

# ANOMALÍAS $g-2$ Y LOS MODELOS MÍNIMOS PARA EL $Z'$

## RESUMEN

Nuestro proyecto consiste en calcular una solución para las cargas del  $Z'$  permitidas por las ecuaciones de anomalías y las ligaduras provenientes de los términos de Yukawa. Los  $Z'$  que consideramos tienen un contenido mínimo de fermiones en el sentido que nuestros modelos solo contienen los fermiones del modelo estándar mas 3 neutrinos derechos. Con estas soluciones ajustamos la anomalía experimental en la medición del momento magnético anómalo del muón, conocida como anomalía  $g-2$ . De igual forma consideramos las anomalías experimentales reportadas por LHCb y obtenemos el rango de valores para las masas y para las cargas del  $Z'$  que pueden ser consistente con estas observaciones.

## PLANTEAMIENTO

El vacío en electrodinámica cuántica (QED) introduce correcciones radiactivas en el momento magnético de espín del muón, resultando un valor de  $(g-2)$  diferente de cero, lo que se denomina momento magnético anómalo. La medida experimental del momento magnético anómalo del muón se ha apartado de la predicción del modelo estándar por muchos años a un nivel de 3.6 dos sigmas [41]. Se han propuesto muchas soluciones teóricas para este problema [43, 44, 45, 46, 47, 48, 49]. Nuestro proyecto de grado consiste en proponer un modelo con contenido mínimo de partículas [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13], que pueda disminuir la tensión entre este observable y las predicciones del modelo estándar.

## JUSTIFICACIÓN

Nuestro interés son las extensiones que permiten estudiar las anomalías experimentales que regularmente se presentan en el área. En este caso se trata de una anomalía experimental del momento magnético anómalo del muón, el cual se ha mantenido por muchos años [41]. Mi propuesta de investigación me permite estar en contacto con los desarrollos teóricos de la física relacionados con los LHC Large hadron collider. Este experimento es el proyecto mas importante de física de altas energías en el mundo, y con los estudiantes y profesores del departamento podemos contribuir en el análisis teórico de la física que se estudia en este laboratorio. Este trabajo me permite adquirir una formación muy sólida en investigación y un compromiso con la excelencia académica.

## OBJETIVO GENERAL

Parametrizar y estudiar las extensiones mínimas del modelo estándar de partículas, que permitan entender la anomalía  $g-2$ . En general, los modelos de nueva física tratan de resolver problemas fenomenológicos del modelo estándar como: materia oscura, masas de neutrinos y la asimetría entre partículas y antipartículas en el universo, por lo tanto es deseable que nuestra solución a la anomalía  $g-2$  simultáneamente pueda abordar uno de estos problemas.

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS, RESULTADOS Y PRODUCTOS ESPERADOS**

- Proponer un modelo mínimo que pueda explicar la anomalía en el momento magnético del muón. - Hacer un análisis estadístico del espacio de parámetros de este modelo. - Hacer un análisis fenomenológico para evitar corrientes neutras que cambian de sabor en nuestro modelo- → De los resultados de este proyecto de investigación esperamos escribir el trabajo de grado para obtener el título de físico. Así como también presentar este trabajo en un evento nacional.

## **MARCO TEÓRICO O MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL**

Teniendo como punto de partida que el modelo estándar de partículas (ME) no logra explicar algunas observaciones como: el hecho de que hay mas partículas que anti-partículas en la naturaleza, la materia oscura, porque las cargas de las partículas son múltiplos enteros de una cantidad fundamental, masas de neutrinos,...etc, se hace necesario una extensión del modelo estándar para explicar estos fenómenos. Desde el punto de vista teórico la pregunta: ¿Cuál es la extensión mínima electrodébil del modelo estándar (ME) con un contenido mínimo de fermiones? Por sí misma, esta pregunta es interesante y merece un estudio dedicado y sistemático. La literatura actual sobre los modelos mínimos abunda en ejemplos [16, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] pero hasta donde sabemos, no existe una parametrización de estos modelos en la literatura. Desde un punto de vista fenomenológico los modelos mínimos son útiles para explicar las anomalías aisladas en los experimentos de baja energía debido a la ausencia de fermiones exóticos a bajas energías (ejemplos de estas clases de anomalías se pueden ver en [17, 1, 18, 19]).

Para modelos universales, es decir, modelos en los que los números cuánticos de hipercarga se repiten para cada familia, sólo una solución trivial con cargas proporcionales. La hipercarga del (ME) es posible si no se consideran los fermiones exóticos [16, 5, 6, 7].

Para los modelos no universales, tal como está presente en la literatura [3, 4, 8, 9], el número total de parámetros aumenta, dando lugar a una gran variedad de soluciones.

La motivación teórica para estudiar los modelos no universales proviene de consideraciones muy generales, especialmente en construcciones derivadas de la teoría de cuerdas, donde las cargas del  $U(1)$  suelen ser diferentes para cada familia [7]. Los modelos no universales también se han utilizado para explicar el número de familias y las jerarquías en el espectro de fermiones observado en la naturaleza [20, 21, 22].

El momento magnético anómalo del muón, se ha medido con una precisión sorprendente, y es actualmente una de las inconsistencias que mas se han estudiado entre los datos y las predicciones del Modelo Estándar (ME) en toda la física de partículas. Con los datos actuales, la discrepancia está a un nivel de 3,6 dos sigmas [41], y se están realizando esfuerzos en los frentes experimental [42] y teórico [43, 44, 45, 46, 47, 48, 49] para mejorar la precisión tanto del valor medido como de la predicción ME. Esta desviación del valor esperado del ME se ha utilizado como motivación para muchos modelos de nueva física [50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62].

## **MARCO DE ANTECEDENTES**

Los integrantes del grupo de Altas Energías de la Universidad de Nariño junto a sus colaboradores han logrado consolidar un programa de investigación sobre física del Z' que a la fecha cuenta con varios trabajos [23, 24, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 14, 15, 30, 31] algunos de estos trabajos han tenido un gran impacto y acumulan mas de 300 citas. El director de este trabajo et al, en el 2009 publicó [23] un artículo sobre constraints de experimentos de bajas energías sobre las masas de resonancias neutras extra en el modelo estándar, que a la fecha es su trabajo mas citado. En el 2011 publicó otro trabajo [26] sobre restricciones de colliders, este trabajo ha tenido varias secuelas y nos puso como referencia obligada en temas de restricciones experimentales sobre resonancias neutras extra. En el 2015 con colaboradores locales publicó un trabajo sobrecargas de resonancias neutras en modelos 331 [27]. En este trabajo también se reportaron restricciones de Colliders y de experimentos de bajas energías para estos modelos. El trabajo mas importante de este programa de investigación fue clasificación de modelos en E6. En este trabajo se introdujo formalmente la definición y se demostró que en E6 todos los modelos tienen mínimo 3 y máximo 6 modelos alternativos. Este resultado permitió reportar por primera vez todas las posibles cadenas de rompimiento de este grupo. Este artículo ha sido citado en las dos últimas versiones del particle data group [32]. Los últimos trabajos en esta linea de investigación están relacionados con los modelos mínimos [14, 15, 30, 31].

## **METODOLOGÍA**

A continuación se presenta la metodología a seguir, la cual permitirá alcanzar los objetivos propuestos y llevar a cabo el análisis de las predicciones y establecimiento de cotas experimentales de los distintos modelos de nueva física estudiados a lo largo del proyecto.

1. Se calculan las cargas del modelo, en particular tomaremos como referencia los modelos reportados en: [33, 34, 35, 36, 33, 37, 38, 39, 40].
2. Actualizaremos el programa usado en las referencias [14, 15, 30, 31].
3. Haremos el análisis estadístico para calcular la cota inferior para la masa del Z' y las regiones de exclusión para los parámetros del modelo con un nivel de confianza de 95%.

## **NOVEDAD EN EL APORTE A LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA, LA INNOVACIÓN O LA CREACIÓN ARTÍSTICA Y CULTURAL**

Esperamos entender la anomalía en las mediciones del momento magnético anómalo del muón, por medio de un modelo mínimo no reportado en la literatura.

## **IMPACTOS ESPERADOS**

La literatura sobre modelos mínimos y de modelos cercanos al mínimo no universales no es exhaustiva, la razón de este vacío en la literatura se debe a que el paradigma de universalidad ha dominado la construcción de modelos en las últimas décadas; sin embargo, las anomalías recientes en el LHCb tienen como explicación natural modelos con un sector electrodébil no universal. El programa de investigación del grupo de altas energías de la universidad de Nariño, persigue una clasificación sistemática de estas posibilidades guiados por la fenomenología existente. Este programa es de gran interés para los análisis fenomenológicos de los experimentos existentes y los que están en fase de

diseño. El LHC representa una oportunidad única en la historia de la física para explorar el espacio de parámetros de esta clase de modelos. El presente proyecto refuerza la línea de investigación del grupo de Altas Energías de la Universidad de Nariño, incluyendo en nuestro análisis los datos mas recientes de colisionadores. Desde el punto de vista puramente fenomenológico nuestra meta es identificar la región del espacio de parámetros favorecido por los datos. Se espera que la elaboración de este trabajo de grado en estas áreas permita a los demás estudiantes vincularse con un área muy activa de investigación en física de altas energías. → Impactos científicos y tecnológicos del proyecto en las entidades participantes

## CRONOGRAMA

**Tabla de Actividades**

| Número | Actividad                                                                                                                                                              | Mes de Inicio | Duración en Meses |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------|
| 1      | Revisión de los diferentes escenarios para los modelos mínimos y de las medidas mas recientes. en el LHCb                                                              | 1             | 3                 |
| 2      | Establecer las expresiones analíticas para cada uno de los observables experimentales, en partículas para los coeficientes de Wilson relevantes para nuestro análisis. | 4             | 2                 |
| 3      | Análisis de chi-cuadrado para los modelos de referencia.                                                                                                               | 6             | 2                 |
| 4      | Elaboración de plots, tablas y escritura del primer borrador del trabajo de grado.                                                                                     | 8             | 2                 |
| 5      | Revisión del escrito por el director del trabajo. Hacer las modificaciones sugeridas.                                                                                  | 10            | 1                 |
| 6      | Entrega del trabajo a los jurados y modificación del manuscrito sugeridas por los mismos.                                                                              | 11            | 1                 |
| 7      | Preparación y sustentación final del trabajo de grado.                                                                                                                 | 12            | 1                 |

| ACTIVIDAD \ MES                                                                                                                                                          | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1 Revisión de los diferentes escenarios para los modelos mínimos y de las medidas mas recientes. en el LHCb                                                              | X | X | X |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2 Establecer las expresiones analíticas para cada uno de los observables experimentales, en partículas para los coeficientes de Wilson relevantes para nuestro análisis. |   |   |   | X | X |   |   |   |   |    |    |    |
| 3 Análisis de chi-cuadrado para los modelos de referencia.                                                                                                               |   |   |   |   |   | X | X |   |   |    |    |    |
| 4 Elaboración de plots, tablas y escritura del primer borrador del trabajo de grado.                                                                                     |   |   |   |   |   |   |   | X | X |    |    |    |
| 5 Revisión del escrito por el director del trabajo. Hacer las modificaciones sugeridas.                                                                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   | X  |    |    |
| 6 Entrega del trabajo a los jurados y modificación del manuscrito sugeridas por los mismos.                                                                              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | X  |    |
| 7 Preparación y sustentación final del trabajo de grado.                                                                                                                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | X  |

## PRESUPUESTO

Solicitudes de cambio de rubro

| <u>Nº Solicitud</u> | <u>Valor Traslado</u> | <u>Rubro Origen</u>           | <u>Rubro Destino</u>            | <u>Estado</u> | <u>Observaciones</u>                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 922                 | 1.599.999             | Movilidad Academica           | Papeleria y Fotocopias          | Aprobada      |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 949                 | 770.000               | Papeleria y Fotocopias        | Software y/o Equipos de Computo | Aprobada      |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 985                 | 1.128.000             | Papeleria y Fotocopias        | Software y/o Equipos de Computo | Aprobada      |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 1009                | 40.000                | Bibliografia y Bases de Datos | Software y/o Equipos de Computo | No Aprobada   | La justificación del rubro de origen no es correcta ya que debe decir la razón por la cual no se compra la bibliografía, ejemplo: No es necesario adquirir bibliografía ya que con las bases de datos existentes en la universidad fue suficiente para adquirir la información necesitada. |
| 1015                | 40.000                | Bibliografia y Bases de Datos | Software y/o Equipos de Computo | Aprobada      |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

**Valor total traslados: 3.537.999 equivalente al 41% del valor total del proyecto.**

| Descripción                                  | Valor Unitario | Cantidad | Total   |
|----------------------------------------------|----------------|----------|---------|
| IMPRESORA                                    | 400.000        | 1        | 400.000 |
| Papelería, fotocopias y elementos de oficina | 300.000        | 1        | 300.000 |

|                                            |                                             |                      |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------|
| <b>Rubro Inicial: \$ 700.000</b>           | Utilizado: \$ <b>401.100</b>                | Saldo: \$ <b>899</b> |
| Salidas por Traslados: \$ <b>1.898.000</b> | Entradas por Traslados: \$ <b>1.599.999</b> |                      |

| Descripción       | Valor Unitario | Cantidad | Total     |
|-------------------|----------------|----------|-----------|
| EQUIPO DE COMPUTO | 4.000.000      | 1        | 4.000.000 |

|                                    |                                             |                    |
|------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------|
| <b>Rubro Inicial: \$ 4.000.000</b> | Utilizado: \$ <b>5.938.000</b>              | Saldo: \$ <b>0</b> |
| Salidas por Traslados: \$ <b>0</b> | Entradas por Traslados: \$ <b>1.938.000</b> |                    |

| Evento Académico  | Costo Inscripción | Transporte | Viáticos | Total     |
|-------------------|-------------------|------------|----------|-----------|
| EVENTO CIENTÍFICO | 700.000           | 300.000    | 600.000  | 1.600.000 |

|                                            |                                     |                    |
|--------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| <b>Rubro Inicial: \$ 1.600.000</b>         | Utilizado: \$ <b>0</b>              | Saldo: \$ <b>1</b> |
| Salidas por Traslados: \$ <b>1.599.999</b> | Entradas por Traslados: \$ <b>0</b> |                    |

**Presupuesto Inicial 8.700.000**

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R.Aaij et al. [LHCb Collaboration], Phys. Rev. Lett. 111, 191801 (2013) doi:10.1103/PhysRevLett.111.191801 [arXiv:1308.1707 [hep-ex]].
- [2] Y. Tang and Y. L. Wu, Chin. Phys. C 42, no. 3, 033104 (2018) doi:10.1088/1674-1137/42/3/033104 [arXiv:1705.05643 [hep-ph]].
- [3] X. G. He, G. C. Joshi, H. Lew and R. R. Volkas, Phys. Rev. D 43, 22 (1991). doi:10.1103/PhysRevD.43.R22
- [4] X. G. He, G. C. Joshi, H. Lew and R. R. Volkas, Phys. Rev. D 44, 2118 (1991). doi:10.1103/PhysRevD.44.2118
- [5] T. Appelquist, B. A. Dobrescu and A. R. Hopper, Phys. Rev. D 68, 035012 (2003) doi:10.1103/PhysRevD.68.035012 [hep-ph/0212073].
- [6] M. Carena, A. Daleo, B. A. Dobrescu and T. M. P. Tait, Phys. Rev. D 70, 093009 (2004) doi:10.1103/PhysRevD.70.093009 [hep-ph/0408098].
- [7] P. Langacker, Rev. Mod. Phys. 81, 1199 (2009) doi:10.1103/RevModPhys.81.1199 [arXiv:0801.1345 [hep-ph]].
- [8] E. Salvioni, A. Strumia, G. Villadoro and F. Zwirner, JHEP 1003, 010 (2010) doi:10.1007/JHEP03(2010)010 [arXiv:0911.1450 [hep-ph]].
- [9] A. Crivellin, G. D'Ambrosio and J. Heeck, Phys. Rev. D 91, no. 7, 075006 (2015) doi:10.1103/PhysRevD.91.075006 [arXiv:1503.03477 [hep-ph]].
- [10] E. Ma, Phys. Rev. D 94, no. 3, 031701 (2016) doi:10.1103/PhysRevD.94.031701 [arXiv:1606.06679 [hep-ph]].
- [11] C. Kownacki, E. Ma, N. Pollard and M. Zakeri, Phys. Lett. B 766, 149 (2017) doi:10.1016/j.physletb.2017.01.013 [arXiv:1611.05017 [hep-ph]].

- [12] T. Bandyopadhyay, G. Bhattacharyya, D. Das and A. Raychaudhuri, Phys. Rev. D98, no. 3, 035027 (2018) doi:10.1103/PhysRevD.98.035027 [arXiv:1803.07989 [hep-ph]].
- [13] G. Arcadi, T. Hugle and F. S. Queiroz, Phys. Lett. B784, 151 (2018) doi:10.1016/j.physletb.2018.07.028 [arXiv:1803.05723 [hep-ph]].
- [14] R. Benavides, L. A. Muñoz, W. A. Ponce, O. Rodríguez and E. Rojas, Phys. Rev. D95, no. 11, 115018 (2017) doi:10.1103/PhysRevD.95.115018 [arXiv:1612.07660 [hep-ph]].
- [15] R. H. Benavides, L. Muñoz, W. A. Ponce, O. Rodríguez and E. Rojas, arXiv:1812.05077 [hep-ph].
- [16] W. A. Ponce, Phys. Rev. D36, 962 (1987). doi:10.1103/PhysRevD.36.962
- [17] R. Pohlet al., Nature466, 213 (2010). doi:10.1038/nature09250
- [18] A. J. Krasznahorkay et al., Phys. Rev. Lett.116, no. 4, 042501 (2016) doi:10.1103/PhysRevLett.116.042501 [arXiv:1504.01527 [nucl-ex]].
- [19] A. Heister, arXiv:1610.06536 [hep-ex].
- [20] F. Pisano and V. Pleitez, Phys. Rev. D46, 410 (1992) doi:10.1103/PhysRevD.46.410 [hep-ph/9206242].
- [21] P. H. Frampton, Phys. Rev. Lett.69, 2889 (1992). doi:10.1103/PhysRevLett.69.2889
- [22] S. F. Mantilla, R. Martinez and F. Ochoa, Phys. Rev. D95, no. 9, 095037 (2017) doi:10.1103/PhysRevD.95.095037 [arXiv:1612.02081 [hep-ph]].
- [23] J. Erler, P. Langacker, S. Munir and E. Rojas, JHEP0908, 017 (2009) doi:10.1088/1126-6708/2009/08/017 [arXiv:0906.2435 [hep-ph]].
- [24] J. Erler, P. Langacker, S. Munir and E. Rojas, AIP Conf. Proc.1200, no. 1, 790 (2010) doi:10.1063/1.3327731 [arXiv:0910.0269 [hep-ph]].
- [25] J. Erler, P. Langacker, S. Munir and E. rojas, arXiv:1010.3097 [hep-ph].
- [26] J. Erler, P. Langacker, S. Munir and E. Rojas, arXiv:1108.0685 [hep-ph].
- [27] C. Salazar, R. H. Benavides, W. A. Ponce and E. Rojas, JHEP1507, 096 (2015) doi:10.1007/JHEP07(2015)096 [arXiv:1503.03519 [hep-ph]].
- [28] E. Rojas and J. Erler, JHEP1510, 063 (2015) doi:10.1007/JHEP10(2015)063 [arXiv:1505.03208 [hep-ph]].
- [29] O. Rodríguez, R. H. Benavides, W. A. Ponce and E. Rojas, Phys. Rev. D95, no. 1, 014009 (2017) doi:10.1103/PhysRevD.95.014009 [arXiv:1605.00575 [hep-ph]].



- [30] D. J. Blandon, D. A. Restrepo, W. A. Ponce and E. Rojas, arXiv:1812.03908 [hep-ph].
- [31] R. H. Benavides, L. Muñoz, W. A. Ponce, O. Rodríguez and E. Rojas, Int. J. Mod. Phys. A33, no. 35, 1850206 (2018) doi:10.1142/S0217751X18502068 [arXiv:1801.10595 [hep-ph]].
- [32] M. Tanabashi et al. [Particle Data Group], Phys. Rev. D98, no. 3, 030001 (2018). doi:10.1103/PhysRevD.98.030001
- [33] A. J. Buras, F. De Fazio and J. Girrbach-Noe, JHEP1408,039 (2014) doi:10.1007/JHEP08(2014)039 [arXiv:1405.3850 [hep-ph]].
- [34] A. J. Buras, F. Schwab and S. Uhlig, Rev. Mod. Phys.80,965 (2008) doi:10.1103/RevModPhys.80.965 [hep-ph/0405132].
- [35] A. J. Buras, F. De Fazio, J. Girrbach and M. V. Carlucci, JHEP1302, 023 (2013) doi:10.1007/JHEP02(2013)023 [arXiv:1211.1237 [hep-ph]].
- [36] A. J. Buras and J. Girrbach, Rept. Prog. Phys.77, 086201 (2014) doi:10.1088/0034-4885/77/8/086201 [arXiv:1306.3775 [hep-ph]].
- [37] W. A. Ponce, J. F. Zapata and D. E. Jaramillo, hep-ph/0102142.
- [38] L. A. Sanchez, W. A. Ponce and R. Martinez, Phys. Rev. D64, 075013 (2001) doi:10.1103/PhysRevD.64.075013 [hep-ph/0103244].
- [39] R. Martinez, W. A. Ponce and L. A. Sanchez, Phys. Rev. D65, 055013 (2002) doi:10.1103/PhysRevD.65.055013 [hep-ph/0110246].
- [40] W. A. Ponce, Y. Giraldo and L. A. Sanchez, AIP Conf. Proc.623, no. 1, 341 (2002) doi:10.1063/1.1489776 [hep-ph/0201133].
- [41] J. Beringer et al, (Particle Data Group), PRD 86, 010001 (2012).
- [42] R. M. Carey, K. R. Lynch, J. P. Miller, B. L. Roberts, W. M. Morse, Y. K. Semertzides, V. P. Druzhinin and B. I. Khazin et al., FERMILAB-PROPOSAL-0989; Andreas S. Kronfeld et al, [arxiv:1306.5009].
- [43] C. Aubin, T. Blum, M. Golterman, S. Peris, Phys.Rev. D86 (2012) 054509, [arXiv:1205.3695];
- [44] C. Aubin, T. Blum, M. Golterman, S. Peris, Phys.Rev. D88 (2013) 074505, [arXiv:1307.4701];
- [45] C. Aubin, T. Blum, M. Golterman, K. Maltman, S. Peris, [arXiv:1311.5504];
- [46] T. Blum, A. Denig, I. Logashenko, E. de Rafael, B. Lee Roberts, T. Teubner, G. Venanzoni, [arXiv:1311.2198]; M. Golterman, K. Maltman, S. Peris, [arXiv:1310.5928].
- [47] Fred Jegerlehner, Acta Phys.Polon. B44 (2013) 11, 2257-2266, [arXiv:1312.3978];
- [48] Andreas Nyffeler, [arXiv:1312.4804];

- [49] Matthias Steinhauser, [arXiv:1312.4688].
- [50] M. Adeel Ajaib, I. Gogoladze, Q. Shafi, C. Salih Un, [arXiv:1402.4918];
- [51] Hooman Davoudiasl, Hye-Sung Lee, William J. Marciano, [arXiv:1402.3620];
- [52] V. Rentala, William Shepherd, Shufang Su, Phys.Rev. D84 (2011) 035004, [arXiv:1105.1379];
- [53] Chris Kelso, P.R.D. Pinheiro, Farinaldo S. Queiroz, William Shepherd, [arXiv:1312.0051].
- [54] N. Anh Ky, H. N. Long, D. Van Soa, Phys.Lett. B486 (2000) 140-146, [hep-ph/0007010].
- [55] N. Anh Ky, H. N. Long, D. Van Soa, Phys.Lett. B486 (2000) 140-146, [hep-ph/0007010].
- [56] C.A. de S.Pires, P.S. Rodrigues da Silva, Phys.Rev. D64 (2001) 117701, [hep-ph/0103083].
- [57] P. Agrawal, Z. Chacko and C. B. Verhaaren, arXiv:1402.7369 [hep-ph].
- [58] Motoi Endo, Koichi Hamaguchi, Teppei Kitahara, Takahiro Yoshinaga, JHEP 1311 (2013)013, [arXiv:1309.3065].
- [59] Masahiro Ibe, Tsutomu T. Yanagida, Norimi Yokozaki, JHEP 1308 (2013) 067, [arXiv:1303.6995].
- [60] Lisa L. Everett, Gordon L. Kane, Stefano Rigolin, Lian-Tao Wang, Phys.Rev.Lett. 86 (2001)3484-3487, [hep-ph/0102145].
- [61] Richard L. Arnowitt, Bhaskar Dutta, B. Hu, [hep-ph/0310103].
- [62] Stephen P. Martin, James D. Wells, Phys.Rev. D67 (2003) 015002, [hep-ph/0209309].