

Estructura de la materia IV
2^{do} cuatrimestre 2008
Segundo Parcial (9/12/2008)

1. (3p) Considere la siguiente lagrangiana

$$\mathcal{L} = \partial_\mu \phi^* \partial^\mu \phi - m^2 \phi \phi^* + \bar{\psi} (i\gamma^\mu \partial_\mu) \psi - \lambda \bar{\psi} \psi \phi \phi^*.$$

- (a) (0.5p) Indique el grupo de simetrías internas de \mathcal{L} . Comente qué pasaría con este grupo si ϕ fuese real.
- (b) (1p) Localice el grupo de simetría que encontró. Diga cuántos campos de gauge se requieren y cómo deben transformar estos para que la teoría sea invariante de gauge. Diga qué pasa con el término de masa de ϕ cuando se pide invarianza gauge.
- (c) (0.5p) Halle las ecuaciones de movimiento de ϕ y ψ .
- (d) (1p) Escriba el lagrangiano final y a partir del mismo dibuje todos los vértices de interacción que involucren campos fermiónicos.
2. (4p) De los siguientes procesos: (i) diga cuáles son posibles y cuáles no dentro del Modelo Estándar yendo hasta nivel árbol (i.e. sin *loops*); y (ii) en los procesos posibles dibuje al menos un diagrama de Feynman que contribuya al proceso e indique en cada vértice cómo es el término del lagrangiano encargado del vértice; en los procesos no posibles explique por qué razón no son posibles.

$$\begin{array}{lll} (a) & n & \rightarrow p e^- \bar{\nu}_e & (b) & pp & \rightarrow h & (c) & h & \rightarrow \gamma\gamma & (1) \\ (d) & e^- & \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu \nu_e & (e) & K^0 & \rightarrow e^- \mu^+ & (f) & e^- e^+ & \rightarrow \mu^+ \mu^- \end{array}$$

(En (f) dibuje al menos dos diagramas que contribuyan al proceso.)

Ayudas: al escribir cada término del lagrangiano correspondiente a cada vértice, deje las constantes numéricas con una letra; no tenga en cuenta los diferentes colores de los quarks, $K^0 = d\bar{s}$. (Cada proceso vale 0.66 puntos.)

3. Debe elegir una (y sólo una) de las siguientes dos opciones como ejercicio 3.

Opción 1: (3p)

- (a) (1p) Muestre que un término de masa para un bosón de gauge no es invariante de gauge.
- (b) (1p) Sea el trozo de lagrangiano del Modelo Estándar invariante $SU(2) \times U(1)$

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

donde Φ es un doblete de campos escalares complejos, $\mu^2 < 0$ y $\lambda > 0$. Suponiendo que Φ adquiere un valor de expectación en el vacío, 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.

- (c) (1p) Muestre que si en el lagrangiano anterior 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 y sus masas.

Opción 2: (3p + 1p extra) Un alumno de Estructura 4, por cierto muy borgiano, se rehusa a creer que el Universo trate de forma diferente a las partículas *left* de las *right* y hace su propio lagrangiano de su Modelo Estándar con la simetría $SU(2)_{left}$ y $right$ sobre todos los fermiones con los dobletes usuales (u, d) , (ν_e, e) , etc.. (Además siguen estando las usuales $U(1)_Y \times SU(3)_C$)

- (a) (1p) Diga cuántos bosones de gauge va a tener en total esta nueva teoría.
- (b) (1p extra) Muy contento este alumno se da cuenta que con su nueva teoría le puede dar masa a los fermiones sin necesidad de un mecanismo de Higgs: muestre cómo se puede hacer esto (0.5p). Sin embargo, luego de reflexionar un poco más se dió cuenta que a pesar que sí les pudo dar masa a los fermiones sin el Higgs, la simetría de su teoría tiene una predicción respecto de las masas de los fermiones que no concuerda con la Naturaleza. ¿Cuál es? (0.5p)
- (c) (1p) Nombre al menos un experimento (diferente al del punto anterior relativo a las masas) en el que no van a coincidir sus predicciones con lo observado. Explique cuál sería la predicción y cuál la observación. (Nota: no es necesario que cuente cómo es la medición, sólo se pide que diga cuál sería el experimento.)
- (d) (1p) ¿Puede en esta nueva teoría darles masa a los bosones de gauge sin requerir el mecanismo de Higgs? Si su respuesta es afirmativa, demuéstrela, si es negativa justifíquelo.

Algunas fórmulas

Los generadores del grupo $SU(2)$ son $t^a = \frac{1}{2}\sigma^a$, donde σ^a son las matrices de Pauli,

$$\sigma^1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \quad \sigma^2 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix} \quad \sigma^3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

Algunas fórmulas que no tendría sentido que se las acuerde de memoria:

$$\begin{aligned} [t^a, t^b] &= if^{abc}t^c \\ D_\mu &= \partial_\mu - igA_\mu^a t^a \\ A_\mu^a &\rightarrow A_\mu^a + \frac{1}{g}\partial_\mu\alpha^a + f^{abc}A_\mu^b\alpha^c \\ F_{\mu\nu}^a &= \partial_\mu A_\nu^a - \partial_\nu A_\mu^a + gf^{abc}A_\mu^b A_\nu^c \\ Q &= T_3 + \frac{Y}{2}. \end{aligned}$$

Nota: Tiene 3:30 hs. para resolver el examen. En cada item de cada ejercicio, una justificación y un razonamiento correctos dan la mitad de los puntos, y un resultado correcto da la otra mitad. Cualquier ambigüedad es tomada como incorrecta. Se aprueba con 6 puntos o más; entre 5 y 6 puntos es un "Aprobado -", que quiere decir que se tiene la oportunidad de recuperar ese punto faltante con la nota del primer examen; y con menos de 5 puntos no se aprueba el examen.