

# QCD 因子化框架下 $B_s \rightarrow PP$ 衰变中湮灭图效应

常 钦, 李晓楠, 万正阳

(河南师范大学 物理与电子工程学院, 河南 新乡 453007)

**摘 要:** CDF 和 LHCb 实验组对  $B_s$  介子衰变中纯湮灭过程的测量揭示了大湮灭图贡献的存在. 基于日益精确的  $B$  介子衰变测量实验结果, 本文在 QCD 因子化框架下研究了湮灭图贡献的效应, 对  $B_s$  系统中的湮灭图参数空间进行了拟合, 并结合  $B_{u,d}$  介子衰变分析了湮灭图贡献对初态的味道依赖性. 在本文得到的参数空间内,  $B_s \rightarrow \pi\pi, \pi K, KK$  衰变的理论结果与实验数据一致. 然而, 在目前的理论计算和实验精度下, 湮灭图参数对初态味道的依赖性很难被严格辨别, 即  $X_A$  对  $B_s$  和  $B_{u,d}$  系统仍可以是普适的.

**关键词:**  $B$  介子; QCD 因子化; 湮灭图

**中图分类号:** O57

**文献标志码:** A

近年来, 随着欧洲大型强子对撞机(LHC)的运行, 越来越多的  $B$  介子衰变物理可观测量被精确测量, 并有许多十分重要的发现. 其中之一就是对  $\bar{B}_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$  纯湮灭过程的测量. 重味物理平均组(HFAG)在平均了 CDF<sup>[1]</sup> 和 LHCb<sup>[2]</sup> 2 大实验组的实验数据之后, 得到结果<sup>[3]</sup>:

$$B(\bar{B}_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-) = (0.73 \pm 0.14) \times 10^{-6}. \quad (1)$$

这是国际上首次公布对  $B$  介子两体非轻纯湮灭过程的测量结果, 并引起了国内外广泛关注<sup>[4-7]</sup>. 在理论上,  $B$  介子衰变中的湮灭图贡献形式上是被  $\Lambda_{\text{QCD}}/m_b$  幂次压低的, 分支比在  $10^{-7}$  量级. 更加精确的理论结果需要在具体的处理强子矩阵元的各种因子化方案下计算得到.

在 QCD 因子化框架中<sup>[8]</sup>, 湮灭图振幅伴随有手征增强因子, 并蕴含强相位的信息, 这对于  $B$  介子衰变理论计算, 尤其是对直接 CP 破坏的预言具有十分重要的意义. 然而, 由于端点奇异性问题, 湮灭图振幅很难被精确计算. Beneke 等人将端点处的积分看作是对红外敏感的贡献, 并引入了模型无关参数  $X_A$  对这部分贡献进行估计<sup>[9]</sup>. 参数  $X_A$  的定义为:

$$\int_0^1 \frac{dx}{x} \rightarrow X_A = (1 + \rho_A e^{i\phi_A}) \ln \frac{m_B}{\Lambda_h}, \quad (2)$$

其中,  $\Lambda_h = 0.5 \text{ GeV}$ ;  $(\rho_A, \phi_A)$  是引入的唯象参数, 分别表征了端点贡献的大小和强相位. 目前, 对  $(\rho_A, \phi_A)$  的数值并没有严格的理论要求, 只能通过实验数据得到. Beneke 等人对这组参数进行了保守估计, 认为  $\rho_A \sim 1$ ,  $\phi_A \sim -55^\circ$  (即 S4 方案)<sup>[9-10]</sup>, 并对  $B \rightarrow PP$  衰变过程进行了计算. 在 S4 方案下, QCD 因子化的预言  $B(\bar{B}_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-) = (0.26_{-0.00-0.09}^{+0.00+0.10}) \times 10^{-6}$ <sup>[10]</sup> 比(1)式给出的实验结果  $(0.73 \pm 0.14) \times 10^{-6}$  小了  $3\sigma$ . 这就意味着  $\bar{B}_s^0$  介子衰变中存在超出预期的大湮灭图贡献. 针对这一“反常”现象, 本文将在 QCD 因子化框架下, 利用目前已有的  $B_s \rightarrow PP$  衰变实验数据, 对  $\bar{B}_s^0$  介子系统中湮灭图贡献进行详细研究.

## 1 理论框架

在 QCD 因子化框架下,  $\bar{B}_s \rightarrow \pi\pi, \pi K, KK$  衰变振幅可以写为<sup>[9]</sup>:

收稿日期: 2014-08-11

基金项目: 河南省科技创新人才计划(14HASTIT036)

作者简介(通信作者): 常 钦(1981—), 男, 河南安阳人, 河南师范大学特聘教授, 博士生导师, 主要从事高能粒子物理研究, E-mail: changqin@htu.edu.cn.

$$\begin{aligned}
 A_{\bar{B}_s \rightarrow \pi^+ \pi^-} &= \sum_{p=u,c} V_{pb} V_{ps}^* B_{\pi\pi} \left[ \delta_{pu} b_1 + 2b_4^p + \frac{1}{2} b_4^{p,EW} \right], \\
 A_{\bar{B}_s \rightarrow \pi^0 \pi^0} &= \sum_{p=u,c} V_{pb} V_{ps}^* B_{\pi\pi} \left[ \delta_{pu} b_1 + 2b_4^p + \frac{1}{2} b_4^{p,EW} \right], \\
 A_{\bar{B}_s \rightarrow \pi^- K^+} &= \sum_{p=u,c} V_{pb} V_{ps}^* A_{K\pi} \left[ \delta_{pu} \alpha_1 + \alpha_4^p + \alpha_4^{p,EW} + \beta_3^p - \frac{1}{2} \beta_3^{p,EW} \right], \\
 \sqrt{2} A_{\bar{B}_s \rightarrow \pi^0 K^0} &= \sum_{p=u,c} V_{pb} V_{ps}^* A_{K\pi} \left[ \delta_{pu} \alpha_2 - \alpha_4^p + \frac{1}{2} \alpha_3^{p,EW} + \frac{1}{2} \alpha_4^{p,EW} - \beta_3^p + \frac{1}{2} \beta_3^{p,EW} \right], \\
 A_{\bar{B}_s \rightarrow K^- K^+} &= \sum_{p=u,c} V_{pb} V_{ps}^* \{ B_{KK} [\delta_{pu} b_1 + b_4^p + b_4^{p,EW}] + \\
 A_{KK} &\left[ \delta_{pu} \alpha_1 + \alpha_4^p + \alpha_4^{p,EW} + \beta_3^p + \beta_4^p - \frac{1}{2} \beta_3^{p,EW} - \frac{1}{2} \beta_4^{p,EW} \right] \}, \\
 A_{\bar{B}_s \rightarrow K^0 K^0} &= \sum_{p=u,c} V_{pb} V_{ps}^* \left\{ B_{KK} \left[ b_4^p - \frac{1}{2} b_4^{p,EW} \right] + \right. \\
 A_{KK} &\left. \left[ \alpha_4^p - \frac{1}{2} \alpha_4^{p,EW} + \beta_3^p + \beta_4^p - \frac{1}{2} \beta_3^{p,EW} - \frac{1}{2} \beta_4^{p,EW} \right] \right\}.
 \end{aligned}$$

振幅表达式中  $V_{pb}$  是 CKM 矩阵元,  $A_{M_1 M_2}, B_{M_1 M_2}$  由衰变常数和形状因子而定.  $\alpha_i$  包括了领头阶贡献、顶角修正、硬旁观者散射修正, 由 QCD 因子化方法计算得到. 本文研究的对象是式中的  $\beta_i$  部分, 即湮灭图(如图 1 所示)贡献.

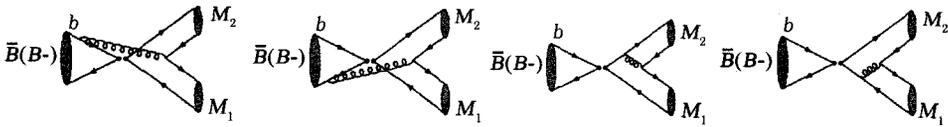


图1 湮灭图贡献相关的费曼图

经计算, 由图 1 给出的湮灭图贡献为<sup>[9]</sup>:

$$\begin{aligned}
 \beta_i^p &\equiv b_i^p B_{M_1 M_2} / A_{M_1 M_2}, \\
 b_1 &= \frac{C_F}{N_C^2} C_1 A_1^i, b_2 = \frac{C_F}{N_C^2} C_2 A_1^i, \\
 b_3^p &= \frac{C_F}{N_C^2} [C_3 A_1^i + C_5 (A_3^i + A_3^f) + N_C C_6 A_3^f], b_4^p = \frac{C_F}{N_C^2} [C_4 A_1^i + C_6 A_2^i], \\
 b_{3,EW} &= \frac{C_F}{N_C^2} [C_9 A_1^i + C_7 (A_3^i + A_3^f) + N_C C_8 A_3^f], b_{4,EW} = \frac{C_F}{N_C^2} [C_{10} A_1^i + C_8 A_2^i],
 \end{aligned}$$

式中,  $C_F$  是色因子,  $N_C$  是色数, 二者在计算中都是常数;  $C_i$  是可微扰计算的威尔逊系数. 利用介子光锥分布振幅的渐进形式, 湮灭图贡献的基本项可简化如下:

$$A_1^i \approx A_2^i \approx 2\pi\alpha_s \left[ 9 \left( X_A^i - 4 + \frac{\pi^2}{3} \right) + r_\chi^{M_1} r_\chi^{M_2} (X_A^i)^2 \right], \tag{3}$$

$$A_3^i \approx 6\pi\alpha_s (r_\chi^{M_1} - r_\chi^{M_2}) \left[ (X_A^i)^2 - 2X_A^i + \frac{\pi^2}{3} \right], \tag{4}$$

$$A_3^f \approx 6\pi\alpha_s (r_\chi^{M_1} + r_\chi^{M_2}) [2(X_A^f)^2 - X_A^f], \tag{5}$$

其中,  $\gamma_\chi^M$  是手征增强因子; 上标“ $i, f$ ”用以区分胶子是从初态或末态夸克发射; 下标“1, 2, 3”分别对应 3 种狄拉克结构算符:  $(V-A) \otimes (V-A), (V-A) \otimes (V+A)$  和  $(-2)(S-P) \otimes (S+P)$ ; 式中的  $X_A^{i,f}$  由公式(2)给出.

没有严格理论可以证明  $X_A^{i,f}(\rho_A, \phi_A)$  对  $B_{u,d,s}$  系统是普适的, 但简便起见, 以往的相关工作几乎都采用了这一简化. 文献[5, 7] 中的计算结果显示, 普适的  $(\rho_A, \phi_A)$  参数值很难同时满足多个衰变道的物理可观测量实验与理论结果的一致性. 文献[6] 详细地讨论了湮灭图效应对初态旁观者夸克的味道依赖性, 并提出湮灭图振幅中味破坏效应予以考虑. 关于如何处理湮灭图参数的问题, 文献[6] 认为:  $A_i$  描述胶子发射于初态夸

克的情况, 故  $X_A^i(\rho_A^i, \phi_A^i)$  依  $B_{u,d}, B_s$  介子而不同; 而  $A_i^f$  与初态无关, 因此  $X_A^i(\rho_A^i, \phi_A^i)$  对  $B_{u,d}$  和  $B_s$  系统普适. 本文将结合现有的  $B_s \rightarrow PP$  实验数据对其参数做整体拟合, 检验  $X_A^i$  对  $B_{u,d}$  和  $B_s$  系统的普适性问题, 并得到  $B_s$  系统中湮灭图参数的合理结果.

### 3 数值结果和讨论

利用以上基本理论框架, 下面给出本文的数值结果和讨论. 计算中, 本文所采用的输入如下参数. CKM 矩阵参数<sup>[11]</sup>:

$$\bar{\rho} = 0.140_{-0.026}^{+0.027}, \bar{\eta} = 0.343_{-0.014}^{+0.015}, A = 0.802_{-0.011}^{+0.029}, \lambda = 0.22543_{-0.00094}^{+0.00059};$$

夸克质量<sup>[12]</sup>:

$$m_u = m_d = m_s = 0, m_c = 1.67 \pm 0.07 \text{ GeV}, m_b = 4.78 \pm 0.06 \text{ GeV}, m_t = 173.5 \pm 1.0 \text{ GeV}$$

$$\frac{\bar{m}_s(\mu)}{\bar{m}_{u,d}(\mu)} = 27 \pm 1, \bar{m}_s(2 \text{ GeV}) = 95 \pm 5 \text{ MeV}, \bar{m}_c(\bar{m}_c) = 1.275 \pm 0.025 \text{ GeV},$$

$$\bar{m}_b(\bar{m}_b) = 4.18 \pm 0.03 \text{ GeV}, \bar{m}_t(\bar{m}_t) = 160.0_{-4.3}^{+4.8} \text{ MeV};$$

衰变常数<sup>[12-13]</sup>:

$$f_{B_d} = (190 \pm 13) \text{ MeV}, f_{B_s} = (231 \pm 15) \text{ MeV}, f_\pi = (130.4 \pm 0.2) \text{ MeV},$$

$$f_K = (156.1 \pm 0.8) \text{ MeV};$$

形状因子<sup>[14-15]</sup>:

$$F_0^{B \rightarrow \pi}(0) = 0.258 \pm 0.031, F_0^{B \rightarrow K}(0) = 0.331 \pm 0.041, F_0^{B_s \rightarrow K}(0) = 0.23 \pm 0.06;$$

盖根保尔系数<sup>[16]</sup>:

$$a_1^+(2 \text{ GeV}) = 0, a_2^+(2 \text{ GeV}) = 0.17, a_1^-(2 \text{ GeV}) = 0.05, a_2^-(2 \text{ GeV}) = 0.17.$$

以表 1、2、3 第 2 列中所列出的  $\bar{B}_s^0 \rightarrow \pi K, \pi\pi, KK$  衰变现有的实验数据作为限制条件, 令  $(\rho_{A,s}^i, \phi_{A,s}^i)$  和  $(\rho_{A,s}^f, \phi_{A,s}^f)$  为自由参数, 通过  $\chi^2$  分析, 拟合得到  $B_s$  系统中  $(\rho_{A,s}^i, \phi_{A,s}^i)$  和  $(\rho_{A,s}^f, \phi_{A,s}^f)$  的参数空间(见图 2).

表 1 CP 平均分支比 / ( $10^{-6}$ )

衰变过程	实验数据	理论结果	文献[10]结果
$\bar{B}_s \rightarrow \pi^- K^+$	$5.4 \pm 0.6$	$5.1_{-0.4-2.4}^{+0.6+3.2}$	$5.3_{-0.8-0.5}^{+0.4+0.4}$
$\bar{B}_s \rightarrow \pi^0 K^0$	—	$1.87_{-0.19-0.28}^{+0.24+0.30}$	$1.7_{-0.8-0.5}^{+2.5+1.2}$
$\bar{B}_s \rightarrow \pi^- \pi^+$	$0.73 \pm 0.14$	$0.62_{-0.02-0.09}^{+0.05+0.10}$	$0.26_{-0.00-0.09}^{+0.00+0.10}$
$\bar{B}_s \rightarrow \pi^0 \pi^0$	—	$0.31_{-0.01-1.66}^{+0.02+0.01}$	$0.13_{-0.0-0.05}^{+0.0+0.05}$
$\bar{B}_s \rightarrow K^- K^+$	$24.5 \pm 1.8$	$19.2_{-0.6-5.0}^{+1.4+6.0}$	$25.2_{-7.2-9.1}^{+12.7+12.5}$
$\bar{B}_s \rightarrow K^0 K^0$	$< 66$	$20.1_{-0.6-5.4}^{+1.5+6.6}$	$26.1_{-8.1-9.4}^{+13.5+12.9}$

说明: 本文的理论结果中第 1 个误差由 CKM 参数不确定性引起, 第 2 个误差由除 CKM 参数之外的其它参数引起.

表 2 直接 CP 破坏 / ( $10^{-2}$ )

衰变过程	实验数据	理论结果	文献[10]结果
$\bar{B}_s \rightarrow \pi^- K^+$	$26 \pm 4$	$33_{-2-9}^{+2+15}$	$20.7_{-3.0-8.8}^{+5.0+3.9}$
$\bar{B}_s \rightarrow \pi^0 K^0$	—	$47_{-2-9}^{+2+8}$	$38.3_{-18.2-24.3}^{+17.4+26.6}$
$B_s \rightarrow \pi^+ \pi^-$	—	$0_{-0-0}^{+0+0}$	0
$\bar{B}_s \rightarrow \pi^0 \pi^0$	—	$0_{-0-0}^{+0+0}$	0
$\bar{B}_s \rightarrow K^+ K^-$	$-14 \pm 11$	$-12.3_{-0.6-0.4}^{+0.6+0.4}$	$-7.7_{-1.9-5.1}^{+1.6+4.0}$
$\bar{B}_s \rightarrow K^0 K^0$	—	$0.53_{-0.03-0.14}^{+0.03+0.11}$	$0.40_{-0.04-0.04}^{+0.04+0.10}$

表 3 混合 CP 破坏 / (10<sup>-2</sup>)

衰变过程	实验数据	理论结果	文献[10]结果
$\bar{B}_s \rightarrow \pi^0 K^0$	—	$9.3^{+13.7+6.8}_{-14.5-7.0}$	$8^{+29+23}_{-27-26}$
$\bar{B}_s \rightarrow \pi^+ \pi^-$	—	$16.4^{+0.9+0.0}_{-0.9-0.0}$	$15^{+0+0}_{-0-0}$
$\bar{B}_s \rightarrow \pi^0 \pi^0$	—	$16.4^{+0.9+0.0}_{-0.9-0.0}$	$15^{+0+0}_{-0-0}$
$\bar{B}_s \rightarrow K^+ K^-$	$-30 \pm 13$	$17.6^{+0.9+4.6}_{-0.9-5.8}$	$22^{+4+5}_{-5-3}$
$\bar{B}_s \rightarrow K^0 K^0$	—	$0.53^{+0.03+0.02}_{-0.03-0.02}$	$0.4^{+0+0.2}_{-0-0.2}$

为了更全面地考察湮灭图参数,本文结合  $B_{u,d}$  系统湮灭图参数拟合的结果,进行分析讨论. 本文将利用  $B_{u,d} \rightarrow \pi K, \pi\pi, KK$  衰变的实验数据得到的  $(\rho_{\Lambda_s}^i, \phi_{\Lambda_s}^i)$  的参数空间 68% 置信区域与  $(\rho_{\Lambda_d}^i, \phi_{\Lambda_d}^i)$  相同置信水平下的扫描结果一起画在图 2 中,分别以黑点和灰点标识. 为了进一步做理论计算并给出数值结果,我们得出了湮灭图参数的最佳拟合值:  $\rho_{\Lambda}^i = 3.00, \phi_{\Lambda}^i = -104^\circ; \rho_{\Lambda}^i = 1.18, \phi_{\Lambda}^i = -42^\circ$  或者  $\rho_{\Lambda}^i = 2.85, \phi_{\Lambda}^i = -100^\circ; \rho_{\Lambda}^i = 2.85, \phi_{\Lambda}^i = 165^\circ$ .

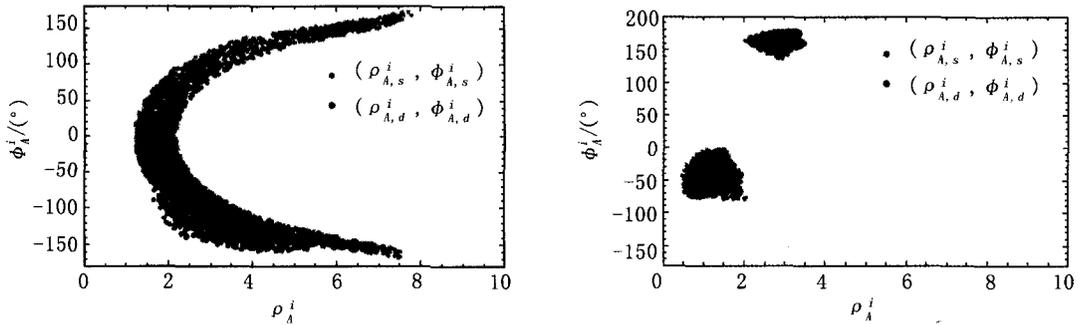


图2 黑色和灰色的点分别代表湮灭参数在和系统中在68%置信度水平的参数空间.

由以上拟合结果可以看出:

1)  $(\rho_{\Lambda_s}^i, \phi_{\Lambda_s}^i)$  的扫描结果均不如  $(\rho_{\Lambda_d}^i, \phi_{\Lambda_d}^i)$  结果精确,尤其是  $(\rho_{\Lambda_s}^i, \phi_{\Lambda_s}^i)$  部分,参数  $\rho_{\Lambda_s}^i$  的值目前很难被严格限制. 造成此结果的原因是目前  $B_s$  衰变实验上的误差和理论上的不确定性都比较大,并且相关实验测量也很有限. 图 2(a) 显示  $(\rho_{\Lambda_d}^i, \phi_{\Lambda_d}^i)$  与  $(\rho_{\Lambda_s}^i, \phi_{\Lambda_s}^i)$  的参数空间部分重合,即  $(\rho_{\Lambda_d}^i, \phi_{\Lambda_d}^i) = (\rho_{\Lambda_s}^i, \phi_{\Lambda_s}^i)$  是可以成立的. 这表明  $X_{\Lambda_s}^i \neq X_{\Lambda_d}^i$  尚不能定论.

2) 如图 2(b) 所示,  $(\rho_{\Lambda_s}^i, \phi_{\Lambda_s}^i)$  存在 2 组相互独立的解,分别在  $(1, -50^\circ)$  和  $(2.5, 160^\circ)$  附近. 事实上,这 2 个解给出相同大小的湮灭图贡献;而且,  $(\rho_{\Lambda_d}^i, \phi_{\Lambda_d}^i)$  的解是 2 个完全与  $(\rho_{\Lambda_s}^i, \phi_{\Lambda_s}^i)$  参数空间重叠的区域,即  $(\rho_{\Lambda_d}^i, \phi_{\Lambda_d}^i) = (\rho_{\Lambda_s}^i, \phi_{\Lambda_s}^i)$ . 这证实了之前所提及的  $X_{\Lambda}^i(\rho_{\Lambda}^i, \phi_{\Lambda}^i)$  对  $B_{u,d}$  和  $B_s$  普适的假设.

3) 对比图 2(a) 和图 2(b) 可以发现  $B_{u,d}$  和  $B_s$  衰变都支持  $(\rho_{\Lambda_d}^i, \phi_{\Lambda_d}^i) \neq (\rho_{\Lambda_s}^i, \phi_{\Lambda_s}^i)$  和  $(\rho_{\Lambda_s}^i, \phi_{\Lambda_s}^i) \neq (\rho_{\Lambda_d}^i, \phi_{\Lambda_d}^i)$ . 这说明  $X_{\Lambda}^i \neq X_{\Lambda}^i$ , 即二者是相互独立的.

4) 从参数拟合的最佳值来看,较之于以往估计的  $\rho \sim 1, \phi_{\Lambda}^i$  大了近 2 倍,  $\rho_{\Lambda}^i$  在 2 组解中一组大了近 2 倍,另一组与原值相当. 这表明湮灭图贡献比以往估计的要大.

为了检验所得  $(\rho_{\Lambda}^i, \phi_{\Lambda}^i)$  参数值合理与否,本文将其作为输入参数,给出相关理论计算的数值结果并与实验数据做了比较. 由于解 A、B 给出的湮灭图贡献是相同的,本文以解 A 与文中的参数值作为输入,在表 1、2、3 的第 3 列给出了  $B_s \rightarrow \pi K, \pi\pi, KK$  衰变过程中物理可观测量的理论计算结果. 表 1、2、3 的最后一列是文献[10](采用传统的湮灭图参数值)的结果,以作对比. 可以看出,本文结果中的  $B(\bar{B}_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-) = (0.62^{+0.05+0.10}_{-0.02-0.09}) \times 10^{-6}$  与实验数据符合得很好,而且其他衰变过程的物理量的理论计算和实验结果也在误差范围内一致. 需要说明的是,目前  $B_s$  衰变的实验和理论计算方面都不够精确,而有些衰变过程的物理可观测量实验尚未给出测量结果. 进一步检验本文所得湮灭图参数正确与否还需  $B$  介子衰变更加精确的测量.

## 4 结 论

在 QCD 因子化框架下研究了  $B_s \rightarrow \pi K, \pi\pi, KK$  衰变中的湮灭图效应. 对参数  $(\rho_{A,s}^i, \phi_{A,s}^i)$  做了整体拟合, 其参数空间可参见图 2. 通过与  $B_{u,d}$  系统中的结果比较发现: 由于  $B_s$  衰变较大的实验误差和理论不确定性,  $X_{A,s}^i = X_{A,d}^i$  目前仍是允许的; 另一方面, 实验数据支持  $X_{A,s}^i = X_{A,d}^i$ . 同时结果显示出无论在  $B_{u,d}$  还是  $B_s$  系统,  $X_{A,s}^i$  都不等于  $X_{A,s}^i \cdot \rho_{A,s}^i$  的值比以往估计有所增大, 湮灭图贡献相对之前的推测有较大改进, 这在  $B$  介子非轻纯湮灭过程的理论计算中尤其重要. 最后, 以最佳拟合值作为输入, 本文给出了  $B_s \rightarrow \pi K, \pi\pi, KK$  过程中可观测量的理论计算结果, 这些结果均与实验数据符合得很好.

## 参 考 文 献

- [1] Aaltonen T, Alvarez Gonzalez B, Amerio S, et al. Evidence for the charmless annihilation decay mode  $B_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$  [J]. Phys Rev Lett, 2012, 108: 211803.
- [2] Aaij R, Abellan Beteta C, Adeva B, et al. Measurement of b-hadron branching fractions for two-body decays into charmless charged hadrons [J]. JHEP, 2012, 1210: 037.
- [3] Amhis Y, Banerjee S W, Bernhard R, et al. Averages of B-Hadron, C-Hadron, and tau-lepton properties as of early 2012 [J]. HFAG, 2012, 1207: 1-342.
- [4] Xiao Z J, Wang W F, Fan Y Y. Revisiting the pure annihilation decays  $B_s \rightarrow \pi^+ \pi^-$  and  $B^0 \rightarrow K^+ K^-$ : the data and the pQCD predictions [J]. Phys Rev D, 2012, 85: 094003.
- [5] Zhu G H. Implications of the recent measurement of pure annihilation  $B_s \rightarrow \pi^+ \pi^-$  decays in QCD factorization [J]. Phys Lett B, 2011, 702: 408.
- [6] Wang K, Zhu G H. Flavor dependence of annihilation parameters in QCD factorization [J]. Phys Rev D, 2013, 88: 014043.
- [7] Chang Q, Cui X W, Han L, et al. Revisiting the Annihilation Corrections in Non-leptonic  $\bar{B}_s^0$  Decays within QCD Factorization [J]. Phys Rev D, 2012, 86: 054016.
- [8] Beneke M, Buchalla G, Neubert M, et al. QCD factorization for  $B \rightarrow \pi\pi$  decays: Strong phases and CP violation in the heavy quark limit [J]. Phys Rev Lett, 1999, 83: 1914.
- [9] Beneke M, Neubert M. QCD factorization for  $B \rightarrow PP$  and  $B \rightarrow PV$  decays [J]. Nucl Phys, 2003, 675: 333.
- [10] Cheng H Y, Chua C K. QCD Factorization for Charmless Hadronic  $B_s$  Decays Revisited [J]. Phys Rev D, 2009, 80: 114026.
- [11] Charles J, Hocker A, Lacker H, et al. CP violation and the CKM matrix: Assessing the impact of the asymmetric B factories [J]. Eur Phys J, 2005, 41: 1-131.
- [12] Beringer J, Arguin J F, Barnett R M, et al. Review of Particle Physics (RPP) [J]. Phys Rev, 2012, 86: 010001.
- [13] Gamiz E, Christine T, Peter Lepage G, et al. Neutral B Meson Mixing in Unquenched Lattice QCD [J]. Phys Rev D, 2009, 80: 014503.
- [14] Ball P, Zwicky R. New results on  $B \rightarrow \pi K \eta$  decay formfactors from light-cone sum rules [J]. Phys Rev, 2005, 71: 014015.
- [15] Al-Haydari A, Ali Khan A, Braun V M, et al. Semileptonic form factors  $D \rightarrow \pi K$  and  $B \rightarrow \pi K$  from a fine lattice [J]. Eur Phys J, 2010, 43: 107-120.
- [16] Ball P, Braun V M, Lenz A. Higher-twist distribution amplitudes of the K meson in QCD [J]. JHEP, 2006, 0605: 004.

## The Research of Annihilation Effect in $B_s \rightarrow PP$ Decays within QCDF

CHANG Qin, LI Xiaonan, WAN Zhengyang

(College of Physics and Electronic Engineering, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

**Abstract:** The most recent experimental results for the pure annihilation  $B_s$  decay measured by CDF and LHCb Collaborations reveal existence of unexpected large annihilation contribution. Based on the updated measurements on  $B$ -meson decays, we study the annihilation contribution within QCD factorization approach and perform a global fit for the annihilation parameters in  $B_s$  system. Moreover, combining the results in  $B_{u,d}$  system, we analyze the dependence of these parameters on the initial states. With the values of best-fit points as inputs, our theoretical results of  $B_s \rightarrow \pi\pi, \pi K, KK$  decays agree well with the experimental data. However, because of the large experimental errors and theoretical uncertainties, the flavor dependence of annihilation parameters  $X_A^i$  is hardly to be confirmed, In other words, which implies that  $X_A^i$  can still be universal for  $B_s$  and  $B_{u,d}$  systems.

**Keywords:** B-meson; QCD factorization; annihilation