



Ядерные процессы в звёздах

Журавлева А. С., студентка 3 курса ИЯФиТ НИЯУ МИФИ

Научный руководитель: (проф., д.ф.-м.н., доц.)

Барабанов А. Л.

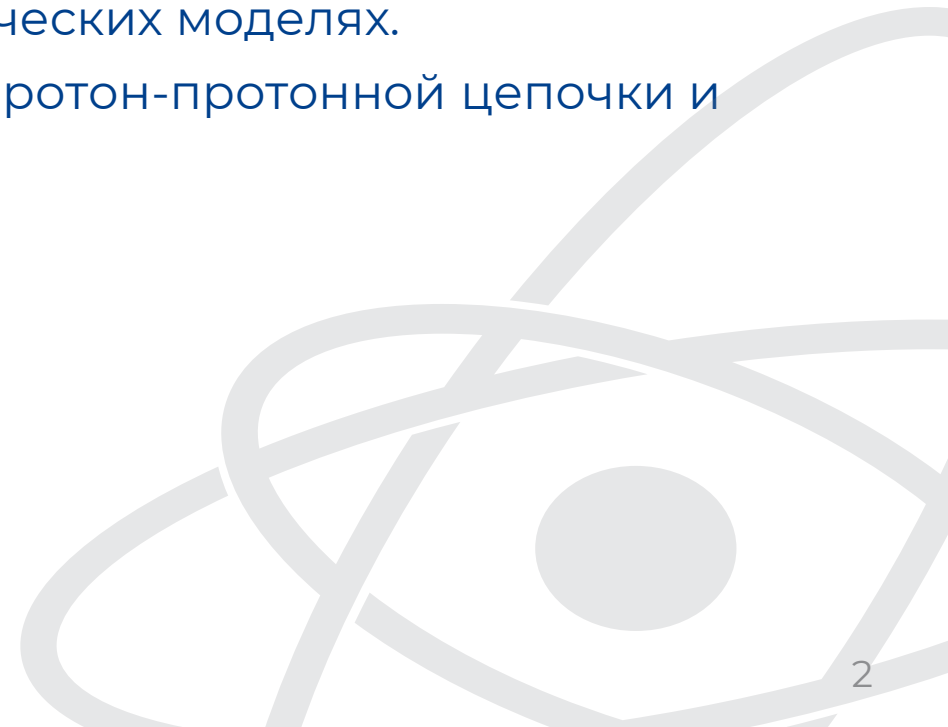
Москва, 2025



Актуальность работы связана с ключевой ролью ядерных процессов в формировании энергии и эволюции звёзд.

Статья Г. А. Бете **«Energy Production in Stars» (1939)** заложила основу современной теории звёздной энергии и до сих пор используется в астрофизических моделях.

Её перевод и анализ важны для понимания механизмов протон-протонной цепочки и CNO-цикла в звёздах главной последовательности.



Целью данной работы является выполнение перевода научной статьи Г. А. Бете «**Energy Production in Stars**» (1939) с английского на русский язык с последующим оформлением в системе LaTeX, а также анализ основных физических результатов статьи и расчёт энерговыделения в углеродно-азотном (CNO) цикле.

Задачи:

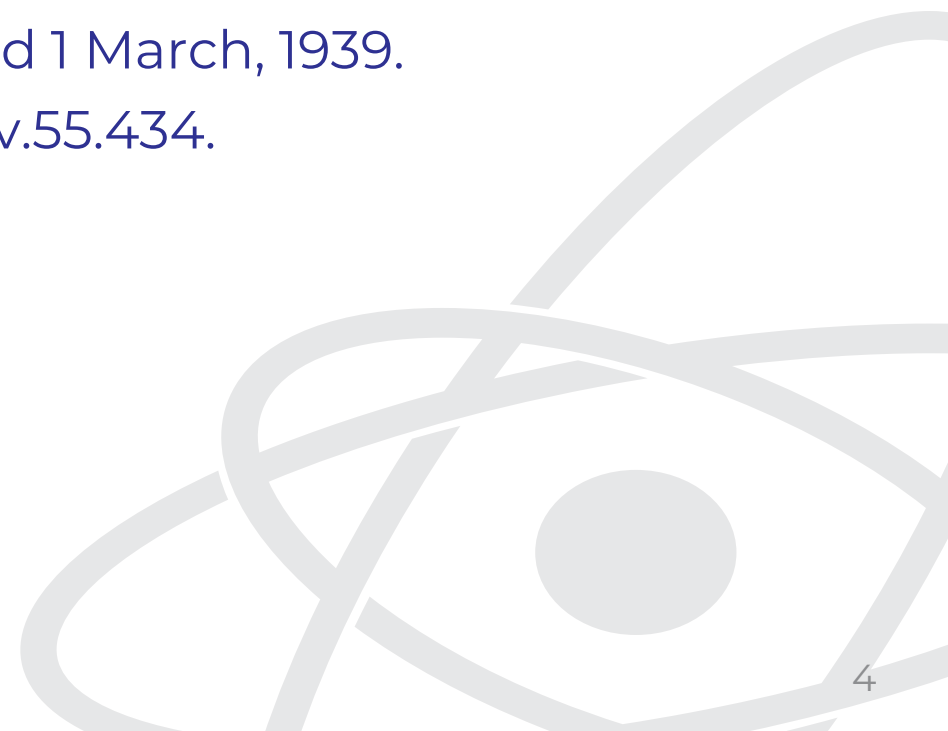
1. Выполнить перевод основного текста научной статьи на русский (включая аннотацию, разделы, подразделы и подписи к рисункам)
2. Оформить перевод в виде полноценного LaTeX-документа с сохранением структуры и стиля оригинальной статьи
3. Выполнить краткий пересказ основных результатов и содержания статьи
4. Рассчитать энерговыделение отдельных реакций и суммарную энергию в углеродно-азотном (CNO) цикле.

Авторы: Н.А. Bethe. ·

Название: “Energy Production in Stars”.

Выходные данные: Physical Review 55, 434– Published 1 March, 1939.

DOI: <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.55.434>.



Основные результаты статьи

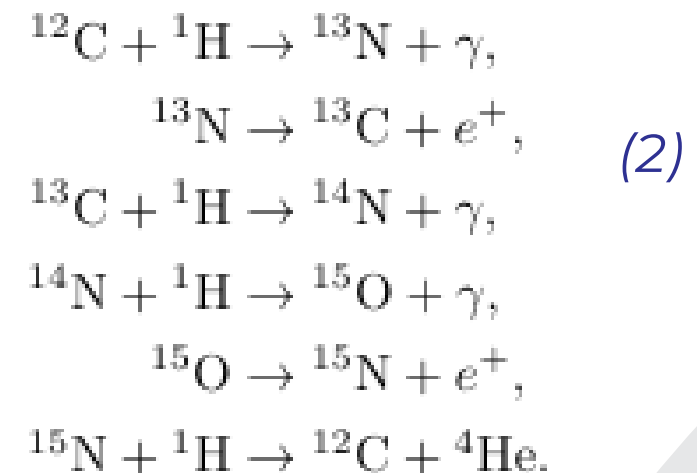
Механизмы термоядерного синтеза

Протон-протонная цепочка



Энергия звёзд выделяется
исключительно при превращении
водорода в гелий

Углеродно-азотный (CNO)цикл



1. Построена ядерно-физическая теория источников энергии звёзд главной последовательности
2. Доказана невозможность синтеза элементов тяжелее гелия в обычных звёздах
3. Проверено, что теория согласуется с наблюдаемыми светимостями и эволюцией звёзд ГП



Расчёт энергии CNO-цикла

Энерговыведение каждой реакции определялось через массовый дефект

Ядро	Масса, а.е.м.
${}^1\text{H}$	1.007825
${}^{12}\text{C}$	12.000000
${}^{13}\text{N}$	13.005738
${}^{13}\text{C}$	13.003355
${}^{14}\text{N}$	14.003074
${}^{15}\text{O}$	15.003065
${}^{15}\text{N}$	15.000109
${}^4\text{He}$	4.002603
e^+	0.0005486

$$Q_i = \Delta m_i c^2. \quad (3)$$

$$m_{\text{нач}} = m({}^{12}\text{C}) + m({}^1\text{H}) = 12.000000 + 1.007825 = 13.007825 \text{ а.е.м.} \quad (4)$$

$$m_{\text{кон}} = m({}^{13}\text{N}) = 13.005738 \text{ а.е.м.} \quad (5)$$

$$Q_1 = \Delta m c^2 = 0.002087 \cdot 931.5 \approx 1.94 \text{ МэВ.} \quad (6)$$

$$Q = 1.94 + 1.71 + 7.55 + 7.30 + 2.24 + 4.97 = 25.71 \text{ МэВ.} \quad (7)$$

Табл.1 «Атомные массы ядер»

1. Выполнен перевод научной статьи Г. А. Бете «*Energy Production in Stars*» с английского на русский язык в соответствии с техническим заданием
2. Перевод оформлен в виде полноценного LaTeX-документа с сохранением структуры, стиля и нумерации оригинальной статьи
3. Переведены подписи к рисункам и включены оригинальные иллюстрации
4. Выполнен краткий пересказ и анализ основных физических результатов статьи
5. Проведён расчёт энерговыделения отдельных реакций и суммарной энергии углеродно-азотного (CNO) цикла



Спасибо за внимание

Москва, 2025

