

Capítulo 1

Introducción

La física de partículas se ocupa principalmente de estudiar los constituyentes fundamentales de la materia y las interacciones que gobiernan el comportamiento de los mismos. Actualmente el mejor modelo que describe las interacciones entre las partículas elementales es el Modelo Estándar (ME) de las interacciones electrodébiles y fuertes, propuesto (entre otros) por S. L. Glashow, A. Salam y S. Weinberg en los años 60's. El ME está basado en la teoría cuántica de campos y la teoría de grupos y sirve como marco teórico para la física de partículas, siendo capaz de describir con gran precisión los procesos observados hasta el presente en experimentos de altas energías. Sin embargo, el ME no brinda una fundamentación teórica para algunos aspectos tales como la existencia de tres familias de fermiones, la existencia de jerarquías en sus masas y ángulos de mezcla, la cuantización de la carga eléctrica y la observación experimental de la asimetría entre materia y antimateria. El sector escalar del modelo tampoco ha sido observado, al menos hasta el momento de escritura del presente trabajo doctoral. Asimismo, en esta teoría no está incluida la interacción gravitatoria. De este modo, existe un consenso general en que el ME es un modelo efectivo para una teoría más fundamental.

Algunos de los “enigmas” mencionados pueden ser explicados en el marco de extensiones del ME. Es posible, por ejemplo, ampliar el contenido de partículas del modelo, o ampliar la simetría característica del Lagrangiano de la teoría. En particular, en algunos de estos modelos extendidos es posible vincular el número de familias de fermiones y la dimensión del grupo de simetría, exigiendo la cancelación de anomalías (requisito para preservar la renormalizabilidad de teorías de gauge como el ME). Éste es justamente el caso de los modelos “331”, en los que la simetría de gauge $SU(3)_C \otimes SU(2)_L \otimes U(1)_Y$ del ME es extendida al grupo $SU(3)_C \otimes SU(3)_L \otimes U(1)_X$. Debido a la extensión del grupo de gauge, en estos modelos se predice la existencia de nuevos bosones de gauge masivos, en particular un bosón de carga cero usualmente denominado Z' . A diferencia del Z usual, presente en el ME, los acoplamientos del Z' no son universales para las tres familias de quarks del ME. Esto se debe a que, para permitir la cancelación de anomalías, los quarks de alguna de las tres familias deben necesariamente organizarse en un multiplete del grupo $SU(3)_L$ en una representación diferente de la de los quarks pertenecientes a las otras

dos familias. Fenomenológicamente, la presencia de un bosón de gauge neutro con acoplamientos no universales representa una diferencia muy importante entre los modelos 331 y el ME, y puede conducir a manifestaciones de nueva física en diversos observables. El estudio de estas posibles manifestaciones en corrientes neutras con cambio de sabor a nivel árbol, para diferentes modelos 331, y las consiguientes cotas para los nuevos parámetros de acuerdo con las observaciones experimentales existentes, es el objeto principal de este trabajo de Tesis Doctoral.

Esta Tesis está organizada de la siguiente forma:

En el capítulo 2 se hace una breve introducción al Modelo Estándar de partículas elementales, haciendo énfasis en la cancelación de anomalías quirales y el cálculo de las corrientes vectoriales neutras y cargadas.

En el capítulo 3 se desarrolla la dinámica básica de los modelos 331. En la primera parte de este capítulo se muestra la construcción de los modelos, teniendo en cuenta la presencia de un parámetro arbitrario β cuyo valor determina los números cuánticos de los bosones y fermiones de cada teoría. Se encuentran también las condiciones necesarias para la cancelación de anomalías, mostrando la relación existente entre el número de familias fermiónicas y el número de colores de quarks. En particular, se estudian en detalle los modelos con $\beta = \pm 1/\sqrt{3}$, que tienen la característica de incluir sólo campos fermiónicos y bosónicos con cargas eléctricas no exóticas (esto es, cargas eléctricas iguales a las de los campos del ME). Se calculan las corrientes vectoriales y axiales en estos modelos, mostrando que los acoplamientos de los quarks con los bosones de gauge Z y Z' resultan ser no universales. De este modo, tienen lugar corrientes neutras que cambian el sabor de los quarks involucrados. El análisis detallado de las corrientes neutras y cargadas realizado en este capítulo constituye una generalización de estudios presentados previamente en la literatura [1].

La presencia de corrientes neutras con cambio de sabor, fuertemente suprimidas en el ME, es en general una característica de los modelos que potencialmente puede dar lugar a manifestaciones de nueva física a energías alcanzables por los experimentos actuales, y por ello es objeto de interés en toda extensión del ME. En el capítulo 4 se presenta un estudio de las nuevas contribuciones que puedan originar estas corrientes en los modelos 331 para diferentes observables [2]. Para ello se construye una teoría efectiva para el modelo 331 estudiado, y se elige un conjunto de observables adecuados, determinando cuáles son los parámetros del modelo relevantes para las contribuciones de nueva física. En nuestro análisis determinamos que la fenomenología de mesones neutros K , B_d y B_s (estados que contienen quarks de valencia de tipo "down") representa el sector de mayor interés, dados los datos experimentales existentes. En particular, estudiamos procesos en los que cambia el sabor en dos unidades ($\Delta F = 2$), para los que se encuentran cinco observables medidos con relativamente buena precisión. De este modo, a través del análisis de los datos experimentales existentes encontramos cotas correlacionadas para los ángulos

y fases de la matriz de mezcla de quarks down en los modelos 331 (parámetros que en el ME no pueden ser observados independientemente de los correspondientes al sector de quarks up). Los resultados encontrados fueron comparados con valores obtenidos a partir de determinadas texturas para las matrices de masa, ampliamente estudiadas en la literatura, que permiten vincular los ángulos de mezcla con los valores relativos de las masas de los quarks en cada sector.

Una vez estudiadas las corrientes neutras del modelo y determinadas las cotas para los parámetros relevantes de acuerdo con los datos experimentales actuales, estudiamos predicciones de los modelos 331 para la fenomenología de las nuevas partículas presentes en estas teorías. Nos concentramos en la física del quark T presente en los modelos 331 con $\beta = -1/\sqrt{3}$, cuya existencia podría ser detectada en los aceleradores LHC y ILC. Existen diversas propuestas de física más allá del ME que incluyen quarks tipo “top” pesados, de modo que resulta importante describir las características de estas partículas en el modelo 331. En el capítulo 5 se estudian en detalle los acoplamientos del T con los bosones de gauge ordinarios, analizando la contribución de quarks T virtuales en las oscilaciones de mesones neutros K y B [3]. De este modo, a partir de los datos experimentales existentes, se pueden establecer cotas para los anchos de desintegración $T \rightarrow qW$. Asimismo, se analizan cotas para los decaimientos $T \rightarrow qZ$ en el marco de modelos determinados para la textura de las matrices de masa de los quarks.

Finalmente, en el capítulo 6 se presenta un resumen del trabajo realizado y se enumeran las principales conclusiones de esta Tesis Doctoral.