

Violación de CP

Mayra Sánchez Ramírez (1), David Yves Ghislain Delepine(2), Elvia Tomasa Sosa Vergara(3).

1 Bachillerato general, Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: maysanzrmz@outlook.com

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

3 Colegio de Nivel Medio Superior, Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: elviatsv@yahoo.es

Resumen

La violación de CP, es un fenómeno que en cosmología se relaciona con la asimetría de materia y antimateria en el Universo. En el presente artículo, se presentará un concepto ampliamente general del tema, iniciando así, con la explicación de lo que es el Modelo Estándar de Partículas o SM por sus siglas en inglés y cuál es su relación con violación de CP. El cual explica las bases para la comprensión de todo lo que nos rodea, en él se ven involucradas cuatro fuerzas y dos grupos fundamentales de partículas, de los cuales nos interesa más la fuerza nuclear débil y los quarks, debido a que violación de CP es únicamente observada en interacciones débiles y su origen tiene estrecha relación con la matriz de mezcla de quarks. Teniendo un seguimiento desde lo más simple a lo que significará para nosotros lo más complejo y esencial del tema Violación de CP.

Abstract

CP violation is a phenomenon in cosmology related with the asymmetry of matter and antimatter in the universe. In this article, a widely general concept of the subject is presented, initiating, with the explanation of what is the Standard Model of Particle or SM and what is its relation with CP violation. Which explains the basis for the understanding of all around us, it are involved four forces and two main groups of particles, which interests us the weak force and quarks, because CP violation is only observed in weak interactions and its origin is closely related to the quark mixing matrix. Having followed from the simplest to what it will mean for us the most complex and essential issue of CP Violation.

Palabras Clave

Modelo estándar de partículas ; Fuerza nuclear débil ; Quarks ; Asimetría.

INTRODUCCIÓN

Modelo estándar (EM)

Para la comprensión e interpretación de nuestro entorno, se han generado a lo largo de la historia un gran número de modelos y teorías, como por ejemplo el Modelo estándar de partículas.

“El modelo estándar de partículas es una teoría que reúne todo el conocimiento de la construcción

de lo que nos rodea, es decir de la más diminuta conformación de la materia. Se podría decir que reúne datos científicos desde el descubrimiento del electrón (1897) hasta el descubrimiento del quark top (1995). Sin embargo la idea de una teoría que reuniera todo este tipo de información comenzó a desarrollarse a inicios 1970. En esta teoría se establece la existencia de cuatro fuerzas fundamentales así como de partículas elementales las cuales interactúan mediante estas fuerzas conformando el Universo. ” [1]

Partículas fundamentales

Las partículas elementales conforman toda la materia del Universo y son básicamente dos tipos: leptones y quarks. Otro tipo son los bosones que actúan como partículas “vehículos de fuerza”.

Quarks: existen seis tipos de quarks a los que también se les conoce como sabores de quark. Cada tipo de quark tiene su antipartícula correspondiente, y hay tres clases o colores diferentes dentro de cada quark o antiquark. Los quarks pueden ser rojos, azules o verdes, mientras que los antiquarks pueden ser antirrojos, antiazules o antiverdes. Los colores de los quarks y antiquarks representan una propiedad cuántica. La partícula vehículo de la fuerza entre quarks se denomina gluón. Los quarks ocupan un papel importante en la Violación de CP pues son elementos de la matriz de mezcla de quarks CKM, la única fuente (observable) de violación de CP. [2]

Fuerzas fundamentales

Las fuerzas fundamentales son el mecanismo mediante el cual las partículas interactúan.

Fuerza nuclear fuerte

Fuerza electromagnética

Fuerza nuclear débil → La interacción débil es responsable de un tipo de radiactividad de algunos átomos, por ejemplo, desintegración beta - división espontánea de un neutrón en un protón, un electrón y un anti-neutrino. Es la única interacción capaz de cambiar su sabor. Es la única interacción que viola la paridad de la simetría P (ya que sólo actúa sobre electrones, muones y tauones de izquierdas). Esta es también la única que viola la simetría CP.

Modelo estándar y violación de CP

Estos modelos (como el EM) se generan a partir de la curiosidad del hombre, a demás de encontrarse inmerso en el mundo del descubrimiento se ha generado un concepto de belleza en la ciencia, como son las simetrías que persisten en toda la naturaleza, así como en las leyes de la física, algo que mantiene ocupado a los científicos hoy día, es el misterio de la existencia de mayor cantidad de materia que antimateria, para dar razón a este hecho, se han originado diversas hipótesis, una de las más relevantes es la Violación de CP (condición de Sakharov 1967) la

cual podría dar respuesta a uno de los misterios más controversiales de la ciencia y ser una pieza fundamental que complete el modelo estándar.[4]

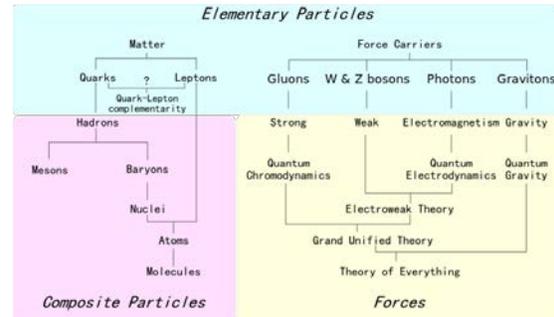


Fig. 1.1 Estructura del Standard Modelo

MATERIALES Y MÉTODOS

La violación CP es un fenómeno muy importante para la cosmología, ya que podría explicar por qué en la composición del Universo hay más materia que antimateria, una de las incógnitas teóricas en física. Se puede demostrar que la relación entre materia y antimateria que se observa pudo haber sido producida por el efecto de violación de CP durante las primeras fracciones de segundo luego del Big Bang.

Antecedentes históricos

- *Descubrimiento de la violación de Paridad*

La ley de conservación de la paridad postula que respeta la gravitación clásica y el electromagnetismo; se asume que la ley de conservación de la paridad es una ley universal. Sin embargo, a mediados de los años 1950, Chen Ning Yang y Tsung-Dao Lee sugirieron que la interacción débil podría violar esta ley. En el año 1957, la violación de esta simetría fue confirmada en el experimento de C. S. Wu, analizando el proceso de decaimiento β débil de núcleos polarizados de cobalto, revelando de paso que la simetría de conjugación de carga era también violada.

- *Descubrimiento de la violación de CP*

A pesar de que paridad y conjugación de carga fueran simetrías violadas por la interacción débil por separado, se pensó que la transformación combinada CP, ésta seguiría conservándose. Los físicos tuvieron una nueva sorpresa cuando en 1964, James Cronin y Val Fitch encontraron una

evidencia clara en una desintegración de un kaón, de que la simetría CP también podía ser rota. Gracias a este descubrimiento ganaron el premio Nobel de Física de 1980. A diferencia de la violación de la paridad, la violación CP tiene efectos muy pequeños.

Simetrías discretas (mecánica cuántica)

Las leyes de la naturaleza siguen siendo las mismas si se las mira con un espejo de reflexión. Es de esperar que los resultados de un experimento observado a través de un espejo sean idénticos a los resultados en una copia de otro espejo reflejado de un aparato experimental. A esto se le conoce como simetría y una simetría discreta es aquella que no depende de un parámetro continuo, como es una rotación o traslación por ejemplo.

En mecánica cuántica existen simetrías asociadas a transformaciones discretas, entre las cuales están: la inversión espacial (P), la conjugación de carga (C) y la inversión temporal (T). Hasta ahora, no se han observado violaciones de éstas simetrías en las interacciones electromagnéticas y fuertes.

- **Paridad**

Al aplicar la operación de inversión espacial sobre una partícula con posición x se obtiene

$$P|x\rangle = P|-x\rangle$$

Donde P es la paridad intrínseca de la partícula, la cual depende la estructura interna de la partícula y en general se determina experimentalmente.

P puede tomar los eigenvalores ± 1 . Para una partícula con helicidad definida s , el operador P invierte la helicidad. En física de partículas, la helicidad es una magnitud física asociada al espín, es decir, la proyección del espín sobre la dirección de momento. La paridad no cambia el espín.

- **Conjugación de carga**

Conjugación de carga: La operación de conjugación de carga consiste en cambiar partículas por antipartículas, así como también los otros números cuánticos aditivos como el número bariónico, número leptónico o la extrañeza.

- **Inversión temporal**

La inversión temporal transforma a los operadores posición y momento.

Simetría CP

El descubrimiento de que las interacciones débiles no conservan ni la paridad ni la conjugación de carga separadamente condujo a una teoría cuantitativa que establecía la combinación CP como una simetría de la Naturaleza. Un ejemplo de ello sería la obtención de un antineutrino derecho a partir de un neutrino izquierdo.

- **Teorema CPT**

En este teorema, considerado uno de los pilares de teoría cuántica de campos, conjugación de carga, paridad e inversión temporal son aplicadas todas juntas y, combinadas, estas simetrías constituyen una simetría exacta de todos los tipos de interacciones fundamentales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de observar la violación de las simetrías C y P por separado y concluir mediante el teorema CPT que esa era la única simetría invariante, se obtuvo que la violación de CP es un fenómeno único en la interacción débil y se demostró la violación de CP.

Concluyentemente una medición de la Violación CP podría ser definido como la diferencia de probabilidad de decaimiento de la partícula en un estado final f y de la anti-partícula en un estado final anti- f . Esta cantidad se llama asimetría de CP, A_{CP} (también llamada asimetría de CP directa). Este tipo de violación ocurre cuando $|A_f/A_{anti-f}| \neq 1$. Las condiciones para tener este tipo de violación de CP es que haya al menos dos procesos que contribuyan a A_f (Aantif) y que ambas contribuciones tengan fases débiles (que violan CP) y fases fuertes (que conservan CP) diferentes. Las fases débiles tienen su origen en las interacciones débiles cargadas (CKM), mientras que las fases fuertes se originan en la dispersión de las partículas en el estado final f .

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

Donde:

$$A_f = A_0 e^{i(\delta_0 + \alpha_0)} + A_1 e^{i(\delta_1 + \alpha_1)}$$

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

Las A_0 & A_1 son reales, con δ 0,1 las fases débiles y α 0,1 las fases fuertes. Es decir, bajo una

transformación de CP, las fases débiles cambian de signo, pero no las fases fuertes.

Dando como resultado:

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

Esto quiere decir que si la simetría CP se conservara, la diferencia de probabilidades de que una partícula o antipartícula decaiga en estado final es igual a cero.

Estas fases débiles que violan CP tienen su origen en la matriz CKM, la cual describe la mezcla de las generaciones de quarks y el parámetro unitario de correspondiente a la violación de CP. Hoy en día, el mecanismo de CKM puede considerarse, sino la única, al menos como la fuente dominante de la violación CP en la física de partículas elementales a bajas energías.

$$V_{CKM} = V_{uL}^\dagger V_{dL}$$

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix}$$

El mecanismo de Violación de CP (Kobayashi-Maskawa 1992), propuso; una explicación audaz para la violación de CP en el decaimiento de Kaones. La violación CP aparece sólo en la corriente cargada interacción débil de los quarks. Hay una sola fuente de violación CP: la fase compleja en la matriz de acoplamiento entre quarks. Una parametrización explícita derivada por Kobayashi y Maskawa es:

$$V = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & -s_2 \\ 0 & c_2 & c_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 & -s_1 & 0 \\ s_1 & c_1 & 0 \\ 0 & 0 & e^{i\delta} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_3 & s_3 \\ 0 & s_3 & -c_3 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} c_1 & -s_1 c_3 & -s_1 s_3 \\ s_1 c_2 & c_1 c_2 c_3 - s_2 s_3 e^{i\delta} & c_1 c_2 s_3 + s_2 c_3 e^{i\delta} \\ s_1 s_2 & c_1 s_2 c_3 + c_2 s_3 e^{i\delta} & c_1 s_2 s_3 - c_2 c_3 e^{i\delta} \end{pmatrix}$$

Donde $c_i = \cos \theta_i$ y $s_i = \sin \theta_i$, y θ_i , son los 3 ángulos de Euler y δ es la fase que viola CP. [5]

CONCLUSIONES

La invariancia o violación de CP, ha sido un objeto de estudio muy importante en la comunidad científica, ya que podría dar respuesta a teorías de bariogénesis. Esa es la razón por la que es sumamente importante llevar a cabo diversas comprobaciones experimentales. De esta manera es considerado un fenómeno pieza fundamental del EM casi al nivel del descubrimiento del bosón

de Higgs. Actualmente se sigue buscando asimetrías de CP en otras interacciones, impulsando a la comunidad científica a dar conocimiento de este fenómeno reducidamente divulgado.

AGRADECIMIENTOS

En la presente sección deseo dar reconocimiento por la colaboración de los que hicieron posible la publicación de este artículo, me dirijo primeramente a mi máxima casa de estudios, la Universidad de Guanajuato, por impulsar y a apoyar a jóvenes entusiastas a sumergirse en la ciencia con el programa de Verano de Investigación, en segundo título menciono a mi asesor el Dr. David Delepine, quien me instruyó a lo largo de mi estancia de verano y me compartió sus conocimientos, también agradezco a mi asesora de CNMS Lic. Elvia Sosa, por dar seguimiento a mi proyecto de investigación, finalmente agradezco a mi familia, amigos y compañeros de estancia con los que colaboré durante el verano.

REFERENCIAS

- Libro:** [1] The Rise of the Standard Model: A History of Particle Physics from 1964 to 1979
Hoddeson, L., (1997). The Rise of the Standard Model: A History of Particle Physics from 1964 to 1979 (1st ed.) Cambridge: Cambridge University Press.
- Libro:** [2] An Introduction to the Standard Model of Particle Physics
Apellidos, A. A. (Año). Título. Ciudad: Editorial. Ejemplo: Cottingham, W.N., Greenwood, D.N. (2007). An Introduction to the Standard Model of Particle Physics (1st ed.) Cambridge: Cambridge University Press.
- Libro:** [3] Fundamental Forces of Nature: The Story of Gauge Fields
Huang, K., (2007). Fundamental Forces of Nature: The Story of Gauge Fields
(1st ed.) Singapur: World Scientific
- Libro:** [4] Uncovering CPviolation: experimental violation classification in the neutral K meson an B meson systems
Kleinknecht, K., (2003). Uncovering CPviolation: experimental violation classification in the neutral K meson an B meson systems (Springer tracts in modern physics), Berlin: Springer -Verlag.
Capítulo de libro
Kleinknecht, K., (2003). CP Violation. En K. Konrad (Ed.), Uncovering CPviolation: experimental violation classification in the neutral K meson an B meson systems (Springer tracts in modern physics), (pp. 25-40).
Berlin: Springer-Verlag
- Libro:** [5] Review of Particle Physics
Olive, K.A., (2014). Review of Particle Physics.(10 ed.) California: Particle Data Group.