

A Física Quântica e a Nucleossíntese Primordial

Princípio da Incerteza Generalizado Aplicada ao Problema do Lítio na Nucleossíntese Primordial

Prof. Dr. Ihosvani Camps Rodrigez

Mestrando - Prof. Esp. Flávio Neuenschwander

UNIFAL - 2024

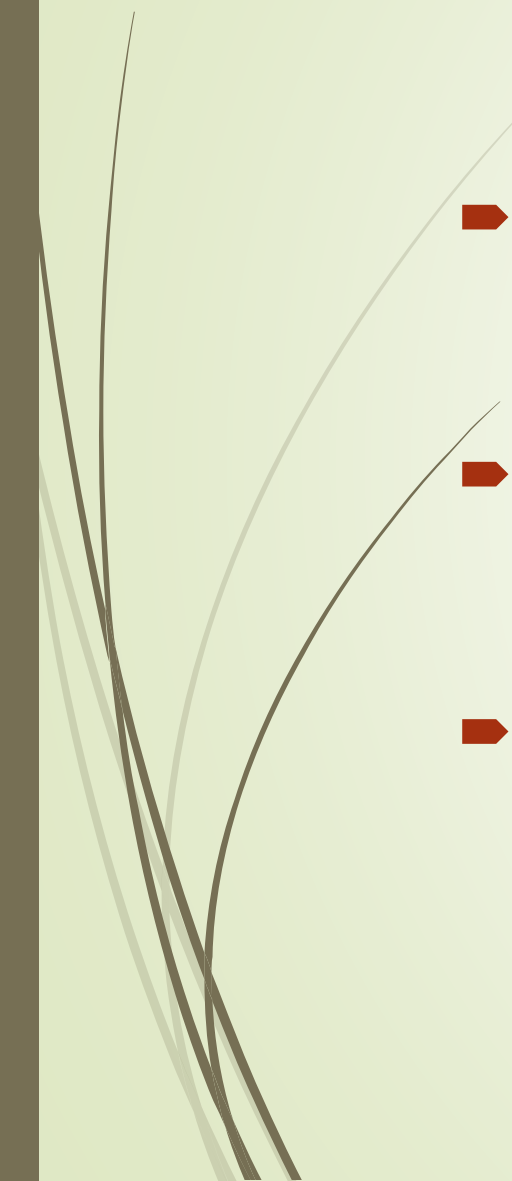


Objetivo

O objetivo da apresentação é conectar a Física Quântica, especificamente o Princípio da Incerteza Generalizado (GUP), com o problema do lítio encontrado no estudo da BBN.



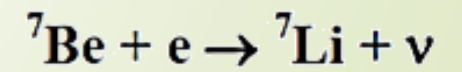
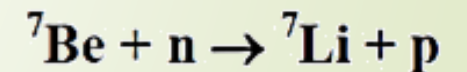
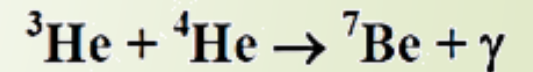
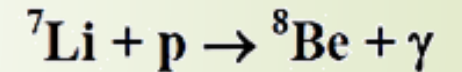
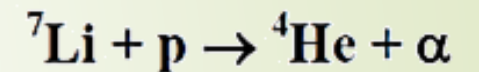
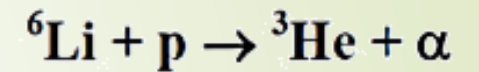
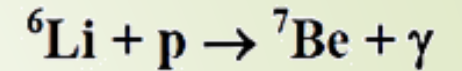
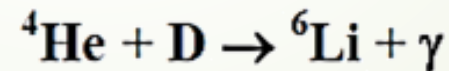
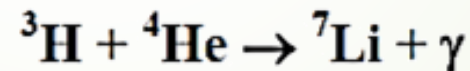
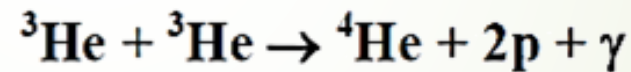
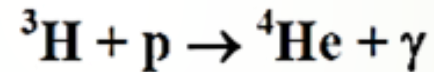
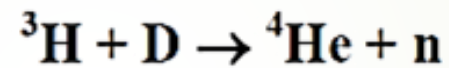
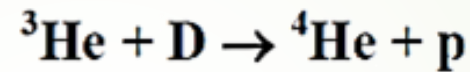
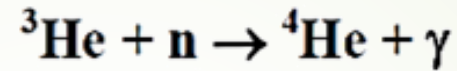
O que é a Nucleossíntese Primordial?

- ▶ **Formação de elementos nos primeiros minutos após o Big Bang.**
 - ▶ **Elementos principais: Hidrogênio, Hélio e traços de Lítio e Berílio.**
 - ▶ **Importância para a composição química do universo.**
- 

O Problema do Lítio-7

- **Previsão de abundância do ${}^7\text{Li}$:** O modelo padrão de nucleossíntese do Big Bang prevê uma razão de ${}^7\text{Li}/\text{H}$ entre $4,16 \times 10^{-10}$ e $5,34 \times 10^{-10}$.
- **Valor observado:** Observações de estrelas pobres em metais no halo galáctico indicam ${}^7\text{Li}/\text{H} = (1,58^{+0,35}_{-0,28}) \times 10^{-10}$

O Modelo Padrão da Nucleossíntese e Primordial



${}^7\text{Li}/\text{H}$: Prevê-se uma razão de abundância de cerca de 4×10^{-10}

${}^6\text{Li}$: Prevê-se uma razão de abundância muito menor, cerca de 10^{-14}

O Que é o GUP?

- Correção ao princípio de incerteza de Heisenberg em altas energias.

$$\Delta x \cdot \Delta Q \geq \frac{\hbar}{2\pi} \text{ e } \Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2\pi}$$

- Introdução de um limite superior nas incertezas considerando efeitos da gravidade quântica.

$$(\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar(1 + \beta \Delta p^2))$$

- Implicações para física de altas energias e cosmologia.



Como o GUP Pode Impactar a Nucleossíntese Primordial?

- Alteração nas taxas de reações nucleares, menos formação de ${}^7\text{Be}$.
- Redução da produção de ${}^7\text{Li}$.
- Modificações no comportamento das partículas leves.

Alterações na Expansão do Universo e na Temperatura de Congelamento

- ▶ GUP pode influenciar a taxa de expansão cósmica, maior expansão, menor probabilidade de formação de ${}^7\text{Be}$.
- ▶ Alterações no momento de congelamento das reações nucleares devido a rápida expansão e queda de temperatura, queda precoce de formação de ${}^7\text{Be}$.
- ▶ Impacto na abundância final de ${}^7\text{Li}$.



Correções no Parâmetro de Hubble

- Alteração da Taxa de Expansão do Universo
- Mudanças na Densidade de Energia Pós Big Bang
- Impacto na Taxa de Reações Nucleares
- Extensão do Modelo Padrão
- Conexão com o Princípio de Incerteza Generalizado



➤ **Friedmann** $H^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho.$

➤ **Modificado GUP** $H^2 = \frac{8\pi G}{3} (\rho + \beta \rho^2)$

➤ **Graus de Liberdade** $H^2 = \frac{8\pi G}{3} (\rho + N_{DM} X^4)$



Possíveis Respostas ao Problema do Lítio-7 com o GUP

- **Modificações nos Níveis de Energia Nuclear**
- **Ajuste das Reações de Produção e Destruição do Lítio**
- **Alteração no Horizonte de Planck no Universo Primordial**
- **Modificação das Condições Iniciais do Universo**
- **Correções nas Constantes Fundamentais**
- **Interação com Física Além do Modelo Padrão**



Conclusão

- O problema do lítio destaca os limites do modelo padrão do BBN.
- As discrepâncias entre previsões teóricas e observações impulsionam a pesquisa em cosmologia e física de partículas.
- Expansões do modelo padrão, como a GUP, oferecem novas perspectivas, mas ainda carecem de validação definitiva.
- Avanços na astrofísica observacional e modelagem teórica são essenciais para resolver este enigma.



REFERÊNCIAS

- **BERTULANI, C. A.** *Big Bang Nucleosynthesis and the Lithium Problem*. 2019.
- **CARRAZEDO, Bruno.** *The Primordial Lithium Problem*. 2022.
- **LUO, Song-Shan; FENG, Zhong-Wen.** *The new higher-order generalized uncertainty principle and primordial big bang nucleosynthesis*. 2024.
- **MACIEL, Walter J.** *Evolução Química da Galáxia*. São Paulo: Editora da USP, 2016.