

UNIVERSIDAD DE SONORA

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION EN FÍSICA



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

ANTEPROYECTO DE TESIS DE MAESTRIA

Estudios de Simulación en la búsqueda de nuevos bosones ligeros durante la fase de alta luminosidad del experimento CMS del CERN

Miembros del comité:

Alfredo Martín Castaneda Hernández (Director)

Susana Álvarez García (tutor)

Marcelino Barbosa Flores (tutor)

July 28, 2019

Abstract

El Modelo Estandar es la teoria cuantica de campo que hasta el momento de hoy describe de manera precisa las interacciones entre las particulas fundamentales y los diferentes tipos de fuerzas que experimentan las mismas. En el 2012 las colaboraciones experimentales ATLAS y CMS reportaron el descubrimiento de una nueva particula cuyas propiedades son consistentes con el boson de Higgs, el cual segun la teoria es el portador del llamado campo de Higgs, mecanismo por el cual las particulas adquieren masa, actualmente las propiedades de dicha particulas son estudiadas. Sin embargo, dicho modelo falla en dar explicacion a varios fenomenos como por ejemplo la materia oscura, cuya existencia se infiere por la interaccion con la materia visible, a pesar de los diferentes estudios aun se desconoce la composicion de dicha materia. El presente proyecto explora varios modelos teoricos que predicen la creacion de particulas de materia oscura como producto de las colisiones de protones que viajan a velocidades relativistas como las producidos en el Gran Colisionador de Hadrones del CERN. Dichos modelos son estudiados por medio de simulacion de monte carlo, donde se explora las diferentes propiedades del modelo y se simula la respuesta del detector, dicho estudio en el contexto del experimento CMS del CERN.

Contents

1	Antecedentes	1
1.1	Modelo Estandar	1
1.2	Materia Oscura	2
2	Propuesta	4
3	Justificacion	5
4	Hipotesis	6
5	Objetivo General	7
6	Objetivos Especificos	8
7	Metodología	9
8	Resultados Esperados	10

List of Figures

1.1	Clasificación de las partículas segun El Modelo estándar de las partículas elementales	2
1.2	Flujo de positrones medido por el experimento AMS-02, comparado con los experimentos PAMELA,Fermi-LAT, MASS, CAPIRCE, AMS-01 y HEAT.	3
4.1	Ilustracion esquematica de la conexion entre el sector oscuro y el modelo estandar, los cuales estan conectados mediante un termino de mezcla dinamica ϵ	6

List of Tables

1 Antecedentes

1.1 Modelo Estandar

El Modelo Estándar es el formalismo teórico-experimental que hasta el día de hoy describe con mayor precisión las interacciones entre las partículas elementales y los diferentes tipos de fuerzas que experimentan entre ellas. Los mayores desarrollos teóricos y descubrimientos que dieron forma al Modelo Estandar se dan a partir de la segunda mitad del siglo XX con el desarrollo de la Teoría Cuántica de Campo, fruto del esfuerzo de científicos de todo el mundo, los cuales a partir de los modelos teóricos y observaciones experimentales construyeron una clasificación de las partículas en base a sus propiedades fundamentales como lo son la masa, la carga eléctrica, el espín, entre otras. Dicha clasificación se muestra en la Figura 1.1. Las partículas elementales son divididas en dos categorías, los fermiones y los bosones, los fermiones están a su vez divididos en quarks y leptones los cuales tienen un valor fraccional de espín ($1/2$), además de que obedecen la estadística de Fermi-Dirac y el principio de exclusión de Pauli. Los quarks son partículas elementales que constituyen a los hadrones, ya que debido al principio de confinamiento los quarks no pueden co-existir en estado libre.

Cuatro son las fuerzas fundamentales en la naturaleza, la fuerza electromagnética, la débil, la fuerte y la gravitacional, el modelo estandar incluye las tres primeras, la gravitacional no está incluida sin embargo su contribución en la física de partículas es despreciable si se compara por ejemplo con la fuerza electromagnética (una razón de 10^{36} a la escala de Giga-electron volts). El modelo estandar está respaldado por una serie de observaciones experimentales, la más reciente la observación del bosón de Higgs en 2012. Sin embargo aún existen fenómenos en la naturaleza que no pueden ser explicados con este formalismo, ejemplo de ellos son: La composición y naturaleza de la materia y energía oscura.

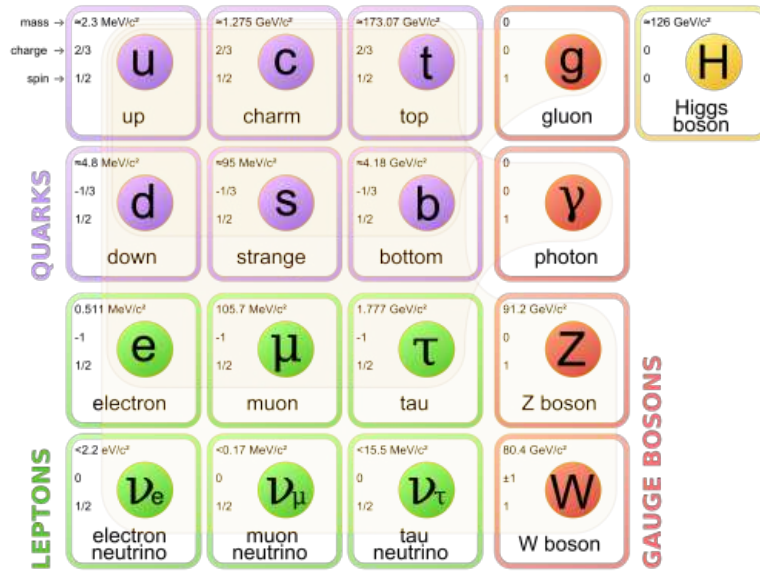


Figure 1.1: Clasificación de las partículas según El Modelo estándar de las partículas elementales

1.2 Materia Oscura

La materia "oscura" recibe este nombre debido a que no emite radiación electromagnética, por lo que su existencia se infiere debido a la influencia gravitacional en la materia "visible" o también conocida como barionica. A pesar de los diferentes esfuerzos por parte de la comunidad científica hasta este momento se desconoce su composición, por medio de observaciones astronómicas se sabe que aproximadamente la materia oscura representa el 30.1% de la composición materia-energía del universo, el resto es energía oscura (69.4%) y materia visible (0.5%). Recientemente y con el afán de entender la composición de la materia oscura y su localización en el universo la comunidad científica ha desarrollado varios experimentos, uno de los más significativos es el Alpha Magnetic Spectrometer (AMS-02) el cual es un detector que busca indicios de materia oscura y antimateria, dicho detector está instalado en la estación espacial internacional (ISS por sus siglas en inglés). En sus observaciones más recientes se ha observado un flujo de positrones anómalo el cual podría ser explicado como el producto de aniquilación de partículas de materia oscura **ams:cern**. Dicho flujo anómalo puede observarse en la Figura 4.1 donde también se presenta una comparación con otros experimentos que observan similar comportamiento. El exceso de flujo observado a partir de los 25 GeV puede tener varias explicaciones científicas, una de ellas podría ser el resultado de la aniquilación de partículas de materia oscura.

Dichas observaciones cosmológicas han motivado a los físicos de altas energías a postular modelos teóricos en los cuales la composición de la materia oscura se pueda entender

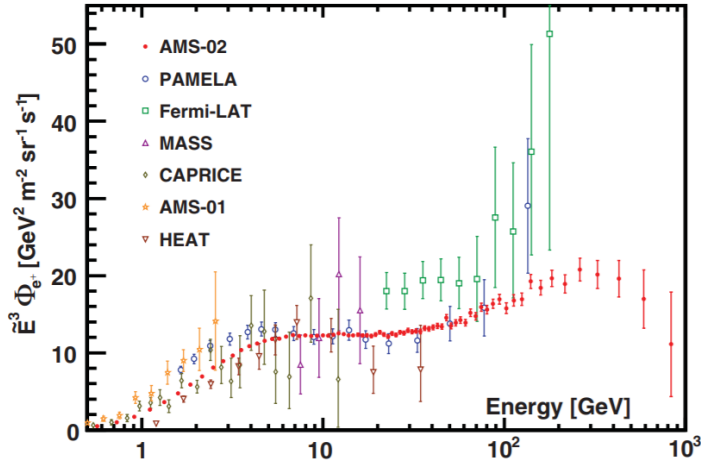


Figure 1.2: Flujo de positrones medido por el experimento AMS-02, comparado con los experimentos PAMELA, Fermi-LAT, MASS, CAPRICE, AMS-01 y HEAT.

por medio de partículas elementales las cuales podrían estar siendo producidas en los aceleradores de partículas modernos como lo es el Gran Colisionador de Hadrones en Ginebra, Suiza. Dichos modelos se encuentran clasificados como extensiones al Modelo Estandar y por lo general involucran la existencia de nuevas partículas cuyas fuerzas e interacciones están descritas por alguna variación de la Teoría Cuántica de Campo, lo que sugiere puede ser estudiado por el formalismo de la física de partículas y estudiado de manera experimental por medio del análisis de datos.

2 Propuesta

En este trabajo se propone el estudio de varios modelos teoricos, los cuales se encuentran clasificados como extensiones al modelo estandar y que predicen la creacion de nuevas particulas como producto de la colision de protones altamente energeticos, en dichos modelos las nuevas particulas pueden ser interpretadas como los constituyentes de la llamada materia oscura. Usualmente en dichos modelos las nuevas particulas interacciones "debilmente" por lo que su deteccion se da de forma indirecta, es decir, por su decaimiento a particulas conocidas. Adicionalmente al estudio de los modelos teoricos se pretende estudiar la parte experimental

3 Justificacion

4 Hipotesis

Motivado por recientes observaciones astronomicas, varios modelos teoricos se ha propuesto en el que la materia oscura puede ser descrita por extensiones al modelo estandar. Usualmente se introduce un llamado sector oscuro (dark sector), el cual se comunica con el modelo estandar por medio de un parametro kinematica de mezcla ϵ . Una de las particulas mediadoras del sector oscuro seria el llamado foton oscuro ("dark photon") el cual debido a la interaccion con el modelo estandar decaeria a particulas conocidas, un posible modo de decaimiento es a leptones, uno de los decaimientos posibles es ejemplificado en la Figura ???. Dichos decaimientos podrian ser estudiados con los aceleradores de particulas modernos.



Figure 4.1: Ilustracion esquematica de la conexion entre el sector oscuro y el modelo estandar, los cuales estan conectados mediante un termino de mezcla dinamica ϵ

5 Objetivo General

6 Objetivos Especificos

- Estudio de modelos de fisica mas alla del modelo estandar que predican la creacion de particulas de materia oscura
- Implementacion de los modelos teoricos en programas de simulacion especializados en fisica de particulas elementales (MADGRAPH, PYTHIA)
- Simulacion de los procesos de altas energias por medio del paquete DELPHES
- Analisis de los resultados de simulacion
 - Seleccion de eventos
 - Eficiencia de la senal y del ruido
 - visualizacion de eventos de senal
 - Proyecciones de descubrimiento para la fase de alta luminosidad

7 Metodología

El estudiante seguir una serie de pasos que le permitan estudiar los diferentes modelos de física mas alla del modelo estandar, los siguiente pasos pueden resumir

Produccion de muestras de MonteCarlo: Se espera producir muestras de simulacion de monte carlo para cada proceso de la señal y ruido, el numero de eventos a producir depende del tipo de proceso que se este estudiando y su seccion eficaz, a menor seccion eficaz mayor numero de eventos que se necesitaran producir, las muestras se espera se produzcan usando los recursos computacionales de la Universidad de Sonora. Dicho paso requiere del desarrollo de codigo para la distribucion de las corridas de simulacion en forma paralela usando el cluster ACARUS. Los paquetes de simulacion que se usaran seran MADGRAPH **Alwall:2007st**, Pythia y Delphes **deFavereau2014**

Analisis preliminar: El estudiante debe desarrollar diferentes herrammientas de analisis de datos, con el fin de acceder a los datos producidos en la simulacion y extraer las variables de interes, comunmente dichas herramientas de analisis consisten de codigos escritos en lenguaje C++ y python, de esta manera el estudiante dearrollara habilidad en la manipulacion de muestras de datos

Seleccion de eventos: Despues del acceso de dataos de simulacion y variables de interes se procedera al estudio de la seleccion de eventos, la cual a grandes razgos consiste en seleccionar el conjunto de variables fisicas y valores los cuales puedan optimizar el proceso de senal y reducir lo mas posible la contribucion de ruido

Analisis estadistico: Despues de la seleccion de eventos se realizara un estudio estadistico en el cual se extraeran el numero de eventos de senal y ruido despues de la seleccion, de ahi se puede interpretar los resultados en base a indicadores estadisticos y concluir la probabilidad de obsservacion con datos recolectados en los siguientes anos terminao de

8 Resultados Esperados

De los estudios de simulación se espera obtener los siguientes resultados

- Caracterización de los diferentes parámetros de los modelos estudiados, así como las propiedades cinemáticas de las diferentes partículas
- Las eficiencias de identificación de partículas
- La eficiencia de reconstrucción de partículas
- La razón de la señal contra el ruido
- La sensibilidad de descubrimiento para la etapa de alta luminosidad del experimento CMS