

在 LEP II 及 NLC 能量下 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ 和 $t\bar{t}Z^0$ 过程中 Higgs 粒子的观测效应*

丁亦兵¹ 李学潜² 王建雄³ 张肇西⁴ 谢跃红³

1 (中国科学院研究生院物理部 北京 100039)

2 (南开大学物理系 天津 300071)

3 (中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

4 (中国科学院理论物理研究所 北京 100080)

1996-02-29 收稿

摘 要

根据最小标准模型及双 Higgs 二重态的扩展标准模型理论, 计算了 LEP II 以及 NLC 能量下 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ 和 $t\bar{t}Z^0$ 的总截面和微分截面以探求 Higgs 粒子的观测效应. 我们发现, 只要 Higgs 粒子的质量 $M_H \leq 140\text{GeV}$, 对 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ 的测量就能清楚地提供 Higgs 粒子的信息. 然而对 $e^+e^- \rightarrow t\bar{t}Z^0$, 不论 Higgs 粒子是轻或重, 它的效应都被淹没在弱电过程的本底中, 没有观测的可能.

关键词 最小标准模型, 扩展标准模型, 双 Higgs 二重态, Higgs 粒子质量, 弱电过程, 总截面和微分截面.

1 引 言

t 夸克的发现^[1]使最小标准模型(MSM)的三代轻子-夸克结构得到了实验的最终证实, 寻找该理论框架内至今唯一缺席的重要成员-Higgs 粒子自然地成为了理论家和实验家最为关注的研究课题. 人们在实验所及的能量范围内进行了多年的广泛而细致地搜寻, 不幸的是, 迄今成效甚微, 没有得到关于这个粒子任何明确的、直接的结论. 于是, 一方面在更高的能量下的各种反应探讨 Higgs 粒子的可能迹象引起了人们越来越浓厚的兴趣. 另一方面, 各种超出标准模型的可能性, 特别是包含有双 Higgs 二重态的最小扩充标准模型(2HDM)及最小超对称模型(MSSM)受到了更为广泛的注意^[2].

按照 MSM, $e^+e^- \rightarrow Z^0H^0$ 是观测 Higgs 粒子的理想反应. 由于 e^+e^- 对撞机具有比质子对撞机低得多的背景, 探测环境十分有利. 人们相信, 如果标准模型中的自发对称性破缺 Higgs 机制是正确的, 即 Higgs 粒子是存在的, 那么在 LEP II 和 NLC 能量下所谓的 Golden-Plate 反应 $e^+e^- \rightarrow H^0Z^0 \rightarrow f\bar{f}Z^0$ 的测量应能给出关于 Higgs 粒子的重要信息.

* 国家自然科学基金部分资助.

在 LEP II 和 NLC 上, $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ 是一定能测量到的. 按照 MSM, 这个反应的最低级费曼图(树图)如图 1 的(a)、(b)和(c)所示共有九个图, 其中(a)和(b)的八个图没有任何自由参量, 它们给出确定大小的背景贡献(以下称背景图). 在 MSM 理论框架下只有图 1(c)通过中间态 H^0 到 $b\bar{b}$ 给出人们关心的 Higgs 粒子的信息(按照 Boos 等人的约定^[1], 我们称之为信号). Boos 等人的工作证明: (1) 根据 MSM, 在 $\sqrt{s} < M_Z + M_H$ 时, Higgs 粒子的贡献(图 1(c)), 与背景相比很小, 可以忽略, 即一个虚的 Higgs 粒子 ($q^2 < M_H^2$) 不能给出较大的贡献; (2) 当 $\sqrt{s} > M_Z + M_H$ 时, 总截面有一个剧增. 在 \sqrt{s} 较大时信号与背景之比接近于 1; (3) 不论 \sqrt{s} 为何值, 背景与信号的干涉都很小, 可以略去; (4) 当 $M_H < 2M_W$ 时, 在以末态 $b\bar{b}$ 系统的不变质量 $s_2 = (p_b + p_{\bar{b}})^2$ 为变量的微分截面 $d\sigma/ds_2$ 图中, $s_2 = M_H^2$ 处可以看到一个很窄很高的峰.

按照 Boos 等人的分析, 对 MSM 而言, 只要 Higgs 粒子质量 M_H 给定, 计算中不存在任何自由参数. 那么通过对 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ 微分截面 $d\sigma/ds_2$ 及总截面 σ 的测量值与计算值的比较, 应该能对 Higgs 粒子是否存在以及它的质量值给出明确的结论.

然而如果扩展的标准模型是正确的话, 情况就不那么简单了. 例如, 在 2HDM 中, 对 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ 有贡献的树图除了图 1(a)、(b)和(c)的九个图之外, 还有另一个中性的 Higgs 粒子 h^0 也有贡献, 如图 1(d) 所示. 它的顶点与 HZZ 相似. 由于 H^0 和 h^0 有可能发生混合, 所以更增加了结果的复杂性.

本文将就 MSM 和 2HDM 中 Higgs 粒子在 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ 以及 $t\bar{t}Z^0$ 过程中可能的观测效应进行一些细致的研究. 计算了它们的截面 σ 和微分截面 $d\sigma/ds_2$, 并考虑了 $b \rightarrow s\gamma$ 测量结果对 2HDM 中参数的限制. 为了本文的自容性, 在第二节对 2HDM 做了一个简介. 第三节给出了一些与截面和微分截面计算有关的表达式. 第四节和第五节分别就 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ 和 $t\bar{t}Z^0$ 的数值结果给出了一些初步的分析. 最后一节给出了结论和一些简要的讨论.

2 2HDM 简单介绍

(i) 关于 2HDM 的详细介绍可以在 Gunion 等人的工作中找到^[2]. 对应于夸克、轻子从两个 Higgs 二重态取得质量的不同方式, 2HDM 有两种不同的模型, 分别称为模型 I 和模型 II. 在该理论中最关键的参数为

$$\tan\beta = \frac{v_2}{v_1}, \quad (1)$$

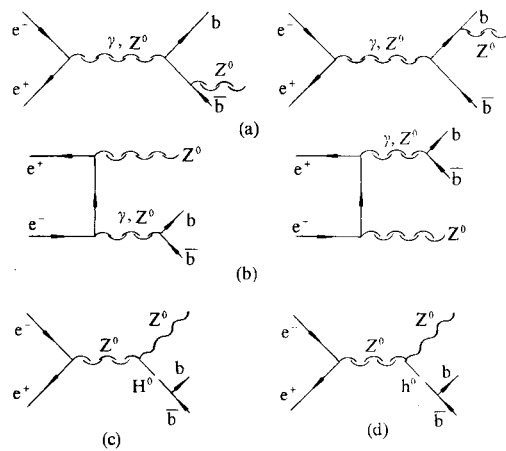


图 1 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ 过程的费曼图

其中的(c)和(d)与 H^0 与 h^0 有关.

其中 v_1, v_2 分别是两个 Higgs 二重态的真空期待值.

在模型 I 中, 拉格朗日函数(Lagrangian)可以写成:

$$\begin{aligned} L_{\text{Hff}} = & -\frac{g}{2M_W \sin\beta} \bar{D}M_D D(H^0 \sin\alpha + h^0 \cos\alpha) - \frac{ig \cot\beta}{2M_W} \bar{D}M_D \gamma_5 D A^0 \\ & - \frac{g}{2M_W \sin\beta} \bar{U}M_U U(H^0 \sin\alpha + h^0 \cos\alpha) + \frac{ig \cot\beta}{2M_W} \bar{U}M_U \gamma_5 U A^0 \\ & + \frac{g \cos\beta}{2\sqrt{2} M_W} (H^+ \bar{U}[M_U K(1-\gamma_5) - KM_D(1+\gamma_5)]D + \text{h.c.}). \end{aligned} \quad (2)$$

在模型 II 中,

$$\begin{aligned} L_{\text{Hff}} = & -\frac{g}{2M_W \cos\beta} \bar{D}M_D D(H^0 \cos\alpha - h^0 \sin\alpha) + \frac{ig \tan\beta}{2M_W} \bar{D}M_D \gamma_5 D A^0 \\ & - \frac{g}{2M_W \sin\beta} \bar{U}M_U U(H^0 \sin\alpha + h^0 \cos\alpha) + \frac{ig \cot\beta}{2M_W} \bar{U}M_U \gamma_5 U A^0 \\ & + \frac{g}{2\sqrt{2} M_W} (H + \bar{U} \cot\beta [M_U K(1-\gamma_5) + \tan\beta KM_D(1+\gamma_5)]D + \text{h.c.}). \end{aligned} \quad (3)$$

其中 K 是 Cabibbo-Kabayashi-Maskawa 矩阵, M_U 和 M_D 分别是 u 型和 d 型夸克的质量矩阵, α 是 H^0 和 h^0 的混合角度, 即

$$H^0 = \sqrt{2} [(\text{Re}\varphi_1^0 - v_1)\cos\alpha + (\text{Re}\varphi_2^0 - v_2)\sin\alpha], \quad (4)$$

$$h^0 = \sqrt{2} [-(\text{Re}\varphi_1^0 - v_1)\sin\alpha + (\text{Re}\varphi_2^0 - v_2)\cos\alpha]. \quad (5)$$

(ii) $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ 及 $t\bar{t}Z^0$ 的总截面和微分截面.

在 MSM 框架内, 最低级的费曼图^[3]共有九个(图 1(a), (b) 和 (c)), 然而对 2HDM, 由于 h^0 的存在, 增加了一个图(图 1(d)). 这十个图的贡献加起来求总截面的计算很繁但很直接.

主要感兴趣的是与 Higgs 粒子有关的信号贡献. 写成 Breit-Wigner 形式的 H^0 和 h^0 的传播子为:

$$\Delta(p^2) = \frac{i}{p^2 - M_H^2 + iT_H M_H}, \quad (6)$$

其中 Γ_H 和 M_H 是 H^0 或 h^0 的宽度和质量. 在树图水平,

$$\begin{aligned} T_\varphi = & \frac{G_F}{4\sqrt{2} \pi} \left\{ M_\varphi [3A(\beta_c^3 m_c^2 + \beta_t^3 M_t^2 \theta(M_\varphi - 2M_t)) + B(3\beta_b^3 m_b^2 + \beta_\tau^3 m_\tau^2)] \right. \\ & + 2 \frac{M_W^4}{M_\varphi} \beta_W \left(3 - \frac{M_\varphi^2}{M_W^2} + \frac{M_\varphi^4}{4M_W^4} \right) C \cdot \theta(M_\varphi - 2M_W) \\ & \left. + \frac{M_W^4}{M_\varphi} \beta_Z \left(3 - \frac{M_\varphi^2}{M_Z^2} + \frac{M_\varphi^4}{4M_Z^4} \right) D \cdot \theta(M_\varphi - 2M_Z) \right\}, \end{aligned} \quad (7)$$

其中 θ 为阶跃函数, 而

$$\beta_f^2 = 1 - \frac{4M_f^2}{M_\varphi^2}, \quad (8)$$

$$\beta_{W(Z)}^2 = 1 - \frac{4M_{W(Z)}^2}{M_\phi^2}, \quad (9)$$

ϕ 可以是 H^0 或 h^0 . 在模型 I 中, 对 H^0 有 $A = \left(\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}\right)^2$, $B = \left(\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}\right)^2$, $C = \cos^2(\beta - \alpha)$, $D = \frac{1}{\cos^4\theta_w} \cos(\beta - \alpha)$, 而对 h^0 有 $A = \left(\frac{\cos\alpha}{\sin\beta}\right)^2$, $B = \left(\frac{\cos\alpha}{\sin\beta}\right)^2$, $C = \sin^2(\beta - \alpha)$, $D = \frac{1}{\cos^4\theta_w} \sin^2(\beta - \alpha)$. 在模型 II 中, C 和 D 是和模型 I 一样的, 但对 H^0 有 $A = \left(\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}\right)^2$, $B = \left(\frac{\cos\alpha}{\cos\beta}\right)^2$, 对 h^0 有 $A = \left(\frac{\cos\alpha}{\sin\beta}\right)^2$, $B = \left(\frac{\sin\alpha}{\cos\beta}\right)^2$.

对观测结果进行分析时用到的另一重要的量是以 $b\bar{b}$ 系统的不变质量 $s_2 = (p_b + p_{\bar{b}})^2$ 为变量的微分截面 $d\sigma/ds_2$. 它之所以重要, 其原因很简单. 在三体末态过程中, 相空间体积元积分可能淹没掉许多关于 Higgs 粒子信号的信息. 如果 b 和 \bar{b} 来源于 $b\bar{b}H^0$ 或 $b\bar{b}h^0$ 顶点, 当 $b\bar{b}$ 系统不变质量等于 M_{H^0} 或 M_{h^0} 时, 微分截面谱上会出现一个峰. (对 $t\bar{t}$ 情形, 希望有类似情况, 但事实上却没有如此乐观, 请见下文讨论.) 正如 Boos 等人指出的[3], 此时 Higgs 粒子信号对背景之比会变得很大, 成为这个过程的一个重要的特征.

为了后面讨论方便, 在这里只给出与 H^0 和 h^0 有关的 $\frac{d\sigma}{ds_2}$ 的具体表达式,

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma}{ds_2} = & \frac{3}{128\pi^3 s^2} \left(\frac{g^3 M_b}{8C_w^3} \right)^2 (1 + (1 - 4S_w^2)^2) \frac{1}{s_2} \lambda^{1/2}(s_2, M_b^2, M_b^2) \lambda^{1/2}(s, M_Z^2, s_2) \\ & \cdot \left\{ s + \frac{1}{4M_Z^2} \left[(s + M_Z^2 - s_2)^2 - \frac{1}{3} \lambda(s, M_Z^2, s_2) \right] \right\} \cdot \left(\frac{s_2}{2} - 2M_b^2 \right) \\ & \cdot \frac{1}{(s - M_Z^2)^2 + \Gamma_Z^2 M_Z^2} \cdot \left[\frac{1}{(s_2 - M_{H^0}^2) + i\Gamma_{H^0} M_{H^0}} \cos(\beta - \alpha) c_1 \right. \\ & \left. + \frac{1}{(s_2 - M_{h^0}^2) + i\Gamma_{h^0} M_{h^0}} \sin(\beta - \alpha) c_2 \right]^2, \end{aligned} \quad (10)$$

其中

$$\lambda(a, b, c) \equiv a^2 + b^2 + c^2 - 2ab - 2bc - 2ca,$$

$S_w \equiv \sin\theta_w$, $C_w \equiv \cos\theta_w$, θ_w 是 Weinberg 角. 对模型 I, $c_1 = \sin\alpha / \sin\beta$, $c_2 = \cos\alpha / \sin\beta$; 对模型 II, $c_1 = -\cos\alpha / \cos\beta$, $c_2 = \sin\alpha / \cos\beta$. $s = (p + p')^2$, p 和 p' 分别是电子和正电子的动量. 为讨论 $t\bar{t}Z^0$ 情况, 仅须将对 b 的量换成对 t 的相应的量即可, 就不再给出表达式了.

包括全部十个费曼图的总截面和微分截面, 必须用计算机进行数值运算, 其结果将在下面几节中给出.

3 对 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ 截面的分析

如上所述, 如果 MSM 是正确的理论, 那么对 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ 的精确测量可以确定

Higgs 粒子质量或给出它的下限, 然而如果有两个 Higgs 二重态存在, 整个情况就变得比较复杂了.

首先, 由于 M_{H^0} , M_{h^0} , α 和 β 均为未知, 所以即使在树图水平上也不可能精确预言总截面及微分截面. 因而在计算中对这些参数取了某些特殊值以阐明物理图象. 由于 LEP II 实验数据及 $b \rightarrow s\gamma$ 衰变测量值对参数的约束, 很轻的 h^0 及较小的 $\tan\beta$ 值已被排除了.

其次, 如果第二个 Higgs 粒子 h^0 的存在, 总截面和微分截面数值将不同于 MSM 预言值. 但我们的结果表明总截面的变化不太明显, 较难在测量中区分, 而真正物理上有兴趣的观察量是微分截面 $d\sigma/ds_2$. 在 $d\sigma/ds_2$ 对 s_2 的曲线图上, 只要 $M_{H^0(h^0)}$ 小于 $\sqrt{s} - M_Z$, 就会有尖峰突起. 可能有两个尖峰, 它们分别对应 H^0 和 h^0 ; 或者只有一个尖峰, 它对应于 H^0 或 h^0 . 如果没有尖峰, 则意味着 H^0 和 h^0 都重于 $\sqrt{s} - M_Z$ 而越出了观察范围.

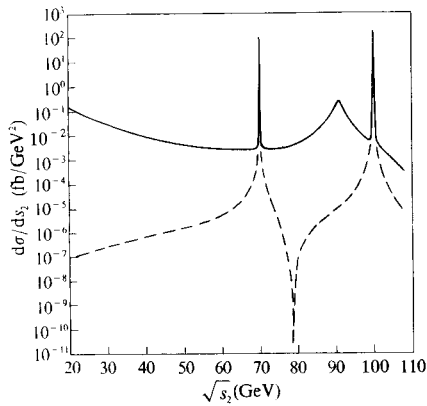


图2 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ 过程的微分截面 $\frac{d\sigma}{ds_2}$ 随 $\sqrt{s_2}$ 变化的曲线
以模型 II 为例, 取 $\alpha = \pi/4$, $\tan\beta = 0.25$, $M_{H^0} = 100\text{GeV}$, $M_{h^0} = 70\text{GeV}$. 虚线为 Higgs 粒子信号图的贡献, 实线为十个图的总贡献.

从图上看, 图 2 相应于 $M_{H^0} = 100\text{GeV}$, $M_{h^0} = 70\text{GeV}$ 及 $\beta = 0.50$, (模型 II). 这时可以清楚地看到两个尖峰, 分别在 $\sqrt{s_2} = 70\text{GeV}$ 和 100GeV 位置上, 它们明显高于背景, 而且都很窄. 上面的曲线对应所有十个图的贡献, 下面一条曲线对应 H^0 和 h^0 信号的贡献 (图 1(c) 和 (d)), 峰的宽度及高度决定于参数, 同时在 $\sqrt{s_2} = M_Z$ 处还可以看到一个很宽的峰, 它来自于 Z^0 的贡献. 对模型 I, 有类似结果.

如果只有一个尖峰, 那么人们感兴趣的是它是否对应 MSM 的 Higgs 粒子. 例如在 2HDM 中, 一般认为 h^0 轻于 H^0 , 因而那时这个峰只可能对应于 h^0 , 而不可能是与 MSM 的 Higgs 粒子相应的 H^0 .

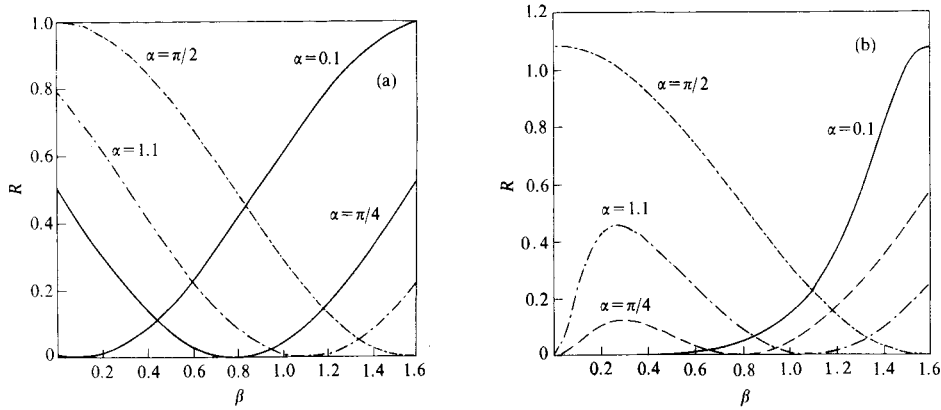
我们发现, 在只有一个尖峰的情况下, MSM 和 2HDM 关于这个峰的宽度和高度的预言值有很大不同. 为了能够清楚地区分 MSM 和 2HDM 这两种模型, 可以定义一个比值 R :

$$R = \frac{\Delta N^{2\text{HDM}}|_{h^0}}{\Delta N^{\text{MSM}}|_{H^0}}, \quad (11)$$

其中 $\Delta N = \frac{d\sigma}{ds_2} \Gamma$, 它近似地代表尖峰的面积. 考虑到测量 b 和 \bar{b} 的实验精度是有限的, 因此 ΔN 粗略地等于在峰附近由宽度所限定的小范围内测得的事例数. 由公式 (10) 和 (11), 近似可得

$$R \sim \sin^2(\beta - \alpha) \quad (\text{模型 I}); \quad (12)$$

$$R \sim \sin^2(\beta - \alpha) \frac{1}{0.08 \cot^2 \alpha \cot^2 \beta + 0.92} \quad (\text{模型 II}). \quad (13)$$


 图 3 R 随 α 和 β 的变化关系.

(a) 为模型 I, (b) 为模型 II.

比值 R 随 β 及 α 的变化关系如图 3 所示. 对模型 I, 在合理的 β 范围内(例如, 由 $b \rightarrow s\gamma$ 数据所限制的 $\beta > 0.21^{[4-6]}$), 得到 $R < 1$, 即 2HDM 决定的峰内所包围的面积永远小于 MSM 的预言值. 而对模型 II, R 有可能大于 1. 但在较合理的范围 $0.21 < \beta < \pi/2$, 以及 α 不太大时(即两个 Higgs 粒子没有很大的混合), R 仍保持小于 1. 所以 R 在某种程度上可以用来标志这两种模型的区别. 这就是说, 如果用测量得到的事例数估算出的 R 比 1 小很多, 可以判断微分截面上的单峰应该对应于 2HDM 中的 h^0 .

4 对 $e^+e^- \rightarrow t\bar{t}Z^0$ 的分析

由于 $t\bar{t}H^0$ 的耦合正比于 M_t/M_w , 而 M_t 比 M_w 大一倍以上, 似乎可以想象 $e^+e^- \rightarrow t\bar{t}Z^0$ 可能对寻找 Higgs 粒子更为有利. 然而发现实际情况恰恰相反. 这一点也不难理解, 因为从 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ 的计算结果可以看到, 只有在质量壳上的 Higgs 粒子才能给出较大的贡献, 如果能量太低或 Higgs 粒子很重, 与 Higgs 粒子有关的费曼图均无较大贡献, 信号完全淹没在背景中. 这就是说对 $e^+e^- \rightarrow t\bar{t}Z^0$ 过程, 只有当 $M_H > 2M_t$ 时信号图才能有比较大的贡献. 但是这个贡献的大小还正比于 $1/\Gamma_H$. 当 Higgs 粒子的质量达到 $2M_t$ 时, 开放的道很多, 如 $H^0 \rightarrow W+W^-, Z^0Z^0$ 及 $t\bar{t}$ 等, 这使 Γ_H 很大, 比 $M_H < 2M_w$ 时大 3 个数量级, 因而 $1/\Gamma_H$ 会带来很大的压低. 它抵消甚至远远压倒了由耦合常数的增加所带来的截面的上升.

在 MSM 及 2HDM 模型下, 认真计算了 $e^+e^- \rightarrow t\bar{t}Z^0$ 的总截面及微分截面, 其数值结果如图 4 及图 5 所示. 选用了 $\sqrt{s} = 500\text{GeV}$ 及 1000GeV 的 NLC 能量, 在计算中取 $M_h = 80\text{GeV}$, $M_H = 380\text{GeV}$, 可以看到在下面的由 Higgs 粒子贡献的信号曲线上, $\sqrt{s_2} = 380\text{GeV}$ 处有一个峰, 但它很低也较宽, 最高的地方还不足背景贡献的三分之一. 实际上和 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ 一样, 干涉项仍然不重要. 即使把所有贡献都考虑进去, 最终谱的形状仍不会改变多少, 峰的结构在可能的实验精度下是不可能看到的.

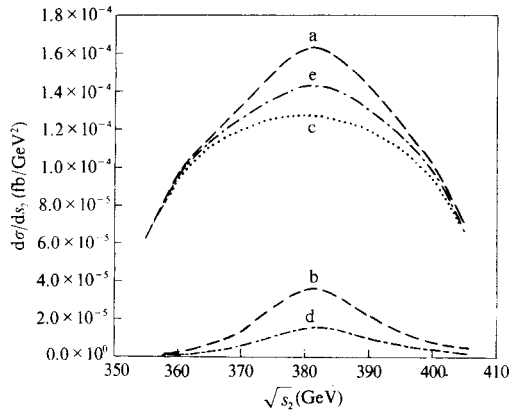


图4 $e^+e^- \rightarrow t\bar{t}Z^0$ 过程的微分截面 $\frac{d\sigma}{ds_2}$ 随 $\sqrt{s_2}$ 变化的曲线

以模型 II 为例, 取 $\alpha = \pi/4$, $\tan\beta = 0.5$, $M_{t^0} = 380\text{GeV}$, $M_{h^0} = 80\text{GeV}$. 图中的曲线 a 为十个图的总贡献, 它是 Higgs 粒子信号图的贡献 b 与背景图贡献 c 之总和. 作为对比, 在同一图上还画出了最小标准模型中的 Higgs 粒子信号图的贡献 d 和总的贡献 e.

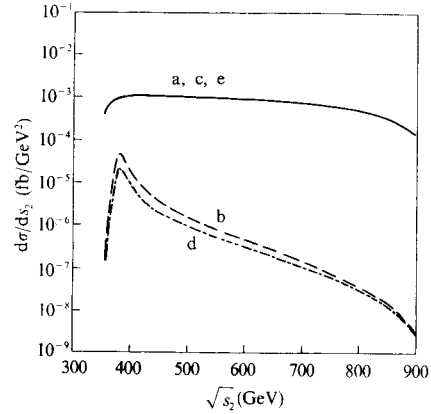


图5

与图4中曲线的意义完全相同, 只是质心能量更高. 信号的贡献已经完全不可分辨了.

在 2HDM 模型中取不同的 β 及 α 值计算总截面, 结果列于表 1 中.

表1 几组典型的参数选取下 $e^+e^- \rightarrow t\bar{t}Z^0$ 总截面和信号图的截面

| 能量 (GeV) | M_{h^0} | M_{H^0} | α | $\tan\beta$ | 信号图截面 $\sigma(\text{fb})$ | 总截面 $\sigma(\text{fb})$ |
|----------|-----------|-----------|----------|-------------|---------------------------|-------------------------|
| 500 | 80 | 200 | $\pi/4$ | 1 | 3.12×10^{-3} | 4.48×10^0 |
| 500 | 80 | 380 | $\pi/4$ | 1 | 2.73×10^{-1} | 4.66×10^0 |
| 500 | 80 | 380 | $\pi/4$ | 0.5 | 6.15×10^{-1} | 4.92×10^0 |
| 500 | 80 | 380 | $\pi/4$ | 10 | 1.54×10^{-1} | 4.56×10^0 |

其中 M_{h^0} 是 h^0 的质量, M_{H^0} 是 H^0 的质量(假定 h^0 比 H^0 轻).

可以看到当 $M_H < 2M_t$ 时, Higgs 粒子的贡献比背景小 3 个量级. 而当 $M_H > 2M_t$ 时, Higgs 粒子所贡献的信号仍然小于背景 1 个量级. 作为比较我们注意到, 在 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ 反应中, 信号和背景的贡献是同量级的. 因而在 LEP II 及 NLC 上观测 $t\bar{t}Z^0$ 末态的可能性是极小的.

5 结论与讨论

在 MSM 及 2HDM 理论框架下, 在树图水平上计算了 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ 及 $t\bar{t}Z^0$ 的产生总截面和微分截面, 探讨了 Higgs 粒子的可能观测效应.

寻找 Higgs 粒子的实验已进行了很久^[7], 但迄今为止它的存在还没有被直接观测到, 尽管在低能过程中有不少间接证据. 当前人们的注意力更多地转向了能量更高、背

景又相对简单的 e^+e^- 对撞机 LEP II 及 NLC. 由于 $e^+e^- \rightarrow Z^0H^0$ 是最有利于观测 Higgs 粒子的 Golden-Plate 反应, 当然引起人们的广泛的注意. Boos^[3] 等人研究了 MSM 框架下 $e^+e^- \rightarrow Z^0H^0 \rightarrow b\bar{b}Z^0$ 的过程, 在 2HDM 理论框架下继续对这个过程进行了研究. 探讨了双 Higgs 二重态存在的情况下, 在 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ 过程中出现的新的观测效应. 研究了 $t\bar{t}Z^0$ 末态的观测前景, 为精确检验标准模型及扩展标准模型提供了新的可能性.

我们的结论肯定了 Boos 等人的结果, 即在 2HDM 中信号与背景的干涉仍然很小. 特别着重地分析了微分截面 $d\sigma/ds_2$ 的数值结果, 讨论了有两个峰或单个峰的情况, 提出了可以用 R 值在一定程度上区分 2HDM 及 MSM 给出不同的结果. 在可接受的 β 及 α 范围内, 我们预言 $R < 1$. 关于 $t\bar{t}Z^0$ 末态的过程, 发现虽然 $H^0t\bar{t}$ 的耦合强度很大, 但由于对这个过程有较大贡献的 Higgs 粒子的质量至少大于 $2M_t$, 这使得它的宽度急剧增加, 信号完全淹没在本底中, 因而变得不可观测.

我们也注意到在 $e^+e^- \rightarrow H^0Z^0$ 和 $H^0 \rightarrow b\bar{b}$ 中电弱和 QCD 幅射修正可能会起重要作用, 因而不能忽略. Boos 和我们目前的工作都是在树图水平上的, 当考虑了圈图修正后可能有较大的变化, 这是我们下一个工作的内容^[8].

感谢马文淦教授的帮助和讨论.

参 考 文 献

- [1] CDF Collaboration, *Phys. Rev. Lett.*, **74**(1995)2626; D0 Collaboration, *Phys. Rev. Lett.*, **74**(1995)2632.
- [2] J. Gunion, H. Haber, G. Kane *et al.*, *The Higgs Hunter's Guide*, Addison-Wesley Pub. Co. (1990) New York.
- [3] E. Boos, M. Dubinin, *Phys. Lett.*, **B308**(1993)147.
- [4] A. Stange, W. Brock, *Phys. Rev.*, **D48**(1993)2054; C. Geng, P. Turcotte, W. Hou, *Phys. Lett.*, **B339**(1994)317.
- [5] V. Barger, J. Hewett, R. Phillips, *Phys. Rev.*, **D41**(1990)3421; J. Hewett, SLAC. PUB., 6521(1994).
- [6] A. Grant, EFI-94-24.
- [7] A. Sopenzak, CERN-PPE/94-73 and references in the paper.
- [8] C.-H. Chang, X.-Q. Li, J.-X. Wang *et al.*, *Phys. Lett.*, **B313**(1993)389.

On the Observation Effects of Higgs Particle in $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ and $t\bar{t}Z^0$ at LEP II and NLC

Ding Yibing¹ Li Xueqian² Wang Jianxiong³ Zhang Zhaoxi⁴ Xie Yuehong²

¹ (Department of Physics, Graduate School, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

² (Department of Physics, Nankai University, Tianjin 300071)

³ (Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

⁴ (Institute of Theoretical Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Received 29 February 1996

Abstract

According to the Minimal Standard Model and the Extended Standard Model with two Higgs doublets, we calculated the total cross sections and differential cross sections for the $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ and $t\bar{t}Z^0$ at the LEP II and NLC energies in order to study the possible observational effects of the Higgs particle. We found that the observation for the $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}Z^0$ can give the information on the Higgs particle as long as the mass of the Higgs particle $M_H \leq 140\text{GeV}$. However, for the $e^+e^- \rightarrow t\bar{t}Z^0$ the effect from Higgs particle will be completely suppressed by the electroweak background and cannot be observed, no matter whether the Higgs particle is heavy or light.

Key words minimal standard model, extended standard model, two Higgs doublet mass of the Higgs particle, electroweak process, total cross section and differential cross section.