

# ¿MATERIA Y ANTIMATERIA TIENEN LAS MISMAS INTERACCIONES? LA VIOLACION DE CP EN EL MODELO ESTANDAR DE RELACIONES FUNDAMENTALES

Meza Sánchez Eva María (1), Delepine David Yves Ghislain (2)

1 Bachillerato General, ENMS “Centro Histórico León”, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: emeza\_jr@hotmail.com

2 Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: david\_delpine@hotmail.com

## Resumen

En el universo hay una asimetría entre materia y antimateria. La Materia que es explicada por el modelo estándar, el cual está compuesto por toda la información recabada en los últimos años. La respuesta a esta asimetrías es la violación de CP (carga y paridad) en la interacción nuclear débil, lo que pudo haber pasado milésimas de segundo después del Big Bang. Y así explicar cómo es que en el universo existe más materia que antimateria. Los datos arrojados por los experimentos aún nos dejan en busca de respuestas, en la Física más allá del modelo estándar.

## Abstract

In the universe there is an asymmetry between matter and antimatter. Matter that it is explained by the standard model, which is composed of all the information gathered in recent years. The answer to this asymmetry is the violation of CP (charge and parity) in the weak nuclear force, which could have happened thousandths of a seconds after the Big Bang. And explain how the universe exists in more matter than antimatter. The data collected from the experiments still leave us for answers in physics beyond the standard model.

## Palabras Clave

Interacciones, Violación CP, Antimateria, Asimetría, Simetría

## INTRODUCCIÓN

### Interacciones Fundamentales en el Modelo Estándar (SM)

Sabemos que el universo está construido de Átomos, la más pequeña expresión de la materia. Con el tiempo descubrimos que el átomo estaba construido de pequeñas partes, Protón, Neutrón, Electrón. ¿pero como esas pequeñísimas partes pueden estar unidas? ¿Que hace que no dispersen?

La respuesta aún no es una ley pero tenemos teorías: El Modelo Estándar.

“Modelo Estándar (SM) es una teoría que reúne todo el conocimiento de la construcción de todo lo que nos rodea. Cubre todos los conocimientos desde el descubrimiento del electrón (1897) hasta el descubrimiento del Quark top (1995). Esta teoría establece la existencia de cuatro fuerzas fundamentales así como partículas elementales que interactúan mediante estas fuerzas conformando el universo” [1]

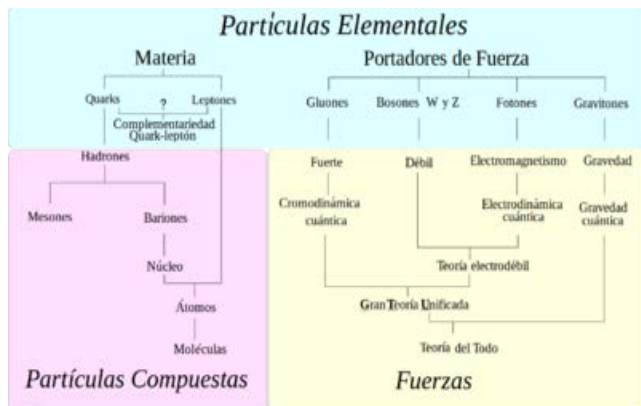


Figura 1.1 Composición del Modelo Estándar (SM) [4]

Ahora sabemos que una de las partes fundamentales de nuestra composición se basa en la existencia de partículas y fuerzas que se mezclan para formar esos diminutos átomos que forman las más hermosas formas de expresión de la materia.

### Partículas Fundamentales:

En la materia tenemos partículas que forman parte de todo lo que existe, las partículas que reaccionan con las fuerzas son básicamente Leptones, Fotones y Quarks.

Leptones y Quarks son partículas verdaderamente elementales, en el sentido de que no poseen estructura interna.

Las partículas que tienen estructura interna se les llaman hadrones; están constituidas por quarks: bariones, tres quark, y mesones, un quark y un antiquark.

Leptones; hay seis siendo el más conocido el electrón, muón, tau, neutrino del electrón, neutrino del tau, neutrino del muón. Y seis Quarks [Quark up (u), quark down (d), quark charm (c), quark extraño (s), quark bottom (b) y quark top (t). los Quarks poseen una cualidad llamada color y cada uno existe en tres colores (rojo, verde, azul)

| Tres generaciones de la materia (fermiones) |  |  |   |
|---|--|--|---|
|   | I  | II                                       | III                                       |
| masa →                                      | 2.4 MeV                                      | 1.27 GeV                                 | 171.2 GeV                                 |
| carga →                                     | $\frac{2}{3}$                                | $\frac{2}{3}$                            | $\frac{2}{3}$                             |
| espín →                                     | $\frac{1}{2}$                                | $\frac{1}{2}$                            | $\frac{1}{2}$                             |
| nombre →                                    | <b>u</b><br>arriba                           | <b>c</b><br>encanto                      | <b>t</b><br>cima                          |
|   |  |  | <b>γ</b><br>fotón                         |
|   | 4.8 MeV                                      | 104 MeV                                  | 4.2 GeV                                   |
|   | $-\frac{1}{3}$                               | $-\frac{1}{3}$                           | $-\frac{1}{3}$                            |
|   | $\frac{1}{2}$                                | $\frac{1}{2}$                            | $\frac{1}{2}$                             |
| <b>Quarks</b>                               | <b>d</b><br>abajo                            | <b>s</b><br>extraño                      | <b>b</b><br>fondo                         |
|   |  |  | <b>g</b><br>gluón                         |
|   | <2.2 eV                                      | <0.17 MeV                                | <15.5 MeV                                 |
|   | 0  | 0  | 0   |
|   | $\frac{1}{2}$                                | $\frac{1}{2}$                            | $\frac{1}{2}$                             |
|   | <b>ν<sub>e</sub></b><br>neutrino electrónico | <b>ν<sub>μ</sub></b><br>neutrino muónico | <b>ν<sub>τ</sub></b><br>neutrino tauónico |
|   |  |  | <b>Z<sup>0</sup></b><br>bosón Z           |
| <b>Leptones</b>                             | 0.511 MeV                                    | 105.7 MeV                                | 1.777 GeV                                 |
|   | -1   | -1                                       | -1  |
|   | $\frac{1}{2}$                                | $\frac{1}{2}$                            | $\frac{1}{2}$                             |
|   | <b>e</b><br>electrón                         | <b>μ</b><br>muón                         | <b>τ</b><br>tauón                         |
|   |  |  | <b>W<sup>±</sup></b><br>bosón W           |
|   |  |  | <b>Bosones de gauge</b>                   |

### *Interacciones Fundamentales:*

- *Fuerza Gravitacional*
- *Fuerza Electromagnética:*

Esta es de orden  $10^{38}$  veces mas intensa que la gravitatoria. La experimentan todas las partículas que tienen carga eléctrica. Hay dos modalidades de carga y por lo tanto esta interacción puede ser atractiva o repulsiva y es de largo alcance. El bosón intermediario es el **Fotón** que tiene espín 1 y no tiene masa. La mayoría de los objetos macroscópicos son neutros, lo que explica porque las interacciones gravitatorias son las que dominan en la escala astronómica. La interacción electromagnética es perceptible principalmente en la escala atómica. [2]

- *Fuerza Nuclear Débil:*

Es de corto alcance, aproximadamente su alcance es de  $10^{-3} fm$ , donde  $1 fm = 10^{-15} m$ . Esta es la responsable de la inestabilidad del neutrón y de algunos de los decaimientos radiactivos que provienen de los núcleos del átomos, como las desintegraciones  $\beta$ . Esta interacción es experimentada por todas las partículas de espín semi-entero, es decir por todos los fermiones. Los **bosones** intermediarios masivos responsables de esta interacción son los  $W^+$ ,  $W^-$  y el  $Z^0$ , los dos primeros tienen masas de orden de  $79.31 GeV$  y el ultimo de orden de  $91.175 GeV$ . Esta interacción de el orden de  $10^{34}$  mas intensa que la gravitatoria.[2]

- *Interacción Nuclear Fuerte:*

Esta es atractiva y de corto alcance. Esta interacción es el orden de  $10^{40}$  veces mas intensa que la gravitatoria. Los bosones intermediarios son los gluones, partículas de espín 1, y con la propiedad llamada carga de color que también tienen los quark. Esta interacción es experimentada únicamente por los Quarks y los gluones mismos. La teoría de estas interacciones se llama Cromodinámica Cuántica. En esta se tiene o se espera tener la propiedad llamada confinamiento que se dice que la interacción nuclear fuerte une a las partículas en combinaciones sin color y esto

impide que los quarks o gluones se vean a un solo Gluon o Quark aisladamente pues tienen color. Otra propiedad indicada por la teoría es la libertad asintótica que significa que a energías bajas la interacción nuclear es fuerte pero a energías altas se hace débil y por lo tanto los quarks y gluones son casi libres a distancias cortas. Experimentos a muy altas energías confirman esta hipótesis.[2]

- *Simetría CP*

El descubrimiento de que las interacciones débiles no conservan la paridad ni la conjugación de carga separadamente condujo a una teoría cuantitativa que establecía la combinación CP como una combinación de la naturaleza. Un ejemplo de ello sería la obtención de un antineutrino derecho a partir de un neutrino izquierdo. La simetría CP se basa en la composición de la simetría C y la simetría P. La primera afirma que las leyes de la física serían las mismas si se pudiesen intercambiar partículas con carga positiva o negativa. La simetría P dice que las leyes de la física permanecerían inalteradas bajo inversiones especulares, es decir, el universo se comportaría igual que su imagen espejo. La simetría CP es la suma de ambas.

La interacción fuerte, la gravedad y el electromagnetismo tienen simetría CP, pero no así la interacción débil, lo cual se manifiesta en ciertas desintegraciones radioactivas. Es decir, el Lagrangiano que describe las interacciones fuertes, electromagnéticas y gravitacionales son invariantes al respecto a transformaciones matemáticas asociadas con la simetría C y P. [3]

En el universo hay hermosas simetrías que constituyen todo lo que hoy conocemos. Hasta hace unos años creíamos que materia y antimateria se encontraban en perfecto balance, ambas en un equilibrio eterno. Pronto descubrimos que hay una asimetría que permite nuestra existencia, comprobamos que al instante en el que materia y antimateria se aniquilan mutuamente y convierten su masa total en una cantidad equivalente de energía.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El hombre inmerso en la curiosidad de conocer su entorno, la belleza ensordecidora de su universo, se ensaña en conocer y explicar ¿cómo es que hay un desbalance en materia y antimateria? ¿Cual es la razón de nuestro mundo? Todo parece un sueño y como es que aun ¿no nos aniquilamos?

Se han generado diversas hipótesis, buscando completar el Modelo Estándar (SM). Siendo de las mas relevantes la violación CP (la condición de Sakharov 1967).

### Violacion CP

El cosmos es el limite y lo es todo, ahora tenemos una forma de explicarlo. La violación CP es la respuesta a lo que pudo haber sucedido milésimas de segundo después de Big Bang.

#### Descubrimiento de la violación CP

La simetría CP fue asumida como exacta hasta 1964. En ese año, James Cronin y Val Fitch del Brookhaven National Laboratory descubrieron una ligera anomalía en el decaimiento del meson  $K^0$  que ponía en manifiesto que la simetría CP fallaba, o en otras palabras se producía una violación de CP. Por este descubrimiento Fitch y Cronin recibieron el premio nobel de Fisica en 1980.

Los efectos directamente observables para la violación son extremadamente sutiles, y no fueron descubiertos hasta 1999 en experimentos con mesones K en el CERN y en FermiLab (EEUU)

#### Teorema CPT

La teoría cuántica de campos tiene cimientos fuertes uno de ellos es la unión en el teorema CPT. Conjugación de carga, paridad e inversión de tiempo combinadas para crear una simetría exacta de todos los tipos de interacciones fundamentales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de estudiar las formas en las que la materia se relaciona, y forma lo que conocemos

solo nos queda una pregunta por aclarar. ¿En que momento es en el cual la materia viola las condiciones que ya creemos comprender?

La violación de CP es única en la interacción débil y es ahí donde se demostró.

Una medición de violación de CP podría ser definido como la diferencia de probabilidad de decaimiento de una partícula en un estado final  $f$  y la antipartícula en un estado final  $anti-f$ . Mejor conocida como "asimetría CP,  $A_{CP}$ " este tipo de violación ocurre cuando  $|A_f/A_{anti-f}| \neq 1$ . Las condiciones para tener ese tipo de violación es dos procesos que contribuyan a  $A_f$  y ambas tengan fases débiles (que violen CP) y fases fuertes (que conserven CP)

$$A_{CP} = \frac{|A_f|^2 - |A_{\bar{f}}|^2}{|A_f|^2 + |A_{\bar{f}}|^2}$$

Donde:

$$A_f = A_0 e^{i(\delta_0 + \alpha_0)} + A_1 e^{i(\delta_0 + \alpha_1)}$$

$$A_{\bar{f}} = A_1 e^{i(\alpha_1 - \delta_1)} + A_0 e^{i(\alpha_0 - \delta_0)}$$

Las  $A_0$  &  $A_1$  son reales, con  $\delta$  0,1 las fases débiles y  $\alpha$  0,1 las fases fuertes. es decir bajo una transformación de CP, las fases débiles cambian de signo pero asi no las fuertes.

Resultando:

$$A_{CP} = \sin(\delta_0 - \delta_1) \sin(\alpha_0 - \alpha_1)$$

Esto quiere decir que si la simetría CP se conservara, la diferencia de probabilidades de que una partícula decaiga hasta un estado final es cero. Como lo podemos ver de la ultima ecuacion, para tener una violacion de CP observable necesitamos interacciones diferentes entre particulas e antiparticulas (fases debiles diferentes entre ellas) y necesitamos fases fuertes diferentes que conservan CP. De alla, se puede entender la dificultad de tener observables de violacion de CP..

## CONCLUSIONES

La violacion de CP fue confirmada en las observaciones de 1964. Desde entonces, se ha medido muchos mas canales de decaimientos

donde se pudo observar violación de CP. En el modelo estándar, toda la violación de CP depende de un solo parámetro. Con la acumulación de datos experimentales, se espera ver algo que no puede explicar el modelo estándar. Eso significaría la existencia de una quinta fuerza y de física nueva, lo que llamamos Física más allá del modelo estándar.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no se habría realizado sin el apoyo, comprensión y paciencia de mi familia, así mismo las clases magistrales y consejos del Dr. Delepine una guía en el complejo mundo de la física de partículas. A los Doctores del departamento de física de DCI, Selim Gómez, Benjamín Jaramillo y Juan Barranco, siempre dispuestos a resolver dudas y ofrecernos consejos. El apoyo de mi Asesor Fernando Torres, siempre presente. Y no menos importante la gran Universidad de Guanajuato, quien sin esta oportunidad no habría sido posible.

## REFERENCIAS

- [1] The rise of the standard model: a history of particle physics from 1964 to 1979.  
hoddeson, I.(1997). The rise of the standard model: a history of the particle physics from 1964 to 1979. (1st ed) cambridge: cambridge university press.
- [2] Partículas elementales y las interacciones básicas  
mendez, rosa maría. (2002). Partículas elementales y las interacciones básicas. coordinación de servicios editoriales. facultad de ciencias, UNAM.
- [3] El electrón es zurdo y otros ensayos científicos  
asimov, isaac (2005) El electrón es zurdo y otros ensayos científicos. alianza.
- [4]<https://www.google.com.mx/url?sa=i&source=images&cd=&ved=0ahukewibxpthifbnahud3sykhajfc4eqjb0ibg&url=https%3a%2f%2fjoseantoniomartin.wordpress.com%2f2013%2f03%2f&psig=afqjcneltxh7y cdx8vd6iwynba4vsp4m1g&ust=1468692900736909&rct=j>
- [5][https://es.m.wikipedia.org/wiki/archivo:standard\\_model\\_of\\_elementary\\_particles-es.svg](https://es.m.wikipedia.org/wiki/archivo:standard_model_of_elementary_particles-es.svg)