

DARKOGÉNESIS

David Hernández Uriostegui(1), David Yves Ghislain Delepine(2)

1 [Bachillerato General, Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato, Colegio de Nivel Medio Superior, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [d.hernandezuriostegui@ugto.mx]

2 [Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Campus Leon, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [delepine@ugto.mx]

Resumen

La bariogénesis y el sector oscuro del Universo son actualmente grandes enigmas para las ramas de la cosmología y la astrofísica. Según lo contemplado en la teoría, tras el Big Bang debería de haber la misma cantidad de materia que antimateria, dicha igualdad significaría que nuestro universo sería hostil e inestable pues materia y antimateria se aniquilan generando energía, pero en algún momento debió haber una sobreproducción de materia sobre antimateria lo cual nos llevó al Universo que conocemos hoy en día y al problema de la bariogénesis. Por otra parte las funciones de la materia oscura y energía oscura. Sobre la materia oscura se estudió los posibles candidatos que han sido propuestos por varias investigaciones publicadas en libros así como su función en la formación de galaxias, lo que corresponde a la energía oscura se puede decir, según lo propuesto es una fuerza que provoca el Universo vaya expandiéndose de una manera acelerada. Lo que se buscó en este Verano de Investigación fue la relación entre asimetría barionica y el sector oscuro.

Abstract

The baryogenesis and the dark sector of the Universe are currently great enigmas for the branches of cosmology and astrophysics. As contemplated in the theory, after the Big Bang should have the same amount of matter as antimatter, this equality would mean that our universe would be hostile and unstable because matter and antimatter are annihilated generating energy, but at some point there must have been an overproduction of matter on antimatter which led us to the Universe we know today and the problem of baryogenesis. On dark matter we studied the possible candidates that have been proposed by various investigations, as well as their function in the formation of galaxies, which corresponds to dark energy can be said, as proposed is a force that causes the Universe to expand in an accelerated way. What was sought in this Summer of Research was the relationship between barionic asymmetry and the dark sector.

Palabras Clave

Bariogénesis, asimetría, materia oscura, energía oscura, materia, antimateria

INTRODUCCIÓN

Bariogénesis[1][6]

Se conoce como bariogénesis al fenómeno que causó una mayor cantidad de bariónes que de antibariónes en los primeros instantes del universo, es decir, más materia que antimateria. El fenómeno de la bariogénesis surgió gracias a el físico Paul Dirac, quien descubrió una ecuación para la descripción del electrón a una partícula con las mismas características, pero con carga eléctrica opuesta: el positrón. Después se descubriría físicamente y, por lo tanto, se daría paso a definir la antimateria. Sin embargo, se observó que las partículas y antipartículas se aniquilan entre sí mismas, liberando cantidades enormes de energía. De ahí se dedujo que la materia no puede interactuar libremente con la antimateria. Además se obtuvo que ambas partes debían de ser creadas en la misma cantidad, pues las teorías del momento indicaban que a cada partícula le corresponde una antipartícula. El problema comienza al analizar las cantidades de materia–antimateria en el universo:

$$B = \frac{\eta_b - \eta_{-b}}{\eta_\gamma} \approx 6 \times 10^{-10}$$

- B es la Asimetría bariónica, η_b es la densidad de bariónes, η_{-b} es la densidad de antibariónes y η_γ la densidad de fotones

Con este resultado se puede observar aun que sea una pequeña asimetría entre materia/antimateria. Debido a este resultado surgió la incógnita de por qué hay más materia que antimateria en el Universo.

Inflación[2][7]

La inflación fue por primera vez propuesta por el físico y cosmólogo estadounidense Alan Guth en 1981. La inflación es un periodo de expansión acelerada que probablemente ocurrió en algún momento anterior a un picrosegundo (10^{-12} s) en el que el universo creció en un factor de al menos de 10^{30} . Para poder explicar la asimetría de la materia y anti-materia se necesita estudiar el proceso de inflación del Universo, un proceso que pasó poco después del comienzo del Universo durante el cual el Universo se expande a una velocidad muy rápida. La teoría habla de que después de que sucedió el Big Bang el Universo se expandió debido a la acción de una partícula llamada inflatón. Durante este periodo inflacionario, había suficiente energía como para crear grandes partículas que después decayeron en otras. Cuando el universo se enfrió ya no hubo suficiente energía para formar esas enormes partículas pero estas siguieron decayendo en otras de menor masa.

Materia oscura[1][3][8]

La materia oscura es un tipo materia que no emite ni reflejan luz y no pueden ser observada mediante la radiación electromagnética. Aún no se sabe muy bien lo que es este tipo de materia, pero ocupa un 23% del Universo.

Para poder ser candidatos a materia oscura deben cumplir las siguientes condiciones: deben interactuar muy débilmente con la radiación electromagnética y deben ser estables en escalas de tiempo cosmológicas. Hay varios candidatos como los Axiones, WIMPs (Weakly Interactive Massive Particles), Agujeros Negros primordiales, Neutrinos y los MACHOs (Massive Compact Halo Objects), pero aún no se sabe con exactitud la naturaleza de la materia oscura.

Este material es el responsable de proveer atracción gravitacional que junta a los objetos como las galaxias para que se formen y que se queden juntas una vez que se hayan formado. Aunque no se conozca mucho sobre la naturaleza de esta materia la suposición más habitual es que la materia oscura está formada de partículas fundamentales de la Naturaleza, cuyas propiedades son tales que no interactúan con la materia normal.

La primera evidencia de materia oscura fue el estudio de rotación de las galaxias[9]:

En 1933, Fritz Zwicky observó un grupo de galaxias llamado Cumulo de Coma. La gravedad es la fuerza que mantiene a las galaxias en órbita juntas, de modo que mientras las dos galaxias más rápidas orbitan entre sí, más fuerte debe ser la atracción gravitatoria para que permanezcan juntas. A medida que aumenta la masa de las galaxias, el efecto de la atracción gravitatoria entre estos dos cuerpos también aumentará. Zwicky calculó la masa de galaxias en función de su velocidad orbital, sin embargo, descubrió que no contenían suficiente masa visible para proporcionar la suficiente gravedad como para mantenerlas unidas. Debido a esta observación, él propuso la 'Materia oscura', como una explicación para las galaxias que se movían demasiado rápido también para permanecer en el grupo.

Energía oscura [4]

Actualmente uno de los grandes problemas de la cosmología y astrofísica es saber que es la energía oscura. Se sabe que es el material que más abundancia tiene en el Universo, el 69% del Universo está formado por energía oscura. Varias investigaciones sugieren que esta energía es la responsable de la expansión acelerada del Universo.

El primer modelo de aceleración del Universo fue propuesto por Einstein publicado en su teoría de la relatividad general. Este modelo describe un Universo dominado por una constante cosmológica. La constante cosmológica fue propuesta como un mecanismo para obtener una solución de la ecuación del campo gravitacional que conduciría a un universo estático, utilizando de manera efectiva la energía oscura para equilibrar la gravedad.

Una de las evidencias más claras es la supernovae[4], la cual al estudiarla se pudo saber que la aceleración del Universo no estaba disminuyendo como algunos científicos lo habían propuesto, si no esta estaba aumentando y todo parece indicar que es gracias a la energía oscura. Antes de finales de la década de 1990, los cosmólogos habían supuesto que la expansión del universo debería ser constante a lo largo del tiempo o disminuir. Pero luego, un equipo dirigido por Saul Perlmutter y otro equipo liderado por Adam Riess y Brian Schmidt notaron que la tasa de expansión del universo ha ido en aumento.

La expansión del universo hace que la luz de una supernova se desplace a longitudes de onda más largas cuando se observa en la Tierra. Este desplazamiento hacia el rojo le dice a los astrónomos qué tan rápido se estaba alejando de nosotros la supernova cuando ocurrió la explosión, lo que nos da la velocidad de la expansión del universo en ese momento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones de Sakharov[1][6][10]

Debido a la problemática de la asimetría barionica en 1967 el físico nuclear ruso Andrei Sakharov propuso 3 condiciones que debía cumplir un sistema para así provocar esta asimetría:

- **1) Violación del Número bariónico:** El número bariónico es un número cuántico que sólo poseen los bariones, y que debería mantenerse en cualquier tipo de reacción entre partículas. Aunque el modelo estándar considera la violación de la conservación del número bariónico, no ha habido evidencias que resulten en una violación de este tipo. Esta condición es muy importante ya que si el número bariónico se conserva y es igual a 0 al inicio mediante todas las interacciones posibles, entonces este no podría cambiar durante la vida del Universo, provocando que haya misma cantidad de materia que de anti-materia.
- **2) Violación de las simetrías C y CP:** Para poder explicar esta condición primero hay que definir a que se refieren estas simetrías
 - **Simetría C(carga):** Implica que un sistema permanece invariable si las cargas de sus partículas se invierte. Cambia el signo de la carga eléctrica y de los demás números cuánticos. Cambia partículas por antipartículas.
 - **Simetría P(paridad):** Implica que un sistema permanece invariable si se invierten las coordenadas. $(x,y,z) \rightarrow (-x,-y,-z)$
 - **Simetría CP(carga-paridad):** Esta simetría es una combinación de las 2 simetrías mencionadas anteriormente, establece que cualquier proceso que viéramos a través de un espejo, y en el que las partículas se cambiasen por sus antipartículas, sería equivalente al proceso original.
Lo interesante de CP es que nos dice que si una partícula se desintegra en otras partículas. La antipartícula tiene que hacer exactamente lo mismo pero en la “antidesintegración” (cambiando todas las partículas por las propias antipartículas y viceversa). En general, una partícula puede decaer de varias formas (siempre que se respeten las leyes de conservación). Así que su antipartícula decaerá de las mismas formas. La segunda condición puede definirse a que las leyes físicas que se aplican a la materia no pueden ser precisamente las mismas para la antimateria. Si estas fueran igual entonces cualquier cambio en el número bariónico debido a las interacciones de la materia sería cancelado por un igual y opuesto efecto de las interacciones de la anti-materia.
- **3) Interacciones fuera de equilibrio térmico :** Dentro de un sistema en equilibrio térmico, las operaciones que pueden dar lugar a una asimetría, pueden fácilmente regresar a la simetría inicial al darse el proceso inverso. La última condición nos dice que el ritmo de reacción que genera la asimetría bariónica debe ser menor que el ritmo de expansión del Universo. En esta situación las partículas y sus correspondientes antipartículas no alcanzan el equilibrio térmico debido a que la rápida expansión disminuye la probabilidad de sucesos de aniquilación de pares partícula-antipartícula.

Cuando el sector oscuro es responsable de originar la asimetría, estas condiciones se vuelven[5]:

- El sector oscuro debe proporcionar una desviación del equilibrio térmico
- La simetría global del sector oculto que estabiliza la materia oscura así como el número bariónico debe estar roto por uno o más procesos del sector oculto;
- Tanto C como CP deben ser violados en el sector oscuro. Después de que la asimetría es generada, debe ser redistribuida del sector oscuro al sector visible. El mecanismo que transfiere la asimetría al Modelo Estándar debe romper necesariamente el número bariónico, y puede ser perturbativo o no perturbativo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Para que pueda ocurrir una asimetría materia/antimateria a través del sector oscuro del Universo debe de haber ciertas condiciones similares a las propuestas por Sakharov, para luego de haberse dado en el sector oscuro se transfiera al sector visible de Universo.
- El sector oscuro del Universo todavía tiene muchos misterios por resolver por lo cual se puede esperar que en un futuro este tipo de investigaciones pueda ser desarrollada de una mejor manera pudiendo resolver el misterio de la asimetría bariónica así como el sector oscuro.

CONCLUSIONES

Aún no se tienen respuestas claras y precisas sobre los misterios de la asimetría de materia/antimateria y el sector oscuro del Universo, ya que al saber poco de la antimateria resulta difícil estudiarla y entenderla, es el mismo caso tanto con la materia oscura y la energía, al ser de difíciles de detectar es complicado saber su naturaleza y sus funciones, pero gracias al trabajo de muchos investigadores en un futuro no muy lejano podremos saber más sobre estos misteriosos componentes que conforman el 96% del Universo y así se podrá abrir camino a una nueva física.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a mi asesor el Dr. Delepine por toda la orientación que me brindó durante esta investigación, a la Dra. Claudia Erika Morales Hernández por haberme invitado a formar parte de los Veranos de Investigación Científica, a la División de Ciencias e Ingenierías por haberme permitido usar sus instalaciones, a la Universidad de Guanajuato por haberme permitido participar en este Verano de Investigación, a la Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato por brindarnos el apoyo a los estudiantes y a mis padres por haberme apoyado a lo largo de este Verano.

REFERENCIAS

- [1] Liddle, R. A. (2008). The Oxford companion to cosmology(1st edition), Londres: Oxford University Press
- [2] Peebles, P. J. E. (1993). Principles of Physical Cosmology(1st edition), Estados Unidos: Princeton University Press's Notable Centenary Titles
- [3] Bertone, G. (2010). Particle Dark Matter(1st edition), Londres: Cambridge University Press
- [4] Amendola, L. (2010) Dark Energy Theory and Observations)1st edition) Estados Unidos: Cambridge University Press
- [5] Shelton, J, Zurek, M. K. (2018) Darkogenesis. Recuperado de: <https://arxiv.org/pdf/1008.1997.pdf>
- [6] Mukhanov, V. (2005) Physical Foundations of Cosmology(2nd edition) Estados Unidos: Cambridge University Press
- [7] Ellis, J, Wands, D. (2017) Inflation. Recuperado de <http://pdg.lbl.gov/2018/reviews/rpp2018-rev-inflation.pdf>
- [8] Drees, M, Gerbier, G. (2017) Dark Matter. Recuperado de <http://pdg.lbl.gov/2018/reviews/rpp2018-rev-dark-matter.pdf>
- [9] Wikipedia (2018) Dark Matter. Recuperado de https://en.wikipedia.org/wiki/Dark_matter
- [10] Sicknexxt. (2016) Bariogénesis ¿por qué existimos?. Recuperado de <https://sicknexxt.wordpress.com/2010/11/26/bariogenesis-%C2%BFpor-que-existimos/>