

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

**ВОЗМОЖНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ  
АНТИМЕТЕОРИТОВ В ШАРОВОМ СКОПЛЕНИИ  
АНТИЗВЕЗД**

научный руководитель

доц. д.ф-м.н., проф.

Студент

\_\_\_\_\_ М.Ю.Хлопов

\_\_\_\_\_ В. А. Вакуленко

Москва 2021

# Содержание

Введение	3
1 Цель	3
2 Актуальность	3
3 Откуда можно взять антивещество?	4
4 Расчет скорости ускользания	5
5 Взрыв сверхновой 1-го типа	6
Заключение	7
Список литературы	7

# Введение

Пытаясь найти ответ на вопрос, почему позитроны не наблюдаются в окружающем нас мире, Дирак осознал, что позитроны жить вместе с нами не могут: возникнув где-то рядом, они немедленно аннигилируют с окружающими электронами. Он здраво рассудил, что, раз уж наша Солнечная система построена из электронов и вообще из частиц, то здесь не место античастицам, их надо искать в других галактиках, не соприкасающихся с нашей.

Антигалактики искали и продолжают искать, но пока не находят. Более того, сегодня мало кто верит, что они действительно могут существовать.

В 1960-х годах сделали совершенно неожиданное открытие: антиматерия немного отличается от материи. Казалось бы, как же так? Ведь мы только что вывели антиматерию из симметрии между положительным и отрицательным, а никакой симметрии оказывается нет? Ну не совсем... симметрия нарушается только в слабых взаимодействиях, а есть еще электромагнитные и ядерные взаимодействия, которые эту симметрию чтут. К этому выводу в 1967 году пришел Андрей Дмитриевич Сахаров.

Тогда возможно есть вероятность, что осталась нетронутая антиматерия

## 1 Цель

В данной работе изучается возможность образования пылинок антивещества, как возможный первый этап формирования антиметеоритов в шаровом скоплении антизвезд.

## 2 Актуальность

Существование изолированных макроскопических областей антивещества в нашей Галактике могло бы привести к появлению макроскопических объектов антивещества в Солнечной системе-антиметеоритов. На данном этапе изучалась принципиальная возможность образования пылинок антивещества в шаровом скоплении антизвезд.

### 3 Откуда можно взять антивещество?

В данной работе будем использовать скопление М4 как прототип кластера из антиматерии, поскольку нам известны ее параметры.

В нашем подходе мы рассматриваем ситуацию, когда химический состав первичного вещества, которое в своей эволюции сформировало шаровое скопление, такое же, как первичный химический состав обычного барионного вещества, то есть элементов тяжелее гелия там практически нет. Если это так, то тогда эти тяжелые элементы, необходимые для образования пылинок, образуются в результате ядерных процессов в антизвездах, которые при взрыве выбрасывают относительно тяжелые элементы в пространство. В таком случае, рассмотрим накопление антивещества за счет взрыва сверхновой 1 типа. При этом 2 тип нас не интересует, так как не все вещество выбрасывается, а значит, имеет место обрезание зависимости распределения масс по скоростям, что будет значительно усложнять анализ. (См Рис1)

Так же вещество антизвезд теряется как звездный ветер. Таким образом, можно было бы что-то создать, если нам удастся сосредоточить эти относительно тяжелые элементы в шаровом скоплении, так как, если скорость ускользания шарового скопления меньше, чем та скорость, с которой эти элементы выбрасываются, то они выходят за пределы области, где уже происходит аннигиляция с веществом. Для этого необходимо рассмотреть скорости ускользания звезд, время эволюции которых больше, чем время эволюции Вселенной. Ведь логично предположить, что именно эти звезды с большой долей вероятности могли внести вклад в формирование кластера из антиматерии.

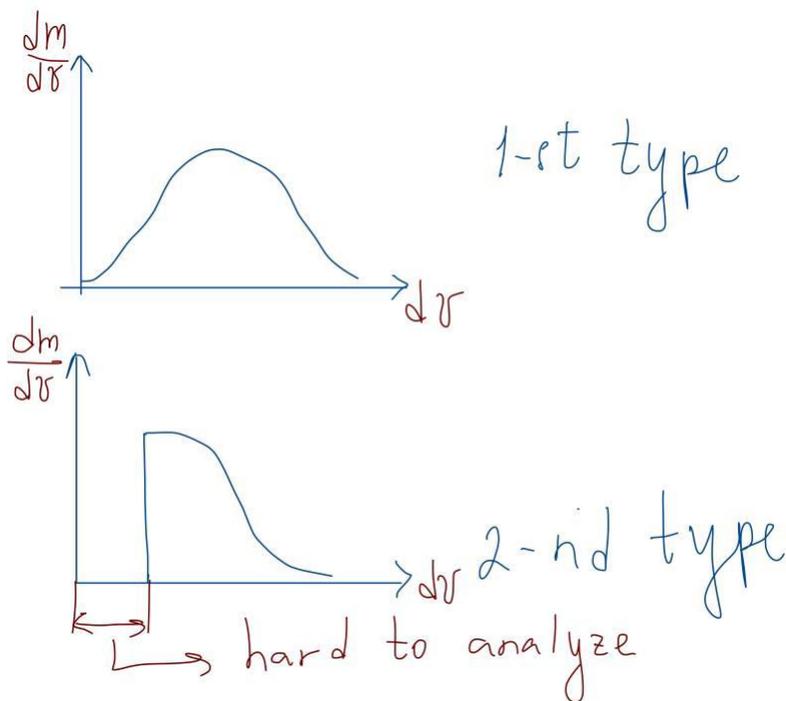


Рисунок 1 — Распределения по скоростям для сверхновых 1-го и 2-го типов

## 4 Расчет скорости ускользания

Положим, что звезды, время нахождения на главной последовательности которых больше времени эволюции Вселенной (14 миллиардов лет), с большой долей вероятности, дают вклад в первичный объем антиматерии.

Исходя из графика это соответствует всем звездам с массой меньше чем 3 массы Солнца. Рассчитываем вторую космическую скорость для скопления M4:

$$v_e = \sqrt{2 \frac{GM}{r}}$$

Учитывая массу скопления M и его радиус r, получаем значение  $15 \text{ km/s}$

Исходя из данных, приведенных в таблице, имеем, что скорость всех звезд с массами меньшими чем три массы Солнца имеют вторую космическую скорость примерно равной второй космической скорости Солнца, что больше, чем скорость ускользания из скопления. Из этого следует, что для всех этих типов звезд скорость ускользания больше чем скорость ускользания из шарового скопления, то есть, все, что они теряют, уходит из скопления. Следовательно мы ничего не можем из этого образовать

3	81	2,0	12200	B7	Регул
2,5	39	1,84	10700	B9	Сириус
2	16	1,64	9080	A2	Фомальгаут
1,7	8,0	1,52	7960	A7	Альгаир
1,35	4,0	1,2	6400	F5	Процион
1,08	1,45	1,05	5900	G0	Альфа Центавра А
1	1	1	5800	G2	Солнце
0,95	0,7	0,91	5600	G5	Мю Кассиопеи
0,85	0,44	0,87	5300	G8	Тау Кита
0,83	0,36	0,83	5100	K0	
0,78	0,28	0,79	4830	K2	Эпсилон Эридана
0,68	0,18	0,74	4370	K5	Альфа Центавра В
0,33	0,03	0,36	3400	M2	Лаланд 21185
0,20	0,0005	0,21	3200	M4	Росс 128
0,10	0,0002	0,12	3000	M6	Вольф 359

Рисунок 2 —Характеристическая таблица звезд главной последовательности

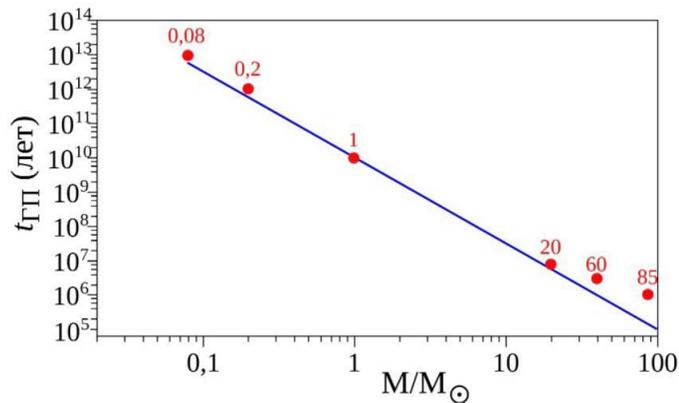


Рисунок 3 —Приближенная зависимость времени пребывания звезды на главной последовательности от ее массы

## 5 Взрыв сверхновой 1-го типа

Рассмотрим график распределения по скоростям вещества при взрыве сверхновой 1 го типа.

Интерполируем график до нужного порядка  $10^6$  (так как вторая космическая скорость скопления М4 этого порядка)

В данном приближении сталкиваемся с аппроксимированным кубом функции, тогда мы знаем значение функции в значении второй космической нашего скопления:  $(1,5 * 10^6)^3$  Далее посчитаем общую массу как интеграл. График можно аппроксимировать как перевернутую параболу, тогда необходимо взять интеграл, то есть найти площадь под графиком:

$$I = \int_0^{1,5*10^8} (x + 1,5 * 10^{24})^2 = (1,5 * 10^{24})^2 * 1,5 * 10^8 \approx 3 * 10^{56}$$

Рассмотрим прямоугольный треугольник, ограниченный осями, с высотой одного из катета равного значению функции в точке со значением второй космической нашего скопления М4

Вычисляем его площадь:

$$S = 1/2 * 7 * 10^{19} * 1,5 * 10^6 \approx 5,25 * 10^{25}$$

Находим отношение:

$$\frac{S}{I} \ll 1$$

Оно будет полезно для дальнейшей работы, а пока ограничимся сравнением значения площади треугольника с массой скопления М4 и самой маленькой известной на данный момент звездой,

$$M = 0,081 * M_{sun} \sim 10^{27}$$

, что оказывается значительно меньшей величиной. Из этого можно сделать вывод о том, что невозможно образование даже изолированной звезды

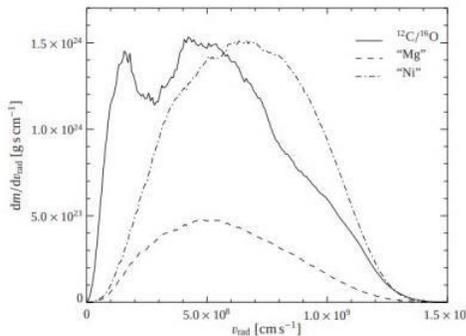


Рисунок 4 — Распределение по скоростям вещества при взрыве сверхновой 1-го типа

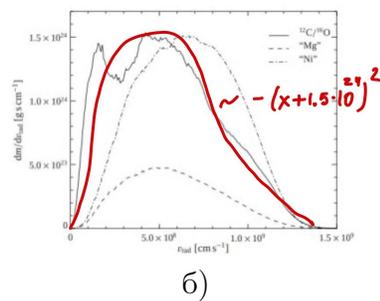


Рисунок 5 — а) Площадь треугольника б) Аппроксимация параболой

## Заключение

В данной работе численным методом была доказана невозможность формирования звезд второго поколения антивещества в шаровом скоплении антизвезд. В дальнейшем будет произведено детальное изучение химического состава остающихся в этом скоплении продуктов взрыва сверхновых, что позволит более точно охарактеризовать возможность формирования пылинок и других твердых объектов антивещества.