

ψ' 强衰变分支比测定中探测效率的修正*

王文峰^{1,2} 朱永生¹ 张学尧²

1(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

2(山东大学物理系 济南 250100)

摘要 利用北京谱仪收集的 4×10^6 ψ' 事例样本, 在 ψ' 衰变到 $\omega\pi^+\pi^-$, $b_1\pi$, $\omega f_2(1270)$, ωK^+K^- , ω_{pp} , $\varphi\pi^+\pi^-$, $\varphi f_0(980)$, φK^+K^- , φ_{pp} 末态的研究中, 讨论了粒子鉴别条件和运动学拟合的选择效率及其修正, 据此得到了这 9 个末态的分支比的初步结果, 检验了微扰 QCD 预期的 12% 规则.

关键词 ψ' 强衰变 粒子鉴别 运动学拟合 效率修正 分支比

1 引言

BES 合作组利用北京谱仪^[1]上收集的 4×10^6 ψ' 事例样本^[2], 测量 ψ' 衰变到 $\omega\pi^+\pi^-$, $b_1\pi$, $\omega f_2(1270)$, ωK^+K^- , ω_{pp} , $\varphi\pi^+\pi^-$, $\varphi f_0(980)$, φK^+K^- , φ_{pp} 末态的分支比. 微扰 QCD (PQCD) 理论预期^[3], J/ψ 和 ψ' 衰变到强子末态 h 的分支比之比值

$$Q_h = \frac{B(\psi' \rightarrow h)}{B(J/\psi \rightarrow h)} = \frac{B(\psi' \rightarrow e^+e^-)}{B(J/\psi \rightarrow e^+e^-)} \cong 12\%, \quad (1)$$

式中轻子分支比取自于 PDG2002^[4]. 这一关系被称为“12%”规则. 这一预期对于许多强子末态而言是吻合的, 但对于矢量-赝标量 (VP) 介子两体末态 ($\rho\pi$, $K^+\bar{K}$), 这一比值低于 PQCD 预期值约两个量级^[5]. 这一反常被称为“ $\rho\pi$ ”之谜. BES 合作组还在矢量张量 (VT) 介子两体末态中观察到这种反常的压低现象^[6]. 尽管提出了不少理论模型^[7], 但尚不能令人满意地解释实验中观察到这种反常的压低现象. 因此, 测量 ψ' 衰变到以上 9 个末态的分支比, 对照 PDG 中 J/ψ 衰变到对应末态的分支比求得 Q_h 值, 检验这些两体和三体衰变的分支比是否与“15%”规则一致, 对于 PQCD 的检验和发展具有重要意义.

对于过程 $\psi' \rightarrow X$, 其衰变分支比由下式确定:

$$B(\psi' \rightarrow X) = \frac{n^{obs}(\psi' \rightarrow X \rightarrow Y)}{N_{\psi'} B(X \rightarrow Y) \epsilon(\psi' \rightarrow X \rightarrow Y)}, \quad (2)$$

式中 X 是中间态, Y 是末态, ϵ 是探测效率, $N_{\psi'}$ 是 ψ' 事例总数, n^{obs} 是通过某些实验判选条件得到的信号事例数. 探测效率 ϵ 通常由蒙特卡洛 (MC) 模拟确定. 以 $\psi' \rightarrow \omega K^+ K^-$ 为例, 中间态 X 是 $\omega K^+ K^-$, 在我们的研究中, 末态 Y 是 $\pi^+\pi^-\pi^0 K^+ K^-$. 由相空间事例产生子 HOWL 产生 $\psi' \rightarrow \omega K^+ K^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0 K^+ K^-$ 信号事例, 通过 BES 探测器模拟程序包 SOBER^[1] 后得到 MC 模拟数据. 假定共产生了 N_0 个 $\psi' \rightarrow \omega K^+ K^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0 K^+ K^-$ 信号事例的 MC 模拟数据, 经过与真实数据相同的事例重建、事例判选程序后得到 N 个 $\psi' \rightarrow \omega K^+ K^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0 K^+ K^-$ 信号事例, 则探测效率 $\epsilon^{MC} = N/N_0$.

如果 MC 模拟数据精确地反映了物理实际, 那么由此确定的探测效率是精确的. 但是 MC 模拟中不可避免地存在许多近似, 因此 ϵ^{MC} 与真实的探测效率不可避免地存在差异. 如果这一差异不大, 可以简单地作为系统误差处理. 如果差异较大, 则会导致大的系统误差, 应设法对其进行修正以减小系统误差.

2 ϵ^{MC} 的偏差及其修正

ϵ^{MC} 与真实探测效率的偏差与具体的事例判选

2002-04-12 收稿

* 国家自然科学基金(19991480), 中国科学院九五重大及特别支持项目(KJ95T-03)和中国科学院百人计划项目(U-25)资助.

条件相关.

我们研究的 9 个末态均为 4 条带电径迹(4p 末态),或 4 条带电径迹加上 2 个光子(由 π^0 衰变产生)的 4p2 γ 末态. 信号事例的通用判选条件如下:

- 1) 带电粒子数等于 4, 电荷之和等于零.
- 2) 对包含 π^0 的末态, 要求光子数大于等于 2.
- 3) 粒子鉴别(PID)条件.

对每条带电径迹, 利用主漂移室测定的 dE/dx 信息和飞行时间计数器测定的飞行时间(TOF)信息进行粒子鉴别, 计算 χ^2 和相应的概率:

$$\chi_{PID}^2(i) = \chi_{dE/dx}^2(i) + \chi_{TOF}^2(i)$$

$$Prob_{PID}(i) = Prob(\chi_{PID}^2(i), ndf_{PID}),$$

式中 $ndf_{PID} = 2$ 是 $\chi_{PID}^2(i)$ 中的自由度, $Prob_{PID}(i)$ 是该带电径迹被鉴别为粒子 $i(i = e, \mu, \pi, K, p/\bar{p})$ 的概率. 对于包含 p/\bar{p} 的末态, 要求至少一条带电径迹满足 $Prob_{PID}(p/\bar{p}) > 0.01$, 且 $Prob_{PID}(p/\bar{p}) > Prob_{PID}(\pi/K)$; 而对其他末态, 则要求每条带电径迹被鉴别为其相应粒子的概率都大于 0.01. 例如事例 $\psi' \rightarrow \omega K^+ K^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 K^+ K^-$ 的判选中, 要求两条带电径迹被鉴别为 π^+ 和 π^- , 另两条带电径迹被鉴别为 K^+ 和 K^- 的概率都大于 0.01.

4) 运动学拟合条件

4p 末态作 4 个约束条件的运动学拟合(4C fit), 4p2 γ 末态作 5 个约束条件的运动学拟合(5C fit)(附加约束条件为 $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$). 要求相应的概率 $Prob_{fit} > 0.01$. 研究表明, 对于所研究的反应道, 该条件对于粒子鉴别(PID)条件是不相关联的(参见第 5 节).

5) 粒子鉴别和运动学拟合的联合概率

计算联合 χ^2 值 $\chi_{com}^2 = \sum \chi_{PID}^2(i) + \chi_{fit}^2$ 和相应的联合概率 $Prob_{com} = Prob(\chi_{com}^2, ndf_{com})$, 式中 ndf_{com} 是总的自由度数. 例如事例 $\psi' \rightarrow \omega K^+ K^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 K^+ K^-$ 的判选中, $ndf_{com} = 4 \times 2 + 5 = 13$. 要求 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 K^+ K^-$ 的联合概率大于 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^+ \pi^-$ 的联合概率和 $\psi' \rightarrow K^+ K^- \pi^0 K^+ K^-$ 的联合概率, 以排除可能的本底:

$$Prob_{com}(\pi^+ \pi^- \pi^0 K^+ K^-) > Prob_{com}(\pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^+ \pi^-),$$

$$Prob_{com}(K^+ K^- \pi^0 K^+ K^-).$$

粒子鉴别条件 $Prob_{PID}(i) > 0.01$ 的选择效率定义为 $\epsilon_{PID}(i) = N_i/N_{id}$, N_{id} , N_i 为粒子鉴别条件 $Prob_{PID}(i) > 0.01$ 前、后粒子 i 的个数. 研究表明, MC 模拟数据的粒子鉴别条件选择效率 $\epsilon_{PID}^{MC}(i)$ 与真实数据的选择效率 $\epsilon_{PID}^{DT}(i)$ 是有偏差的; 同样, 应用运动学拟合条件的 MC 选择效率 ϵ_{fit}^{MC} 相对真实数据的

ϵ_{fit}^{DT} 也是有偏的, 需要进行适当的修正.

3 ϵ_{PID}^{MC} 的偏差及其修正

利用一组不含粒子鉴别的事例判选条件从真实实验数据选出纯净的 π, K, p, \bar{p} 的粒子样本, 这些粒子样本对于粒子鉴别条件应当是无偏的. 对这些粒子样本要求 $Prob_{PID}(i) > 0.01$, 得到 $\epsilon_{PID}^{DT}(i)$, 这一选择效率应当接近真实选择效率. $\epsilon_{PID}^{DT}(i)$ 与 $\epsilon_{PID}^{MC}(i)$ 的差别反映了 MC 模拟数据的粒子鉴别条件选择效率与真实选择效率的偏差.

我们从过程 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi, J/\psi \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0, K^+ K^- \pi^0, p\bar{p}\pi^0, p\bar{p}$ 中选择 π, K, p, \bar{p} 粒子样本, 因为这些过程有较大的分支比, 而且它们都是 4p 或 4p2 γ 末态, 与我们研究的末态有相近的事例形态(event topology), 所得的结果应当适用于我们的研究.

3.1 $\epsilon_{PID}^{DT}(\pi)$ 的确定

$\epsilon_{PID}^{DT}(\pi)$ 利用 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi, J/\psi \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ 中 J/ψ 衰变产生的带电 π 介子样本确定. 事例 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi, J/\psi \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ 的判选条件如下:

1) 第 2 节中的通用判选条件 1、2 和 4 判选事例 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^- \pi^0$;

2) $Prob_{fit}(\pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^+ \pi^-) > Prob_{fit}(\pi^+ \pi^- \pi^0 K^+ K^-)$ 以排除可能的本底;

3) 要求 $|m_{recoil}^{xx} - 3.1| < 0.03 \text{ GeV}$ 以保证通过中间态 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi$. 其中 m_{recoil}^{xx} 为对于 $\pi^+ \pi^-$ 的反冲质量.

对于这样选出的事例中 J/ψ 衰变产生的粒子, 进一步要求其中一条带电径迹满足 $Prob_{PID}(\pi) > 0.01, Prob_{PID}(\pi) > 10 Prob_{PID}(K/p)$ 以保证它是带电 π , 那么另一条带电径迹也应当是带电 π . 后者的样本应当是对粒子鉴别条件无偏的带电 π 样本, 因为它们的选择没有用到粒子鉴别条件. 利用这一带电

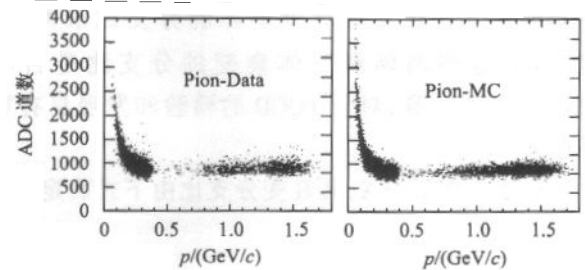


图 1 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi, J/\psi \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ 事例中带电 π 的 $dE/dx-p$ (动量)关系

π 样本可立即确定 $\epsilon_{PID}^{DT}(\pi)$.

图 1 是所选出事例中带电粒子的 dE/dx 测量值与 MC 模拟的比较. 图中低动量粒子是 ψ' 衰变直接产生的 π^+, π^- 粒子, 高动量粒子则是 J/ψ 衰变产生的 π^+, π^- . 可以看到, 数据与 MC 模拟相当一致, 基本没有 K 或 p/p 的污染, 样本的纯净性是好的.

3.2 $\epsilon_{PID}^{DT}(K)$ 的确定

$\epsilon_{PID}^{DT}(K)$ 利用 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi, J/\psi \rightarrow K^+ K^- \pi^0$ 中 J/ψ 衰变产生的带电 K 介子样本确定. 事例 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi, J/\psi \rightarrow K^+ K^- \pi^0$ 的判选条件如下:

- 1) 第 2 节中的通用判选条件 1、2 和 4 判选事例 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- K^+ K^- \pi^0$;
- 2) $Prob_{fit}(\pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^+ \pi^-) < Prob_{fit}(\pi^+ \pi^- \pi^0 K^+ K^-)$ 以排除可能的本底;
- 3) 要求 $|m_{recoil}^{\pi\pi} - 3.1| < 0.03 GeV$ 以保证通过中间态 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi$. 其中 $m_{recoil}^{\pi\pi}$ 为对于 $\pi^+ \pi^-$ 的反冲质量.

对于这样选出的事例中 J/ψ 衰变产生的粒子, 进一步要求其中一条带电径迹满足 $Prob_{PID}(K) > 0.01, Prob_{PID}(K) > 10 Prob_{PID}(\pi/p)$ 以保证它是带电 K, 那么另一条带电径迹也应当是带电 K. 后者的样本应当是对粒子鉴别条件无偏的带电 K 样本, 因为它们的选择没有用到粒子鉴别条件. 利用这一带电 K 样本可立即确定 $\epsilon_{PID}^{DT}(K)$.

3.3 $\epsilon_{PID}^{DT}(p/p)$ 的确定

$\epsilon_{PID}^{DT}(p/p)$ 利用 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi, J/\psi \rightarrow p\bar{p}\pi^0$ 中 J/ψ 衰变产生的 p/p 样本确定. 事例 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi, J/\psi \rightarrow p\bar{p}\pi^0$ 的判选条件如下:

- 1) 第 2 节中的通用判选条件 1、2 和 4 判选 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- p\bar{p}\pi^0$ 事例;
- 2) $Prob_{fit}(\pi^+ \pi^- \pi^0 p\bar{p}) > Prob_{fit}(\pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^+ \pi^-), Prob_{fit}(\pi^+ \pi^- \pi^0 K^+ K^-)$ 以排除可能的本底;
- 3) 要求 $|m_{recoil}^{\pi\pi} - 3.1| < 0.03 GeV$ 以保证通过中间态 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi$. 其中 $m_{recoil}^{\pi\pi}$ 为对于 $\pi^+ \pi^-$ 的反冲质量.

对于这样选出的事例中 J/ψ 衰变产生的粒子, 进一步要求其中一条带电径迹满足 $Prob_{PID}(p/p) > 0.01, Prob_{PID}(p/p) > 10 Prob_{PID}(\pi/K)$ 以保证它是 p (或 \bar{p}), 那么另一条带电径迹应当是 \bar{p} (或 p).

这样选出的粒子样本的 $dE/dx-p$ (动量) 分布的测量值与 MC 模拟的比较见图 2. 由图可见, p 的数

据样本比较纯净, 与 MC 模拟的一致性比较好. p 的数据样本中含有其他粒子, 它们是 p 在探测器物质中湮灭产生的, 而这一现象在 MC 模拟中没有得到反映, 这正表明 MC 模拟确定的效率需要修正. 利用这一实验数据的 p/p 样本确定了 $\epsilon_{PID}^{DT}(p/p)$, 其中在确定 $\epsilon_{PID}^{DT}(p)$ 时, 只利用了 dE/dx 位于 \bar{p} 带上的粒子样本.

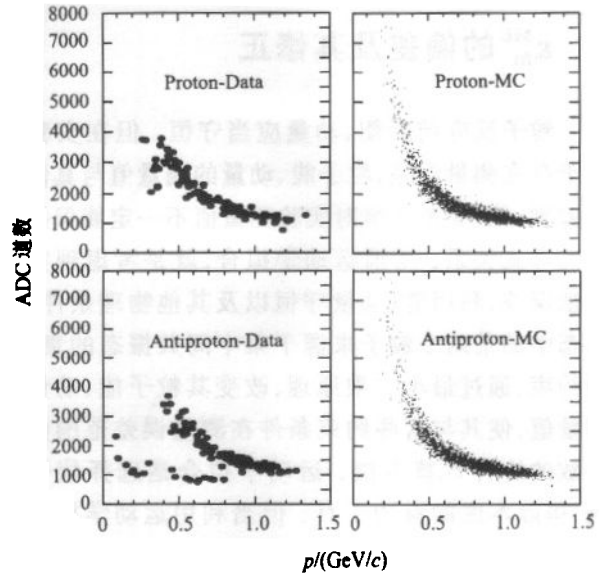


图 2 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi, J/\psi \rightarrow p\bar{p}\pi^0$ 事例中 p/p 的 $dE/dx-p$ (动量) 关系

表 1、2 列出了 $Prob_{PID}(i) > 0.01$ 这一粒子鉴别条件的 $\epsilon_{PID}^{DT}(i)$ 与 $\epsilon_{PID}^{MC}(i)$ 值以及相应的修正因子 $f_{PID}(i) = \epsilon_{PID}^{DT}(i)/\epsilon_{PID}^{MC}(i)$. 由表可见, $f_{PID}(\pi), f_{PID}(K)$ 接近 1, 说明 MC 模拟的结果与物理真实相当接近; 而 $f_{PID}(p)$ 、特别是 $f_{PID}(\bar{p})$ 偏离 1 较大. 因此, 我们对于包含 p/p 的事例末态不要求 p, \bar{p} 同时满足粒子鉴别条件 $Prob_{PID}(p) > 0.01, Prob_{PID}(\bar{p}) > 0.01$, 而只要求其中之一满足粒子鉴别条件, 这样的修正因子 $f_{PID}(p/\bar{p})$ 则接近于 1. 根据重子数守恒, p 和 \bar{p} 是对产生的. 确定其中之一的存在, 也就确定了其反粒子的存在.

以 $\psi' \rightarrow \phi K^+ K^- \rightarrow K^+ K^- K^+ K^-$ 为例, 当对末态 4 条带电径迹应用粒子鉴别条件 $Prob_{PID}(K) > 0.01$ 来选择 4 个 K 介子, 则修正因子 $f_{PID}(4K) = [f_{PID}(K)]^4$.

表 1 $\epsilon_{PID}^{DT}(\pi), \epsilon_{PID}^{MC}(\pi)$ 和 $f_{PID}(\pi)$

| 动量 $p/(GeV/c)$ | $\epsilon_{PID}^{DT}(\pi)$ | $\epsilon_{PID}^{MC}(\pi)$ | $f_{PID}(\pi)$ |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|-------------------|
| $p < 0.5$ | 0.950 ± 0.004 | 0.966 ± 0.002 | 0.983 ± 0.005 |
| $0.5 < p < 0.8$ | 0.979 ± 0.022 | 1.000 ± 0.001 | 0.979 ± 0.021 |
| $0.8 < p < 1.2$ | 0.961 ± 0.014 | 0.984 ± 0.009 | 0.977 ± 0.015 |
| $1.2 < p < 1.4$ | 0.956 ± 0.017 | 0.989 ± 0.005 | 0.967 ± 0.017 |

表 2 粒子 K, p, \bar{p} 的 $\epsilon_{\text{PID}}^{\text{DT}}, \epsilon_{\text{PID}}^{\text{MC}}$ 和 f_{PID} 值

| 粒子种类 i | $\epsilon_{\text{PID}}^{\text{DT}}(i)$ | $\epsilon_{\text{PID}}^{\text{MC}}(i)$ | $f_{\text{PID}}(i)$ |
|---------------|--|--|---------------------|
| K^+ | 0.952 ± 0.020 | 0.980 ± 0.004 | 0.971 ± 0.020 |
| p | 0.889 ± 0.035 | 0.936 ± 0.006 | 0.950 ± 0.030 |
| \bar{p} | 0.759 ± 0.052 | 0.929 ± 0.006 | 0.817 ± 0.043 |
| p/\bar{p}^* | 0.973 ± 0.016 | 0.996 ± 0.008 | 0.977 ± 0.018 |

* 指 p, \bar{p} 两个粒子中有一个满足粒子鉴别条件.

4 $\epsilon_{\text{nt}}^{\text{MC}}$ 的偏差及其修正

粒子反应前后能、动量应当守恒. 但在实验中由于存在测量误差, 粒子能、动量的测量值与真值存在差别, 能、动量守恒对实验测量值不一定能保持预期的等式关系. 所谓运动学拟合, 就是考虑到实验测量误差, 利用能、动量守恒以及其他物理条件(如末态中的某两个粒子来源于某中间共振态的衰变)的约束, 通过最小二乘原理, 改变其粒子能、动量的测量值, 使其与这些约束条件在测量误差范围内相一致的统计计算方法. 运动学拟合是选择信号事例, 排除本底的有力工具. 但当利用运动学拟合的概率 $Prob_{\text{fit}} > a$ (a 是 0, 1 之间的某个数) 进行事例选择时, 由于 MC 模拟与物理真实存在差别, 由此导致 $\epsilon_{\text{nt}}^{\text{MC}}$ 的有偏性.

在不使用运动学拟合的条件下, 利用一组判选条件从实验数据选出纯净的事例样本. 这些事例样本对于运动学拟合条件应当是无偏的. 对这些事例样本要求 $Prob_{\text{fit}} > 0.01$, 得到 $\epsilon_{\text{nt}}^{\text{DT}}$, 这一选择效率应当接近真实选择效率. $\epsilon_{\text{nt}}^{\text{DT}}$ 与 $\epsilon_{\text{nt}}^{\text{MC}}$ 的差别反映了 MC 模拟数据的运动学拟合选择效率与真实选择效率的偏差.

利用下述判据选择 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi, J/\psi \rightarrow p\bar{p}$ 事例, 其中不使用运动学拟合判选条件:

- 1) $p_{\pi} < 0.6 \text{ GeV}/c$ (该过程中的 π 介子动量很低);
- 2) 要求 $|m_{\text{recoil}}^{\pi\pi} - 3.1| < 0.03 \text{ GeV}$ 以保证通过中间态 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi$;
- 3) $0.9 < p_{p/\bar{p}} < 1.5 \text{ GeV}/c$ 以排除 $J/\psi \rightarrow e^+ e^-$, $\mu^+ \mu^-$ 本底;
- 4) 要求 $Prob_{\text{PID}}(p) > 0.01$, $Prob_{\text{PID}}(\bar{p}) > 0.01$ 保证为 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi, J/\psi \rightarrow p\bar{p}$ 事例.

这样选出的事例可确定 $J/\psi \rightarrow p\bar{p}$ 的分支比为 2.12×10^{-3} , 与 PDG^[4] 一致. 可见所选出的事例是可信的. 这些事例经过运动学拟合条件 $Prob_{\text{fit}}(\pi^+ \pi^- p\bar{p}) >$

0.01 后求得 $\epsilon_{\text{nt}}^{\text{DT}}(\pi^+ \pi^- p\bar{p}) = 0.773 \pm 0.015$, 而 MC 模拟数据得到 $\epsilon_{\text{nt}}^{\text{MC}}(\pi^+ \pi^- p\bar{p}) = 0.948 \pm 0.08$, 所以修正因子为 $f_{\text{fit}}(\pi^+ \pi^- p\bar{p}) = 0.815 \pm 0.017$.

文献[8]给出, 对过程 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi, J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$, 运动学拟合条件 $Prob_{\text{fit}}(\pi^+ \pi^- \mu^+ \mu^-) > 0.01$ 的效率修正因子为 $f_{\text{fit}}(\pi^+ \pi^- \mu^+ \mu^-) = 0.859$.

考虑到 $\mu, \pi, K, p/\bar{p}$ 4 类粒子中, 在我们研究的反应道的能量范围内, μ 与物质的相互作用最小, p/\bar{p} 与物质的相互作用最大, 因此, 对于我们研究的 $4p$ 末态, 采用运动学拟合条件修正因子为 $f_{\text{fit}}(4p) = 0.85 \pm 0.05$.

$e^+ e^- \rightarrow \gamma\gamma$ 事例具有明显的拓扑特征(末态两条中性径迹, 能量与束流能量相近, 两条中性径迹方向相反, 等等), 很容易判选, 不必使用运动学拟合的条件. 对中性径迹(光子)测量的误差矩阵进行修正^[9]之后, 发现 $Prob_{\text{fit}}(e^+ e^- \rightarrow \gamma\gamma) > 0.01$ 的效率修正因子为 $f_{\text{fit}}(e^+ e^- \rightarrow \gamma\gamma) = 0.996$, 这说明中性径迹的存在对运动学拟合条件的效率修正因子不大. 因此, 对于我们研究的 $4p2\gamma$ 末态, 采用与 $4p$ 末态相同的运动学拟合条件的效率修正因子值, 只是误差由 0.05 增加到 0.08: $f_{\text{fit}}(4p2\gamma) = 0.85 \pm 0.08$.

5 $\epsilon_{\text{PID}}^{\text{MC}}$ 和 $\epsilon_{\text{nt}}^{\text{MC}}$ 修正之间的关联

为了检验粒子鉴别条件与运动学拟合条件之间是否存在关联, 利用一组事例判选条件(既不包含粒子鉴别, 也不包含运动学拟合条件)从实验数据选出 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi, J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$ 事例. 事例判选条件主要是: 要求事例有 4 条带电径迹, 有 2 条带电径迹在六层 μ 计数器中至少有 5 个击中以保证它们是一对 μ 粒子, 另两个粒子的反冲质量要求 $|m_{\text{recoil}}^{\pi\pi} - 3.1| < 0.05 \text{ GeV}$ 并要求每个 μ 子动量大于 1.4 GeV 以保证通过中间态 $\psi' \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi$. 利用其中的 π 样本求出 $\epsilon_{\text{PID}}^{\text{DT}}(\pi)$, 同一过程的 MC 模拟求出 $\epsilon_{\text{PID}}^{\text{MC}}(\pi)$. 定义 $\epsilon_{\text{bias}} = \frac{\epsilon_{\text{PID}}^{\text{DT}}(\pi)}{\epsilon_{\text{PID}}^{\text{MC}}(\pi)} - 1 = f_{\text{PID}}(\pi) - 1$. 图 3 给出运动学拟合条件 $Prob_{\text{fit}} > a$ 下不同 a 值时的 ϵ_{bias} 值. 图中 $a < 0$ 的那一点表示不实行运动学拟合. 图中还标明了统计误差. 由图可见, ϵ_{bias} (即 $f_{\text{PID}}(\pi)$) 在误差范围内基本不随 a 值而变化. 这表示粒子鉴别的选择效率修正与运动学拟合基本上是无关联的, 由于两者间的关联导致的效率修正是一、二阶小量, 予以忽略.

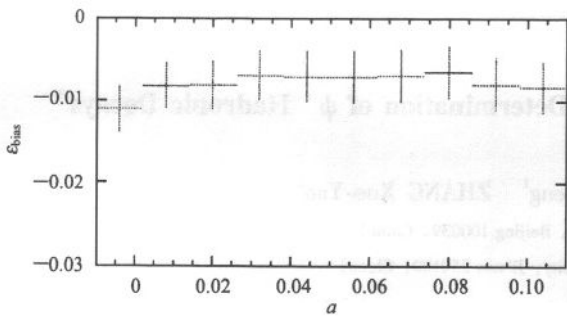


图 3 ϵ_{PID}^{MC} 和 ϵ_{fit}^{MC} 修正之间的关联
(ϵ_{bias} 和 a 的含义见正文)

6 结果和讨论

应用上面叙述的方法,得到了所研究的 ψ' 衰变 9 个末态的选择效率修正因子列于表 3,并据此求出了它们的衰变分支比和相应的 Q_b 值的初步的结果(参见文献[10]).其中 ψ' 衰变到 $\omega f_2(1270)$ 和 $b_1\pi$ 的分支比更新了已经发表的 BES 结果^[6,11],而其他衰变分支比则为世界上的首次测量. $\omega f_2(1270)$ (VT 末态)的 Q_b 值相对于 PQCD 的预期的压低因子约等于

5, $\omega\pi^+\pi^-$, $\omega\bar{p}p$ 和 ϕK^+K^- 的压低因子约等于 2,而 $b_1\pi$ (AP 末态), $\phi f_0(980)$ (VS 末态), ωK^+K^- 和 $\phi\pi^+\pi^-$ 末态的 Q_b 值则在误差范围内与 PQCD 的预期一致.至于 $\phi\bar{p}p$ 末态,需要更高统计量的 ψ' 事例才能作出判断.

表 3 ψ' 衰变 9 个末态的效率修正因子

| 末态 | 效率修正因子(%) |
|---|----------------|
| $\omega\pi^+\pi^-$ | 77.4 ± 8.7 |
| $b_1\pi$ | 77.4 ± 8.7 |
| $\omega f_2(1270)$ | 77.4 ± 8.7 |
| ωK^+K^- | 78.0 ± 8.3 |
| $\omega\bar{p}p$ | 85.0 ± 8.0 |
| $\phi\pi^+\pi^-$ | 75.6 ± 7.6 |
| $\phi f_0(980)(f_0 \rightarrow \pi^+\pi^-)$ | 75.6 ± 7.6 |
| ϕK^+K^- | 76.5 ± 7.7 |
| $\phi\bar{p}p$ | 85.0 ± 5.0 |

感谢 BEPC 同事和 BES 合作组成员对 BES 实验在 3.686GeV 质心能量处实验数据采集及处理所做的贡献,使得本工作所述的方法的研究和使用成为可能.在工作中与苑长征研究员进行过多次有益的讨论,张达华副研究员在 MC 模拟方面给予诸多帮助,在此表示感谢.

参考文献 (References)

- 1 BAI Jing-Zhi et al. N. I. M., 1994, **A344**:319—334; DING Hui-Liang et al. HEP & NP, 1992, **16**(9):669 (in Chinese) (丁慧良等.高能物理与核物理,1992,16(9):669)
- 2 BAI Jing-Zhi et al. Phys. Rev., 2002, **D65**:052004
- 3 Applequit T, Politzer D. Phys. Rev. Lett., 1975, **34**:43
- 4 Hagiwara K et al. Phys. Rev., 2002, **D66**:010001
- 5 Franklin M E B et al. Phys. rev. lett., 1983, **51**:963; ZHU Yong-Sheng. Proc. 28th Intern. Conf. on High Energy Physics, Ed. By Adjuk Z. And Wroblewski A.K., World Scientific, 1997, 507
- 6 BAI Jing-Zhi et al. Phys. Rev. Lett., 1998, **81**:5080
- 7 Hou W S, Soni A. Phys. Rev. Lett., 1983, **50**:569; Karl G, Roberts W. Phys. Lett., 1984, **B144**:243; Brodsky S J et al. Phys. Rev. Lett., 1987, **59**:631; Chaichian M et al. Nucl. Phys., 1989, **B323**:75; Pinsky S S. Phys. Lett., 1990, **B236**:479; LI X Q et al. Phys. Rev., 1997, **D555**:1241; Brodsky S J, Karliner M. Phys. Rev. Lett., 1997, **78**:468; CHEN Yu-Qi, Braaten E. Phys. Rev. Lett., 1998, **80**:5060
- 8 YUAN Chang-Zheng. BES Monthly Meeting report, Is Telesia Reliable? 1997
- 9 LI Hai-Bo et al. HEP & NP, 1999, **23**:607—615 (in Chinese) (李海波等,高能物理与核物理,1999, 23:607—615)
- 10 BAI Jing-Zhi et al. $\psi(2S)$ two-and three-body hadronic decays, hep-ex/0209080, Sept. 2002
- 11 BAI Jing-Zhi et al. Phys. Rev. Lett., 1999, **83**:1918

Efficiency Correction in the Branching Fraction Determination of ψ' Hadronic Decays*

WANG Wen-Feng^{1,2} ZHU Yong-Sheng¹ ZHANG Xue-Yao²

¹(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039, China)

²(Department of Physics, Shandong University, Ji'nan 250100, China)

Abstract The detection efficiency corrections for the particle identification and kinematic fit selection criteria are investigated for the branching fraction measurements in ψ' decays into $\omega\pi^+\pi^-$, $b_1\pi$, $\omega f_2(1270)$, ωK^+K^- , ωpp , $\varphi\pi^+\pi^-$, $\varphi f_0(980)$, φK^+K^- , φpp final states using 4×10^6 ψ' data sample collected at BEPC/BES. Based on the corrected efficiencies, the preliminary results of these decay channels have been obtained, and the "12 %" rule predicted by perturbative QCD theory has been tested.

Key words ψ' hadronic decay, particle identification, kinematic fit, efficiency correction, branching fraction

Received 12 April 2002

* Supported by National Natural Science Foundation of China (19991480), Chinese Academy of Sciences (KJ95T-03) and 100 Talant Programme of CAS (U-25)