

SIMULACIÓN DE DETECCIÓN DE MATERIA OSCURA EN EXPERIMENTO CRIOGÉNICA TIPO CUORE

Hazael de Jesús Rodríguez Belman (1), David Yves Ghslain Delepine (2), José Juan Carreón Barrientos (3)

1 [Bachillerato General, Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato] [haza21rodribel@gmail.com]

2 [División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato] | delepine@fisica.ugto.mx]

2 [Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [pepecarreon@ugto.mx]

Resumen

La materia oscura ha sido considerada un tema complicado de describir, pues el estudiar un nuevo tipo de materia con componentes poco comunes, ya que esta materia no interactúa con fuerzas electromagnéticas, no absorbe, ni refleja o emite luz, lo cual la hace más difícil de analizar; de hecho los científicos la han predicho por los efectos gravitatorios que se tiene con la materia visible. Se ha calculado que la materia oscura conforma un 24% de todo el universo, la materia que podemos observar sólo es un 4% y el resto de los componentes del universo está compuesto por energía oscura. Se predice que el candidato está dentro de las partículas supersimétricas, es decir partículas hipotéticas asociadas al Modelo Estándar, pues se cree que está compuesta por partículas masivas con interacciones débiles. Existen en el mundo varios experimentos de nivel internacional dedicados a la búsqueda de la materia oscura. En este proyecto se expone de manera sencilla lo que se sabe de la materia oscura, cómo espera detectarse en experimentos de criogenética y los resultados que se esperarían obtener en este experimento.

Palabras Clave

Materia Oscura, Supersimetría, Modelo Estándar, CUORE, Halos.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas en cosmología actual, es el determinar la naturaleza de la materia oscura (MO). En este trabajo se empezará por dar a conocer sus primeras evidencias, así como los argumentos que señalan la existencia de este nuevo tipo de materia. Después de analizar dichas posibilidades, se detallarán los tipos y características de la materia oscura, dando una breve inducción al modelo estándar de partículas y supersimetría (SUSY). Por último se tratará su detección directa en base al experimento que planea descubrir este nuevo tipo de partículas en la búsqueda CUORE, los cuales se realizan en el Laboratori Nazionali del Gran Sasso en Italia.

Primeras Evidencias de la materia oscura

En 1932 Jan H. Oort analizó el movimiento de una estrella de cierta cercanía al disco de nuestra galaxia. Estudió la influencia gravitacional del disco sobre esta estrella y, en base a ello, determinó la masa del disco galáctico. Para su sorpresa la masa calculada era dos veces la cantidad de materia visible en forma de estrellas y nebulosas. Ésta fue la primera evidencia de la materia oscura (no bariónica) en las galaxias.

En 1933 Fritz Zwicky, analizó las velocidades de ciertas galaxias en el cúmulo de Coma. Encontró que muchas galaxias se estaban moviendo a velocidades sumamente altas. Según estas velocidades, el cúmulo debería desintegrarse y todas las galaxias deberían salir disparadas debido a su fuerza centrífuga. Zwicky concluyó que, para que no salieran disparadas, debiera existir una fuerza gravitacional mayor que compensara la fuerza centrífuga del movimiento de las galaxias alrededor del cúmulo, por lo que los cúmulos deben contener materia no luminosa aún no detectada, logrando así que éstas se mantengan en equilibrio.

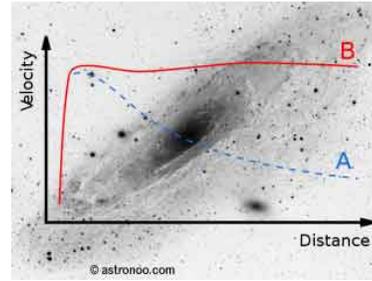


Fig. 1.1 Curva de rotación de las galaxias espirales. En color azul (A), la curva de rotación calculada usando las ecuaciones de Newton, en color rojo (B), la curva observada en función de la distancia de las estrellas en relación al centro de la galaxia.

En 1974 Jaan, Ants y Enn realizaron estudios sobre un grupo de galaxias espirales buscando la masa M como función del radio de las galaxias. Hicieron esto pensando que la discrepancia de masa en los cúmulos de galaxias se podría deber a que las masas de las galaxias estaban subestimadas. Calcularon la distribución de masa M_s de la población estelar conocida y contenida en la galaxia hasta el radio R . Las distribuciones de masa obtenidas no coincidían con lo que ellos esperaban, por lo que supusieron que las galaxias deberían de contener una población masiva aún no detectada, a lo que llamaron **halos**.

Existe una observación de la curvatura de la luz que pasa cerca de una galaxia. Según la teoría de la relatividad general de Einstein, la luz curva su trayectoria. Lo que los astrónomos hacen es fijarse en cúmulos de galaxias lejanas y buscar alguna galaxia muy luminosa que esté detrás del cúmulo. La luz de la galaxia pasará por el cúmulo de galaxias y, debido a la gran masa del cúmulo, la trayectoria de la luz de la galaxia detrás del cúmulo se curvará, dándonos una idea de la masa del cúmulo, ya que la curvatura de la trayectoria de la luz es mayor entre mayor sea la masa del cúmulo, este fenómeno es llamado **lente gravitacional**.

Candidatos de la materia oscura

La MO interactúa débilmente con materia de la que estamos hechos, lo que explicaría por qué no podemos verla. En algún momento la MO dejó de interactuar con la materia bariónica (toda forma de materia constituida por bariones y leptones, es decir, la materia que forma todo lo que nos rodea y podemos ver, incluidos nosotros mismos). Para ello

vamos a separar la MO en dos: CDM, Cold Dark Matter y HDM, Hot Dark Matter.

Se llama **CDM** a la materia que deja de interactuar con el resto de la materia, su energía cinética ya no es muy alta, las velocidades de vibración de sus partículas ya no son cercanas a la velocidad de la luz y, por lo tanto, su contribución cinética a la masa ya no es significativa, es decir, como un gas frío. Esta hipótesis predice una jerarquía de estructuras cósmicas: en primer lugar se condensan los objetos a escala subgaláctica, los cuales se unen luego en galaxias, que a su vez se agregan en estructuras aún mayores.

Se llama **HDM** al tipo de materia oscura que al dejar de interactuar con el resto de la materia visible su temperatura es tal que el movimiento cinético de sus partículas es comparable con la velocidad de la luz, lo cual implica que la contribución de su movimiento cinético es comparable con su masa en reposo. Las irregularidades a pequeña escala se destruyen a causa de la elevada velocidad de los neutrinos, cuya energía cinética basta para eliminar cualquier fluctuación inicial más pequeña que un supercúmulo. Así, las primeras diferentes regiones tendrían el tamaño de supercúmulos, que luego se fragmentarían en sistemas galácticos.

Evidencias a favor de CDM

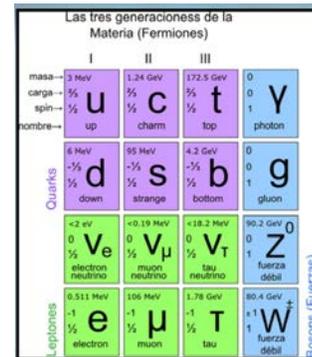
Los cúmulos de galaxias no acostumbran asociarse con corrimientos al rojo elevados (es decir, épocas pasadas). Esto concuerda bien con las simulaciones del modelo CDM, en las que los grandes cúmulos se forman mediante agregaciones de objetos más pequeños. Si el espacio entre ellas fuera cinco veces menor, las galaxias (o, por lo menos, sus halos exteriores) se tocarían. Esto sugiere que las protogalaxias dejaron de expandirse y comenzaron a separarse cuando nuestro universo era cinco veces menor que ahora, unos 1000 millones de años después del Big Bang. La teoría CDM predice que tiene que pasar cerca de 1000 millones de años hasta la formación de las primeras galaxias. La teoría HDM (la cual consiste en neutrinos de masa pequeña), establece que las galaxias se habrían formado más tarde, una idea que ya está siendo cuestionada.

Los candidatos más probables son los WIMP's, los cuales se encuentran en contacto con el resto del plasma cósmico a muy altas temperaturas. Posteriormente, cuando la temperatura se va por

debajo de su masa, experimenta un congelamiento, que es la incapacidad de las aniquilaciones para mantener a las partículas en equilibrio.

Modelo Estándar, Supersimetría y Candidatos SUSY

El Modelo Estándar es la forma de entender la composición de nuestro universo ya que explica las fuerzas y partículas fundamentales que componen la materia.



		Las tres generaciones de la Materia (Fermiones)			
		I	II	III	
masa		3 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV	0
carga		$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nombre		u up	c charm	t top	γ photon
	Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
		6 MeV	95 MeV	4.2 GeV	0
		$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	Leptones	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z ⁰ fuerza débil
		<2 eV	<0.19 MeV	<18.2 MeV	90.2 GeV
		0	0	0	0
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
		e electron	μ muon	τ tau	W [±] fuerza débil
		0.511 MeV	106 MeV	1.78 GeV	80.4 GeV
		-1	-1	-1	+1
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1

Fig. 1.3 Modelo Estándar. Se presentan 2 tipos de partículas, los fermiones que son encargados de la composición de la materia y los Bosones que son los encargados de las interacciones (fuerzas) entre la materia.

Es notable que ninguna partícula perteneciente al Modelo Estándar de la física de partículas puede ser un buen candidato de la materia oscura; esto puede ser considerado como una motivación para extender las teorías del Modelo Estándar. Entre los muchos candidatos a materia oscura, destacan las partículas estables propuestas en las teorías SUSY (como por ejemplo neutralino o sneutrino).

Se llama supersimetría a la hipotética relación que existe entre los bosones y los fermiones. En la naturaleza se encuentra que las partículas tienen una característica denominada espín, el cual puede tomar valores enteros o semienteros. La diferencia entre bosones y fermiones es que los bosones son las partículas de espín entero y los fermiones las partículas de espín semientero.

Las partículas compañeras supersimétricas usualmente no se han visto, Debido a que sus masas no son iguales a las partículas de la materia no oscura, ya que las partículas supersimétricas tienen que ser mucho más pesadas y por eso aún no se han producido en los aceleradores.

Detección de Materia Oscura

Existen dos maneras de detectar la MO de tal manera:

Manera Indirecta: Las partículas de materia oscura colisionan entre ellas y se aniquilan dando lugar a otras partículas que aún no están bien definidas. Diversos Experimentos como la detección de neutrinos, los detectores de rayos cósmicos y los telescopios para detectar rayos gama se han utilizado para estudiar esta manera.

Manera Directa: Las partículas de materia oscura atraviesan la tierra constantemente sin interactuar con la materia bariónica. La partícula que entra en el detector choca con el núcleo y lo desplaza. El desplazamiento del núcleo provoca emisión de luz, ionización, aumento de temperatura, etc. Los experimentos de detección directa intentan observar estos cambios utilizando detectores muy sensibles. Estos experimentos se ubican bajo la tierra para protegerlos de los rayos cósmicos.

Detección CUORE

CUORE (Cryogenic Underground Observatory for Rare Events) es el mayor volumen de bolómetros de telurio criogénicos jamás construidos. Se compone de cristales de óxido de telurio, el criostato y un recubrimiento de plomo, entre otros. Se encuentra en Gran Sasso Italia a 3650 m por debajo de placas de roca, lo que lo protege de las interferencias por rayos cósmicos. Los cristales de telurio forman al mismo tiempo tanto el material fuente y el detector. Funciona como detector de neutrinos y detector de materia oscura y estudia el decaimiento beta doble de neutrinos, la cual es la única manera de investigar si los neutrinos son sus propias anti-partículas



Fig. 1.6 CUORE en 2014.

MATERIALES Y MÉTODO

El método que se utiliza en estos detectores es la búsqueda de interacciones de núcleos de TeO_2 con partículas de MO, cuando la partícula choque con el núcleo se pueden obtener dos resultados: 1) La emisión de fotones del núcleo y 2) Vibraciones en el núcleo debido al impacto. Para poder observar mejor estos resultados los núcleos se congelan cercanos al cero absoluto, ya que las temperaturas altas alterarían los núcleos y generarían vibraciones, lo que haría más complicado medir las interacciones superdébiles producidas.

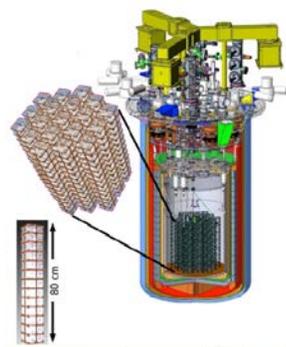


Fig. 1.7 CUORE está compuesto por 19 torres con 741 kg de TeO_2 puro y cada cristal de $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3 \text{ TeO}_2$.

Los cristales

El corazón del detector CUORE está hecho de bolómetros de cristal de óxido de telurio. Cada vez que un núcleo se desintegra, se libera una minúscula cantidad de calor (hasta 2,5 MeV para ^{130}Te con doble desintegración beta) que hace que el cristal de calor tenga un comportamiento hacia arriba. Este pequeño cambio en la temperatura se mide mediante un termómetro pegado a cada cristal. Los bolómetros CUORE se organizan en 19 torres, con el apoyo de cobre se limpian impecablemente.

El criostato

El criostato en el que opera el detector CUORE es el más grande de su tipo. Éste enfría todos los cristales de telurio a menos de 10mK, haciéndolo el detector más frío del universo. Este enfriamiento se lleva a cabo en varias capas, las cuales son más frías que los exteriores del criostato.

Fuera del criostato, varias capas de blindaje impiden que la interacción con el exterior interfiera con la medición. Recipientes de cobre anidados conservan un gradiente de vacío y temperatura. El exterior es una capa de plomo utilizada para detener grandes interacciones nucleares. A continuación, una capa de polietileno de borato se usa para detener pequeños átomos y neutrones. La montaña Gran Sasso misma forma la capa final de protección contra los rayos cósmicos.

El plomo romano

Para evitar que la radiactividad se mezcle con cualquier material a medida que se forma, se utiliza un tipo de plomo especial en el CUORE, el cual es de un barco que se hundió entre el 50 y el 80 A.C. frente a la costa de Cerdeña. Este blindaje de plomo requiere un sistema especial con potencia de refrigeración adicional, más allá de la simple conducción del calor. Para lograr el enfriamiento rápido del sistema se hace pasar gas helio a través del criostato lo que hace que a medida que se enfría, por convección se enfría también la masa añadida de los escudos de plomo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El exp1w

CONCLUSIONES

La materia oscura hasta el momento sigue siendo polémica entre los científicos, así como las ecuaciones que intentan explicar la composición del universo. CUORE en compañía de los experimentos realizados en el CERN, FERMILAB, etc. seguirán trabajando en este estudio para algún día poder determinar la naturaleza de la MO. Aun cuando organizaciones internacionales hacen su trabajo, en nuestro caso se puede contribuir haciendo nuevas hipótesis e inclusive crear proyectos para la detección de partículas, si bien el Estado de Guanajuato, puede ser una buena zona para un laboratorio, pues las minas nos brindarían protección ante los rayos cósmicos y las bajas temperaturas nos favorecen, así que hay que poner

manos a la obra y empezar por nuestros proyectos para contribuir con aportaciones en la física.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a los integrantes y promotores de Veranos UG, quienes con esta iniciativa han despertado el interés en lo que más nos gusta, a la maestra Claudia quien me orientó para hacer mi primer verano UG, a mis Asesores David y Carreón, quienes me apoyaron en cada momentos, a mis compañeros Judit, Mayra, Héctor y Cristofer, que compartieron estos momentos en vacaciones, A Edith quien compartió felices e interesantes fines de semanas en esta estancia de verano. Y por último a mis padres Silvia y Balta que me han apoyado hasta el fin del universo, y que por ellos ahora me encuentro concluyendo esta experiencia de Veranos UG.

REFERENCIAS

Libro:

TONATIUH MATOS 2004.

DE QUE ESTA HECHO EL UNIVERSO MATERIA OSCURA Y ENERGIA OSCURA, FONDO DE CULTURA ECONOMICA. Cap. 5 Materia oscura.

Antes del Principio, el cosmos y otros universos, Martín Rees, 1.a edición: marzo 1999

Artículo:

Ferris Timonhy, 2015, La maquina oculta del universo, National Geographic vol 36, 27 de febrero de 2015. Pag 82- 97.

S. Di Domizio INFN and University of Genova for the CUORE collaboration, Status of the CUORE and CUORE-0 experiments at Gran Sasso, Weak Interactions and Neutrinos Natal, September 19 2013

15/06/2015, CERN, Dark Matter, <http://home.web.cern.ch/about/physics/dark-matter>

22/06/2015 Laboratori Nazionali del Gran Sasso, For Ultra-cold neutrino experiment a successful demonstration, Copyright © 2015 INFN LNGS. All Rights Reserved. <http://www.lngs.infn.it/en/news-fisica/for-ultra-cold-neutrino-experiment-a-successful-demonstration>