

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Возможность образования антиметеоритов в  
шаровом скоплении антизвезд

Научный руководитель

д.ф-м.н., проф.

М.Ю.Хлопов

Студент

В .А.Вакуленко

# Введение

Возможность существования антиматерии следует из инвариантности законов природы относительно преобразования СРТ. Вследствие инвариантности сильного взаимодействия относительно зарядового сопряжения (С-инвариантности) ядерное взаимодействие между антинуклонами в точности совпадает с соответствующим взаимодействием между нуклонами, что обеспечивает существование ядер из антинуклонов. Антиядра обладают массой и энергетическим спектром такими же, как у ядер, состоящих из соответствующих нуклонов.

# Цель исследования

Целью данного исследования является изучение возможности образования первичных элементов антивещества тяжелее антигелия в барионно-ассимметричной Вселенной, в доменах с локально повышенной плотностью антибарионов.

# Описание исследования

Предыдущая работа показала, что чрезвычайно трудно образовывать не только планеты или метеориты, а даже пылинки продуктами горения антизвезд в шаровом скоплении.

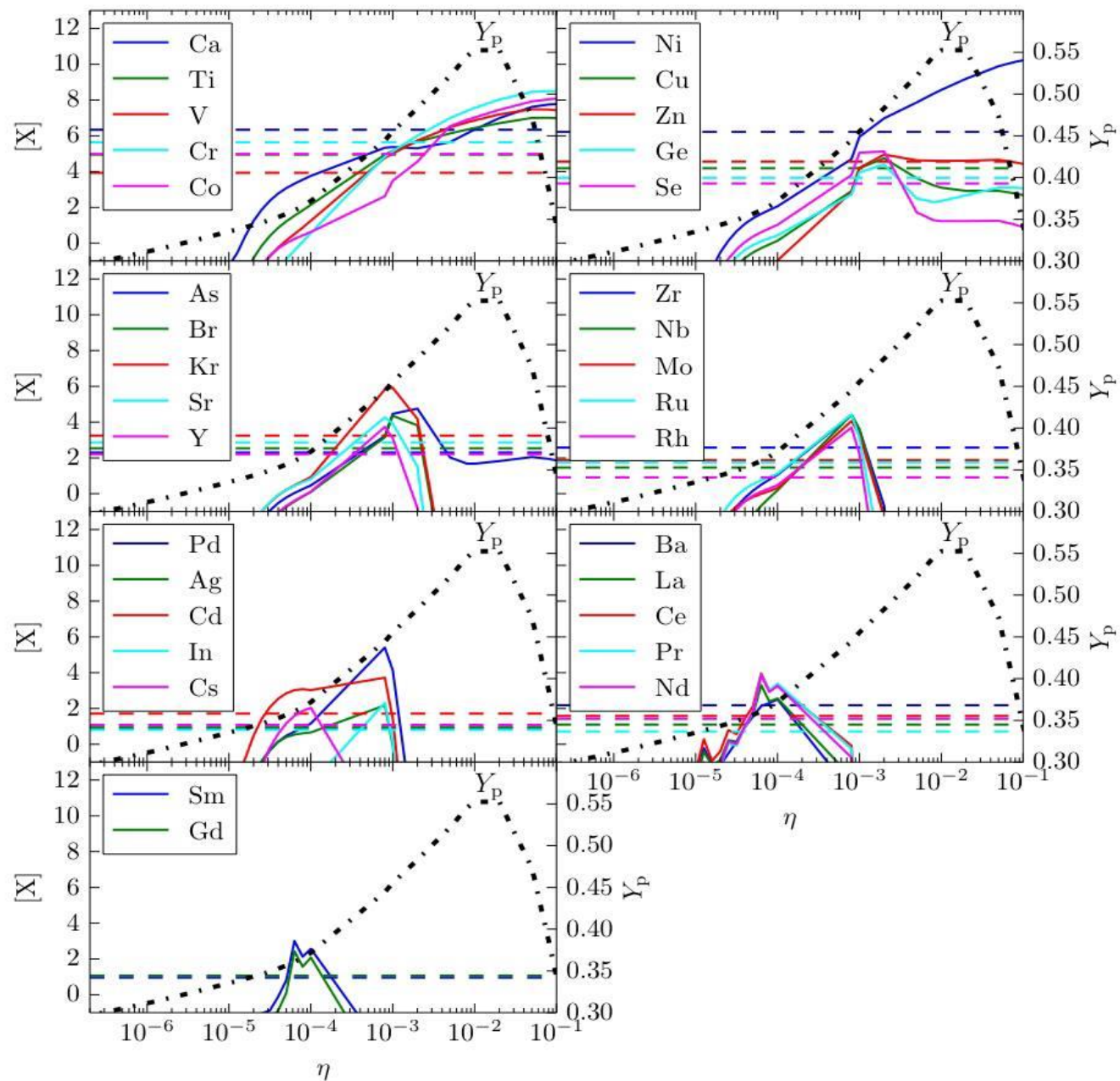
В данном исследовании подходим к задаче с другой стороны, а именно рассматриваем возможность образования тяжелых элементов и первичной металличности в доменах антивещества с повышенной, относительно средней барионной, плотностью антибарионов.

# Численный метод

Когда отношение барионов к фотонам достигает высоких значений, ожидается, что тяжелые элементы будут образовываться в заметных количествах. Для моделирования результатов, отражающих обилие тяжелых элементов, используется код AlterBBN, который позволяет пользователям рассчитывать количество элементов в стандартных и альтернативных космологических сценариях. Подключая библиотеку REACLIB для ядерных реакций, можно достичь значения  $\eta \sim O(1)$  с приемлемой точностью.

Количество элементов рассчитывалось по формуле:

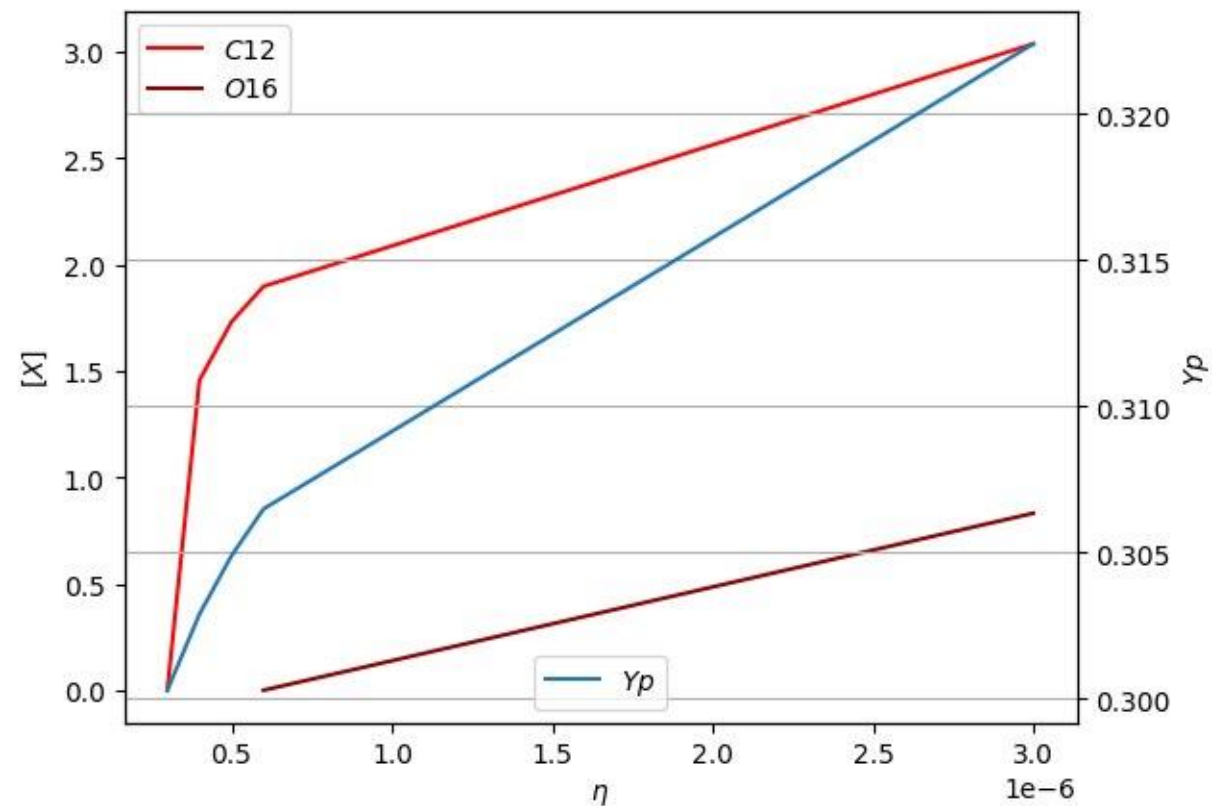
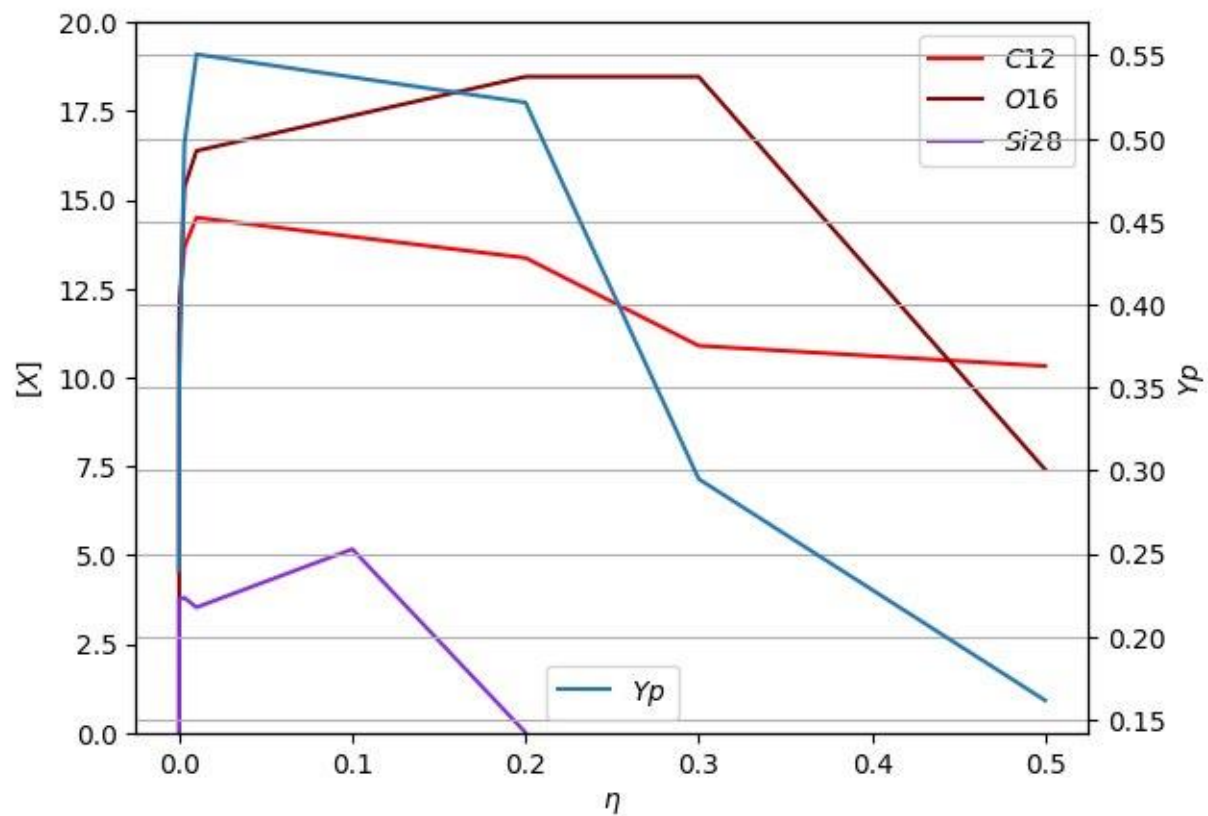
$$[X] = \log_{10} \frac{n(X)}{n(H)} + 12$$



Пример расчета обилия ядер с AlterBBN



# Расчеты



Расчет обилия элементов с AlterBBN

# Заключение

Освоена программа AlterBBN, которая позволяет проводить расчеты образования тяжелых элементов в первичном нуклеосинтезе. Данная методика будет использована для многочисленных приложений, связанных с гипотезами об аномальной локальной плотности барионов в ранней Вселенной.



# Список литературы

- [1] Andrew J Winter и Cathie J Clarke. «Accretion of substellar companions as the origin of chemical abundance inhomogeneities in globular clusters». В: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 521.2 (март 2023), с. 1646—1673. DOI: [10.1093/mnras/stad312](https://doi.org/10.1093/mnras/stad312). URL: <https://doi.org/10.1093%2Fmnras%2Fstad312>.
- [2] Cyril Pitrou и др. «Precision big bang nucleosynthesis with improved Helium-4 predictions». В: *Physics Reports* 754 (сент. 2018), с. 1—66. DOI: [10.1016/j.physrep.2018.04.005](https://doi.org/10.1016/j.physrep.2018.04.005). URL: <https://doi.org/10.1016%2Fj.physrep.2018.04.005>.
- [3] John Regan. «Massive Star Formation in Overdense Regions of the Early Universe». В: *The Open Journal of Astrophysics* 6 (апр. 2023). DOI: [10.21105/astro.2210.04899](https://doi.org/10.21105/astro.2210.04899). URL: <https://doi.org/10.21105%2Fastro.2210.04899>.
- [4] K.A. Olive. «Review of Particle Physics». В: *Chinese Physics C* 38.9 (авг. 2014), с. 090001. DOI: [10.1088/1674-1137/38/9/090001](https://doi.org/10.1088/1674-1137/38/9/090001). URL: <https://doi.org/10.1088%2F1674-1137%2F38%2F9%2F090001>.
- [5] Evan Grohs и George M. Fuller. *Big Bang Nucleosynthesis*. 2023. arXiv: [2301.12299](https://arxiv.org/abs/2301.12299) [astro-ph.CO].

- [6] Shunji Matsuura и др. «Heavy element production in inhomogeneous big bang nucleosynthesis». В: *Physical Review D* 72.12 (дек. 2005). DOI: [10.1103/physrevd.72.123505](https://doi.org/10.1103/physrevd.72.123505). URL: <https://doi.org/10.1103%2Fphysrevd.72.123505>.
- [7] S. Matsuura и др. «Affleck-Dine Baryogenesis and Heavy Element Production from Inhomogeneous Big Bang Nucleosynthesis». В: *Progress of Theoretical Physics* 112.6 (дек. 2004), с. 971—981. DOI: [10.1143/ptp.112.971](https://doi.org/10.1143/ptp.112.971). URL: <https://doi.org/10.1143%2Fptp.112.971>.
- [8] Ujjaini Alam и др. «Is there supernova evidence for dark energy metamorphosis?» В: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 354.1 (окт. 2004), с. 275—291. DOI: [10.1111/j.1365-2966.2004.08189.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2004.08189.x). URL: <https://doi.org/10.1111%2Fj.1365-2966.2004.08189.x>.
- [9] A. Arbey и др. *AlterBBN v2: A public code for calculating Big-Bang nucleosynthesis constraints in alternative cosmologies*. 2019. arXiv: [1806.11095](https://arxiv.org/abs/1806.11095) [astro-ph.CO].
- [10] Brian D. Fields и др. «Big-Bang Nucleosynthesis after Planck». В: *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* 2020.03 (март 2020), с. 010—010. DOI: [10.1088/1475-7516/2020/03/010](https://doi.org/10.1088/1475-7516/2020/03/010). URL: <https://doi.org/10.1088%2F1475-7516%2F2020%2F03%2F010>.