ITEP-66-95

Институт теоретической и
экспериментальной физики

ITEP-66-95

П.А.Коваленко, С.А.Мальцев

МАССА БОЗОНА ХИГГСА ИЗ ДАННЫХ LEP

Fermilab Library
0 1160 0040654 0

FERMILAB
AUG 20 1996
LIBRARY

Москва 1995

УДК 530.I М-I6
МАССА БОЗОНА ХИГГСА ИЗ ДАННЫХ LEP: Препринт ИТЭФ 66-95/
П.А.Коваленко, С.А.Мальцев - М., 1995 - I2с.

Осуществлена попытка получить ограничение на массу бозона Хиггса в стандартной модели исходя из радиационных поправок к распаду Z-бозона и экспериментальных данных о парциальных ширинах этого распада. Рассматривается также ограничение на массу TOP-кварка и сравнивается с данными, полученными на экспериментах CDF и D0.

Рис.- 6, список лит.- I6.

© Институт теоретической и экспериментальной физики, 1995

В настоящее время исследование свойств Z-бозона представляет большой интерес для теоретиков и для экспериментаторов, т.к. дает широкие возможности для проверки стандартной электрослабой теории. Сотни работ посвящены вычислению радиационных поправок на основе стандартной модели. Эти рад.поправки имеют большое значение при изучении распадов Z-бозона и позволяют измерить параметры теории такие как масса t-кварка m_t , масса бозона Хиггса m_H и другие.

Ниже рассмотрены радиационные поправки к 12 величинам , измеренным с большой точностью четырьмя коллаборациями на LEP.Это следующие величины (с их экспериментальными значениями) :

a) парциальные ширины распада Z-бозона:

в адроны Γ_h=1.746 ГэВ $\pm$ 0.004,

в лептоны Γ_l=0.08398 ГэВ $\pm$ 0.00018,

в пару $b\bar{b}$ Γ_b=0.3859 ГэВ $\pm$ 0.0038;

b) полная ширина распада Z-бозона

Γ_z=2.4974 ГэВ $\pm$ 0.0038;

c) отношение масс W и Z бозонов

m_W/m_Z=0.8798 $\pm$ 0.0028;

d) отношение векторной и аксиальной констант связи Z-бозона с фермионами

g_V/g_A=0.0711 $\pm$0.002;

e) относительная разница сечений в пике Z лево- и правополяризованных электронов, сталкивающихся с неполяризованным позитронным пучком

$A_{LR} = \frac{\sigma_L - \sigma_R}{\sigma_L + \sigma_R} = 0.1637 \pm 0.0079$;

f) отношения

$R_l = \Gamma_h/\Gamma_l = 20.79 \pm 0.04$,

$R_b = \Gamma_b/\Gamma_h = 0.2202 \pm 0.0020$;

g) асимметрия вперед-назад в канале $b\bar{b}$ $A_{FB}^{b\bar{b}} = 0.0967 \pm 0.0038$,

в канале $c\bar{c}$ $A_{FB}^{c\bar{c}} = 0.076 \pm 0.009$,

в лептонном канале $l\bar{l}$ $A_{FB}^{l\bar{l}} = 0.0170 \pm 0.0016$.

Теоретический расчет этих наблюдаемых был проведен на основе электрослабой теории Глешоу-Вайнберга-Салама с учетом сильного взаимодействия в многочисленных работах [7]-[12]. Группа сотрудников ИТЭФ (Высотский М.И.,Окунь Л.Б.,Новиков В.А.) проделали большую работу, собрав и систематизировав все необходимые результаты по этому вопросу [2]-[6].

Для рассматриваемых нами наблюдаемых известны древесные значения (т.е. значения, полученные без учета радиационных поправок). Они имеют следующий вид[2],[7],[8]:

$m_W/m_Z = \cos\theta_W$;

$\Gamma_h = \Gamma_u + \Gamma_d + \Gamma_c + \Gamma_s + \Gamma_b$;

$\Gamma_z = \Gamma_h + 3\Gamma_l + 3\Gamma_\nu$;

$\Gamma_l = \Gamma_0(1 + (1 - 4s^2)^2)$;

$g_V/g_A = 1 - 4s^2$;

Здесь $s = \sin\theta_W = g'^2/\sqrt{g^2 + g'^2}$ - синус угла Вайнберга; g и g' - константы взаимодействия нейтральных калибровочных полей с гиперзарядом Y и проекцией изоспина T_3: $-ig'\frac{Y}{2}B_\mu - igT_aA^a_\mu$

$\Gamma_d = 3\Gamma_0(1 + (1 - \frac{4}{3}s^2)^2)$;

$\Gamma_u = 3\Gamma_0(1 + (1 - \frac{8}{3}s^2)^2)$;

$\Gamma_b = \Gamma_d - 0.05\mu^2\Gamma_0$; $\mu^2 \approx \frac{1}{4}$;

$\Gamma_\nu = 2\Gamma_0$;

$\Gamma_0 = \frac{\sqrt{2}G_F m_Z^2}{48\pi}$;

При вычислении радиационных поправок массы t-кварка m_t и бозона Хиггса m_H вводились как неизвестные параметры [2]. Таким образом рад.поправки имеют вид функций двух переменных m_H и m_t и представляются несколькими членами ряда по степеням констант электромагнитного $\alpha(m_Z^2) = 1/128.87$ и КХД-взаимодействий $\alpha_s(m_Z^2) \approx 0.125$, коэффициенты которого зависят от массы m_Z Z-бозона, измеренной на LEP с большой точностью $m_Z = 91.1888$ ГэВ, и от неизвестных масс m_t,m_H.

Например,

$$m_W/m_Z = c + \alpha f_1(m_H, m_t, m_Z) + \alpha\alpha_s f_2(m_H, m_t, m_Z) + \alpha\alpha_s^2 f_3(m_H, m_t, m_Z) + \alpha^2 f_4(m_H, m_t, m_Z); \quad (1)$$

Функции $f_i(m_H, m_t)$ вычисляются теоретически [2].Для значений m_t=175 ГэВ и m_H=300 ГэВ, при $\alpha_s = 0.125$ и $m_Z = 91.187$ ГэВ формула дает $m_W = 80.31$ ГэВ, что совпадает с экспериментальным значением в пределах одной ошибки. С помощью рядов этого вида неоднократно делались предсказания для возможных значений масс t-кварка и скаляра Хиггса. Для этого, используя выражения типа (1) для ряда величин, измеренных на LEP, строились в координатах (m_H, m_t) изолинии, отвечающие их экспериментальным значениям.

Изолинии такого типа приведены на рис.1. Если бы экспериментальные данные были абсолютно точны, то мы могли бы ожидать, что все графики пересекутся в одной и той же точке, которая соответствует истинным массам m_t и m_H. К сожалению, при имеющейся точности данных такой точки найти нельзя и поэтому невозможно дать однозначный ответ на вопрос каковы эти массы .

Однако для заданных значений m_t и m_H можно вычислить величину среднеквадратичных отклонений значений всех измеренных на LEP величин V_i:

$$\chi^2(m_H, m_t) = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{V_i(m_H, m_t) - V_i^{exp}}{\sigma_i} \right)^2$$

и построить изолинии хода χ^2 в плоскости m_H, m_t Здесь $V_i(m_H, m_t)$ -одна из 12 величин $(\Gamma_h, \Gamma_l, \Gamma_b, \Gamma_z, m_W/m_Z, g_V/g_A, \ldots)$ зависящая (по теоретическим формулам [1],[2]) от m_H, m_t как от неизвестных параметров. V_i^{exp} - ее экспериментальное значение, σ_i - экспериментальная ошибка ее измерения на LEP. На рис.2 представлены изолинии χ^2 , построенные для 12 наблюдаемых на LEP величин,указанных ранее.

Вычисленные значения m_H и m_t , минимизирующие χ^2 оказались равными (см. рис. 2)

$m_H = 60^{+140}_{-40}$ ГэВ.

$m_t = 156 \pm 15$ ГэВ.

В настоящее время появились данные CDF и $D0$ [13],[14] прямых измерений m_t:

$m_t = 176 \pm 10$ ГэВ ($D0$ дает большее значение $m_t = 199 \pm 30$ ГэВ. Это дает возможность построить χ^2 как величину, зависящую только от m_H при фиксации $m_t = 176$ ГэВ.

Ее график приведен на рис.6; минимум χ^2 достигается в точке $m_H = 260$ ГэВ (при $m_t = 176$ ГэВ). На этом же графике рис 6 представлен ход χ^2 при фиксации $m_t = 140, 156, 190$ ГэВ. Линия, получившаяся при фиксации $m_t = 156$ ГэВ соответствует тому значению m_t, при котором в плоскости (m_H, m_t) достигается минимум.

Особенно интересно рассмотреть поведение изолинии соответствующей Γ_b. Эта величина на эксперименте измерена наименее точно; тем не менее, ее влияние на положение минимума χ^2 и на общий характер изолиний χ^2 весьма значительно. На рисунке 3 приведены изолинии χ^2 , построенные для 6 величин : $g_V/g_A, \Gamma_l, m_W/m_Z, \Gamma_h, \Gamma_z, \Gamma_b$; На рисунке 4 - для тех же ве-

личин, но без Γ_b. Видно, что характер линий существенно меняется. Поэтому мы провели вариацию неточно измеренного значения Γ_b и исследовали поведение χ^2. На рис.5 построены изолинии χ^2 для тех же 6-ти величин, но Γ_b имеет значение такое, при котором минимум χ^2 наиболее глубокий. При этом

$\Gamma_{b,min} = 0.376$ ГэВ;
$m_H = 860$ ГэВ;
$m_t = 186$ ГэВ;
$min(\chi^2) = 0.252073$.

Это значение Γ_b можно рассматривать как предсказание для соответствующей величины при улучшении экспериментальной точности, однако величина ошибки, с которой оно определено весьма велика и близка к разности между экспериментальным и указанным значением, т.е. $\delta\Gamma_b \approx \pm 0.010$.

* * *

Численный расчет радиационных поправок с использованием экспериментальных результатов дал, в общем, правильное значение массы t-кварка, которое в пределах двух ошибок совпадает с независимыми экспериментами. Получить же сколько-нибудь приемлемое значение массы бозона Хиггса не удалось, поскольку эта величина, как видно из рис.2,3,4,5 имеет большую экспериментальную неопределенность. Для установления массы бозона Хиггса необходимо значительное улучшение экспериментальной точности Γ_b, радикальным образом меняющей поведение χ^2.

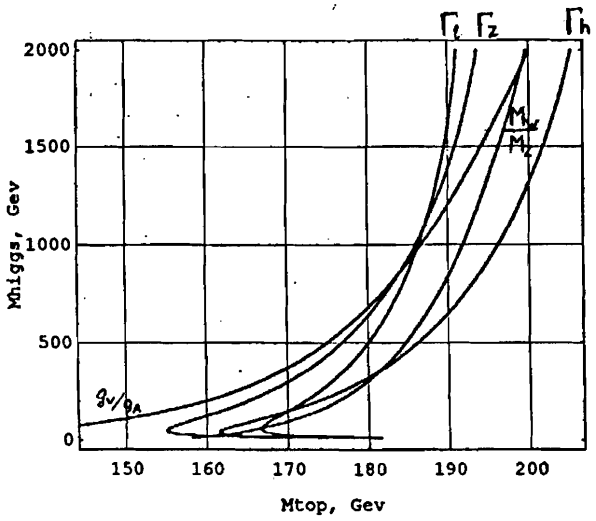

Figure 1a.
Gl, Gz, Mw/Mz, gv/ga, Gh.
alfas=0.125.

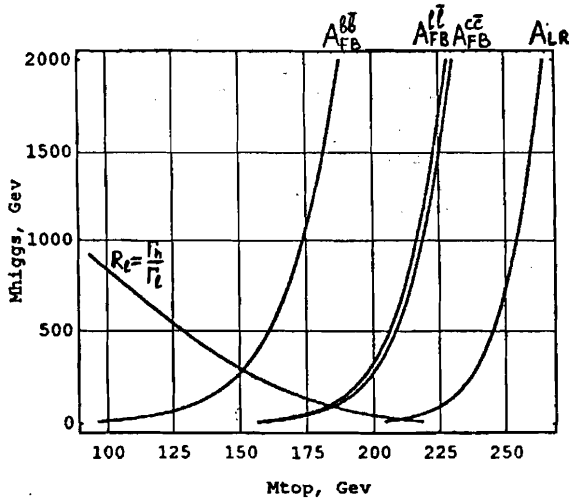

Figure 1b.
Rl=Gh/Gl, Afbbb, Afbcc, Afbll.
alfas=0.125.

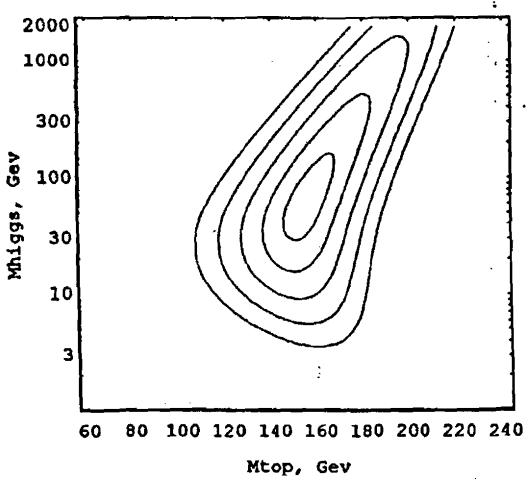

Fig. 2.
Min: Mhiggs=60 Gev; Mtop=156 Gev;
Alfas=0.125; Gb=385.9;
Min=18.574279;
12 variables;

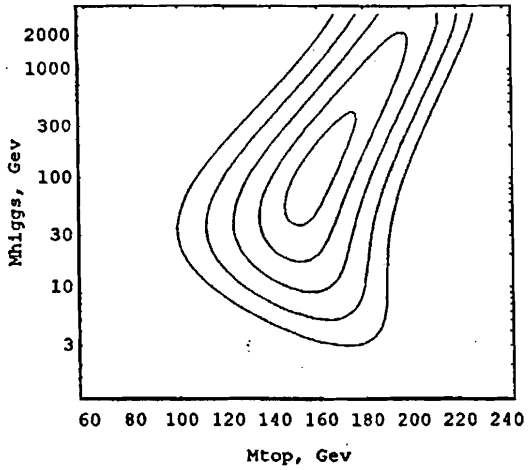

Fig. 3.
Min: Mhiggs=100 Gev; Mtop=159 Gev;
Alfas=0.125; Gb=385.9;
Min=6.768208;
6 variables (gv/ga,Gl,Mw/Mz,Gh,Gz,Gb);

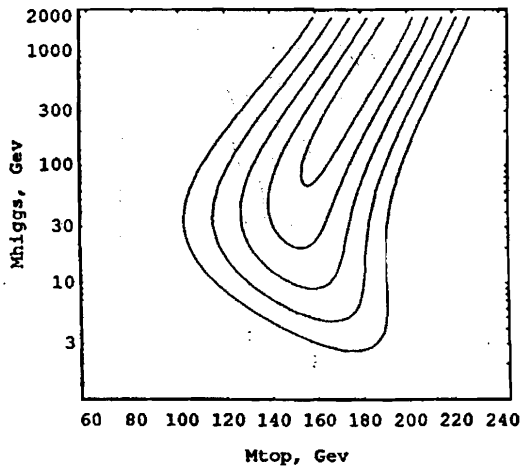

Fig. 4.
Min: Mhiggs=860 Gev; Mtop=186 Gev;
Alfas=0.125; Gb=385.9;
Min=0.251474;
5 variables (gv/ga,Gl,Mw/Mz,Gh,Gz);

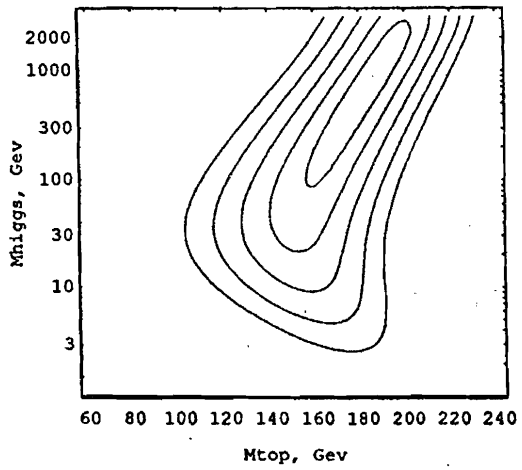

Fig. 5.
Min: Mhiggs=860 Gev; Mtop=186 Gev;
Alfas=0.125; Gb=376;
Min=0.252073;
6 variables (gv/ga,Gl,Mw/Mz,Gh,Gz,Gb);

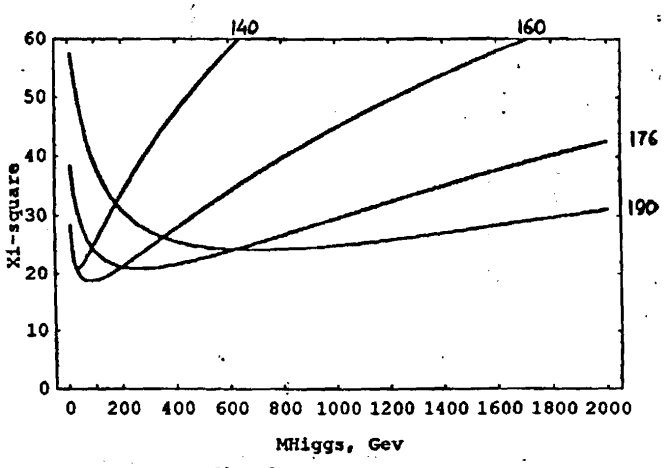

Fig.6.

Mtop	= 140,	160,	176,	190.
Mhiggs	= 40,	80,	260,	690.
Min	= 21.098,	18.756,	20,995	24.256.

Список литературы

[1] LEPTOP. V.Novikov, L.Okun, A.Rozanov, and M.Vysotsky, preprint CPPM/95-1, ITEP/95-19.

[2] Высоцкий М.И. Диссертация на соискание ученой степени доктора физ-мат. наук. ИТЭФ 1993.

[3] V.A.Novikov, L.B.Okun, M.I.Vysotsky, CERN-TH 6538/92, ITEP-67/92.

[4] N.A.Nekrasov, V.A.Novikov, L.B.Okun, M.I.Vysotsky, CERN-TH 6696/92.

[5] V.A.Novikov, L.B.Okun, M.I.Vysotsky, CERN-TH 6855/93.

[6] V.A.Novikov, L.B.Okun, M.I.Vysotsky // Physics Letters B 320. 1994. c.388-394.

[7] Волошин М.Б., Тер-Мартиросян К.А., Теория калибровочных взаимодействий элементарных частиц. М.: Энергоатомиздат, 1984, 296 с.

[8] Окунь Л.Б., Лептоны и кварки. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1990. 346 с.

[9] V.A.Novikov, L.B.Okun, M.I.Vysotsky, CERN-TH 7153/94.

[10] V.A.Novikov, L.B.Okun, M.I.Vysotsky // Physics Letters B 324. 1994. c.89-97.

[11] R.Barbieri, M.Beccaria, P.Ciafaloni, G.Curci and A.Vicere // Physics Letters B 288. 1992. c.95.

[12] CERN Yellow report 95-03,1995.

[13] Particles and fields//Physical Review D 50. 1994. c.1439

[14] Observation of the Top Quark. Fermilab-Conf-95/276-E. CDF and D0.

[15] CDF Results on Top. Fermilab-pub-95/310-E.

[16] D0 Top Quark Mass Analysis. Fermilab-conf-95/189-E. D0