

# MODELO DE MATERIA OSCURA POR VACÍO CUÁNTICO

Autor Manuel Abarca Hernández  
@mabarcaher1

Noviembre de 2014

## ABSTRAT

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. Similarly, the Quantum Chromo Dynamics (QCD) consider the space full of virtual particles, called gluons. 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 four parts:

**The first 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.

**The second one** studies the spin speed star on galaxies. It is got the density formula for DM.

$\rho(r)_{D.M. HALO} = \frac{K}{4\pi r^2}$  and the formula  $\rho(r)_{D.M. HALO} \approx \frac{|E^2(r)|}{4\pi G^2 K}$ , which connects DM density with intensity field.

**The third one** explains the coherence between the DM model and experimental evidences known about DM.

**The fourth one** proposes five experimental test to check the model with 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.

## 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.

Con este artículo, el autor solo pretende justificar cualitativamente como ese modelo de M.O. absolutamente original, puede explicar con coherencia las extrañas propiedades que las observaciones experimentales han constatado posee la M.O.

Tengamos presente que la gravedad cuántica es una teoría que se ha intentado desarrollar durante los últimos decenios y que hasta la fecha presenta dificultades insalvables incluso para los más brillantes físicos teóricos. No obstante cabe destacar importantes contribuciones parciales a esta teoría por parte de importantes investigadores. El más famoso de todos ellos es Stephen Hawking, quien en 1974 publicó su teoría de la radiación de los Agujeros Negros.

El artículo está organizado en cuatro partes:

La primera explica el modelo teórico de una forma heurística y simple ya que habrá de ser la Teoría de la Gravitación Cuántica la que explique físicamente la MO.

La segunda parte estudia la curva de rotación de las estrellas en torno a su centro galáctico obteniendo la fórmula  $\rho(r)_{MO\ HALO} = \frac{K}{4\pi r^2}$  que expresa la densidad de la MO en el halo en

función de la distancia al centro galáctico. Una segunda fórmula  $\rho(r)_{MO\ HALO} \approx \frac{|E^2(r)|}{4\pi G^2 K}$

expresa la densidad de la MO en el halo como función del campo gravitatorio.

La tercera parte explica la coherencia de la teoría con todas las evidencias experimentales que el autor conoce.

La cuarta parte propone cinco pruebas experimentales que servirían para contrastar el modelo teórico.

Si todos los resultados de dichas pruebas experimentales coinciden con las previsiones del modelo, creo que es motivo suficiente para considerar este modelo teórico un serio candidato para la naturaleza de la Materia Oscura.

## 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 I puede verse un modelo simplificado de la curva de velocidades. En el gráfico del anexo I se observan dos regiones claramente delimitadas: Núcleo y Disco.

El núcleo de la galaxia tiene una distribución de masa ordinaria con relativa simetría esférica y una densidad de masa mucho mayor que el disco galáctico. Como se ve en la gráfica, la velocidad angular de sus estrellas es aproximadamente constante.

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

### Disco galáctico

El Disco, es una extensa parte de la galaxia que se inicia en la proximidad del núcleo y se extiende hasta las estrellas más exteriores de la misma. Según los datos experimentales, las estrellas de esa región tienen velocidad lineal constante, es decir su velocidad de giro es independiente de la distancia al centro galáctico. En el anexo se muestran algunos cálculos conducentes a la función densidad de materia  $\rho(r)_{MASA\ TOTAL} = \frac{K}{4\pi r^2}$  que explica la curva plana experimental del Disco.

La curva de velocidades de esta zona es inexplicable con la materia ordinaria medida por procedimientos astronómicos. 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 el 90% de materia oscura frente a un 10% de materia ordinaria.

## 3. MODELO DE MATERIA OSCURA POR VACÍO CUÁNTICO

Como es sabido, la EDC considera el espacio como un lugar repleto de partículas virtuales sensibles a la fuerza electro-débil. Como es sabido 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. 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  $\rho(r)_{M\ TOTAL} = \frac{K}{4\pi r^2}$  de la densidad de masa total (ordinaria y oscura) de la región del Disco galáctico.

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. El electrón físico es casi puntual porque los positrones virtuales apantallan al electrón desnudo, en un espacio muy pequeño de forma que la fuerza eléctrica es Coulombiana a una pequeñísima distancia entorno del electrón desnudo.

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

a) La intensidad de la fuerza gravitatoria es mucho menor que la fuerza eléctrica.

b) 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.

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.

#### 4. 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 % MO 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.

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:

- a) 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.

- b) 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 éste 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.

## 5. 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  $\rho(r)_{M_{Total}} = \frac{K}{4\pi r^2}$ . Recordamos que en el anexo I se justifica el

valor de  $K = \frac{M_{NUCLEO}}{R_{NUCLEO}}$

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

### 5.1 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 se vio en el anexo , para la región del disco y del halo la masa total encerrada por una esfera de radio  $r$  es  $M_{Total}(r) = K \cdot r$  que sustituida en la expresión de la intensidad de campo

$$\text{nos da } E(r) = \frac{GK}{r}$$

## 5.2 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  $E(r) = \frac{GK}{r}$  y

sustituyendo  $r$  en la fórmula de la densidad de masa resulta  $\rho(r)_{M_{Tot}} = \frac{E^2}{4\pi G^2 K}$ . 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.

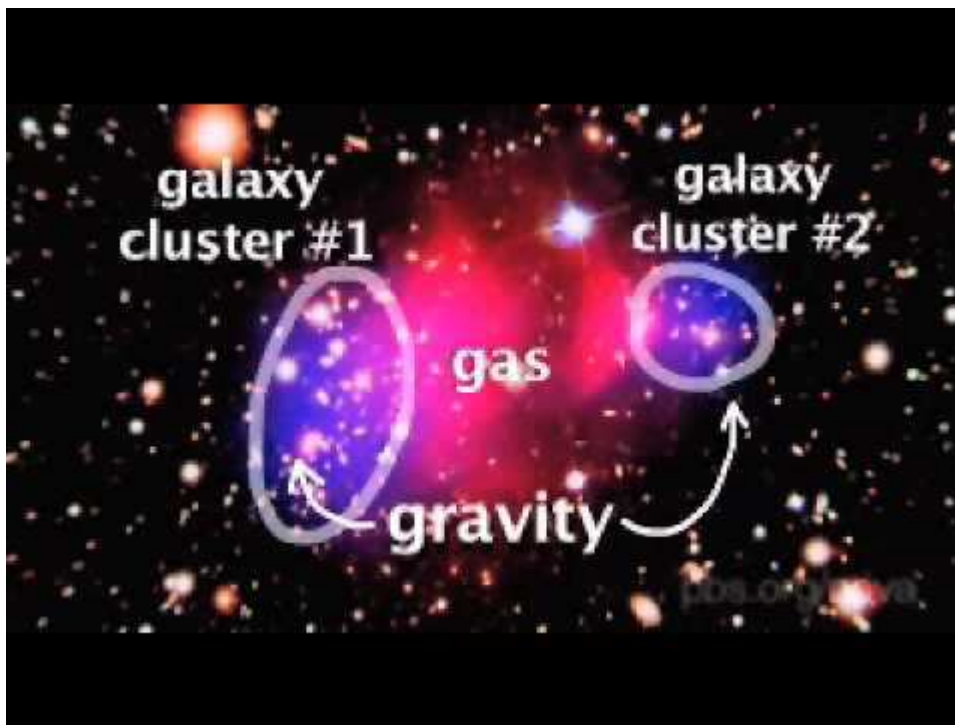
En particular dado que en el halo tenemos la fórmula  $\rho(r)_{M.O.HALO} = \frac{K}{4\pi r^2}$  reescribimos la

$$\text{fórmula de la densidad de MO así. } \rho(r)_{MO\ HALO} = \frac{E^2(r)}{4\pi G^2 K}.$$

De esta fórmula cabe destacar que establece una relación entre dos funciones asociadas a un mismo punto del espacio, es decir se pone de manifiesto una relación local entre las funciones densidad de masa e intensidad de campo gravitatorio. Mientras que la expresión

$\rho(r)_{M_{Tot}} = \frac{K}{4\pi r^2}$  establece que la densidad de masa en un punto del disco es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de dicho punto al centro galáctico.

## 6. EL MODELO EXPLICA LOS EXTRAÑOS FENÓMENOS QUE LA MATERIA OSCURA PRESENTA 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.

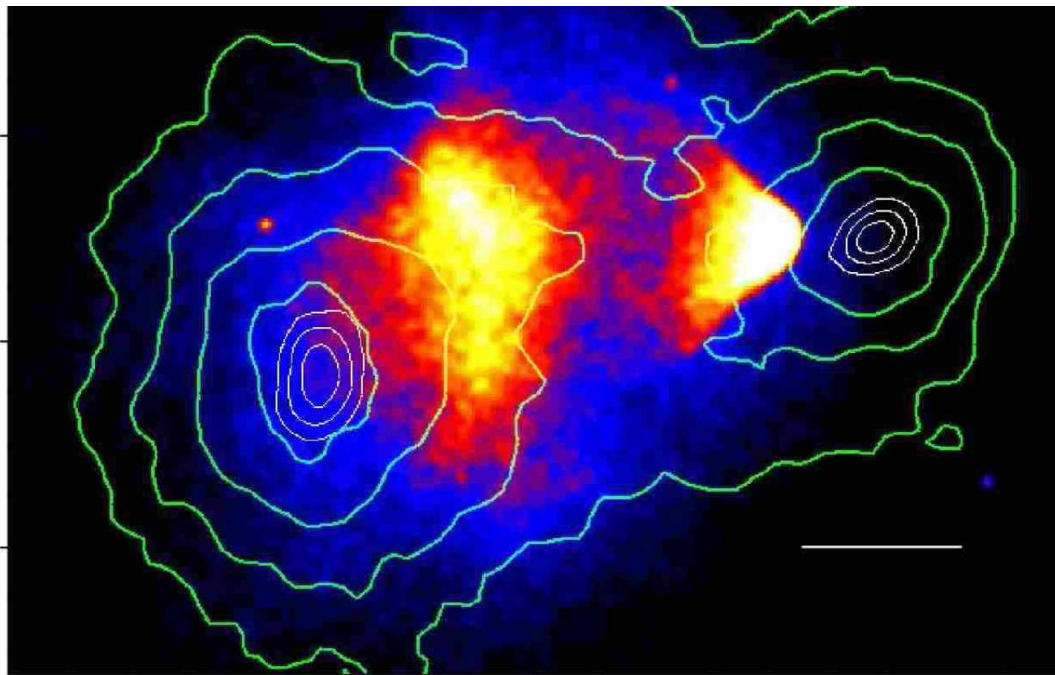
Esta prueba experimental fue hace unos años la prueba definitiva para aceptar la existencia de la MO y descartar totalmente la teoría MOND (Modified Newton Dynamic).

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 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.

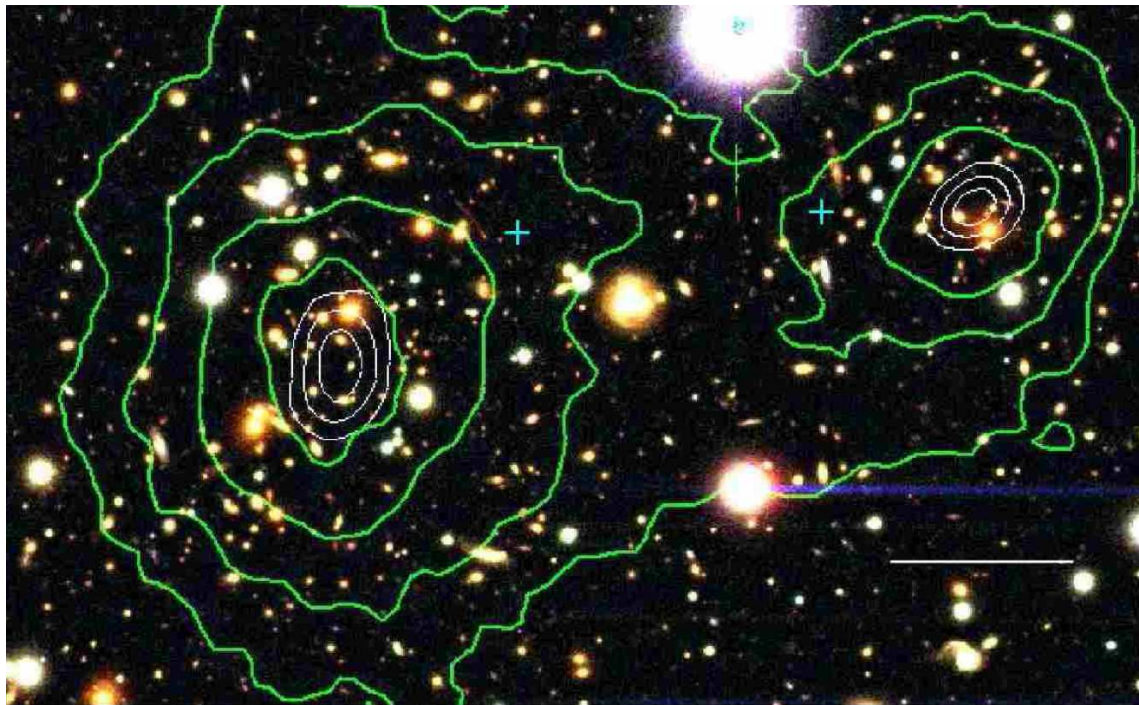


Como puede verse en el gráfico la nube en blanco, amarillo, rojo y azul representa las diferentes frecuencias de emisión en Rayos X consecuencia de los varios millones de grados a los que se encuentra la nube de gas como resultado de la colisión.



6<sup>h</sup>58<sup>m</sup>42<sup>s</sup>      36<sup>s</sup>      30<sup>s</sup>      24<sup>s</sup>      18<sup>s</sup>      12<sup>s</sup>

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



6<sup>h</sup>58<sup>m</sup>42<sup>s</sup>      36<sup>s</sup>      30<sup>s</sup>      24<sup>s</sup>      18<sup>s</sup>      12

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.

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 y puede considerarse como un campo conservativo de gravitones virtuales. Recordemos que

$$\rho(r)_{D.M.} \approx \frac{E^2(r)}{4\pi G^2 K}.$$

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

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.

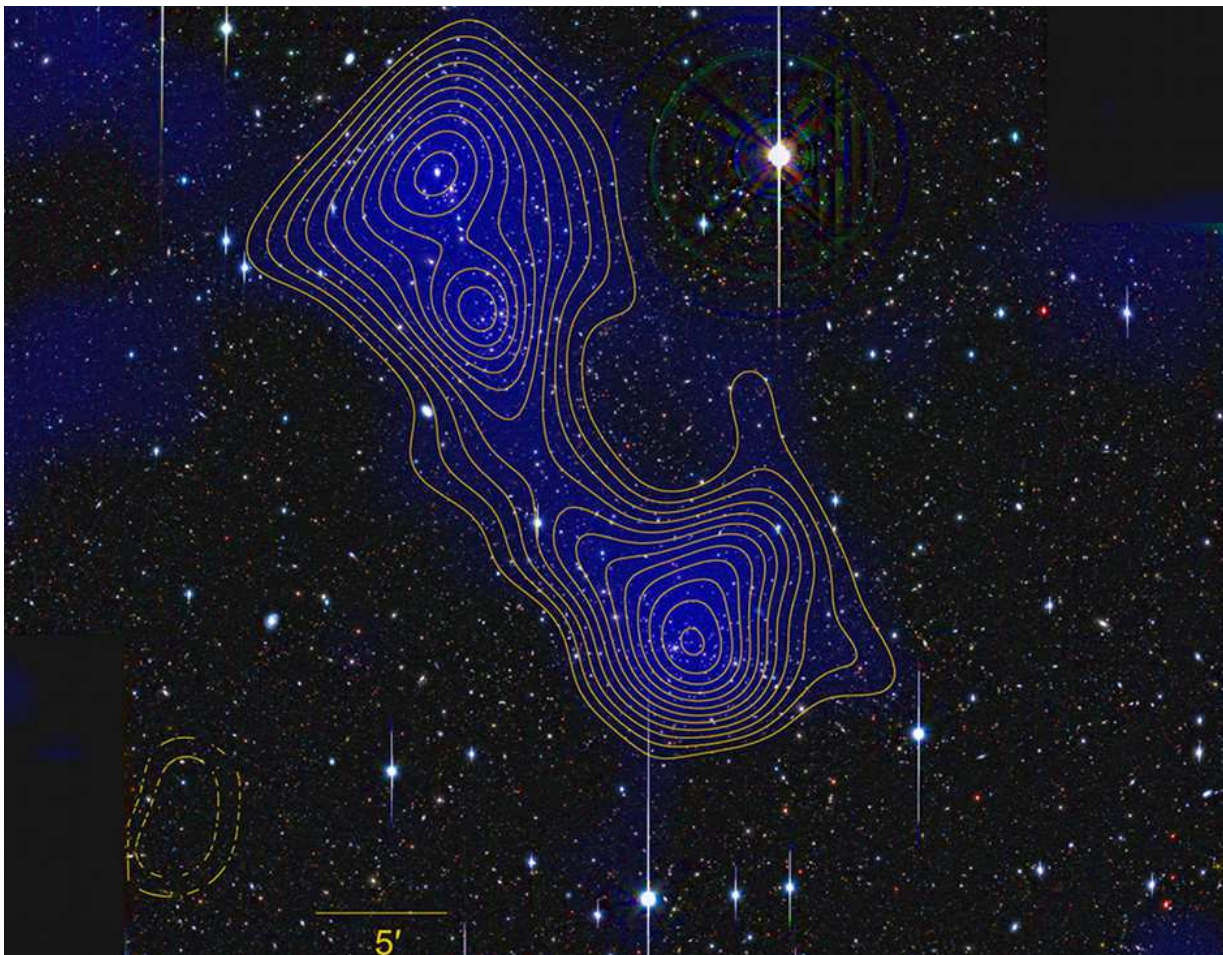
## 7. FILAMENTOS DE MATERIA OSCURA QUE CONECTAN CÚMULOS

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 extensas regiones intergalácticas. Dicho con otras palabras, la materia oscura que crea la materia ordinaria de las nubes de gas intergaláctico es despreciable frente a la materia oscura que generan las estrellas. 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 se sumará a la masa ordinaria del gas y constituye los filamentos de materia que unen los cúmulos cercanos.

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)



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

En anteriores epígrafes se ha obtenido  $\rho(r)_{MO\ HALO} \approx \frac{|E^2(r)|}{4\pi G^2 K}$  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. Vamos a mostrar como el carácter vectorial del campo gravitatorio tiene consecuencias para la función densidad de materia oscura.

En particular vamos a mostrar como el carácter aditivo de la intensidad de campo total podría explicar algunas extrañas propiedades de la materia oscura.

Más concretamente en las regiones frontera entre varias fuentes de campos gravitatorios es donde más importancia cobra el carácter vectorial ya que en dichas regiones no hay un campo gravitatorio central que domina imponiendo una simetría esférica al campo y por tanto a la distribución de la densidad de materia oscura, como por ejemplo ocurre en el disco galáctico o en el halo próximo al disco.

### 8.1 HALO GALÁCTICO

#### - *La materia oscura tiene simetría esférica*

La primera consecuencia de la dependencia de la densidad de MO del campo E  $\rho(\vec{E}(r))$  es el concepto de halo.

Según el modelo, el halo sería la región entorno a la galaxia donde el campo de una galaxia domina sobre el campo gravitatorio de las galaxias vecinas y sobre el campo de las nubes de gas intergalácticas.

Por ejemplo en el punto medio entre dos galaxias vecinas de similares características, el campo gravitatorio de ambas se cancela, por tanto ese punto medio sería la frontera de los halos respectivos.

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.

#### - *El halo de materia oscura es mucho mayor que la galaxia.*

En la Vía Láctea, ha sido comprobado que su halo tiene un millón de años-luz y que contiene una cantidad total de masa de  $10^{12}$  masas Solares. Además se ha comprobado 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  $M = K \cdot R$ . Véase este dato en el libro , (Jeremiah Ostriker & Simon Mitton, 2013, El corazón de las tinieblas. Materia y Energía oscuras. Página 203).

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

También es de sobra conocido que Andrómeda, nuestra galaxia vecina gemela, dista unos dos millones de años luz. Así pues es a un millón de años-luz donde se situaría la frontera donde los campos gravitatorios de ambas galaxias tendrían intensidad similar, por lo que la idea de

asignar al halo la región donde domina el campo gravitatorio propio encaja perfectamente con los datos experimentales de nuestra galaxia.

## 8.2 HALO DE UN CÚMULO

La misma idea de halo de una galaxia podría extenderse a un cúmulo. Así pues el halo de un cúmulo sería la región inter cúmulos donde la gravedad del cúmulos domina sobre el campo de los cúmulos vecinos.

Es sabido que los cúmulos interactúan gravitatoriamente entre si formando super cúmulos. Actualmente la ciencia Astrofísica considera a los supercúmulos como las mayores estructuras del Universo cuyas partes interactúan entre sí gravitatoriamente. Recientemente se han publicado resultados sobre nuestro super cúmulo local al que los astrofísicos responsables de su estudio lo han bautizado con el nombre de Laniakea.

Por tanto según el modelo, las galaxias no solo generarían MO dentro del cúmulo sino también en su halo.

Aceptando simetría esférica para la distribución de masa en un cúmulo, podemos usar los cálculos del anexo I para establecer la fórmula de la densidad de MO en el halo del cúmulo

$$\rho(r)_{MO-HALO-CUMULO} \approx \frac{K}{4\pi r^2}$$

El concepto de halo del cúmulo podría explicar una extraña propiedad de la MO como veremos a continuación.

Como es sabido existen dos técnicas para medir la masa total en los cúmulos: una basada en el teorema del Virial y la otra es mediante lentes gravitacionales.

Mediante el teorema del Virial, si se elige una galaxia periférica del cúmulo y se mide su velocidad esto permite medir la masa total encerrada por la esfera que define la trayectoria de la galaxia.

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.

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.

En el epígrafe 9 de pruebas experimentales propondremos una prueba basada en medir la MO de un cúmulo mediante la técnica del Teorema del Virial y la técnica de la lente gravitacional.

### 8.3 MASA TOTAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA AL CENTRO GALÁCTICO

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

De acuerdo con la idea de halo que hemos expuesto, 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 y en el halo próximo al disco ya que es en esas regiones donde el campo gravitatorio propio domina sobre los campos galácticos vecinos.

Si atendemos a la idea de que en la región del halo lejano la influencia de las galaxias vecinas no es despreciable tendríamos que  $\rho(r)_{MO-HALO LEJANO} < \frac{K}{4\pi r^2}$  y  $\rho(r)_{MO FRONTERA-HALO} \approx 0$  por lo tanto en esta región la masa total ya no sería proporcional a la distancia sino que sería inferior  $M_{TOTAL} < K \cdot R$

Así pues  $M_{TOTAL}=K \cdot R$  sería válida en el disco y en halo próximo y

$M_{TOTAL HALO- LEJANO} = K \cdot f(R) < K \cdot R$ , donde  $f(R)$  expresa una determinada dependencia funcional.

### 8.4 VELOCIDAD DE ROTACIÓN ESTELAR EN LA ZONA DEL HALO

En el anexo II están mostradas las curvas de rotación estelar de muchas galaxias. Es destacable el hecho de que en la mayoría de ellas en la zona del halo las curvas que son sensiblemente planas tienen una ligera inclinación descendente.

Esta evidencia experimental puede ser explicada con el modelo porque como se ha explicado anteriormente  $\rho(r)_{MO HALO-LEJANO} < \frac{K}{4\pi r^2}$  a causa de la influencia del campo gravitatorio de las galaxias vecinas.

### 8.5 COMPLEJIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN DE MO EN LOS CÚMULOS GALÁCTICOS

La complejidad de la distribución de la MO en los cúmulos de galaxias puede ser fácilmente explicada con el modelo dado que el campo gravitatorio total en los espacios intergalácticos es el resultante de la suma vectorial de diversas fuentes de campo.

Sin embargo en el interior del halo galáctico el campo dominante tiene una gran simetría esférica que genera una distribución de MO con gran simetría esférica.

Como ya se explicó en el epígrafe 7, las nubes de gas intergaláctico que pueden tener una masa superior a la de las galaxias que componen el cúmulo, son las que crean los llamados filamentos de MO. Debido a que la densidad es trillones o cuatrillones de veces inferior a la densidad de una estrella, la influencia de estas nubes para crear MO es despreciable frente a la capacidad de generar MO de las masas estelares. No obstante es perfectamente plausible que estas nubes de gas sean las responsables de los filamentos de MO que unen las grandes masas de MO creadas por las galaxias.

## **9. PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA CONTRASTAR EL MODELO DE MO**

La propia teoría del modelo de MO por vacío cuántico permite establecer una serie de predicciones de resultados experimentales que podrían ser decisivos para considerar el modelo como un serio candidato para explicar la naturaleza de la MO.

### **9.1 - GALAXIAS**

Una prueba imprescindible para la validez del modelo consiste en que la MO en diferentes galaxias de similar masa visible y similar estructura sea sensiblemente la misma. Es evidente que si en dos galaxias de masas visibles similares se mide la MO y los resultados son muy distintos, habría que rechazar este modelo.

### **9.2 - CÚMULOS DE GALAXIAS CON MASA VISIBLE SIMILAR Y ESTRUCTURA SIMILAR EN GALAXIAS Y NUBES DE GAS**

Como hemos comentado antes, la MO en un cúmulo de galaxias medido con el efecto de lente gravitatoria o con el teorema del Virial, arroja distintos valores para la cantidad total de MO.

Por lo tanto para comparar diferentes cúmulos hay que realizar mediciones de MO con la misma técnica en cúmulos cuya estructura de galaxias y de sus nubes de gas sean similares.

Es evidente que la validez del modelo exige que con el efecto de lente gravitatoria o a partir del teorema del Virial, debe verificarse que las “Masas Oscuras” obtenidas en dos cúmulos de galaxias de masas de galaxias y masas de nubes similares deben ser similares.

Es importante también considerar cúmulos de galaxias situados a distancias similares de la Tierra para cancelar los errores derivados de la medición de magnitudes a tan enormes distancias.

### **9.3 – 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 tercera 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 existe 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 la fecha, no se ha encontrado ninguna lente gravitatoria de MO pura. Puede que en un futuro se encuentre, pero también puede ser que eso no suceda jamás tal y como predice este modelo de MO.

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

#### **9.4 – MATERIA OSCURA EN CÚMULO DE GALAXIAS**

Como se ha comentado anteriormente, existen dos métodos para medir la masa total en cúmulos de galaxias: uno basado en el teorema del Virial y otro en las lentes gravitacionales.

Elegida una galaxia de la región más exterior del cúmulo, el método basado en el teorema del Virial permite calcular la masa total (ordinaria y oscura) encerrada en la esfera que determinaría la trayectoria de la galaxia. Así pues este método permitiría calcular la masa total interior del cúmulo.

El método de lente gravitacional permitiría medir la masa total incluida la MO del halo del cúmulo.

La diferencia entre ambas masas permitiría medir la MO del halo del cúmulo.

Como vimos en el epígrafe 8.2 la densidad de la MO en el halo del cúmulo es

$\rho(r)_{MO-HALO-CUMULO} \approx \frac{K}{4\pi r^2}$  y por integración sobre todo el halo permitiría calcular la MO del halo.

La prueba más definitiva de la validez del modelo sería la concordancia entre la MO del halo del cúmulo medida y la MO calculada mediante la integración de la densidad de masa oscura en el halo del cúmulo.

#### **9.5 – CURVAS DE ROTACIÓN EN LA ZONA DEL HALO GALÁCTICO**

En el anexo II están mostradas varias curvas de rotación galácticas. La mayoría de ellas, en la zona del halo presentan curvas planas ligeramente descendentes. Este hecho ya fue justificado de acuerdo al modelo en el epígrafe 8.4.

Sin embargo, puede verse que una curva tiene una ligera subida en la región del halo. Merecería un especial estudio dicha galaxia para intentar encontrar el origen de esa subida en la curva de rotación ya que se trata de un caso muy excepcional.



## 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 las cinco 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.

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.

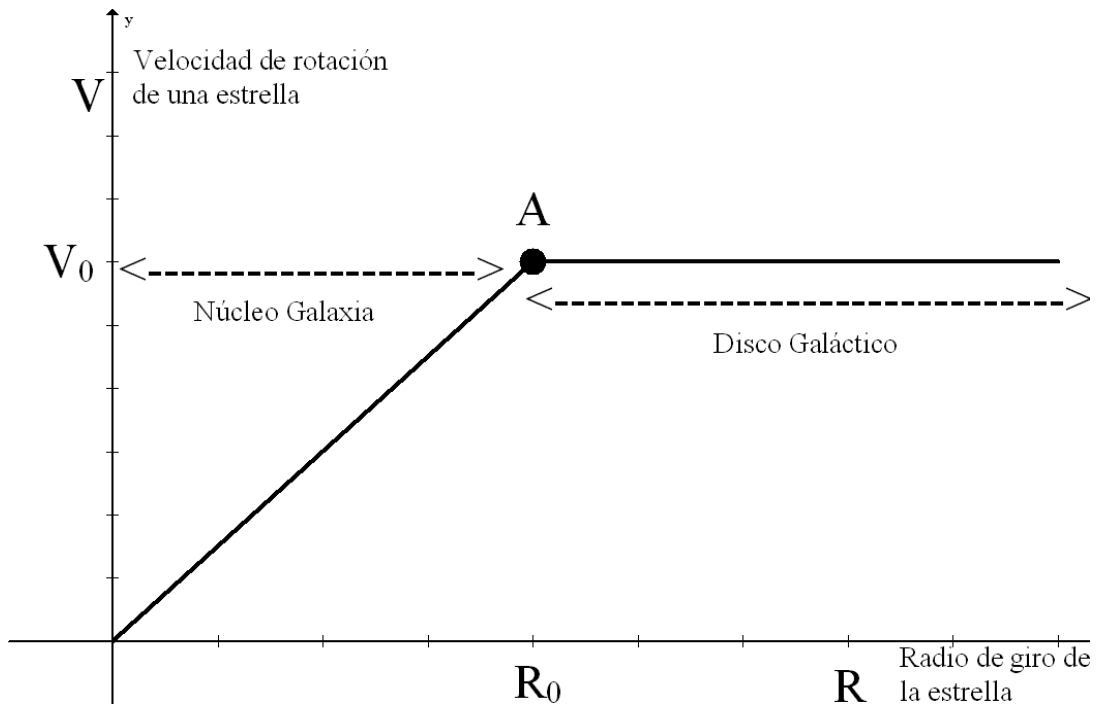
Además, si tal y como es aceptado actualmente por la comunidad científica, la Energía Oscura es un fenómeno de gravedad cuántica, por razones de simetría podemos sospechar que la MO también puede ser un fenómeno producido por la naturaleza cuántica de la gravedad.

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.

## ANEXO I

*Modelo de curva de velocidades de rotación de estrellas entorno al centro de la galaxia.*



La curva de velocidades de rotación de las estrellas de una galaxia, puede modelarse de la forma más simple según la función representada en la figura.

En la gráfica se aprecian dos regiones:

**Núcleo** - Hasta  $R_0$  la velocidad angular es constante.  $R_0$  es el radio del núcleo galáctico.

**Disco** - A partir de  $R_0$  la velocidad es constante. La casi horizontalidad de la curva se mantiene hasta las estrellas más alejadas de la periferia galáctica.

En este epígrafe,  $R$  representa el radio de giro de una estrella entorno al centro galáctico, y  $M$  representa la masa total (ordinaria y oscura) encerrada por la esfera de radio  $R$ .

### **Núcleo Galáctico**

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

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

constante.

Experimentalmente se ha determinado que en esta zona la masa ordinaria 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.

## 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  $v = Cte$ , de la tercera ley de Kepler expresada 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  $\frac{M_0}{R_0} = \frac{M}{R} = K = Cte = \frac{V_0^2}{G}$ . Donde  $M_0$  representa la masa total encerrada por la órbita estelar de radio  $R_0$ .

Teniendo en cuenta  $M = K \cdot R \rightarrow dM = K dr$  llegamos a la conclusión de que la

$$M = \rho \cdot V \rightarrow dM = \rho 4\pi r^2 dr$$

densidad de masa total  $\rho(r)_{MASA-TOTAL} = \frac{K}{4\pi r^2}$

Donde  $\rho(r)$  es la función densidad de masa total (ordinaria + oscura).

Como ya hemos indicado, en el halo la cantidad de M.O. es mucho mayor que la de materia ordinaria, por lo tanto es una aproximación aceptable considerar que esa es la densidad de

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

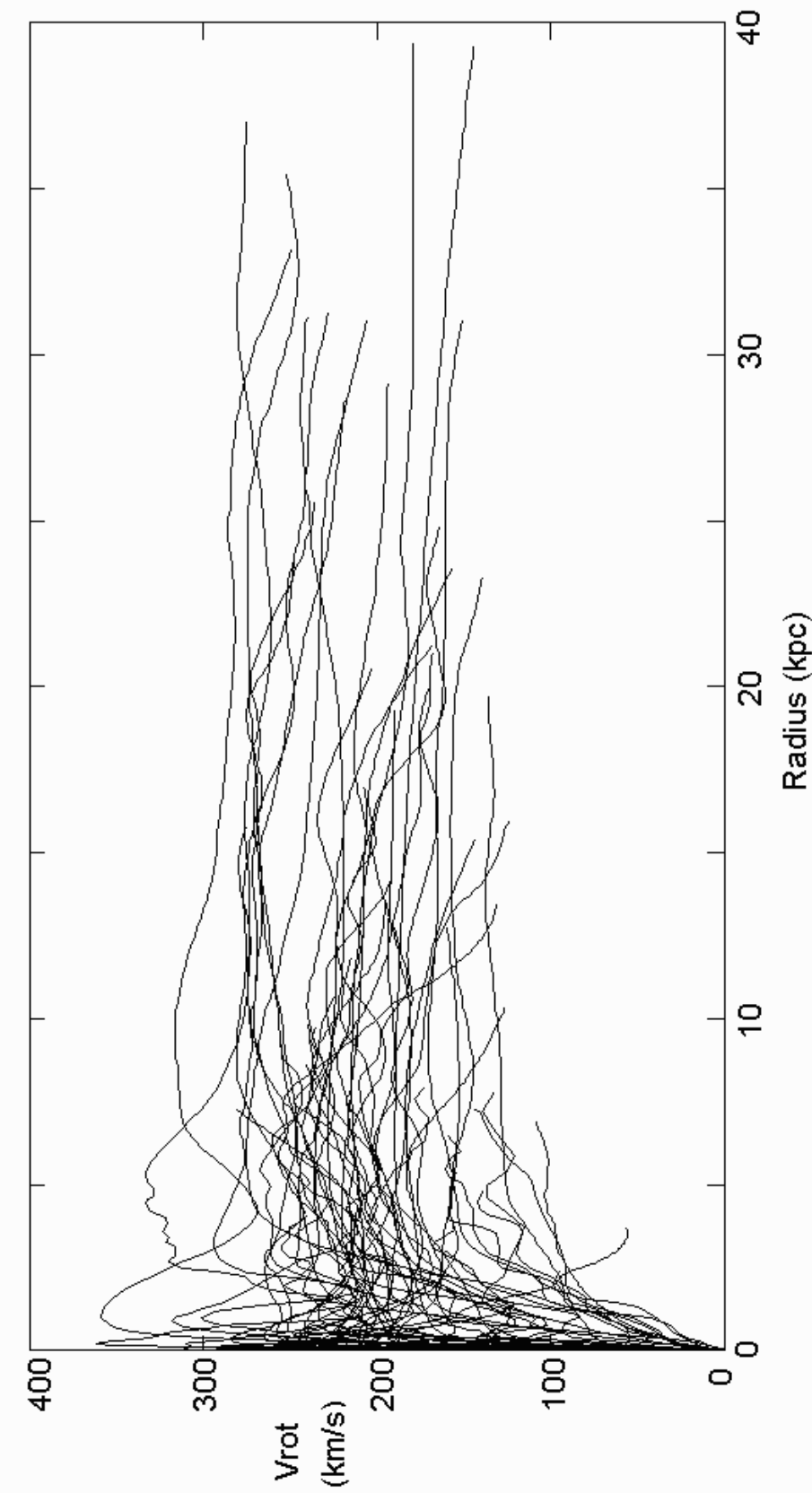
Así pues, la hipótesis acerca de que “la masa del vacío cuántico es mayor cuanto más intenso sea el campo gravitatorio que actúa sobre él” queda justificada al menos cualitativamente por

la función densidad  $\rho(r)_{M.O.} \approx \frac{K}{4\pi r^2}$  que como acabamos de ver es la función que puede justificar el resultado empírico de la zona plana de la curva de velocidad de rotación.

Por integración de la función densidad, deducimos que la masa total encerrada por una esfera es proporcional al radio de ésta.  $M_{Total} = K R$  y dado que  $M_{ORDINARIA} \ll M_{M.O.}$  en la región del halo, es aceptable suponer  $M_{M.O. HALO} \approx K \cdot R$ . Donde el radio pertenece a la región del halo.

**ANEXO II**

**CURVAS DE ROTACIÓN DE VARIAS GALAXIAS**



## **BIBLIOGRAFÍA**

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

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

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