

Función de Correlación de dos puntos para una distribución de puntos en 3 dimensiones.

Gutiérrez Rivera Marco Alexis
García Ramírez Rafael Alejandro

Resumen—Se determinará la distancia característica de las oscilaciones acústicas barionicas mediante el uso de un programa computacional que le permitirá al usuario introducir variables distintas en dos posibles funciones.

I. INTRODUCCIÓN

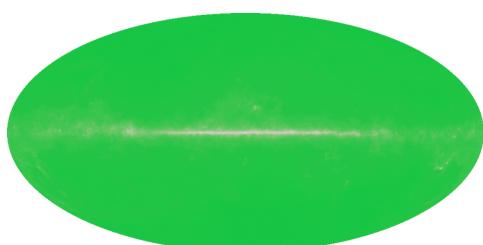
Venticuatro siglos. Hace alrededor de venticuatro siglos. Un lapso que nos podría parecer mitológico, perfectamente podríamos decir que hace venticuatro siglos bajaron del cielo unos cuantos seres a moldear nuestra realidad sin problema alguno. Por otra parte, si volvemos al pasado exactamente este mismo lapso encontraremos a un tipo en sus plácidos treintas llamado Demócrito, quien pertenecía a un pequeño trozo de tierra llamado Grecia. Su título, en esa época, era el de un filósofo materialista (hoy en día llamados atomistas) y quien defendía la idea de la existencia de un objeto de características diminutas e indivisibles a los cuales les llamaba *átomos*. Para él, y para su grupo de amigos, aquello era la parte fundamental de la materia, lo que componía absolutamente todo y le daba sus propiedades. En la moderna terminología esto podría ser llamado "*una teoría sin ninguna base experimental*", pero que resultó ser "*un sueño que se vuelve realidad*". A nuestra época, no fue si no hace apenas dos siglos que éste sueño se volvió realidad.

La idea de conocer la materia fundamental del universo se conserva hasta el día de hoy y se ha extendido hacia los cielos y hacia finales del cosmos.

II. MARCO TEÓRICO: FUNCIÓN CORRELACIÓN

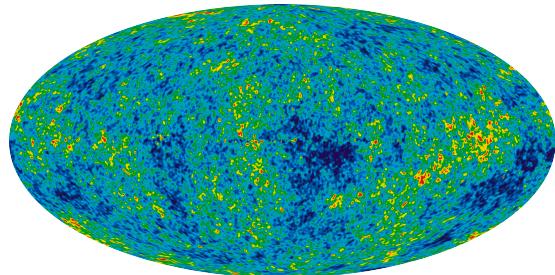
II-A. A Nighth at the (Universe's) Opera

El universo se compone por un 5% de materia bariónica, un 25% de materia oscura y un 75% de energía oscura. Pero, *¿cómo lo sabemos?* y *¿cómo sabemos cuánta energía y materia oscura hay si ni siquiera sabemos con exactitud qué es?* Para poder determinarlo debemos volver al origen de la misma materia, a una era temprana del universo.



La imagen que tenemos arriba es la fotografía más antigua del cosmos que tenemos: *el fondo cósmico de microondas*. A simple vista pareciera que el fondo es de un simple color y así lo creían los físicos de hace cuarenta años, esto porque encajaba en las características de los universos teóricos de Freeman Lemether Robinson Walker (FLRW) que eran exactamente iguales donde quiera que se les viese. Se podía tomar una esquina de uno de estos universos y compararla con la otra y resultarán ser exactamente iguales. Cuando se comenzaron a lanzar satélites al espacio para poder medir con más y más precisión el fondo, que también es descrito como la luz más antigua del cosmos, los físicos se dieron cuenta que ésta imagen no es de un sólo color, si no que tenía diferencias diminutas y muy sutiles.

Ampliando el rango de colores y exagerándolos se obtiene



Las anisotropías del fondo de microondas: una imagen térmica del plasma primitivo

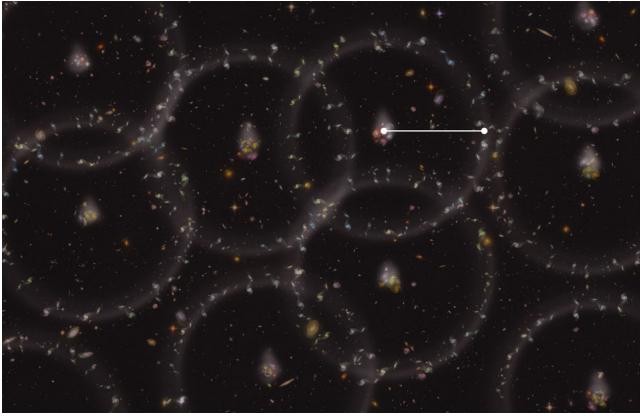
En el universo temprano (300000 yrs) se tenía en su totalidad una composición de plasma conformado de Bariones y Fotones, también llamada materia bariónica. El universo que era caótico tenía dentro de estos cúmulos de materia bariónica una presión constante por parte de la gravedad que provocaba un colapso en la materia y un encogimiento, desatando diversas reacciones que resultaban en el escape de fotones. Esta luz empujaba ahora en una presión por radiación hacia afuera, provocando una expansión en la materia y deteniendo la producción de luz. Al no haber ya un empuje en la materia bariónica ésta comenzaba a colapsar y el ciclo iniciaba de nuevo. La lucha por el equilibrio de éstas dos fuerzas proveen de una especie de vibraciones que son llamadas *Oscilaciones Acústicas de Bariones*. *Oscilaciones* debido a que se considera que el plasma primitivo era un medio elástico, *acústicas* porque viajan a la velocidad del sonido y de *bariones* porque el plasma de fotones y átomos de hidrógeno ionizado pasarían a ser, con las aglomeraciones

de materia posteriores, el principal ingrediente de toda la materia que compone el universo.

Las oscilaciones acústicas de bariones, o por sus siglas en inglés BAO, se manifiestan en la distribución espacial de las galaxias como un exceso de materia a una cierta distancia.

II-B. La mayor probabilidad de encontrar materia

Como podemos notar en las anisotopías del fondo de microondas existen zonas de mayor energía térmica que son expresadas por colores cálidos mientras que aquellos con menor energía con colores fríos¹. Una mayor cantidad de energía térmica es sinónimo de una mayor cantidad de materia en la zona. Estos 'epicentros' son el origen de las perturbaciones antes explicadas que dejan una huella a una cierta distancia llamada *distancia característica* que tiene una cantidad de materia distingible de las otras por lo que se suele decir que éstas sonas contienen una *sobredensidad*.



Como podemos observar en la imagen anterior, a modo de ilustración, en cuanto más nos alejemos de los epicentros de lo que en los incios del universo eran aglomeraciones de materia los niveles de la misma comenzarán a disminuir, o por lo menos ésto se esperaría. Cuando llegamos a nuestra distancia característica (aproximadamente unos 150 Mpc²) encontramos una sobredensidad, una zona donde la cantidad de materia aumenta y que atravesándola vuelve a disminuir. Lo anterior es producto del BAO y es aquí cuando se encuentra una huella en la distribución de la materia del universo.

Sin importar en qué punto del espacio se encuentre un espectador este podrá encontrar esta sobredensidad a la misma distancia siempre y sin importar si se encuentra en un lado del universo o en otro.

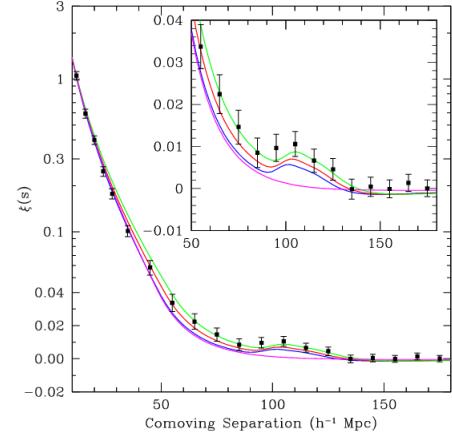


Figura 1. Como muestra la figura, usando la función de correlación se puede obtener que aproximadamente a una distancia de unos 90-150 Mpc comienza un incremento en la cantidad de materia.

Para lo anterior, una herramienta que resulta bastante útil para encontrar ésta distancia característica es la *Función de correlación a dos puntos* que se podría entender cómo: *la mayor probabilidad de encontrar más materia*.

Nuestra función estará denotada por la letra griega ξ (ξ) la cual estará en función de r que será el radio de nuestra sobredensidad, por lo que $\xi(r)$ se convertirá en nuestro estimador.

Debido a la extensa cantidad de datos sobre los cuales se debe aplicar nuestro estimador lo recomendable es realizarlo de manera computacional, lo cuál nos introduce a nuestra siguiente sección.

III. CÓDIGO

Para comenzar nuestro cálculo dispondremos al usuario dos tipos distintos de estimadores, uno simple y otro más complejo utilizado en el campo de la astronomía llamado *Estimador de Landy-Szalay*, los cuales se representan matemáticamente de la siguiente forma respectivamente

$$\xi(r) = \frac{n_r}{n_D} \frac{DD}{RR} - 1 \quad (1)$$

$$\xi(r) = \frac{(DD/n_D - 2DR/n_{DR} + RR/n_r)}{RR/n_r} \quad (2)$$

Donde DD es el número de pares separados a una distancia r en el archivo de datos, DR es el número de pares separados a una distancia r para el archivo de datos y el archivo que contiene puntos distribuidos aleatoriamente, como si fueran un solo conjunto de datos, y RR es el número de pares separados a una distancia r para el archivo de puntos aleatorios. n_r y n_D son el numero de pares totales en el archivo de aleatorios y el archivo de datos.

Al ejecutar el programa (correlacion.o), se deben de ingresar 3 argumentos de entrada, los cuales corresponderán a los valores de las variables L, bin y opcion, donde L significa el tamaño que tiene uno de los lados del cubo donde se encuentran los puntos de los archivos, el valor debe ser un entero; bin es el tamaño del espaciado entre los valores de la distancia entre

¹Objetos a diferentes temperaturas emiten luz en distintas tonalidades.

²Megapársec.1 pársec = 206265 ua = 3,2616 años luz = $3,0857 \times 10^{16}$ m

dos puntos para los histogramas, es decir, que si elegimos un bin de 5, entonces nuestros histogramas iran de 0 a 5, de 5 a 10, de 10 a 15, etcétera, su valor también debe ser entero; la variable opcion es para escoger el tipo de estimador que se desea usar, con 1 se escoge el estimador simple (ecu.1) y con 2 se escoge el estimador de Landy-Szalay (ecu.2).

Tras ejecutar el programa con sus argumentos de entrada, el programa lee la cantidad de renglones que contiene el archivo seleccionado, en este caso llamado *Datos.txt*. Una vez que se leyeron la cantidad de renglones comenzará el escaneo de datos en la cual se evaluará cuantitativamente los valores introducidos mediante un ciclo for. Una vez evaluados se comenzará calculando los valores del radio r y guardandolos en un arreglo, este proceso se repite ahora con el archivo de puntos aleatorios, de nombre *Aleatorios.txt*. Tras tener los dos arreglos, se combinan en un arreglo nuevo para de ahí sacar los valores correspondientes para obtener los valores del histograma DR de manera similar a lo que hicimos con los anteriores 2.

Para este punto el programa habra sacado la distancia entre todos los punto y los habra guardado en los arreglos correspondientes, lo siguiente que hace el programa es ordenarlos del menor al mayor, y entonces, empieza a comparar los valores en los rangos del histograma y hace que el valor en el arreglo correspondiente a cada intervalo del histograma se incremente si pertenece a ese intervalo.

Finalmente, los que hace es imprimir en un archivo llamado *Resultados_Datos.txt*

IV. RESULTADOS

Las diferencias que se obtuvieron, a la hora de cambiar diferentes valores de bin, fueron que había más o menos resultados de estimadores, y cuando cambiabamos el estimador usado, el resultado de los estimadores cambiaba.

V. CONCLUSIONES

REFERENCIAS

- [1] GAMOW. GEORGE, *Biografía de la Física*, primera edición , Salvat Editores y Alianza Editorial, Estella, Navarra.España, 1971.