

文章编号: 1673—9620 (2008) 03—0059—03

# QCD 因子化方法研究 TC2 模型下 衰变 $B \rightarrow \pi\pi$ 的新物理效应<sup>\*</sup>

黄正逸<sup>1</sup>, 赵炳炎<sup>2</sup>, 李 峰<sup>1</sup>, 郭立波<sup>3</sup>

(1 江苏工业学院 数理学院, 江苏 常州 213164; 2 玉林师范学院 物理与信息科学系, 广西 玉林 537000; 3 南京师范大学 物理科学与技术学院, 江苏 南京 210097)

**摘要:** 利用 QCD (Quantum Chromodynamics) 因子化方法分别在标准模型和顶色辅助的人工色模型 (TC2 模型) 下, 对非轻衰变  $B \rightarrow \pi\pi$  过程作了分析和计算。发现 TC2 模型下的新物理贡献对树图贡献为主的衰变影响很小, 同时新物理修正对衰变分支比的修正对  $\pi$  的质量依赖性也很小。

**关键词:** 顶色辅助的人工色模型; B 介子; 衰变分支比

中图分类号: O 572.2

文献标识码: A

## Using QCD Factorization to Study New Physics Effects of Decay $B \rightarrow \pi\pi$ in TC2 Model

HUANG Zheng-yi<sup>1</sup>, ZHAO Bing-yan<sup>2</sup>, LI Feng<sup>1</sup>, GUO Li-bo<sup>3</sup>

(1. School of Physics and Mathematics, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213164, China; 2. Department of Physics and Information Science, Yulin Teachers' College, Yulin 537000, China; 3. School of Physical Science and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

**Abstract:** Using the QCD factorization to calculate and analyze the non-leptonic decay  $B \rightarrow \pi\pi$  in SM and TC-2 models. We found the New Physics contributions in TC2 model to tree-dominated decays are very small. And this correction effect relies too much on the parameter  $\pi$ .

**Key words:** topcolor-assisted technicolor; B meson; branching ratio

标准模型是迄今为止公认的能最好地描述弱、电、强 3 种相互作用的理论, 从建立至今经受住了各种实验检验。但是该理论本身还存在着一些缺陷, 首先在电弱破缺中起关键性作用的 Higgs 粒子一直没有被发现, 其次三代夸克之间存在着巨大的质量差, 再次标准模型中有太多参数起源不清, 只能靠实验给出。所以现在理论界都试图在更高的能标下寻找更为基本的新物理理论, 如人工色模型

(Technicolor) 理论<sup>[1]</sup>等。1995 年, Hill 等人将 Topcolor 处理的方法应用到 Technicolor 理论中, 提出了一种顶色辅助的人工色模型理论 (Topcolor-assisted Technicolor 或 TC2)<sup>[2]</sup>。该模型中预言了许多新粒子如 ETC 规范玻色子, TC 相互作用产生的人工色子 (technipions) 和 topcolor 相互作用产生的顶派子 (top-pions)。这些新粒子势必会对一些可观测物理量产生修正。在低能 B 物理

\* 收稿日期: 2007-11-05

作者简介: 黄正逸 (1966—), 男, 江苏常州人, 讲师。

中, 由于该模型自身的特点, 只有带电 techni-pions  $\pi_{i,8}^\pm$  和带电 top-pions  $\pi^\pm$  会通过强相互作用和电弱相互作用的企鹅图对无粲衰变  $b \rightarrow s \bar{q} q$  ( $q \in \{u, d, s\}$ ) 产生贡献<sup>[3]</sup>。通过对这些两体非轻衰变道的研究也许能够发现新物理存在的信号。

## 1 理论框架

在标准模型框架下, 人们已经对 B 介子的衰变过程做了大量的研究并给出了次领头阶水平的分支比表达式。在计算衰变振幅时, 本文采用的是目前比较流行的 QCD 因子化方法<sup>[4,5]</sup>。在该方法下, 弱湮灭贡献的振幅虽然是被  $\frac{f_B f_{M_1}}{F_{B \rightarrow M_1} m_B^2} \approx \frac{\Lambda_{\text{QCD}}}{m_b}$  所压低的, 但当考虑到大的模型不确定性时, 湮灭贡献可能会较大<sup>[5]</sup>。在 B 介子的两体非轻衰变中, 新物理贡献将会通过新的企鹅图表现在对相应的 Inami-Lim 函数的修正中, 从而改变相应的威尔逊系数。将标准模型下的强相互作用和电弱相互作用企鹅图的传播子  $W^\pm$  转换成相应的带电标量介子 ( $\pi_1^\pm, \pi_8^\pm$  和  $\pi^\pm$ ), 便可以得到新物理贡献带来的强相互作用和电弱相互作用的企鹅图<sup>[7]</sup>。如图 1 分别为在标准模型下和 TC2 模型下, 衰变  $b \rightarrow (s, d) V^*$  ( $V = \gamma, Z^0, g$ ) 的自能修正图和企鹅图, 其中内波浪线为  $W^\pm$ , 虚线代表带电标量介子, 内夸克线分别是上夸克  $u, c$  和  $t$ 。在分析计算这些企鹅图时, 采用  $\overline{MS}$  重整化群方案并应用维数正规化方法来处理实圈图修正的紫外发散<sup>[9]</sup>, 通过分析计算由于交换带电标量介子  $\pi_1^\pm, \pi_8^\pm$  和  $\pi^\pm$  引起的新  $Z^0$  企鹅图, 可得到新的  $C_0$  函数。

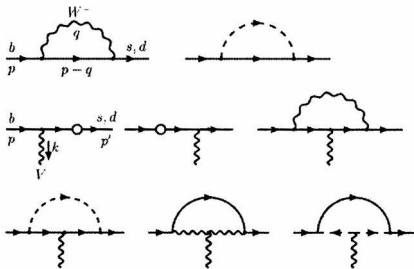


图 1 标准模型和 TC2 模型下的自能修正图和企鹅图

Fig 1 Self-energy and penguin diagrams in the SM and TC2 model

$$C_0^{\text{TC2}} = \frac{1}{\sqrt{2} G_F M_W^2} \left[ \frac{m_c^2}{4 F_\pi^2} T_0(y_t) + \frac{m_c^2}{3 F_\pi^2} T_0(z_t) + \frac{8 m_{\pi_8}^2}{3 F_\pi^2} T_0(\zeta) \right]$$

$$\text{其中 } T_0(x) = \frac{1}{8(x^2 - x)} + \frac{1}{8(x - 1)^2} \log[x],$$

$$y_t = m_t^2/m_t^{*2}, m_t^* = (1 - \epsilon) m_t, z_t = m_t^2/m_t^{*2}$$

$(\epsilon m_t)^2, \zeta = m_{\pi_8}^2 / (\epsilon m_t)^2$ 。通过分别计算交换 3 种带电标量介子 ( $\pi^\pm, \pi_1^\pm, \pi_8^\pm$ ) 的新  $\gamma$  光子企鹅图得到:

$$D_0^{\text{TC2}} = \left\{ \frac{1}{4\sqrt{2} G_F F_\pi^2} F_0(y_t) + \frac{1}{3\sqrt{2} G_F F_\pi^2} [F_0(z_t) + 8 F_0(\zeta)] \right\}$$

$$\text{其中 } F_0(x) = \frac{47 - 79x + 38x^2}{108(1-x)^3} + \frac{3 - 6x^2 + 4x^3}{18(1-x)^4} \log[x]$$

通过分别计算交换 3 种带电标量介子的新胶子企鹅图得到:

$$E_0^{\text{TC2}} = \left\{ \frac{1}{4\sqrt{2} G_F F_\pi^2} I_0(y_t) + \frac{1}{3\sqrt{2} G_F F_\pi^2} [I_0(z_t) + 8 I_0(\zeta) + 9 N_0(\zeta)] \right\}$$

$$E_0^{\prime \text{TC2}} = \left\{ \frac{1}{8\sqrt{2} G_F F_\pi^2} K_0(y_t) + \frac{1}{6\sqrt{2} G_F F_\pi^2} [K_0(z_t) + 8 K_0(\zeta) + 9 L_0(\zeta)] \right\}$$

把来自新物理贡献的函数  $C_0^{\text{TC2}}, D_0^{\text{TC2}}, E_0^{\text{TC2}}, E_0^{\prime \text{TC2}}, G_0^{\prime \text{TC2}}$  与标准模型下相应的 Inami-Lim 函数  $C_0(x), D_0(x), E_0(x), E_0'(x), G_0'(x)$  合并起来, 从而得到高能标下包含了新物理贡献威尔逊系数。通过文献 [6] 中的 QCD 重整化群方程, 可以将威尔逊系数跑到到相应的较低能标  $\mu \approx O(m_b)$ 。

## 2 参数选取与数值计算

对于  $B \rightarrow \pi\pi$  衰变, 可以用下面的公式直接算它们的衰变分支比:

$$BR(B \rightarrow M_1 M_2) = \frac{\tau_B |p|}{8\pi m_B^2} |A(B \rightarrow M_1 M_2)|^2$$

其中  $|p| =$

$$\frac{\sqrt{[m_B^2 - (m_{M_1} + m_{M_2})^2][m_B^2 - (m_{M_1} - m_{M_2})^2]}}{2m_B}, A$$

为衰变振幅,  $\tau_B$  为 B 介子的寿命, 取  $\tau_B^0 = 1.54 \text{ ps}$ ,  $\tau_B^- = 1.67 \text{ ps}$ 。由于 QCD 因子化方法只能在重夸克极限  $m_b \rightarrow \infty$  下成立, 因此可以将其它轻介子的质量取为零, 此时  $|p| = m_B/2$ 。

参数输入, 取  $A = 0.824$ ,  $\lambda = 0.2236$ ,  $\bar{\rho} = 0.22 \pm 0.10$ ,  $\bar{\eta} = 0.35 \pm 0.05$ ,  $\gamma = 59^\circ$ 。

夸克质量有两类, 一类是在圈图修正时函数  $G_M(s_q)$  和  $G(s_q)$  ( $s_q = m_q^2/m_b^2$ ) 中用到的组分夸克质量, 并且取

$$m_u = m_d = m_s = 0, m_c = 1.47 \text{ GeV}, m_b = 4.66 \text{ GeV}.$$

而另一类是出现在运动方程中的流夸克质量,它是与重整化方案有关的,取  $\overline{m}_u(2\text{GeV}) = 4.2\text{ MeV}$ ,  $\overline{m}_d(2\text{GeV}) = 6\text{ MeV}$ ,  $\overline{m}_s(2\text{GeV}) = 105\text{ MeV}$ ,  $\overline{m}_b(\overline{m}_b) = 4.26\text{ GeV}$ .

形状因子和衰变常数取:  $F_0^{B \rightarrow \pi}(0) = 0.28$ ,  $f_\pi = 0.131$ ,  $f_B = 0.18$ .

对于不定参数  $\rho_{H,A}$  和  $\phi_{H,A}$ , 不考虑它们在取不同值时的情况, 而把它们固定为:

表 1 分别在标准模型下和 TC2 模型下, 的衰变分支比 ( $10^{-6}$ )

Table 1 Branching ratios in the SM model and TC2 model ( $10^{-6}$ )

Decays	$\mu = m_b/2$				$\mu = m_b$				$\mu = 2m_b$			
	SM		TC-2		SM		TC-2		SM		TC-2	
	$B_f^f$	$B_f^{f+a}$	$B_f^f$	$B_f^{f+a}$	$B_f^f$	$B_f^{f+a}$	$B_f^f$	$B_f^{f+a}$	$B_f^f$	$B_f^{f+a}$	$B_f^f$	$B_f^{f+a}$
$B^- \rightarrow \pi^- \pi^0$	7.14	7.14	7.17	7.17	7.35	7.35	7.38	7.38	7.60	7.60	7.63	7.63
$\overline{B}^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	9.72	10.33	10.18	10.83	9.41	9.89	9.85	10.35	9.16	9.58	9.60	10.02
$\overline{B}^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0$	0.50	0.55	0.62	0.69	0.48	0.51	0.59	0.62	0.51	0.51	0.61	0.62

3 结 论

目前实验所得到的数据范围太广, 理论结果还不足以证明新物理的存在. 但是 TC2 模型下的修正效应对衰变分支比的影响非常明显, 这为在 B 物理实验中寻找新物理存在的证据提供了契机. 随着 Tevatron Run-II 投入运行以及大型强子对撞机 LHC 实验的开始, 会有更多更精确的实验数据公布, B 介子的各个衰变道会有更好统计性的实验结果, 这将进一步检验我们的理论结果.

参考文献:

[1] Weinberg S. Implications of dynamical symmetry breaking [J]. Physical Review D, 1976, 13 (4): 974—996.  
[2] Hill C T. Topcolor assisted technicolor [J]. Physics Letters B, 1995, 345: 483—489.

$\rho_H=0$ ,  $\phi_H=0$ ,  $\rho_A=0.05$ ,  $\phi_A=10^\circ$ ,  $\Lambda_i=0.5$ .  
对于出现在 B 介子中的光锥分布振幅中的参数  $\lambda_B$ , 取  $\lambda_B = (350 \pm 150)\text{ GeV}$ . 对于  $\pi$ , B 等介子的质量, 在 PDG<sup>[8]</sup> 中已经精确地给出了.  
通过分析计算, 得到  $B \rightarrow \pi\pi$  的 4 个衰变道的衰变分支比, 见表 1, 其中  $B_f^{f+a}$  表示包含了湮灭贡献的衰变分支比.

[3] Buchalla G, Burdman G, Hill C T, et al. GIM violation and new dynamics of the third generation [J]. Physical Review D, 1996, 53 (9): 5185—5200.  
[4] 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]. Physical Review Letters, 1999, 83 (10): 1914—1917.  
[5] Beneke M, Buchalla G, Neubert M, et al. QCD factorization in  $B \rightarrow \pi K$ ,  $\pi\pi$  decays and extraction of Wolfenstein parameters [J]. Nuclear Physics B, 2001, 606 (1—2): 245—321.  
[6] Buchalla G, Buras A J, Lautenbacher M E. Weak decays beyond leading logarithms [J]. Reviews of Modern Physics, 1996, 68 (4): 1125—1244.  
[7] Xiao Z J, Li W J, Guo L B, et al. Charmless decays  $B \rightarrow PP$ ,  $PV$ , and the effects of new strong and electroweak penguins in topcolor—assisted technicolor model [J]. European Physical Journal C, 2001, 18 (4): 681—709.  
[8] Eidelman S, Hayes K G, Olive K A. Review of particle physics [J]. Physics Letters B, 2004, 592: 1—5.