26-5-2014

Introducción a Partículas y Física Nuclear

Guía 12

1er semestre 2014

1. En el estado ligado de un núcleo de deuterio y un pion $\pi^- d$, con $\ell = 0$, el pion puede ser absorbido por el deuterio por efecto de las interacciones fuertes

$$\pi^- + d \to n + n \ .$$

Usando que el estado inicial tiene $j = 1$ (los espines del π y el d son cero y uno respectivamente), y que la paridad intrínseca del deuterón es $+1$, mostrar que la paridad intrínseca del pion es -1.

2. El pion decae predominantemente según la reacción: $\pi^- \to \mu^- + \bar{\nu}_\mu$. Para piones en reposo, sólo se observan muones de quiralidad R. Mostrar que esto implica violación de paridad y decir cuál es la interacción responsable del decaimiento. Hacer el diagrama de Feynman y mostrar que también puede decaer a: $e^- \bar{\nu}_e$. Usando que la tasa de decaimiento es proporcional a $m_\ell^2 (m_\ell^2 - m_\pi^2)^2$ ($\ell = e, \mu$), comprobar que el decaimiento a muones domina por un factor $1,2 \times 10^{-4}$.

3. Opcional: K^0 y $\bar{K}^0$ no son autoestados de CP, definir autoestados de CP como combinación de K^0 y $\bar{K}^0$ y obtener sus autovalores bajo transformaciones de CP. Transformar CP los estados de 2 y 3 piones. Suponiendo que se conserva CP, establecer cual es el estado de kaones neutros que decae a 2 piones y cual a 3 piones. ¿A qué se llama K_L y K_S? ¿Por qué el decaimiento $K_L \to 2\pi$ implica la violación de CP?

4. **(*)** El lagrangiano que describe un fermión de Dirac y el campo electromagnético libres es:

$$\mathcal{L}_{\text{libre}} = \overline{\psi}(x)(i\partial\!\!\!/ - m)\psi(x) - \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}$$

   a) Obtener las ecuaciones de movimiento del fermión de Dirac ψ y del campo electromagnético A_μ libres.

   b) El lagrangiano que describe las interacciones de un fermión de Dirac con el campo electromagnético es:

$$\mathcal{L}_{\text{int}} = e\overline{\psi}(x)\gamma^\mu \psi(x) A_\mu$$

   Verificar que $\mathcal{L}_{\text{libre}} + \mathcal{L}_{\text{int}}$ es invariante ante una transformación de medida local

$$\begin{cases} \psi(x) \to e^{i\,e\alpha(x)}\psi(x) \\ A_\mu \to A_\mu + \partial_\mu \alpha(x) \end{cases}$$

5. Mostrar que un término de masa para el campo A_μ del tipo $m^2 A_\mu A^\mu$ rompe la invariancia de gauge del Lagrangiano de QED.

6. Obtener la expresión para la probabilidad de hallar un neutrino muónico a una distancia L (medida en kilómetros) del lugar donde fue emitido en función del ángulo de mezcla θ, la energía del haz E (medida en GeV) y la diferencia de masas $\Delta m^2 = m_2^2 - m_1^2$ (medida en eV^2):

$$P(\nu_\mu \to \nu_\mu) = 1 - \sin^2 2\theta \ \ \sin^2 \left(\frac{1{,}27\,\Delta m^2\, L}{E} \right) \ .$$

Calcular dicha probabilidad para neutrinos de energías 1-100 GeV que atraviesan la tierra, con $\theta \simeq 40^\circ$ y $\Delta m^2 \simeq 2{,}4\ 10^{-3}\ \mathrm{eV}^2$.