

Universo primitivo com poeira e gás de Chaplygin.

Nathália Mattos Novaes da Rocha¹, Germano Amaral Monerat², Flávio Gimenes Alvarenga³, Sergio Vitorino de Borba Gonçalves³, Gil Oliveira-Neto⁴, Eduardo Vasquez Corrêa Silva² e Cássia Guerra Marques dos Santos Mello²

¹Universidade Estadual de Santa Cruz

²Universidade do Estado do Rio de Janeiro

³Universidade Federal do Espírito Santo

⁴Universidade Federal de Juiz de Fora

Resumo

Resumo do pôster apresentado na segunda edição do evento As Astrocientistas, realizado entre os dias 7 e 10 de fevereiro 2023.

Abstract

Summary of the poster presented in the second edition of the As Astrocientistas event, held between 7 and 10 February 2023.

Palavras-chave: cosmologia, gás de Chaplygin, universo primordial

Keywords: cosmology, Chaplygin gas, primordial universe

DOI: [10.47456/Cad.Astro.v5nEspecial.44992](https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v5nEspecial.44992)

1 Introdução

Neste trabalho [1], analisamos a dinâmica quântica contida na era de Planck, seu mecanismo de emersão para a fase inflacionária, e sua dinâmica clássica em um modelo isotrópico e homogêneo de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker (FLRW) de um universo fechado ($k=1$), e composto por um fluido perfeito na forma de poeira e gás de Chaplygin. Calculamos, dessa forma, a probabilidade do nosso modelo para o universo tunelar quanticamente e aparecer ao lado direito de uma barreira de potencial como um sistema clássico. Ou seja, investigamos a possibilidade de o Universo surgir classicamente através de um mecanismo de tunelamento quântico, cuja taxa de tunelamento depende da energia média do pacote de ondas (E_m) e dos parâmetros A e B do gás de Chaplygin.

Os pacotes de ondas foram construídos como soluções da equação de Wheeler-DeWitt [2,3], uma equação análoga à equação de Schrödinger independente do tempo, conhecida por ser a equação fundamental da cosmologia quântica, cuja introdução da variável temporal na teoria foi realizada ao aplicar o formalismo de Schutz [4,5].

2 Metodologia

Uma vez que não são conhecidas soluções analíticas para a equação de Wheeler-DeWitt, a resolvemos numericamente com a aplicação do método de diferenças finitas de Crank-Nicolson [6], visto que ele é incondicionalmente estável. Este método permite escrever o operador hamiltoniano na forma de uma matriz tridiagonal ($M \times M$), a partir da qual, obtemos soluções para a equação de Wheeler-DeWitt do nosso modelo na forma de pacote de ondas de norma finita e bem definidos em todo o espaço de solução.

3 Resultados

Para os nossos resultados, verificamos que as taxas de tunelamento evidenciam um aumento à medida que a energia média (E_m) do pacote de ondas aumenta (para parâmetros A e B constantes). Ao fixarmos E_m e B, observamos que as taxas de tunelamento crescem com A, enquanto que para E_m e A fixos, temos que as taxas de tunelamento crescem com B. A taxa de tunelamento varia de forma mais acentuada em relação ao parâmetro A, do que em rela-

ção ao parâmetro B , onde, para energias próximas ao topo da barreira de potencial, as taxas numéricas de tunelamento coincidem com as taxas de tunelamento dadas pela aproximação semiclássica WKB [7].

Ao compararmos nossos resultados com os da referência [8], o qual descreve um modelo similar ao nosso e utiliza o mesmo método, porém considera radiação em vez de poeira, observamos que no caso com fluido de poeira as taxas de tunelamento são muito maiores do que no caso de radiação. Este resultado expõe que modelos com barreiras potenciais mais altas apresentam taxas de tunelamento mais baixas, mesmo com largura muito menor. No caso da poeira, após o processo de tunelamento, o Universo surge classicamente muito maior em tamanho do que no caso da radiação. Com isso, concluímos que o fator de escala x assume valores grandes, e para valores grandes de x o termo do gás de Chaplygin no potencial efetivo se comporta como um termo do tipo constante cosmológica, levando o Universo a uma fase acelerada.

Sobre a autora

Nathália da Rocha é, atualmente, Pós doutoranda em Modelagem Computacional pela Universidade Estadual de Santa Cruz, obteve seu Doutorado em Cosmologia Quântica pela Universidade Federal do Espírito Santo, Mestrado em Astrofísica Extragaláctica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, e Bacharelado em Física pelo Departamento de Física Teórica e Experimental da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Com experiência nas áreas de Astronomia, Radioastronomia, Astrofísica Extragaláctica, Cosmologia, Cosmologia Quântica, AGNs, Buracos Negros, Quasares, e Astrofísica estelar, sua pesquisa vigente consiste em Modelagem Computacional aplicada à Astrofísica Extragaláctica.

Referências

- [1] N. N. da Rocha et al., *Early universe with dust and Chaplygin gas*, [The European Physical Journal Plus](#) **137**(10), 1103 (2022).
- [2] B. S. DeWitt, *Quantum Theory of Gravity. I. The Canonical Theory*, [Phys. Rev.](#) **160**, 1113 (1967).
- [3] H. G. Schöpf, *Battelle Rencontres - 1967 Lectures in Mathematics and Physics* (Ed. by C. M. DeWitt and J. A. Wheeler). XVII + 557 S. m. Fig. New York/Amsterdam 1968. W. A. Benjamin, Inc., [ZAMM - Journal of Applied Mathematics and Mechanics / Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik](#) **50**(12), 782 (1970).
- [4] B. F. Schutz, *Perfect Fluids in General Relativity: Velocity Potentials and a Variational Principle*, [Phys. Rev. D](#) **2**, 2762 (1970).
- [5] B. F. Schutz, *Hamiltonian Theory of a Relativistic Perfect Fluid*, [Phys. Rev. D](#) **4**, 3559 (1971).
- [6] J. Crank e P. Nicolson, *A practical method for numerical evaluation of solutions of partial differential equations of the heat-conduction type*, [Mathematical proceedings of the Cambridge philosophical society](#) **43**(1), 50 (1947).
- [7] E. Merzbacher, *Quantum mechanics* (John Wiley & Sons, 1998).
- [8] G. A. Monerat et al., *Dynamics of the early universe and the initial conditions for inflation in a model with radiation and a Chaplygin gas*, [Phys. Rev. D](#) **76**, 024017 (2007).