

Curso de Cosmología Básica

Unidad nro 6:

Modelos Canónicos

Los puntos del espacio-tiempo (eventos) con un valor fijo de t (tiempo cósmico) son simultáneos para los observadores fundamentales en el sentido de la Relatividad General. La densidad de la materia asociada a ellos produce una curvatura del espacio $k/R(t)$ donde el índice k es igual a $-1, 0, 1$ y el factor de escala $R(t)$ es siempre una función positiva del tiempo cósmico t . La homogeneidad espacial se deduce de inmediato del supuesto b de isotropía. La distancia entre dos observadores fundamentales cualesquiera resulta entonces proporcional a $R(t)$.

- Si $k=-1$ es hiperbólico, abierto, que se expande para siempre.
- Si $k=0$ es parabólico, es la división de los modelos cerrado y abierto.
- Si $k=1$ es esférico, cerrado.

De las ecuaciones de la Relatividad General y supuestos a y b se deduce también que la materia tiene una densidad uniforme $P(t)$ en el espacio, y, además una presión isotrópica p , las cuales están relacionadas con el factor de escala R por medio de la llamada ecuación de Friedman:

$$(dR/dt)^2 = (8\pi G P(t)/3)R^2 - kc^2$$

Y también por la ecuación del balance local de energía:

$$d(Pc^2R^3)/dt + p.d(R^3)/dt = 0$$

Donde G es la constante de gravitación universal de Newton y c la velocidad de la luz. Si vamos a ser consistentes con la Relatividad General, no introduciremos la constante cosmológica.

En Wikipedia encontramos:

“La constante cosmológica fue introducida inicialmente por Einstein para lograr un Universo estático, que coincidía con la filosofía de la concepción del universo reinante en su tiempo, siendo descartada luego por el descubrimiento de la [expansión del Universo](#). La constante cosmológica es un término que equilibra la fuerza de atracción de la gravedad. Toma la forma de una fuerza gravitatoria repulsiva y fue añadida como una constante de integración a las ecuaciones de Einstein.

Al contrario que el resto de la relatividad general, esta nueva constante no se justificaba para nada en el modelo actual de la gravedad, y fue introducida exclusivamente con el fin de obtener el resultado que en la época se pensaba era el

apropiado. Cuando se presentó la evidencia de la [expansión de universo](#), Einstein llegó a declarar que la introducción de dicha constante fue el «*peor error de su carrera*».

Recientemente ha cobrado importancia debido a mediciones que indican una [expansión acelerada](#) del Universo, lo cual podría explicarse mediante un valor negativo de Λ_0 equivalentemente como se hace modernamente la introducción de una energía del vacío negativa, asociada a la llamada [energía oscura](#).”, uso esta definición por considerarla clara y sencilla, también me gustó:

“Los teorema sobre singularidades, debidos a [Stephen Hawking](#) y [Roger Penrose](#), predicen la ocurrencia de singularidades bajo condiciones muy generales sobre la forma y características del [espacio-tiempo](#). El primero de los teoremas que presentamos a continuación parece aplicable a nuestro universo e informalmente dice que si tenemos un espacio tiempo [globalmente hiperbólico](#) y que en un instante de tiempo está expandiendo en todos sus puntos entonces el universo empezó a existir a partir de una singularidad ([Big Bang](#)) hace un tiempo finito.”

Singularidad:

“Desde el punto de vista astrofísico, aproximadamente sería, el lugar en donde las cantidades utilizadas para medir campos gravitatorios, se transforman en infinito. Estas cantidades incluyen la curvatura del espacio-tiempo o la densidad de la materia. Específicamente en [relatividad general](#), una singularidad es una [hipersuperficie](#) tridimensional donde la curvatura del [espacio-tiempo](#) es tan grande que sus leyes ya no operan en el sistema.”

De las ecuaciones vistas, completadas con una ecuación de estado que vincule las contribuciones a la presión p de la materia y la radiación es $T^4 \propto R^4$, entonces $T \propto R$, mientras que la densidad de energía material es $P \propto R^3$. Para temperaturas mayores de cierto valor crítico cercano a los 100.000 K, la energía de radiación domina la densidad de energía y resulta ser el término dominante del lado derecho de la ecuación de Friedman (era radiactiva). G. Gamov demostró que durante esa época la edad y la temperatura del Universo se hallan relacionadas muy sencillamente por:

$$T = 10^{10} / t^{1/2} \text{ K}$$

una expresión válida para $t > 10^{-43}$ segundos, llamado tiempo de Planck.

Para valores de t del orden o inferiores a dicho tiempo, las correcciones cuánticas a la Relatividad General se vuelven importantes.

Cuando T es mucho mayor que la masa de una determinada especie de partícula (ambas expresadas en unidades de energía), las partículas y sus antipartículas de esa especie resultan ser tan abundantes como los fotones.

Uno de los grandes éxitos de la Cosmología Canónica es la síntesis primordial de los elementos.

Durante la era radiactiva la materia y radiación se hallaban fuertemente acopladas. La expansión enfrió adiabáticamente el Universo y cuando la temperatura de este plasma llegó a aquellas recombinaciones del Hidrógeno, se produjo el desacople de ambas. La radiación dispersada por última vez por la materia y diluida por la expansión hasta el presente, constituye el fondo de radiación de 2,7 K.

Prof. Dr. Raúl Roberto Podestá
Presidente LIADA
Coordinador de los Cursos LIADA