El problema de la inflación eterna y posibles opciones para evitarlo

Rosa Laura Lechuga Solís
Dr. Daniel Sudarsky

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Noviembre 2019

Contenido

1. Introducción
   - Inflación en el contexto cosmológico
   - Inflación
2. Inflación eterna
   - ¿Qué es la inflación eterna?
   - Problemas de este formalismo
   - El problema de la medición
3. Inflación con CSL
   - Nuestro enfoque
   - Modificaciones en la teoría de inflación eterna
   - Conclusiones

Inflación en el contexto cosmológico

En esta teoría trabajamos con una acción de Einstein-Hilbert con un campo escalar de inflatón:

$$S = \int d^4x\sqrt{-g}\{\frac{R}{16\pi G} + \nabla^\mu\phi\nabla_\mu\phi + V(\phi)\}, \tag{1}$$

considerando un espacio de FRW que es homogéneo e isótropo, con $k = 0$

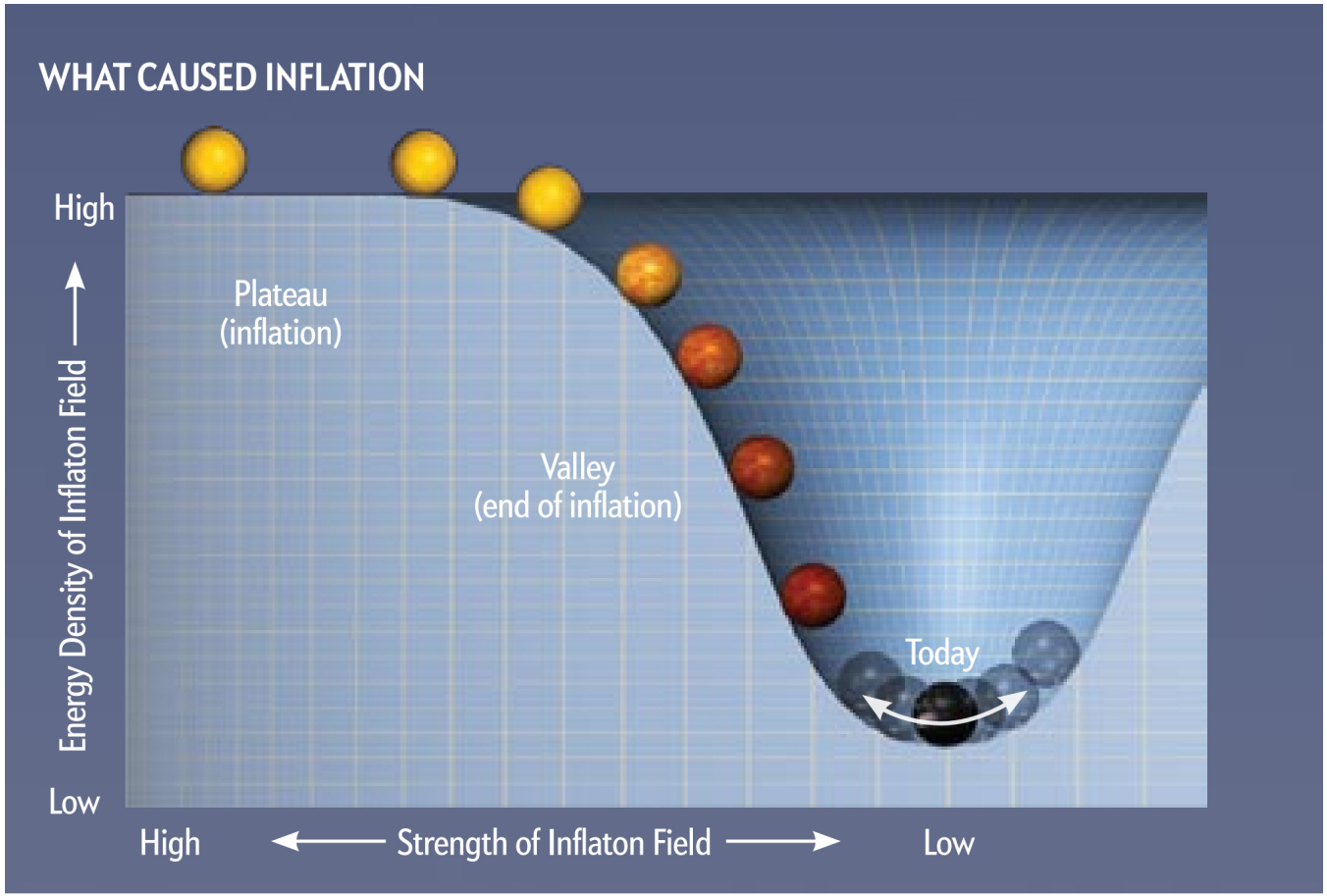
$$d^2s = -dt^2 + a(t)^2[dx^2 + dy^2 + dz^2], \tag{2}$$

donde t es el tiempo físico

Inflación

El periodo de inflación en el modelo cosmológico se entiende como una etapa de expansión acelerada en el universo. Uno de sus exitos más grandes es que puede dar cuenta de las primeras inhomogeneidades que representan las semillas de la estructura cósmica.

Inflación, slow-roll



[P. J. Steinhardt, 2011]

¿Qué es la inflación eterna?

En 1983 el profesor Steinhardt mostró que al tratar al modo cero del campo de inflatón de manera cuántica se encontraba el problema de inflación eterna. La idea se puede resumir de la siguiente manera:

- El campo cuántico, $\hat{\phi}(\boldsymbol{x}, \eta)$ está en un estado inicial $|\mathrm{in}\rangle = |\xi_0\rangle \bigotimes_k |0\rangle_k$
- El valor de expectación, $\langle \hat{\phi}(\boldsymbol{x}, \eta) \rangle \propto \phi_0$
- La incertidumbre cuántica del campo $\hat{\phi}(\boldsymbol{x}, \eta)$ está dada por $\langle 0| \hat{\delta\phi}(\boldsymbol{x}, \eta)^2 |0\rangle$

siendo η el tiempo conforme

¿Qué es la inflación eterna?

Decimos que se tienen inflación eterna cuando la variación de ϕ_0, sobre un tiempo de Hubble, es más pequeña que la variación de la fluctuación, esto es

$$\sqrt{\Delta\delta^2\hat{\phi}(\boldsymbol{x},t)}/\Delta\phi_0(t) > 1 \tag{3}$$

[G. León, 2017]

Problemas de este formalismo

¿Cómo se rompió la Homogeneidad y la Isotropía del espacio-tiempo con el que partí?
¿A qué podemos atribuír las anisotropías que surgen?
¿Qué son las fluctuaciones cuánticas?
Son fluctuaciones estadísticas que involucran la necesidad de un observador, pero en esta etapa no existe tal observador.

El problema de la medición

Una manera de introducir el problema de la medición es como lo hizo Tim Maudlin [T. Maudlin , 1995] mostrando que los siguientes tres enunciados son incompatibles entre sí

1. La función de onda describe a un sistema físico de manera completa
2. La función de onda siempre evoluciona acorde a una ecuación lineal dinámica (ecuación de Schrödinger)
3. En cada corrida de experimentos obtenemos un único resultado

Al negar 1 obtenemos teorías de variables ocultas, por ejemplo Bohmiam mechanics
Al negar 2 se tienen teorías de colapso objetivo (GRW con localización continua o espontánea)
Al negar 3 surgen teorías de muchos mundos

Nuestro enfoque

Trabajamos con un modelo llamado Semiclassical Self-consistent configuration (SSC) en el cual un sistema se describe a través del siguiente conjunto de cantidades

$$g_{\mu\nu}(x), \hat{\varphi}(x), \hat{\pi}(x), \mathcal{H}, |\xi\rangle \in \mathcal{H} \tag{4}$$

Diremos que representa un SSC si y solo si $\hat{\varphi}(x)$, $\hat{\pi}(x)$ y $\mathcal{H}$ corresponden a una teoría cuántica de campos sobre un espacio-tiempo con una métrica que satisface

$$G_{\mu\nu}[g_{\mu\nu}] = 8\pi G \langle\xi| \hat{T}_{\mu\nu}[g(x), \hat{\varphi}(x), \hat{\pi}(x)] |\xi\rangle \tag{5}$$

[A. Diez-Tejedor, D. Sudarsky, 2012]

Nuestro enfoque

En este caso trabajamos con teoría de colapso espontáneo con localización continua, CSL, este modelo unifica los dos postulados de evolución de la mecánica cuántica estádar, mediante una sola ecuación. Los colapsos ocurren con una tasa λ y se asume que surgen de la interacción del sistema con un ruido, $\mathcal{W}(t)$, que se caracteriza como un proceso estocástico continuo en el tiempo.
[G. León, 2017]

Modificaciones en la teoría de inflación eterna

Nuevamente el estado inicial se define como :

$$\Psi_{in}[\phi] = \Psi_{\xi}[\phi]\Psi_{BD}[\delta\phi], \tag{6}$$

En este caso atribuimos al mecanismo de reducción dinámica el hecho de que el espacio-tiempo evolucione de $\Psi_{in}[\phi]$ a un estado final que no tenga las mismas simetrías.
Como se ha mostrado [P. Cañate, P. Pearle, D. Sudarsky, 2013] el parámetro de colapso depende de cada modo de manera $\lambda \sim K$, lo cual nos hace pensar que bajo el colapso el modo cero no se ve alterado.

Modificaciones en la teoría de inflación eterna

- Consideramos que el campo está en un estado inicial: (6)
- El valor esperado, $\langle \Psi_{CSL} | \, \hat{\phi}(\boldsymbol{x}, \eta) \, | \Psi_{CSL} \rangle \equiv \phi(\boldsymbol{x}, \eta)$
- $\langle \Psi_{CSL} | \, \delta\hat{\phi}(\boldsymbol{x}, \eta) \, | \Psi_{CSL} \rangle \equiv \delta\phi(\boldsymbol{x}, \eta)$

Conclusiones

Si bajo este mecanismo se calcula la condición de inflación eterna que teniamos previamente, encontramos lo siguiente:

$$\sqrt{\Delta\delta^2\hat{\phi}(\boldsymbol{x},t)}/\Delta\phi_0(t) \simeq \frac{H^2}{2\pi\dot{\phi}_0}\frac{2}{\sqrt{1+(1+4\lambda_H^2)^{1/2}}} < 1, \qquad (7)$$

siendo $\lambda_H \equiv \lambda|\tau|\exp(-\Delta N) \gg 1$, es decir se invierte la condición que teniamos previamente o en otras palabras, introduciendo CSL no tenemos el problema de inflación eterna.
[G. León, 2017]

Bibliografía I

[T. Maudlin , 1995] T. Maudlin, Three measurment problems, Kluwer Academic Publishers **14**, 7 (1995)

[S. Weinberg, 2008] S. Weinberg, Cosmology, Oxford University Press (2008)
Three measurment problems, Kluwer Academic Publishers **14**, 7 (1995)

[P. J. Steinhardt, 2011] P. J. Steinhardt, The inflation debate, Scientific American (2011)

[G. León, 2017] G. León, Eternal inflation and the quantum birth of cosmic structure, The European Physical Journal C (2017)

[A. Diez-Tejedor, D. Sudarsky, 2012] A. Diez-Tejedor, D. Sudarsky, Towards a formal description of the collapse approach to the inflationary origin of the seeds of cosmic structure , Journal of Cosmology and Astroparticle physics (2012)

[D. N. Page, C. D. Geiker, 1981] D. N. Page, C. D. Geiker, Indirect evidence for quantum gravity , Physical Review Letters (1981)

Bibliografía II

[P. Cañate, P. Pearle, D. Sudarsky, 2013] P. Cañate, P. Pearle, D. Sudarsky, Continuous spontaneus localization wave function collapse model as a mechanism for the emergence of cosmological asymmetries in inflation , Physical Review Letters (2013)