

MODELO DE MATERIA OSCURA POR VACÍO CUÁNTICO

Autor Manuel Abarca Hernández
@mabarcaher1

Enero 2015

ABSTRAT

Title: Dark Matter Model by Quantum Vacuum

The idea of the model is quite simple:

The physical vacuum is a quantum system with a minimum energy when it is in his ground state. When the space has a gravitational field the space state increase his energy levels and the mass of the space begin to increase as well. The mass of the space would be the dark matter (D.M.).

Model refers to the same conception about ‘vacuum’ as the Quantum Electrodynamics (QED), which consider the space full of virtual electrons and virtual positrons. Therefore it is easy to think that there is virtual particles which feel the gravitational forces named virtual gravitons. It is logical to think that the gravitational field excites the vacuum states in a way that “the vacuum would be heavier, the more intense gravitational field”. The hypothesis of this DM model is that virtual gravitons are Dark Matter.

The paper is organised in eight parts:

The first one studies the spin speed star on galaxies and it is got the density formula for DM.

$$\rho(r)_{DM\ HALO} = \frac{K_G}{4\pi r^2}$$

The second one show some graphics of real rotation curves of Milky Way and Andrómeda in order to justify the simple flat rotation curve in the model.

The third one explains the model theoretically in a simple way because in my opinion the ultimate theory of DM will be explain by the Quantum Gravity, which there is not exist yet.

In the fourth one it is got the formula, which connects DM density function with intensity of

gravitational field. $\rho(r)_{DM\ HALO} \approx \frac{|E(r)|^2}{4\pi G^2 K_G}$

The fifth one explains the coherence between the DM model and experimental evidences known about DM especially DM in Bullet Cluster and other clusters.

The sixth one explains some properties of galactic haloes and cluster haloes through the model.

The seventh one demonstrates that galactic halo depend on neighbour galaxies.

The eighth one proposes eight experimental tests to check the model through astronomical measures.

The purpose this paper is to introduce the model. To show a new origin of DM and try to convince the reader that it is worth to check the model with experimental evidences.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. CURVA DE VELOCIDADES DE ROTACIÓN DE LAS ESTRELLAS EN UNA GALAXIA

2.1 DENSIDAD DE MATERIA EN EL NÚCLEO, EN EL DISCO

2.2 HIPÓTESIS DE VELOCIDAD DE ROTACIÓN CONSTANTE EN EL HALO GALÁCTICO

3. CURVAS DE ROTACIÓN GALÁCTICAS REALES

3.1 CURVA DE ROTACIÓN DEL DISCO GALÁCTICO DE ANDRÓMEDA

3.2 CURVA DE ROTACIÓN DE LA VÍA LÁCTEA EN EL HALO PRÓXIMO MEDIO Y LEJANO

3.3 CURVA DE ROTACIÓN DE LA VÍA LÁCTEA EN EL HALO

4. MODELO DE MATERIA OSCURA POR VACÍO CUÁNTICO

5. ASIMETRÍA ENTRE MATERIA OSCURA Y MATERIA ORDINARIA

6. RELACIÓN ENTRE LA FUNCIÓN DENSIDAD DE MASA Y LA INTENSIDAD DE CAMPO GRAVITATORIO

6.1 INTENSIDAD DE CAMPO GRAVITATORIO

6.2 EXPRESIÓN DE LA DENSIDAD DE MASA EN UN PUNTO EN FUNCIÓN DE LA INTENSIDAD DE CAMPO GRAVITACIONAL

7. LA MATERIA OSCURA EN EL CÚMULO BALA

7.1 EL MODELO DE M.O. EXPLICA LAS EXTRAÑAS PROPIEDADES DE LA M.O. EN EL CÚMULO BALA

8. FILAMENTOS DE MATERIA OSCURA QUE CONECTAN CÚMULOS

9. DENSIDAD DE MATERIA OSCURA EN FUNCIÓN DE $|\vec{E}|$

9.1 HALO GALÁCTICO

9.2 MASA TOTAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA AL CENTRO GALÁCTICO

9.3 COTA SUPERIOR PARA LA MASA TOTAL DE LA VÍA LÁCTEA

9.4 HALO DE UN CÚMULO

9.4.1 HIPÓTESIS DEL TEOREMA DEL VIRIAL EN CÚMULOS DE GALAXIAS

9.4.2 EL ENIGMA DE LA MATERIA OSCURA EN CÚMULOS DE GALAXIAS

9.5 COMPLEJIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN DE MO EN LOS CÚMULOS GALÁCTICOS

10. LA MO DE UNA GALAXIA DEPENDE DEL ENTORNO GALÁCTICO

10.1 ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO DE LOS HALOS GALÁCTICOS

10.1.1 CONDICIÓN PARA LA ESFERICIDAD DEL HALO

10.2 RELACIÓN ENTRE LAS PROPORCIONES DE MASAS, ORDINARIA Y TOTAL, DE DOS GALAXIAS VECINAS

10.3 GALAXIAS VECINAS CON LA MISMA PROPORCIÓN DE MASAS

10.4 RELACIÓN ENTRE LOS HALOS DE CUMULOS VECINOS

11. PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA CONTRASTAR EL MODELO DE M.O.

11.1 CONSTANTES GALÁCTICAS EN LA VÍA LÁCTEA Y ANDRÓMEDA

11.2 GALAXIAS VECINAS

11.3 ESFERICIDAD DEL HALO

11.4 GALAXIAS SIMILARES PERTENECIENTES A CÚMULOS DIFERENTES

11.5 CÚMULOS DE GALAXIAS MEDIDOS CON EL TEOREMA DEL VIRIAL

11.6 CÚMULOS DE GALAXIAS CON MASA VISIBLE Y ESTRUCTURA

SIMILAR EN GALAXIAS MEDIDOS CON LA TÉCNICA DE LA LENTE GRAVITACIONAL

11.7 VACÍOS CÓSMICOS

11.8 ÓRBITAS DE PLANETOIDES TRANSNEPTUNIANOS

CONCLUSIÓN Y BIBLIOGRAFÍA

1. INTRODUCCIÓN

La idea del modelo es muy sencilla:

El vacío físico es un sistema cuántico con energía y masa mínima en su estado fundamental, es decir en ausencia de campo gravitatorio. Cuando el espacio es atravesado por un campo gravitatorio, es excitado a niveles de energía superiores comenzando a aumentar su masa, la cual depende de la intensidad de dicho campo. La masa del espacio sería la M.O.

El modelo se refiere a la misma concepción del vacío de la Electrodinámica Cuántica (EDC). Como debe saber el lector que tenga algunas nociones sobre EDC, esta teoría considera que el espacio está repleto de los positrones virtuales o electrones virtuales.

Similarmente, de acuerdo a la Cromodinámica Cuántica el espacio está lleno de partículas virtuales llamadas gluones. Es fácil hacer la extrapolación al campo gravitatorio de forma que los gravitones virtuales serían las partículas virtuales creadas por este campo.

Este artículo postula que la Materia Oscura (M.O.) son los gravitones virtuales creados en el espacio cuando está sometido a un campo gravitatorio, de modo que el espacio sería más masivo cuanto más intenso fuera el campo gravitatorio que lo atraviesa. Podría decirse que el modelo está basado en una concepción del espacio propia de la gravedad cuántica. Como es sabido la teoría de la gravitación cuántica aún no está completada a pesar de los esfuerzos de los más brillantes físicos durante los últimos decenios.

En este trabajo, absolutamente original, el autor partiendo de una idea muy general de gravitones virtuales trata de mostrar como esas partículas que son generadas por el propio campo gravitatorio pueden explicar con coherencia las extrañas propiedades que las observaciones experimentales han constatado posee la M.O.

El artículo está organizado en ocho partes:

En la primera se presenta un modelo simple de una curva de rotación plana en disco y halo y se obtiene la fórmula para la densidad de masa total en el disco y para el halo la fórmula de la

densidad de M.O. $\rho(r)_{MO\ HALO} = \frac{K}{4\pi r^2}$

En la segunda se presentan algunas curvas de rotación reales de la Vía Láctea y Andrómeda, con objeto de justificar la curva simplificada que se ha usado en el modelo.

En la tercera parte se explica el modelo teórico de una forma heurística y simple ya que habrá de ser la Teoría de la Gravitación Cuántica la que explique los fundamentos de la MO.

En la cuarta parte se deduce la fórmula que expresa la relación local que existe entre la densidad de masa de un determinado punto con la intensidad del campo gravitatorio en dicho

punto, dicha fórmula en el halo es $\rho(r)_{MO\ HALO} \approx \frac{|E(r)|^2}{4\pi G^2 K}$

En la quinta parte se explica la coherencia de la teoría con algunas extrañas propiedades que la MO exhibe en el cúmulo Bala y en otros cúmulos.

En la sexta se justifican a través del modelo, las propiedades de la MO en los halos galácticos, se justifica la existencia de halos en los cúmulos así como algunas propiedades de ellos.

En la séptima parte se justifica que el tamaño de los halos de las galaxias dependen de la masa de las galaxias vecinas y que igualmente sucede en los halos entre cúmulos vecinos.

En la octava parte se proponen ocho pruebas experimentales que servirían para contrastar la validez del modelo teórico.

2. CURVA DE VELOCIDADES DE ROTACIÓN DE LAS ESTRELLAS EN UNA GALAXIA

Inicialmente fijamos la atención en la curva de velocidades de rotación de las estrellas en torno al centro galáctico. En el Anexo puede verse una gráfica con varias docenas de curvas de rotación de estrellas en sus galaxias respectivas. Partiendo de esas curvas de rotación se puede aceptar el modelo simplificado de la figura de abajo.

En este modelo se observan dos regiones claramente delimitadas: Núcleo y Disco.

Núcleo

En general está establecido experimentalmente que el núcleo de una galaxia tiene una distribución de masa ordinaria con relativa simetría esférica y una densidad de masa visible constante y mucho mayor que en el disco galáctico. Además, la velocidad angular de las estrellas en el núcleo es aproximadamente constante.

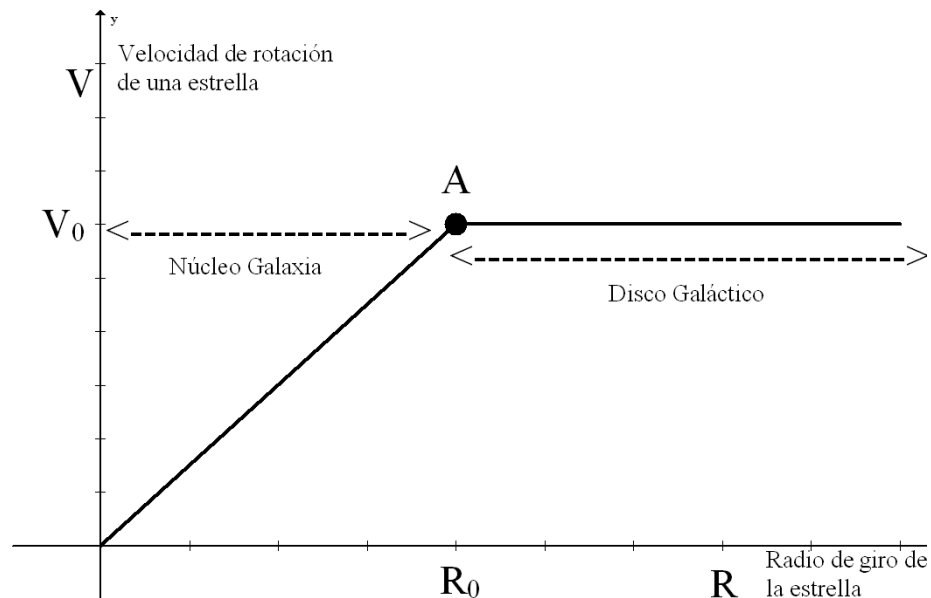
Disco Galáctico

En el disco galáctico la velocidad de rotación de sus estrellas es sensiblemente constante e inexplicablemente elevada si consideramos solo la materia visible.

En todas las galaxias en las que se ha medido su masa y su curva de rotación se puede afirmar que existe un gran defecto de masa. En general en las galaxias se ha estimado que la proporción de MO oscila entre un 90% y un 50%.

Modelo de curva de velocidades de rotación de estrellas en el núcleo y en el disco.

En este artículo, **R** representa el radio de giro de una estrella entorno al centro galáctico, y **M** representa la masa encerrada por la esfera de radio **R**. En todo el artículo se especificará el tipo de masa a la que nos referimos: masa total, ordinaria u oscura.



2.1 DENSIDAD DE MATERIA EN EL NÚCLEO, EN EL DISCO

Núcleo Galáctico

Dado que en esta región $\omega = \text{Cte}$, de la tercera ley de Kepler expresada como

$$\omega^2 = \frac{GM}{R^3} = \frac{4\pi\rho G}{3} = \text{Cte.} \quad \text{se deduce que existe una densidad de masa constante.}$$

Experimentalmente se ha determinado que en esta zona la masa visible tiene una alta simetría esférica y una densidad aproximadamente constante. En consecuencia, en esta región la velocidad angular constante se puede explicar razonablemente bien con las cantidades observadas de masa visible.

En general en todo el artículo vamos a hablar indistintamente de masa visible o masa ordinaria, la cual técnicamente es conocida como masa bariónica. Rigurosamente no debemos identificar masa visible con masa ordinaria ya que en el espacio interestelar existen nubes de gases fríos que no son visibles, pero en este artículo no es necesario tal nivel de precisión.

Disco Galáctico

En esta región es donde se aprecia un gran defecto de masa ya que la velocidad de rotación es muy alta, de 200 km/s a 300 km/s. en proporción a la masa visible existente.

Obtenemos ahora la función densidad de masa que explica la curva de rotación en esta zona.

Dado que en esta región $v = Cte$, del Teorema del Virial expresado como $v^2 = \frac{GM}{R} = Cte$.

se deduce que la masa encerrada por la órbita de la estrella, es directamente proporcional al radio de giro de la estrella.

Del punto A de la gráfica se deduce que $\frac{M_0}{R_0} = \frac{M}{R} = K_{GALAXIA} = \frac{V_0^2}{G} = Cte$ Donde M_0

representa la masa total encerrada por el núcleo cuyo radio es R_0 , V_0 es la velocidad de giro de las estrellas en la zona del disco galáctico y K_G es la constante asociada a una galaxia.

Poniendo como ejemplo la Vía Láctea, y considerando que el Sol tiene una velocidad de traslación de 220 km/s resulta un valor para $K_{VIA LACTEA} = 7,25 \cdot 10^{20} \text{ Kg/m}$.

Teniendo en cuenta $M = K \cdot R \rightarrow dM = K_{GALAXIA} dr$ llegamos a la conclusión de que la
 $M = \rho \cdot V \rightarrow dM = \rho 4\pi r^2 dr$

densidad de masa total $\rho(r)_{MASA-TOTAL} = \frac{K_{GALAXIA}}{4\pi r^2}$ Por integración de $\rho(r)$ se obtiene que $M_{TOTAL}(r) = K_G \cdot r$ Donde $M(r)$ es la masa encerrada en la esfera galáctica de radio r .

2.2 HIPÓTESIS DE VELOCIDAD DE ROTACIÓN CONSTANTE EN EL HALO GALÁCTICO

El halo es una extensa región de la galaxia que empieza en la frontera del disco y termina en las regiones intermedias entre galaxias.

Por ejemplo, experimentalmente se ha determinado que el radio de la Vía Láctea, hasta la frontera del Disco es de unos 50 000 años-luz, mientras que el radio del halo es de 1 millón de años-luz, que es el punto medio hacia la galaxia de Andrómeda.



Para el propósito de este trabajo es fundamental considerar la hipótesis de MO en el halo y por razones de simplicidad matemática, se va a considerar que la curva de rotación es plana también en el halo.

En el halo apenas hay estrellas o gas y la cantidad de M.O. es mucho mayor que la de materia ordinaria, por lo tanto es una aproximación aceptable, considerar que la densidad de

M.O. es $\rho(r)_{M.O. HALO} \approx \frac{K_{GALAXIA}}{4\pi r^2}$.

En el epígrafe 3.2 se muestran dos trabajos experimentales independientes sobre la curva de rotación de la Vía Láctea en la región del halo. Los resultados indican que la velocidad de

rotación es claramente decreciente con la distancia, más concretamente $v \sim r^{-0.3}$ que es un decaimiento más lento que la velocidad de rotación Kepleriana $v \sim r^{-0.5}$.

En suma, existe un amplio consenso científico sobre la necesidad de la hipótesis de materia oscura en el halo medio y lejano para justificar una curva del tipo

$$v \sim r^x \text{ donde } -0,5 < x < 0$$

El lector informado pensará que es demasiado erróneo suponer la hipótesis de velocidad constante en el halo, lo cual es cierto. No obstante, el objetivo de este trabajo se puede conseguir igualmente, ya que en el artículo se propone una nueva naturaleza de la materia oscura y una serie de pruebas experimentales para contrastar la teoría, todo lo cual no depende de la función matemática exacta de la densidad de materia oscura en el halo.

3. CURVAS DE ROTACIÓN GALÁCTICAS REALES

3.1 CURVA DE ROTACIÓN DEL DISCO GALÁCTICO DE ANDRÓMEDA

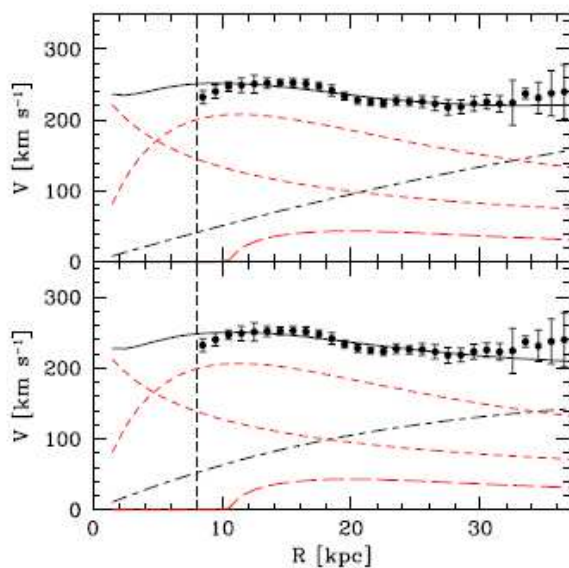


Fig. 12. The M31 rotation curve (points) and the best-fitting mass models (solid line) using a Burkert dark halo profile with $h_d = 5.1$ kpc, $h_b = 2$ kpc and $n=4$. Also shown are the dark halo contribution (dot-dashed line), the stellar disk and bulge (short-dashed line) and the gas contribution (long-dashed line). In the top panel, we show the best fit mass model ($\chi^2 = 0.81$) with $(M/L)_b = 4.5 M_\odot/L_\odot$, $(M/L)_d = 8.0 M_\odot/L_\odot$ and $R_B = 77$ kpc. The case shown in the bottom panel refers to a fixed, lower value of the core radius, namely $R_B = 28$ kpc. For this case the best fitting values of the mass-to-light ratios are $(M/L)_b = 4.9 M_\odot/L_\odot$ and $(M/L)_d = 7.4 M_\odot/L_\odot$ ($\chi^2 = 1.17$).

Como es sabido, Andrómeda es la galaxia espiral gigante más próxima y similar a la nuestra. Se encuentra a unos 2,5 millones de años-luz que equivalen a unos 770 kpc.

Sobre ella se han efectuado y se efectúan multitud de estudios llevados a cabo por prestigiosos equipos de astrofísicos.

Los puntos del gráfico representan medidas sobre velocidades de rotación en la galaxia M31 (Andrómeda) en la región del disco, de 10 a 30 kpc.

En esta región, un modelo de curva plana puede considerarse una simplificación aceptable.

Hay que destacar que en esta región el campo gravitatorio está definido en proporciones comparables por la masa ordinaria y oscura.

La contribución de cada especie viene indicada por las líneas punteadas del gráfico, en cuyo pie se especifica cada una de ellas.

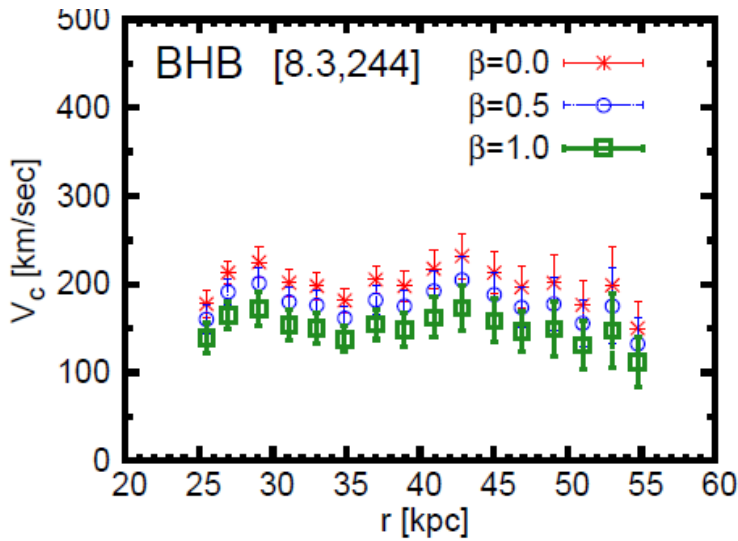
Gráficos extraídos del artículo [4]: A wide-field H I mosaic of Messier 31 (Andrómeda)

II. The disk warp, rotation and the dark matter halo.

Authors: Edvige Corbelli, Silvio Lorenzoni, Rene Waltherbos, Robert Braun, and David Thilker

Published in arXiv:0912.4133v1 [astro-ph.CO] 21 Dec 2009

3.2 CURVA DE ROTACIÓN DE LA VÍA LÁCTEA EN EL HALO PRÓXIMO MEDIO Y LEJANO

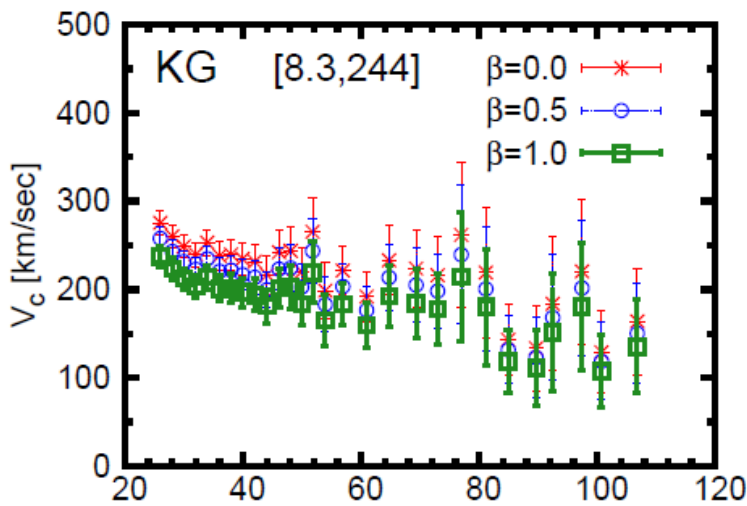


Los gráficos, que han sido extraídos de un reciente artículo publicado en 2014, representan las mediciones de la curva de rotación en la Vía Láctea en tres regiones del halo.

Se aprecia un claro decaimiento de la velocidad a partir de los 60 kpc

Se remite al lector al artículo completo para mayor detalle.

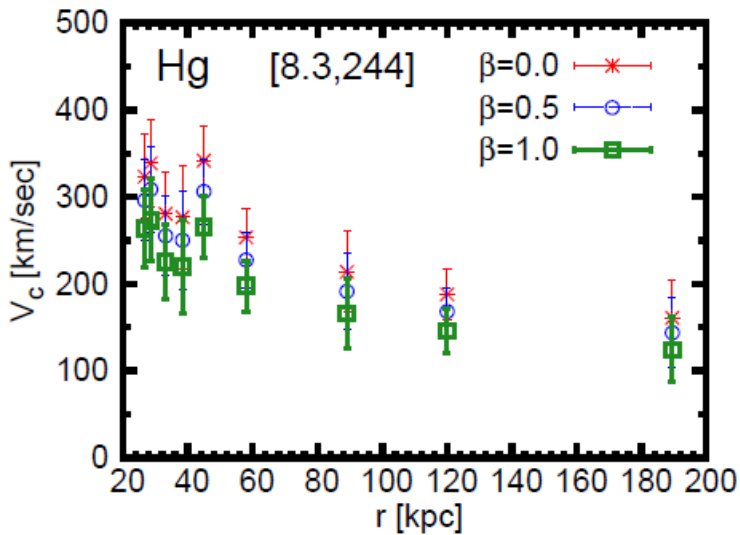
En el mismo, los autores ajustan a tales datos una curva en la que la velocidad $v \sim r^{-0.3}$



Como es sabido la velocidad de rotación Kepleriana es $v \sim r^{-0.5}$

Esto nos indica que en el halo, donde la presencia de materia ordinaria es residual, es necesaria la hipótesis de materia oscura ya que de lo contrario la velocidad tendría un decaimiento kepleriano.

En los últimos años hay una intensa labor de investigación tanto experimental como teórica entorno a la materia oscura, a nivel galáctico y a escala de cúmulos galácticos.



Prueba de ellos es la abundancia de artículos publicados en las revistas científicas especializadas.

Gráfico extraído del artículo [6]: ROTATION CURVE OF THE MILKY WAY OUT TO 200 KPC
Autores: Pijushpani Bhattacharjee, Soumini Chaudhury, and Susmita Kundu

Publicado en arXiv:1310.2659v3 [astro-ph.GA] 26 Feb 2014

3.3 CURVA DE ROTACIÓN DE LA VÍA LÁCTEA EN EL HALO

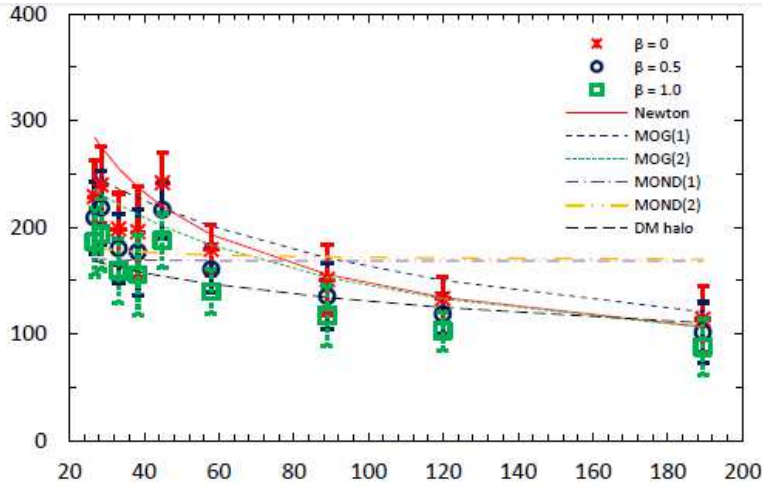


FIG. 1: Fits to the observed rotational velocities of the Milky Way galaxy using various theories. The data [6] are represented with red crosses ($\beta = 0$), blue hollow circles ($\beta = 0.5$) and green hollow squares ($\beta = 1.0$). The solid red line is the Newtonian fit with a central mass of $M = 5 \times 10^{11} M_{\odot}$. The blue medium dashed and green short dashed lines correspond to MOG using the values of $M = 4 \times 10^{10} M_{\odot}$, $\alpha = 15.01$, $\mu = 0.0313 \text{ kpc}^{-1}$, and $M = 5 \times 10^{10} M_{\odot}$, $\alpha = 8.89$, $\mu = 0.04 \text{ kpc}^{-1}$, respectively, which correspond to the values calculated according to Ref. [7], or given by Ref. [3]. The purple dash-dotted line and the yellow dash-double-dot line correspond to fits using MOND, the mass of $M = 5 \times 10^{10} M_{\odot}$, $a_0 = 1.21 \times 10^{-8} \text{ cm/s}^2$, and the interpolation functions given by Eqs. (5) and (6), respectively. Finally, the black long-dashed line is the dark matter halo prediction given in [13].

Gráfico obtenido del artículo [5]: Rotational Velocity Curves in the Milky Way as a Test of Modified Gravity Authors J. W. Moffat and V. T. Toth Published in arXiv:1411.6701v2 [astro-ph.GA] 11 Dec 2014

Hay que resaltar que es lógico que la velocidad de rotación decrezca en la zona del halo, ya que en dicha región la M ordinaria es residual y la MO la única que aporta masa. A diferencia del disco en el que tanto la M ordinaria como la MO aportan significativamente masa.

A pesar de la simplicidad del modelo, éste permite desarrollar una teoría cuyos aspectos más destacables son:

- Existe una dependencia funcional entre densidad de MO e Intensidad de campo gravitatorio.
- El modelo explica fácilmente las extrañas propiedades que la MO exhibe en la colisión de materia del cúmulo Bala.
- La frontera del halo de una galaxia viene determinado por la región donde el campo gravitatorio intergaláctico se anula como consecuencia de la suma vectorial de la intensidad de campo gravitatorio de las galaxias vecinas.
- El tamaño del halo de una galaxia depende de la masa de las galaxias vecinas.
- El modelo permite definir el halo de un cúmulo de galaxias como la región donde el campo propio domina sobre el campo gravitatorio de los cúmulos vecinos.

En el gráfico las cruces rojas, los círculos azules y los cuadros verdes muestran medidas de velocidades de rotación de la Vía Láctea.

Las líneas corresponden a diversos modelos teóricos que tratan de ajustar dichos datos.

En ordenada se representan las velocidades en Km/s y en abscisas la distancia al centro galáctico en kpc.

Las medidas empiezan en 20 kpc, que es la zona externa del disco galáctico, y terminan a 200 kpc que es el halo lejano.

Como se observa las velocidades están muy lejos de ser constantes tal y como hemos supuesto en el modelo.

Esta gran discrepancia entre el modelo y los datos

experimentales no importan en este artículo porque el objetivo del mismo es simplemente proponer una nueva hipótesis sobre la naturaleza de la MO.

4. MODELO DE MATERIA OSCURA POR VACÍO CUÁNTICO

Como es sabido, la Electrodinámica Cuántica (EDC) considera el espacio como un lugar repleto de partículas virtuales sensibles a la fuerza electro-débil. Según esta teoría, las partículas virtuales son aquellas que existen durante un breve lapso de tiempo dado por la desigualdad $\Delta E \cdot \Delta t \leq \frac{\hbar}{2}$. Podríamos decir que estas partículas violan el principio de conservación de la energía en el breve lapso de tiempo que establece la anterior desigualdad. La teoría de la Cromodinámica Cuántica aumenta la familia de partículas virtuales a aquellas que son sensibles a las fuerzas entre quarks, los gluones. Es lógico pensar que el espacio debe albergar también partículas virtuales sensibles a las fuerzas gravitatorias, a las cuales podríamos llamarlas gravitones virtuales.

Por otra parte, también parece lógico que el campo gravitatorio excite los estados del vacío de manera que “el vacío sea más masivo cuanto más intenso sea el campo gravitatorio al que está sometido”. Así pues, el modelo de M.O. que proponemos, podría justificar cualitativamente

la función $\rho(r)_{MASA-TOTAL} = \frac{K_{GALAXIA}}{4\pi r^2}$ de la densidad de masa total (ordinaria y oscura) de la región del Disco galáctico y $\rho(r)_{M.O.} \approx \frac{K_{GALAXIA}}{4\pi r^2}$ en la región del halo.

Para explicar esta interacción entre la gravedad y el vacío vamos a exponer el modelo electrón físico y electrón desnudo establecido por la Electrodinámica Cuántica (EDC).

La distinción entre electrón físico y electrón desnudo se pudo constatar cuando se dispuso de aceleradores de partículas con la suficiente energía para penetrar en el electrón físico. Es decir, cuando los electrones de altísima energía se colisionan contra los electrones sufren una dispersión que no puede explicarse con un potencial tipo Coulombiano porque cuando el electrón penetra en el interior del electrón físico, la carga neta que “nota” el electrón proyectil es mayor que la de un electrón físico. Sin embargo, electrón físico es casi puntual porque los positrones virtuales apantallan al electrón desnudo, en un espacio muy pequeño de forma que la fuerza eléctrica torna Coulombiana a una pequeñísima distancia entorno del electrón desnudo.

Hay dos diferencias fundamentales entre la fuerza eléctrica y la gravitatoria.

- La intensidad de la fuerza gravitatoria es mucho menor que la fuerza eléctrica, recordemos que la constante de gravitación es casi veinte órdenes de magnitud inferior a la constante eléctrica.
- El apantallamiento del electrón desnudo se efectúa en un espacio pequeñísimo entorno al electrón desnudo gracias a que los positrones virtuales son de signo contrario y disminuyen rápidamente la carga total del electrón físico. Debido a que la carga del positrón virtual es de signo contrario a la del electrón, la carga neta del electrón físico es menor que la del electrón desnudo.

Por el contrario, la fuerza gravitatoria es siempre atractiva y por lo tanto los gravitones virtuales son también atractivos y por eso la masa total (masa ordinaria + masa oscura) va aumentando a medida que consideramos un volumen de espacio cada vez mayor entorno a la materia ordinaria.

Llegados a este punto, podríamos pensar que este mecanismo de generación de masa es inestable ya que la masa es proporcional al radio de la esfera de espacio considerada.

Por ahora me limitaré a dos breves apuntes para solucionar esta incómoda divergencia.

- En el epígrafe 8 se explicará un poco más la solución basándose en el concepto de halo, por ahora diremos solamente que la influencia en el alcance de la capacidad de generación de MO de una galaxia, está limitada por sus galaxias vecinas, digamos que en el espacio intergaláctico, el campo gravitatorio de una galaxia es contrarrestado por el campo gravitatorio de sus galaxias vecinas.
- El espacio localmente es Euclídeo, pero globalmente no lo es. Puede que a escala de galaxia o incluso a escala de cúmulo de galaxias pueda ser aproximadamente válido, pero a mayores escalas es totalmente incorrecto aplicar el modelo Euclídeo al espacio.

Si consideramos que el volumen de una esfera es proporcional al cubo de su radio es fácil comprender la enorme diferencia entre la cantidad de MO que puede haber en una esfera del tamaño del Sistema Solar frente a la cantidad que puede contener una esfera del tamaño de una galaxia.

Así pues, con este modelo de M.O. es muy fácil justificar que la fuerza gravitatoria está regida por la masa ordinaria a escala de Sistema Solar, y sin embargo a escala de galaxia hay que contabilizar la MO para poder explicar las curvas de rotación estelares ya que a esta escala la MO es mucho más abundante que la materia ordinaria.

5. ASIMETRÍA ENTRE MATERIA OSCURA Y MATERIA ORDINARIA

Un aspecto bastante llamativo de este modelo es el hecho de que la materia oscura es generada por la materia ordinaria. Es decir la materia oscura no puede existir independientemente de la materia ordinaria.

Hasta donde yo sé, por ahora no se ha descubierto una región con solo materia oscura, lo cual es bastante sorprendente, máxime teniendo en cuenta que la MO es el 90 % del total de materia estimada en el Universo. Este modelo explicaría esta situación de forma natural y sencilla.

Otro hecho experimental bastante difícil de explicar con otros modelos de materia oscura es la constante de proporcionalidad que parece existir en todas las galaxias (independientemente de la masa ordinaria que tengan) entre su masa ordinaria y su masa oscura. Sabido es que la proporción estimada es 90 % M.O. y 10 % masa ordinaria. Aunque podrían proponerse razones de isotropía para justificar esa proporción en todas las galaxias, yo veo más plausible que sea debido a que existe un mecanismo físico que relaciona ambas clases de materia.

Es muy difícil de aceptar que la isotropía del Universo, solo con la ley de la gravedad haya generado una proporción constante de masas oscura y ordinaria en las galaxias sabiendo además que las masas de las galaxias difieren en varios órdenes de magnitud, desde las más pequeñas hasta las más grandes.

Para tratar de explicar el papel asimétrico que existe en mi modelo entre la MO y la Materia ordinaria he pensado otra vez en los conceptos electrón desnudo y electrón físico, vamos a ello.

Para empezar, diremos que la EDC le da existencia real al mar de partículas virtuales, ya que a partir de ellas es como se crean las partículas reales, previo pago de la energía que Einstein calculó. Dicho con otras palabras, no es cierto que la energía pueda transformarse en materia según la ecuación $E=mc^2$, sino que esa energía es la que es necesaria para convertir una partícula virtual en una partícula real. Por tanto, hay que concluir que las partículas virtuales

son entidades físicas “reales” en el sentido de que son necesarias para generar las partículas bariónicas.

Pasamos a explicar como la existencia de la MO depende de la masa ordinaria en el modelo que proponemos, para ello nos basamos en el modelo del electrón físico y el electrón desnudo de la EDC.

El electrón desnudo provoca un gran desequilibrio en la neutralidad del mar de partículas virtuales en su proximidad más inmediata ya que se rodea de una nube de positrones virtuales. De modo que la carga del electrón desnudo es mayor que la del electrón físico. Pero la cuestión clave es que el electrón desnudo crea entorno a sí mismo una carga de positrones virtuales, es decir el electrón desnudo le da existencia real a esos positrones virtuales en tanto en cuanto ellos son los que determinan la carga final del electrón físico.

Recapitulando: En el espacio vacío, el mar de positrones y electrones virtuales no se manifiesta eléctricamente. Sin embargo entorno a un electrón los positrones virtuales se manifiestan eléctricamente apantallando al electrón desnudo.

Usando estas ideas para el modelo de MO cabe destacar dos aspectos:

- En el entorno de una estrella, o una galaxia, el campo gravitatorio de la masa ordinaria es el que produce la creación de MO ya que dicho campo excita las partículas virtuales, del mismo modo que el electrón desnudo excita los positrones virtuales que le rodean.
- En un gran vacío de galaxias, el campo gravitatorio es muy débil lo cual conduce a que la MO esté en valores mínimos y el gradiente de densidad de materia oscura sea cero. Así pues según este modelo, no es posible la existencia de una concentración de MO ni la existencia de un campo gravitatorio central generado exclusivamente por MO.

Dada la naturaleza del efecto lente gravitatoria, sabemos que este efecto podría detectar un campo gravitatorio central, a escala de galaxia o cúmulo de galaxias, de materia oscura pura. En el epígrafe 9 plantearemos una prueba experimental para chequear el modelo basándonos en la propiedad de la MO que acabamos de explicar.

Según este modelo ¿En qué sentido la MO es real? En el mismo en el que los positrones virtuales son reales, ya que son éstos los que disminuyen la carga del electrón desnudo para producir la carga neta del electrón físico.

Así pues podemos decir que la MO es real porque es la responsable del 90% del campo gravitatorio de una galaxia, aunque según el modelo son simples partículas virtuales.

Así pues la materia ordinaria crea la MO en el espacio que le rodea, a pesar de que ésta última es el 90% de la masa global de la galaxia.

Como vemos este modelo explica de forma muy natural y sencilla la imposibilidad de que exista MO sin la presencia de materia ordinaria, e igualmente justifica la proporción entre MO y masa ordinaria ya que establece un mecanismo físico que genera la MO a partir de la masa ordinaria.

La explicación definitiva de la M.O. de una galaxia y de la curva de rotación de sus estrellas sólo será posible cuando dispongamos de una teoría completa de gravedad cuántica que desgraciadamente aún no existe.

6. RELACIÓN ENTRE LA FUNCIÓN DENSIDAD DE MASA Y LA INTENSIDAD DE CAMPO GRAVITATORIO

Como hemos visto en epígrafes anteriores la función densidad para la masa total en el disco galáctico viene dada por

$$\rho(r)_{MASA-TOTAL} = \frac{K_{GALAXIA}}{4\pi r^2} \quad (1)$$

Dado que en el halo la materia ordinaria se encuentra en una proporción insignificante se puede considerar que la fórmula $\rho(r)_{M.O. HALO} = \frac{K_{GALAXIA}}{4\pi r^2}$ (2) es muy buena aproximación.

6.1 INTENSIDAD DE CAMPO GRAVITATORIO

Para una distribución de masa con simetría esférica, la intensidad de campo gravitatorio según se establece en el teorema de Gauss viene dada por la expresión $\vec{E} = \frac{GM}{r^2} \hat{r}$ donde M es la masa total que encierra la esfera de radio r. Como es sabido, la dirección del campo es radial. En adelante sólo consideraremos el módulo de la intensidad de campo $E(r) = \frac{GM}{r^2}$

En una galaxia, la simetría esférica para su distribución de masa se puede considerar una aproximación aceptable, así pues vamos a usar la expresión anterior para calcular la intensidad de campo en un punto del disco o del halo galáctico.

Como anteriormente hemos justificado, en el disco y en el halo, la masa total encerrada por una esfera de radio r es $M_{Total}(r) = K_G \cdot r$ que sustituida en la expresión de la intensidad de

$$\text{campo nos da } E(r) = \frac{GK_G}{r} \quad (3)$$

6.2 EXPRESIÓN DE LA DENSIDAD DE MASA EN UN PUNTO EN FUNCIÓN DE LA INTENSIDAD DE CAMPO GRAVITACIONAL

Usando la expresión que acabamos de obtener para la intensidad de campo (3) y sustituyendo

r en la fórmula de la densidad de masa resulta $\rho(r)_{M Tot} = \frac{E^2}{4\pi G^2 K_G}$. (4) Gracias a esta

expresión queda exactamente establecida la dependencia de la densidad de masa con la intensidad de campo en cualquier punto del disco o del halo galáctico.

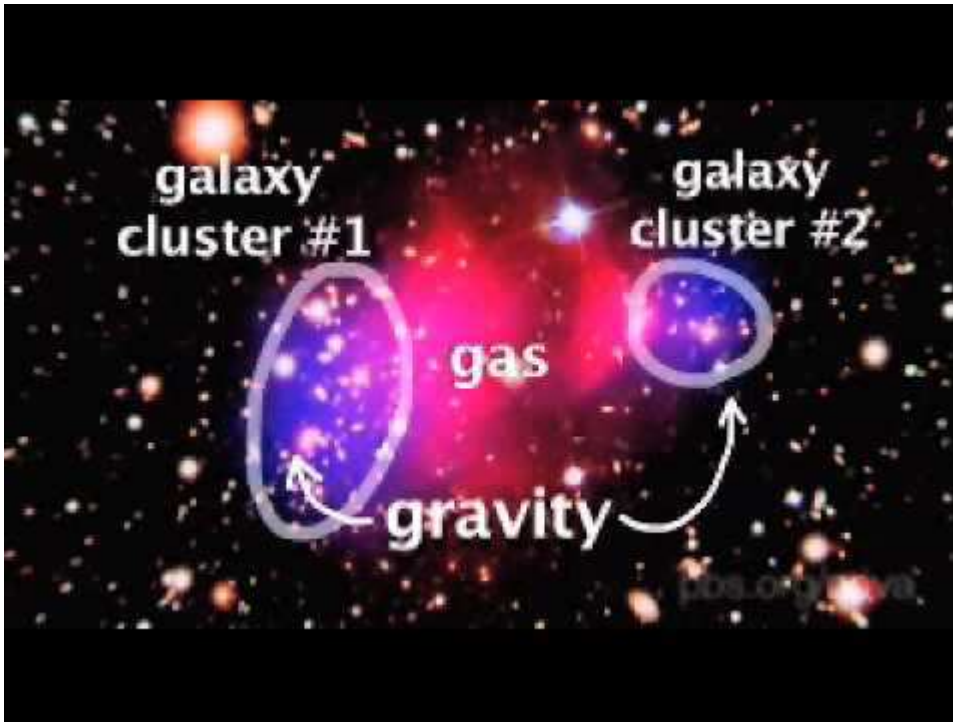
$$\text{En particular en el halo, la fórmula (4) se convierte en } \rho(r)_{MO HALO} = \frac{E^2(r)}{4\pi G^2 K_G} \quad (5)$$

DISCUSIÓN DE LA VALIDEZ DE LAS FÓRMULAS (4) y (5)

Las fórmulas (4) y (5) ponen de manifiesto una relación local entre las funciones densidad de masa e intensidad de campo gravitatorio en un punto del espacio.

La validez de las fórmulas (4) y (5) requieren de la hipótesis $M_{Total}(r) = K_G \cdot r$ la cual se cumple siempre que la curva de velocidades sea plana. Según los resultados experimentales mostrados en el epígrafe 3, la planitud de la curva es una hipótesis aceptable en los discos galácticos, no en los halos. Por tanto la fórmula (4) podría ser válida en el disco. La fórmula (5) ya sabemos que no es muy realista porque los datos experimentales confirman que la curva de rotación no es plana en el halo. *De cualquier modo el objetivo de este trabajo es justificar con el modelo de MO que existe una dependencia funcional entre la densidad de materia Oscura o total y la intensidad de campo gravitatorio. En mi opinión, la teoría necesaria para hallar fórmula exacta de la densidad de MO en el halo será una teoría de la gravitación cuántica.*

7 LA MATERIA OSCURA EN EL CÚMULO BALA



El cúmulo Bala está formado por dos cúmulos de galaxias, aunque estrictamente hablando el cúmulo Bala es el cúmulo más pequeño (2) cuya nube de gas tiene forma cónica. Estos cúmulos colisionaron hace 150 millones de años. Las estrellas no colisionaron, simplemente desviaron sus trayectorias. Sin embargo el gas si interactuó y como resultado el gas se calentó a unos 70 millones de grados y emite Rayos X. En la actualidad estos cúmulos se alejan a 10 millones de Km/h, aunque las nubes de gas han quedado más ligadas gravitatoriamente. Se constata que no hay evidencias acerca de la colisión de la MO.

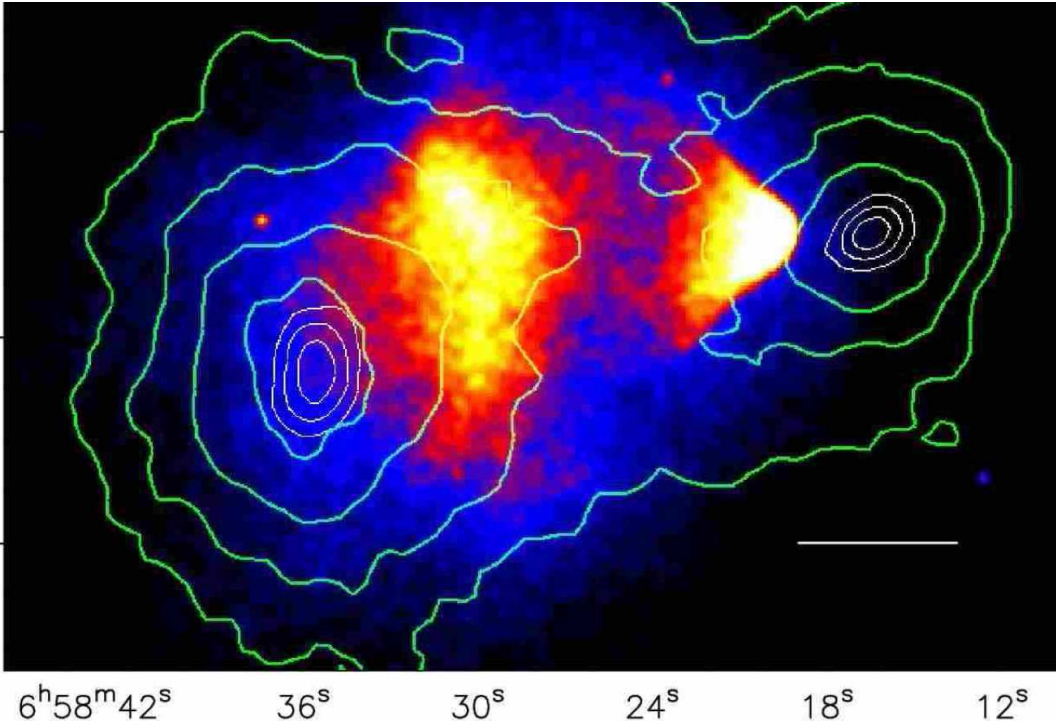
Ha sido estimado que el gas (en rojo) es dos veces más masivo que la masa de las estrellas de los cúmulos (en azul). Sin embargo mediante lentes gravitacionales se ha constatado que los cúmulos son mucho más masivos que la nube de gas.

Esta prueba experimental fue hace unos años la prueba definitiva para aceptar la existencia de la MO y descartar totalmente la teoría MOND (Modified Newton Dynamic).

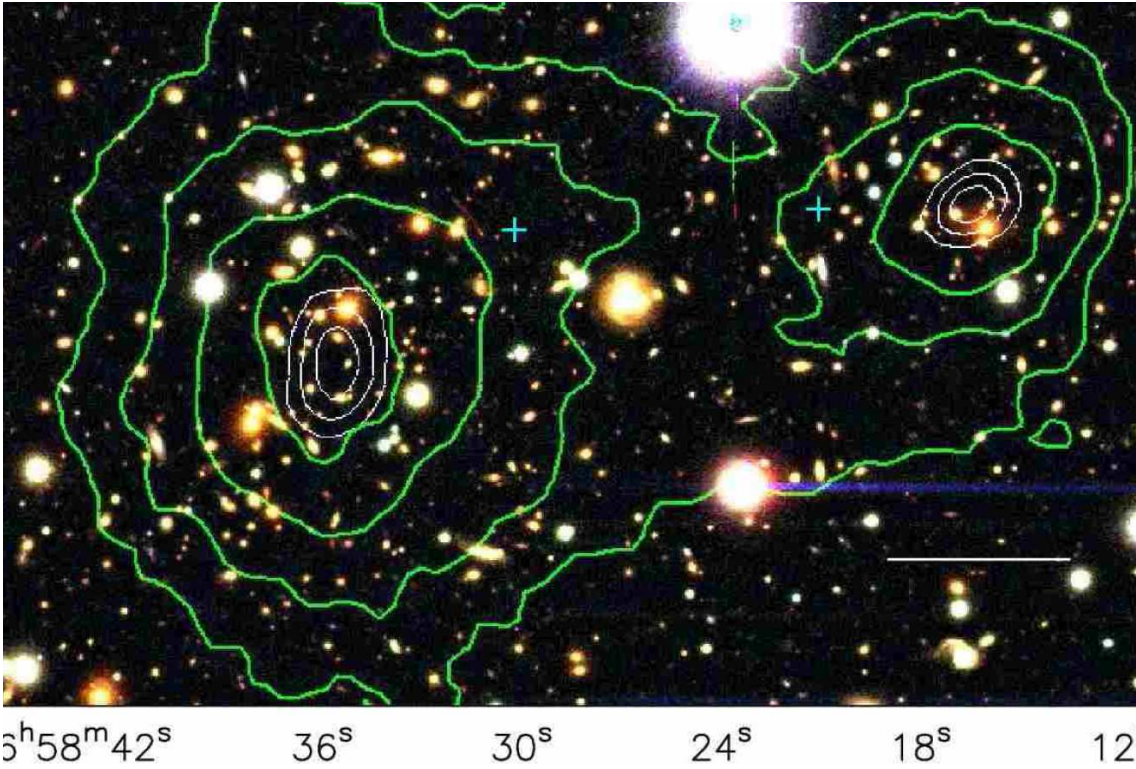
La anterior información fue descubierta hace algunos años pero ahora me gustaría reflexionar sobre dos extraños fenómenos asociados a la MO del cúmulo Bala.

- La MO, que está distribuida por el espacio de forma parecida a las nubes de gas, no ha colisionado, prueba de ello es que la mayor parte de la masa del sistema conserva la simetría esférica.
- La MO permanece mayoritariamente ligada a los dos cúmulos de galaxias aunque una fracción está distribuida en la zona de las nubes de gas.

Como puede verse en el gráfico la nube en blanco, amarillo, rojo y azul representa las diferentes frecuencias de emisión en Rayos X consecuencia de los casi cien millones de grados a los que se encuentra la nube de gas como resultado de la colisión.



El cúmulo Bala es un par de cúmulos que colisionaron (Clowe et al. 2006).



El cúmulo Bala está dominado por material que no ha colisionado (Clowe et al. 2006).

Las curvas del gráfico representan la concentración de materia, que como puede verse tiene una alta simetría esférica y están concentradas sobre los centros de los dos cúmulos.

Estas curvas han sido elaboradas mediante técnicas de lentes gravitacionales que como es sabido permiten calcular la masa total (ordinaria y oscura). Esta alta simetría esférica demuestra que al igual que las estrellas, la MO de ambos cúmulos tampoco ha interactuado en la colisión.

Recapitulando:

- La MO no ha colisionado.
- La MO permanece ligada principalmente a los cúmulos de galaxias, aunque una fracción está distribuida juntamente con la nube de gas.

7.1 EL MODELO DE M.O. EXPLICA LAS EXTRAÑAS PROPIEDADES DE LA M.O. EN EL CÚMULO BALA

Hasta aquí hemos expuesto las evidencias experimentales del cúmulo Bala, ahora vamos a tratar de explicar con el modelo por vacío cuántico estas extrañas propiedades de la MO en el cúmulo Bala.

Según el modelo, la MO no puede existir independientemente de la materia ordinaria, por eso permanece ligada principalmente al campo gravitatorio de los cúmulos. Por razonamientos análogos a los hechos para una galaxia se puede obtener la fórmula

$$\rho(r)_{MO \text{ CUMULO}} \approx \frac{E^2(r)}{4\pi G^2 K_{CUMULO}}$$

En el epígrafe 8.4 se justifica un poco más la validez de la misma fórmula para cúmulos y para galaxias.

Por tanto el carácter de campo conservativo del campo gravitatorio puede asociarse al campo de densidad de MO.

De esta forma el modelo explica fácilmente:

- *La no existencia de interacción de la MO en un choque tan formidable como el de dos cúmulos, que sin embargo ha sido capaz de calentar las masas de gas a casi cien millones de grados.*
- *La permanencia de la estructura de una relativa simetría esférica de la masa total en torno a los dos cúmulos.*

Llegados a este punto es necesario hacer una importante observación:

Al principio del epígrafe informamos que la masa ordinaria de la nube de gas se estima que es el doble de la masa visible de las estrellas de los cúmulos. Por lo tanto podríamos pensar que esta masa ordinaria tendría que generar una masa oscura mayor incluso que la creada por las estrellas en los dos cúmulos. En el siguiente epígrafe veremos como el modelo explica este hecho de una forma coherente con los resultados experimentales.

BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO

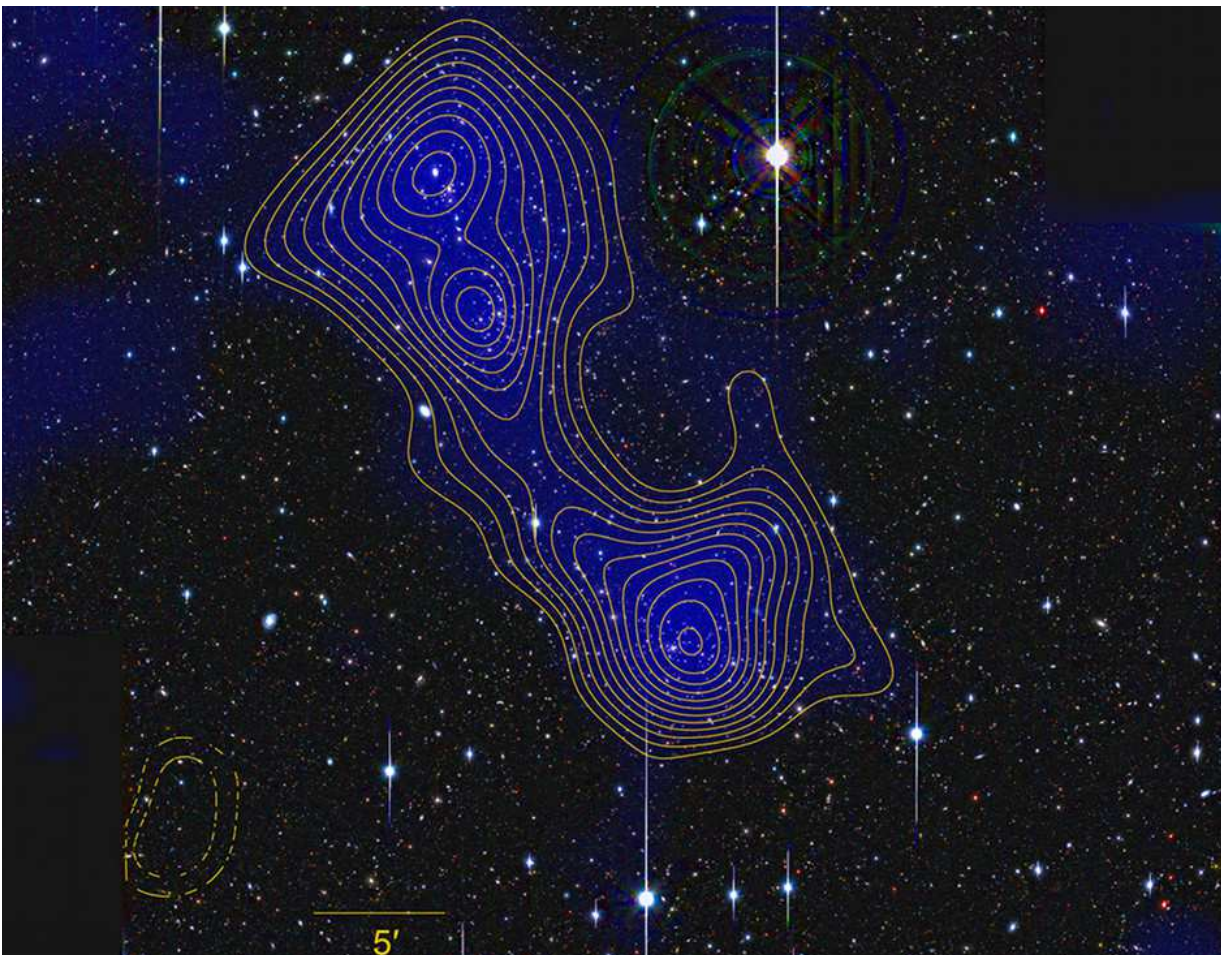
El notable gráfico que traduce un espectacular trabajo experimental sobre el cúmulo doble A222/A223 ha sido extraído del artículo:

Schneider, Peter (2012). Dark matter in clusters and large- scale structure. Published in XXIV Canary Islands winter school of astrophysics.

8. FILAMENTOS DE MATERIA OSCURA QUE CONECTAN CÚMULOS

Como planteábamos arriba, podríamos pensar que una nube de gas más masiva que las masas estelares galácticas debería generar más MO que las propias estrellas. La respuesta es negativa debido a que la densidad de la nube de gas es cuatrillones de veces inferior a la densidad de las estrellas, y por tanto generan un campo gravitatorio muy débil en la extensa región que delimita la nube de gas que existe entre dos o más cúmulos. Dicho con otras palabras, la materia oscura que crea la materia ordinaria de las nubes de gas entre cúmulos es despreciable frente a la materia oscura que generan las galaxias de los cúmulos. Tengamos en cuenta que de acuerdo a la fórmula de la densidad de MO, ésta es proporcional al cuadrado del campo gravitatorio, por tanto si el campo gravitatorio es muy débil la densidad de MO lo será más aún.

No obstante dicha masa de gas genera MO que forma los filamentos de MO inter cumular. En la figura de abajo puede verse representado un filamento de materia oscura que une dos cúmulos.



El cúmulo doble A222/A223 (Dietrich et al. 2012)

BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO

El notable gráfico que traduce un espectacular trabajo experimental sobre el cúmulo doble A222/A223 ha sido extraído del artículo:

Schneider, Peter (2012). Dark matter in clusters and large- scale structure.

Published in XXIV Canary Islands winter school of astrophysics.

9. DENSIDAD DE MATERIA OSCURA EN FUNCIÓN DE $|\vec{E}|$

En anteriores epígrafes se ha obtenido $\rho(r)_{MO\ HALO} \approx \frac{|\vec{E}(r)|^2}{4\pi G^2 K_G}$ Es una fórmula muy simple,

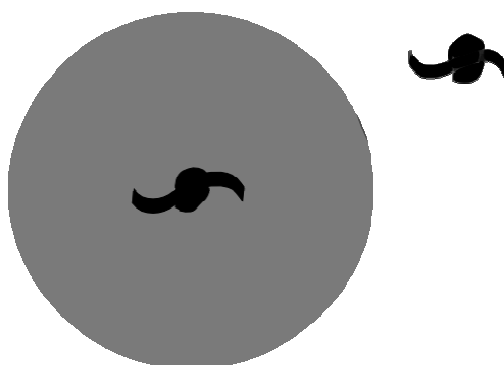
pero que ha conseguido expresar la dependencia funcional de la densidad de materia oscura con la intensidad de campo gravitatorio. El carácter vectorial del campo gravitatorio tiene consecuencias muy importantes para la función densidad de materia oscura y para estimar el radio del halo de materia oscura de una galaxia.

9.1 HALO GALÁCTICO

El carácter aditivo de la intensidad de campo total creado por dos o más masas definiría el tamaño del halo, ya que el radio del halo es la distancia a la galaxia donde el campo gravitatorio total es cero, como consecuencia de la suma vectorial de los campos galácticos creados por las galaxias vecinas.

Por ejemplo el halo de una galaxia cuyas galaxias vecinas son equidistantes y tienen la misma masa, es exactamente la mitad de la distancia que separa a las galaxias ya que en el punto medio de dos galaxias de la misma masa el campo gravitatorio es nulo.

En el epígrafe 10 a través de un sencillo desarrollo teórico se obtendrá la relación entre los halos de dos galaxias vecinas. Dicha relación muestra que la proporción de los halos vecinos es exactamente la misma proporción que las constantes de las galaxias. $\frac{R_{H2}}{R_{H1}} = \frac{K_2}{K_1}$



- La materia oscura tiene simetría esférica

Para este modelo de MO es inmediato explicar la esfericidad del halo galáctico ya que si el campo gravitatorio tiene simetría esférica, la densidad de MO también la tendrá.

Se deduce de esto que el halo tendrá mayor simetría esférica en el halo cercano que es la región donde el campo propio domina. En cambio en el halo lejano el campo tendrá menos simetría esférica ya que en dicha región el campo total está más bien dominado por el grupo de galaxias vecinas. En el epígrafe 10 volveremos a matizar estos razonamientos.

- El halo de materia oscura de la Vía Láctea

En el libro de Jeremiah Ostriker, veterano astrónomo Norteamericano, publicado en 2013 y titulado El corazón de las tinieblas. Materia y Energía oscuras. [1]. En la página 203 afirma que ha sido constatado experimentalmente que el halo de la Vía Láctea tiene un millón de años-luz y que la masa total (oscura y ordinaria) es de 10^{12} masas Solares. También afirma que se ha comprobado experimentalmente que para un radio por debajo de ese límite la masa

total (ordinaria y oscura) encerrada por una esfera de radio R es proporcional al radio, es decir $M = K \cdot R$.

Recientes publicaciones de 2014, [5], [6], [7] corrigen esas afirmaciones, ya que las curvas de rotación medidas en el halo de la Vía Láctea y otras galaxias no son planas, por tanto no se puede cumplir la fórmula $M(R) = K \cdot R$.

No obstante hay que mencionar que las curvas de rotación medidas necesitan también de una densidad de materia oscura en el halo, pero en menor cuantía que la densidad que por simplicidad matemática se ha considerado en este artículo $\rho(r)_{M.O.HALO} = \frac{K_G}{4\pi r^2}$.

Como es sabido el radio de nuestra galaxia es 50000 años-luz y por tanto el halo es 20 veces mayor.

Las más recientes estimaciones de distancia a Andrómeda, nuestra galaxia gigante vecina, es de unos 2,5 millones de años luz y una masa similar a la Vía Láctea. A la vista de tales datos y con la fórmula de la proporción de halos entre galaxias vecinas que se verá en el epígrafe 10, es plausible considerar que la predicción del modelo para el radio es consistente con la estimación experimental del halo que establece Ostriker. [1]

$$\text{Radio de Halo VÍA LACTEA} = 1 \text{ Millón Años-luz} \approx 300 \text{ kpc}$$

9.2 MASA TOTAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA AL CENTRO GALÁCTICO

Por integración de la densidad de masa $\rho(r)_{MASA-TOTAL} = \frac{K_G}{4\pi r^2}$ se llega a que la masa total encerrada por una esfera de radio R viene dada por $M_{TOTAL}(R) = K_G \cdot R$. La cuestión que plantea esta fórmula es, ¿hasta dónde se extiende el radio?

De acuerdo con la idea de halo a la que conduce la teoría, la respuesta sería que el radio se extiende en todo el halo.

Pero para ser más precisos diríamos que esa fórmula sería más exacta en el disco porque según los datos experimentales la planitud de la curva de rotación se da en la región del disco.

En la región del halo se tiene $\rho(r)_{MO-HALO LEJANO} < \frac{K_G}{4\pi r^2}$ y $\rho(r)_{MO FRONTERA-HALO} \approx 0$

Como corolario de estos razonamientos, el modelo establece que $K_G \cdot R_{HALO}$ sería una cota superior para la masa total de una galaxia.

$$\text{Masa Total GALAXIA} < K_G \cdot R_{HALO}$$

9.3 COTA SUPERIOR PARA LA MASA TOTAL DE LA VÍA LÁCTEA

Como es sabido, el Sol se encuentra en la zona media del disco galáctico, por tanto es razonable considerar la propia velocidad de rotación del Sol, como la velocidad de rotación de la Vía Láctea en su zona plana.

No existe total consenso científico acerca de la velocidad del Sol, algunos autores estiman $V_{SOL} = 220 \text{ Km/s}$ y otros llegan a 240 Km/s . Esto nos da una idea de la dificultad que entrañan las mediciones en el Universo.

Consideraremos estos datos: Velocidad orbital Sol $\approx 220 \text{ km/s}$

$$K_{VL} \approx V_{SOL}^2 / G \rightarrow K_{VIA LACTEA} \approx 7,25 \cdot 10^{20} \text{ Kg/m} \text{ y } R_{HALO} = 1 \text{ millón A-L} = 10^{22} \text{ m}$$

$$M_{\text{TOTAL VIA LACTEA}} < K_{V-L} \cdot R_{\text{HALO}} = 7,25 \cdot 10^{42} \text{ Kg}$$

Teniendo en cuenta $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ $M_{\text{TOTAL VIA LACTEA}} < 3,6 \cdot 10^{12} M_{\odot}$

CONCLUSIÓN

Este valor de cota superior para la masa total de la Vía Láctea es bastante alto, ya que actualmente las estimaciones experimentales para la Vía Láctea son:

$$\text{Masa visible} = 2 \cdot 10^{11} M_{\odot} \quad \text{y} \quad \text{Masa Oscura} = 10^{12} M_{\odot}$$

La razón principal por la que la fórmula ofrece una cota tan alejada de la masa total estimada de la Vía Láctea es que la hipótesis de planitud de la curva de rotación en la región del halo está muy lejos de los hechos experimentales.

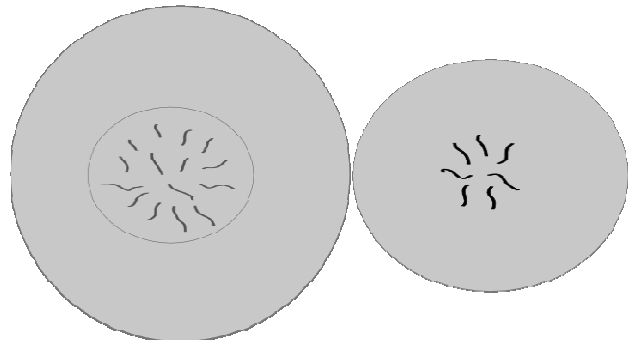
En el epígrafe 3.2 se presentó una curva de rotación experimental de la Vía Láctea en el halo, y se comentó que la hipótesis de una velocidad constante no es una hipótesis realista por

lo tanto es evidente que $\rho(r)_{\text{MO HALO}} < \frac{K_G}{4\pi r^2}$ Queda fuera del propósito de este trabajo el

ajuste de una función densidad de masa en el halo a los datos. El lector interesado puede consultar los numerosos trabajos a este respecto publicados en arXiv o Astrophysics & Astronomy.

9.4 HALO DE UN CÚMULO

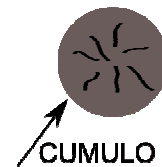
Experimentalmente se ha comprobado que los super-cúmulos son estructuras en las que sus elementos, los cúmulos, interaccionan gravitatoriamente. Por tanto la lógica del modelo nos lleva al concepto de halo de un cúmulo como la región donde el campo propio domina sobre el resto de los campos de los cúmulos vecinos.



Actualmente existe consenso científico en considerar a los super-cúmulos como las mayores estructuras del Universo cuyas partes interaccionan entre sí gravitatoriamente. Recientemente se han publicado resultados sobre nuestro súper cúmulo local al que los astrofísicos responsables de su estudio han bautizado con el nombre de Laniakea.

Según el modelo, las galaxias no solo generarían MO dentro del cúmulo sino también en su halo, ya que los cúmulos interaccionan gravitatoriamente con otros cúmulos.

HALO DEL CUMULO



CUMULO

9.4.1 HIPÓTESIS DEL TEOREMA DEL VIRIAL EN CÚMULOS DE GALAXIAS

Dada la relativa lentitud de los movimientos galácticos y un tiempo de existencia que es comparable con la edad del Universo, es lógico aceptar que la energía cinética de las galaxias está en equilibrio con su energía potencial por tanto es correcto aplicar el teorema del Virial para calcular la masa del cúmulo.

Si se elige una galaxia periférica del cúmulo y se mide su velocidad V y su radio orbital R , se podría calcular la masa total encerrada por la esfera que define la trayectoria de la galaxia dentro del cúmulo.

La cantidad $M = R \cdot V^2 / G$ sería una buena aproximación de la masa total que encierra el cúmulo. Dicho con otras palabras $M \approx R \cdot V^2 / G$ sería la masa total del cúmulo medida con el teorema del Virial, la cual englobaría la materia oscura interior al cúmulo pero no la MO de su halo. A dicha masa la designaremos **Masa Total VIRIAL-CUMULO**.

Admitiendo simetría esférica en la distribución de las galaxias dentro del cúmulo, el modelo de M.O. permitiría extrapolar los cálculos del epígrafe 2 para establecer la fórmula de la densidad de MO en el halo del cúmulo. $\rho(r)_{MO-HALO-CUMULO} \approx \frac{K_{CUMULO}}{4\pi r^2}$ (1) donde

$K_{CUMULO} = \frac{V^2}{G} = Cte$. Por las mismas razones ya explicadas en el caso de galaxias, hay que recordar aquí que la fórmula (1) no es realista, porque estamos trabajando con un modelo muy simple. Así pues llegamos a la desigualdad $\rho(r)_{MO-HALO-CUMULO REAL} < \frac{K_{CUMULO}}{4\pi r^2}$

Por un razonamiento análogo al del epígrafe 9.2 para galaxias, se puede concluir que $K_{CUMULO} \cdot R_{HALO}$ es una cota superior de la materia total en los cúmulos, incluida la MO de su halo.

Por las mismas razones que ya se han explicado para el caso de una galaxia, la expresión $K_{CUMULO} \cdot R_{HALO}$ sería una cota superior demasiado alta para la masa total del cúmulo, incluida la MO de su halo.

En el epígrafe 10, se tratará la relación que existe entre los halos de cúmulos vecinos. Según el modelo, por la misma razón que existe una relación entre los halos de galaxias vecinas, existe una relación entre los halos de cúmulos vecinos.

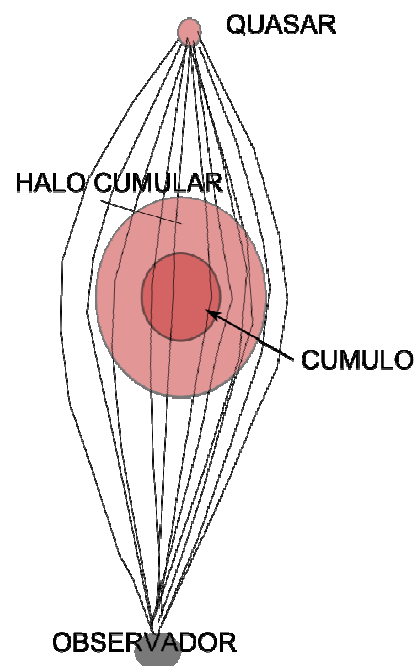
9.4.2 EL ENIGMA DE LA MATERIA OSCURA EN CÚMULOS DE GALAXIAS

Existe una segunda técnica para medir la masa total en los cúmulos, basada en las lentes gravitacionales.

El método de lente gravitacional en principio podría medir la masa total del cúmulo y de su halo si se dan las condiciones adecuadas de encontrar una galaxia lejana alineada con el cúmulo “lente” y la Tierra, mientras que el teorema del Virial como ya se ha visto solo mide la masa total que encierra la esfera que define la trayectoria de una galaxia periférica del cúmulo.

En el libro de Battaner, E (1999). Introducción a la Astrofísica. Alianza Editorial. Se cita el extraño resultado acerca de que se han hecho mediciones en cúmulos en los que la MO constituye el 99% de la materia total del cúmulo. Mientras que en general se estima que en las galaxias la MO es el 90%.

Dicho en otras palabras, se ha determinado



experimentalmente que la MO de un cúmulo es mayor que la suma de la MO de las galaxias que lo componen.

Esto que no deja de ser una extraña propiedad de la MO, podría explicarse gracias a la MO del halo de los cúmulos. Veamos:

- Usando el teorema del Virial, como arriba hemos explicado, se puede calcular la masa total interna del cúmulo. Por tanto, la masa calculada debe coincidir con la suma de las masas totales de las galaxias que componen el cúmulo.
- Usando la técnica de la lente gravitacional se puede calcular la masa total del cúmulo y de su halo y la denominaremos **Masa Total Cúmulo** LENTE GRAVITACIONAL

Dado que el modelo de M.O. explica de forma natural la existencia del halo de un cúmulo, y que el método de lente gravitacional permite medir la masa del cúmulo y de su halo se deduce que **Masa Total Cúmulo** VIRIAL < **Masa Total Cúmulo** LENTE GRAVITACIONAL.

Dicho con otras palabras, la medición de la masa de un cúmulo con la técnica del teorema del Virial es menor que la medición de la masa del mismo cúmulo con la técnica de la lente gravitacional, ya que esta mide también la masa oscura del halo del cúmulo.

Si a esta desigualdad añadimos la establecida al principio del epígrafe tenemos la doble desigualdad.

$$\mathbf{Masa\ Total\ Cúmulo\ VIRIAL} < \mathbf{Masa\ Total\ Cúmulo\ LENTE\ GRAVITACIONAL} < K_{CUMULO} \cdot R_{HALO}$$

En el epígrafe 11.6 de pruebas experimentales propondremos una prueba para chequear el modelo, basada en medir la masa total de un cúmulo mediante la técnica del Teorema del Virial y la técnica de la lente gravitacional.

9.5 COMPLEJIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN DE MO EN LOS CÚMULOS GALÁCTICOS

Está bien establecido experimentalmente que en general en los cúmulos existe más masa en forma de gas intergaláctico que la masa de las estrellas de todas las galaxias del cúmulo.

En el caso del cúmulo Bala, la colisión entre los dos cúmulos extrajo las nubes de gas de ambos cúmulos y además elevó su temperatura a casi cien millones de grados, lo cual produjo Rayos X de altísima energía. En el caso de los cúmulos comunes la masa de las nubes de gas también se puede medir mediante técnicas de radioastronomía aunque su emisión no sea tan espectacular como es el caso del gas del cúmulo Bala.

Dado que las nubes de gas generan campos gravitatorios mucho más débiles que las estrellas, la generación de MO causada por el gas es muy inferior a la generada por las galaxias, tal y como se explicó en el epígrafe 8.

No obstante esa MO generada por el gas, sería un factor responsable de alterar la simetría esférica de la MO en el cúmulo.

Aunque dada la importancia que tienen las galaxias en la generación de MO, es lógico pensar que la no simetría esférica perfecta de la distribución de galaxias en los cúmulos sea el factor más importante responsable de la no simetría esférica de la MO en los cúmulos de galaxias.

10. LA MO DE UNA GALAXIA DEPENDE DEL ENTORNO GALÁCTICO

En este epígrafe vamos a mostrar como el modelo establece la dependencia del radio del halo de una galaxia con respecto al radio del halo y de la constante K_G de sus galaxias vecinas.

Así mismo demostraremos que la proporción de masas, ordinaria versus total, de una galaxia también depende de la proporción de masas de las galaxias vecinas y de sus K_G

10.1 ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO DE LOS HALOS GALÁCTICOS

Como hemos explicado en el epígrafe 9, el radio del halo viene dado por el tamaño de la región donde domina el campo gravitatorio de la galaxia. Por tanto la frontera de los halos de dos galaxias vecinas dependerá de las masas relativas totales de ambas galaxias.

Como hemos visto en el epígrafe 9, la fórmula $K_G \cdot R_{HALO}$ es una estimación de la masa total de una galaxia.

Es decir $M_{TOTAL} \approx K_G \cdot R_H$ donde K_G es una constante característica de la galaxia.

Por lo tanto se tiene para ambas galaxias:

$$M_{T2} = K_2 \cdot R_{H2} \text{ y } M_{T1} = K_1 \cdot R_{H1}$$

Renombramos $R_{H2} = x$ y $R_{H1} = 1-x$

Si consideramos la masa total encerrada por las esferas de los respectivos halos y aplicando la

ley de la Gravitación Universal se llega a la ecuación $\frac{K_2}{x} = \frac{K_1}{1-x}$ Si llamamos $r = \frac{K_2}{K_1}$ se

obtiene que $R_{H2} = x = \frac{r}{1+r}$ y $R_{H1} = 1-x = \frac{1}{1+r}$ es decir $R_{H2} = r \cdot R_{H1}$ o lo que es lo mismo

$R_{H2} = \frac{K_2}{K_1} R_{H1}$ Este resultado indica que la proporción de los radios es exactamente la

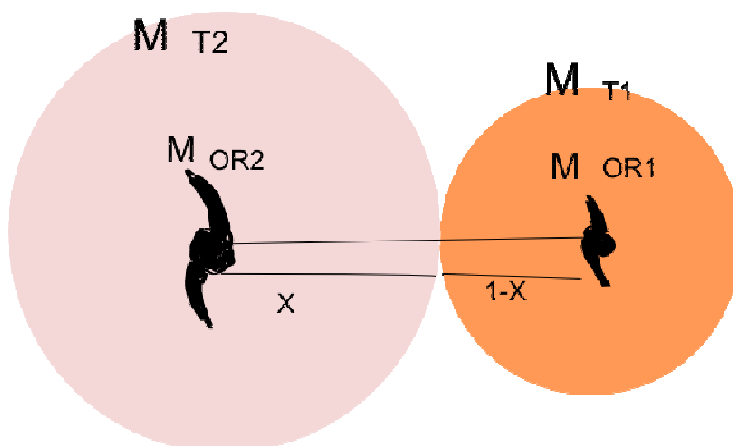
proporción de las constantes galácticas. $\frac{R_{H2}}{R_{H1}} = \frac{K_2}{K_1}$

De esta fórmula, cabe destacar que el tamaño relativo de los halos no depende directamente de las masas ordinarias relativas de las galaxias, aunque es evidente que la constante de una galaxia es una función creciente de la masa ordinaria de la misma.

Recordemos la fórmula del epígrafe 2. $\frac{M_N}{R_N} = K_{GALAXIA} = \frac{V_0^2}{G} = Cte$

Antes de continuar hay que indicar que estas sencillas estimaciones acerca de la influencia de las galaxias vecinas se han reducido al máximo al considerar sólo dos galaxias. En el espacio tridimensional cada galaxia circundante influirá de acuerdo a la distancia y a la masa que tenga.

Es necesario volver a insistir aquí que la fórmula de la relación entre halos de galaxias vecinas se ha basado en la hipótesis de que $M_{TOTAL} \approx K_G \cdot R_H$ que como ya se ha reiterado no es muy realista en la región del halo.

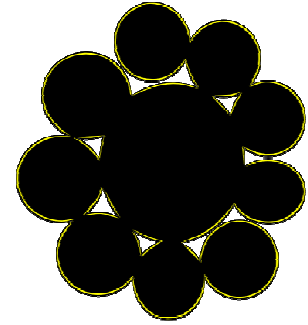


La conclusión que se desprende de esto es que aunque la fórmula $R_{H2} = \frac{K_2}{K_1} R_{H1}$ no es muy exacta, el modelo establece una relación funcional entre el tamaño de los halos de galaxias vecinas. La fórmula exacta se podría calcular si se dispusiera de la función densidad de MO en el halo galáctico.

10.1.1 CONDICIÓN PARA LA ESFERICIDAD DEL HALO

De acuerdo a la idea desarrollada en el epígrafe anterior, si consideramos una galaxia rodeada de galaxias con masas similares, distancias similares y constantes K similares, entonces por razones de simetría, el halo de la galaxia que ocupa el centro de la esfera que forman las galaxias circundantes será esférico.

Como es fácil comprender se trata de unas condiciones muy restrictivas, así pues los halos en general no son esféricos.



10.2 RELACIÓN ENTRE LAS PROPORCIONES DE MASAS, ORDINARIA Y TOTAL, DE DOS GALAXIAS VECINAS

Definimos $P_1 = M_{OR1} / M_{TOT1}$ la proporción para la galaxia 1 y $P_2 = M_{OR2} / M_{TOT2}$ la proporción para la galaxia 2.

Consideramos la proporción genérica $M_{OR2} = N \cdot M_{OR1}$

Veamos ahora el desarrollo sencillo que conduce a relacionar P_2 con P_1

$$P_2 = M_{OR2} / M_{TOT2} = N \cdot M_{OR1} / K_2 R_{H2} = N \cdot M_{OR1} / K_2 r \cdot R_{H1}$$

Dado que $R_{H1} = M_{T1} / K_1$ sustituyendo arriba llegamos a la relación entre ambas proporciones.

$$P_2 = \frac{NK_1}{r \cdot K_2} \frac{M_{OR1}}{M_{TOT1}} = \frac{NK_1^2}{K_2^2} \frac{M_{OR1}}{M_{TOT1}} = \frac{NK_1^2}{K_2^2} P_1 \rightarrow P_2 = \frac{NK_1^2}{K_2^2} P_1 \text{ o bien } P_2 = \frac{N}{r^2} P_1$$

En particular si $N = 1$ y $K_1 = K_2$ ocurre que $P_1 = P_2$ como era de esperar.

Nuevamente hay que insistir que estos cálculos están muy simplificados ya que en general las galaxias están agrupadas en grupos y cúmulos galácticos y su interacción gravitatoria es múltiple y no por parejas.

No obstante, si en un grupo de galaxias existen dos de ellas que son más masivas que el resto de sus galaxias vecinas, sería una buena aproximación estudiar ambas galaxias como si estuvieran aisladas.

La fórmula $P_2 = \frac{N}{r^2} P_1$ (1) es perfecta para chequear la validez del modelo, ya que todos los parámetros de ella son medibles, especialmente en galaxias cercanas.

Dado que la fórmula (1) depende de la hipótesis $M_{TOTAL} \approx K_G \cdot R_H$, se concluye que no es una fórmula realista. Por lo tanto con este sencillo modelo de MO lo único que podemos establecer es que existe una relación funcional entre las proporciones de masa de dos galaxias

vecinas y que en dicha relación funcional intervienen los factores $N = \frac{M_{OR2}}{M_{OR1}}$ y $r = \frac{K_2}{K_1}$

10.3 GALAXIAS VECINAS CON LA MISMA PROPORCIÓN DE MASAS

Dado que $P_2 = \frac{NK_1^2}{K_2^2} P_1$ para que la proporción de masas en galaxias vecinas sea constante,

$$P_1 = P_2, \text{ se tiene que cumplir } \frac{NK_1^2}{K_2^2} = 1 \rightarrow K_2^2 = NK_1^2$$

Lo primero que hay que destacar es que puede darse la igualdad de proporción de masas entre dos galaxias vecinas independientemente de la masa ordinaria que cada galaxia tenga.

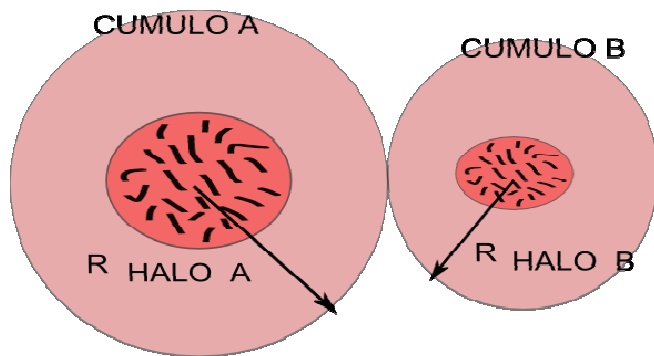
Basta que se cumpla $K_2^2 = NK_1^2$.

Hay que volver a recordar en este punto que $\frac{NK_1^2}{K_2^2} = 1 \rightarrow K_2^2 = NK_1^2$ es un corolario del modelo de MO bajo la hipótesis de curva de rotación plana en el halo, que como ya hemos reiterado no es muy realista. Por tanto consideremos esta fórmula como orientativa de la relación que existe entre determinadas magnitudes de galaxias vecinas.

10.4 RELACIÓN ENTRE LOS HALOS DE CUMULOS VECINOS

El modelo, de forma natural permite extrapolar los mismos razonamientos realizados para los halos galácticos a los halos cumulares.

Así pues el tamaño y masa de los halos cumulares dependerán de la masa total interna del cúmulo (masa ordinaria y MO de sus galaxias) y de las distancias a los cúmulos vecinos.



Con la hipótesis de $\rho(r)_{M.O. HALO} \approx \frac{K_{GALAXIA}}{4\pi r^2}$ se ha demostrado la relación entre los halos de

dos galaxias vecinas. $R_{HB} = \frac{K_B}{K_A} R_{HA}$. Como ya se ha reiterado, esa función densidad no es

realista, pero el propósito de este trabajo es demostrar que con el modelo propuesto, una determinada densidad de MO en el halo conduce a que el tamaño de los halos de galaxias vecinas dependen entre si de sus masas totales relativas.

Extrapolando la misma fórmula de la densidad de masa a los cúmulos tendríamos

$\rho(r)_{M.O. HALO} \approx \frac{K_{CUMULO}}{4\pi r^2}$ donde $K_{CUMULO} = \frac{\hat{V}_G^2}{G}$ y donde \hat{V}_G representa la velocidad media de

las galaxias en el cúmulo. Con esta hipótesis obtendríamos la misma relación entre el tamaño

del halo de los cúmulos vecinos. $R_{HCB} = \frac{K_{CB}}{K_{CA}} R_{HCA}$ que obtuvimos para los halos de galaxias

vecinas.

Si como hipótesis más realista se considera $\rho(r)_{M.O. HALO} = f(K_{CUMULO}, r)$ donde f es desconocida, el modelo conduce a que existe una relación funcional desconocida entre los

halos de cúmulos vecinos. $R_{HCB} = g\left(\frac{K_{CB}}{K_{CA}}, R_{HCA}\right)$

11. PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA CONTRASTAR EL MODELO DE M.O.

La propia teoría del modelo de M.O. por vacío cuántico permite establecer una serie de predicciones de resultados experimentales los cuales permiten diseñar pruebas experimentales para chequear el modelo.

La idea clave para diseñar tales pruebas es que la MO es generada por el campo gravitatorio y la materia ordinaria es la materia “semilla” que crea el campo que progresivamente irá generando MO.

Por tanto dondequiera que existan unas similares cantidades de materia ordinaria en similares estructuras, la MO debe estar en similar cantidad.

Basándonos en esta propiedad se van a proponer algunas pruebas experimentales para chequear el modelo.

11.1 CONSTANTES GALÁCTICAS EN LA VÍA LÁCTEA Y ANDRÓMEDA

En el artículo de Veljanoski, J. 2014.[7], tras un minucioso estudio de la galaxia de Andrómeda, los autores estimaron su masa en el intervalo $(1.2-1.6) \pm 0.2 \cdot 10^{12} M_{\odot}$.

En el artículo de Famaey, B.2015. [8], el autor señala que actualmente la masa estimada para la Vía Láctea es de $M_{200} = 1.4 \cdot 10^{12} M_{\odot}$ y $R_{200} = 305 kpc$, más específicamente M_{200} es la masa Virial de la Vía Láctea y R_{200} su radio Virial.

Todos los autores admiten un alto grado de incertidumbre tanto en la masa de la Vía Láctea como en la de Andrómeda ya que los resultados de sus masas son muy dependientes de las técnicas usadas para calcularlas.

Los próximos resultados de la misión GAIA son esperados con expectación porque con ellos se pretende precisar la masa de la Vía Láctea.

Existe cierto consenso científico en que la proporción de MO en ambas galaxias es similar, por tanto de acuerdo con la relación entre las proporciones de masas entre galaxias vecinas, obtenida en el epígrafe 10.3, para que las proporciones de ambas galaxias sean iguales debe cumplirse

$$\frac{NK_1^2}{K_2^2} = 1 \rightarrow K_2^2 = NK_1^2 \quad (1)$$

Suponiendo $N=1$ se tendría $K_{ANDROMEDA}^2 = 1K_{VIA-LACTEA}^2$. Esto significaría que la velocidad de rotación media de Andrómeda es similar a la de la Vía Láctea, lo cual es perfectamente coherente con los datos actuales de las curvas de rotación de ambas galaxias, teniendo en cuenta los márgenes de error experimental.

Además, recordamos que la fórmula (1) es sólo orientativa por las razones que se explicaron en el epígrafe 10.3.

11.2 GALAXIAS VECINAS

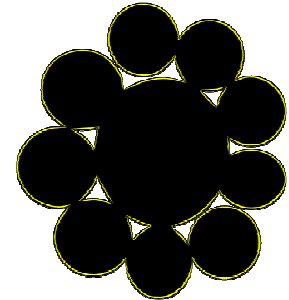
El modelo ha permitido obtener la fórmula $P_2 = \frac{NK_1^2}{K_2^2} P_1$ que debe verificar toda pareja de galaxias vecinas. Todos los parámetros de la fórmula son susceptibles de medir. Por tanto esta fórmula ofrece una magnífica oportunidad para chequear el modelo.

En mi opinión la única restricción sobre la elección de las parejas de galaxias es que deben ser más masivas que el resto del grupo para minimizar la influencia que éste pueda ejercer sobre aquéllas.

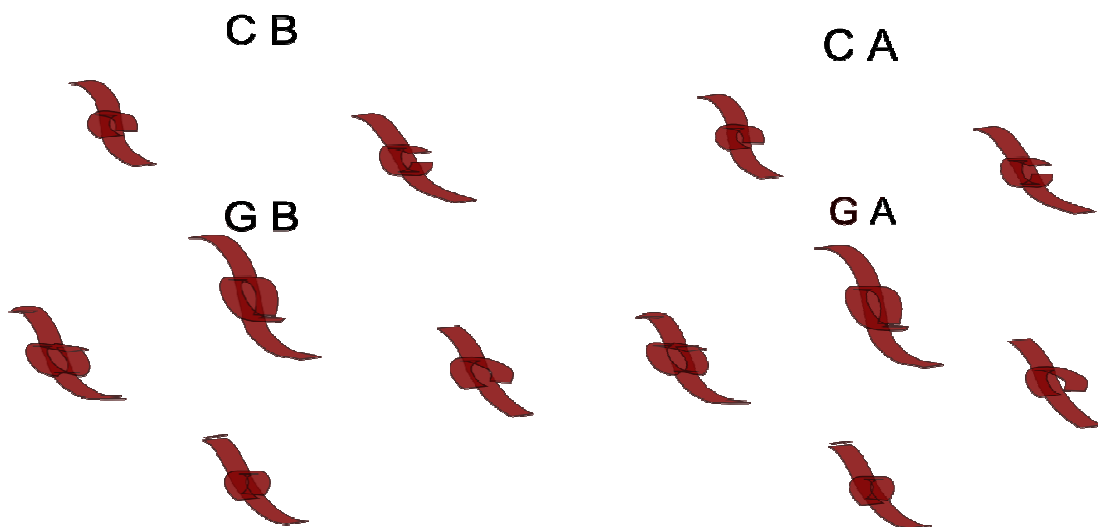
Hay que mencionar aquí las prevenciones que en el epígrafe 10.2 se hicieron sobre la validez de la fórmula de arriba.

11.3 ESFERICIDAD DEL HALO

De acuerdo al modelo, para conseguir un halo esférico las galaxias circundantes deben tener todas similares K_G y deben estar a la misma distancia. Si con el efecto lente gravitatoria se pudiera medir la esfericidad del halo, se podría comprobar la predicción del modelo, ya que según éste, las galaxias con entornos galácticos más simétricos deberían tener halos más esféricos.



11.4 GALAXIAS SIMILARES PERTENECIENTES A CÚMULOS DIFERENTES



Consideramos dos galaxias de similar masa ordinaria (similar brillo), pertenecientes a dos cúmulos de galaxias distintos, cuyas galaxias circundantes estén separadas a distancias similares y sus masas sean similares. Con estas condiciones ambas galaxias, (GA y GB en el gráfico), tendrán un halo similar y por tanto la MO de ambas galaxias debe ser similar.

Esta es una magnífica prueba del modelo, que no necesita del conocimiento de la curva exacta de la densidad de MO en los halos porque si consideramos galaxias con la misma masa ordinaria, sus constantes serán similares y la MO que generan será similar.

Es importante insistir en la idea de que según este modelo la MO está asociada al campo gravitatorio que generan la masa ordinaria, por tanto la MO será la misma en cualesquiera galaxias con la misma masa ordinaria y similar entorno galáctico.

En mi opinión esta prueba es clave para el modelo propuesto de MO. Si la MO medida en cualesquiera dos galaxias con la misma masa ordinaria y similar entorno galáctico fuera claramente diferente, habría que rechazar el modelo.

Es muy lógico pensar que si la MO estuviera formada por partículas no bariónicas reales, con masa, éstas no tendrían por qué estar en proporción constante en cualquier par de galaxias

con la misma masa ordinaria, ya que la interacción gravitatoria es un poderoso mecanismo de agrupación de masa y el Universo es bastante anisótropo.

Es de todos sabido que por ejemplo la materia bariónica se agrupa en estrellas, galaxias o cúmulos, en muy diferentes escalas, por ejemplo puede haber estrellas desde $1/10 M_{SOL}$ hasta $100 M_{SOL}$. El rango de variación de la masa de las galaxias es incluso mayor.

En el extremo opuesto a la gran anisotropía en el Universo de la materia bariónica, estaría la radiación de fondo en el rango de microondas, o de neutrinos, ambas de una gran isotropía.

Existe un gran consenso científico en descartar este tipo de entes físicos como MO, entre otras razones, porque la MO no está distribuida uniformemente en los halos galácticos ni en los cúmulos.

La naturaleza de la MO propuesta en este trabajo, no pertenece a ninguna de las dos categorías indicadas.

11.5 CÚMULOS DE GALAXIAS MEDIDOS CON EL TEOREMA DEL VIRIAL

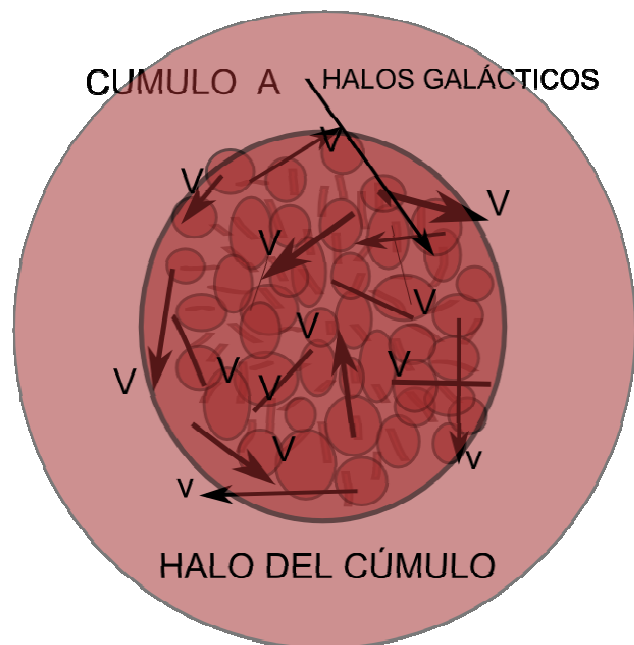
Según el modelo, dos cúmulos A y B de masas ordinarias similares, incluida la masa de sus nubes de gases, con un tamaño similar y una densidad de galaxias similar, deben tener la misma masa total medida con el teorema del Virial.

Para justificar esta afirmación, nos basamos en que si la densidad de galaxias es similar, al igual que sus masas, el tamaño y la MO de los halos galácticos serán similares.

Recordemos que con dicha técnica se mide la masa total encerrada en el cúmulo, es decir las masas ordinarias de las galaxias y también las MO de los halos galácticos. La masa que no mide esta técnica es la MO del halo del cúmulo.

Esta prueba propuesta pertenece a la misma categoría que la propuesta en el epígrafe 11.4 pero a escala de cúmulo.

Si dos cúmulos que verificaran las propiedades antes mencionadas, tuvieran masas totales claramente diferentes, el modelo propuesto habría que rechazarlo.



11.6 CÚMULOS DE GALAXIAS CON MASA ORDINARIA SIMILAR Y ESTRUCTURA SIMILAR EN GALAXIAS MEDIDOS CON LA TÉCNICA DE LA LENTE GRAVITACIONAL

En el epígrafe 9.4, se justificó la existencia de la MO en los halos cumulares y se aventuró que su existencia podría justificar el hecho experimental de que la masa medida con el teorema del Virial es menor que la masa medida con lentes gravitacionales.

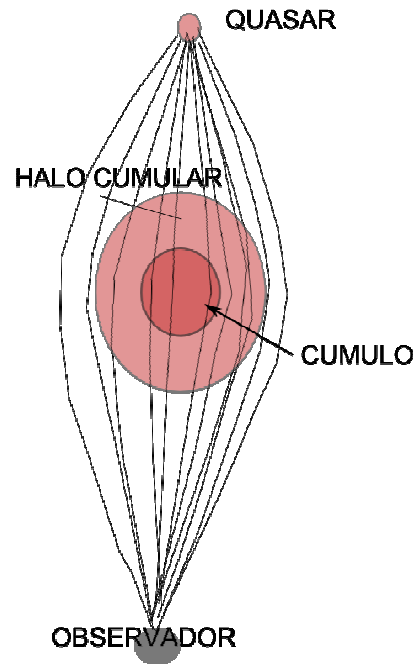
Este hecho es muy fácil explicarlo con el modelo, ya que como ya hemos indicado el teorema del Virial sólo permite calcular la masa total interna del cúmulo, mientras que con una lente gravitacional se puede medir la masa del halo del cúmulo.

Como se explicó detalladamente en el epígrafe 9.4 se tiene la doble desigualdad para la masa en un cúmulo de galaxias.

$$\text{Masa Total Cúmulo VIRIAL} < \text{Masa Total Cúmulo LENTE GRAVITACIONAL} < K_{\text{CUMULO}} \cdot R_{\text{HALO}}$$

La validez del modelo de M.O. exige que deben cumplirse las anteriores desigualdades, por tanto una prueba imprescindible para la validez del modelo es que en todos los cúmulos en los que exista el fenómeno de lente gravitacional, la masa medida con este método debe ser mayor que la que resulta usando el teorema del Virial.

Hay que destacar que el modelo justifica esa desigualdad en todos los cúmulos, ya que según el modelo la MO es intrínseca al espacio y al campo gravitatorio.



11.7 VACÍOS CÓSMICOS

El telescopio Hubble captó el magnífico fenómeno de una lente gravitatoria formada por el Cúmulo de galaxias Abel 2218 situado a unos 2000 millones A-L, que mostraba varias imágenes distorsionadas de una galaxia situada a unos 10000 millones de A-L.

Un cúmulo de galaxias es la mayor de las lentes posibles y el Hubble nos ha brindado la imagen de una galaxia que proviene casi de los límites del Universo observable gracias a una lente con varios millones de años luz de diámetro.

Grandioso experimento y grandioso espectáculo;

Como es sabido, el efecto de lente gravitatoria necesita solamente un campo gravitatorio central.

Vamos a proponer una nueva prueba para contrastar el modelo de MO, usando precisamente el fenómeno de lente gravitatoria.

Si la MO pudiera existir independientemente de la materia ordinaria, los lugares idóneos para buscarla serían los grandes vacíos de galaxias. Es evidente que el único mecanismo para buscar MO aislada es el de lentes gravitatorias. Si la MO existiera libre de la materia ordinaria, podría formar campos gravitatorios centrales que en las condiciones adecuadas podrían formar imágenes de galaxias alejadas que pueden ser detectadas tal y como hizo el telescopio Hubble gracias al cúmulo de galaxias Abel 2218.

Hasta donde yo sé no se ha descubierto ninguna región con MO pura, a pesar de que cada noche el cielo es escudriñado con docenas de telescopios con las más sofisticadas tecnologías. Puede que en un futuro se encuentre, pero también puede ser que eso no suceda jamás tal y como predice este modelo de MO.

En mi opinión, si la MO pudiera existir en estado puro, ya se habría detectado.

11.8 ÓRBITAS DE PLANETOIDES TRANSNEPTUNIANOS

Aparte de Plutón hay tres planetoides más allá de la órbita de Neptuno. Eris que es el más alejado está a 67.668 UA, casi el doble de distancia que Plutón.

Se ha pensado en proponer un test con estos cuerpos celestes porque como se ha reiterado a lo largo del artículo, el modelo vincula la densidad de MO a la intensidad del campo gravitatorio, por tanto a escala de sistema Solar también debe existir MO.

Dado que Eris es el planetoide con la órbita más alejada del Sol, la cantidad de MO que encierra ésta es mayor que la del resto de planetas. Por tanto sería el cuerpo del Sistema Solar en el que hubiera mayor discrepancia en su velocidad de rotación, entre la velocidad calculada sólo con materia ordinaria y la velocidad real medida, suponiendo que dicha medida tuviera la precisión necesaria.

CONCLUSIÓN

En mi opinión, si alguna de estas pruebas experimentales contradijera los resultados que predice el modelo de materia oscura, eso sería motivo suficiente para desechar el modelo, pero si todas las pruebas apoyaran el modelo creo que habría motivos suficientes para pensar en él como un candidato serio para explicar la auténtica naturaleza de la M.O.

Famaey, B.[8] señala en la conclusión del artículo que hay bastantes pistas indirectas que muestran que la materia oscura no está formada por partículas no -bariónicas estables que interaccionan gravitatoriamente con las partículas bariónicas.

El hecho de la búsqueda infructuosa de partículas responsables de la M.O. durante varios decenios por parte de la comunidad científica internacional, usando la tecnología más sofisticada, podría ser un indicador de que la M.O. es de otra clase.

Además, si actualmente existe cierto consenso en la comunidad científica acerca de que la Energía Oscura es un fenómeno de gravedad cuántica, por razones de simetría podemos sospechar que la MO también puede ser un fenómeno producido por la naturaleza cuántica de la gravedad.

Recordemos que según la Física decimonónica el átomo no podía explicarse porque el electrón debía radiar energía y acabar colapsando con el núcleo. Fue necesario el tratamiento mecano cuántico de la fuerza eléctrica el que pudo explicar el átomo. En mi opinión, será el tratamiento mecano cuántico de la gravitación el que aclare definitivamente el problema de la energía y la materia oscura.

Si las pruebas experimentales confirmaran que la naturaleza de la materia oscura es la que predice el modelo, este hecho sería de gran ayuda para desarrollar una teoría cuántica de la gravitación que fuera coherente con este modelo de materia oscura. Tengamos en cuenta que actualmente hay varias teorías de gravitación cuántica en desarrollo y las dificultades para avanzar en estas teorías son grandes.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Ostriker, Jeremiah P. & Mitton, Simon . (2013). *El corazón de las tinieblas. Materia y Energía Oscuras*. Barcelona: Ediciones de Pasado y Presente.

[2] Battaner, Eduardo.(1999). *Introducción a la Astrofísica*. Madrid: Alianza Editorial.

[3] Schneider, Peter (2012). Dark matter in clusters and large- scale structure.
Published in XXIV Canary Islands winter school of astrophysics.

[4] Title of paper: A wide-field Hi mosaic of Messier 31(Andrómeda)
II. The disk warp, rotation and the dark matter halo
Authors: Edvige Corbelli, Silvio Lorenzoni, Rene Walterbos, R. Braun, and David Thilker
Published in arXiv:0912.4133v1 [astro-ph.CO] 21 Dec 2009

[5] Title of paper: Rotational Velocity Curves in the Milky Way as a Test of Modified Gravity
Authors J. W. Moffat and V. T. Toth
Published in arXiv:1411.6701v2 [astro-ph.GA] 11 Dec 2014

[6] Title of paper: ROTATION CURVE OF THE MILKY WAY OUT TO 200 KPC
Authors: Pijushpani Bhattacharjee, Soumini Chaudhury, and Susmita Kundu
Published in arXiv:1310.2659v3 [astro-ph.GA] 26 Feb 2014

[7] Title of paper: The outer halo globular cluster system of M31 – II Kinematics
Authors: J. Veljanoski, A. D. Mackey, A. M. N. Ferguson, A. P. Huxor, P. Côté
M. J. Irwin, N. R. Tanvir⁶, J. Peñarrubia, E. J. Bernard, M. Fardal, N. F. Martin⁸,
A. McConnachie, G. F. Lewis, S. C. Chapman, R. A. Ibata, A. Babul
Published in arXiv:1406.0186v1 [astro-ph.GA] 1 Jun 2014

[8] Title of paper: Dark Matter in the Milky Way
Benoit Famaey
Published in arXiv:1501.01788v1 [astro-ph.GA] 8 Jan 2015

[9] Title of paper: On the local dark matter density
Authors: C. Moni Bidin, R. Smith, G. Carraro, R. A. Méndez, and M. Moyano
Published in arXiv:1411.2625v1 [astro-ph.GA] 10 Nov 2014

ANEXO
CURVAS DE ROTACIÓN EN LA REGIÓN DEL NÚCLEO Y DEL DISCO DE VARIAS GALAXIAS

