

Título: EFFECTIVE LAGRANGIAN DESCRIPTION OF PHYSICS BEYOND THE STANDARD MODEL AND ELECTROWEAK PRECISION TESTS

Nombre: de Blas Mateo, Jorge

Universidad: Universidad de Granada

Departamento: Física teórica y del cosmos

Fecha de lectura: 18/06/2010

Mención a doctor europeo: concedido

Programa de doctorado: FÍSICA Y MATEMÁTICAS

Dirección:

- > **Director:** FRANCISCO DEL AGUILA GIMENEZ
- > **Codirector:** MANUEL PEREZ-VICTORIA MORENO DE BARREDA

Tribunal:

- > **presidente:** Mariano Quiros Carcelen
- > **secretario:** JOSÉ SANTIAGO PÉREZ
- > **vocal:** Wolfgang Hollik
- > **vocal:** Carla Biggio
- > **vocal:** Fabio Zwirner

Descriptor:

- > FISICA TEORICA DE ALTAS ENERGIAS
- > FISICA DE PARTICULAS
- > PARTICULAS ELEMENTALES
- > TEORIA CUANTICA DE CAMPOS

El fichero de tesis ya ha sido incorporado al sistema

- > <http://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/5611/18835417.pdf?sequence=1&isAllowed=yhttp://>

Resumen: En esta tesis usamos técnicas de Lagrangianos efectivos para realizar análisis de física de partículas más allá del Modelo Estándar cuasi-independientes de modelo. La mayor parte de nuestra atención se centra en el estudio de los efectos resultantes de la presencia de nuevos campos de materia (nuevos fermiones pesados, con especial atención al caso de nuevos leptones) o nuevas interacciones (campos vectoriales masivos adicionales), los cuales son predichos por una clase amplia de extensiones del Modelo Estándar. No realizamos ninguna suposición adicional en relación a la teoría de donde estas partículas pudieran venir. En este sentido, nuestros resultados son independientes de modelo y tienen un amplio rango de aplicación. Para poder dar contribuciones a los observables físicos medidos hasta el momento, las partículas pesadas deben acoplarse a las del Modelo Estándar. Este requisito junto con la renormalizabilidad, así como la invariancia

Lorentz y gauge de las interacciones, nos permite clasificar todos los casos posibles de acuerdo con los números cuánticos de las nuevas partículas. Para cada uno de ellos construimos el Lagrangiano más general compatible con las simetrías del Modelo Estándar y la extensión correspondiente del contenido de campos, e integramos los pesados de la teoría obteniendo el correspondiente Lagrangiano efectivo. Este es uno de los resultados de esta tesis: proporcionamos expresiones generales para los coeficientes de los operadores de dimensión seis en términos de los acoplamientos y masas de las nuevas partículas. Utilizando el Lagrangiano efectivo resultante, estudiamos las implicaciones de las nuevas contribuciones a los observables electrodébiles de precisión. Estas son calculadas usando una aproximación a nivel árbol, la cual da en general los efectos dominantes y está justificada por el hecho de que estos deben ser del orden de los errores experimentales, dado el buen acuerdo entre los datos y las predicciones del Modelo Estándar. Los resultados de todos estos cálculos son finalmente empleados para obtener las restricciones experimentales sobre el espacio de parámetros de la nueva física, confrontando las predicciones teóricas que incorporan las nuevas contribuciones, con los datos experimentales. Para ello realizamos un ajuste global de las extensiones propuestas a los datos electrodébiles de precisión existentes. Una discusión detallada de los datos empleados se incluye en un apéndice. Los resultados del ajuste son expresados en términos de límites sobre los valores de las masas y acoplamientos de las nuevas partículas. El objetivo principal de esta tesis es obtener dichos límites, así como identificar los posibles "huecos" en los datos que pudieran ser eventualmente cubiertos por algún tipo de nueva física. Los límites obtenidos son relevantes para la simulación de la producción y desintegración de las partículas pesadas en grandes colisionadores. Ese tipo de análisis, sin embargo, va más allá del objetivo de esta tesis y como mucho nos restringiremos a una descripción cualitativa de las implicaciones de nuestros resultados en el LHC o futuros colisionadores de leptones.

El Lagrangiano efectivo utilizado durante la mayor parte de este trabajo está construido suponiendo nada más que las partículas y simetrías del Modelo Estándar. Extender el método a otros escenarios diferentes es sencillo, tan sólo necesitamos añadir nuevas partículas ligeras. Esto aumenta el número de operadores que podemos construir a cada orden en la expansión del Lagrangiano efectivo. Por otro lado, se pueden imponer simetrías de la teoría a altas energías, restringiendo los términos que pueden escribirse. Mientras que el segundo procedimiento no tiene limitación en principio, siempre que las simetrías del Modelo Estándar sean manifiestas a bajas energías, la ausencia de confirmación experimental sobre la existencia de partículas adicionales limita significativamente la libertad que tenemos para aumentar el espectro de partículas ligeras. Una extensión posible sería considerar la existencia de neutrinos singlete con quiralidad positiva, los cuales son necesarios para explicar las masas de los neutrinos si estas son de tipo Dirac. Estas partículas no tienen interacciones en una extensión minimal del Modelo Estándar, de forma que sólo pueden manifestarse a través de la masa de los neutrinos, y por lo tanto no son observables en los experimentos de laboratorio, donde las energías relevantes son mucho mayores. Podrían sin embargo venir acompañados de nuevas interacciones si surgen de extensiones más complicadas, como modelos con simetría gauge extendida. De este modo, la cuestión interesante es si estos nuevos neutrinos tienen interacciones observables aparte de sus masas, lo que motiva la extensión del Lagrangiano efectivo sugerida. Si tales interacciones son apreciables podrían dar lugar a efectos observables que nos guiaran en la búsqueda de estas partículas. Este tema es estudiado en la última parte de la tesis, la cual cierra además nuestro análisis de nuevos leptones.

En las siguientes líneas se detalla la estructura de esta tesis, resumiendo brevemente el contenido de cada capítulo:

En el Capítulo 1 se introduce el Modelo Estándar de física de partículas, explicando los problemas que sugieren la presencia de nueva física. Tras esto, se presenta el formalismo de la aproximación de Lagrangianos efectivos para el estudio de nueva física. Aquí se explica en detalle las hipótesis que utilizaremos a lo largo de este trabajo. Asimismo se establecen los operadores de dimensión seis relevantes para nuestros análisis.

El Capítulo 2 está dedicado a un estudio totalmente independiente de modelo de la fenomenología de la extensión del Modelo Estándar con los nuevos operadores introducidos. Estudiamos cuáles son los efectos de los mismos sobre las masas y acoplamientos de las partículas estándar una vez se rompe la simetría electrodébil, distinguiendo entre contribuciones directas e indirectas, donde las últimas se deducen de la influencia de los operadores en procesos físicos a partir de los cuales se derivan los parámetros de la teoría. Usando el Lagrangiano resultante calculamos las correcciones dominantes a los observables electrodébiles de precisión, proporcionando fórmulas explícitas para las nuevas contribuciones. Este análisis nos permite distinguir de entre todos los operadores considerados aquellos de los que podemos obtener información usando los datos experimentales actuales. Las principales restricciones de los datos electrodébiles de precisión sobre cada uno de dichos operadores son estudiadas. También discutimos el impacto de estos en la determinación indirecta de la masa del Higgs.

En el Capítulo 3 nos centramos en las implicaciones de la existencia de nuevos fermiones pesados no quirales. Clasificamos todos los nuevos leptones y quarks que pueden mezclarse con los fermiones del Modelo Estándar, y calculamos el Lagrangiano efectivo resultante de su integración. Asimismo, realizamos un análisis fenomenológico de los efectos de los nuevos leptones sobre los datos electrodébiles de precisión, y obtenemos límites sobre la mezcla de estos con los leptones ligeros. También discutimos la correlación entre los efectos de dicha mezcla y los del Higgs, centrándonos en los casos en los que dicha correlación nos permite relajar los límites sobre la masa del escalar.

De manera análoga al Capítulo 3, en el Capítulo 4 analizamos los efectos de nuevas partículas de tipo vectorial. Siguiendo una estructura similar, realizamos una clasificación de los nuevos vectores que puedan dar un efecto observable dentro de nuestras aproximaciones, y los integramos de la teoría obteniendo los coeficientes de los operadores de dimensión seis en el Lagrangiano efectivo. Realizando el correspondiente ajuste a los datos electrodébiles de precisión, obtenemos de nuevo los límites sobre los parámetros físicos de las nuevas partículas, discutiendo en particular la relevancia de los datos de LEP 2 en su obtención. El efecto sobre la asimetría angular del quark b , una de las pocas discrepancias con la predicción del Modelo Estándar, y aquellos casos en los que los nuevos vectores permiten acomodar un Higgs pesado con los datos experimentales son también estudiados en detalle.

El último capítulo de esta tesis se dedica a las modificaciones que deben aplicarse al Lagrangiano efectivo empleado en los capítulos anteriores de cara a extender el formalismo para poder describir la presencia en el espectro de neutrinos singlete con quiralidad positiva. Como una aplicación del método investigamos la posibilidad de encontrar evidencia de la existencia de estas partículas en factorías de neutrinos, si ciertas interacciones no estándar son lo suficientemente grandes. Como allí se discute, estas son permitidas por los datos aunque requieren una cancelación adecuada entre distintos efectos. En ese caso se espera un déficit en el número de eventos observados en un detector cercano, que puede ser tan grande como $\sim 10\%$. Una

realización posible de este escenario también es presentada.

Finalmente se resumen los principales resultados de esta tesis en las Conclusiones. Estas se siguen de un apéndice donde explicamos los datos experimentales incluidos en nuestros análisis así como la metodología utilizada. También se proporcionan detalles del ajuste del Modelo Estándar, los cuales son utilizados o mencionados a lo largo de la discusión en el texto principal.