

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

УДК 539.12.01

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

**РАСПРОСТРАНИЕНИЕ МЕТЕОРИТОВ
АНТИВЕЩЕСТВА В ГАЛАКТИКЕ И СОЛНЕЧНОЙ
СИСТЕМЕ**

научный руководитель

доц. д.ф-м.н., проф.

Студент

_____ М.Ю.Хлопов

_____ В. А. Вакуленко

Москва 2021

Содержание

Введение	4
1 Описание исследования	4
2 Установка модели	5
3 Процесс нуклеосинтеза с заданным ограничением по массе	6
Заключение	8
Список литературы	8

Введение

Антивещество — вещество, состоящее из античастиц, стабильно не образующееся в природе (наблюдательные данные не свидетельствуют об обнаружении антивещества в нашей Галактике и за её пределами). Для дальнейшего удобства будем использовать CPT-симметрию, так как работать с веществом понятнее.

Подтекст CPT-симметрии состоит в том, что зеркальное отображение нашей Вселенной — импульсы и положения всех объектов отражены в мнимой плоскости (что соответствует инверсии чётности), вся материя заменена на антиматерию (что соответствует инверсии заряда) и обращена во времени — будет вести себя так же, как и наша вселенная. В любой момент соответствующих времён две вселенные будут идентичны, и преобразование CPT запросто превратит одну в другую. CPT-симметрия считается фундаментальным качеством физических законов.

Звёздный ветер — процесс истечения вещества из звёзд в межзвёздное пространство. Вещество, из которого состоят звёзды, при определённых условиях может преодолевать их притяжение и выбрасываться в межзвёздное пространство. Это происходит в том случае, если частица в атмосфере звезды разгоняется до скорости, превышающей вторую космическую скорость для данной звезды. Фактически, скорости частиц, из которых состоит звёздный ветер, составляют сотни километров в секунду. [Jim_nez_2022]

Звёздный ветер может играть важную роль в звёздной эволюции: так как в результате этого процесса происходит уменьшение массы звезды, то от его интенсивности зависит срок жизни звезды. Помимо того, что он сам по себе состоит из вещества, истекающего из звёзд, он может воздействовать на окружающее межзвёздное вещество, передавая ему часть своей кинетической энергии. Так, форма эмиссионной туманности NGC 7635 «Пузырь» образовалась в результате такого воздействия. [https://doi.org/10.48550/arxiv.2204.1417]

В случае истечения вещества от нескольких близко расположенных звёзд, дополненного воздействием излучения этих звёзд, возможна конденсация межзвёздного вещества с последующим звездообразованием. [Novosyadlyj_2022]

При активном звёздном ветре количество выбрасываемого вещества может оказаться достаточным для формирования планетарной туманности

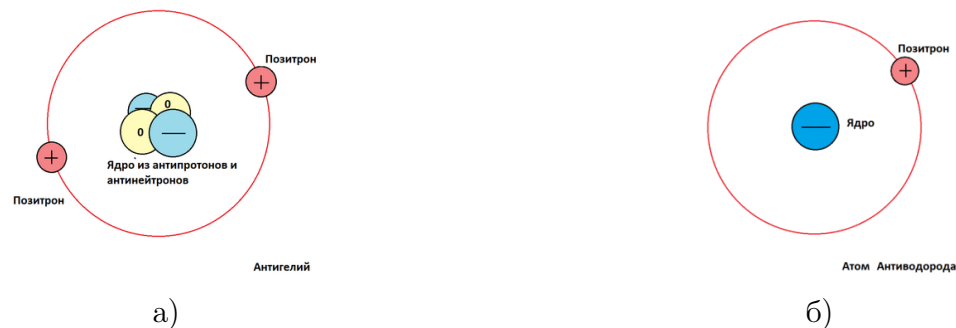


Рисунок 1 — Структура атома антигелия (а) и антиводорода (б)

1 Описание исследования

В данной научной работе продолжается исследование метеоритов антивещества в Галактике и солнечной системе. Ранее была произведена нестрогая оценка вероятности обнаружения шарового скопления антизвезд путем рассмотрения абстрактной модели изолированного шарового скопления. По итогу, существование антиметеоритов, как следствие взрыва сверхновой из антиматерии, крайне маловероятно. Теперь вопрос рассматривается с другой стороны: изучается количественная оценка остатков нуклеосинтеза звезд главной последовательности спектрального класса O.

2 Установка модели

Если начальная масса звезды превышает 10 солнечных масс, конечной стадией ее эволюции является так называемый "взрыв сверхновой". Из предыдущего исследования, результатом которого является низкая вероятность формирования антиметеоритов вследствие "взрыва сверхновой" можем заключить, что в данной работе будем исследовать звездные объекты, не превышающие 10 масс солнца. Согласно теоретическим расчетам, в таком случае возможны процессы горения водорода, гелия и углерода.

Механическая мощность звездных ветров уменьшается с ростом металличности, что приводит к неэффективному выталкиванию газа. Для оценки количества звездного нуклеосинтеза рассмотрим наиболее благоприятные условия для формирования кластера из протокластерного облака антиматерии. На основе СРТ симметрии, подтекст которой описан во введении, рассмотрим модель изолированного протокластерного облака из материи. Кроме того, будем считать, что имеем дело с горением достаточно массивной звезды.

3 Процесс нуклеосинтеза с заданным ограничением по массе

На рисунке приведен теоретически рассчитанный химический состав звезды с массой 5 M_{\odot} солнца в стадии, предшествующей началу горения углерода. По оси X отложена доля от полной массы звезды, отсчитываемая от центра звезды. По оси Y – доля массы химических элементов – углерода, гелия и водорода.

Различные теоретические модели отличаются в деталях, однако общим для них является следующее:

- 1) Большая часть гелия, образовавшегося при горении водорода в центре звезды, превратилась в углерод.
- 2) Несгоревший гелий содержится в относительно тонком слое звезды. Масса его не превышает 10% массы звезды.
- 3) Несгоревший водород располагается во внешних областях звезды.

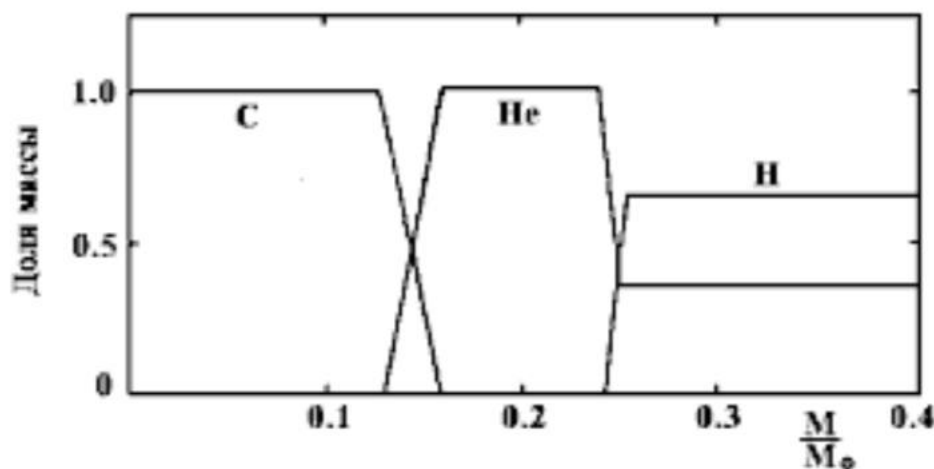
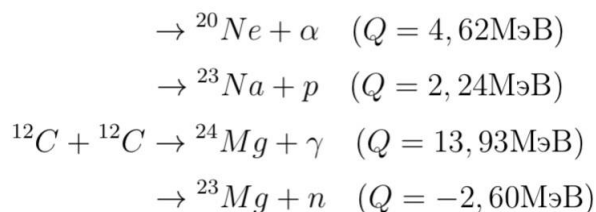


Рисунок 2 — Химический состав звезды с массой 5 M_{\odot} солнца в начале горения углерода. Приведено количество C, He и H в долях общей массы во внутренних областях звезды

За фазой горения гелия следуют фазы горения углерода ($Z = 6$) и неона ($Z = 10$). Поскольку эти ядра обладают достаточно большими зарядами и роль кулоновского барьера существенно возрастает, требуются более высокие температуры, достижимые лишь в массивных звездах. Горение углерода начинается при температуре около $8 \cdot 10^8$ К и плотности 105 г/см^3 . Основные реакции горения углерода следующие:



Основным продуктом горения углерода является ${}^{20}\text{Ne}$.

Последующее горение неона невозможно в связи с ограничением по массе в 10 солнечных. Так, звезда с массой в восемь солнечных в конце своей жизни превратится в белого карлика с массой в 1,4 массы Солнца. Остальную массу унесет звездный ветер, со скоростью (формула). Унесенное звездное вещество проаннигилирует. Оставшаяся масса будет состоять, как мы уже выяснили, из неона, углерода, гелия и водорода. При этом, за счет больших зарядов ядер и роли кулоновского барьера, требуются высокие температуры, недостижимые для оставшейся массы.

Поскольку, мы рассматривали изолированную модель, то с получившимся веществом не будет происходить никаких процессов, то есть из остатков нуклеосинтеза не сформируется более тяжелых элементов, а тем более крупных кластеров наподобие метеорита.

Заключение

Результатом рассмотрения изолированной модели протокластерного облака, с обозначенными в работе ограничениями, является невозможность формирования элементов тяжелее неона. А поскольку связи с окружающими объектами нет, то мы получим "смесь" неона, гелия, водорода и углерода. В дальнейшем планируется изучение формирования кластеров в звездах других спектральных классов.