

Стандартная модель и ЛНС

М.И.Высоцкий, ИТЭФ

CMS - RDMS семинар, 30.06.2010

План

- Стандартная Модель \implies SUSY + ?
- Точные измерения $\implies M_H(M_W)$
- 4 поколение $\implies M_H, t', b'$
- $M_H < 1$ ТэВ $\implies LHC$
- Заключение

$$SU(3) \otimes SU(2)_L \otimes U(1)$$

В двух словах: Перенормируемая КТП
безмассовых и массивных векторных частиц +
материя (частицы со спинами $1/2$ и 0).

Вот и всё.

Родилась в муках: 4-х фермионная теория
неперенормируема.

Эксперимент: слабые взаимодействия
универсальны \implies перенормируемость.

A la QED, массивные W, Z - неперенормируема.

Только инвариантная относительно локальных
калибровочных преобразований теория перенор-
мируема \implies механизм Хиггса.

Подтверждена экспериментом: W, Z рождаются на коллайдерах, параметры совпадают с предсказаниями $SU(2)_L \otimes U(1)$ теории.

Но: почему теория должна быть перенормируемой?

Взгляд “снизу”: только в перенормируемых теориях возможны вычисления амплитуд вероятностей различных процессов.

С неперенормируемыми теориями теоретики остаются без работы.

Ну и что? Кто заботится о теоретиках?

Более того: первая теория, с проявлениями которой сталкивается человек - теория гравитации - неперенормируема.

$$F_N = (m_1 m_2 / M_P^2) / r^2$$

Размерная константа связи (как и в 4-х фермионной теории):

$$M_P = 10^{19} \text{ ГэВ} \gg M_{W,Z} \sim 100 \text{ ГэВ}$$

$$L = (1/M_P) h_{\mu\nu} T_{\mu\nu}$$

Взгляд “сверху”: есть гравитация, шкала задаётся массой Планка, теория неперенормируемая.

Т.е. есть много частиц с массами $\sim M_P = 10^{19}$ ГэВ, взаимодействие между которыми описывается неперенормируемой “теорией”:

$$L = (1/M_P^2)\psi^4 + \dots$$

члены с производными и т.д.

ЛНС: ни с энергией 7 ТэВ, ни с энергией 14 ТэВ для изучения $E = M_P = 10^{19}$ ГэВ не приспособлен.

Откуда в этой схеме берутся частицы Стандартной Модели?

Наряду с частицами с планковскими массами имеются безмассовые частицы; их безмассовость гарантируется симметриями теории.

Пример: глюоны. $L = -1/4 G_{\mu\nu}^2$. Массовый член запрещен локальной $SU(3)$. Этим свойством обладает лагранжиан СМ: калибровочные симметрии запрещают частицам со спином 1 иметь массы. Частицы со спином $1/2$ безмассовы в силу $SU(2)_L$ - киральность + калибровочная симметрия. Безмассовость гравитона - локальная симметрия Пуанкаре.

К перенормируемой СМ можно добавить неперенормируемые члены, подавленные как $1/M_P^2$, что приводит к поправкам $\sim (M_W/M_P)^2 \sim 10^{-34}$ к предсказаниям СМ.

НО: Главная Проблема СМ

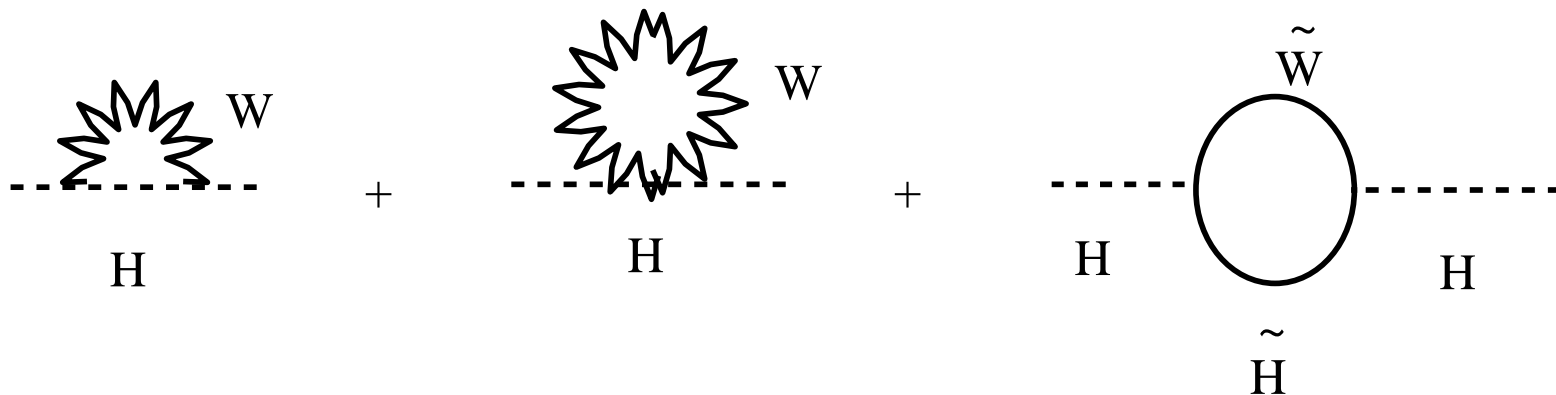
$$M_H^2 H^+ H$$

при естественном значении $M_H = M_P$ вся СМ уйдет на планковскую шкалу ($\eta, M_{W,Z,H}, m_{q,l}$).

Проблема иерархий

Пусть $M_H = 0$ ((псевдо)голдстоуновские бозоны? Ансельм, Йогансен, 1986).

Рад. поправки:



SUSY на масштабе ~ 100 ГэВ.

Таблица Менделеева 21 века

$u \ d \ s \ c \ b \ t$

$\nu_e \ \nu_\mu \ \nu_\tau \ e \ \mu \ \tau$

$\gamma \ h \ G \ W \ Z \ H$

$g_i \ \theta_q \ \delta_q \ \theta_l \ \delta_l \ m_{q,l} \ M_H \ \eta$

какие еще частицы? (Менделеев)

какая физика? (Бор)

LHC

Точные измерения, 1989 - 2000

LEP, SLC, Тэватрон.
(Тэватрон: m_t , M_W)

LEPTOP - формулы для электрослабых рад.
поправок и фитирующая экс. данные программа.

В.А.Новиков, Л.Б.Окунь, А.Н.Розанов и М.В.,
1990е годы.

LEPТОР фит СМ, лето 2009

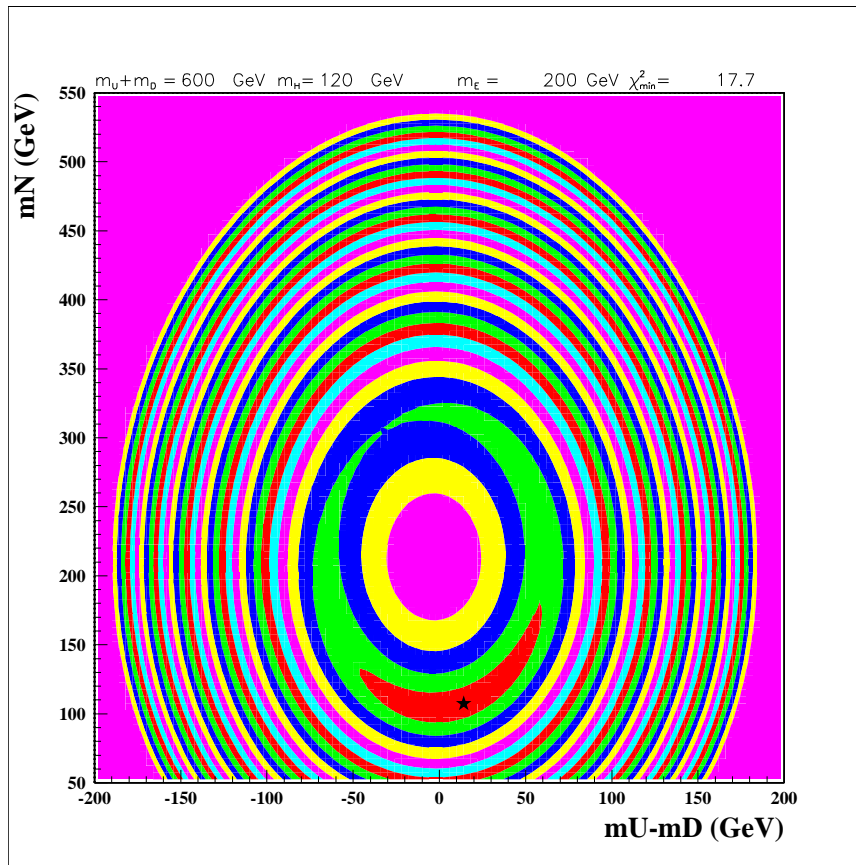
Наблюдаемая	эксперимент	LEPТОР	Тяга
$\Gamma_Z, \text{ GeV}$	2.4952(23)	2.4963(15)	-0.5
$\sigma_h, \text{ nb}$	41.540(37)	41.476(14)	1.8
R_l	20.771(25)	20.743(18)	1.1
A_{FB}^l	0.0171(10)	0.0164(2)	0.8
A_τ	0.1439(43)	0.1480(11)	-0.9
R_b	0.2163(7)	0.2158(1)	0.7
R_c	0.172(3)	0.1722(1)	-0.0
A_{FB}^b	0.0992(16)	0.1037(7)	-2.8
A_{FB}^c	0.0707(35)	0.0741(6)	-1.0
$s_l^2 (Q_{\text{FB}})$	0.2324(12)	0.2314(1)	0.8

Наблюдаемая	Эксперимент	LEPTOP	Тяга
A_{LR}	0.1513(21)	0.1479(11)	1.6
A_b	0.923(20)	0.9349(1)	-0.6
A_c	0.670(27)	0.6682(5)	0.1
$m_W, \text{ GeV}$	80.398(25)	80.377(17)	0.9
$m_t, \text{ GeV}$	172.6(1.4)	172.7(1.4)	-0.1
$M_H, \text{ GeV}$		84^{+32}_{-24}	
$\hat{\alpha}_s$		0.1184(27)	
$1/\bar{\alpha}$	128.954(48)	128.940(46)	0.3
$\chi^2/n_{\text{d.o.f.}}$		18.1/12	

ЛНС: теор. неопределенность в M_W значительно меньше 25 МэВ (≈ 2 раза), надо измерить со сравнимой точностью.

Главная задача - бозон Хиггса.
В СМ он лёгок. А на самом деле?

4 поколение, лёгкий хиггс

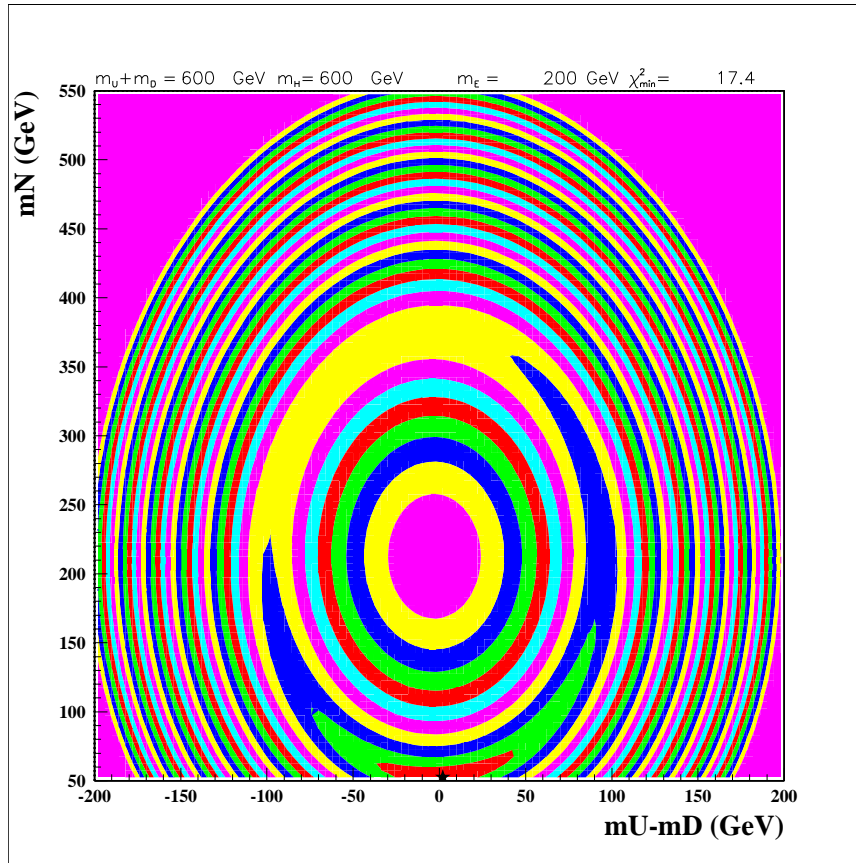


$$M_H = 120 \text{ ГэВ},$$

$$m_U + m_D = 600 \text{ ГэВ}, m_E = 200 \text{ ГэВ}$$

$$\chi^2/d.o.f. = 17.7/11$$

4 поколение, ТЯЖЕЛЫЙ ХИГГС



$M_H = 600 \text{ GeV}$, $m_U + m_D = 600 \text{ GeV}$, $m_E = 200 \text{ GeV}$

$$\chi^2/d.o.f. = 17.4/11$$

Осторожно: RPP PDG

Содержит неверные утверждения о том, что прецизионные измерения исключают 4 поколение.

- V.A. Novikov, A.N. Rozanov, M.I. Vysotsky
Yad.Fiz.73 (2010) 662-668; arXiv:0904.4570
(hep-ph)

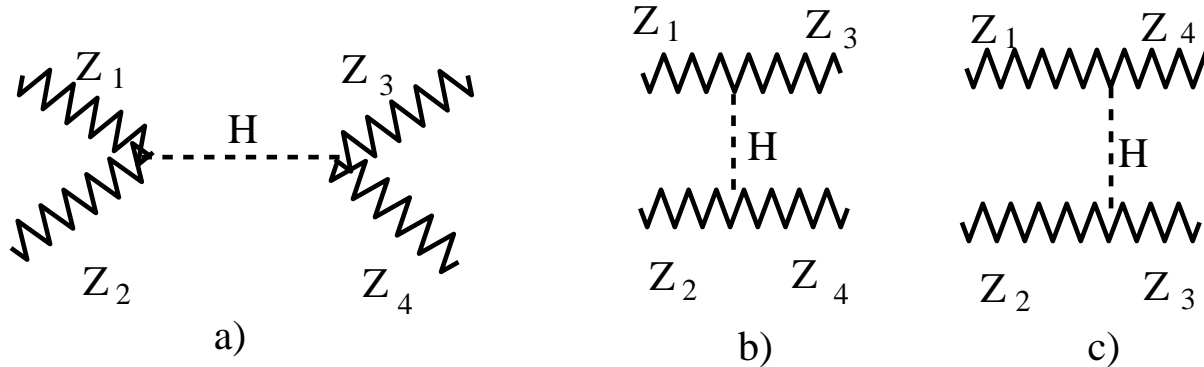
Not excluded yet

Тэватрон: $m_{t'}, m_{b'} > 330$ ГэВ (распады за счет заряженных токов);

ЛНС: доведет ограничение до 1 ТэВ'а, тем самым исключив существование ($\eta = 250$ ГэВ), либо открывает.

Почему ЛНС найдёт хиггс

В. Lee, С. Quigg, Н. Thacker; М. Veltman (1977)



$$s \gg M_H^2 \gg M_W^2 : A = 3\sqrt{2}G_F M_H^2 < 8\pi;$$

$$M_H < 730 \text{ ГэВ}$$

Заключение

- LHC: найдёт хиггс
- LHC: M_H , точное измерение $M_W \implies$ Новая Физика
- LHC: 4 поколение t', b'
- проблема иерархий, таблица Менделеева