

I. RESUMEN

El objetivo de uso del cluster dentro de nuestro grupo de investigación liderado por el Dr. Sudarsky es testear modelos cosmológicos alternativos al modelo cosmológico estándar. Nos focalizamos en dos líneas de trabajo: i) Teorías de inflación que incluyen el colapso espontáneo de la función de onda del campo inflatón y ii) Teorías de gravedad modificada. En el primer caso, se realizaron varias modificaciones en el análisis de los modelos propuestos y se realizaron análisis estadísticos para comparar las predicciones de los modelos teóricos con datos observacionales recientes del Fondo Cósmico de Radiación (FCR) y Cartografiados de Galaxias. En el caso de las teorías de gravedad modificadas, los cálculos realizados con el cluster permitieron establecer límites más estrictos sobre este tipo de teorías que los establecidos previamente por otros autores.

II. BREVE DESCRIPCIÓN DE AVANCES

A. Teorías de inflación

En esta línea de trabajo el interés está puesto en los modelos de inflación, en los cuales se incluye la hipótesis del colapso autoinducido de la función de onda del campo inflatón. Para testear dichos modelos se utilizan datos recientes del FCR provistos por el satélite WMAP [1], el satélite Planck [2, 3], los telescopios terrestres SPT [4] y ACT [5] y por el Cartografiado de Galaxias SDSS LRG [6, 7]. La cantidad física relevante es el espectro primordial de potencias $P(k)$ que se puede expresar de la siguiente manera: $P(k) = A_s k^{n_s} C(A, B, k)$ donde A_s y n_s son parámetros del modelo estándar de inflación mientras que A y B son parámetros de los modelos de colapso. Durante el año 2016, se modificó la expresión del espectro primordial de potencial para expresarla en función de los parámetros del potencial de inflación: ϵ y δ . Por lo tanto, fue necesario modificar los códigos públicos COSMOMC y CAMB para incluir estos nuevos parámetros como parámetros libres del análisis estadístico. La implementación fue realizada con éxito. A su vez, se realizaron actualizaciones de versión estándar del código COSMOMC y por lo tanto fue necesario modificar la versión actualizada para incluir los modelos de colapso. Se encontraron problemas técnicos tanto al compilar como al correr la versión estándar y se empleó bastante tiempo en corregir dichos errores. Este fue el motivo principal por el cual no se obtuvieron resultados suficientes para poder realizar publicaciones

en este período ni se utilizaron las horas solicitadas en el pedido original. Sin embargo fue posible realizar algunos análisis estadísticos para testear si este tipo de modelos pueden explicar los datos observacionales recientes. Con los resultados de estos cálculos y otros futuros se está preparando una publicación.

B. Teorías de gravedad modificada

En esta línea de trabajo el interés se focalizó en modelos de campos camaleones, que tienen la particularidad de presentar acoplamientos fuertes entre dichos campos y la materia. Esta particularidad, implica a su vez fuertes violaciones al Principio de Equivalencia que ha sido verificado experimentalmente con mucha precisión. Nuestro trabajo se focalizó en realizar el cálculo del problema de dos cuerpos para dicho campo y calcular la fuerza sobre un cuerpo extenso de prueba. La resolución de dicho problema requirió del uso del cluster. Los resultados obtenidos muestran que la predicción de las violaciones al Principio de Equivalencia son más grandes que las calculadas previamente en la literatura. Con los resultados de estos cálculos se envió una publicación a la revista Physical Review D [8] y se está preparando otra publicación que será enviada a la brevedad.

III. CÁLCULOS REALIZADOS

A. Teorías de inflación

Se realizaron análisis estadísticos para testear las predicciones de los modelos alternativos de inflación con datos recientes del FCR. El método utilizado para realizar los análisis estadísticos se basa en calcular una función de probabilidad de los parámetros, dados los datos observacionales. Se generan cadenas de Markov mediante métodos tipo Montecarlo para explorar el espacio de parámetros. Debido a problemas técnicos descritos en la sección II A se pudieron realizar una cantidad menor de análisis estadísticos que la prevista en el pedido original de recursos. Se testearon 3 tipos distintos de modelos de colapso y los resultados preliminares indican que todos ellos pueden explicar los datos observacionales actuales.

B. Teorías de gravedad modificada

Se realizó el cálculo del campo camaleón para el problema de dos cuerpos (un cuerpo fuente y un cuerpo de prueba) y la fuerza sobre el cuerpo de prueba para obtener las predicciones para la violación al Principio de Equivalencia. Dicho principio ha sido testeado experimentalmente, y por lo tanto, es posible establecer límites muy estricto sobre la validez de estas teorías. Para realizar estos cálculos es necesario invertir matrices de gran tamaño así como también resolver integrales de manera numérica, por lo cual fue necesario utilizar el cluster. El cálculo se realizó para varios valores fijos de los tres parámetros libres del modelo teórico estudiado. En total se estimaron las predicciones para las violaciones al Principio de Equivalencia de alrededor de 80 modelos teóricos.

IV. SOFTWARE UTILIZADO

Para realizar los análisis estadísticos confiables se utiliza el código público COSMOMC [9], que a su vez incluye el código público CAMB [10]. Ambos códigos deben ser modificados para incluir las predicciones de los modelos alternativos de inflación. A su vez, para cada modelo particular y para cada elección particular de los parámetros de los modelos es necesario modificar subrutinas de CAMB y COSMOMC.

Para realizar el cálculo del campo camaleón y la fuerza sobre el cuerpo de prueba, se utilizó un código propio. La inversión de matrices y la integración numérica se realiza con subrutina de Numerical Recipes.

V. RECURSOS UTILIZADOS

De acuerdo a lo descrito en la Sección II A se invirtió mucho tiempo en corregir errores de las últimas actualizaciones del código público COSMOMC. Este fue el motivo por el cual se utilizó un número mucho menor de tiempo de cpu del propuesto en la solicitud original. En total se realizaron 361 corridas, de las cuales solamente 25 de ellas fueron exitosas, las demás se cortaron al poco tiempo debido a los problemas técnicos mencionados anteriormente. Para estas corridas el tiempo promedio fue de 720 horas de cpu, con lo cual se utilizaron en total aproximadamente 18000 horas de cpu.

VI. LISTA DE COLABORADORES

1. Dra Susana J. Landau
2. Dra Claudia G. Scoccola
3. Lic. Facundo Delfino
4. Lic. Martin Gamboa
5. Lic. Martin Villalba
6. Lic. María Pía Piccirilli

VII. LISTA DE ARTÍCULOS PUBLICADOS

1. L.Kraiselburd, S.J.Landau, M.Salgado, D. Sudarsky y H. Vucetich: "Equivalence principle in chameleon models " enviado a Physical Review D arXiv:1511.06307
2. 2 trabajos en preparación:
 - (a) G.León, S.J.Landau, M.P.Piccirilli y D. Sudarsky "Constraints on quantum collapse models with recent CMB data"
 - (b) L.Kraiselburd, S.J.Landau, M.Salgado, D. Sudarsky y H. Vucetich: "The importance of non-linear corrections in the chameleon screening mechanism"

VIII. LISTA DE ALUMNOS GRADUADOS

1. Tonatiuh Miramontes Perez; Nivel: Maestría, alumno del Prof. D. Sudarsky (utilizo resultados del supercómputo en su tesis). Fecha de graduación: 17/11/2016
2. Martin Villalba; Nivel: Licenciatura alumno de Dra. Susana J. Landau y usuario del supercómputo. Fecha de graduación: 01/09/2016
3. Martin Gamboa; Nivel: Licenciatura alumno de la Dra Claudia Scoccola y usuario del supercómputo. Fecha de graduación: 01/09/2016

IX. COMENTARIOS Y SUGERENCIAS

Agradecemos a todo el personal técnico de MIZTLI, que atendió nuestros pedidos y dudas con rapidez y eficiencia.

- [1] C. L. Bennett, D. Larson, J. L. Weiland, N. Jarosik, G. Hinshaw, N. Odegard, K. M. Smith, R. S. Hill, B. Gold, M. Halpern, et al., *Astrophysical Journal Supplement Series* **208**, 20 (2013), arXiv: 1212.5225.
- [2] Planck Collaboration, P. A. R. Ade, N. Aghanim, C. Armitage-Caplan, M. Arnaud, M. Ashdown, F. Atrio-Barandela, J. Aumont, C. Baccigalupi, A. J. Banday, et al., *Astronomy and Astrophysics* **571**, A15 (2014), arXiv: 1303.5075.
- [3] Planck Collaboration, N. Aghanim, M. Arnaud, M. Ashdown, J. Aumont, C. Baccigalupi, A. J. Banday, R. B. Barreiro, J. G. Bartlett, N. Bartolo, et al., *Astronomy and Astrophysics* **594**, A11 (2016), arXiv: 1507.02704.
- [4] C. Reichardt, L. Shaw, O. Zahn, K. Aird, B. Benson, et al., *Astrophys. J.* **755**, 70 (2012), arXiv: 1111.0932.
- [5] S. Das, T. Louis, M. R. Nolte, G. E. Addison, E. S. Battistelli, et al., *JCAP* **1404**, 014 (2014), arXiv:1301.1037.
- [6] B. A. Reid, W. J. Percival, D. J. Eisenstein, L. Verde, D. N. Spergel, R. A. Skibba, N. A. Bahcall, T. Budavari, J. A. Frieman, M. Fukugita, et al., *Monthly Notices Royal Astronomical Society* **404**, 60 (2010), arXiv:0907.1659.
- [7] L. Anderson et al., *MNRAS* **441**, 24 (2014), arXiv:1312.4877.
- [8] L. Kraisselburd, S. J. Landau, M. Salgado, D. Sudarsky, and H. Vucetich, *ArXiv e-prints* (2015), arXiv:1511.06307.
- [9] [Http://cosmologist.info/cosmomc](http://cosmologist.info/cosmomc).
- [10] [Http://camb.info](http://camb.info).