

Δr 的实验测量与唯象分析

肖振军 鲁公儒¹⁾

(河南师范大学物理系, 河南新乡 453002)

丁亦兵¹⁾

(中国科学院研究生院物理学部, 北京 100039)

摘 要

本文根据 LEP 和 CDF 等实验组的最新实验结果, 导出了辐射修正因子 Δr 的实验值, 并把该结果和根据标准模型理论计算得到的 Δr 理论值进行了比较. 本文计算了全单圈和主要双圈图的贡献, 根据几率分布得到了对 M_t 比较严格的上限制; 当取 Higgs 粒子质量 $M_H=100\text{GeV}$ 时, $M_t < 175\text{GeV}$ (95% C. L.). 本文还分析计算了其它实验误差和理论误差对 M_t 的影响.

引 言

到今年七月, 四个 LEP 实验组已积累了大约 120 万个 Z 玻色子衰变事例^[1], Z 玻色子质量 M_Z 和轻中微子代数 N_ν 已精确测定. 根据四个 LEP 实验组^[2-5]的实验结果, M_Z 和 N_ν 的加权平均值为:

$$M_Z = 91.175 \pm 0.021\text{GeV}. \quad (1)$$

$$N_\nu = 3.00 \pm 0.04. \quad (2)$$

显然现有对撞机实验结果强烈的支持标准模型理论^[6]. 但标准模型理论所预言的 Top 夸克和 Higgs 粒子至今没有在实验上发现, 其质量下限在不断上移. 最强的实验限制是: $M_H > 57\text{GeV}$ ^[7], $M_t > 89\text{GeV}$ ^[8]. 另一方面, 在圈图水平 Top 夸克和 Higgs 粒子对各个物理参数的测量具有影响—即辐射修正. 辐射修正因子 Δr 随 Top 夸克质量的增大而增大 (Δr 对 M_H 的依赖性很弱, 在此不详细讨论). 因此, 对已有精确实验数据的分析可以给出对 Top 夸克质量 M_t 的间接限制. 已有许多文献讨论过这个问题^[9,10], 一个新的分析结果 ($M_H=300\text{GeV}$) 是:

$$M_t \leq 193\text{GeV} \text{ (at 95\% C. L., ref. [11])}. \quad (3)$$

本文1991年12月26日收到.

* 河南省教委自然科学基金和重点学科基金资助.

1) 中国高等科学技术中心成员.

本文将根据最新实验结果, 导出辐射修正因子 Δr 的实验测量值, 并把该结果和标准模型理论期待值加以比较, 对 Top 夸克质量 M_t 给出新的比较严格的上限限制. 在全单圈图计算的基础上, 本文还将考虑 $O(\alpha_s)$ 和 $O(\alpha^2)$ 双圈贡献的影响.

1. 辐射修正因子 Δr 的直接实验测定

若采用 On-Shell 方案^[12], 辐射修正因子 Δr 可由下式定义:

$$\sin^2\theta_w = \frac{A^2}{M_w^2(1 - \Delta r)}, \quad (4)$$

其中 $\sin\theta_w = 1 - (M_w/M_Z)^2$, $A = (\pi\alpha/\sqrt{2}G_\mu)^{1/2} = 37.2805\text{GeV}$.

辐射修正因子 Δr 是电弱相互作用理论中的一个重要物理量, 这是因为 Δr 是一个可被直接观测的量子修正, Δr 的数值随 M_t 和 M_H 的增大而增大. 对 Δr 的实验测量和理论分析是探索新物理的一个重要窗口. 对应于 On-Shell 重整化方案和 $\overline{\text{MS}}$ 重整化方案^[13], Δr 有两种定义. 但在 On-Shell 定义下的 Δr 对 M_t 的变化更敏感(因为这时 $\Delta\rho$ 前有一增强因子 $\cos^2\theta_w/\sin^2\theta_w \approx 3$), 有利于导出对 M_t 的限制, 故本文采用 On-Shell 重整化方案, 根据(4)式, 对 Δr 的直接实验测定等价于对矢量玻色子质量 M_w 和 M_Z (或 M_w 和 $\sin^2\theta_w$) 的精确测定. 根据当时的实验数据, 文献[14]给出的结果是:

$$(\Delta r)_{\text{exp}} = 0.045 \pm 0.020 \quad (\text{ref. [14]}). \quad (5)$$

显然上式中的 Δr 误差太大, 不能对 M_t 和 M_H 给出有意义的限制. 但由于 LEP 和 PP 对撞机实验给出日益精确的实验数据, 使得对 $(\Delta r)_{\text{exp}}$ 的直接精确测定成为可能. 根据最新实验数据可得:

$$\begin{aligned} \sin^2\theta_w &= 0.2292 \pm 0.0042 (\text{ALEPH, ref. [2]}) \\ &= 0.2291 \pm 0.0046 (\text{OPAL, ref. [5]}) \\ &= 0.2290 \pm 0.0028 (\text{ref. [14]}) \\ &= 0.2291 \pm 0.0021 (\text{加权平均值}). \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} M_w &= 80.35 \pm 0.37\text{GeV} (\text{ref. [15]}) \\ &= 80.14 \pm 0.27\text{GeV} (\text{UA1} + \text{UA2} + \text{CDF, ref. [16]}) \\ &= 80.11 \pm 0.14\text{GeV} (\text{LEP} + \text{pp} + \nu\text{N, ref. [11]}). \end{aligned} \quad (7)$$

我们将直接使用(6)式中的加权平均值和(7)式中的 $M_w = 80.11 \pm 0.14\text{GeV}$, 由(4)式来计算 $(\Delta r)_{\text{exp}}$, 其值为:

$$(\Delta r)_{\text{exp}} = 0.05471. \quad (8)$$

由(4)式易于导出 $(\Delta r)_{\text{exp}}$ 的误差为:

$$\delta(\Delta r)_{\text{exp}} = \frac{2(1 - \Delta r)}{\tan^2\theta_w} \left\{ \left(\frac{\delta M_Z}{M_Z} \right)^2 + \left((1 - \tan^2\theta_w) \frac{\delta M_w}{M_w} \right)^2 \right\}^{1/2} = 0.00795. \quad (9)$$

在本文的数值计算中, 精细结构常数 α 和费米常数 G_μ 的误差将被忽略, 并取 $\alpha^{-1} = 137.0359895$, $G_\mu = 1.16637 \times 10^{-5} (\text{GeV})^{-2}$, $M_Z = 91.175 \pm 0.021\text{GeV}$. 另外(9)式的 $\delta(\Delta r)_{\text{exp}} = 0.00795$ 将作为 $(\Delta r)_{\text{exp}}$ 的 $1 - \sigma$ 标准误差来处理. 本文将使用下列缩写形式: $s^2 = \sin^2\theta_w$, $c^2 = 1 - s^2 = \cos^2\theta_w$, $W = M_w^2$, $Z = M_Z^2$, $t = M_t^2$, $h = M_H^2$.

2. 辐射修正因子 Δr 的理论计算

我们首先在全单圈水平计算 Δr , 然后考虑已知的主要双圈贡献. 在单圈图水平, 主要

的贡献来自矢量玻色子的真空极化图. 根据文献[9], Δr 可以分为两部分

$$\Delta r = \Delta r_{\text{direct}} + \Delta r_{\text{oblique}}. \quad (10)$$

$$\Delta r_{\text{direct}} = \frac{\alpha}{4\pi s^2} \left[6 + \frac{7 - 4s^2}{2s^2} \ln(c^2) \right], \quad (11a)$$

$$\Delta r_{\text{oblique}} = \Delta\alpha - (c^2/s^2)\Delta\rho + \Delta r_{\text{rem}}. \quad (11b)$$

其中 Δr_{direct} 包含了顶角修正和箱图贡献, 是红外和紫外有限的. $\Delta r_{\text{oblique}}$ 则与 W 玻色子重整化的自能图贡献的横向部分有关. $\Delta\alpha$ 为光子真空极化贡献, $\Delta\rho$ 是对 ρ 因子^[9] ($\rho = G_{\text{CC}}(0)/G_{\text{CC}}(0)$) 的间接修正, Δr_{rem} 则为剩余部分 (remainder term). 在单圈图水平, 轻费米子对 $\Delta\alpha$ 的贡献为

$$\begin{aligned} \Delta\alpha_i^{(\alpha)} &= \Delta\alpha_{\text{lepton}} + \Delta\alpha_h^{(5)} \\ &= \frac{\alpha}{3\pi} \sum_i Q_i^2 (\ln(M_i^2/M_f^2) - 5/3) \left(1 + \frac{3\alpha}{4\pi} \right) \\ &\quad + \{ 0.0288 \pm 0.0009 + 0.00298 \times [\ln(s/s_0) + 0.006307(s/s_0 - 1)] \}. \end{aligned} \quad (12)$$

其中的求和是对带电轻子 e, μ , τ 求和; 5个轻夸克 u, d, c, s, b 对 $\Delta\alpha$ 的贡献 $\Delta\alpha_h^{(5)}$ 由色散关系计算得到[9]. $\Delta\alpha_h^{(5)}$ 已包含了五个已知轻夸克对 Δr 的所有高阶贡献. 在(12)式中, 由于 QED 修正因子 $\delta_{\text{QED}} = (1 + 3\alpha/4\pi)$ 的插入, 轻子的双圈不可约贡献已经计入.

与 $\Delta\alpha$ 相比, 轻夸克对 $\Delta\rho$ 的贡献很小. 但具有大质量分裂 ($M_+ \gg M_-$) 的费米子二重态对 $\Delta\rho$ 有较大的贡献, 对 (t, b) 夸克二重态, $M_t \gg M_b$,

$$\Delta\rho_b^{(\alpha)} = 3aM_t^2. \quad (13)$$

其中 $a = \frac{\sqrt{2}G_\mu}{16\pi^2} = 1.04456 \times 10^{-7}$, 忽略 b 夸克质量引起的误差小于 1.4×10^{-5} (当 $M_t < 200\text{GeV}$ 时), 可以忽略. 当包括了对 $\Delta\rho$ 的双圈不可约贡献以后, 有

$$\Delta\rho_{\text{irr.}^{(\alpha)}} = N_{\text{cf}} a M_t^2 [1 - (2\pi^2 - 19)aM_t^2]. \quad (14)$$

最后, Δr_{rem} 项也包含有重 Top 夸克和 Higgs 玻色子对辐射修正因子 Δr 的贡献. 若采用文献[9]的结果和求和方法, 那么在全单圈图水平, Δr 的表达式为

$$\begin{aligned} (\Delta r^{(\alpha)})_{\text{th.}} &= 1 - \left[\frac{1}{1 - \Delta\alpha_f^{(\alpha)}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{c^2}{s^2} (\Delta\rho)_{\text{irr. f}}} + \Delta\alpha_b \right. \\ &\quad \left. + \Delta r_{\text{rem}} - \Delta q + \Delta m q - K_{\text{se}} + \frac{c^2}{s^2} (\Delta\rho)_f + \Delta r_{\text{direct}} \right]^{-1}. \end{aligned} \quad (15)$$

其中 $\Delta\alpha_b = 0.00050$ 是矢量玻色子对 $\Delta\alpha$ 的贡献^[9]. (15) 式中的 ΔK_{se} 项和 Δr_{rem} 项的冗长表达式在此不再给出, 读者可查阅文献[9]的(61)和(62)两式. (15) 式中的 $\Delta\alpha_i^{(\alpha)}$ 和 Δr_{direct} 分别由(12)式和(11)式给出.

与 (t, b) 夸克二重态的贡献相比, 轻夸克二重态 (u, d)、(c, s) 对 $\Delta\rho$ 的贡献可忽略. 轻夸克对 Δr_{rem} 的贡献为

$$\Delta q_{u,d}^{(\alpha)} = \Delta q_{c,s}^{(\alpha)} = 2\Delta q_b^{(\alpha)} = \frac{\alpha}{4\pi s^2} (1 - c^2/s^2) \ln(c^2). \quad (16)$$

到 $O(\alpha_s^3)$ 水平的 QCD 修正因子为

$$\delta_{\text{QCD}} = \left(\frac{\alpha_s(Z)}{\pi} \right) + 1.409 \left(\frac{\alpha_s(Z)}{\pi} \right)^2 - 12.805 \left(\frac{\alpha_s(Z)}{\pi} \right)^3. \quad (17)$$

为了考虑 QCD 修正因子对 Δr 的影响,我们先在 Δr_{rem} 中减去

$$\Delta q^{(\alpha)} = \frac{5\alpha}{8\pi s^2} (1 - c^2/s^2) \ln(c^2), \quad (18)$$

然后再加上修正后的贡献

$$\Delta m q^{(\alpha)} = \frac{5\alpha}{8\pi s^2} (1 - c^2/s^2) \ln(c^2) (1 + \delta_{\text{QCD}}). \quad (19)$$

对包含一条内胶子线的 $O(\alpha\alpha_s)$ 双圈贡献,文献[17]有较详细的讨论.对 $O(\alpha^2)$ 双圈贡献的计算还不完整,本文将引用文献[17]的结果.本文所考虑的主要双圈贡献为

$$\Delta \rho_{\text{tb}}^{(\alpha_s)} = -\frac{\alpha\alpha_s}{\pi^2} \frac{1}{4s^2} \chi (\pi^2/6 + 1/2). \quad (20)$$

$$\Delta \rho_{\text{tb}}^{(\alpha + \alpha^2)} = 3aM_t^2 + 3a^2(22 - 2\pi^2)M_t^4. \quad (21)$$

$$\Delta \alpha_i^{(\alpha^2)} = \frac{1}{4} \left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^2 Q_i^4 [\ln(4r_i) + 4\zeta(3) - 5/6]. \quad (22)$$

$$\Delta \alpha_i^{(\alpha^2)} = -\frac{1}{4} \left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^2 \frac{5248}{2187} r_i. \quad (23)$$

$$\Delta \alpha_{\text{H}}^{(\alpha^2)} = -5.995 \times 10^{-7} h/\tau w. \quad (24)$$

其中 $r_i = Z/(2M_i)^2$, $\chi = W/t$, $\zeta(3)$ 为 Riemann Zeta 函数.

在包含了主要双圈图贡献以后,(15)式的 $(\Delta r)_{\text{th}}^{(\alpha)}$ 可改写为:

$$\begin{aligned} (\Delta r)_{\text{th}}^{(\alpha + \alpha_s + \alpha^2)} &= 1 + \Delta \alpha_{\text{H}}^{(\alpha^2)} \\ &- \{ [1 - \Delta \alpha_i^{(\alpha)} - \frac{1}{4} \left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^2 \left[\sum_i (\ln(4r_i) + 4\zeta(3) - 5/6) - \frac{5248}{2187} r_i \right]]^{-1} \\ &\cdot [1 + \frac{c^2}{s^2} 3aM_t^2 [1 - (2\pi^2 - 19)aM_t^2 - \frac{2\alpha_s}{3\pi} (\pi^2/3 + 1)]]^{-1} \\ &+ \Delta \alpha_{\text{b}} + \Delta r_{\text{rem}} + \frac{5\alpha}{8\pi s^2} (1 - c^2/s^2) \ln(c^2) \delta_{\text{QCD}} + \Delta r_{\text{direct}} \}^{-1}, \quad (25) \end{aligned}$$

其中的求和是对 e, μ, τ 三个带电轻子的求和.

3. 对 Top 夸克质量 M_t 的限制和数值结果

在这一部分,我们将由约束方程 $(\Delta r)_{\text{exp.}} = (\Delta r)_{\text{th}}$ 导出对 Top 夸克质量 M_t 的限制.在数值计算中取: $s^2 = 0.2291$, $\alpha_s(Z) = 0.113^{[18]}$. Higgs 玻色子质量 M_{H} 在 57—1000 GeV 范围内变化.包含了主要双圈贡献的辐射修正因子 Δr 随 M_t 变化的数值结果如表1所示.

根据(25)式,在图1中我们给出了对应于不同 M_{H} 取值的辐射修正因子 Δr 随 M_t 变化的曲线.根据(15)式,在全单圈图水平,由约束方程

$$(\Delta r)_{\text{th}}^{(\alpha)} = (\Delta r)_{\text{exp.}} = 0.05471 \pm 0.00795. \quad (26)$$

可得到对 M_t 的限制为:

$$M_t = 124^{+26}_{-27} \text{ GeV}, \text{ 当 } M_{\text{H}} = 100 \text{ GeV 时}. \quad (27)$$

根据(25)式,在考虑了双圈高阶修正以后,由约束方程

$$(\Delta r)_{\text{th}}^{(\alpha + \alpha_s + \alpha^2)} = (\Delta r)_{\text{exp.}} = 0.05471 \pm 0.00795 \quad (28)$$

可得到对 M_t 的限制为:

$$M_t = 130^{+27}_{-29} \text{ GeV}, \text{ 当 } M_{\text{H}} = 100 \text{ GeV 时} \quad (29)$$

当 M_H 在 57—1000 GeV 范围内变化时

$$M_t = 135 \begin{array}{l} + 27 \\ - 28 \end{array} \begin{array}{l} + 23 \\ - 10 \end{array} \text{ GeV.} \quad (30)$$

上式的 M_t 中心值对应于 $M_H=150\text{GeV}$, 第一个误差为与 δM_w 对应的实验误差, 第二个误差则为 M_H 在 57—1000 GeV 范围内变化所产生的误差. 详细数值结果如表 2 所示. 双圈贡献使 M_t 中心值上升了 5~8 GeV, 使 δM_t 增加了大约 2 GeV. 其中 (20) 式所给 $\Delta\rho_{\text{th}}^{(\alpha_s)}$ 项使 $\Delta\rho$ 的数值比全单圈图情况下降了大约 10%. 当取 $M_H=100\text{GeV}$ 时, 该双圈修正项使 M_t 的中心值上升了 5.6 GeV; 在 QCD 修正因子 δ_{QCD} 中包含 $O(\alpha_s^3)$ 项仅仅使 M_t 中心值下降了 6 MeV, 这一项的贡献完全可以忽略. 其余的双圈项对 M_t 的总贡献为大约 500 MeV.

表 1 对于给定的 M_H 取值, 在考虑了主要双圈贡献以后, 根据 (25) 式辐射修正因子

Δr 随 M_t 变化的数值结果. 质量单位为 GeV. 表中所给数值为 $\Delta r \times 10^2$

$M_t \backslash M_H$	57	100	150	200	1000
60	7.41	7.54	7.65	7.74	8.29
80	6.74	6.88	6.99	7.08	7.64
100	6.15	6.29	6.40	6.49	7.06
120	5.62	5.76	5.87	5.96	6.54
130	5.34	5.48	5.60	5.69	6.27
140	5.06	5.20	5.32	5.41	5.99
150	4.77	4.91	5.03	5.12	5.70
160	4.46	4.60	4.72	4.81	5.40
180	3.82	3.96	4.08	4.18	4.77
200	3.13	3.27	3.39	3.49	4.09
220	2.38	2.53	2.65	2.75	3.36

表 2 由不同的 M_H 取值, 由约束方程 (26) 和 (28) 得到的对 Top 夸克质量 M_t 的限制

在计算中已取 $M_Z=91.175\text{GeV}$, $\alpha_s(Z)=0.113$. 质量单位为 GeV

$M_t \backslash M_H$	57	100	150	200	300	1000
全单圈贡献	120±26	124±26	128±26	131±26	136±26	150±26
包含主要双圈贡献	125±28	130±28	135±26	138±26	143±26	158±26

分析计算表明, Top 夸克质量的不确定性 δM_t 主要依赖于 M_w 的实验误差 δM_w ; 当 δM_w 由 0.31 GeV 降到 0.05 GeV 时, δM_t 则由 56 GeV 降低到大约 10 GeV (取 $M_H=150\text{GeV}$). 显然, 提高 M_w 的测量精度是一项重要的实验目标.

分析计算表明, 强相互作用常数 $\alpha_s(Z)$ 中心值的变化对 M_t 的数值只有很小的影响: 当 $\alpha_s(Z)$ 由 0.101 增大到 0.135 时, M_t 中心值只上升了大约 2 GeV, δM_t 上升了 0.6 GeV (取 $M_H=150\text{GeV}$). 另外, $\alpha_s(Z)$ 本身的实验误差 (按保守估计) $\delta\alpha_s=0.008^{[14]}$ 对 $(\Delta r)_{\text{th}}$ 的影响

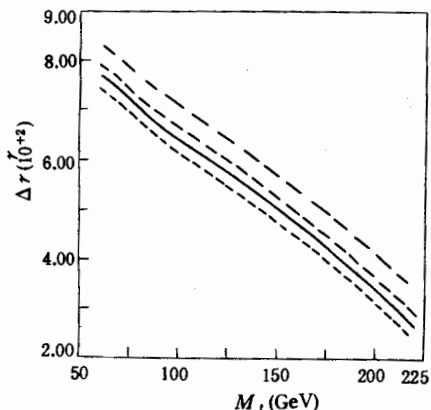


图1 辐射修正因子 Δr (已包含主要双圈贡献) 随 M_t 的变化
 其中的四条曲线分别对应于 $M_H = 57\text{GeV}$, 150GeV , 300GeV , 1000GeV
 --- $M_H = 57\text{GeV}$, — $M_H = 150\text{GeV}$,
 -·- $M_H = 300\text{GeV}$, - - $M_H = 1000\text{GeV}$

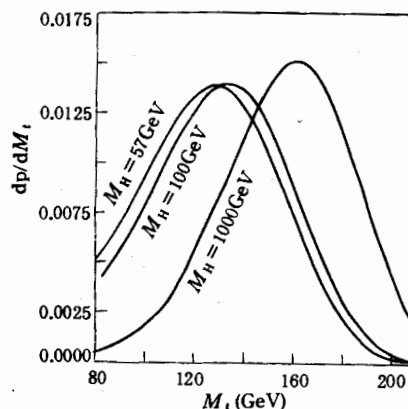


图2 辐射修正因子 Δr 关于 M_t 的几率分布图。
 其中的三条曲线分别对应于 $M_H = 57\text{GeV}$, 100GeV , 1000GeV . 在计算几率分布归一化因子时已考虑了关于 M_t 的 CDF 质量下限: $M_t > 89\text{GeV}$

小于 6×10^{-6} . 与 $\Delta\alpha_h^{(5)}$ 的误差 ± 0.0009 相比完全可以忽略. 如果我们取 $\delta(\Delta\alpha_h^{(5)}) = 0.0009$ 与 $\delta(\Delta r)_{\text{exp.}} = 0.00795$ 这两个误差的方均根为总的误差 ($1-\sigma$ 标准误差), 则有

$$\delta(\Delta r)_{\text{total}} = 0.0080. \tag{31}$$

仅仅使 δM_t 上升大约 200MeV , 该影响很小可以忽略. 对于给定的 M_H 取值, $(\Delta r)_{\text{th.}}$ 是 M_t 的单变量函数. 图2所示为 $(\Delta r)_{\text{th.}}$ 关于 M_t 的几率分布曲线, 其中三条曲线分别对应于 $M_H = 57\text{GeV}$, $M_H = 100\text{GeV}$, $M_H = 1000\text{GeV}$. 我们所使用的几率分布函数为:

$$\frac{dp}{dm_t} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_0^2}((\Delta r)_{\text{th.}} - (\Delta r)_{\text{exp.}})^2\right] \left| \frac{d(\Delta r)_{\text{th.}}}{dm_t} \right|. \tag{32}$$

其中 $(\Delta r)_{\text{th.}}$ 由(25)式给出, $(\Delta r)_{\text{exp.}} = 0.05471$ 由(8)式给出, $\sigma_0 = \delta(\Delta r)_{\text{exp.}} = 0.00795$ 由(9)式给出. 在计算几率分布归一化因子时, 我们考虑了 CDF 给出的 Top 夸克质量 M_t 的下限, $M_t > 89\text{GeV}$ ^[8]. 当取 $M_H = 100\text{GeV}$ 时, 由几率分布我们得到可信度为 95% 的 Top 夸克质量上限为:

$$M_t < 175\text{GeV}, \tag{33}$$

详细计算结果如表3所示.

表3 对不同的 M_H 取值, 根据几率分布计算得到的对 Top 夸克质量 M_t 的上限限制. 主要双圈贡献已经考虑. 质量单位为 GeV

$M_t \backslash M_H$	57	100	150	1000
at 90% C. L.	<162	<166	<169	<189
at 95% C. L.	<170	<175	<177	<197

4. 结 论

在本文的分析计算中,首先对温伯格角 $\sin^2\theta_w$ 和 W 玻色子质量 M_w 的最新实验数据进行了综合分析,给出了加权平均值,进而导出了辐射修正因子 Δr 的实验测定值 $(\Delta r)_{\text{exp.}} = 0.05471 \pm 0.00795$. 引用了文献[9,17]的主要理论公式,根据标准模型理论给出了在全单圈图水平的辐射修正因子 Δr ,然后导出了包含已知主要双圈贡献的辐射修正因子.并对辐射修正因子 Δr 的实验值 $(\Delta r)_{\text{exp.}}$ 和理论期待值 $(\Delta r)_{\text{th.}}$ 做了详细的比较分析,对各项实验误差和理论误差进行了细致的计算分析.由约束方程导出了对 Top 夸克质量 M_t 的限制,由几率分布计算得到了较严格的 Top 夸克质量上限;当取 $M_H = 100\text{GeV}$ 时,

$$M_t = 130 \pm 28\text{GeV}. \quad (34)$$

相应的 Top 夸克质量上限为:

$$M_t < 175\text{GeV} (\text{at } 95\% \text{ C. L.}). \quad (35)$$

详细的数值结果由表2和表3给出.

作者感谢郑庆荣同志在计算方面提供的帮助.

参 考 文 献

- [1] J. R. Carter, Talk given at LP-HEP'91, Geneva, Switzerland, 25 July-1 August, 1991.
- [2] ALEPH Collab. D. Decamp et al., CERN-PPE/91-105;
- [3] DELPHI Collab. P. Abreu et al., CERN-PPE/91-95;
- [4] L3 Collab. B. Adeva et al., L3 Preprint # 28., Z. Phys., **C51**(1991),179;
- [5] OPAL Collab. M. Z. Akrawy et al., CERN-PPE/91-67.
- [6] S. L. Glashow, *Nucl. Phys.*, **22**(1961),579;
S. Weinberg, *Phys. Rev. Lett.*, **19**(1967),1264;
A. Salam, in *Elementary Particle Theory*, Eds. N. Svartholm, (1968).
- [7] P. Roudeau, Talk given at LP-HEP'91, Geneva, Switzerland, 25 July-1 August, 1991.
- [8] K. Sliwa, CDF Collaboration, Proc. 25th Rencontre de Moriond on Hadronic Interactions, Lea Arcs(1990).
- [9] G. Burgers et al., in *Z Physics at LEP1*, ed. G. Altarelli et al., CERN 89-08, **Vol. 1** (1989),55.
- [10] J. Ellis and G. Fogli, *Phys. Lett.*, **B249**(1990),543 and reference there in; V. Barger et al., *Phys. Rev. Lett.*, **65**(1990),1313;
G. Altarelli and R. Barbieri, *Phys. Lett.*, **B253**(1991),161.
- [11] D. Schaile et al., Talk given at LP-HEP'91, Geneva, Switzerland, 25 July-1 August, 1991.
- [12] A. Sirlin, *Phys. Rev.*, **D22**(1980),971.
- [13] S. Narison, *Phys. Rep.*, **84**(1982)263; A. Sirlin, *Phys. Lett.*, **B232**(1989),123;
G. Degrossi et al., *Nucl. Phys.*, **B351**(1991),49.
- [14] H. D. Besch, CERN-PPE/90-168.
- [15] UA2 Collab. J. Alitti et al., CERN-PPE/91-163.
- [16] CDF Collab. J. Huth, FERMILAB CONF-91/223-E.
CDF Collab. L. Nodulman, FERMILAB CONF-91/232-E.
- [17] B. A. Kniehl, *Nucl. Phys.*, **B347**(1990),86.
F. Halzen and B. A. Kniehl, *Nucl. Phys.*, **B353**(1991),567.
- [18] J. Ellis et al., CERN-TH. 6130/91.

Experimental Determination of the Radiative Correction Factor Δr and Phenomenological Analyses

XIAO ZHENJUN LU GONGRU

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

DING YIBING

(Department of Physics, Graduate School, Academia Sinica, Beijing 100039)

ABSTRACT

In this paper the experimental value of radiative correction Δr was derived from the new data of $\sin^2\theta_w$ and W boson mass M_w given by LEP, CDF and other collaborations. A careful comparison of $(\Delta r)_{\text{exp}}$ with the standard model expectation was carried out. We first calculated the Δr at full one-loop level, and then the main two-loop contributions were included. More stringent upper bounds on M_t were obtained from the analysis of probability distribution: $M_t < 175\text{GeV}$ at 95% C. L. for a given $M_H = 100\text{GeV}$. The effects on M_t from other experimental and theoretical errors were also computed.