

NO SE VE, PERO SE SIENTE, LA MATERIA OSCURA ESTA PRESENTE

CLAVE DEL PROYECTO: CIN2012A20248

CENTRO UNIVERSITARIO MÉXICO

INTEGRANTES:

- LUIS EDUARDO LÓPEZ GALLEGOS
- ANA CRISTINA MARTÍNEZ VILLASEÑOR
- JOSÉ MURGUÍA FUENTES
- JAVIER EDUARDO PASCACIO CHÁVEZ

ASESOR: JESUS FLOREZ TELLEZ

ÁREA: CIENCIAS FISICOMATEMÁTICAS Y DE LAS INGENIERÍAS

DISCIPLINA: FÍSICA

TIPO DE INVESTIGACIÓN: DOCUMENTAL

LUGAR: MÉXICO, DISTRITO FEDERAL

FECHA: 12 DE FEBRERO DEL 2013



RESUMEN

Las observaciones astronómicas que soportan la existencia de materia oscura y energía oscura son tan diversas y vienen de tantos frentes, que resulta imposible que el problema sea un error de tipo observacional.

La materia oscura es materia que no emite ni absorbe luz, y que además se revela a través de la fuerza gravitatoria de atracción que ejerce con los demás cuerpos. El concepto nació a partir de la observación del movimiento de las galaxias, que a pesar de que el universo se mantiene en una expansión acelerada, la velocidad de las galaxias se mantenía constante. El principal candidato son los WIMPS (por sus siglas en inglés, partículas masivas de interacción débil), que se pueden observar las interacciones que mantienen con la luz, curvándola y generando lentes gravitacionales.

La energía oscura es la fuerza de repulsión entre las galaxias, que domina el universo y es más intenso que la gravedad. Esta idea surgió a partir de las observaciones realizadas por Edwin Hubble de galaxias distantes estudiando el corrimiento al rojo de la luz que emiten. Las galaxias se alejan más a medida de que se va creando más espacio, aunque el tamaño de las galaxias permanece constante; cuanto más espacio se encuentre entre las galaxias, mayor será el efecto acumulativo de la energía oscura. Para la explicación de la expansión acelerada del universo se presentan (teóricamente) la Constante Cosmológica y (físicamente) la densidad de energía del vacío.

ABSTRACT

The astronomic observations that support the existence of dark matter and dark energy are so diverse and come from so many fronts, that turns out impossible that the problem is a mistake of observational type.



The dark matter is a matter that does not issue light nor absorb it either, and that in addition is revealed across the gravitational force of attraction that works with other bodies. The concept was born from observing the movement of galaxies, that in spite of the fact that the universe is kept in an intensive expansion, the speed of the galaxies was kept constant. The principal candidate are the WIMPS (for its initials in English, massive particles of weak interaction), that can observe the interactions that they keep with the light, curling it and generating gravitational lenses.

The dark energy is the force of repulsion between the galaxies, which dominates the universe and is more intense than the gravity. This idea arose from the observations realized by Edwin Hubble of distant galaxies, studying the landslide to the redshift of the light that they issue. The galaxies move away more, in proportion to the distance between them, though the size of the galaxies remains constant; the more space is between the galaxies, the accumulative effect of the dark energy will be bigger. For the explanation of the intensive expansion of the universe it would be presented (theoretically) the Cosmological Constant and (physically) the density of energy of the emptiness.

INTRODUCCIÓN

Los astrónomos han observado desde principios del siglo XX que las galaxias se alejan unas de otras, a partir del análisis del efecto Doppler de la Luz emitida por las estrellas que las componen, y que fundamentan las ideas sobre una posible expansión del Universo. Con el avance tecnológico se ha podido detectar que las galaxias, entre más alejadas están del observador tienen una mayor velocidad de desplazamiento, lo cual no puede ser explicado a partir de la cantidad de materia visible y energía medible en el horizonte visible por los astrónomos.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las predicciones sobre la cantidad de materia que forman a algunas galaxias, a partir de la luz que emiten, arroja un cálculo menor de materia, al que se necesita para mantener su movimiento de rotación.

Estos hechos y otros más, generan la necesidad de proponer la hipótesis, de la existencia de una cantidad de materia y energía que no es visible o detectable, esto es oscura, que permita comprender la expansión del universo y el movimiento de galaxias y otros entes cósmicos.

Si la materia conocida hasta el momento, está constituida, por las partículas elementales que se proponen en el Modelo Estándar de la materia ¿Cuál será la composición de la Materia Oscura? y ¿cuáles son los fenómenos que están relacionadas a nivel cosmológico, con esta Materia Oscura?

HIPÓTESIS

Si consideramos válido El Principio de Uniformidad de la Ciencia que nos indica que las causas que produce un fenómeno en un lugar del Universo, se produce uniformemente en cualquier otro lugar, tanto en el pasado como en el futuro, del Universo, entonces bajo este principio la Materia Oscura tendrá que estar constituida por las partículas que incluye el Modelo Estándar de la Materia y no por un tipo de materia extraordinaria o desconocida.

OBJETIVO GENERAL

Realizar una investigación documental sobre los modelos cosmológicos que permiten comprender la existencia de la Materia Oscura y la Energía Oscura.



OBJETIVO ESPECÍFICO

Esclarecer a partir de las investigaciones más recientes de los astrónomos, cuales son las partículas, incluidas en el Modelo Estándar de la materia, constitutivas de la Materia Oscura.

Sintetizar los modelos de expansión del universo que se presentan ante las últimas observaciones a partir de los distintos marcos que se introducen de la Energía Oscura.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

- I. Se realizará una investigación bibliográfica y hemerográfica:
 - 1) De los modelos cosmológicos del origen y evolución del Universo desde principios del siglo XX, para recopilar las mediciones que han sido consideradas por los astrónomos para fundamentar su comprensión del cosmos.
 - 2) De las leyes de la mecánica clásica y relativista que permitan comprender el proceso dinámica del Universo y como la posibilidad de la presencia de un tipo de materia y energía inobservable es necesaria para ajustar las teorías sobre la expansión del Universo.
 - 3) De las características fundamentales del Modelo Estándar de la Materia que permita comprender y justificar la composición de la Materia y Energía Oscura, que actualmente se han propuesto por los científicos.
- II. Se analizará la información para plantear y justificar la posible existencia de la llamada Materia Oscura y Energía Oscura, así como su posible composición.



FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Relatividad

Antecedentes de la Teoría de la Relatividad Especial

Como cualquier otra onda, a la luz se le asignó un medio en que desplazarse (éter) y se pensaba demostrarlo a partir del experimento de Michelson y Morley que resulto aparentemente fallido, originando una búsqueda para constatar por qué el experimento había fallado a partir de la idea de un éter.

Albert Einstein, basado en los trabajos de Lorentz, fue el encargado de desarrollar dicha teoría. Su postulado abandonaba completamente la idea de un éter y proponía como constante universal la velocidad de la luz, uniendo la relatividad de Galileo con los fenómenos electromagnéticos de Maxwell, específicamente el de la luz, a través de una variación en el espacio y en el tiempo relativa al observador.

Cuando Einstein publica su trabajo propone dos postulados:

1. El movimiento uniforme absoluto es indetectable, esto es, cualquier experimento físico debe dar el mismo resultado sin interesar el marco de referencia inercial que se utilice.
2. La velocidad de propagación de la luz c es una constante universal fija y es independiente del movimiento de la fuente o del sistema de referencia inercial del cual se mida.

En la teoría de la relatividad, las velocidades no se adicionan o sustraen simplemente, pues hay que tomar en cuenta también cómo se mide el tiempo en un sistema de referencia dado.

Las consecuencias de esta teoría son la dilatación del tiempo y la contracción de la distancia, la primera se deduce de la siguiente fórmula:

$$t = \frac{t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$



Mientras que la contracción de la distancia se deduce de esta fórmula

$$L_1 = L_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

Este principio Einstein lo fundamenta con resultados del tipo relativista referentes a rayos catódicos en los que la desviación que sufre el electrón se traduce en un movimiento con una contracción proporcional a la del factor gamma en dirección del movimiento. De la misma manera la lentificación del tiempo resuelve satisfactoriamente el problema ocurrido en el experimento de Michelson y Morley, demostrando su validez.

Al aplicar el mismo principio para ecuaciones de energía potencial y masa de un cuerpo de acuerdo con las leyes de la mecánica de Newton, se obtiene una nueva relación entre masa y energía dependiendo de la velocidad del cuerpo.

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Donde destaca la igualdad de $e=mc^2$, efectiva para cuerpos estáticos en los que el factor gamma equivale a uno y genera una equivalencia entre la masa y la energía relativa a la velocidad de la luz.

Teoría General de la Relatividad

A pesar de la excepcional validez de la teoría especial de la relatividad, al aplicarlo a la realidad se presenta un nuevo problema relativo a la existencia de campos gravitacionales, produciendo sistemas no inerciales y exigiendo una relación entre la masa inercial y gravitacional. Al hablar de masa inercial y masa gravitacional, puede observarse una relación importante, por ejemplo, imaginando un hombre colocado dentro de un cajón sin campo gravitacional que repentinamente



inicia un movimiento acelerado con dirección hacia arriba, se producirá una fuerza inercial semejante a la atracción gravitacional, aparentando un campo gravitacional repentino dentro del cajón, cuando en realidad el cuerpo se está desplazando con cierta aceleración que produce una fuerza inercial que afecta al hombre directamente, impulsándolo al piso del cajón.

$$m_i = \frac{F_G}{a_i}, \quad M_i = \frac{F_G}{A_i}, \quad m_g = m_i,$$

Como solución a la validez de la teoría de relatividad particular dentro de sistemas de referencia no inerciales, surge la teoría de relatividad general, que rompe con la geometría clásica de Euclides, basándose también en las coordenadas gaussianas y un continuo espacio-temporal no euclídeo, genera una nueva geometría que regirá el movimiento de cuerpos cosmológicos, además de la luz, a través del espacio-tiempo, provocando una relación entre ambos, revolucionaria.

Materia Oscura

Desde los años treinta se sabe que las velocidades peculiares de las galaxias en cúmulos corresponden a una masa total del cúmulo de aproximadamente un orden de magnitud mayor que el total de toda la materia luminosa observada dentro de las propias galaxias. Esto ha llevado a explicar la velocidad constante de rotación de las galaxias a pesar de la expansión acelerada del universo, por lo cual se implementó el concepto de "materia oscura" como responsable de este fenómeno.

La razón por la cual se implementan este tipo de materia exótica converge en las observaciones realizadas al valor del parámetro de densidad (correspondiente a las galaxias) del orden de un 30% de la densidad crítica.

Pero la nucleosíntesis primigénea, es decir, el modelo de formación de los elementos químicos ligeros en los primeros instantes del universo, indica que la cantidad de materia bariónica (aquella formada



por protones y neutrones) no puede ser muy diferente de un 4 a 5% de la densidad crítica. El total de materia luminosa visible está por debajo de esta cantidad, lo que implica que debe haber mucha materia no detectada en forma de objetos compactos denominados habitualmente MACHOS (del inglés Objetos Compactos del Halo Galáctico). Todo esto nos lleva a que al menos un 85% de la materia está formada por algún tipo de materia exótica.

Existen dos modelos de materia oscura no bariónica:

- 1) Neutrinos. El neutrino es una partícula emitida en la desintegración beta donde un protón (**p**) reacciona con un antineutrino (**n⁻**) convirtiéndose en un neutrón (**n**) y un positrón (**e⁺**) o un protón (**p**) interacciona con un electrón (**e⁻**) para producir un neutrón (**n**) y un neutrino (**n**). En el Modelo Estándar de la física de partículas, el neutrino es una partícula que no tiene masa. Sin embargo se pueden hacer modificaciones en la teoría que permita la existencia de neutrinos masivos de forma que tienen que ser las observaciones o los experimentos los que decidan cuál es el caso. Al ser el neutrino una partícula sin masa o tremendamente ligera se mueve a la velocidad de la luz o a velocidades muy cercanas, lo que los convierte en lo que se denominan partículas relativistas. Actualmente se denomina a cualquier tipo de partículas relativistas en cosmología materia oscura caliente (del inglés Hot Dark Matter o abreviado HDM).
- 2) WIMPs. Las partículas WIMP (Weakly Interacting Massive Particles) son un grupo de entidades subatómicas predecidas a partir del principio de supersimetría cuyas características teóricas incluyen una interacción basada únicamente en la gravedad y la energía nuclear débil -sin embargo, es posible que también interactúen entre sí mediante otros tipos de fuerzas no observables- y una masa considerable en comparación con otras partículas del Modelo Estándar (24 a 36 GeV); además podrían ser una especie de remanente posterior al momento de equilibrio térmico del Universo. Debido a que no pueden detectarse mediante métodos convencionales por su carencia de interacciones electromagnéticas con la materia bariónica



, se les ha catalogado como uno de los posibles candidatos de la materia oscura fría (del inglés Cold Dark Matter, abreviada CDM) aquella que se mueve a velocidades bajas en comparación con la de la luz e interactúa en un rango infinitesimalmente pequeño con la radiación electromagnética.

Para entender los conceptos acerca de las partículas, introduciremos un breve análisis acerca del modelo estándar de las partículas:

El modelo estándar está conformado por las partículas elementales encontradas, hay distintas familias de partículas y de las que hablaremos ligeramente después.

El modelo estándar describe las interacciones con las distintas partículas, se desarrolla entre 1970 y 1973 y logra tener cierta concordancia con la mecánica cuántica y la relatividad. La ciencia ha logrado reducir algunas leyes del comportamiento e interacción.

El modelo estándar agrupa el modelo electrodébil y la cromodinámica cuántica.

Según éste, las partículas tienen un spin de $\frac{1}{2}$ y sus partículas de materia son fermiones.

Las partículas se agrupan en 3 familias:

- 1.- Electrón, Neutrino electrón y Quarks Up y Down
- 2.- Muon, Neutrino Muon y Quarks Charm y Strange
- 3.- Tau, Neutrino Tau y Quarks Top y Bottom



Energía Oscura

A partir de las observaciones astronómicas realizadas en las últimas décadas se ha analizado el efecto de repulsión ocurrido entre galaxias descubierto por Edwin Hubble en 1929, lo cual conlleva a la idea de un universo en expansión, y no estático como lo manifestaba Albert Einstein.

Parámetro de Hubble

La constante de Hubble solo requiere la medida de la distancia y la velocidad de una galaxia. La velocidad de una galaxia se calcula a partir del desplazamiento observado de las líneas de su espectro; cuanto mayor sea el desplazamiento de la longitud de onda, mayor será la velocidad de la galaxia.

El valor del parámetro de Hubble cambia con el tiempo aumentando o disminuyendo dependiendo del signo del parámetro de deceleración q , que viene definido por:

$$q = -H^{-2} \left(\frac{dH}{dt} + H^2 \right)$$

Ahora bien con esta constante podemos entonces conocer la velocidad a la que se expande el universo y por lo tanto saber su edad y a donde se podría dirigir, dándonos así una idea de cómo es que se realiza esta expansión y por lo tanto dándonos otro punto para llegar a la energía y materia oscura.

Breve de desarrollo de las ecuaciones de Friedmann

Estas ecuaciones tienen la siguiente forma:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho - \frac{kc^2}{a^2}$$



Cuando decimos que el espacio se expande directamente pensamos en que las distancias entre las partículas en ese espacio aumenta. Pero hay una certeza, que el universo se expanda no significa que las partículas se estén moviendo entre sí sino que son las distancias entre las partículas las que están aumentando en el tiempo.

Vemos claramente que es todo el espacio el que se expande, pero las coordenadas siguen siendo fijas, a estas se les denomina coordenadas comóviles. Se llaman así porque están adaptadas al espacio y a su expansión. Entonces lo que varía entre las partículas no son sus posiciones sino las distancias que las separan.

La ecuación de Friedmann que nos dice que la velocidad de expansión del universo depende de dos términos.

Describiremos entonces lo que significa la misma:

a) $\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2$ este término da cuenta de la velocidad de la expansión del universo. De hecho esta agrupación \dot{a}/a aparece muchas veces como la constante de Hubble $H(t)$

Esta velocidad de expansión es debida por lo tanto a dos términos:

b) $\frac{8\pi G}{3}\rho$ el término que tiene en cuenta la contribución a la expansión de la distribución de densidad de energía/materia en el universo

c) $\frac{kc^2}{a^2}$ el término que tiene en cuenta la contribución a la expansión de la propia curvatura del espacio en el universo.

Modelos de energía oscura



Tal como descubrió el ruso Aleksandr Friedmann en 1922 (distribución de la materia isótropa y homogénea en el universo) las ecuaciones de Einstein predicen un universo en expansión acelerado. Surgen 2 posturas:

1. Un grupo minoritario de cosmólogos consideran que las ecuaciones de la Relatividad General de Albert Einstein deben modificarse, de tal forma que predigan lo observado sin incluir ningún tipo de fluido o campos de fuerza extra.
2. La mayoría de los cosmólogos consideran que para explicar los resultados de las observaciones de supernovas de tipo la distantes, es necesario introducir un fluido cósmico repulsivo que se contraponga a la acción atractiva de la gravedad de Einstein aportando la energía del vacío desconocida.

Existen varios tipos de energía oscura que describiremos:

1. Constante cosmológica

Introducida inicialmente por Einstein en sus ecuaciones de campo de la Relatividad General para poder modelar un universo estático con simetría esférica y que cumpliera con el principio cosmológico. Todavía no se conocía la expansión del universo, por lo que Einstein se vio obligado a introducir un efecto repulsivo, denominado "antigravitatorio".

El principio de incertidumbre de Heisenberg permite la formación de pares virtuales partícula-antipartícula de masa m durante intervalos de tiempo del orden de $h/(mc^2)$, siendo h la constante de Planck y c la velocidad de la luz. Estos procesos implican que el vacío debe tener una densidad de energía diferente de cero que a veces se denomina "energía del punto cero".

La densidad de energía del vacío debe ser asociada con una presión negativa debido a que:

- La densidad de energía del vacío debe ser constante debido a que no existe nada en lo cual dependa.



- Si tenemos un pistón "lleno de vacío" y tiramos del émbolo, crearemos más vacío que por tanto contendrá una mayor "energía de vacío" que sólo habrá podido ser suplida por la fuerza que movió el pistón.
- Si el vacío trata de jalar de nuevo el pistón al cilindro, debe de tener una presión negativa, ya que una presión positiva terminaría por expulsar el pistón.
-

La presión relativista en este caso se puede calcular como:

$$P = - \rho_{\text{vacío}} c^2$$

Donde $\rho_{\text{vacío}}$ es la densidad de masa del vacío calculada a partir de la relación relativista

$$E = m c^2$$

Pero en Relatividad General, la energía tiene "peso" y por tanto la presión. Así que la aceleración g (en la aproximación Newtoniana) vendrá dada por:

$$g = 4/3 p G (\rho_{\text{materia}} + \rho_{\text{vacío}} + 3 P/c^2) R^{-2}$$

Para un modelo estático de universo como el propuesto por Einstein, $g = 0$ y por tanto

$$\rho_{\text{vacío}} = 0.5 \rho_{\text{materia}}$$

Aparte del hecho del universo está en expansión, el Universo estático de Einstein es inestable ante colapso o expansión, de la misma manera que un lápiz apoyado sobre su punta está en una posición de equilibrio inestable.

Cálculos cuánticos

Es matemáticamente algo complejo demostrar que el nivel fundamental de un sistema de partículas virtuales como el vacío tiene una energía finita, y no hay ningún mecanismo conocido que obligue a esta energía a ser igual a cero, aunque existen ciertas propuestas como supersimetría. De una manera estimativa podemos dar un orden de magnitud de la densidad de energía del vacío esperando la contribución de una partícula en un volumen correspondiente a su longitud de onda Compton, esto es:

$$\rho_{\text{vacío}} = M^4 c^3 / h^3 = 10^{13} [M / \text{masa del protón}]^4 \text{ g/cm}^3$$



Para la partícula más masiva que cabría esperar, la masa de Planck, de unos 20 microgramos, esta energía es de unos 10^{91} g/cm³. El contraste observacional del universo a gran escala ponen un límite superior del orden de la densidad crítica (unos 10^{-29} g/cm³). Al ver estos números se suele decir que tendría que existir algún mecanismo de supresión muy efectivo que disminuyera su valor en al menos 120 órdenes de magnitud. Pero si tenemos en cuenta que la densidad de vacío es proporcional a la cuarta potencia de una masa, quizás sería más apropiados poner que

$$M_{\text{vacío}}(\text{esperada}) / M_{\text{vacío}}(\text{observada}) \sim 10^{30}$$

un factor no tan espectacular como el anterior pero lo suficientemente grande como para considerarlo el problema más serio de la física teórica actual.

Quintaesencia. Se emplea como una generalización de la "Constante Cosmológica"; representado por un campo sencillo denominado *campo escalar* φ , o como un fluido perfecto caracterizado por una presión negativa P y por una densidad de energía positiva ρ .

Las ecuaciones de Einstein muestran que en presencia de un campo escalar que cambia muy lentamente, el espacio-tiempo se expandirá a un ritmo cada vez mayor. Fracciones de segundo después del Big Bang, el espacio-tiempo se ha expandido de manera exponencial. Se cree que la inflación se produjo a causa de otro campo escalar que existió en el origen del universo. Pero es posible que exista otro campo de quintaesencia más débil que acompañó al primero, y que no se ha detectado todavía.

A partir de esto, se introduce la ecuación de estado para la energía oscura del universo según la quintaesencia:

$$P = \omega\rho$$



Si la energía oscura domina sobre todas las demás formas de energía del universo, junto con las ecuaciones de Einstein constituyen la información para deducir el curso evolutivo del universo.

La ecuación de estado que relaciona la presión P con la densidad ρ ; esto puede generalizarse suponiendo que existe un campo que produce una densidad de energía que varía con el tiempo y que no tiene por qué estar uniformemente distribuida, de tal manera que podemos poner su ecuación de estado como $P / \rho = \omega$ con $-1 < \omega < 0$ con objeto de que no contradiga las observaciones, y ω siendo una función del parámetro (constante) de expansión $a(t)$. A continuación se presentan distintos valores del factor ω que afectan la expansión del universo:

1. Si $\omega = -1$, el campo escalar pierde todo carácter dinámico, lo cual se vuelve un panorama ideal para la Constante Cosmológica; la expansión aumenta la cantidad de energía de vacío y ésta tiene que ejercer una presión negativa. Se describe un universo de tipo "De Sitter", donde la expansión es la más acelerada.
2. Si $-1 < \omega < -1/3$, el campo escalar conserva su carácter dinámico, predice una expansión acelerada de menor ritmo que aquella introducida por la Constante Cosmológica; un dominio ideal de la energía oscura.

Energía fantasma. Se han obtenido varios valores que hacen compatible la ecuación de estado con la que corresponde a un campo de quintaesencia con valores de ω menores que -0.8 , lo que incluye al rango de la Constante Cosmológica.

Propiedades de la energía fantasma:

- Posee una densidad de energía positiva que aumenta con el tiempo sin violar el principio de la conservación de la energía.



- Puesto que el valor absoluto de su presión negativa es mayor que el de su densidad de energía positiva la energía interna del fluido fantasma resulta ser negativa, por lo que conlleva a que la energía de un sistema ordinario que absorbiera energía tendría que disminuir necesariamente; se genera una violación al principio de la energía dominante donde:

$$|P| > \rho$$

Y la ecuación demuestra que:

$$P + \rho = (-), \quad |P| > \rho$$

RESULTADOS

Tanto la materia como la energía oscura surgen de la necesidad del hombre por explicar los orígenes y comportamiento actual del universo, ya sea desde la singularidad del "Big Bang", hasta la expansión acelerada que se ha analizado a lo largo de los años; presentamos los datos encontrados a partir de una investigación bibliográfica y hemerográfica:

a) Energía oscura:

Evolución del Universo con Constante Cosmológica.

La ecuación dinámica de un universo con término cosmológico Λ (ec.1) se puede escribir como: $H^2 = \frac{8}{3} \pi G \rho_m + \frac{\Lambda}{3} - \frac{K}{r^2}$

Es habitual definir los siguientes parámetros de densidad:

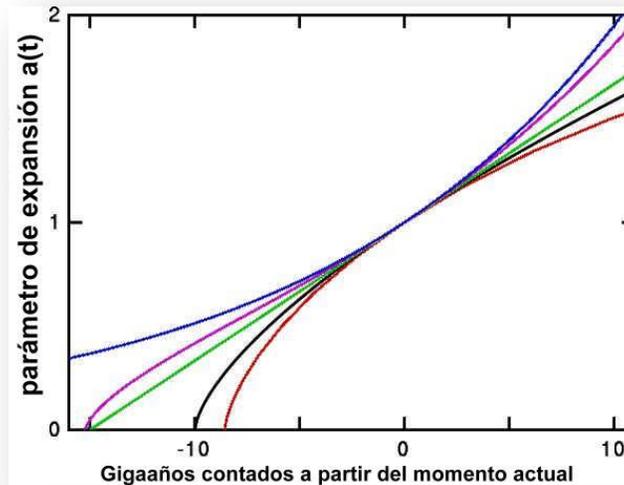
- Parámetro de densidad de materia $\Omega_m = \frac{8}{3} \pi G \rho / H^2$
- Parámetro de densidad de energía de vacío $\Omega_\lambda = \Lambda / (3H^2)$
- Parámetro de densidad debido a la curvatura $\Omega_k = -K c^2 / H^2$



Cumpléndose obviamente que $\Omega_m + \Omega_\Lambda + \Omega_k = 1$

La solución para el parámetro de expansión en función del tiempo $a(t)$ requiere de una integración numérica. En la figura a continuación se representan algunos casos:

- Línea negra: universo de Einstein-de Sitter $\Omega_m = 1, \Omega_\Lambda = 0$
- Línea roja: Universo cerrado $\Omega_m = 2, \Omega_\Lambda = 0$
- Línea púrpura: modelo favorito actualmente con $\Omega_\Lambda = 0.75, \Omega_m = 0.25$
- Línea verde: $\Omega_\Lambda = 0, \Omega_m = 0$
- Línea azul: universo de de Sitter sin Big Bang $\Omega_\Lambda = 1, \Omega_m = 0$



Evolución del universo con Constante Cosmológica
 Gráfica 1.

Si $\omega = -1$ cualquier volumen de espacio se convertiría en infinito en un tiempo finito de nuestro futuro produciendo un desgarrón espacio – temporal conocido como “Big rip”. En el escenario



más extremo, este terrible Big Rip ocurrirá dentro de unos 22.000 millones de años. Nuestra galaxia será destruida sesenta millones de años antes del final. Si algún observador ha sobrevivido hasta entonces —lo cual es muy improbable—, podría ser testigo del proceso hasta el milisegundo final. Los átomos que lo componen, como todos en el Universo, se destrozarán en los últimos 10 -19 segundos. Parece algo inconcebible, de ciencia ficción, pero lo cierto es que hasta ahora nadie ha podido probar que sea imposible.

b) Materia oscura.

Super CDMS

El Super CDMS tiene como propósito medir la energía impartida a un núcleo en el que se puedan dar colisiones con WIMPs, utilizando detectores conocidos como IZIP (interleaved Z-sensitive Ionization Photon). Trabajan con cristales de Germanio para así medir la información de las colisiones de las WIMPs. El experimento se realiza en un laboratorio subterráneo, para evitar que otras partículas de materia que se irradian a la tierra del universo lleguen e interfieran con las colisiones que se pretenden medir, es decir que se tenga una extremadamente baja radioactividad para llevar a cabo las mediciones, si es que las llegan a captar.

Los WIMPS son extremadamente difíciles de detectar por el limitado rango de sus interacciones con la materia ordinaria. Un método recientemente utilizado se basa en el principio de que estas partículas al pasar a través del Sol interaccionan mediante la fuerza nuclear débil con los componentes de los átomos de hidrógeno, con lo cual pierden energía y se vuelven incapaces de escapar a la gravedad de la estrella. Una vez en su interior, comienzan a colisionar con partículas semejantes, lo que causa la producción de neutrinos altamente energizados que viajan hasta la Tierra y pueden ser detectados en grandes telescopios de neutrinos ubicados a gran profundidad. Este mismo método se utiliza para detectar indirectamente los WIMPS de supernovas, pulsares y quasares. Así mismo, el experimento PICASSO llevado a cabo en Canadá, ha arrojado resultados acerca de la hipotética masa de los WIMPS mediante el uso de átomos suspendidos en una matriz de gel, a su vez contenida en un intenso campo electromagnético, donde incluso la mínima



perturbación causa un movimiento de varios milímetros por parte de las partículas, permitiendo de esta manera medir con cierto grado de precisión la masa del componente que interactuó con aquellas que estaban estáticas.

HDMS

El experimento de HDMS comenzado en 1998 con un prototipo divide en fases: el HDMS-PROTOTIPO (para el cual tanto el detector interior como externo fueron hechos de Ge natural) tomó satisfactoriamente datos por el período de aproximadamente 15 mes en el Gran Sasso el Laboratorio Subterráneo. El experimento de escala , completo, fue instalado en LNGS en agosto de 2000: la diferencia principal era el empleo de enriquecido ^{73}Ge para el detector interior, pero también un nuevo, bajo nivelar al titular de Cu-cristal fue usado. El enriquecimiento ^{73}Ge consiste al mismo tiempo en un enriquecimiento en el isótopo ^{68}Ge , cuyos rayos X son una fuente sabida de fondo en la región de energía baja.

Genius

En el Genius-TF han propuesto apuntar a un aumento dramático de la sensibilidad en el campo de materia oscura. Esto sugiere para manejar el Germanio de Pureza alta convencional (HPGe) detectores directamente en el nitrógeno líquido. Esto tiene la ventaja que el fondo puede ser bajado en tres o cuatro órdenes de magnitud en lo que concierne a los mismos detectores manejados del modo habitual, esencialmente quitando la mayor parte del material en los alrededores de los detectores.

CONCLUSIÓN

La anterior investigación nos da una justificación, de la existencia de un tipo de materia y energía que se encargan de la expansión del universo de acuerdo al modelo más aceptado actualmente: con $\Omega_\lambda = 0.75$, $\Omega_m = 0.25$.

La Constante Cosmológica se elige como el modelo ideal a representar la polémica "energía oscura", argumentando que cumple con las características que representa la densidad de energía de vacío cumpliendo con el principio cosmogónico. Los cálculos cuánticos son el modelo que



representa teóricamente la cantidad de energía de vacío que se debe de presentar en una determinada región del espacio, aplicándose para todo el universo; estos cálculos son el punto en donde falla esta hipótesis, debido a que estas medidas (teóricamente) sobrepasan la cantidad de energía que se estima de acuerdo a las observaciones. Este modelo de energía oscura constituye un universo en expansión acelerada, cuya velocidad es proporcional a la cantidad de vacío que se genera.

A *grosso modo*, la materia oscura se considera constituida por la materia no bariónica, con un mayor rango a favor por parte de los WIMPs que los neutrinos, debido a sus propiedades no relativistas, así como su interacción con los campos gravitatorios de la materia bariónica; sin embargo, esto no se aprueba debido a que la observación directa de los WIMPs en los grandes campos de investigación no ha dado los resultados esperados.

BIBLIOGRAFÍA

- Hacyan S. (1989). RELATIVIDAD PARA PRINCIPIANTES. Fondo de cultura económica. México.
- Einstein K.A. (2008) SOBRE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL Y GENERAL. Alianza, México.
- Faulkner J. y Gilliland, R. L. (1985). WEAKLY INTERACTING, MASSIVE PARTICLES AND THE SOLAR NEUTRINO FLUX. Astrophysical Journal,
<http://articles.adsabs.harvard.edu//full/1985ApJ...299..994F/0000994.000.html>
- Habig A. (2001). AN INDIRECT SEARCH FOR WIMPS WITH SUPER-KAMIOKANDE. University of Minnesota Duluth. <http://arxiv.org/pdf/hep-ex/0106024v1.pdf>



- Abe T. et alii (2012). SIMPLE VECTOR WIMPS DARK MATTER. Río de Janeiro.
http://pos.sissa.it/archive/conferences/161/050/DSU%202012_050.pdf
- Hsu L. et alii. (2010) SUPER CRYOGENIC DARK MATTER SEARCH. Estados Unidos de América.
<http://cdms.berkeley.edu/>
- Treinam S. (1999). MATERIA OSCURA. Princeton University Press.
<http://astronomia.net/cosmologia/darkmatter.htm>
- Caldwell, R. R., Kamionkowski, M. y Weinberg, N. N. PHANTOM ENERGY AND COSMIC DOOMSDAY. Preprint, (2003).
- Hernández, P. J. (1996 – 2006). MATERIA OSCURA. University of Manchester.
<http://astronomia.net/cosmologia/darkmatter.htm>
- Magaña, Z. J. A. y Sánchez-Salcedo, F. J. y Santillán, G. A. J. (2011). MATERIA Y ENERGÍA OSCURAS. Universidad Nacional Autónoma de México.
<http://www.revista.unam.mx/vol.12/num5/art51/#up>
- Wright, N. (2012). VACUUM ENERGY DENSITY, OR HOW CAN NOTHING WEIGH SOMETHING. University of California, Los Angeles. http://www.astro.ucla.edu/~wright/cosmo_constant.html
- Carrol, S. (2012). THE COSMOLOGICAL CONSTANT. University of Chicago.
[.http://ned.ipac.caltech.edu/level5/Carroll2/Carroll_contents.html](http://ned.ipac.caltech.edu/level5/Carroll2/Carroll_contents.html)
- González, P. (2006). LA ENERGÍA FANTASMA Y EL FUTURO DEL UNIVERSO. Investigación y ciencia. Madrid. 53 – 61 pp.



- Freedman, W. (2004). LA CONSTANTE DE HUBBLE Y EL UNIVERSO EN EXPANSIÓN. Investigación y ciencia. Madrid. 38 – 44 pp.
- Feng, J. Y Trodden, M. (2011). MUNDOS OSCUROS. Investigación y Ciencia. Madrid. 15-21 pp

