

ESTRUCTURA DE LA MATERIA 4

SEGUNDO CUATRIMESTRE DE 2017

PRÁCTICA 8: MODELO ESTÁNDAR Y MECANISMO DE HIGGS

The universe is an enormous direct product of representations of symmetry groups.

Steven Weinberg

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

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

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 η de masa $m_\eta^2 = 2\lambda v^2 = -2\mu^2$.

- (b) Discuta el origen de la masa del campo η 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 ϕ , 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_μ 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 Φ es un doblete de campos escalares complejos. Suponiendo que Φ 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

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

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_ϕ . Discuta sobre posibles canales para detectar la existencia del Higgs en el LEP (Large Electron-Positron collider).

6. 🐰 Observe el esquema siguiente, donde las líneas indican interacción, y asocie a cada línea el o los términos del Lagrangiano del modelo estandar.

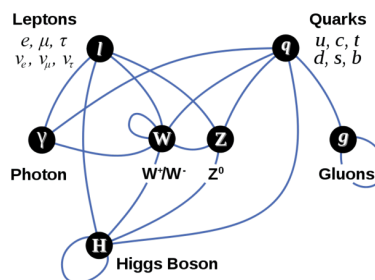


Figure 1: Esquema de las interacciones del modelo estandar