

# Technicolor 理论中的赝标格尔斯通粒子 对 $t \rightarrow W^+b$ 过程所产生的虚效应\*

王学雷 郭立波 肖振军 杨金民 鲁公儒

(河南师范大学物理系 新乡 453002)

(河南基础与应用科学研究所 郑州 450052)

1993年9月20日收到

## 摘 要

计算了 Technicolor 理论中的赝标格尔斯通粒子对  $t \rightarrow W^+b$  过程的单圈贡献,并讨论了这种贡献对  $t$  夸克和赝标格尔斯通粒子质量的依赖性。可以得出:当  $m_t$  在 100—200GeV 之间变化时,总的 Technicolor 单圈贡献从 0.6% 变到 -2.0%。

**关键词** 人工色,赝标格尔斯通粒子,单圈修正, $t$  夸克衰变宽度,一代人工色模型。

通过对  $t$  夸克的探测,实验给出了  $t$  夸克的质量下限为  $m_t > 91\text{GeV}^{[1]}$ ,理论上也给出了  $t$  夸克的质量范围<sup>[2]</sup>,现在普遍认为  $t$  夸克质量的中心值为 150GeV。可以预测将来在 Tevatron 上有希望发现  $t$  夸克。在标准模型中  $t$  夸克的主要衰变为  $t \rightarrow W^+b$ 。人们已经计算了对  $t \rightarrow W^+b$  过程的弱电修正和 QCD 修正<sup>[3-9]</sup>,发现如果把  $G_F$ 、 $m_Z$ 、 $m_W$  作为输入参数,弱电修正不超过 1%<sup>[3,7]</sup>,对  $m_t > 100\text{GeV}$  QCD 的修正大约为 -10%<sup>[4,8]</sup>。

在 Technicolor 理论<sup>[10]</sup>中,存在大量的赝标格尔斯通粒子,这些粒子还没发现,但它们的存在会对物理过程产生一定的虚效应。本文在忽略  $b$  夸克质量的条件下,计算了 Technicolor 理论中的赝标格尔斯通粒子对  $t \rightarrow W^+b$  衰变宽度在量级  $O(m_t^2/F_T^2)$  下的单圈贡献。

$t \rightarrow W^+b$  的衰变矩阵元为

$$M = \bar{u}_b(p_b) \Gamma_\mu u_t(p_t) e^\mu(k, \lambda). \quad (1)$$

$\Gamma_\mu$  在树图近似下可写为

$$\Gamma_\mu^0 = -i \frac{g}{\sqrt{2}} \gamma_\mu L, \quad (2)$$

其中,  $L = \frac{1}{2}(1 - \gamma_5)$ ,  $R = \frac{1}{2}(1 + \gamma_5)$  分别为左、右手征投影算符。

\* 国家自然科学基金和河南省教委、省教委自然科学基金资助。河南师范大学青年科学基金部分资助。

在量级  $O(m_t^2/F_T^2)$  下, 赝标格尔斯通粒子对顶角  $tW^+b$  的单圈贡献来自图 1. 计算中采用了维数正规化和质壳重整化条件<sup>[11,12]</sup>. 考虑到这些赝标格尔斯通粒子的贡献,  $\Gamma_\mu$  可写为

$$\Gamma_\mu = -i \frac{g}{\sqrt{2}} \left\{ \gamma_\mu L \left[ 1 + \frac{1}{2} Z_b^L + \frac{1}{2} Z_t^L + F_L \right] + p_{t\mu} R \right\}, \quad (3)$$

其中

$$Z_i^L = -\Sigma_i^L(m_i^2) - m_i^2 [\Sigma_i^{L'}(p^2) + \Sigma_i^{R'}(p^2) + 2\Sigma_i^{S'}(p^2)]|_{p^2=m_i^2}, \quad (4)$$

这里,  $\Sigma_i^{S'}(p^2) = \frac{\partial}{\partial p^2} \Sigma_i^S(p^2)$ , 并且夸克自能被分解为

$$\Sigma_i(p) = \Sigma_i^L(p) \not{p} L + \Sigma_i^R(p) \not{p} R + m_i \Sigma_i^S(p). \quad (5)$$

形状因子  $F_L, H_R$  来自图 1(e) 的顶角修正. 在计算  $Z_b^L, Z_t^L, F_L, H_R$  时采用的是 't Hooft-Feynman 规范. 计算中所用的费曼规则来自文献[15,16]. 要注意的是, 对一代 Technicolor 模型我们用  $F_T = 123\text{GeV}$  代替了文献[15]中的  $F_T = 250\text{GeV}$ , 这里  $F_T$  为 TC- $\pi$  介子的衰变常数.

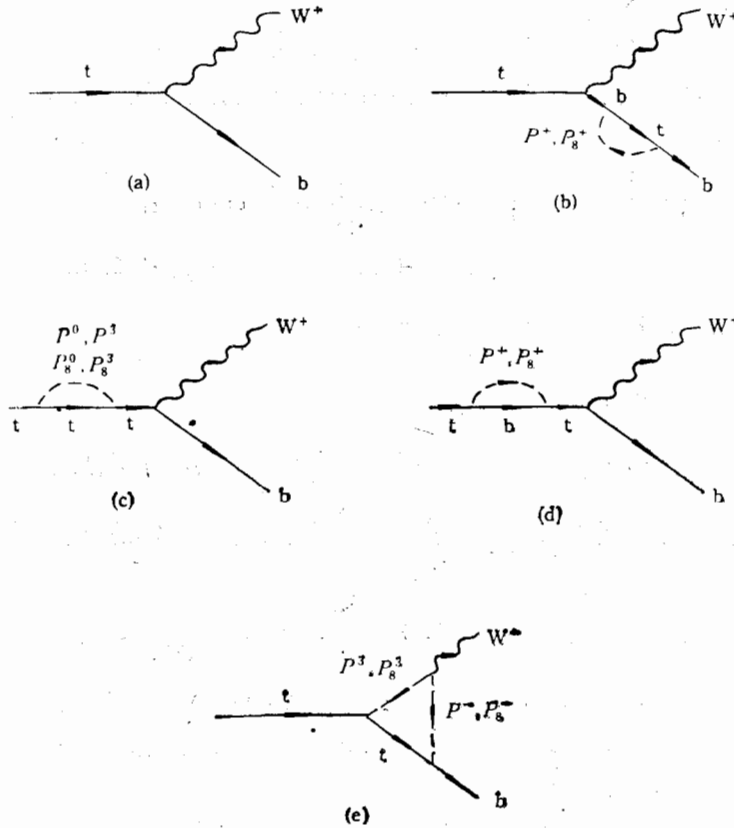


图 1 对  $tW^+b$  顶角产生  $O(m_t^2/F_T^2)$  TC 单圈修正的费曼图

如果取  $m_b = 0$ , 则在树图近似下  $t$  夸克的衰变宽度为

$$\Gamma^0 = \frac{\alpha m_t^3}{16m_W^2 S_W^2} \beta^4 (3 - 2\beta^2), \quad (6)$$

$$\beta^2 = 1 - \frac{m_W^2}{m_t^2}. \quad (7)$$

由(1)、(3)式可知, (1)式中有以下矩阵元

$$M_0 = \bar{u}_b(p_b) \gamma_\mu L u_t(p_t) e^\mu(k, \lambda), \quad (8)$$

$$M_1 = \bar{u}_b(p_b) p_{t\mu} R u_t(p_t) e^\mu(k, \lambda), \quad (9)$$

可以算出

$$\sum_{\text{pol}} |M_0|^2 = m_t^2 - 2m_W^2 + \frac{m_t^4}{m_W^2} \stackrel{\text{def}}{=} G_0, \quad (10)$$

$$\sum_{\text{pol}} M_0 M_1^* = m_t \left[ \frac{1}{2} m_W^2 - m_t^2 + \frac{m_t^4}{2m_W^2} \right] \stackrel{\text{def}}{=} G_1. \quad (11)$$

考虑 Technicolor 单圈修正后的  $t$  夸克衰变宽度为

$$\begin{aligned} \Gamma &= \Gamma^0 \left\{ 1 + 2\text{Re} \left[ \frac{1}{2} Z_b^L + \frac{1}{2} Z_t^L + F_L + \frac{G_1}{G_0} H_R \right] \right\} \\ &= \Gamma^0 [1 + \delta V_{\text{TC}}(P) + \delta V_{\text{TC}}(P_8)] \stackrel{\text{def}}{=} \Gamma^0 (1 + \delta V_{\text{TC}}), \end{aligned} \quad (12)$$

其中,  $\delta V_{\text{TC}}(P)$  和  $\delta V_{\text{TC}}(P_8)$  分别表示色单态和色八重态赝标格尔斯通粒子的贡献, 它们的具体表示为

$$\begin{aligned} \delta V_{\text{TC}}(P) &= \frac{m_t^2}{24F_T^2 \pi^2} \text{Re} \left[ B_1(m_b, m_t, m_{p_1}) + B_1(m_t, m_t, m_{p_1}) \right. \\ &\quad + 2m_t^2 B_1'(m_t, m_t, m_{p_1}) + m_t^2 B_1'(m_t, m_b, m_{p_1}) + 2m_t^2 B_0'(m_t, m_t, m_{p_1}) \\ &\quad \left. + 4C_{24} + 4m_t \frac{G_1}{G_0} (C_{22} - C_{23} - C_{12}) \right], \end{aligned} \quad (13)$$

$$\delta V_{\text{TC}}(P_8) = 18\delta V_{\text{TC}}(P) \Big|_{m_{p_1} \rightarrow m_{p_2}}. \quad (14)$$

这里  $C_{ij} = C_{ij}(m_W, m_t, m_{p_1}, m_{p_2}, m_t)$ ,  $B_i' = \frac{\partial}{\partial p^2} B_i, B_1, B_0, C_{ij}$  在文献[17]中给出,  $m_{p_1}$  和  $m_{p_2}$  分别为色单态和色八重态赝标格尔斯通粒子的质量。容易看出, (13)、(14)式中的紫外发散可以抵消。

在  $\alpha$  参数系统中, 通常把  $m_Z = 91.175 \text{ GeV}$ ,  $\alpha(m_t) = \frac{1}{128.5}$ ,  $G_F = 1.166372 \times 10^{-5}$

(GeV)<sup>-2</sup> 作为输入参数。文献[4—8]指出: 采用  $G_F$  输入参数系统来研究重质量的  $t$  夸克衰变更为方便。在  $G_F$  系统中, 把  $G_F, m_W, m_Z$  作为输入参数。这时, 如仅考虑 Technicolor 的单圈修正, 可以把  $t$  夸克的衰变宽度写为

$$\Gamma_{\text{TC}}(G_F) = \Gamma^0(G_F) [1 + \delta V_{\text{TC}} - \Delta r_{\text{TC}}]. \quad (15)$$

由于  $\Delta r_{\text{TC}}$  中不含  $O(m_t^2/F_T^2)$  项, 在本文中忽略了  $\Delta r_{\text{TC}}$ , 因此在只考虑 Technicolor 对  $t$  夸克衰变宽度的修正时, 可以不考虑两种参数系统的差别。

在进行数值计算时,需输入参数:  $\alpha, G_F, m_t, m_b, m_W, m_Z, m_{p_1}, m_{p_2}$  和  $F_T$ . 除了上面给出的  $\alpha, G_F, m_Z$  外, 我们取  $m_b = 0$ , 对一代 Technicolor 模型有  $F_T = 123\text{GeV}$ . 现在仍有三个自由参数:  $m_t, m_{p_1}, m_{p_2}$ . 色八重态赝标格尔斯通粒子的质量在理论上可表示为:

$$m_{p_2} = 246 \sqrt{\frac{4}{N_{TC}}} \text{GeV},$$

对色单态的赝标格尔斯通粒子, 我们无法给出它的质量表示式,

LEP 指出: 赝标格尔斯通粒子质量下限为  $40\text{GeV}^{[13]}$ .

图 2 给出了  $\delta V_{TC}(P), \delta V_{TC}(P_8), \delta V_{TC}$  随  $m_t (100-200\text{GeV})$  变化的曲线 (其中  $m_{p_1} = 60\text{GeV}, m_{p_2} = 246\text{GeV}$ ). 从图中可以看出: (a)  $m_t$  从  $100\text{GeV}$  变到  $200\text{GeV}$ ,  $\delta V_{TC}(P), \delta V_{TC}(P_8), \delta V_{TC}$  分别从  $0.2\%, 0.4\%, 0.6\%$  变到  $0.82\%, -2.8\%, -2.0\%$ , 当  $m_t$  取中心值  $150\text{GeV}$  时,  $\delta V_{TC}(P) = 0.52\%, \delta V_{TC}(P_8) = -0.22\%, \delta V_{TC} = 0.29\%$ . (b) 色单态赝标格尔斯通粒子对  $t$  夸克衰变宽度的贡献较小, 并且随  $m_t$  的变化不大; Technicolor 的贡献主要来自色八重态的赝标格尔斯通粒子, 并且这种贡献随  $m_t$  的变化较大. (c) 对重的  $t$  夸克 ( $m_t > 170\text{GeV}$ ), 总的贡献  $\delta V_{TC}$  为负, 从而使  $t$  夸克的衰变宽度变小, 这种效应会使实验上产生的  $t\bar{t}$  共振峰更容易观测<sup>[4]</sup>.

在图 3 中分别给出  $m_{p_1}, m_{p_2}$  变化对单圈修正的影响, 其中取  $m_t = 150\text{GeV}$ . 可以看出:  $m_{p_1}$  在  $50-200\text{GeV}$  之间变化,  $\delta V_{TC}(P)$  在  $0.5\% - -0.3\%$  之间, 并且在  $m_t$  中心值附近有一极值点. 当  $m_{p_2}$  取  $150-300\text{GeV}$ ,  $\delta V_{TC}(P_8)$  的取值区间为  $-4.5\% - -0.017\%$ . 从图 3 中还可以看到  $\delta V_{TC}(P), \delta V_{TC}(P_8)$  有明显的退耦效应.

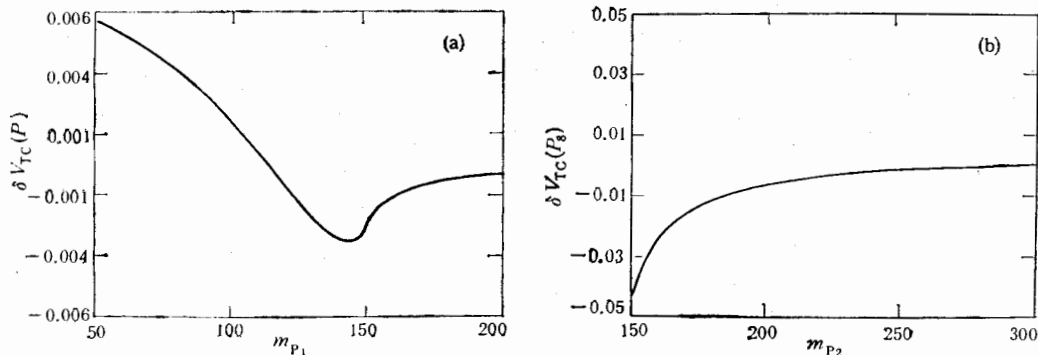


图 3  $\delta V_{TC}(P), \delta V_{TC}(P_8)$  分别随  $m_{p_1} (50-200\text{GeV}), m_{p_2} (150-300\text{GeV})$  变化的曲线  
 $m_t = 150\text{GeV}$ .

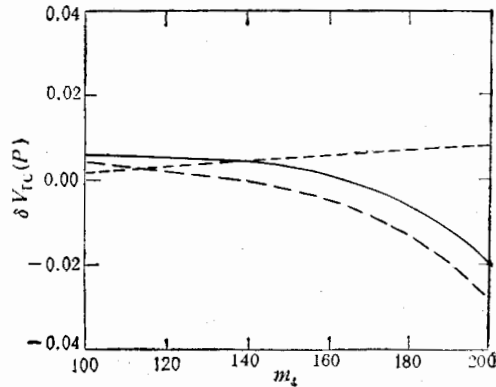


图 2  $\delta V_{TC}(P), \delta V_{TC}(P_8), \delta V_{TC}$  随  $m_t (100-200\text{GeV})$  变化的曲线

其中  $m_{p_1} = 60\text{GeV}, m_{p_2} = 246\text{GeV}$ , ---  $\delta V_{TC}(P)$ ,  
- · -  $\delta V_{TC}(P_8)$ , —  $\delta V_{TC}$ .

我们相信,随着  $t$  夸克的发现,  $t$  夸克的质量和衰变宽度的精确测量将为标准模型的检验和对新物理的探测提供有价值的实验依据,至少我们希望能给出赝标格尔斯通粒子质量的范围。

## 参 考 文 献

- [1] CDF Collab., see e.g. 25th Rencontre de Moriond, Les Arcs 1990 (pres. by K. Sliwa); R.K. Ellis, *Phys. Lett.*, **B259** (1991)492.
- [2] J. Ellis, G. Fogli, *Phys. Lett.*, **B232** (1989)139. P. Langacker, *Phys. Rev. Lett.*, **63** (1990)1920. F. Halzen and D.A. Morris, *Phys. Lett.*, **B237** (1990)107. E. Jenkins, A.V. Manohar, *Phys. Lett.*, **B237** (1990)259. V. Barger, J.L. Hevett, T.G. Rizzo, *Phys. Rev. Lett.*, **65** (1990)1313.
- [3] G. Eilam, R.R. Mendel, R. Migeneron, A. Soni, *Phys. Rev. Lett.*, **66** (1991)3105.
- [4] C.S. Li, R.J. Oakes, T.C. Yuan, *Phys. Rev.*, **D43** (1991)3759.
- [5] B.A. Irwin, B. Margolis, H.D. Trottier, *Phys. Lett.*, **B256** (1991)533. C. P. Yuan, T.C. Yuan, *Phys. Rev.*, **D44** (1991)3603.
- [7] A. Denner, T. Sack, *Nucl. Phys.*, **B358** (1991)46.
- [8] M. Jezabek, J.H. Kiihn, *Nucl. Phys.*, **B314**(1989)1.
- [9] T. Kuruma, YITP/U-92-18.
- [10] S. Weinberg, *Phys. Rev.*, **D13** (1976)974; **D19** (1979)1277. L. Susskind, *Phys. Rev.*, **D20** (1979) 2619.
- [11] M. Bohm, W. Hollik, H. Spiesberger, *Fortschr. Phys.*, **34** (1986)687, W. Hollik, *Fortschr. Phys.*, **38** (1990)165.
- [12] B. Grzad, W. Hollik. *Nucl. Phys.*, **B384** (1992)101.
- [13] F. Dydak, in Proceedings of the XXVth International Conference of high Energy Physics, Singapore, 1990 edited by K.K. Phua and Y. Yamaguchi (World Scientific Singapore (1991).
- [14] M.J. Strassler and M. Peskin, *Phys. Rev.*, **D43** (1991)1500.
- [15] J. Ellis et al., *Nucl. Phys.*, **B182** (1981)529.
- [16] E. Eichten et al., *Phys. Rev.*, **D34** (1986)1547.
- [17] M. Clements et al., *Phys. Rev.*, **D27** (1983)570; A. Axelrod, *Nucl. Phys.*, **B209**, (1982)349; W. Hollik, DESY 88-188

## The Virtual Effects of Pseudo Goldstone Bosons in Technicolor Theory on $t \rightarrow W'b$ Decay

Wang Xuelei Guo Libo Xiao Zhenjun Yang Jinmin Lu Gongru

(Department of Physics, Henan Normal University, Xinxiang 453002)

(Henan Fundamental and Applied Science Research Institute, Zhengzhou 450052)

Received on September 20, 1993

## Abstract

The one-loop corrections to the process  $t \rightarrow W'b$  from the Pseudo Goldstone bosons in the one generation Technicolor model are calculated. The dependence of the corrections on the top quark mass and Pseudo Goldstone bosons mass are discussed. The total corrections to the decay rate change from 0.6% to -2.0% for  $m_t$  in the range of 100-200GeV.

**Key words** Technicolor, pseudo Goldstone bosons, one-loop corrections, top quark decay width, one generation technicolor model.