

# Estructura de la Materia 4

## Práctica 7: Modelo estándar y mecanismo de Higgs.

Segundo Cuatrimestre 2010

1. Considere un campo escalar real no masivo  $\phi(x)$  en presencia de un potencial  $V$

$$V = \left( \frac{1}{2} \mu^2 \phi^2 + \frac{1}{4} \lambda \phi^4 \right)$$

con  $\mu^2 < 0$  y  $\lambda > 0$ , tal que su lagrangiano resulta

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} \partial_\mu \phi \partial^\mu \phi - \left( \frac{1}{2} \mu^2 \phi^2 + \frac{1}{4} \lambda \phi^4 \right)$$

- a) Muestre que desarrollando el campo  $\phi(x)$  alrededor de cualquiera de los mínimos  $v$  del potencial según

$$\phi(x) = v + \eta(x)$$

donde  $v \equiv \pm \sqrt{\frac{-\mu^2}{\lambda}}$ , el lagrangiano se reduce al de un campo masivo  $\eta$  de masa  $m_\eta^2 = 2 \lambda v^2 = -2 \mu^2$ .

- b) Discuta el origen de la masa del campo  $\eta$  y la pérdida de simetría ante reflexiones ( $\phi(x) = \phi(-x)$ ) del campo original.

2. Repita el ejercicio anterior pero para un campo escalar complejo  $\phi$ , tal que su lagrangiano

$$\mathcal{L}^{U(1)} = (\mathcal{D}_\mu \phi)^* (\mathcal{D}^\mu \phi) - \mu^2 \phi^* \phi - \lambda (\phi^* \phi)^2 - \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}$$

( $\mathcal{D}_\mu = \partial_\mu - igA_\mu$ ) es invariante ante transformaciones locales del grupo U(1)

$$\begin{cases} \phi(x) \rightarrow e^{i\chi(x)} \phi(x) \\ A_\mu \rightarrow A_\mu - \frac{1}{g} \partial_\mu \chi(x) \end{cases}$$

pero desarrollando el campo  $\phi(x)$  según

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2}} (v + h(x))$$

donde  $h(x)$  es real. Muestre que en el lagrangiano resultante tanto  $A_\mu$  como  $h$  cuentan ahora con términos de masa.

3. Sea el lagrangiano

$$\mathcal{L} = (\partial_\mu \Phi)^\dagger (\partial^\mu \Phi) - \mu^2 \Phi^\dagger \Phi - \lambda (\Phi^\dagger \Phi)^2$$

donde  $\Phi$  es un doblete de campos escalares complejos. Suponiendo que  $\Phi$  adquiere un valor de expectación en el vacío,

- a) Muestre que si sólo localiza el grupo de simetría  $SU(2)$  del lagrangiano entonces los tres bosones de gauge  $W$  adquieren masa, y es la misma para los tres.
- b) Muestre que si también localiza el grupo de simetría  $U(1)$  del lagrangiano entonces sigue habiendo sólo tres bosones de gauge masivos (¿por qué no hay uno más?). Halle cuáles son.

4. Muestre que el mecanismo de Higgs aplicado al modelo de Weinberg-Salam predice masas para los bosones  $W^\pm$  y  $Z$  relacionadas entre sí tal que

$$\rho \equiv \frac{M_W^2}{M_Z^2 \cos^2 \theta_W} = 1$$

5. Verifique que introduciendo un término de interacción entre electrones, neutrinos y el doblete de campos escalares complejos  $\Phi(x)$  según

$$-g_e \left\{ (\bar{\nu}_e, \bar{e})_L \begin{pmatrix} \phi^+ \\ \phi^0 \end{pmatrix} e_R + \bar{e}_R (\phi^-, \bar{\phi}^0) \begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L \right\}$$

el mecanismo de Higgs genera un término masa para los electrones y otro de interacción entre los electrones y el campo escalar  $h$

$$\begin{aligned} \mathcal{L} &= -\frac{g_e v}{\sqrt{2}} (\bar{e}_L e_R + \bar{e}_R e_L) - \frac{g_e}{\sqrt{2}} (\bar{e}_L e_R + \bar{e}_R e_L) h \\ &= -m_e \bar{e} e - \frac{m_e}{v} \bar{e} e h. \end{aligned}$$

Muestre que el término añadido al lagrangiano es invariante ante  $SU(2)_L \otimes U(1)_Y$ , eligiendo adecuadamente la  $Y_\phi$ . Discuta sobre posibles canales para detectar la existencia del Higgs en el LEP (Large Electron-Positron collider).

6. Producción del Higgs en el LHC. En el LHC colisionarán dos protones a una energía de centro de masa de  $\sqrt{s} = 14$  TeV y, en algunas de estas colisiones, se espera que se produzcan Higgses. La Figura 1 indica (en unidades arbitrarias) la probabilidad de que se produzca el Higgs en tales colisiones según qué partículas fundamentales son las que entran en la reacción. Usted ha estudiado el Modelo Estándar, así que se le pide que halle el o los diagramas de Feynman más importantes encargados de cada uno de los procesos de producción de Higgs de la figura.
7. Detección del Higgs en el LHC. Los Higgs que se espera producir en el LHC –ver ejercicio anterior– van a decaer a través de diferentes canales. Según cuál fuese la masa del Higgs, estos canales serán más o menos importantes debido a sus anchuras. En la Figura 2 se ve cómo cambia la anchura de los diversos canales según la masa que tenga el Higgs. (Sepa que a efectos de detección del Higgs no sólo importa la anchura de los canales, sino que también cuánto background de ruido tienen estos canales.)

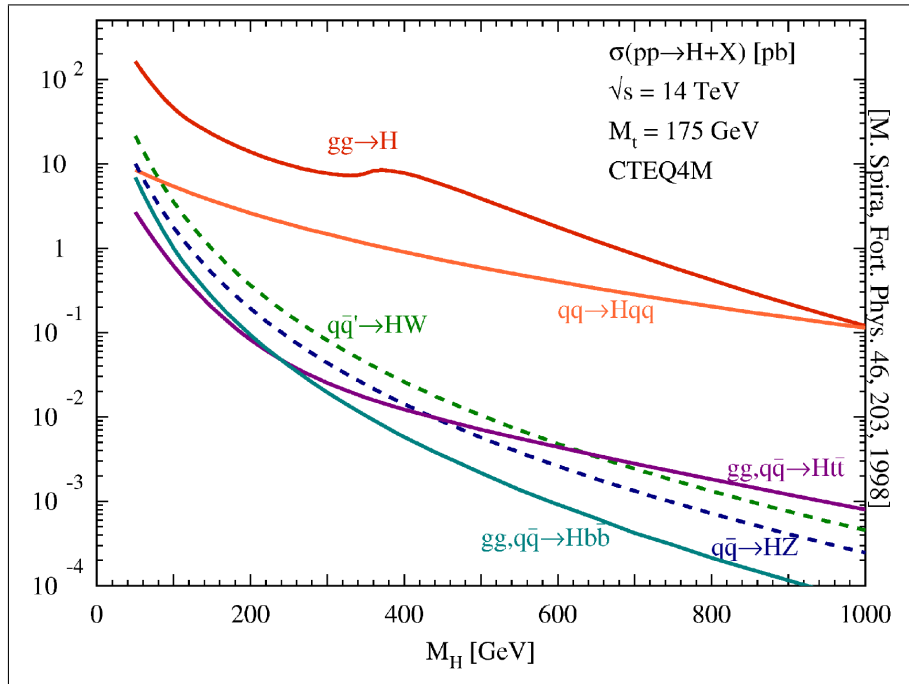


Figura 1: Canales de producción del Higgs en función de la masa del Higgs para el LHC.

- a) Dibuje, a orden más bajo posible, los diagramas de Feynman de los procesos posibles indicados en la figura.
- b) Dado un Higgs liviano, esperamos detectarlo a través del canal  $H \rightarrow b\bar{b}$ . Dado que los quarks no pueden observarse sueltos, ¿qué partículas finales esperarías observar en el LHC en este canal? (\*) ¿Cómo son algunos de los diagramas posibles que generarían tales partículas finales?
- c) Para cada canal de decaimiento diga si las partículas creadas deben o pueden ser físicas o virtuales en cada región de la figura.
- d) ¿Por qué el canal  $H \rightarrow t\bar{t}$  tiene un *kink* en  $m_H \approx 340$  GeV?
- e) (\*) ¿Por qué el canal  $H \rightarrow Z^0 Z^0$  tiene una supresión alrededor de  $m_H \approx 160$  GeV y vuelve a recuperarse en  $m_H \approx 180$  GeV?

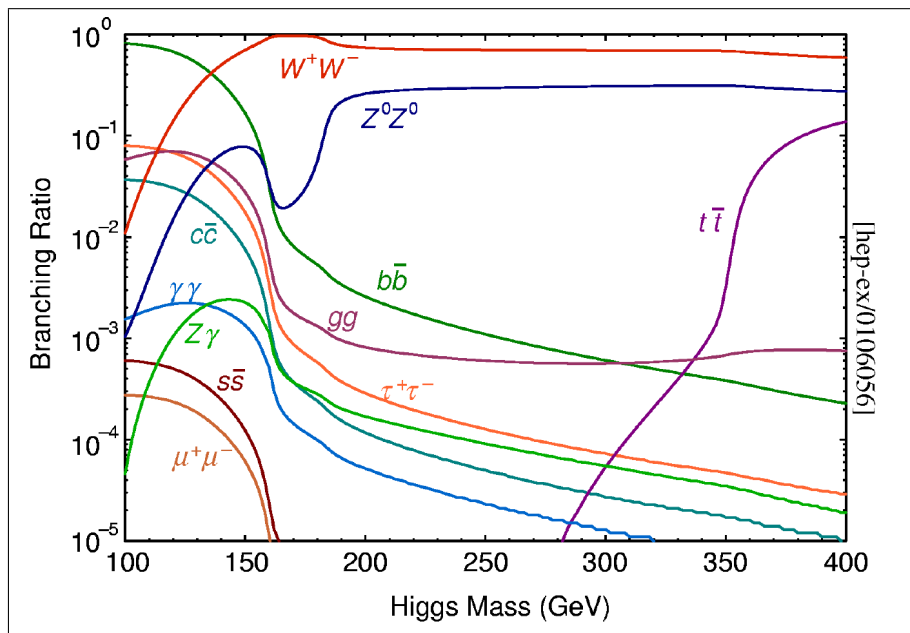


Figura 2: Ancho de los diferentes canales de decaimiento del Higgs en función de la masa del Higgs.