

Нуклеосинтез в звездах

Студент: А.К. Григорьев, группа Б23-102

Научный руководитель: А.Л. Барабанов, д.ф-м.н., доц.,
проф. каф. №40

НИЯУ МИФИ

2025

Содержание работы

- Перевод статьи S. Goriely "Nuclear properties for nuclear astrophysics studies"(2023)
- Проблемы машинного перевода
- Оценка скорости реакции $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$

Обзор статьи

Основные механизмы образования элементов тяжелее железа:

1. s-процесс
2. r-процесс
3. i-процесс
4. p-процесс

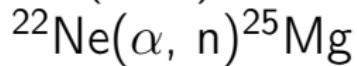
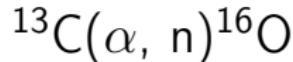
s-процесс

- Происходит захват нейтрона, затем β -распад
- Синтез - через стабильные изотопы
- Сильно замедляется с падением сечения

Условия протекания

Происходит в спокойных, долгоживущих звездах, например, в красных гигантах.

Источники нейтронов:



Оценка скорости реакции $^{22}\text{Ne}(\alpha, \text{n})^{25}\text{Mg}$

Рассматривается реакция $^{22}\text{Ne}(\alpha, \text{n})^{25}\text{Mg}$ в областях горения Не и С, которые и предполагаются основным местом протекания этой реакции, в достаточно массивной звезде. Необходимо определить скорости реакции в резонансном и нерезонансном случаях для обоих областей, определить выход нейтронов для оценки эффективности реакции как источник топлива для s-процесса

Основные выражения

Не резонанс: $p = 5.3 \times 10^{25} \rho x_1 x_2 \Gamma \varphi(Z_1, Z_2) \tau^2 e^{-\tau} \text{ г}^{-1}\text{с}^{-1}$

Резонанс: $p_{рез} = 5.3 \times 10^{25} \rho x_1 x_2 \Gamma_\alpha \varphi e^{-E_r/kT} \text{ г}^{-1}\text{с}^{-1}$

где x - массовая доля элемента, ρ -плотность вещества, Γ - ширина реакции, φ -кулоновский фактор

Параметры для фаз горения Не и С

Для гелия:

- Температура: $T = 3 \times 10^8$ К
- Плотность: $\rho = 10^4$ г/см³
- Концентрации по массе:
 - $x(^{22}\text{Ne}) = 10^{-3}$ (0.1%)
 - $x_\alpha = 0.1$ (10%)

Для углерода:

- Температура: $T = 2 \times 10^9$ К
- Плотность: $\rho = 3 \times 10^5$ г/см³
- Концентрации по массе:
 - $x(^{22}\text{Ne}) = 10^{-2}$ (1%)
 - $x_\alpha = 0.001$ (0.1%)

Стационарное приближение

$$n_n \cdot \sum_i \sigma_i n_i \cdot v = p \cdot \rho$$

где v - усредненная скорость нейтронов, а сумма оценена по порядку величины на основе данных с KADoNiS

Тогда концентрацию нейтронов можно оценить так:

$$n_n = \frac{p \cdot \rho}{\sum_i \sigma_i n_i \cdot v}$$

Численные результаты

- Нерезонансный случай:
 - Скорость: $p \approx 4.5 \times 10^{-3} \text{ г}^{-1}\text{с}^{-1}$
 - Концентрация нейтронов: $n_n \approx 1.5 \times 10^{-5} \text{ см}^{-3}$
- Резонансный случай:
 - Скорость: $p \approx 1.44 \text{ г}^{-1}\text{с}^{-1}$
 - Концентрация нейтронов: $n_n \approx 4.8 \times 10^{-2} \text{ см}^{-3}$
- Нерезонансный случай:
 - Скорость: $p \approx 8.8 \times 10^{11} \text{ г}^{-1}\text{с}^{-1}$
 - Концентрация нейтронов: $n_n \approx 7.7 \times 10^5 \text{ см}^{-3}$
- Резонансный случай:
 - Скорость: $p \approx 7.3 \times 10^{13} \text{ г}^{-1}\text{с}^{-1}$
 - Концентрация нейтронов: $n_n \approx 6.5 \times 10^7 \text{ см}^{-3}$
- Нижняя граница для s-процесса:
 $n_n > 10^5 - 10^6 \text{ см}^{-3}$

Заключение

- Выполнен частичный перевод статьи S. Goriely (2023)
- Проведена оценка скорости реакции $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$ в звёздных условиях.
В гелиевой фазе реакция неэффективна для s-процесса.
В углеродной фазе становится эффективным источником нейтронов, особенно через резонансный канал.
То есть основной вклад реакции в s-процесс происходит в областях горения углерода.