.

II.*Lab* GUIA DE COSMOLOGIA – 2do Cuatrimestre 2003

Curso de postgrado u optativo de grado – Dept de Física, FCEyN-UBA

Laboratorio de Computación – Radiación Cósmica de Fondo

–Entrega: clase siguiente al parcial–

1) Empleando el programa CMBfast
[ver `www.cmbfast.org/` o `www.iafe.uba.ar/relatividad/gangui/cosmocurso/` –plan B–]
efectúe los puntos siguientes, y justifique sus respuestas:

Corra el código numérico para un modelo "estándar" ΛCDM con $\Omega_b = 0.05$, $\Omega_c = 0.22$, y $\Omega_\Lambda = 0.73$ para las concentraciones de bariones, cold dalk matter (materia oscura fría) y constante cosmológica Λ. Use además un parámetro de Hubble $H_0 = 71$ km/s/Mpc , temperatura actual para la radiación cósmica de fondo de $T_0 = 2.725$K , y una abundancia relativa (en masa) para el ^{4}He dada por Y_p=0.24 . Tome condiciones iniciales adiabáticas (o isoentrópicas) para las perturbaciones, con espectro de Harrison–Zel'dovich. Considere además que no hay contribución de modos tensoriales (ondas gravitatorias) y que el número de neutrinos es el usual. [se tarda más en leer esto que en correr el código..]

1- Grafique el espectro angular de potencias para las anisotropías en la temperatura de la radiación de fondo dado en la forma $\ell(\ell+1)C_\ell/(2\pi)$ versus ℓ [es la segunda columna del archivo de datos que el programa genera]. Explique el por qué de esta expresión a graficar. Es arbitraria?, se la emplea por razones históricas?, o es que tiene alguna razón de ser práctica?

2- La tercera columna del archivo de datos indica el espectro análogo para los modos "E" de la polarización de la radiación de fondo. Si Ud. quisiera poder graficar ambas columnas (la 2da y la 3ra) en un mismo plot, quizás le convenga emplear coordenadas logarítmicas (al menos para el eje "y"). Notará que la amplitud máxima de la polarización es muy pequeña comparada con la amplitud de las anisotropías en la temperatura. A partir de su gráfico responda: qué "porcentaje" de la radiación de fondo se halla polarizada en el modelo (y con los parámetros cosmológicos) que Ud acaba de correr?

3- La cuarta columna del archivo de datos indica la "correlación cruzada" entre temperatura T y polarización E. Estos números toman valores positivos y negativos – no se sorprenda si su graficador no le muestra toda la curva (en coordenadas logarítmicas). Mirando las tres curvas (TT , EE y TE) Ud recordará que, si bien la TT esta muy bien delimitada por las observaciones, la amplitud de EE recién (2002) viene de descubrirse en una pequeña región del cielo (experiencia DASI). Dado que es tan difícil alcanzar la sensibilidad necesaria para detectar tan pequeña señal sobre todos los multipolos ℓ, discuta si la curva TE puede servir para decir algo sobre la polarización en aquellas escalas angulares en que la EE no se detecta?

4- Los espectros TT y EE poseen similitudes y diferencias: por ejemplo, la presencia de oscilaciones, una amplitud que decrece hacia los ángulos grandes (donde ℓ disminuye), la escala angular en la que adquieren sus máximos de amplitud, sus frecuencias de oscilación, las posiciones angulares de sus varios máximos y mínimos de oscilación, la existencia de una escala angular a partir de la cual la amplitud decrece en forma abrupta, el desfasaje en las oscilaciones, etc. Trate de explicar en pocas líneas algunas de estas características (o todas para una mención especial). No dude en consultar la literatura (libros, reseñas en la web, etc) para hacerlo.

2) Ahora empezamos a usar el código como se debe.
1- Corra cmbfast y aumente la cantidad de bariones en un 20% respecto del modelo del ejercicio precedente (y conserve la geometría plana del modelo). Qué pasa con el perfil del espectro (de la temperatura, por ejemplo)? Nota un cambio significativo en la posición de los picos y valles? Nota alguna alteración en las alturas (absolutas y relativas) de los 1ros picos acústicos? Explique brevemente la física de lo que ve en el gráfico.
2- Varie ahora en forma arbitraria la cantidad de bariones (pero sin dejar completamente de lado los resultados de nucleosíntesis). Haga lo mismo con la cantidad de energía de vacío [En ambos casos, conserve un universo plano.] Logra distinguir los espectros obtenidos por uno y otro camino? O es que hay "degeneración" en este espacio reducido de parámetros? Y si ahora modifica también el índice espectral de las perturbaciones escalares (o sea, que deja de ser válido $n_{\rm S} = 1$), logra alguna degeneración?
3- A grandes escalas angulares, cuál es el efecto de modificar $n_{\rm S}$?. Justifique su respuesta y compare con la expresión analítica (Sachs-Wolfe). Para estos mismos multipolos, cuál es el efecto de Λ no nulo?
4- Corra un modelo con reionización y vea cómo cambia el espetro de las anisotropías en T. Nota la diferencia? Qué valores debe colocar para Z de reionización y para la fracción de ionización para lograr diferencias del 10% ? Grafique ahora el espectro de la polarización. Cambia con respecto al caso sin reionización? Cuál de los dos espectros es más sensible a una eventual reionización del medio intergaláctico? De ejemplos concretos de Z de reionización y fracción de ionización que avalen sus afirmaciones. No deje de efectuar el cálculo con la profundidad óptica recientemente sugerida por los datos de WMAP.
5- Corra un modelo con "lensing gravitatorio" y vea las diferencias con respecto a los otros modelos que ya empleó [quizás le haga falta llegar hasta un ℓ_{max} mayor que 1500].
6- En el modelo con lensing que ya corrió (aunque lo haya hecho para $\ell_{max} = 1500$) Ud tuvo que seleccionar que cmbfast calculase también la función de transferencia. Ya que Ud ahora cuenta con este archivo de datos adicional, grafíquelo e identifique la curva correspondiente a la función de transferencia de los bariones. Qué hay en la curva que la hace inconfundible (y diferente de la correspondiente a la materia oscura fría, por ejemplo)?
7- Quizás el punto anterior sea más facil de responder haciendo lo siguiente: Al seleccionar lensing, cmbfast calcula también la función de transferencia (FT). Y no sólo eso, Ud también puede pedir la FT a distintas épocas (o valores de Z). Al hacerlo así, usted puede verificar que la "forma" y la "amplitud" de la TF variará con el correr del tiempo. Corra entonces el programa siguiendo estos lineamientos, obtenga los datos correspondientes y presente los gráficos necesarios para mostrar que Ud ha entendido lo que acaba de leer. Aumenta o disminuye la amplitud de las curvas con el aumento de Z? Se acentuan o moderan los signos distintivos de la FT de los bariones con el aumento de Z?
8- Varie ahora (de a uno, o si se siente experto, de a varios) los distintos parámetros cosmológicos y condiciones iniciales que faltan, como por ejemplo, perturbaciones de isocurvatura o adiabáticas; presencia de modos tensoriales cuyo índice espectral está (o no) relacionado con el índice espectral de los modos escalares, como sugiere el programa; universos de alta densidad (cerrados) y de baja densidad ("abiertos"...); mayor o menor número de neutrinos estándar; la existencia de una o más familias de neutrinos masivos; valores de $Y_{\rm p}$ que violen -levemente- los resultados de la nucleosíntesis primordial; un universo compuesto *sólo* por ingredientes "no-exóticos"; cosas más exóticas... y comente/justifique los resultados de dichas variaciones.

3) Ahora, un poco más de contacto con la realidad.
Baje el archivo de datos "combo_power.dat" de la página web de la materia (o equivalentemente, de la página web de Tegmark). Ud cuenta allí con una compilación de datos de varias experiencias que detectaron anisotropías en la temperatura efectiva de la radiación de fondo. Estos datos están distribuidos en bandas y se detallan los valores de los multipolos correspondiente (y la cobertura de cada banda), y los datos de la amplitud del espectro con sus infaltables barras de error.
Estos datos le indican a Ud los límites que las observaciones actuales imponen sobre los modelos teóricos. Ud ahora cuenta con una potente herramienta para el cálculo de modelos teóricos (cmbfast) y no tiene más que correr el código y hallar aquel modelo que hoy mejor ajusta los datos observacionales. Note que no le estamos pidiendo ningún análisis estadístico serio de minimización de errores. Sólo le pedimos que genere las curvas (varios intentos serán necesarios) y señale aquella que, a su juicio, mejor "fitea" los datos (lo que en la jerga comunmente se denomina "chi-squared by eye").
Luego, baje de `lambda.gsfc.nasa.gov/` los últimos datos de WMAP y repita este ejercicio para las anisotropías en la temperatura de la radiación de fondo (y para los datos de la correlación cruzada entre temperatura y polarización para una mención especial)