  包括两部分, 即  $K_S^0$  以动量  $p_{K_S^0}$  从  $e^+ e^-$  对撞点飞行到  $K_S^0$  衰变的次级顶点的距离  $L_{K_S^0}$  和  $K_S^0$  衰变的  $\pi$  以动量  $p_\pi$  从  $K_S^0$  衰变的次级顶点飞行到 TOF 击中点的距离  $L_\pi$ :

$$L = L_{K_S^0} + L_\pi \quad (3)$$

$$T_{\text{exp}}^{K_S^0} = \frac{L_{K_S^0} \sqrt{p_{K_S^0}^2 + m_{K_S^0}^2}}{0.3 p_{K_S^0}} \quad (4)$$

$$T_{\text{exp}}^\pi = \frac{L_\pi \sqrt{p_\pi^2 + m_\pi^2}}{0.3 p_\pi} \quad (5)$$

$$T_{\text{expcor}} = T_{\text{exp}}^{K_S^0} + T_{\text{exp}}^\pi \quad (6)$$

用  $T_{\text{expor}}$  代替式中  $T_{\text{exp}}$  得到修正后的  $\Delta T = T_{\text{mea}} - T_{\text{expor}}$  分布, 它已是一个中心值靠近零点的标准的正态分布. 如图 1(b) 所示.

### 2.3 对事例样本的分析

对于表 2 所列的信号道  $J/\psi \rightarrow K^*(892)^+ K^\mp \rightarrow K_S^0 \pi^+ K^\mp$  和  $J/\psi \rightarrow K^*(892)^0 \bar{K}_S^0 \rightarrow K^\mp \pi^+ \bar{K}_S^0$  以及本底道, 使用以下条件进行事例选择:

(1) 好的带电径迹总数  $N_c = 4$ , 总电荷  $\Sigma Q = 0$ ;

(2) 联合 TOF 和  $dE/dx$  的信息做粒子鉴别, 要求带电粒子为  $K^\pm$  或  $\pi^\pm$ ;

(3) 至少有一种组合可以通过寻找  $K_S^0$  衰变次级顶点的程序<sup>[16]</sup>, 并且要求  $|M_{K_S^0} - 0.4977| <$

$0.02\text{GeV}$ ,  $\frac{\mathbf{R}_{xy} \cdot \mathbf{P}_{xy}}{|\mathbf{R}_{xy}| \cdot |\mathbf{P}_{xy}|} > 0.9$ ,  $0.005\text{m} < L_{xy} < 0.2\text{m}$ ,  $|\Delta Z| < 0.05\text{m}$ , 以选择  $K_S^0$ . 其中  $\mathbf{R}_{xy}$  和  $\mathbf{P}_{xy}$  分别是经过次级顶点重建后的  $K_S^0$  在  $x$ - $y$  平面的位置矢量和动量矢量;  $L_{xy}$  是  $K_S^0$  在  $x$ - $y$  平面的最可几衰变长度<sup>[17]</sup>;  $\Delta Z$  是  $K_S^0$  衰变出的两个  $\pi$  在  $x$ - $y$  平面内求出的交点的  $z$  坐标的差值;

(4) 要求 4C 运动学拟合的  $\chi_{4c}^2 < 15.0$

经过所有选择条件后共得到 149078 个  $K^*(892)^+$  信号事例和 5802 个本底事例, 108830 个  $K^*(892)^0$  信号事例和 5269 个本底事例. 因为信号道 1 和 2 的末态粒子是相同的, 所以它们通过错误的组合互相作为对方的本底, 这部分贡献占  $K^*(892)^+$  本底事例的 67.92%, 占  $K^*(892)^0$  本底事例的 94.33%. 本底道 4,  $J/\psi \rightarrow K^0 \bar{K}_2^*(1430)^0 + \text{c.c.}$  与信号道具有相同的粒子末态, 只有中间态不同, 是第二大底道, 它占  $K^*(892)^+$  本底事例的 32.02%,  $K^*(892)^0$  本底事例的 5.50%. 其他本底道对  $K^*(892)^+$  和  $K^*(892)^0$  本底事例的贡献分别不足 0.1% 和 0.2%, 被排除得很干净. 由此可见, BES III 探测器具有良好的粒子鉴别能力. 信号和本底的谱型如图 2 所示, 可以看出, 信号很清楚, 并且在信号区内, 本底是连续平滑的.

用公式(7)和三次多项式本底来拟合  $K^*(892)^+$  和  $K^*(892)^0$  的质量谱,

$$B(M) = \frac{M_0 \Gamma_0}{M_0^2 - M^2 - iM_0 \Gamma_0} \left(\frac{p}{p_0}\right)^3 \left(\frac{q}{q_0}\right)^3 \quad (7)$$

式中  $M$  是  $K_S^0 \pi^+$  或  $K^+ \pi^\mp$  的质量,  $M_0$  是  $K^*(892)^+$  或  $K^*(892)^0$  的质量,  $\Gamma_0$  是本征宽度,  $p$  是  $K_S^0 \pi^+$  ( $K^+ \pi^\mp$ ) 在  $J/\psi$  质心系的动量,  $q$  是  $K_S^0$  ( $K^\pm$ ) 在

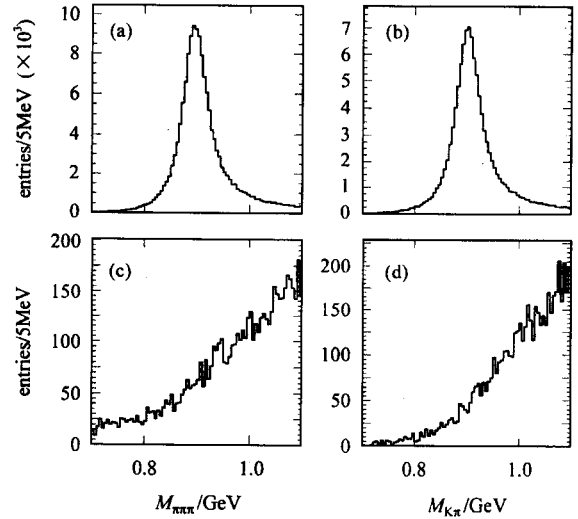


图 2  $K^*(892)$  的信号和本底事例

(a) 是  $K^*(892)^+$  的信号事例; (b) 是  $K^*(892)^0$  的信号事例;  
(c) 是  $K^*(892)^+$  的本底事例; (d) 是  $K^*(892)^0$  的本底事例.

$K_S^0 \pi^\pm$  ( $K^\pm \pi^\mp$ ) 质心系的动量,  $p_0$  和  $q_0$  是当  $M = M_0$  时,  $p$  和  $q$  的对应值.  $K^*(892)^+$  和  $K^*(892)^0$  的质量分辨分别是 4.00MeV 和 4.10MeV. 拟合结果见图 3 和表 3.

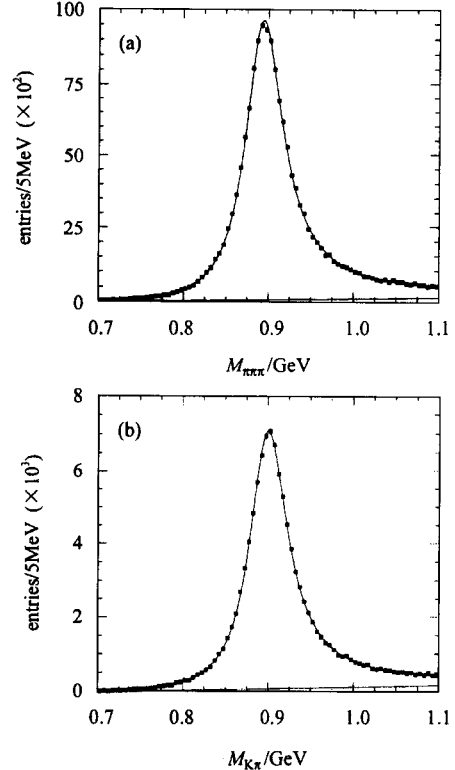


图 3  $K^*(892)^+$  (a) 和  $K^*(892)^0$  (b) 的不变质量谱

分别用二次, 四次多项式来拟合本底形状, 对峰位几乎没有影响. 因此, 由本底的不确定性带来的

峰位的系统误差可以忽略不计. 对  $K^*(892)^+$  和  $K^*(892)^0$  分别做 20 次抽样拟合, 得到的质量误差分别为 0.06 MeV 和 0.03 MeV; 改变拟合区间带来的误差分别是 0.04 MeV 和 0.05 MeV. 上述两项均作为系统误差, 总的系统误差为 0.13 MeV. 所以, 当输入的  $K^*(892)^0$  和  $K^*(892)^+$  质量差为 6.00 MeV 时, 最后得到经过模拟和拟合后的质量差为  $5.79 \pm 0.16 \pm 0.13$  MeV, 其中第一项误差为统计误差, 第二项误差为系统误差.

表 3 拟合结果

M/MeV	$K^*(892)^+$		$K^*(892)^0$	
	Input	Output	Input	Output
	892.00	$892.12 \pm 0.10$	898.00	$897.91 \pm 0.13$

### 3 结果和讨论

按照 BEPC II 的设计指标, 一年内收集到  $6 \times 10^9$   $J/\psi$  事例是完全可以达到的. 按照 BES III 探测器参

数, 就可以在 BES III 上精确测量  $K^*(892)$  的质量劈裂. 对  $6 \times 10^8$   $J/\psi$  数据模拟的结果是当输入的  $K^*(892)$  的质量劈裂是 6.00 MeV 时, 经过模拟和拟合后得到  $5.79 \pm 0.16 \pm 0.13$  MeV. 对于更高统计量的  $J/\psi$  样本, 统计误差将进一步降低. 如果希望进一步提高测量的精度, 关键是改善粒子的动量分辨和探测效率, 提高粒子鉴别效率, 降低系统误差. 好的动量分辨, 高的探测效率和粒子鉴别效率会使  $K^*$  的近域效应变得不明显, 将给出更高的判选效率, 从而得到更清晰的信号和更低的本底. 总之, BES III 探测器的建造将为强子及其动力学研究提供有利的条件, 也将对理论提供有力的检验.

感谢高能所实验物理中心  $J/\psi$  组和蒙特卡罗组的成员对作者的帮助. 感谢张达华, 何康林副研究员和苑长征研究员在 Monte Carlo 模拟等方面的有益的建议和帮助. 感谢傅成栋, 彭海平在基础软件方面做的贡献.

### 参考文献 (References)

- LI B A, YAN M L, LIU K F. Phys. Lett., 1986, **B177**:409
- Das T et al. Phys. Rev. Lett., 1967, **18**:759
- GAO D N, LI B A, YAN M L. Phys. Rev., 1997, **D56**:759
- YAN M L, GAO D N. Commun. Theor. Phys., 1998, **30**:577
- Particle Data Group. Eur. Phys. J., 2002, **C15**:577
- Aguilar-Benitez M et al. Nucl. Phys., 1978, **B141**:101
- Aguilar-Benitez M et al. Phys. Rev., 1971, **D4**:2583
- Barash N et al. Phys. Rev., 1967, **B156**:1399
- Schechter J, Subbaraman A, Weigel H. Phys. Rev., 1993, **D48**:339
- LI B A. Phys. Rev., 1995, **D52**:5165,5184
- GAO D N, YAN M L. Eur. Phys. J., 1998, **A3**:293
- CHEN H S. BEPC II / BES III Project, talk at ICHEP2002, Amsterdam, the Netherland, July 24 - 31, 2002
- BAI J Z et al (BES Collab.). Nucl. Inst. Meth., 1994, **A344**:319
- DING Hui-Liang et al (BES Collab). HEP&NP, 1992, **16**:769 (in Chinese)  
(丁慧良等(北京谱仪合作组). 高能物理与核物理, 1992, **16**:769)
- ZHENG Zhi-Peng, ZHU Yong-Sheng. Physics in  $e^+e^-$  Collision at Beijing Spectrometer. Nanning: Science and Technique Publisher of Guangxi, 1998. 40(in Chinese)  
(郑志鹏, 朱永生. 北京谱仪正负电子物理. 南宁: 广西科学技术出版社, 1998. 40)
- WANG Zhe et al. HEP&NP, 2003, **27**(1):1(in Chinese)  
(王喆等. 高能物理与核物理, 2003, **27**(1):1)
- Csorna S E et al. Phys Lett., 1987, **B191**(3):318

## Monte Carlo Study of $K^*(892)$ Mass Splitting at BEPC II / BES III \*

SUN Sheng-Sen<sup>1,2;1)</sup> SHEN Xiao-Yan<sup>2</sup> ZHENG Zhi-Peng<sup>2</sup> YAN Mu-Lin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

<sup>2</sup>(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039, China)

**Abstract** The mass splitting of  $K^*(892)^{\pm}$  and  $K^*(892)^0$  is studied through  $J/\psi \rightarrow K^{\pm} K^*(892)^{\mp}$  and  $J/\psi \rightarrow K^0 \bar{K}^*(892)^0$  at BEPC II / BES III. The Geant3-based Monte-Carlo simulation shows that the  $K^*(892)$  mass splitting can be precisely measured at BES III. If the mass splitting is 6.00 MeV, then BES III can give  $\Delta M = 5.79 \pm 0.16 \pm 0.13$  MeV, where the first error is statistical error and the second is systemic error.

**Key words** Monte Carlo simulation,  $K^*(892)$  mass splitting, electromagnetic mass anomaly

---

Received 24 October 2003, Revised 15 December 2003

\* Supported by the National Natural Science Foundation of China (19991480, 90103002) and the Knowledge Innovation Project of CAS (U-602)

1) E-mail: sunss@mail.ihep.ac.cn