

# K 介子稀有衰变及其对 Multiscale Walking Technicolor 模型的限制\*

肖振军 吕林霞 张晋宇 郭宏凯 鲁公儒

(河南师范大学物理系 新乡 453002)

**摘要** 在多标度人工色模型框架下计算了荷电 PG 玻色子  $\pi_1^\pm$  和  $\pi_8^\pm$  对 K 介子稀有衰变过程  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ ,  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  和  $K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-$  的企鹅图贡献. 计算结果表明: (a) 荷电 PG 玻色子可以对 K 介子稀有衰变分枝比给出 1~3 个量级的增强; (b) 根据现有实验数据, K. Lane 等人提出的多标度人工色模型基本被排除.

**关键词** K 介子稀有衰变 荷电 PG 玻色子 分枝比

## 1 引言

在标准模型理论中, K 介子稀有衰变过程  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ ,  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  和  $K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-$  是由  $Z^0$  企鹅图和 W-箱图引起的 FCNC (flavour-changing neutral current) 过程. 对这些过程 Top 夸克内线交换贡献起主要作用, 由重整化标度  $\mu_{r,c}$  的不确定性引起的误差也可以忽略<sup>[1,2]</sup>. 在标准模型下, K 介子稀有衰变过程  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ ,  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  和  $K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-$  的分枝比很小, 在  $10^{-9}$ — $10^{-11}$  量级. 另外  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$  和  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  衰变道以及  $K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-$  衰变道的短程贡献部分在理论上非常干净,  $K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-$  衰变的长程贡献部分也已有较好的理论估计. 因此这些稀有衰变道是研究新物理影响的好衰变道.

为了解释 3 代夸克质量的巨大差别, Lane 等人提出了多标度人工色模型 (Multiscale Walking Technicolor Model)<sup>[3]</sup>. 该模型预言了大量矢量介子和赝标哥德斯通 (PG) 玻色子的存在. 尽管这些新粒子一般比较重, 在目前的高能对撞机实验中不太可能直接产生出来<sup>[3,4]</sup>, 但其中的荷电 PG 玻色子  $\pi_1^\pm$  和  $\pi_8^\pm$  可以通过  $Z^0$ -企鹅图和箱图对上述 K 介子稀有衰变过程给出一个较大的贡献, 改变相关分枝比的标准模型理论预言. 因此, 关于 K 介子稀有衰变过程的唯象研究对新物理研究的发展有较重要意义.

采用 PBE (Penguin-Box expansion) 方法<sup>[1]</sup>, 稀有衰变过程  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ ,  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  和  $(K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-)_{SD}$  由基本函数  $X(x_i)$  和  $Y(x_i)$  确定. 我们将对由荷电 PG 玻色子内线交换引起的新

$Z^0$ -企鹅图进行解析计算, 抽出表示新物理贡献的基本函数  $C_0^{\text{New}}$ , 与标准模型中相应的  $C_0$  函数相加, 然后计算相应衰变过程的分枝比, 并和已有实验数据比较。

计算结果表明: (a) 色八重态 PG 玻色子  $\pi_8^\pm$  的贡献起主要作用; (b) 荷电 PG 玻色子  $\pi_1^\pm$  和  $\pi_8^\pm$  可以对 K 介子稀有衰变过程分枝比给出 1—3 个量级的增强; (c) 文献 [3] 给出的  $\pi_1^\pm$  和  $\pi_8^\pm$  的质量区间被 K 介子稀有衰变实验数据和其它相关实验数据排除, Lane 等人提出的多标度人工色模型也因此被基本排除。

在第二节计算新的单圈企鹅图, 导出函数  $C_0^{\text{New}}$ 。在第三和第四节, 分别计算 K 介子稀有衰变分枝比  $Br(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})$ ,  $Br(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu})$  和  $Br(K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-)_{\text{SD}}$ , 给出数值计算结果和质量限制。在本文的最后一节, 将给出结论并进行简短的讨论。

## 2 多标度人工色模型与 $d\bar{s}Z$ 有效顶角

在标准模型理论框架下, 人们已对 K 介子稀有衰变过程进行了仔细的研究, 文献 [1] 给出了 NLO(next-to-leading order) 水平的分枝比表达式。

Lane 和 Ramana 提出的多标度人工色模型(MWTCM)<sup>[3]</sup>有三个破缺标度  $\Lambda_i (i = L, Q, \pi)$ , 其 ETC 规范群为:  $G_{\text{ETC}} = SU(N_{\text{ETC}})_1 \times SU(N_{\text{ETC}})_2$ , 其中  $N_{\text{ETC}} = N_{\text{TC}} + N_C + N_L$ ,  $N_{\text{TC}}$  和  $N_C$  分别表示 TC 色数和普通色数,  $N_L$  表示色单态 TC 轻子二重态数。文献 [3] 在确保 TC 耦合常数走动(walking)演化的条件下, 选择了最小的  $N_{\text{TC}}$  和  $N_L$ :  $N_{\text{TC}} = N_L = 6$ 。文献 [3] 中所取重要近似关系为:  $\Lambda_\psi \gg \Lambda_Q \cong \Lambda_L, F_\psi \gg F_Q \cong F_L$ 。为了给  $Z^0$  和 W 规范玻色子以正确的质量, 三个衰变常数  $F_i$  需满足关系:

$$\sqrt{N_L F_L^2 + 3F_Q^2 + F_\psi^2} = v = 246\text{GeV} \quad (1)$$

其中  $F_Q = 20\text{--}40\text{GeV}$ 。在计算中取  $F_Q = 40\text{GeV}$  作为输入参数。该模型有两个色单态 PG 玻色子  $P_1^\pm$  和  $P_2^\pm$  和一个色八重态 PG 玻色子  $\pi_8^\pm$ , 并预言其质量区间为  $m(P_{1,2}^\pm) \sim 200\text{GeV}$ ,  $m(\pi_8^\pm) \sim 300\text{GeV}$ 。取色单态 PG 玻色子的物理混合态为  $\pi_1^\pm$ , 并在  $50\text{GeV} \leq m_1 \leq 500\text{GeV}$ ,  $100\text{GeV} \leq m_8 \leq 1000\text{GeV}$  质量区间内计算这些荷电 PG 玻色子对 K 介子稀有衰变过程的贡献。其它荷电和中性 PG 玻色子对所研究的 K 介子稀有衰变过程无贡献。

图 1 表示由标准模型  $W^\pm$  规范玻色子内线交换和荷电 PG 玻色子 ( $\pi_1^\pm, \pi_8^\pm$ ) 内线交换所产生的  $Z^0$ -企鹅图和箱图。色八重态的  $\pi_8$  不参与箱图过程, 色单态的  $\pi_1^\pm$  虽然参与箱图过程, 但由于  $\pi_1 l \nu$  Yukawa 耦合太弱, 与  $Z^0$ -企鹅图贡献相比箱图贡献完全可以忽略。在计算中, 新物理箱图贡献将被忽略。PG

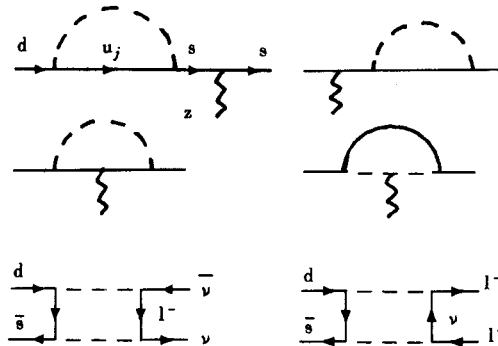


图 1 由标准模型  $W^\pm$  内线交换和荷电 PG 玻色子 ( $\pi_1^\pm, \pi_8^\pm$ ) 内线交换所产生的  $Z^0$ -企鹅图和箱图。企鹅图中的短划线表示  $W^\pm, \pi_1^\pm$  和  $\pi_8^\pm$ ,  $u_j$  表示上夸克 (u, c, t)。箱图中的短划线表示  $W^\pm$  和  $\pi_1^\pm$ 。

玻色子的规范耦合由它们的量子数决定,ETC 强相互作用导致 PG 玻色子同普通费米子的有效 Yukawa 耦合. 计算中需要的耦合为<sup>[5,6]</sup>:

$$\left(\frac{-i}{F_Q}\right)\pi_1^+\{V_{KM}(m_d\bar{u}_L d_R - m_u\bar{u}_R d_L)\sqrt{2/3} - \sqrt{6}m_e\bar{\nu}_{eL}e_R\} + \text{h. c.}, \quad (2)$$

$$\left(\frac{-i}{F_Q}\right)\pi_{8\alpha}^+\{V_{KM}(m_d\bar{u}_L\lambda^\alpha d_R - m_u\bar{u}_R\lambda^\alpha d_L)\}2 + \text{h. c.}, \quad (3)$$

$$Z\pi_1^+\pi_1^-: \quad -ig\frac{1-2\sin^2\theta_w}{2\cos\theta_w}(p^+ - p^-) \cdot \epsilon, \quad (4)$$

$$Z\pi_{8\alpha}^+\pi_{8\beta}^-: \quad -ig\frac{1-2\sin^2\theta_w}{2\cos\theta_w}(p^+ - p^-)\delta_{\alpha\beta} \cdot \epsilon, \quad (5)$$

其中  $u = (u, c, t), d = (d, s, b), e = (e, \mu, \tau), \lambda^\alpha$  为 Gell-Mann  $SU(3)_c$  矩阵,  $V_{KM}$  为 CKM 矩阵,  $p^+$  和  $p^-$  表示 PG 玻色子动量,  $\epsilon$  是  $Z^0$  玻色子的极化矢量.

首先考虑色单态 PG 玻色子  $\pi_1^\pm$  的贡献. 对图 1 所示的单圈企鹅图进行解析计算, 得到由  $\pi_1^\pm$  引起的  $d\bar{s}Z$  有效顶角函数为:

$$\Gamma_{Z_\mu}^I = \frac{1}{16\pi^2} \frac{g^3}{\cos\theta_w} \sum_j \lambda_j \bar{s}_L \gamma_\mu d_L C_0^{\text{New}}(y_j) \quad (6)$$

$$C_0^{\text{New}}(y_j) = \frac{m_1^2}{3\sqrt{2}F_Q^2 G_F M_W^2} \left[ \frac{y_j(-1 + 2s_w^2 - 3y_j + 2s_w^2 y_j)}{8(1-y_j)} - \frac{c_w^2 y_j^2}{2(1-y_j)^2} \ln[y_j] \right] \quad (7)$$

其中  $\lambda_j = V_{j's}^* V_{jd}$ ,  $m_1$  表示色单态 PG 玻色子  $\pi_1$  的质量,  $y_j = m_j^2 / m_1^2$ ,  $s_w = \sin\theta_w$  为 Weinberg 角.

对色八重态 PG 玻色子  $\pi_8^\pm$ , 经过类似的解析计算, 得到由  $\pi_8^\pm$  引起的  $d\bar{s}Z$  有效顶角函数为:

$$\Gamma_{Z_\mu}^{II} = \frac{1}{16\pi^2} \frac{g^3}{\cos\theta_w} \sum_j \lambda_j \bar{s}_L \gamma_\mu d_L C_0^{\text{New}}(z_j) \quad (8)$$

$$C_0^{\text{New}}(z_j) = \frac{8m_8^2}{3\sqrt{2}F_Q^2 G_F M_W^2} \left[ \frac{z_j(-1 + 2s_w^2 - 3z_j + 2s_w^2 z_j)}{8(1-z_j)} - \frac{c_w^2 z_j^2}{2(1-z_j)^2} \ln[z_j] \right] \quad (9)$$

其中  $m_8$  表示色八重态 PG 玻色子  $\pi_8$  的质量,  $z_j = m_j^2 / m_8^2$ .

函数  $C_0^{\text{New}}(y_j)$  和  $C_0^{\text{New}}(z_j)$  与文献 [7, 1] 中的  $C_0(x_i)$  函数具有相同的性质. 函数  $C_0^{\text{New}}(y_j)$  和  $C_0^{\text{New}}(z_j)$  分别表示用荷电 PG 玻色子内线代替 W 规范玻色子内线时由  $(u, c, t)$  夸克内线交换所产生的新贡献. 在解析计算中, 使用了 CKM 矩阵的么正性关系, 并忽略了费米子外线质量. 在积分时使用了  $(B_0, B_\mu, C_0, C_\mu, C_{\mu\nu})$  函数以及它们的近似表达式<sup>[8]</sup>.

在考虑了荷电 PG 玻色子贡献以后, 主要相关函数可以写为:

$$X(x_i, y_i, z_i) = X(x_i) + C_0^{\text{New}}(y_i) + C_0^{\text{New}}(z_i), \quad (10)$$

$$Y(x_i, y_i, z_i) = Y(x_i) + C_0^{\text{New}}(y_i) + C_0^{\text{New}}(z_i), \quad (11)$$

$$P_0(X) = P_0(X)^{\text{SM}} + \frac{1}{\lambda} [C_{\text{NL}}(\pi_1) + C_{\text{NL}}(\pi_8)] \quad (12)$$

$$P_0(Y) = P_0(Y)^{\text{SM}} + \frac{1}{\lambda^4} [C_{\text{NL}}(\pi_1) + C_{\text{NL}}(\pi_8)] \quad (13)$$

其中  $x_i = m_i^2 / m_w^2$ ,  $y_i = m_i^2 / m_1^2$ ,  $z_i = m_i^2 / m_8^2$ . 函数  $X(x_i)$  和  $Y(x_i)$  分别表示标准模型中由 Top 夸克内线交换给出的贡献. 上述各个函数的表达式可以在文献 [1, 9] 中找到.

荷电 PG 玻色子贡献的大小主要依赖于函数  $C_0^{\text{New}}(y_i)$  和  $C_0^{\text{New}}(z_i)$ , 描写 charm-夸克内线交换影响的函数  $C_{\text{NL}}(\pi_1)$  和  $C_{\text{NL}}(\pi_8)$  的绝对值较小. 描写标准模型 W 内线交换贡献的函数  $(X(x_i), Y(x_i), P_0(X)^{\text{SM}}, P_0(Y)^{\text{SM}})$  是正定的, 描写色单态 PG 玻色子  $\pi_1$  贡献的函数  $C_0(y_i)$  也是正定的, 但当  $m_8 \geq 531 \text{ GeV}$  时, 描写色八重态 PG 玻色子  $\pi_8$  贡献的函数  $C_0(z_i)$  由正变负.

在数值计算中, 取下列参数作为标准输入参数 [10],

$$m_w = 80.41 \text{ GeV}, G_F = 1.16639 \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}, \alpha = 1/129, s_w^2 = 0.23, \\ \bar{m}_t(m_t) = 170 \text{ GeV}, \Lambda \frac{(4)}{MS} = 0.325 \text{ GeV}, A = 0.84, \lambda = 0.22, \rho = 0, \eta = 0.36 \quad (14)$$

其中  $A, \lambda, \rho$  和  $\eta$  为 Wolfenstein 参数. 对  $\alpha_s(\mu)$  使用文献 [2] 给出的双圈表达式.

### 3 K 介子稀有衰变道 $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ 和 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$

使用 (14) 式中的标准输入参数, 分枝比  $\text{Br}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})$  和  $\text{Br}(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu})$  的标准模型理论值为:

$$\text{Br}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})^{\text{SM}} = 9.39 \times 10^{-11}, \quad (15)$$

$$\text{Br}(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu})^{\text{SM}} = 2.74 \times 10^{-11} \quad (16)$$

相关实验数据为<sup>[11, 12]</sup>:

$$\text{Br}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})_{\text{exp}} = 4.2_{-3.5}^{+9.7} \times 10^{-10}, \quad (17)$$

$$\text{Br}(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu})_{\text{exp}} < 5.8 \times 10^{-5}. \quad (18)$$

在考虑了  $\pi_1$  和  $\pi_8$  的贡献以后, 分枝比  $\text{Br}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})$  和  $\text{Br}(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu})$  的理论表达式分别为:

$$\text{Br}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = \kappa_+ \cdot \left[ \left( \frac{\text{Im} \lambda_t}{\lambda^5} X(x_i, y_i, z_i) \right)^2 + \left( \frac{\text{Re} \lambda_c}{\lambda} P_0(X) + \frac{\text{Re} \lambda_t}{\lambda^5} X(x_i, y_i, z_i) \right)^2 \right], \quad (19)$$

$$\text{Br}(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}) = \kappa_L \cdot \left( \frac{\text{Im} \lambda_t}{\lambda^5} X(x_i, y_i, z_i) \right)^2, \quad (20)$$

其中  $\kappa_+ = 4.11 \times 10^{-11}$ ,  $\kappa_- = 1.80 \times 10^{-10[1]}$ .

在本文所考虑的参数空间内, 荷电 PG 玻色子  $\pi_1$  和  $\pi_8$  可以对分枝比  $Br(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})$  和  $Br(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu})$  给出 1—3 个量级的增强. 当取  $F_0 = 40\text{GeV}$ ,  $m_1 = 300\text{GeV}$ ,  $m_8 = 300\text{GeV}$  时, 相应分枝比为:  $Br(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = 2.03 \times 10^{-8}$ ,  $Br(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}) = 1.01 \times 10^{-8}$ .

在图 2(a) 中, 上下两条短划线表示实验数据 (17), 点线表示标准模型的理论预言 (15), 实曲线表示只考虑  $\pi_1$  新贡献时稀有衰变分枝比  $Br(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})$  随  $m_1$  变化的情况. 由图 2(a) 可以看出, 当“忽略”了  $\pi_8$  的新贡献时, 对  $m_1$  的限制仍然较强:  $m_1 > 200\text{GeV}$ . 在图 2(b) 中, 实曲线表示只考虑  $\pi_8$  新贡献时稀有衰变分枝比  $Br(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})$  随  $m_8$  变化的情况. 由图 2(b) 可以看出, 当“忽略”了  $\pi_1$  的新贡献时, 对  $m_8$  的限制仍然很强:  $m_8 > 480\text{GeV}$ . 图 2(b) 中的点曲线表示当取  $m_1 = 300\text{GeV}$  时, 包含了  $\pi_1$  和  $\pi_8$  新贡献的分枝比  $Br(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})$  随  $m_8$  的变化情况. 这时对  $m_8$  的限制为:  $m_8 > 530\text{GeV}$ . 由于当  $m_8 \geq 531\text{GeV}$  时, 描写色八重态 PG 玻色子  $\pi_8$  贡献的  $C_0(z)$  函数由正变负, 与正定的函数  $X(x_i)$  和  $C_0(y_i)$  相抵消, 所以图 2(b) 所示的分枝比曲线有谷存在.

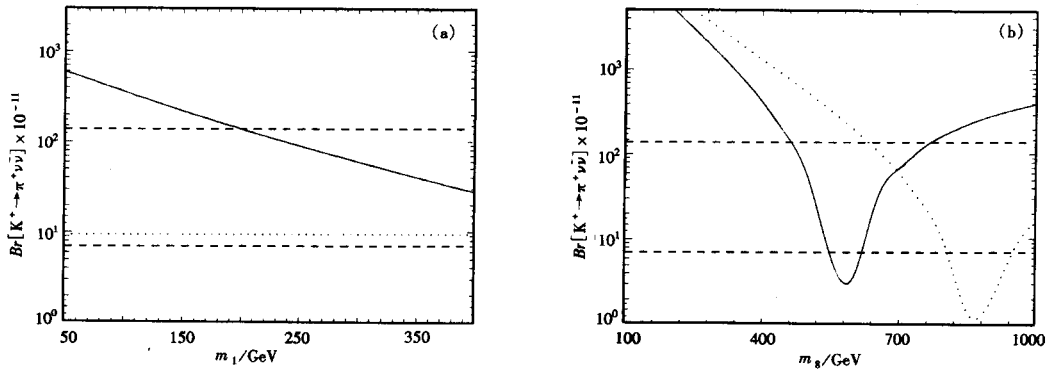


图 2 分枝比  $Br(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})$  对  $m_1$  和  $m_8$  的依赖关系

由图 2 可以看出, 文献 [3] 所考虑的荷电 PG 玻色子质量区间被实验数据 (17) 排除. 对较小的  $F_0$  取值, 相关质量限制将进一步增强. 对稀有衰变道  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ , 由于现有实验限制 (18) 不够强, 还不能对  $\pi_1$  和  $\pi_8$  给出质量限制.

#### 4 K 介子稀有衰变道 $K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-$

K 介子稀有衰变过程  $K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-$  有两个特点: 首先是已有实验数据相当精确<sup>[10]</sup>,

$$Br(K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-)_{\text{exp}} = (7.2 \pm 0.5) \times 10^{-9}, \quad (21)$$

同时短程贡献部分的理论计算误差也很小. 但是对该衰变道的长程贡献的理论计算存在较大的误差, 不利于导出对新物理模型的限制. 数值计算结果表明, 由于荷电 PG 玻色子对该稀有衰变道分枝比的贡献很大, 长程贡献的较大误差已不影响我们导出对多标度人工色模型的严格限制.

使用 (14) 式中的标准输入参数, 分枝比  $Br(K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-)_{SD}$  的标准模型理论值为:

$$Br(K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-)_{SD}^{SM} = 1.25 \times 10^{-9}, \quad (22)$$

如果忽略较小的长程贡献的色散部分, 长程贡献的标准模型理论预言值为<sup>[1]</sup>:

$$Br(K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-)_{TH}^{SM} = (6.81 \pm 0.32) \times 10^{-9}. \quad (23)$$

在考虑了  $\pi_1$  和  $\pi_8$  的贡献以后, 分枝比  $Br(K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-)_{SD}$  的理论表达式为<sup>[1,9]</sup>:

$$Br(K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-)_{SD} = \kappa_\mu \cdot \left[ \frac{Re\lambda_c}{\lambda} P_0(Y) + \frac{Re\lambda_t}{\lambda^5} Y(x_\nu, y_\nu, z_\nu) \right]^2 \quad (24)$$

其中  $\kappa_\mu = 1.68 \times 10^{-9[1]}$ .

在本文所考虑的参数空间内, 荷电 PG 玻色子  $\pi_1$  和  $\pi_8$  可以对分枝比  $Br(K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-)_{SD}$  给出 1—3 个量级的增强. 当取  $F_Q = 40\text{GeV}$ ,  $m_1 = 300\text{GeV}$ ,  $m_8 = 300\text{GeV}$  时, 相应分枝比为:  $Br(K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-)_{SD} = 6.92 \times 10^{-8}$ .

在图 3(a) 中, 上下两条短划线表示实验数据 (21), 窄曲线带 (三条几乎重合的线分别对应理论中心值和加上误差以后的值) 表示只考虑  $\pi_1$  新贡献时稀有衰变分枝比  $Br(K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-)$  随  $m_1$  变化的情况. 由图 3(a) 可以看出, 当“忽略”了  $\pi_8$  的新贡献时, 对  $m_1$  的限制仍然很强:  $m_1 > 480\text{GeV}$ . 在图 3(b) 中, 左边的曲线带表示只考虑  $\pi_8$  新贡献时分枝比  $Br(K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-)$  随  $m_8$  变化的情况. 由图 3(b) 可以看出, 当“忽略”了  $\pi_1$  的新贡献时, 对  $m_8$  的限制仍然很强:  $540\text{GeV} < m_8 < 598\text{GeV}$ . 右边的曲线带表示当取  $m_1 = 300\text{GeV}$  时, 包含了  $\pi_1$  和  $\pi_8$  新贡献的分枝比  $Br(K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-)$  随  $m_8$  的变化情况. 这时对  $m_8$  的限制为:  $592\text{GeV} < m_8 < 667\text{GeV}$ .

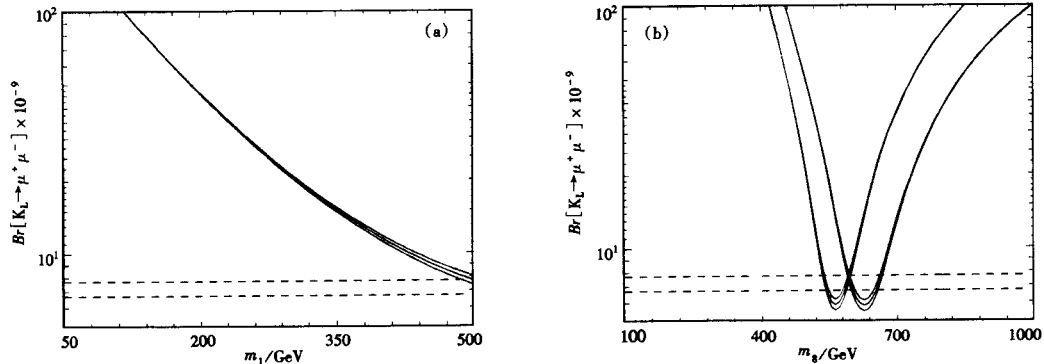


图 3 分枝比  $Br(K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-)$  对  $m_1$  和  $m_8$  的依赖关系

如果考虑到对长程贡献部分的理论计算有较大的不确定性和其它误差的影响, 而把 (23) 式中的理论误差放大为原来的 3 倍, 上述质量限制的变化小于  $\pm 3\text{GeV}$ . 如图 3 所示, 文献 [3] 所考虑的荷电 PG 玻色子质量区间被排除. 对较小的  $F_Q$  取值, 相关质量限制将进一步增强.

## 5 结论与讨论

本文中,在多标度人工色理论<sup>[3]</sup>框架下计算了荷电 PG 玻色子 $\pi_1^\pm$ 和 $\pi_8^\pm$ 对 K 介子稀有衰变道 $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ ,  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 和 $(K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-)_{SD}$ 的贡献. 新贡献的大小依赖于新粒子的质量谱和衰变常数 $F_Q$ 的数值. 对所考虑的 K 介子稀有衰变道,色八重态的 PG 玻色子 $\pi_8$ 起主要作用. 在所考虑的参数空间内, $\pi_1$ 和 $\pi_8$ 可以对所研究的 K 介子稀有衰变分枝比给出 1—3 个量级的增强.

对稀有衰变道 $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ ,当取 $m_1 = 300\text{GeV}$ ,对 $\pi_8$ 质量的限制为: $m_8 > 530\text{GeV}$ . 对稀有衰变道 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ ,由于现有实验限制不够强,还不能给出对荷电 PG 玻色子质量的限制. 对稀有衰变道 $K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-$ ,由于已有实验数据相当精确<sup>[10]</sup>,相应的质量限制就更强. 如果只考虑 $\pi_1$ 的新贡献,对 $\pi_1$ 质量的限制为: $m_1 > 480\text{GeV}$ . 如果只考虑 $\pi_8$ 的新贡献,对 $\pi_8$ 质量的限制为: $540\text{GeV} < m_8 < 598\text{GeV}$ . 当取 $m_1 = 300\text{GeV}$ ,对 $\pi_8$ 质量的限制则为: $592\text{GeV} < m_8 < 667\text{GeV}$ .

文献[3]所考虑的荷电 PG 玻色子质量区间被实验数据(17, 21)排除. 对较小的 $F_Q$ 取值,相关质量限制将进一步增强.

文献[13]在多标度人工色模型框架下计算了荷电 PG 玻色子对 $b \rightarrow s\gamma$ 过程的贡献. 当取 $m(\pi_1) = 100\text{GeV}$ , $m(\pi_8) = 300\text{—}600\text{GeV}$ 时, $Br(B \rightarrow X_s \gamma) \sim 0.1$ ,比 CLEO 实验测量值 $Br(B \rightarrow X_s \gamma) = (2.32 \pm 0.57 \pm 0.357) \times 10^{-4}$ 高出三个量级. 文献[14]在多标度人工色模型框架下计算了 ETC 规范玻色子对 $R_b$ 的贡献,绝大部分参数空间被 LEP 实验数据排除.

对本文所研究的 K 介子稀有衰变的分枝比, NLO 水平的标准模型理论计算误差不大于 10%<sup>[1]</sup>. 虽然对于走动的人工色强相互作用,相关理论计算有较大的误差,但即使是 50% 左右的理论误差也不会改变由文献[13, 14]和本文计算所得到的结论: Lane 等人的多标度人工色模型与现有实验数据不符,被基本排除. 该模型的主要问题在于以下两点:首先是 ETC 强相互作用不能够在满足现有实验限制的条件单独产生很大的 Top 夸克质量;其次是荷电 PG 玻色子对 K 介子稀有衰变分枝比和 $B \rightarrow X_s \gamma$ 稀有衰变分枝比修正的大小与其衰变常数 $F_\pi$ 的四次方成反比,但为了使 TC 强相互作用走动演化,该模型引入了较多的 TC 费米子,使得 PG 玻色子衰变常数 $F_Q$ 减小为 20—40 GeV,进而使相关修正变得太大,与实验数据不符.

## 参 考 文 献

- 1 Buras A J, Fleischer R. Heavy Flavours II. In: Buras A J, Lindner M eds. World scientific. 1997. hep-ph / 9704376
- 2 Buchalla G, Buras A J, Lautenbacher M E. Rev. Mod. Phys., 1996, **68**:1125
- 3 Lane K, Ramana M V. Phys. Rev., 1991, **D44**: 2678; Lane K, Eichten E. Phys. Lett. 1989, **B222**:274
- 4 Lane K. Presented at the 28th International Conference on High Energy Physics (ICHEP 96), Warsaw 1996. 367
- 5 Eichten E, Hinchliffe I, Lane K et al. Rev. Mod. Phys., 1984, **56**: 579; Phys. Rev., 1986, **D34**:1547
- 6 Ellis J, Gaillard M K, Nanopoulos D V et al. Nucl. Phys., 1981, **B182**:505

- 7 Inami T, Lim C S. Prog. Theor. Phys., 1981, **65**:297
- 8 Cho P, Greistein B. Nucl. Phys., 1991, **B365**:279
- 9 Xiao Zhenjun, Lü Lixia, Guo Hongkai et al. Eur. Phys. Jour., 1999, **C7**:487
- 10 Particle Data Group, Caso C et al. Eur. Phys. J., 1998, **C3**:1
- 11 Adler S et al. Phys. Rev. Lett., 1997, **79**:2204
- 12 Weaver M et al. Phys. Rev. Lett., 1994, **72**:3758
- 13 Lu Gongru, Cao Yigang, Xiong Zhaohua et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys. (in Chinese), 1997, **21**: 1005  
(鲁公儒, 曹义刚, 熊兆华等. 高能物理与核物理, 1997, **21**: 1005)
- 14 Yue Chongxing, Kuang Yuping, Lu Gongru. J. Phys., 1997, **G23**:163; Lu Gongru, Cao Yigang, Xiong Zhaohua et al. Z. Phys., 1997, **C74**:355

## Rare K-Decays and Its Strong Constraints on the Multiscale Walking Technicolor Model \*

Xiao Zhenjun    Lü Linxia    Zhang Jinyu    Guo Hongkai    Lu Gongru

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

**Abstract** We calculate the one-loop  $Z^0$ -penguin contributions to the rare K-decays,  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ ,  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  and  $K_L \rightarrow \mu^+ \mu^-$ , from the unit-charged pseudo-Goldstone bosons  $\pi_1$  and  $\pi_8$  in the framework of the Multiscale Walking Technicolor Model. We find that: (a) the  $\pi_1$  and  $\pi_8$  can provide one to three orders enhancements to the branching ratios of the rare K-decays under study; (b) the assumed mass ranges of the unit-charged PGBs in the Multiscale Walking Technicolor Model are excluded by the rare K-decay data. According to this and other relevant studies, one finds that the Multiscale Walking Technicolor Model are conflict with the data and therefore excluded.

**Key words** rare K-decays, charged pseudo-Goldstone boson, branching ratio

---

Received 26 August 1998

\* Project 19575015 supported by National Natural Science Foundation of China