

Estudio de las anomalías del experimento Large Hadron Collider beauty (LHCb) y los modelos mínimos para resonancias pesadas neutras

RESUMEN

Nuestro proyecto de investigación consiste en calcular todas las soluciones para las cargas del Z' (bosón vectorial neutro pesado) permitidas por las ecuaciones de anomalías y las ligaduras provenientes de los términos de Yukawa, lo cual solo se ha hecho parcialmente en la literatura. Los Z' que consideramos tienen un contenido mínimo de fermiones que son los del modelo estandar más tres neutrinos derechos. Con estas soluciones, ajustaremos las anomalías experimentales reportadas por el LHCb y de esta manera será posible obtener un rango de valores para las masas y para las cargas del Z' que pueden ser consistentes con los datos del experimento. Este análisis nos permitirá saber si este tipo de soluciones representan buenos candidatos para explicar estas anomalías experimentales.

PALABRAS CLAVE

Palabra Clave

Anomalías Cuánticas

Anomalías del LHCb

Física del Z'

Física Mas Allá del Modelo Estandar

Modelos Minimos

PLANTEAMIENTO

Medidas recientes de observables en el experimento LHCb en el CERN se desvian de las predicciones del modelo estandar de partículas elementales a un nivel de 3.7 desviaciones estandar (i.e., 3.7 σ). Estas anomalías se han observado en decaimientos raros del B de la forma $B \rightarrow K^0 \ell^+ + \ell^-$ [1, 2, 3]. Como se ha sugerido en artículos recientes [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12], esta clase de anomalías son predicciones genéricas de teorías gauge con un bosón vectorial neutro no universal.

Los últimos resultados experimentales de la colaboración Bell II cambian la tendencia en algunos de los observables relacionados a estas anomalías [13]; estos resultados ponen estos temas como un tópico de primera línea en la física de partículas (para un análisis reciente ver [14]).

El problema de investigación es clasificar las soluciones de las ecuaciones de anomalías para los modelos mínimos [15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25], parte de este análisis ya lo hicimos en nuestros trabajos más recientes [26, 27]; sin embargo, es necesario encontrar expresiones para las soluciones más generales removiendo la condición de universalidad. Con el fin de evitar corrientes neutras con cambios de sabor, seguiremos el procedimiento propuesto en [27, 28]. Una vez tengamos estas soluciones generales es necesario un análisis de χ^2 para determinar las regiones del espacio de parámetros favorecida por los datos. Este análisis es muy importante ya que los modelos mínimos son los modelos más próximos al modelo estandar de partículas con un sector electrodébil extendido. En nuestros últimos trabajos con mis colaboradores hemos desarrollado este programa y esperamos que nuestros próximos trabajos tengan un gran impacto en este tema.

JUSTIFICACIÓN

Nuestro interés son las extensiones que permiten estudiar las anomalías experimentales que regularmente se presentan en el área. Nuestro programa nos permite poner a la Universidad de Nariño en contacto con desarrollos teóricos relacionados con la física del Large Hadron Collider (LHC). Este experimento es el proyecto más importante de física de altas energías en el mundo, con la consolidación de este proyecto, nuestro grupo podrá contribuir en el análisis teórico de la física que se estudia en este laboratorio. Este trabajo permite además formar estudiantes a nivel de pregrado y posgrado con una fundamentación muy sólida en investigación y un compromiso con la excelencia académica.

OBJETIVO GENERAL

Tomando como referencia la hoja de ruta de la física de partículas, el proyecto buscará parametrizar y estudiar las extensiones mínimas del modelo estándar de interacciones. Estos modelos tratan de resolver problemas fenomenológicos tales como: materia oscura, masas de neutrinos y la asimetría entre partículas y antipartículas en el universo. A largo plazo, se logrará hacer una clasificación de las familias de modelos cercanas a los modelos mínimos, de forma que podamos establecer el espacio de parámetros que sea consistente con las anomalías del LHCb, que tengan candidatos a materia oscura con un mecanismo claro para dar masas a neutrinos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS, RESULTADOS Y PRODUCTOS ESPERADOS

Objetivo Especifico	Resultado o Producto Esperado
Identificar y clasificar todos los modelos mínimos no universales.	Resultado de investigación publicable, ponencia en evento científico, divulgación científica, propuestas de trabajo de grado de pregrado y posgrado.
Realizar un análisis estadístico para determinar qué familias de modelos consiguen ajustar los datos.	Resultado de investigación publicable, ponencia en evento científico, divulgación científica, propuestas de trabajo de grado de pregrado y posgrado.
Analizar fenomenológicamente nuestros modelos para evitar corrientes neutras que cambian de sabor. Esto es particularmente importante para la primera y segunda familia de quarks en el modelo estándar.	Resultado de investigación publicable, ponencia en evento científico, divulgación científica, propuestas de trabajo de grado de pregrado y posgrado.
Reportar las soluciones generales y los modelos que son fenomenológicamente favorecidos por los datos.	Resultado de investigación publicable, ponencia en evento científico, divulgación científica, propuestas de trabajo de grado de pregrado y posgrado.

MARCO TEÓRICO O MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

Teniendo como punto de partida el hecho que el modelo estándar de partículas (SM) no logra explicar algunas observaciones tales como: hay más partículas que anti-partículas en la naturaleza, la existencia de materia oscura, ¿el por qué las cargas de las partículas son múltiplos enteros de una cantidad fundamental?, las masas de los neutrinos, entre otros fenómenos, se hace necesario una extensión del SM para explicar estas observaciones.

Desde el punto de vista teórico la pregunta, ¿cuáles son las extensiones mínimas electrodébiles del SM con un contenido mínimo de fermiones?, por si misma, esta pregunta es interesante y merece un estudio dedicado y sistemático. La literatura actual sobre los modelos mínimos abunda en ejemplos [29, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23], pero hasta donde sabemos, no existe una parametrización de estos modelos. 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 (ejemplos de estas clases de anomalías se pueden ver en [30, 1, 31, 32]).

Para modelos universales, es decir, modelos en los que los números cuánticos de hipercarga se repiten para cada familia, solo una solución trivial con cargas proporcionales a la hipercarga del SM es posible, si no se consideran los fermiones exóticos [29, 17, 18, 19]. Para los modelos no universales, tal como está presente en la literatura [15, 16, 20, 21], 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 [19]. 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 [33, 34, 35].

MARCO DE ANTECEDENTES

Junto con nuestro grupo de colaboradores hemos logrado consolidar un programa de investigación sobre física del Z' que a la fecha cuenta con varios trabajos publicados [36, 37, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 26, 27, 43, 44], algunos de estos trabajos han tenido un gran impacto y acumulan más de 300 citas. En el 2009, publicamos [36] un artículo sobre restricciones de experimentos de bajas energías a las masas de resonancias neutras extra, que a la fecha es nuestro trabajo más citado. En el 2011, publicamos otro trabajo [39] sobre restricciones de colisionadores, este trabajo ha tenido varias secuelas

y nos puso como referencia obligada en temas de restricciones experimentales sobre resonancias neutras extra. En el 2015, junto a mis colaboradores en Colombia, publicamos un trabajo sobre cargas de resonancias neutras en modelos 3-3-1 [40]. En este trabajo también reportamos restricciones de colisionadores y de experimentos de bajas energías para estos modelos. Uno de los trabajos más importantes de nuestro programa es la clasificación de modelos en E6 [41]. En este trabajo introdujimos formalmente la definición de modelo alternativo y demostramos que en E6 todos los modelos tienen mínimo tres y máximo seis modelos alternativos. Este resultado nos permitió reportar por primera vez todas las posibles cadenas de rompimiento de este grupo. Este artículo fue citado en la última versión del particle data group[45]. Nuestros últimos trabajos en esta línea de investigación está relacionada con los modelos mínimos [26, 27, 43, 44]. De hecho, este proyecto tiene como finalidad encontrar todas las familias de soluciones a modelos mínimos.

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. Cálculo de las cargas de los modelos, en particular, seguiremos las referencias [41, 42, 43, 44, 41, 45, 46, 47, 48].
2. Actualización del programa descrito en [49, 36, 39, 38, 37], realizado en fortran 77 con los últimos datos de LHC publicados en [50].
3. Implementación de los modelos en el programa [49], para calcular la cota inferior de la masa del Z' con un nivel de confianza del 95%.

4. Simular posibles datos de un experimento de acuerdo con el modelo estándar con el fin de calcular la capacidad del LHC para excluir resonancias vectoriales neutras para una energía de centro de masa de 13 GeV, 14 GeV, para los valores típicos de luminosidades integradas en LHC.
5. Ajustar los parámetros de los modelos mínimos a las anomalías experimentales del sabor [13,14].
6. Consolidar todos los resultados y someter el trabajo a una revista internacional.

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

En este trabajo se clasifican todas las posibles soluciones para los modelos mínimos. De igual forma, se reportan las cargas para estas soluciones permitiendo cancelación de anomalías entre fermiones en diferentes familias. Todo lo anterior es innovador ya que hasta donde sabemos esto no se ha reportado en la literatura. Las anomalías del sabor en los datos de LHCb y las colaboraciones Bell y Bell II, están entre los tópicos de discusión más importantes en la comunidad académica de la física de partículas. Los últimos resultados del 2019 apuntan a un cambio en la tendencia que hasta el momento señalaban las mediciones anteriores [13,14]. Un ajuste de estas anomalías con modelos mínimos es innovador ya que una parte de la comunidad considera que esto no es posible. En nuestro trabajo removemos la condición de universalidad evitando corrientes neutras con cambio de sabor, esto nos permite obtener varias familias de modelos que no se habían considerado antes.

IMPACTOS ESPERADOS

Descripción	Tipo
<p>La literatura sobre modelos mínimos y 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. Nuestro programa de investigación persigue una clasificación sistemática de estas posibilidades guiados por la fenomenología existente. Esta propuesta es de gran interés para los análisis fenomenológicos de los experimentos actuales 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 nuestra línea de investigación incluyendo en nuestro análisis los datos más recientes de colisionadores. Desde el punto de vista puramente fenomenológico nuestra meta es identificar la región del espacio de parámetros favorecido por los datos.</p>	<p>Impactos científicos y tecnológicos del proyecto en las entidades participantes</p>

CRONOGRAMA

ACTIVIDAD \ MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1 Revisión de los diferentes escenarios para los modelos mínimos y de las medidas más recientes en el LHCb	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 X^2 para los modelos de referencia.					X	X								
4 Elaboración de plots, tablas y escritura del Primer Artículo							X	X						
5 Hacer un estudio comparativo de las restricciones de colisionadores y las restricciones de experimentos a bajas energías.									X	X	X	X		
6 Someter los resultados del estudio fenomenológico para la publicación de un segundo artículo													X	X
7 Estudio de modelos con un contenido reducido de fermiones exóticos que tengan candidatos a materia oscura y masas de neutrinos.														
8 Explorar nuevas opciones de proyectos que se deriven a partir de los resultados del actual														
9 Tiempo Adicional Emergencia Sanitaria Covid 19														

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 más recientes en el LHCb	1	2
2	Establecer las expresiones analíticas para cada uno de los observables experimentales, en partículas para los coeficientes de Wilson relevantes para nuestro análisis.	3	2
3	Análisis de χ^2 para los modelos de referencia.	5	2
4	Elaboración de plots, tablas y escritura del Primer Artículo	7	2
5	Hacer un estudio comparativo de las restricciones de colisionadores y las restricciones de experimentos a bajas energías.	9	4
6	Someter los resultados del estudio fenomenológico para la publicación de un segundo artículo	13	4
7	Estudio de modelos con un contenido reducido de fermiones exóticos que tengan candidatos a materia oscura y masas de neutrinos.	17	4
8	Explorar nuevas opciones de proyectos que se deriven a partir de los resultados del actual	21	4
9	Tiempo Adicional Emergencia Sanitaria Covid 19	25	18

PRESUPUESTO

Solicitudes de cambio de rubro

<u>N° Solicitud</u>	<u>Valor Traslado</u>	<u>Rubro Origen</u>	<u>Rubro Destino</u>	<u>Estado</u>	<u>Observaciones</u>
899	1.500.000	Bibliografía y Bases de Datos	Software y/o Equipos de Computo	Aprobada	
903	1.365.000	Papelería y Fotocopias	Software y/o Equipos de Computo	Aprobada	
904	2.604.390	Movilidad Académica	Software y/o Equipos de Computo	Aprobada	
905	1.000.000	Monitores, Pasantes y Encuestadores	Software y/o Equipos de Computo	Aprobada	
906	199.990	Publicaciones	Software y/o Equipos de Computo	Aprobada	

Valor total traslados: 6.669.380 equivalente al 42% del valor total del proyecto.

<u>Descripción</u>	<u>Valor Unitario</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Total</u>
Adquisición de bibliografía especializada en la temática. Obtención de artículos de bases de datos especializadas en el área.	1.500.000	1	1.500.000

Rubro Inicial: \$ 1.500.000	Utilizado: \$ 0	Saldo: \$ 0
Salidas por Traslados: \$ 1.500.000	Entradas por Traslados: \$ 0	

<u>Descripción</u>	<u>Valor Unitario</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Total</u>
Adquisición de papelería para la impresión de la bibliografía y documentos. Así mismo se requieren algunos elementos para la oficina del grupo de investigación que permitan el buen desempeño del investigador y de sus coinvestigadores.	1.500.000	1	1.500.000

Rubro Inicial: \$ 1.500.000	Utilizado: \$ 135.000	Saldo: \$ 0
Salidas por Traslados: \$ 1.365.000	Entradas por Traslados: \$ 0	

Descripción	Valor Unitario	Cantidad	Total
Computador de escritorio	1.700.000	1	1.700.000
Computador portatil	3.000.000	1	3.000.000
Impresora	800.000	1	800.000

Rubro Inicial: \$ 5.500.000	Utilizado: \$ 12.167.000	Saldo: \$ 2.380
Salidas por Traslados: \$ 0	Entradas por Traslados: \$ 6.669.380	

Evento Académico	Costo Inscripción	Transporte	Viáticos	Total
COMHEP IV	300.000	300.000	300.000	900.000
SILAFEA	500.000	800.000	800.000	2.100.000
CONGRESO NACIONAL DE FÍSICA	500.000	500.000	500.000	1.500.000
NNN2019	200.000	700.000	700.000	1.600.000

Rubro Inicial: \$ 6.100.000	Utilizado: \$ 3.495.601	Saldo: \$ 9
Salidas por Traslados: \$ 2.604.390	Entradas por Traslados: \$ 0	

Descripción	Valor
Valor de las publicaciones.	200.000

Rubro Inicial: \$ 200.000	Utilizado: \$ 0	Saldo: \$ 10
Salidas por Traslados: \$ 199.990	Entradas por Traslados: \$ 0	

Presupuesto Inicial 15.800.000

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] R. Aaij et al. (LHCb), Phys. Rev. Lett. 111, 191801 (2013), arXiv:1308.1707 [hep-ex]

- [2] R. Aaij et al. (LHCb), JHEP 08, 131 (2013), arXiv:1304.6325
- [3] S. Jäger and J. Martin Camalich, Phys. Rev. D93, 014028 (2016), arXiv:1412.3183 [hep-ph]
- [4] J. Ellis, M. Fairbairn, and P. Tunney(2017), arXiv:1705.03447 [hep-ph]
- [5] R. Alonso, P. Cox, C. Han, and T. T. Yanagida(2017), arXiv:1705.03858 [hep-ph]
- [6] Y. Tang and Y.-L. Wu(2017), arXiv:1705.05643 [hep-ph]
- [7] C.-W. Chiang, X.-G. He, J. Tandean, and X.-B. Yuan(2017), arXiv:1706.02696 [hep-ph]
- [8] S. F. King(2017), arXiv:1706.06100 [hep-ph]
- [9] R. S. Chivukula, J. Isaacson, K. A. Mohan, D. Sengupta, and E. H. Simmons(2017), arXiv:1706.06575 [hep-ph]
- [10] S. Baek(2017), arXiv:1707.04573 [hep-ph]
- [11] L. Bian, S.-M. Choi, Y.-J. Kang, and H. M. Lee(2017), arXiv:1707.04811 [hep-ph]
- [12] M. Dalchenko, B. Dutta, R. Eusebi, P. Huang, T. Kamon, and D. Rathjens(2017), arXiv:1707.07016 [hep-ph]
- [13] A. Abdesselam et al. (Belle)(2019), arXiv:1904.08794 [hep-ex]
- [14] C. Murgui, A. Peñuelas, M. Jung, and A. Pich(2019), arXiv:1904.09311 [hep-ph]
- [15] X. G. He, G. C. Joshi, H. Lew, and R. R. Volkas, Phys. Rev. D43, 22 (1991)
- [16] X.-G. He, G. C. Joshi, H. Lew, and R. R. Volkas, Phys. Rev. D44, 2118 (1991)
- [17] T. Appelquist, B. A. Dobrescu, and A. R. Hopper, Phys.Rev. D68, 035012 (2003), arXiv:hep-ph/0212073 [hep-ph]
- [18] M. S. Carena, A. Daleo, B. A. Dobrescu, and T. M. Tait, Phys.Rev. D70, 093009 (2004), arXiv:hep-ph/0408098 [hep-ph]
- [19] P. Langacker, Rev.Mod.Phys. 81, 1199 (2009), arXiv:0801.1345 [hep-ph]
- [20] E. Salvioni, A. Strumia, G. Villadoro, and F. Zwirner, JHEP 03, 010 (2010), arXiv:0911.1450 [hep-ph]
- [21] A. Crivellin, G. D'Ambrosio, and J. Heeck, Phys. Rev. D91, 075006 (2015), arXiv:1503.03477 [hep-ph]
- [22] E. Ma, Phys. Rev. D94, 031701 (2016), arXiv:1606.06679 [hep-ph]
- [23] C. Kownacki, E. Ma, N. Pollard, and M. Zakeri, Phys. Lett. B766, 149 (2017), arXiv:1611.05017 [hep-ph]
- [24] T. Bandyopadhyay, G. Bhattacharyya, D. Das, and A. Raychaudhuri, Phys. Rev. D98, 035027 (2018), arXiv:1803.07989 [hep-ph]
- [25] G. Arcadi, T. Hugle, and F. S. Queiroz, Phys. Lett. B784, 151 (2018), arXiv:1803.05723 [hep-ph]

- [26] R. Benavides, L. A. Muñoz, W. A. Ponce, O. Rodríguez, and E. Rojas, Phys. Rev. D95,115018 (2017), arXiv:1612.07660 [hep-ph]
- [27] R. H. Benavides, L. Muñoz, W. A. Ponce, O. Rodríguez, and E. Rojas(2018),arXiv:1812.05077 [hep-ph]
- [28] P. Langacker and M. Plumacher, Phys. Rev. D62, 013006 (2000), arXiv:hep-ph/0001204[hep-ph]
- [29] W. A. Ponce, Phys. Rev. D36, 962 (1987)
- [30] R. Pohl et al., Nature 466, 213 (2010)
- [31] A. J. Krasznahorkay et al., Phys. Rev. Lett. 116, 042501 (2016), arXiv:1504.01527 [nucl-ex]
- [32] A. Heister(2016), arXiv:1610.06536 [hep-ex]
- [33] F. Pisano and V. Pleitez, Phys.Rev. D46, 410 (1992), arXiv:hep-ph/9206242 [hep-ph]
- [34] P. Frampton, Phys.Rev.Lett. 69, 2889 (1992)
- [35] S. F. Mantilla, R. Martinez, and F. Ochoa(2016), arXiv:1612.02081 [hep-ph]
- [36] J. Erler, P. Langacker, S. Munir, and E. Rojas, JHEP 0908, 017 (2009), arXiv:0906.2435[hep-ph]
- [37] J. Erler, P. Langacker, S. Munir, and E. Rojas, AIP Conf.Proc. 1200, 790 (2010),arXiv:0910.0269 [hep-ph]
- [38] J. Erler, P. Langacker, S. Munir, and E. rojas(2010), arXiv:1010.3097 [hep-ph]
- [39] J. Erler, P. Langacker, S. Munir, and E. Rojas(2011), arXiv:1108.0685 [hep-ph]
- [40] C. Salazar, R. H. Benavides, W. A. Ponce, and E. Rojas, JHEP 07, 096 (2015),arXiv:1503.03519 [hep-ph]
- [41] E. Rojas and J. Erler, JHEP 10, 063 (2015), arXiv:1505.03208 [hep-ph]
- [42] O. Rodríguez, R. H. Benavides, W. A. Ponce, and E. Rojas(2016), arXiv:1605.00575[hep-ph]
- [43] D. J. Blandon, D. A. Restrepo, W. A. Ponce, and E. Rojas, in 38th International Symposium on Physics in Collision (PIC 2018) Bogotá, Colombia, September 11-15, 2018 (2018) arXiv:1812.03908 [hep-ph]
- [44] R. H. Benavides, L. Muñoz, W. A. Ponce, O. Rodríguez, and E. Rojas, Int. J. Mod. Phys.A33, 1850206 (2018), arXiv:1801.10595 [hep-ph]
- [45] M. Tanabashi et al. (Particle Data Group), Phys. Rev. D98, 030001 (2018)
- [46] A. J. Buras, F. De Fazio, and J. Girrbach-Noe, JHEP 1408, 039 (2014), arXiv:1405.3850[hep-ph]
- [47] A. J. Buras, F. Schwab, and S. Uhlig, Rev.Mod.Phys. 80, 965 (2008), arXiv:hep-ph/0405132 [hep-ph]
- [48] A. J. Buras, F. De Fazio, J. Girrbach, and M. V. Carlucci, JHEP 1302, 023 (2013),arXiv:1211.1237 [hep-ph]

- [49] A. J. Buras and J. Girrbach, Rept.Prog.Phys. 77, 086201 (2014), arXiv:1306.3775 [hep-ph]
- [50] W. A. Ponce, J. F. Zapata, and D. E. Jaramillo(2001), arXiv:hep-ph/0102142 [hep-ph]
- [51] L. A. Sanchez, W. A. Ponce, and R. Martinez, Phys.Rev. D64, 075013 (2001), arXiv:hep-ph/0103244 [hep-ph]
- [52] R. Martinez, W. A. Ponce, and L. A. Sanchez, Phys.Rev. D65, 055013 (2002), arXiv:hep-ph/0110246 [hep-ph]
- [53] W. A. Ponce, Y. Giraldo, and L. A. Sanchez, 341(2002), arXiv:hep-ph/0201133 [hep-ph]
- [54] J. Erler, P. Langacker, S. Munir, and E. Rojas, JHEP 1111, 076 (2011), arXiv:1103.2659[hep-ph]
- [55] G. Aad et al. (ATLAS Collaboration)(2014), arXiv:1405.4123 [hep-ex]