

# Segundo Parcial Estructura 4, segundo cuatrimestre 2021

**Sobre la resolución:** en cada ejercicio justifique cada paso y no se limite a dejar la forma final.

**Formas de entrega:** Se pide encarecidamente que el parcial este redactado con letra clara (no es excusa la letra del JTP) y que las fotos sean nitidas. Las resoluciones deben entregarse en formato pdf (no links de Drive/Dropbox)), un pdf por cada ejercicio, a mauricioleston@gmail.com y malpartidabr@gmail.com. El pdf debe nombrarse así "Apellido Numero de libreta EJ X". Ejemplo: "Leston49/94Ej1.pdf". En el asunto del mail ponga su apellido seguido de "primer parcial de E4".

**Comienzo y fin:** El parcial arranca desde las 17 hs del hoy y el límite de entrega es las 17 hs del sábado 27/11.

**Instancias de Consultas:** Estaremos hoy en el zoom entre 17 y 20 hs. Las consultas admisibles son de enunciado **Ayuda para el parcial:** Cuentan con todos los pdf del campus, las ayudas de las guías, los pdf de las teóricas, google. Todo menos la consulta a otra persona.

## 1. Problema 1

Considere el siguiente Lagrangiano:

$$L = \partial^\mu \phi_1^* \partial_\mu \phi_1 + \partial^\mu \phi_2^* \partial_\mu \phi_2 + \frac{1}{2} \partial^\mu \phi_3 \partial_\mu \phi_3 - m_1^2 \phi_1^* \phi_1 - m_2^2 \phi_2^* \phi_2 - \frac{1}{2} m_3^2 \phi_3^2 - \lambda \phi_3 (\phi_1^* \phi_1 + \mu \phi_2^* \phi_2)$$

que describe a tres campos escalares, dos de ellos complejos.

- Halle las ecuaciones de movimiento, identifique los términos de masa, cinéticos y de interacción y dibuje los vertices correspondientes a estos últimos
- Halle las simetrías globales de este lagrangiano, la corriente de Noether asociada y diga que cantidades se espera que se conserven a nivel cuántico. especifique cual es el tipo de partículas (o anti partículas) asociadas a la cuantización de estos campos. Es decir, si son bosones o fermiones, si espera que haya partícula y antipartícula o un solo tipo.
- De una condición en valores de los parámetros para que la siguiente familia de transformaciones sea una simetría del problema:

$$\begin{aligned}\phi_1' &= e^{i\beta} (\cos(\alpha) \phi_1 + \sin(\alpha) \phi_2) \\ \phi_2' &= e^{i\beta} (\cos(\alpha) \phi_2 - \sin(\alpha) \phi_1) \\ \phi_3' &= \phi_3\end{aligned}\tag{1}$$

siendo  $\alpha$  y  $\beta$  números reales arbitrarios. Para esos valores de los parámetros hallados, ¿cuál es el grupo de simetrías del Lagrangiano? ¿Cuántos parámetros tiene?

## 2. Problema 2

En este ejercicio se pretende evaluar distintos aspectos de la construcción de Yang-Mills, de un lagrangiano invariante ante simetrías no abelianas, algo fundamental para entender el modelo standard.

Considere el siguiente lagrangiano correspondiente a un doblete de campos de Dirac

$$L = \bar{\Psi} i \gamma^\mu \partial_\mu \Psi - m \bar{\Psi} \Psi$$

siendo

$$\Psi = \begin{pmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \end{pmatrix}$$

- (a) Encuentre el lagrangiano que resulta de promover la simetría global de este lagrangiano a la local  $SU(2)$ . Dibuje los vertices de interacción que contienen patas fermiónicas.
- (b) Los campos hallados en el item anterior (llamemosle  $W^i$ ) pueden escribirse en la forma:

$$W_\mu = W_\mu^3 \frac{\sigma_3}{2} + \frac{1}{\sqrt{2}}(W_\mu^+ J_+ + W_\mu^- J_-)$$

siendo  $W_\mu^+$  el complejo conjugado de  $W_\mu^-$ .

Como se vio en la guía 7B, las transformaciones de gauge en el caso no abeliano resultan mas complicadas que las del caso abeliano.

Muestre que la siguiente transformación deja invariante a la parte del lagrangiano que contiene a los campos de Dirac y a sus acoplamientos con los campos de gauge:

$$\begin{aligned} W_\mu^3 &\rightarrow W_\mu^3 + \partial_\mu \alpha(x) \\ \Psi &\rightarrow e^{-ig\alpha(x)\frac{\sigma_3}{2}} \Psi \\ W_\mu^+ &\rightarrow e^{-ig\alpha(x)} W_\mu^+ \end{aligned} \quad (2)$$

(Ayuda: Como paso intermedio, muestre explícitamente que la derivada covariante aplicada al doblete de campos transforma igual que el propio doblete.)

- (c) Halle los términos cuárticos de interacción entre los campos de gauge y muestre que no hay ningún término de interacción que contenga mas de dos campos de gauge  $W_\mu^3$ . (Observación: en el modelo standard aparecen términos similares a los de este ejercicio. De aquí sigue, usando las descomposición de  $W^3$  en  $A$  y  $Z$ , que no hay vertices de interacción con más de dos  $A$  o  $Z$ )

(ayuda: recuerde la expresión de esta parte del lagrangiano en términos de trazas y use que las unicas trazas no nulas de combinaciones de  $a$  2 generadores son  $tr(\sigma_3^2)$  y  $Tr(J_+ J_-) = Tr(J_- J_+)$ )

### 3. Considere el modelo standard completo.

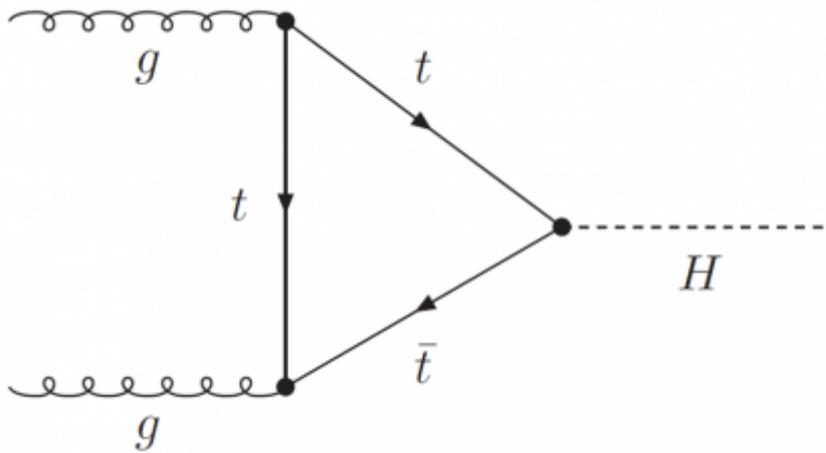
- (a) Diga si los siguientes procesos son posibles. En caso de serlo, dibuje dos diagramas posibles, a orden arbol (es decir sin lazos), indicando el orden en potencia de las constantes de acoplamiento. Si no es posible, argumente porque no lo es.

$$\begin{aligned} i) u \bar{d} &\rightarrow e^+ \nu_e \\ ii) u \bar{d} &\rightarrow e^+ \bar{\nu}_e \\ iii) u d \bar{d} &\rightarrow \gamma \gamma \\ iv) \nu_e \bar{\nu}_e &\rightarrow d \bar{d} \end{aligned}$$

- (b) Considere el decaimiento beta menos:

$$n \rightarrow p e^- \bar{\nu}_e$$

Explique porque este proceso no es posible si apaga la interacción electrodébil, quedando solo la fuerte. Considerando ahora las interacciones del modelo standard, dibuje un diagrama de Feynman que represente una contribución a este proceso.



(c) Considere el siguiente diagram de Feynman:

Este diagrama representa una contribución a un proceso en el que dos gluones dan lugar a un Higgs. Escriba los términos del lagrangiano correspondientes a cada uno de los vértices de este diagrama, indicando el peso que tienen.

La partícula correspondiente al campo de Higgs decae en otras y solo se infiere su producción al ver un pico en la sección eficaz. Complete el diagrama anterior con alguna posibilidad para el decaimiento del Higgs, indicando los términos del Lagrangiano utilizados.