

# TEORIA RELATIVISTA DE LA GRAVITACION EN LA EXPANSION COSMOLOGICA

Rodolfo CARABIO

Prosiguiendo el estudio Teoría Relativista de la Gravitación basada en la Relatividad Especial, se analizara a continuación la aplicación de esta teoría al marco general del cosmos, previa descripción de la situación actual del tema

Las observaciones del universo a partir de 1998 dieron un resultado inesperado con el descubrimiento de que la expansión del cosmos esta siendo acelerada por una acción sin explicación evidente en la teoría generalmente aceptada, la Relatividad General (RG) de Einstein

El problema es esencialmente sencillo, la gravedad en las condiciones observadas del cosmos debería ser siempre atractiva según la RG, por lo que cabria esperar que la expansión del universo fuese sucediendo cada vez mas lentamente, en este punto los modelos predecían según fuese la densidad de masa – energía del universo la posibilidad de una expansión eterna o una reversión de la expansión con el consecuente colapso del universo, en ambos casos el movimiento general de la materia en el universo era retardado por acción de la gravedad, lo cual no responde a la observación

Ciertos razonamientos basados en la RG conducen a la posibilidad de una gravedad repulsiva como la que habría producido la Inflación cósmica por la acción conjunta del "falso vacío" o la presencia de "campos escalares" (por ejemplo la quintaesencia) de los primerísimos instantes luego del Big Bang, pero que no se ha podido aplicar a la expansión acelerada del cosmos, como ha mencionado Alex Vilenkin "La teoría convencional es que las dos inflaciones no están relacionadas"

En efecto, la aplicación de un fluido de presión negativa que (generaría gravedad repulsiva) como el hipotético falso vacío cuántico al cosmos macroscópico presenta la discrepancia más grande en la historia de la ciencia, discrepancia de  $10^{120}$  ordenes de magnitud con respecto a lo observado

Actualmente dada la incapacidad teórica mencionada la expansión cosmológica acelerada es explicada por la acción de la llamada "energía oscura", acción fantasmal que sin embargo contendría sobradamente la mayor parte de la energía del universo (en torno al 70%), dicha

acción resulta ser como una fuerza titánica que parece extraer energía virtualmente de la nada, siendo aun mas inexplicable que la cuestión de la materia oscura

La cosmología actual además presenta varias cuestiones no resueltas entre las que destacan:

1 - Las observaciones de la radiación de fondo de microondas y de galaxias distantes han mostrado una planitud no esperada en la geometría del cosmos, la cual para producirse habría necesitado condiciones demasiado precisas para ser casualidad.

2 -Otro tanto sucede con la detección de enormes estructuras de galaxias que no pueden ser explicadas por la acción de la gravedad en el tiempo transcurrido desde el Big Bang, dichas estructuras contradicen el principio cosmológico, la gran cadena de cuásares de 4.000 millones de años –luz y en fecha mas reciente una estructura de unos 10.000 millones de años luz de extensión a sido hallada (Hercules Corona Borealis), lo cual da marco para la posibilidad de un universo fractal que se considerara al final de este trabajo.

Por todo esto es posible presentar la siguiente hipótesis acerca de la dinámica y estructura del cosmos

— Aplicación de la Teoría Relativista de la Gravitación

A continuación se muestra la aplicación cualitativa en grado general de la Teoría Relativista de la Gravitación basada en la Relatividad Especial. En dicha teoría se obtuvo la solución rigurosa de la expresión para la energía potencial gravitatoria  $U(r)$  entre dos objetos de igual masa esta dada por la formula 1]

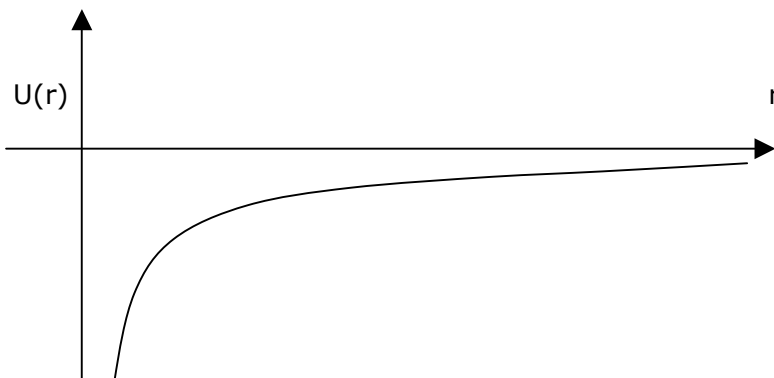
$$1] \quad U(r) = 2 \left( \frac{c^4 r}{G} - E_{T\infty} \right) \left( \sqrt{1 - \frac{E_{T\infty}^2}{(c^4 r / G - E_{T\infty})^2}} - 1 \right)$$

Siendo  $E_{T\infty}$  la energía total relativista a infinita distancia de separación entre los objetos en interacción, este valor de la energía se introduce por la necesidad de establecer la condición inicial de la magnitud de la energía en la situación física considerada

La formula 1] admite dos soluciones según el signo de la raíz, para el caso de asignar el signo positivo se tiene

$$2] \quad U(r) = 2 \left( \frac{c^4 r}{G} - E_{T\infty} \right) \left( \sqrt{1 - \frac{E_{T\infty}^2}{(c^4 r / G - E_{T\infty})^2}} - 1 \right)$$

El grafico de la función 2] es una función que coincide a grandes distancias con la ley del inverso del cuadrado de la distancia de separación entre partículas:



Asignando a la raíz el signo (-) y resulta:

$$3] \quad U(r) = -2 \left( \frac{c^4 r}{G} - E_{T\infty} \right) \left( \sqrt{1 - \frac{E_{T\infty}^2}{(c^4 r / G - E_{T\infty})^2}} + 1 \right)$$

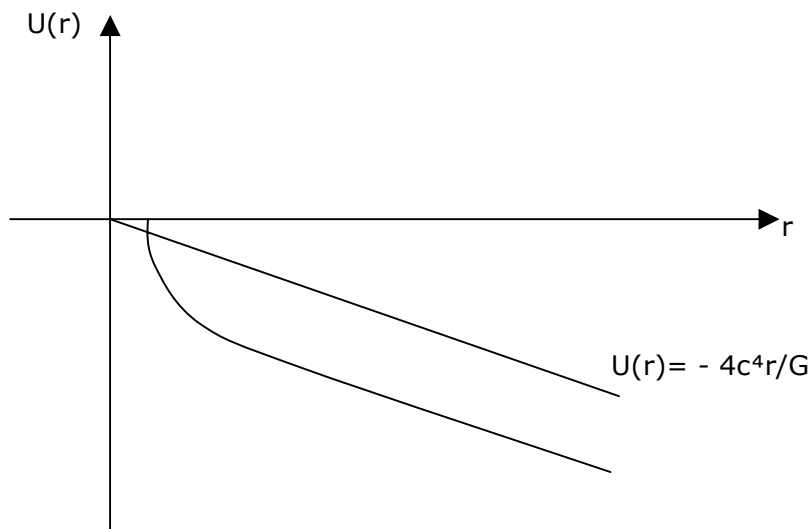
Esta última fórmula 3] para tener sentido físico debe ser el parámetro para la condición inicial de energía total relativista su valor en el origen:

$$E_{T\infty} \rightarrow E_{T0}$$

Es decir que la condición inicial implica una energía total relativista arbitraria en el origen de coordenadas, en el caso especial cuando  $E_{T0}=0$ ; la forma del gráfico de la energía potencial  $U(r)$  es una línea recta con inicio en el origen

$$4] \quad U(r) = -2 \left( \frac{c^4 r}{G} - E_{T0} \right) \left( \sqrt{1 - \frac{E_{T0}^2}{(c^4 r / G - E_{T0})^2}} + 1 \right)$$

Su representación grafica



Si la energía total relativista es cero

$$5] \quad U(r) = -\frac{4c^4 r}{G}$$

Esta última expresión 5] representa un campo presente aun en ausencia total de masa-energía, algo así como un "campo primordial" del vacío.

La cantidad de energía de este campo primordial es enorme, del orden de  $10^{44}$  Joule por cada metro de separación entre partículas

¿Cómo es posible esta función 5] para la energía potencial gravitatoria?

La formula 1] para la energía potencial gravitatoria se dedujo de una formula mas general 6] (Véase "Teoría Relativista de la Gravitación")

$$6] \quad U(r) = -G \frac{E_{T1} \cdot E_{T2}}{c^4 r}$$

En la formula 5] los valores de la energía son variables en función de la distancia de separación

Si aplicamos el principio de conservación de la energía a un campo de gravedad dado por la expresión 5] se tiene que la energía total relativista de cada objeto es:

$$7] \quad E_T = \frac{2c^4 r}{G}$$

Introduciendo 7] en la expresión 6]

$$U(r) = -G \frac{(2c^4 r / G)^2}{c^4 r}$$

$$U(r) = -\frac{4c^4 r}{G}$$

Resulta entonces posible la expresión 5] para la energía potencial gravitatoria

— Concepto de campo gravitatorio repulsivo:

El concepto de un campo gravitatorio descrito por la ecuación 5] para la energía potencial gravitatoria de un par de partículas existente que resulta presente aun en ausencia de masa-energía y su enorme valor podría ser clave para explicar el surgimiento del universo como un conjunto de partículas de gran energía. En principio la sola existencia del campo gravitatorio primordial de energía negativa implicaría a su vez el surgimiento de una cantidad enorme de energía positiva (aplicando el principio de conservación de la energía, la energía total del universo debe ser cero) y una posible aparente desviación extrema con respecto a la relatividad especial, pero no es una contradicción con dicha teoría sino que es debido a que predomina el efecto gravitatorio de dilatación del tiempo, precisamente es el campo gravitatorio el que necesariamente adquiere un valor indefinidamente grande en este caso.

Es sabido que en la gravedad atractiva el campo gravitatorio actúa corriendo hacia el azul la longitud de onda de la luz que "cae" dentro del campo gravitatorio, esto se explica fácilmente si se considera que el decurso del tiempo se enlentece a medida que un observador se acerca a la fuente del campo gravitatorio con respecto a un observador infinitamente alejado de dicha fuente

La expresión para el valor de energía del fotón que se acerca a una fuente de campo gravitatorio (una masa) es simplemente directamente proporcional a la frecuencia del fotón medida en el lugar determinado:

$$E = h\nu$$

Las relaciones entre las energías del fotón al pasar por distintos lugares de un campo gravitatorio:

$$\frac{\nu'}{\nu} = -\frac{E_F'}{E_F}$$

Las frecuencias medidas son inversamente proporcionales a la rapidez relativa en la que el tiempo transcurre en distintos lugares del campo gravitatorio

$$\frac{\nu'}{\nu} = -\frac{T}{T'}$$

Se entiende que si dentro del campo gravitatorio se mide una frecuencia del fotón ( $\nu'$ ) tal que  $\nu' > \nu$  es porque el decurso del tiempo dentro del campo gravitatorio es más lento con respecto al exterior de dicho campo  $T' < T$

Para el caso de existir un campo gravitatorio repulsivo entre dos objetos tales como el par de partículas considerado debe darse la situación opuesta, es decir el decurso del tiempo debe ser más rápido en el espacio que media entre las partículas con respecto a un observador situado fuera de dicho espacio

La grafica del campo gravitatorio primordial repulsivo indica que un par - y solo un par - de partículas surgidas del vacío se repelen según un potencial gravitatorio indefinidamente descendente, para que tal potencial exista necesariamente debe existir una diferencia entre el decurso del tiempo comparado entre el par de partículas y su espacio circundante, mas concretamente indica que en el espacio definido por la esfera trazada por el diámetro que une a dichas partículas el tiempo transcurre a un ritmo finito, en tanto que en la zona del espacio externa de la esfera del par de partículas a donde la influencia causal de tal par - que se desplaza a la velocidad de la luz - aun no ha llegado, el tiempo permanece sin transcurrir, lo cual esta en acuerdo a que el tiempo no existe en ausencia de masa- energía, (demostración teórica de que el tiempo no existe sin masa-energía)

Es lógico que en el limite entre zonas donde el tiempo ha comenzado a transcurrir y las zonas donde el tiempo no transcurre hay una brusca discontinuidad físico-matemática, que debe incidir en la energía de los fotones que pasan de una a otra de dichas zonas

Entonces:

$$T = 0$$

$$T' = T'$$

$$\nu'/\nu \rightarrow \infty$$

Lo cual indica que un fotón en un contexto donde predomina la gravedad repulsiva debe experimentar un aumento infinitamente grande de energía al pasar de una región donde el

tiempo transcurre a una región donde no transcurre el tiempo, la expresión 5] grafica la pendiente indefinidamente descendente entre el limite de ambas regiones

— Dinámica de la expansión

Un par de partículas surgidas a partir del vacío se ha visto que se repelen en virtud del campo gravitatorio repulsivo primordial que actúa entre ellas, es necesario establecer el hecho de que en la zona exterior a la influencia de dicho par el tiempo no transcurre y por tanto allí no pueden surgir sucesos como por ejemplo la formación de otros pares de partículas, pues tal formación en una serie de sucesos implicaría de por si el transcurso de tiempo

Entonces el surgimiento del universo a partir de un único par de partículas cuya esfera de influencia causal se expande a la velocidad de la luz liberara una cantidad de energía positiva (En la formación de masa, energía cinética, etc.) de tal magnitud que compense exactamente la energía potencial gravitatoria negativa, el cálculo aplicando la expresión 5] indica para el universo observable una cantidad de energía positiva:

$$E = 4c^2r/G$$

Un año luz son unos  $9.10^{15}$  metros, el diámetro del universo observable de un orden de  $10^{10}$  años luz, resulta un radio de universo observable de  $9.10^{25}$  metros

$$E = 4(3.10 \text{ m/s})^4 \times 9.10^{25} \text{ m} / (6,632.10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{Kg}^2)$$

$$E = 4(8,1.10^{32} \text{ m}^2/\text{s}^2) \times 9.10^{25} \text{ m} / (6,632.10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{Kg}^2)$$

Aproximadamente:

$$E = 4,4.10^{70} \text{ J}$$

Veamos ahora que las estimaciones de la masa –energía del universo observable

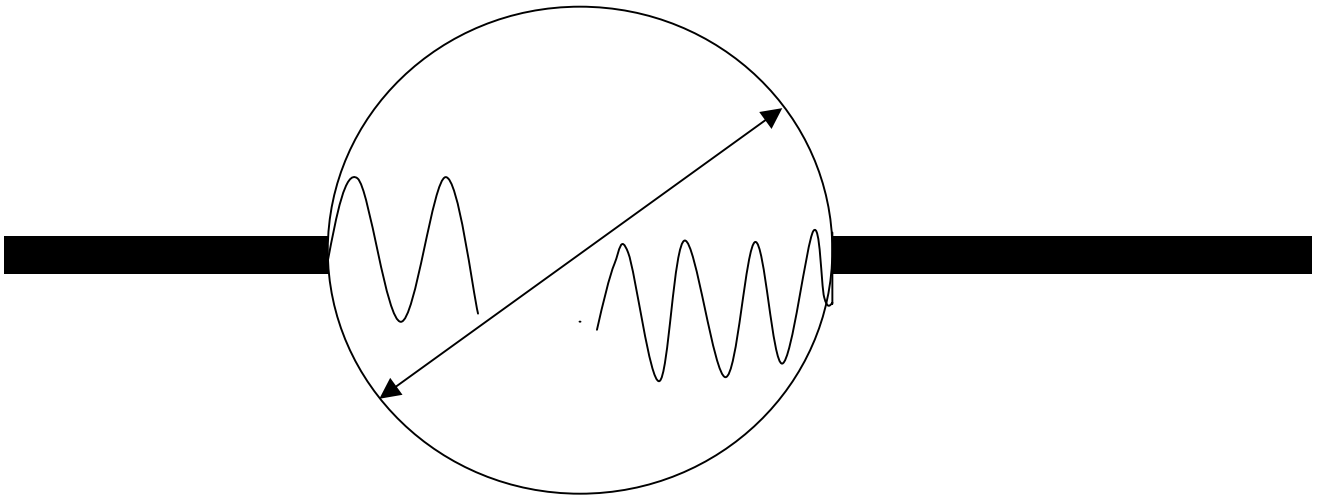
$M=10^{53}\text{Kg}$ ; masa estimada del universo observable (galaxias, radiación, materia oscura, energía oscura, etc.)

$$E = Mc^2$$

$$E = 10^{53}\text{Kg}.10^{17} \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 10^{70} \text{ J}$$

Veamos a continuación una representación del surgimiento de un par en medio del vacío absoluto, a partir de un punto equidistante al par de partículas se produce un volumen esférico de influencia dentro del cual surge el tiempo físico, en tanto que en su exterior potencial (exterior potencial porque objetivamente no hay espacio tiempo) el tiempo aun no transcurre



En el grafico se muestra que cualquier fotón que "salga" o "entre" a la esfera de eventos causal tiene una brusca discontinuidad físico-matemática de su frecuencia

El campo gravitatorio primordial se ha calculado para un par de partículas, pero su existencia es independiente de dicho par, de tal forma que el principio de conservación de la energía puede actuar compensando tal energía gravitatoria negativa tanto en la creación de dicho par energético como en el surgimiento de una cantidad equivalente de masa-energía esparcida en el espacio, si esto es así, entonces dentro de los márgenes de cada intervalo de distancia radial  $\Delta r$  se podría generar una cantidad de masa-energía dada por la expresión 5]

$$U(r) = -\frac{4c^4 \Delta r}{G}$$

$$\Rightarrow E^o(r) = -\frac{4c^4 \Delta r}{G}$$

Si el universo se conforma no a partir de un único par de partículas sino a través de una distribución de materia esparcida que no tiene ningún punto central preferencial en el espacio entonces tal distribución debe seguir un orden fractal, en la actualidad las observaciones no parecen ni confirmar ni descartar un patrón fractal en la distribución de materia en el universo pero hasta los límites del universo observable en escalas aun mas grandes que los filamentos de galaxias la cantidad de materia contenida dentro de un volumen esférico de radio  $r$  estaría dada aproximadamente por la función:

$$M = k \cdot r^2$$

Entonces es un fractal, pero de otra potencia que la calculada, aun así tal vez el universo observable sea demasiado pequeño para tener una estadística confiable

La distribución de materia y energía sugerida por la expresión 5] no presentaría la famosa "paradoja de Olbers", en efecto, la densidad promedio de materia en un universo fractal de este tipo debería caer en función de  $r^{-2}$ , lo cual se demuestra fácilmente:

$$M = 4\pi \int \delta(r).r^2.dr$$

$$\delta(r) = k / r^2$$

$$M = 4\pi \int (k / r^2).r^2.dr$$

$$M = 4\pi k.r$$

La iluminación (I) de una fuente puntual decrece en función de  $r^{-2}$ , en tanto que la cantidad de fuentes puntuales dentro de una superficie esférica de radio r es proporcional a  $r^2$

$$I = 4\pi \int_r^\infty \delta(r).r^2.dr / r^2$$

$$I = 4\pi \int_r^\infty (k / r^2).r^2.dr / r^2$$

$$I = 4\pi k \int_{r_0}^\infty dr / r^2$$

$$I = 4\pi(k / r_0)$$

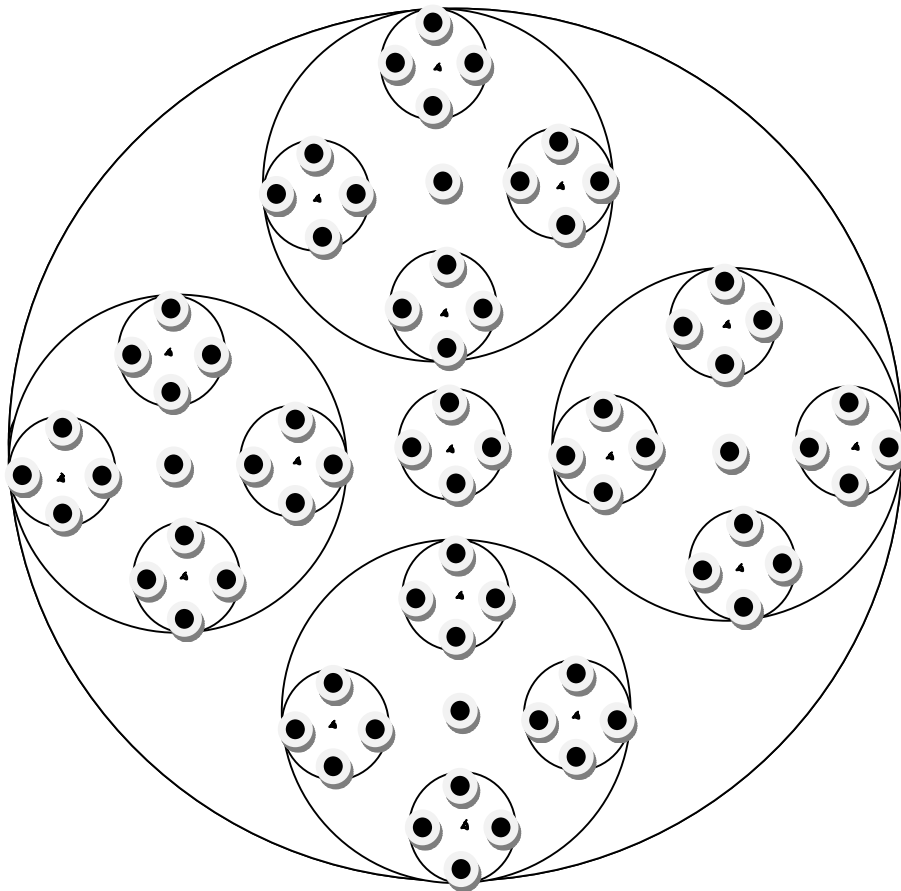
Resulta un valor finito, en tanto que cualquier otra distribución - sin apelar a la finitud o inicio del cosmos - de la densidad daría un valor infinito de la iluminación en todos los puntos del espacio y no el "cielo totalmente blanco de estrellas" que se menciona al citar la paradoja

#### — Universo fractal

Representación grafica de la forma fractal primordial del surgimiento de la distribución de materia en el cosmos, las esferas en negro contienen una cantidad determinada de materia, las esferas delimitadas por los círculos en líneas marcan los patrones de distribución fractal. Si cada esfera delimitada superior en diámetro a la esfera delimitada inmediata anterior posee un radio de (k) veces su magnitud entonces tendrá (k) veces su cantidad de materia, esto garantiza que la densidad media sea decreciente de forma que la cantidad de masa comprendida dentro de los limes de una esfera de radio (r) sea proporcional a dicho radio tal como indica la formula 5]

Para una estructura tridimensional se reemplaza la forma cuadrangular en el plano de disposición de esferas negras por una disposición tetraédrica





En esta teoría existe un inicio del tiempo cósmico pero no está definido hacia atrás en el pasado, si bien existe un comienzo que parte de un punto central la estructura fractal establece una distribución de masa-energía sin punto referencial privilegiado en el espacio. En esta situación física un volumen contenido dentro de una esfera de radio ( $r$ ) posee en promedio una cantidad de masa-energía primordial de magnitud  $E^0 = 4c^4 \cdot r/G$  independientemente de la posición de la esfera considerada en la totalidad del espacio, sin embargo la eventual energía cinética de tal masa-energía tendería a su expansión con la consiguiente modificación en el tiempo de la distribución primordial de masa-energía. Tal efecto sería más fuerte cuanto más pequeña sea la escala considerada

Como ejemplo si consideramos horizonte cosmológico a unos 13.700 millones de años -luz (AL) de distancia (cálculos basados en la RG dan un valor tres veces mayor de dicha distancia), en la actualidad la materia en esa región se aleja casi a la velocidad de la luz en el vacío y por tanto a tal ritmo de expansión dicha materia estaría actualmente casi al doble de la distancia que observamos como el horizonte cósmico y por tanto la densidad de masa-energía dentro del universo observable habría caído en la actualidad:  $2^3 = 8$  ocho veces, manteniendo por su orden de magnitud cierta relación con el valor dado por  $E^0$  (en realidad se observa un mosaico continuo de tiempo pasado cuanto más lejos se observa el universo) pero incluso en esta situación el promedio a grosso modo sería que actualmente vemos una masa-energía contenida dentro del horizonte cósmico en acuerdo con la expresión 5], en cambio para una masa-energía primordial surgida en una región del tamaño de una galaxia de unos 150.000 AL, su densidad

de masa-energía primordial cayo (suponiendo una expansión inicial de cierta parte de la masa-energía primordial a una velocidad máxima comparable a la velocidad de la luz) aproximadamente unas  $(150.000AL/13.700.000.000AL)^3$ , unas  $10^{15}$  veces. La masa del universo observable es de unas  $10^{11}$  galaxias resulta que la densidad dentro de las galaxias es mayor que el promedio de la densidad del cosmos, y la expansión de la masa-energía primordial no fue en su totalidad a la velocidad de la luz es por eso que las galaxias son algo mas densas que el promedio general de densidad del universo

Actualmente puede verse que las galaxias presentan una distribución de masa característica, basándose experimentalmente en la velocidad de rotación de las estrellas en las galaxias se calcula que la masa contenida dentro de una distancia radial  $r$  al centro de la galaxias debe ser proporcional a  $r$ , esta es el famosa cuestión de la materia oscura, tal vez las galaxias espirales contengan dentro de su estructura la relación 5] de forma manifiesta como información remanente de su formación

Así entonces la expansión de la energía primordial tiende a distribuir de forma homogénea a gran escala la masa-energía dentro de los limites del horizonte cósmico de cualquier observador

En este tipo de universo continuamente se genera masa-energía y se expande dentro de la esfera de influencia causal que la contiene de manera que la entropía siempre aumenta sin alcanzar nunca su valor máximo, la densidad de masa-energía generada por unidad de tiempo decrece en el tiempo cósmico tendiendo asintóticamente a cero

Es de esperar que en futuras observaciones del campo profundo de telescopios mas potentes se detecten estructuras de materia y vacíos cada vez mayores, de hecho la densidad promedio del universo siempre disminuye al aumentar la escala de medida, si es así la hipótesis del universo fractal debería ser tomada mas en consideración