

由 $\psi(2S) \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi$ 道测量 J/ψ 轻子道衰变分支比*

BES 合作组

白景芝¹ O. Bardon⁷ I. Blum¹¹ A. Breakstone⁹ T. Burnett¹²
J. Campbell¹¹ 陈光培¹ 陈宏芳² J. Chen⁶ 陈少敏¹ 陈申见¹
陈雅清¹ 陈宇¹ 陈元柏¹ 程宝森¹ R. F. Cowan⁷
崔化传¹ 崔象宗¹ 丁慧良¹ 杜志珍¹ W. Dunwoodie⁸
范晓聆¹ 方建¹ M. Fero⁷ 高翠山¹ 高美丽¹ 高树琦¹
高文绣¹ P. Gratton¹¹ 顾建辉¹ 顾树棣¹ 顾维新¹
顾以藩¹ 过雅南¹ 韩世温¹ 韩缨¹ F. A. Harris⁹
M. Hatanaka⁵ 何炬¹ 何可人¹ 何瑁³ D. G. Hitlin⁵
胡贵云¹ 胡涛¹ 胡晓庆¹ 黄德强¹ 黄因智¹ J. M. Izen¹¹
Q. P. Jia⁶ 姜春华¹ 金艳¹ L. Jones⁵ 康书辉¹
M. H. Kelsey⁵ B. K. Kim¹¹ 赖元芬¹ 兰慧彬¹ 郎鹏飞¹
A. Lankford¹⁰ 李芳¹ 李金¹ 李佩琴¹ 李群¹
李如柏¹ 李蔚¹ 李卫东¹ 李卫国¹ 李新华¹ 李小南¹
林树子¹ 刘怀民¹ 刘琦¹ 刘经华¹ 刘荣光¹ 刘延¹
刘振安¹ X. C. Lou¹¹ B. Lowery¹¹ 吕军光¹ 罗勇¹
马爱民¹ 马恩成¹ 马基茂¹ R. Malchow⁶ M. Mandelkern¹⁰
毛慧顺¹ 毛泽普¹ H. Marsiske⁸ 孟祥承¹ 倪蕙苓¹ 聂晶¹
S. L. Olsen⁹ J. Oyang⁵ D. Paluselli⁹ L. J. Pan⁹ J. Panetta⁵
F. Porter⁵ E. Prabhakar⁵ 漆纳丁¹ 阙友昆¹ J. Quigley⁷
荣刚¹ 邵毓莺¹ M. Schernau¹⁰ B. Schmid¹⁰ J. Schultz¹⁰
T. J. Shank⁴ 沈定力¹ 沈红¹ 沈肖雁¹ 盛华义¹ 史焕章¹
X. R. Shi⁵ H. Shipman¹¹ A. Smith¹⁰ E. Soderstrom⁸ 宋晓非¹
J. Standifird¹¹ D. Stoker¹⁰ 孙舫¹ 孙汉生¹ J. Synodinos⁸
谈益平¹ 唐素秋¹ W. Toki⁶ 童国梁¹ E. Torrence⁷ 王锋¹

* 中国科学院和国家自然科学基金资助。

王临洲¹ 王灵淑¹ 王曼¹ 王佩良¹ 王平¹ 王少敏¹
 王泰杰¹ 王运永¹ S. Whittaker⁴ R. Wilson⁶ W. Wisniewski⁹
 席德明¹ 夏小米¹ 谢佩佩¹ 许榕生¹ 徐德之¹ 徐芷菁¹
 薛生田¹ R. Yamamoto⁷ 颜洁¹ 严武光¹ 杨长友¹
 杨春敏¹ 杨华¹ 杨蔚¹ 叶铭汉¹ 叶诗章¹ 于传松¹
 喻纯旭¹ 郁忠强¹ 苑长征¹ 张炳云¹ 张长春¹ 张达华¹
 张会领¹ 张建¹ 张家文¹ 张良生¹ 张少强¹ 张羽¹
 张月元¹ 赵棣新¹ 赵京伟¹ 赵萌¹ 赵平德¹ 赵维仁¹
 郑建平¹ 郑林生¹ 郑志鹏¹ 周光谱¹ 周化十¹ 周莉¹
 周小帆¹ 周月华¹ 朱启明¹ 祝玉灿¹ 朱永生¹ 庄保安¹

G. Zioulas¹⁰

- 1 (中国科学院高能物理研究所 北京 100039)
- 2 (中国科学技术大学近代物理系 合肥 230026)
- 3 (山东大学物理系 济南 250100)
- 4 (Boston University, Boston, Massachusetts 02215, U.S.A.)
- 5 (California Institute of Technology, Pasadena, California 91125, U.S.A.)
- 6 (Colorado State University, Fort Collins, Colorado 80523, U.S.A.)
- 7 (Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 02139, U.S.A.)
- 8 (Stanford Linear Accelerator Center, Stanford, California 94309, U.S.A.)
- 9 (University of Hawaii, Honolulu, Hawaii 96822, U.S.A.)
- 10 (University of California, Irvine, California 92717, U.S.A.)
- 11 (University of Texas, Dallas, Richardson, Texas 75083 — 0688, U.S.A.)
- 12 (University of Washington, Seattle, Washington 98195, U.S.A.)

1995-06-16 收稿

摘 要

利用北京谱仪(BES)上取得的 $\psi(2S)$ 数据,对 $\psi(2S) \rightarrow \pi^+\pi^-J/\psi$, $J/\psi \rightarrow 1^+1^-$ 和 $J/\psi \rightarrow$ 任意末态两个过程进行了细致的研究,得到 J/ψ 的轻子道衰变分支比为 $B(J/\psi \rightarrow e^+e^-) = (5.90 \pm 0.07 \pm 0.16)\%$ 和 $B(J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-) = (5.96 \pm 0.08 \pm 0.16)\%$,由此给出 B_e/B_μ 的值为 $0.990 \pm 0.018 \pm 0.024$.假定 $B_e = B_\mu$, J/ψ 的轻子道衰变分支比为 $B(J/\psi \rightarrow 1^+1^-) = (5.93 \pm 0.05 \pm 0.16)\%$.上述结果可用来估计强相互作用耦合常数 α_s 和QCD减除参数 $\Lambda_{\overline{MS}}^{(n_f)}$.

关键词 J/ψ 轻子道衰变分支比, 强相互作用耦合常数, QCD 减除参数.

1 引言

J/ψ 轻子道衰变分支比是 J/ψ 共振峰的一个基本参数. 它可以用来确定重味 (指 b 或 c 夸克) 实验中 J/ψ 产生或含 J/ψ 产生的事例数目; 也可以用来估计强相互作用耦合常数 α_s 和 QCD 减除参数 $\Lambda_{\overline{\text{MS}}}^{(n_f)}$, 其中 $\overline{\text{MS}}$ 表示修正的最小减除方案, n_f 为有效夸克味数. 原则上, J/ψ 轻子道衰变分支比可以用任何包含 J/ψ 产生的道获得. 如果已知 J/ψ 衰变为轻子对的事例数 N_1^{prod} 和 J/ψ 事例总数 N_J^{prod} , 则分支比可表示为

$$B(J/\psi \rightarrow l^+l^-) = \frac{N_1^{\text{prod}}}{N_J^{\text{prod}}}.$$

在 $\psi(2S)$ 衰变中, J/ψ 产生占有很大的分支比, 用以下遍举及单举过程:

$$\psi(2S) \rightarrow \pi^+\pi^-J/\psi \quad \hookrightarrow l^+l^-; \quad (\text{I})$$

$$\psi(2S) \rightarrow \pi^+\pi^-J/\psi \quad \hookrightarrow \text{任意末态}, \quad (\text{II})$$

J/ψ 轻子道衰变分支比可表示为

$$B(J/\psi \rightarrow l^+l^-) = \frac{N_1^{\text{obs}}/A_1^{\text{MC}}}{N_J^{\text{obs}}/A_J^{\text{MC}}},$$

其中 N_1^{obs} 和 N_J^{obs} 分别为观测到的过程 I 和过程 II 的事例数, A_1 和 A_J 为这两过程相应的接收度.

利用 $\psi(2S) \rightarrow \pi^+\pi^-J/\psi$, 比利用在 J/ψ 峰附近作截面扫描来确定 J/ψ 轻子道衰变分支比有以下优越性:

1) 与两个低动量的 π 一起, 轻子事例更容易标定;

2) 可以避免 QED 本底的影响 (在 $e^+e^- \rightarrow J/\psi \rightarrow l^+l^-$ 中, 不可避免地有 e^+e^- 通过虚光子产生 l^+l^- 的影响), B_c 和 B_μ 可以不依赖任何理论计算而获得, 从而用来绝对地检验 $e-\mu$ 普适性;

3) 不需要确定对撞产生的事例总数. 由于触发效率的影响以及本底的混入等, 总数计算往往有很大的误差;

4) 触发的失效率可以忽略不计, 因为在我们研究的过程 I 中有四根带电径迹, 过程 II 中至少有两根带电径迹, BES 对多于两根带电径迹的事例的触发效率约为 100%. 虽然对只有两根带电径迹事例的触发效率略低, 但这类事例在过程 II 中占的比例很小, 几乎不影响整个过程的触发效率.

2 事例选择

本文的分析是基于工作在北京正负电子对撞机 (BEPC) 上的北京谱仪 (BES)^[1] 在 1993 至 1994 年取得的约 127 万 $\psi(2S)$ 事例进行的.

对于过程 I 和过程 II, 要求 π 介子的候选径迹满足以下条件:

1) 运量 $p_\pi < 0.60 \text{ GeV}/c$. 根据三体衰变运动学, π 的最大动量约为 $0.40 \text{ GeV}/c$, 取

0.60 GeV/c 是为了在 $\pi^+\pi^-$ 的反冲质量谱中得到光滑的本底形状.

2) 横动量 $p_{\pi xy} > 0.10 \text{ GeV}/c$, 用以去除可能在主漂移室 (MDC) 中打圈的低横动量径迹.

3) $|XSpi| < 3.0$. $XSpi$ 定义为:

$$XSpi = \frac{(dE/dx)_{\text{meas}} - (dE/dx)_{\text{exp}}}{\sigma}$$

为粒子在 MDC 中的电离能损 (dE/dx) 测量值与期望值以测量值分布的标准偏差为单位的偏差, 利用该条件对 π, K 和电子进行粒子鉴别后, $\pi^+\pi^-$ 反冲质量谱的本底大大降低.

4) $|\cos\theta_\pi| < 0.8$, θ_π 为 π 介子在实验室系中的极角, $|\cos\theta_\pi| = 0.8$ 大约相当于 MDC 第七层的覆盖立体角.

经过以上选择, 要求至少存在两条带不同电荷的 π 候选径迹, 将任意两条带不同电荷的 π 径迹作组合, 并要求满足以下条件:

1) $\pi^+\pi^-$ 不变质量 $M_{\pi^+\pi^-} > 0.36 \text{ GeV}/c^2$. $M_{\pi^+\pi^-} < 0.36 \text{ GeV}/c^2$ 的事例可能为由于

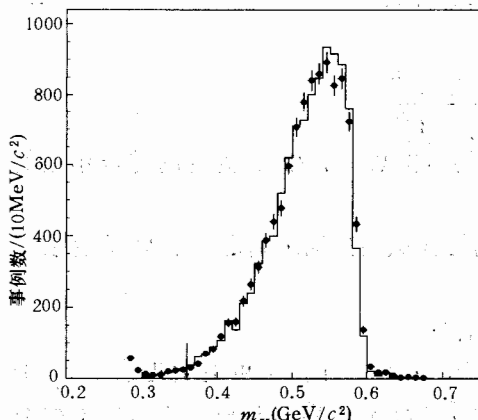


图1 过程I的 $m_{\pi^+\pi^-}$ 分布
黑点为数据, 直方图为 Monte Carlo, 箭头所指为选择条件的位置.

光子转换产生的 e^+e^- 误判造成. 图 1 给出了 $M_{\pi^+\pi^-}$ 分布的实际数据和 Monte Carlo 模拟结果.

2) $\pi^+\pi^-$ 反冲质量 $3.0 \text{ GeV}/c^2 < m_{\text{recoil}} < 3.2 \text{ GeV}/c^2$. $\pi^+\pi^-$ 系统的反冲质量定义为

$$m_{\text{recoil}} = \sqrt{(m_{\psi(2S)} - E_+ - E_-)^2 - (\vec{p}_+ + \vec{p}_-)^2}$$

其中 $E_\pm = \sqrt{\vec{p}_\pm^2 + m_\pi^2}$ 为 π^\pm 的能量, \vec{p}_\pm 是 π^\pm 的三动量.

对于过程 I, 要求带电径迹数为 4 且总电荷数为零. 轻子径迹利用该径迹在簇射计数器 (SC) 或 μ 子计数器中的信息进行鉴别.

1) 两条轻子径迹的动量须满足 $p_+ > 0.45 \text{ GeV}/c$ 且 $p_- > 1.40 \text{ GeV}/c$ 或 $p_- > 0.45 \text{ GeV}/c$ 且 $p_+ > 1.40 \text{ GeV}/c$ 或 $p_+ + p_- > 2.60 \text{ GeV}/c$. 低动量径迹为末态轻子辐射和径迹在探测器中的韧致辐射造成.

2) $|\cos\theta_e| < 0.75$, $|\cos\theta_\mu| < 0.60$, 以保证电子能在桶部簇射计数器 (BSC) 中形成完整的簇射, μ 子在 μ 子计数器的灵敏区内.

3) 作为电子事例的两根径迹都有 $E_\pm^{\text{SC}} > 0.70 \text{ GeV}$ 或 $E_+^{\text{SC}} + E_-^{\text{SC}} > 1.5 \text{ GeV}$, 其中

表 1 $\mu^+\mu^-$ 事例判选

Mustatus	0	1	2	3
0	N	N	N	N
1	N	N	N	Y
2	N	N	Y	Y
3	N	Y	Y	Y

E^{SC} 是径迹在 BSC 中的能量沉积; $\mu^+\mu^-$ 事例根据表 1 判别. 表中 'Y' 对应于一个好的 $\mu^+\mu^-$ 事例.

$Mustatus$ 的值由径迹在 μ 子计数器中的信息确定. 真正的 μ 径迹在 μ 子计数器中的击中位置应与将其作为 μ 径迹从内层探测器外推的位置相一致, 击中层数也应与 μ 径迹的要求一致. 根据实际击中情况和外推位置的吻合程度, $Mustatus$ 从 0 到 3 取值, 值越大, 径迹是 μ 的几率越大, 例如对于期望有三层 μ 击中的径迹, 如果实际击中两层或三层, $Mustatus$ 的值定为 3, 如果实际只击中第二层或第三层, 且均为双管击中, $Mustatus$ 的值定为 2, 如果实际只击中第一层, 且为双管击中, $Mustatus$ 的值定为 1, 其它情况, $Mustatus$ 为 0.

经过上述选择, 得到 5734 个 $\mu^+\mu^-$ 事例和 7174 个 e^+e^- 事例. 其中包括从大于 4 叉的事例中通过肉眼扫描得到的好事例约 0.5%. 这些事例是由于径迹 (尤其是低动量径迹) 经过飞行时间计数器或簇射计数器时, 与其中的物质发生强相互作用而向主漂移室内飞出一个次级粒子, 并被重建成一条或两条多余的径迹形成的. 鉴于 BES 目前的 Monte Carlo 程序尚不能模拟径迹与探测器物质的强相互作用行为, 因而采用扫描的方法获得这些事例.

J/ψ 单举产生的事例数通过拟合 $\pi^+\pi^-$ 反冲质量谱获得. 首先采用一个 Breit-Wigner 函数与高斯函数的卷积加一个两阶多项式拟合过程 I 的 $\pi^+\pi^-$ 反冲质量谱 (图 2a), 得到 J/ψ 信号的形状, 然后用得到的参数外加一个三阶的多项式本底对过程 II 的 $\pi^+\pi^-$ 反冲质量谱 (图 2b) 进行拟合, 从而确定 J/ψ 衰变到任意末态的事例数为

$$N_j^{\text{obs}} = 199840 \pm 642,$$

其中误差为统计误差, 由拟合得到的 J/ψ 信号占总面积比例的误差给出.

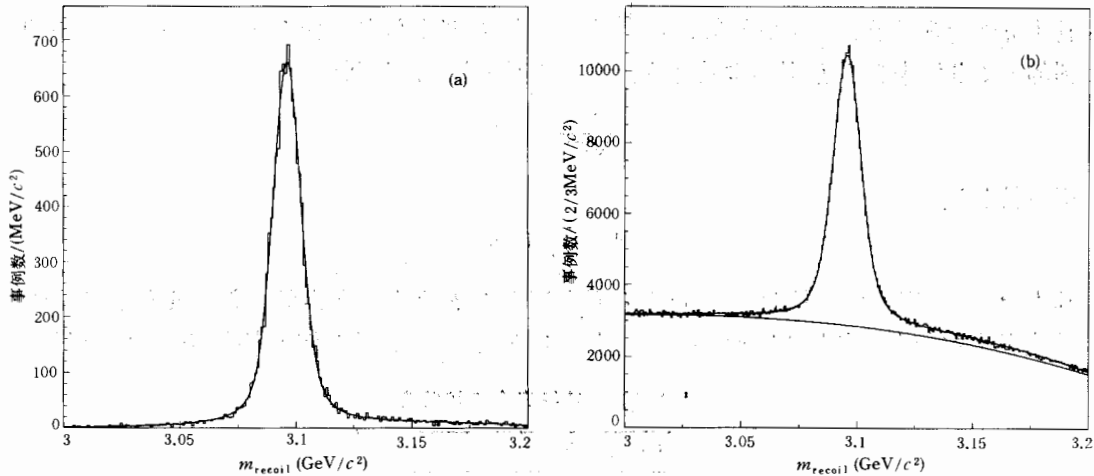


图 2 $\pi^+\pi^-$ 反冲质量分布 (a) 过程 I, (b) 过程 II.

3 接收度

观测事例的接收度由 Monte Carlo 模拟获得. 根据文献 [2], 假定过程 I 通过两体

级联衰变 $\psi(2S) \rightarrow X + J/\psi$, $X \rightarrow \pi^+\pi^-$ 和 $J/\psi \rightarrow 1^+1^-$ 完成, 由 $\psi(2S)$ 衰变产生的 $\pi^+\pi^-$ 系统和 J/ψ 之间的轨道角动量以及 $\pi^+\pi^-$ 系统中 π^+ 和 π^- 之间的轨道角动量都是 0, $\pi^+\pi^-$ 的质量分布为

$$\frac{d\sigma}{dm_X} \propto \text{相空间} \times (m_X^2 - 4m_\pi^2)^2 \\ \propto (m_X^2 - 4m_\pi^2)^2 (m_X^2 - 4m_\pi^2)^{1/2} [(m_{\psi(2S)}^2 - m_{J/\psi}^2 - m_X^2)^2 - 4m_{J/\psi}^2 m_X^2]^{1/2},$$

且具有以下特征:

- 1) X 和 J/ψ 各向同性分布;
- 2) 在 X 静止系中 π^+ 和 π^- 各向同性分布;
- 3) π^+ , π^- 在探测器中根据 PDG^[3] 给出的寿命和分支比衰变;
- 4) 对 J/ψ 的轻子道衰变考虑精确到 α^3 阶的末态辐射修正^[4]. 因为 J/ψ 自旋的 z 分量只可能有 $J_z = +1$ 和 -1 , 在 J/ψ 静止系中, 轻子的角分布大致为 $1 + \cos^2\theta$.

取软光子能量上限 $E_{\gamma, \text{min}} = 0.01E_b$, $E_b = \frac{m_{J/\psi}}{2}$, 产生大约与过程 I 的事例数相同的 Monte Carlo 模拟样本, 经过与实际数据同样的选择条件, 得到 $\psi(2S) \rightarrow \pi^+\pi^-J/\psi$, $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$ 及 $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ 的接收度 A_μ 和 A_e 分别为

$$A_\mu = 23.35\%;$$

$$A_e = 29.51\%.$$

对于过程 II, 一个探测到的 i 叉事例可能来自于任何可能产生它的含 k 个末态带电粒子的事例, 或称 k 型事例 ($k \geq i$), 即

$$n_i^{\text{obs}} = \sum_k A_{ki} N_k^{\text{prod}},$$

$$k = 0, 2, 4, \dots, \quad i = 0, 1, 2, 3, \dots,$$

其中 n_i^{obs} 为观测到的 i 叉事例数, N_k^{prod} 为产生的 k 型事例数, 矩阵元 A_{ki} 表明一个观测到的 i 叉事例来自于 k 型事例的几率. 将上式对 i 求和, 并利用

$$\frac{n^{\text{obs}}}{N^{\text{prod}}} = A_J,$$

可得接收度

$$A_J = \sum_k A_k \omega_k,$$

其中 A_k 为 k 型事例的接收度, ω_k 为 k 型事例在 J/ψ 衰变中所占的比例, 或称 J/ψ 带电径迹多重数分布. 利用 Monte Carlo 模拟 J/ψ 衰变到 k 型事例的特征道, 可以得到 k

表 2 J/ψ 特征衰变道接收度

J/ψ 衰变道	A_k (%)
全中性	51.48
1^+1^-	50.32
$\pi^+\pi^-\pi^0$	49.16
$2(\pi^+\pi^-\pi^0)$	48.70
$3(\pi^+\pi^-)$	46.45
$4(\pi^+\pi^-)$	44.82

型事例的接收度 A_k , 如表 2 所示, 连同来自 BES¹⁾ 和其它不同实验^[5] 的 ω_k , 可求得

$$A_J = (48.52 \pm 0.17)\%,$$

其中误差为对来自不同实验的 ω_k 求得的 A_J 作平均得到.

4 误差分析

J/ψ 轻子道衰变分支比的统计误差由 N_i^{obs} 和 N_j^{obs} 的统计误差传递而来, 分别为

$$\sigma_{B_e} = 0.0008,$$

$$\sigma_{E_\mu} = 0.0007.$$

系统误差有以下几个来源:

1) π 选择条件的改变 ($|\cos\theta_\pi|$ 变到 0.70 或 0.60, $|XSp_i|$ 变到 2.0, $p_{\pi xy}$ 变到 0.06 GeV/c 以及 $M_{\pi^+\pi^-}$ 变到 0.32 或 0.40 GeV/c²) 带来 B_e 和 B_μ 的相对误差分别为 2.2% 和 1.9%. 对于轻子, 将 $|\cos\theta_e|$ 变到 0.70 或 0.65, $|\cos\theta_\mu|$ 变到 0.65、0.55 或 0.50; 动量 (单位: GeV/c) 分别从 1.4 和 2.6 变到 1.35 和 2.5 或 1.45 和 2.7 或者将 0.45 变到 0.65 或 0.80; 将电子事例判选条件变到 $E^{\text{SC}} > 0.8$ 或 $E^{\text{SC}+} + E^{\text{SC}-} > 1.7$ GeV, 将 μ 子事例判选条件变到 $Mustatus_+ + Mustatus_- \geq 5$ 或 ≥ 6 , 带来 B_e 和 B_μ 的相对误差分别为 1.3% 和 1.6%. A_J , A_1 的不确定性带来 B_e 和 B_μ 的相对误差均为 0.4%.

2) 将拟合 $\pi^+\pi^-$ 反冲质量谱所用的参数 σ 和 Γ 都改变一个标准偏差, 对过程 II 的 M_{recoil} 重新拟合, B_e 和 B_μ 的不确定性为 0.8%.

3) 用 $J/\psi \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)3\pi^0$ 确定 A_4 , 和用 $J/\psi \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)(K^+K^-)$ 确定 A_6 的 Monte Carlo 模拟表明, 确定 A_J 时 J/ψ 特征衰变道中 π^0 的个数以及用 π 或用 K 作为带电粒子几乎对 A_k 不造成影响, 因而特征道的选取造成的 B_1 的不确定性可以忽略.

4) 我们所研究的过程的主要本底为 $\psi(2S) \rightarrow \eta J/\psi$, η 衰变为 $\pi^+\pi^-\pi^0$ 或 $\pi^+\pi^-\gamma$. 用相当于产生事例四倍的 Monte Carlo 样本分析表明, 它们对分支比的影响可以忽略.

认为上述所有来源的系统误差互不相关, 将不同的误差按平方相加再开方, 得到 $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ 和 $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$ 的分支比的相对误差均为 2.7%.

5 结果与讨论

表 3 归纳了以上分析得到的数据. 由此定出 J/ψ 轻子道衰变分支比及其比值为

$$B(J/\psi \rightarrow e^+e^-) = (5.90 \pm 0.07 \pm 0.16)\%;$$

表 3 J/ψ 轻子道衰变事例数

	$J/\psi \rightarrow$ 任意末态	$J/\psi \rightarrow e^+e^-$	$J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$
N^{obs}	199840	7174	5734
A^{MC}	48.52%	29.51%	23.35%
N^{prod}	411855	24310	24557

1) 对于文中描述的过程 II, 通过求解本节中的超定方程组, 可得 J/ψ 带电径迹多重数分布 $\omega_0=1.4\%$, $\omega_2=35.2\%$, $\omega_4=38.5\%$, $\omega_6=22.4\%$ 和 $\omega_8=2.5\%$.

$$B(J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-) = (5.96 \pm 0.08 \pm 0.16)\%;$$

$$\frac{B(J/\psi \rightarrow e^+e^-)}{B(J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-)} = 0.990 \pm 0.018 \pm 0.024,$$

其中第一项误差为统计误差, 第二项为系统误差.

显然, B_μ 和 B_e 几乎相同, 这说明 $e-\mu$ 普适性是成立的. 假定 $B_\mu = B_e$, 可得

$$B(J/\psi \rightarrow 1^+1^-) = (5.93 \pm 0.05 \pm 0.16)\%.$$

这个结果与 MARK-I 的结果^[6] 在实验误差范围内一致, 但精度提高了五倍, 与 MARK-III^[7] 利用同样方法测得的结果符合得很好. 本结果与 PDG 94^[3] 引用的结果以及 BES 在 J/ψ 共振峰附近作截面扫描所得的结果^[8] 一起加权平均, 可将 J/ψ 轻子道衰变分支比的误差缩小为原来世界平均值的二分之一.

用 J/ψ 轻子道衰变分支比确定 $c\bar{c}$ 夸克偶素的湮没效率 $\frac{\Gamma(c\bar{c} \rightarrow ggg)}{\Gamma(c\bar{c} \rightarrow \mu^+\mu^-)}$ 可以用于估计强相互作用耦合常数 α_s 和 QCD 减除参数 $\Lambda_{\overline{MS}}^{(n_f)}$ ^[9,10].

根据文献 [10] 中的定义, 有

$$(1 + R_1)R_2 = \frac{1 - [2B(J/\psi \rightarrow 1^+1^-) + B(J/\psi \rightarrow \gamma^* \rightarrow q\bar{q}) + B(J/\psi \rightarrow \gamma\eta_c)]}{B(J/\psi \rightarrow 1^+1^-)},$$

$$\text{其中 } R_1 = \frac{\Gamma(J/\psi \rightarrow \gamma gg)}{\Gamma(J/\psi \rightarrow ggg)} = \frac{16\alpha}{5\alpha_s} \left(1 - 3.0 \frac{\alpha_s}{\pi}\right), \quad R_2 = \frac{\Gamma(J/\psi \rightarrow ggg)}{\Gamma(J/\psi \rightarrow 1^+1^-)} =$$

$$\frac{5(\pi^2 - 9)\alpha_s^2}{18\pi^2} \left(1 + 1.59 \frac{\alpha_s}{\pi}\right) \gamma_\psi, \quad \gamma_\psi = \frac{\Gamma(c\bar{c} \rightarrow ggg)}{\Gamma^0(c\bar{c} \rightarrow ggg)} = 0.31 \pm 0.03 \text{ 为三胶子衰变}$$

过程中矩阵元中有限大小顶点引起的约化因子. 上式中等号左侧为 α_s 的函数, 右侧值均可由实验给出. 利用本实验定出的 J/ψ 衰变参数和 PDG 94^[3] 提供的其它数据, 得到

$$\alpha_s(m_c = 1.5 \text{ GeV}/c^2) = 0.28 \pm 0.01;$$

$$\Lambda_{\overline{MS}}^{(4)} = (209 \pm 16) \text{ MeV}.$$

上述 α_s 和 $\Lambda_{\overline{MS}}^{(4)}$ 值的误差仅包含实验部分, 未计及理论计算的误差.

值得指出的是与文献 [7,9] 相比, 在我们的计算中使用了理论计算的 R_1 而没有使用实验测量值, 因为唯一的 R_1 测量值^[11] 有较大的误差; 并且用矩阵元中有限大小顶点引起的约化因子 γ_ψ 代替了文献 [9] 中人为加入的并不让人满意的相对论修正项. 我们的结果与 PDG 94^[3] 采纳的数据是一致的.

诚挚地感谢 BEPC 工作人员和高能物理研究所计算中心工作人员为保证数据获取和数据分析的顺利进行所作的不懈努力.

参 考 文 献

- [1] BES Collab., *Nucl. Inst. Meth.*, **A344** (1994) 319.
- [2] T. N. Pham, B. Pire, T. N. Trong, *Phys. Lett.*, **B61** (1976) 183.
- [3] Particle Data Group, *Phys. Rev.*, **D50** part I (1994).
- [4] F. A. Berends *et al.*, *Acta Physica Polonia*, **B14** (1983) 413;
F. A. Berends, R. Kleiss, *Nucl. Phys.*, **B177** (1981) 237.

- [5] R. Baldini-Celio *et al.*, *Phys. Lett.*, **58B** (1975) 471;
 * Min-Zu Wang, Ph. D. Thesis, Univ. Iowa, May 1993.
 [6] A. Boyarski *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **34** (1975) 1357.
 [7] D. Coffman *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **68** (1992) 282.
 [8] BES Collab., *高能物理与核物理*, **19** (1995) 673.
 [9] W. Kwong *et al.*, *Phys. Rev.*, **D37** (1988) 3210.
 [10] H. C. Chiang *et al.*, *Phys. Lett.*, **B324** (1994) 482.
 [11] D. L. Scharre *et al.*, *Phys. Rev.*, **D23** (1981) 43.

Determination of J/ψ Leptonic Branching Fraction Via $\psi(2S) \rightarrow \pi^+\pi^-J/\psi$

BES Collaboration

J. Z. Bai¹ O. Bardon⁷ I. Blum¹¹ A. Breakstone⁹ T. Burnett¹² J. Campbell¹¹ G. P. Chen¹ H. F. Chen² J. Chen⁶ S. J. Chen¹ S. M. Chen¹ Y. Chen¹ Y. B. Chen¹ Y. Q. Chen¹ B. S. Cheng¹ R. F. Cowan⁷ H. C. Cui¹ X. Z. Cui¹ H. L. Ding¹ Z. Z. Du¹ W. Dunwoodie⁸ X. L. Fan¹ J. Fang¹ M. Fero⁷ C. S. Gao¹ M. L. Gao¹ S. Q. Gao¹ W. X. Gao¹ P. Gratton¹¹ J. H. Gu¹ S. D. Gu¹ W. X. Gu¹ Y. F. Gu¹ Y. N. Guo¹ S. W. Han¹ Y. Han¹ F. A. Harris⁹ M. Hatanaka⁵ J. He¹ K. R. He¹ M. He³ D. G. Hitlin⁵ G. Y. Hu¹ T. Hu¹ X. Q. Hu¹ D. Q. Huang¹ Y. Z. Huang¹ J. M. Izen¹¹ Q. P. Jia⁶ C. H. Jiang¹ Y. Jin¹ L. Jones⁵ S. H. Kang¹ M. H. Kelsey⁵ B. K. Kim¹¹ Y. F. Lai¹ H. B. Lan¹ P. F. Lang¹ A. Lankford¹⁰ F. Li¹ J. Li¹ P. Q. Li¹ Q. Li¹ R. B. Li¹ W. Li¹ W. D. Li¹ W. G. Li¹ X. H. Li¹ X. N. Li¹ S. Z. Lin¹ H. M. Liu¹ J. H. Liu¹ Q. Liu¹ R. G. Liu¹ Y. Liu¹ Z. A. Liu¹ X. C. Lou¹¹ B. Lowery¹¹ J. G. Lu¹ Y. Luo¹ A. M. Ma¹ E. C. Ma¹ J. M. Ma¹ R. Malchow⁶ M. Mandelkern¹⁰ H. S. Mao¹ Z. P. Mao¹ H. Marsiske⁸ X. C. Meng¹ H. L. Ni¹ J. Nie¹ S. L. Olsen⁹ J. Oyang⁵ D. Paluselli⁹ L. J. Pan⁹ J. Panetta⁵ F. Porter⁵ E. Prabhakar⁵ N. D. Qi¹ Y. K. Que¹ J. Quigley⁷ G. Rong¹ M. Schernau¹⁰ B. Schmid¹⁰ J. Schultz¹⁰ T. J. Shank⁴ Y. Y. Shao¹ D. L. Shen¹ H. Shen¹ X. Y. Shen¹ H. Y. Sheng¹ H. Z. Shi¹ X. R. Shi⁵ H. Shipman¹¹ A. Smith¹⁰ E. Soderstrom⁸ X. F. Song¹ J. Standifird¹¹ D. Stoker¹⁰ F. Sun¹ H. S. Sun¹ J. Synodinos⁸ Y. P. Tan¹ S. Q. Tang¹ W. Toki⁶ G. L. Tong¹ E. Torrence⁷ F. Wang¹ L. S. Wang¹ L. Z. Wang¹ M. Wang¹ P. Wang¹ P. L. Wang¹ S. M. Wang¹ T. J. Wang¹ Y. Y. Wang¹ S. Whittaker⁴ R. Wilson⁶ W. Wisniewski⁹ D. M. Xi¹ X. M. Xia¹ P. P. Xie¹ D. Z. Xu¹ R. S. Xu¹ Z. Q. Xu¹ S. T. Xue¹ R. Yamamoto⁷ J. Yan¹ W. G. Yan¹ C. M. Yang¹ C. Y. Yang¹ H. Yang¹ W. Yang¹ M. H. Ye¹ S. Z. Ye¹ C. S. Yu¹ C. X. Yu¹

Z. Q. Yu¹ C. Z. Yuan¹ B. Y. Zhang¹ C. C. Zhang¹ D. H. Zhang¹ H. L. Zhang¹ J. Zhang¹ J. W. Zhang¹ L. S. Zhang¹ S. Q. Zhang¹ Y. Zhang¹ Y. Y. Zhang¹ D. X. Zhao¹ J. W. Zhao¹ M. Zhao¹ P. D. Zhao¹ W. R. Zhao¹ J. P. Zheng¹ L. S. Zheng¹ Z. P. Zheng¹ G. P. Zhou¹ H. S. Zhou¹ L. Zhou¹ X. F. Zhou¹ Y. H. Zhou¹ Q. M. Zhu¹ Y. C. Zhu¹ Y. S. Zhu¹ B. A. Zhuang¹ G. Zioulas¹⁰

1 (Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

2 (Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

3 (Department of Physics, Shandong University, Jinan 250100)

4 (Boston University, Boston, Massachusetts 02215, U.S.A.)

5 (California Institute of Technology, Pasadena, California 91125, U.S.A.)

6 (Colorado State University, Fort Collins, Colorado 80523, U.S.A.)

7 (Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 02139, U.S.A.)

8 (Stanford Linear Accelerator Center, Stanford, California 94309, U.S.A.)

9 (University of Hawaii, Honolulu, Hawaii 96822, U.S.A.)

10 (University of California, Irvine, California 92717, U.S.A.)

11 (University of Texas, Dallas, Richardson, Texas 75083-0688, U.S.A.)

12 (University of Washington, Seattle, Washington 98195, U.S.A.)

Received 16 June 1995

Abstract

Two processes $\psi(2S) \rightarrow \pi^+\pi^-J/\psi$, $J/\psi \rightarrow 1^+1^-$ and $J/\psi \rightarrow \text{anything}$ are carefully studied to get the J/ψ leptonic branching fractions with the $\psi(2S)$ data at BES/BEPC. The results are $B(J/\psi \rightarrow e^+e^-) = (5.90 \pm 0.07 \pm 0.16)\%$ and $B(J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-) = (5.96 \pm 0.08 \pm 0.16)\%$, and B_e/B_μ is estimated to be $0.990 \pm 0.018 \pm 0.024$. Assuming $B_e = B_\mu$, the leptonic branching fraction of the J/ψ is $B(J/\psi \rightarrow 1^+1^-) = (5.93 \pm 0.05 \pm 0.16)\%$. This result is used to estimate the QCD scale factor $\Lambda_{\overline{\text{MS}}}^{(n_f)}$ and the strong coupling constant α_s .

Key words J/ψ leptonic branching fraction, strong coupling constant α_s , QCD scale factor $\Lambda_{\overline{\text{MS}}}^{(n_f)}$.