

Cálculo de Contribuciones del Axión a los Momentos Dipolares Magnético “ a_μ ” y Eléctrico “ d_μ ” del Muón a Nivel de un Lazo

Bogart Rodríguez Fuentes^a,
Dr. Alan Ignacio Hernández Juárez y Dr. Gilberto Tavares Velasco^b

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
rf224477117@alm.buap.mx

^aEstudiante de maestría de Universidad Autónoma de Puebla
^bAsesor y Co-Asesor del estudiante

Abstract

El Axión (S), en este modelo es considerado una partícula de tipo escalar o pseudo-escalar, que contribuye a la violación de la simetría CP, en la interacción $\mu(p)\gamma \rightarrow \bar{\mu}(p')$, se realiza el cálculo de la contribución a los momentos dipolares eléctrico y magnético del muón a nivel de un lazo, también se realizan gráficas sobre regiones de interés para las constantes de acoplamiento $||C_s||$ y $||C_p||$, y valores de los aportes al momento dipolar magnético y eléctrico en función de la masa del Axión.

El Axión

El “Axión”, en varios modelos extendidos del Modelo Estándar, surge del problema conocido como “CP Fuerte”, sobre el rompimiento de la simetría CP en la interacción fuerte y las escasas fuentes de contribución al rompimiento de la simetría CP, lo cuál sugiere la existencia de partículas que cumplan con este proceso y no hayan sido observadas antes.

Interacción de tipo $\mu \rightarrow \bar{f} S$ y $\bar{\mu} \rightarrow S f$

El modelo usado para calcular la amplitud de la interacción, es el método de diagramas de Feynman, por lo cual utilizamos los esquemas

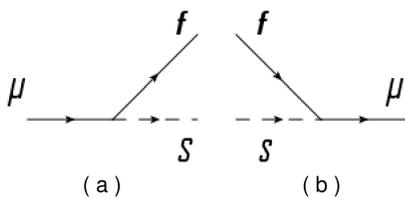


Figura 1: Interacción

en el cual μ es un muón, f un fermión y S el axi3n. El Lagrangiano que describe este tipo de interacción tiene la forma

$$\mathcal{L} = S\bar{\mu}[(C_s^{\mu i} + C_p^{\mu i}\gamma_5)]f_i + \text{H.C.} \quad (1)$$

en el cuál se ve claramente el término que viola la simetría CP.

Constantes de acoplamiento

En el proceso de calcular el valor teórico del aporte que tendría el Axi3n a los momentos dipolares magnético y eléctrico del Mu3n, surgen dos constantes de acoplamiento de tipo escalar (C_s) y pseudoescalar (C_p), que pueden en un principio ser complejas, pero en el cálculo solo aparecen sus magnitudes, de tal forma que estas constantes de acoplamiento se toman como parametros, y entonces podemos hacer gráficas de contorno variando el valor de las magnitudes de estas constantes y fijando la masa del Axi3n y la configuración de los aportes internos

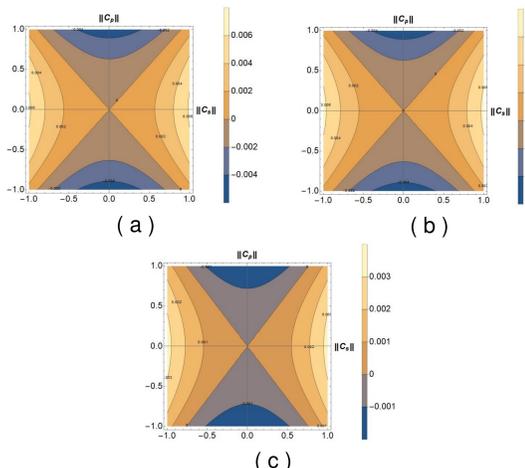


Figura 2: Aporte magnético, 3 casos para masa del Axi3n de 100 MeV

Discrepancia entre valor experimental y teórico del momento dipolar magnético del mu3n, y predicci3n te3rica del momento dipolar eléctrico del mu3n en el modelo estándar

A continuaci3n, se presentan gráficas tomando como parametros las constantes de acoplamiento, de tal forma que los valores sean congruentes con la discrepancia experimental del momento magnético dipolar del mu3n (Δa_μ) y el valor te3rico del momento dipolar eléctrico del mismo (d_{MS}), según las siguientes condiciones

$$0 < \hat{\mu} < \frac{\Delta a_\mu}{2} = 12.55 \times 10^{-10} \quad (2)$$

$$0 < \hat{d} < \frac{d_{MS}}{2} = 7.65 \times 10^{-31}, \quad (3)$$

en donde Δa_μ^1 , es la discrepancia entre el valor experimental y teórico del momento dipolar magnético, y d_{MS}^2 es el valor teórico del momento dipolar eléctrico del mu3n en el modelo estándar.

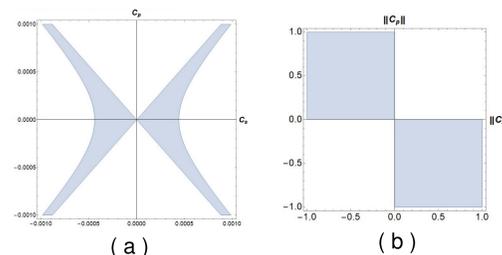


Figura 3: Gráficas de regiones permitidas para constantes de acoplamiento congruentes con la discrepancia del momento dipolar magnético (a) y el valor teórico del momento dipolar eléctrico (b).

Ordenes de magnitud de las constantes de acoplamiento para las regiones permitidas

Enseguida, podemos darnos una idea de que valores se pueden esperar para las constantes de acoplamiento $||C_s||$ y $||C_p||$, con las siguientes tablas de rangos de ordenes de magnitud para las constantes de acoplamiento para diferentes masas del Axi3n

Masa Axi3n	Orden $ C_s $	Orden $ C_p $
1 eV	$\pm 1 \times 10^{-3}$	$\pm 1.3 \times 10^{-3}$
10 eV	$\pm 1 \times 10^{-3}$	$\pm 1.3 \times 10^{-3}$
100eV	$\pm 1 \times 10^{-3}$	$\pm 1.3 \times 10^{-3}$
1 KeV	$\pm 1 \times 10^{-3}$	$\pm 1.3 \times 10^{-3}$
10 KeV	$\pm 1 \times 10^{-3}$	$\pm 1.3 \times 10^{-3}$
100 KeV	$\pm 1 \times 10^{-3}$	$\pm 1.3 \times 10^{-3}$
1 MeV	$\pm 1.05 \times 10^{-3}$	$\pm 1.4 \times 10^{-3}$
10 MeV	$\pm 1.2 \times 10^{-3}$	$\pm 1.5 \times 10^{-3}$
100 MeV	$\pm 1.5 \times 10^{-3}$	$\pm 1.5 \times 10^{-3}$
1 GeV	$\pm 3 \times 10^{-3}$	$\pm 3 \times 10^{-3}$
10 GeV	$\pm 1.4 \times 10^{-2}$	$\pm 1.4 \times 10^{-2}$
100 GeV	$\pm 8 \times 10^{-2}$	$\pm 8 \times 10^{-2}$
1 TeV	$\pm 1.15 \times 10^0$	$\pm 1.15 \times 10^0$
10 TeV	$\pm 1.25 \times 10^1$	$\pm 1.25 \times 10^1$
100 TeV	$\pm 8 \times 10^1$	$\pm 8 \times 10^1$

Tabla de rangos de ordenes para las constantes de acoplamiento en el caso del momento dipolar magnético

Aportes magnético y eléctrico en función de la masa del axi3n

Enfocando los datos reunidos podemos gráficar dentro de los valores permitidos, el aporte a los momentos dipolares magnético y eléctrico en función de la masa del Axi3n, esto para darse una idea de cual podría ser el orden máximo del aporte variando la masa del Axi3n

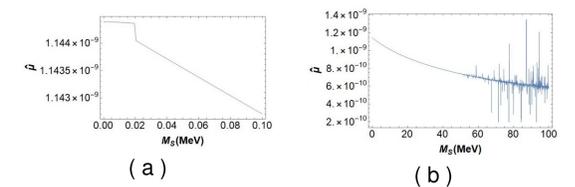


Figura 4: Aporte al momento dipolar magnético del rango de 0 a 100 KeV (a) y de 0 a 100 MeV (b)

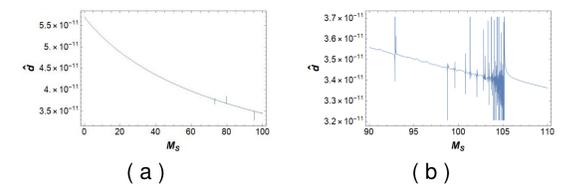


Figura 5: Aporte al momento dipolar eléctrico del rango de 0 a 100 MeV (a) y de 90 a 110 MeV (b)

Puntos específicos de aportes al momento dipolar eléctrico y magnético del mu3n

A continuaci3n se presentarán puntos específicos para los aportes magnético y eléctrico del axi3n

$$\hat{\mu}_2^{1MeV} = 1.12816 \times 10^{-9}, \quad \hat{d}_3^{1MeV} = 7.9047 \times 10^{-9} \quad (4)$$

$$\hat{\mu}_2^{100MeV} = 5.80914 \times 10^{-10}, \quad \hat{d}_3^{100MeV} = 4.82737 \times 10^{-9} \quad (5)$$

$$\hat{\mu}_2^{10GeV} = 4.07852 \times 10^{-11}, \quad \hat{d}_3^{10GeV} = 3.77749 \times 10^{-10} \quad (6)$$

Conclusiones

Entre las conclusiones más importantes que podemos destacar, son las siguientes

- La contribuci3n del axi3n al momento dipolar magnético del mu3n es del orden de $10^{-9} - 10^{-11}$ para ciertos valores de los acoplamientos C_s y C_p , los cuales concuerdan con las cotas obtenidas.
- Los resultados indican que las contribuciones del axi3n al momento dipolar eléctrico (\hat{d}) son hasta 22 ordenes de magnitud mayores que las predicciones del Modelo Estándar ($\hat{d}_{ME} \sim 10^{-31}$).
- Si los modelos con axi3n son válidos, podrían tener contribuciones relevantes al momento dipolar eléctrico del mu3n, lo que podría ser detectado más fácilmente que lo predicho por el Modelo Estándar.
- La cota experimental para el momento dipolar eléctrico está cerca de 10^{-73} , lo cual es cercano a los valores obtenidos mediante nuestro modelo ($\hat{d} \sim 10^{-9}$), lo que hace factible su detecci3n.

¹Manuel A. Buen-Abad, JiJi Fan, Matthew Reece, Chen Sun, “Challenges for an axion explanation of the muon $g - 2$ measurement”, 2021.

²Manuel A. Buen-Abad, JiJi Fan, Matthew Reece, Chen Sun, “Challenges for an axion explanation of the muon $g - 2$ measurement”, 2021.

³Manuel A. Buen-Abad, JiJi Fan, Matthew Reece, Chen Sun, “Challenges for an axion explanation of the muon $g - 2$ measurement”, 2021.