

Бозон Хиггса 2012

Высоцкий М.И.

ИТЭФ

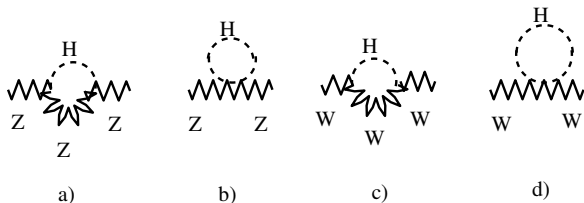
семинар ИЯФ 4 мая 2012

H должен быть открыт на LHC в этом году

H^0 - последняя не открытая частица Стандартной Модели; хиггсовский механизм - единственный последовательный способ иметь перенормируемую теорию массивных векторных W, Z - бозонов, оставаясь в рамках слабой связи.

PRL 1964: Englert, Brout; Higgs; Guralnik, Hagen, Kibble
Гинзбург, Ландау (1954) - скалярный параметр порядка ϕ , ненулевое вакуумное среднее которого характеризует переход в сверхпроводящее состояние, приводя к эффекту Мейснера.

Электрослабые радиационные поправки, SM



март 2012, с новыми данными D0+CDF: $M_W = 80385 \pm 15$ МэВ

$$M_H = 94 + 29 - 24 \text{ ГэВ};$$

(раньше $M_H = 92 + 34 - 26$ ГэВ)

$$\chi^2/n_{d.o.f.} = 18/12$$

DECOUPLING: КЭД, $(g - 2)_\mu = \alpha^2(m_\mu/m_{top})^2$, благодаря чему точному вычислению $(g - 2)_\mu$ не мешает возможное существование тяжелых заряженных частиц;
физика:

$$1/(\hat{k} - m_t)$$

SUSY $O(g^2(M_Z/M_{SUSY})^2)$

LHC: $M_{SUSY} \gg M_Z^2$: $M_H \simeq M_H$ (СМ)

NONDECOUPLING: $O(g^2(M_{NP}/M_Z)^2)$

специфика электрослабой теории;

физика: хиггсовский механизм генерации массы, в вершинах - m_Q/η

nondecoupling позволил в начале 90'х предсказать массу t -кварка из данных LEP1 и SLC до его открытия на Тэватроне

Электрослабые радиационные поправки, вне СМ

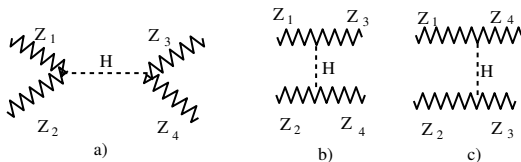
decoupling в SUSY, т.к. массы суперпартнеров имеют не хиггсово происхождение

4 кварк-лептонное поколение;

хорошее качество фита возможно и с тяжелым и с легким хиггсом,

СМ предсказание легкого H пропадает

$M_H < 1$ ТэВ - пертурбативная унитарность амплитуд ZZ , WW -рассеяния

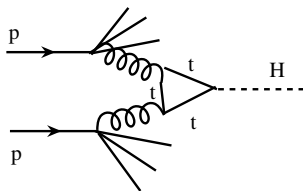


Эксперимент

LEP II: $e^+e^- \rightarrow Z^* \rightarrow ZH$, $\sqrt{s} = 210$ ГэВ

$M_H > 114$ ГэВ

LHC: $pp \rightarrow H + X$, 3.5 + 3.5 ТэВ



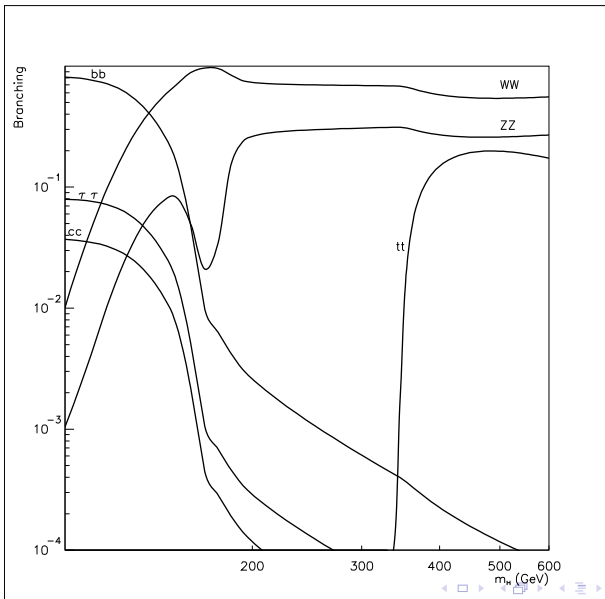
$M_H = 120$ ГэВ, $\sigma \sim 10^4$ fb $L(2011) = 5(fb)^{-1}/\text{детектор}$

ATLAS: разрешено 117.5 - 118.5, 122.5 - 129

CMS: исключено 127.5 - 600; разрешено 114.4 - 127.5

Interesting excess at 125 – 126 GeV seen by both ATLAS and CMS in the $\gamma\gamma$ channel. Backed by the ZZ channel in ATLAS, but the largest excess in this channel is at 119 GeV at CMS. WW does not contribute at the level expected. Both CDF and D0 see a broad excess mostly in the bb channel, consistent with a signal around 125 GeV. If I dared combine ATLAS, CMS, and Tevatron's excesses, I would end up at ??? sigmas at 125 GeV...

распады H



$$H \rightarrow \gamma\gamma$$

$$M_H \ll 2m_t, \quad M_H \ll 2M_W$$

$$M_{\gamma\gamma} = \frac{\alpha}{4\pi} F_{\mu\nu}^1 F_{\mu\nu}^2 \frac{H}{\eta} \left[\frac{4}{3} N_c Q_t^2 - 7 \right]$$

где первый член в квадратных скобках описывает вклад t -кварка ($N_c = 3$, $Q_t = 2/3$), второй член – вклад W -бозона. Первый член получается из вклада дираковского фермиона в коэффициент функции Гелл-Манна–Лоу КЭД ($-4/3$) с учетом заряда t -кварка и трех цветовых состояний, в которых он может пребывать. Вторым членом есть вклад W -бозона в функцию Гелл-Манна–Лоу. Его знак отвечает асимптотической свободе; впервые этот член был вычислен в работе В.С. Ваняшина и М.В. Терентьева 1965 года, посвященной электродинамике заряженных векторных бозонов. Для $M_H < 130$ ГэВ отличие точной формулы от 7 мало.

$$7 = 22/3 - 1/6 - 1/6$$

$SU(2) * U(1)$ теория

$$1/e^2 = 1/g^2 + 1/g'^2$$

$$b_e = b_g + b_{g'}$$

безмассовый W : $b_g(W) = 11/3 * 2$ (Хриплович, 1968)

$U(1)$, дираковский фермион - $4/3$, скалярная частица - $1/3$, гиперзаряд хиггсовского дублета $Y/2 = 1/2$, итого $b_{g'}(H) = 2 * (1/2)^2 * (-1/3) = -1/6$,

$b_g(H) = (-1/3) * (1/2) = -1/6$, хиггсовский дублет в фундаментальном представлении: $tr T_a T_b = 1/2 \delta_{ab}$

$$H \rightarrow \gamma\gamma$$

Для вероятности распада найдем

$$\Gamma_{H \rightarrow \gamma\gamma} = \left(\frac{\alpha}{4\pi}\right)^2 \left(7 - \frac{16}{9}\right)^2 \frac{M_H^3}{16\pi\eta^2},$$

при $M_H \approx 120\text{ГэВ}$ доминирует распад $H \rightarrow b\bar{b}$,

$$\Gamma(\gamma\gamma)/\Gamma(b\bar{b}) \approx 2 * 10^{-3}$$

Почему важен хиггс – Вселенная?

Динамика заполненной изотропным и однородным веществом Вселенной определяется уравнением Фридмана

$$H^2 \equiv \left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 = \frac{8\pi}{3} \rho G_N - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3} ,$$

где H – параметр Хаббла, $G_N \equiv 1/M_P^2$ – постоянная Ньютона ($M_P \approx 1.2 \cdot 10^{19}$ ГэВ – масса Планка), ρ – плотность энергии частиц, $k = 0$ для пространственно-плоской Вселенной (каковой она с большой точностью и является), Λ – космологическая постоянная.

В настоящее время 70% правой части - Λ -член; происхождение не понятно, скорее всего с бозоном хиггса не связан.

25% - темная материя, нерелятивистские частицы (нейтралино?), скорее всего их масса имеет не хиггсово происхождение.

5% - частицы Стандартной Модели, в их вкладе в ρ доминируют

а) протоны и нейтроны, основная часть их массы - КХД, не хиггсово происхождение,

и

б) нейтрино, если их масса близка к 1 эВ - источник массы не (совсем) хиггсов.

Нейтрино: если масса дираковская - хиггсово происхождение, но:

1) почему такая маленькая;

2) почему $Q_\nu = 0$, $Q_e = -Q_p$?

See-saw: $m_\nu = m_D^2/M_R$, M_R - масса синглетного правого нейтрино, не хиггсово происхождение.

Хиггс дает массы кваркам -
в массах очарованных и прелестных адронов массы c - и b -
кварков доминируют ($m_c = 1.3$ ГэВ, $m_b = 4.5$ ГэВ).

Адроны из легких (u - и d -) кварков. Хиггс дает массы кваркам:
 $m_u = 3$ МэВ, $m_d = 6$ МэВ.

Это меньше 2% массы нуклонов ($p(uud), n(udd)$).

Основная часть массы состоящих из легких кварков адронов обусловлена КХД: в теории с безмассовыми глюонами динамически возникает инфракрасный масштаб

$\Lambda_{QCD} \approx 300$ МэВ, задающий массы $p, n, \rho \dots$

Дает массы всем ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМ частицам
(q, l, W, Z) кроме, может быть, нейтрино.

Без хиггса: $m_e = 0$ - нет атомов;

$M_W = 0$: $pp \rightarrow De\nu$ - источник солнечной энергии, слабое взаимодействие.

LHC работает очень хорошо, сегодня утром $E_{beam} = 4\text{ТэВ}$, $10^{14}p/beam$, $L = 2500 * 10^{30}cm^{-2}sec^{-1}$ у CMS и ATLAS'а.

Летом статистика 2011 года должна удвоиться, к декабрю интервал масс 114 - 130 ГэВ должен быть полностью изучен.