

Hackathon 2023

Divulgando la física de partículas.

Daniel Brito (UCV), **Pedro Arango** (UNMSM), **Naim Bander** (UCV).

Reinaldo Díaz (UCV), **Anggelo Berlake** (UCV).

22 de octubre de 2023

1. ¿Qué es la física de partículas?

¿Sabes cómo nació el Universo y cómo se formó la materia que compone las estrellas, los planetas y a nosotros mismos? ¿Sabes cómo se origina la masa de las partículas elementales, sin la cual no se podrían formar átomos? ¿Y que la materia que nos compone tiene una gemela casi idéntica, la antimateria, que desapareció misteriosamente tras el Big Bang?

La Física de Partículas o también llamada física de altas energías busca respuesta a estas y otras preguntas relacionadas con las partículas que forman todo lo que vemos y las fuerzas que las gobiernan. Curiosamente, cuanto más pequeño es el objeto a estudiar, en este caso las partículas elementales, hacen falta instrumentos científicos más grandes y complejos para detectarlas. El Gran Colisionador de Hadrones o LHC, el mayor y más potente acelerador de partículas del mundo, es un buen ejemplo.

El LHC es un anillo de 27 kilómetros de circunferencia situado 100 metros bajo tierra en la frontera franco-suiza cerca de Ginebra. En su interior se aceleran partículas subatómicas hasta casi la velocidad de la luz para hacerlas circular en direcciones opuestas hasta que chocan en puntos estratégicos, donde se ubican enormes detectores que 'fotografían' los resultados de esas colisiones. De esta forma, acumulando enormes cantidades de datos de estas colisiones, los experimentos ATLAS y CMS del LHC anunciaron en julio de 2012 el hallazgo de una nueva partícula elemental, el esperado bosón de Higgs.

2. Modelo Estándar de la Física

Desde la década de 1930, la comunidad científica investigadora en física ha desarrollado una notable comprensión de la estructura fundamental de la materia: se ha descubierto que todo en el

universo está hecho de unos pocos constituyentes básicos llamados “partículas fundamentales”, los cuales están gobernados por cuatro “fuerzas fundamentales”. El Modelo Estándar de la Física de Partículas es la mejor forma de entender cómo se relacionan estas partículas y tres de las fuerzas que rigen sus comportamientos. Este modelo físico, desarrollado a principios de la década de 1970, ha conseguido explicar con éxito casi todos los resultados experimentales obtenidos y ha predicho con precisión una gran variedad de fenómenos que después se han observado. Con el tiempo y a través de muchos experimentos, el Modelo Estándar se ha consolidado como una teoría física bien probada que consigue describir nuestro mundo en sus escalas más pequeñas.

En el universo actúan cuatro fuerzas fundamentales: la fuerza nuclear fuerte, la fuerza nuclear débil, la fuerza electromagnética y la fuerza gravitatoria. Funcionan en distintos rangos y tienen distintas intensidades.

Tres de las fuerzas fundamentales, la fuerza nuclear fuerte, la débil y la electromagnética, son el resultado del intercambio de partículas portadoras de fuerza, que pertenecen a un grupo más amplio llamado “bosones”. Las partículas de la materia transfieren cantidades discretas de energía intercambiando bosones entre sí. Cada fuerza fundamental tiene su propio bosón correspondiente: la fuerza fuerte es transportada por el “gluón”, la fuerza electromagnética por el fotón y los bosones W y Z son responsables de la fuerza débil.

	I	II	III	
Quarks	2.4 MeV u	1.3 GeV c	170 GeV t	0 γ
	4.8 MeV d	104 MeV s	4.2 GeV b	0 g
	< 2 eV ν_L	< 2 eV ν_M	< 2 eV ν_H	91 GeV Z
Leptons	0.5 MeV e	16 MeV μ	1.8 GeV τ	80 GeV W
				126 GeV H
				Bosons

2.1. Bosón de Higgs

El bosón de Higgs es un tipo de partícula elemental con un papel fundamental en el mecanismo que origina la masa de las partículas elementales. Es la partícula asociada al llamado campo de Higgs, una especie de continuo que se extiende por el espacio formado por incontables bosones de Higgs. La masa de las partículas estaría causada por una “fricción” con el campo de Higgs: las partículas con una mayor fricción con este campo tienen una masa mayor.

El bosón de Higgs era una pieza fundamental que faltaba por descubrir del Modelo Estándar de Física de Partículas, teoría que describe las partículas elementales y sus interacciones. Este modelo, comprobado por multitud de experimentos, no podía explicar el origen de la masa. Sin masa, el Universo sería un lugar muy diferente: si el electrón no tuviera masa, no habría átomos, con lo cual no existiría la materia como la conocemos, no habría química, ni biología, ni existiríamos nosotros mismos.

La explicación basada en el campo de fuerza y su bosón asociado se postuló en los años 60 por un grupo de físicos entre los que se encontraban el británico Peter Higgs y el belga François Englert.

El bosón de Higgs no se puede observar directamente, ya que se desintegra casi inmediatamente. Hay que producirlo en aceleradores de partículas y reconstruirlo a partir de las partículas producidas en su desintegración.

Tras medio siglo de búsqueda, los experimentos ATLAS y CMS del LHC informaron el 4 de julio de 2012 del descubrimiento de una nueva partícula con características compatibles con las predichas para el bosón de Higgs. Esta nueva partícula tiene 134 veces la masa del protón y es un bosón (partícula portadora de fuerza), el más pesado observado hasta ahora. En este tiempo se han realizado estudios cada vez más detallados de los modos en los que se produce el bosón de Higgs en el LHC y se desintegra en otras partículas conocidas más ligeras. Aproximadamente, solo en una de cada billón de colisiones del LHC se puede llegar a producir un bosón de Higgs.

3. Impacto del Modelo Estándar

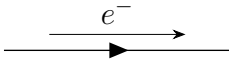

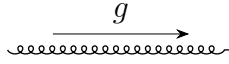
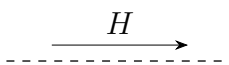
El Modelo Estándar incluye las fuerzas electromagnética, fuerte y débil y todas sus partículas portadoras, y explica bien cómo estas fuerzas actúan sobre todas las partículas de materia. Sin embargo, la fuerza más conocida en nuestra vida cotidiana, la gravedad, no forma parte del Modelo Estándar, pues resulta muy difícil de describir con este modelo físico. La teoría cuántica, utilizada para describir el micromundo, y la teoría general de la relatividad, utilizada para describir el macromundo, son difíciles de encajar en un único marco teórico, todavía se está trabajando en ello. Nadie ha conseguido que ambas sean matemáticamente compatibles en el contexto del Modelo Estándar. Pero por suerte para la física de partículas, cuando se trata de la minúscula escala de las partículas, el efecto de la gravedad es tan débil que resulta insignificante. Solo cuando la materia está en grandes cantidades, por ejemplo, a la escala del cuerpo humano o de los planetas, el efecto de la gravedad domina. Por tanto, hasta el momento, la ciencia sigue aceptando el Modelo Estándar a pesar de su reticente exclusión de una de las fuerzas fundamentales.

3.1. Diagramas de Feynman

Los diagramas de Feynman (nombrados en honor al físico teórico Richard P. Feynman) se encuentran en casi todos los artículos publicados por ATLAS y son una herramienta poderosa para representar visualmente las interacciones de las partículas, así como para realizar cálculos complejos. Esta hoja de referencia cubre los conceptos básicos sobre la forma de leer los diagramas de Feynman,

tomando como ejemplo un posible modo de producción y desintegración de un bosón de Higgs en el LHC

Cada línea representa un tipo de partícula:

- una línea recta representa un fermión 
- una línea ondulada representa un fotón γ o un bosón W o Z 
- una línea rizada representa un gluón 
- una línea discontinua representa un bosón de Higgs 

Direccionalidad: generalmente, la dirección horizontal representa el tiempo y la dirección vertical representa el espacio. Las partículas entrantes están a la izquierda y las partículas salientes a la derecha. Las líneas de fermiones se dibujan con flechas, donde las líneas de partículas en estado inicial apuntan hacia el vértice y hacia afuera en su estado final. La dirección es opuesta para las antipartículas. Aunque esto parezca implicar que se mueven hacia atrás en el tiempo, preferimos considerar la dirección de las flechas como el flujo de carga (eléctrica).

Vértices: representan una interacción. Es necesario seguir ciertas reglas al conectar líneas en un vértice. Algunas de estas reglas son generales, como la conservación de la carga eléctrica y el momento, mientras que otras dependen de los detalles de la teoría. Este ejemplo muestra un bosón W que se descompone en un quark y un antiquark.

Partículas reales versus partículas virtuales: En la teoría diferenciamos entre partículas “reales” y “virtuales”. A diferencia de las partículas virtuales, las partículas reales obedecen a la conocida relación energía-momento-masa de Einstein. En cambio, las partículas virtuales solamente aparecen entre dos vértices en un diagrama y nunca pueden ser observadas experimentalmente. Se utilizan principalmente como herramientas de cálculo dependiendo del nivel de la interacción.