

# Скопление антизвезд как источник антигелия в потоке галактических космических лучей

Докладчик, студент М20-115:

Кириченко А.О.

Научный руководитель:

Хлопов М.Ю.

Консультант:

Майоров А.Г.

# Введение

Возможная природа антиматерии во Вселенной:

1. Первичное антивещество, сохранившееся с момента зарождения Вселенной, сейчас может существовать в виде шаровых скоплений антизвезд или антигалактик
2. Вторичное антивещество, как результат столкновения ядерной компоненты космических лучей с межзвездным газом или с остатком оболочки сверхновой
3. Антивещество от экзотических источников (испарение первичных черных дыр или распад/аннигиляция гипотетических частиц скрытой массы)

# Первичная антиматерия

Барионная асимметрия Вселенной — наблюдаемое преобладание в видимой части Вселенной вещества над антивеществом.

А. Д. Сахаров (1967) и В.А. Кузьмин (1970) сформулировали необходимые условия для бариосинтеза - механизма генерации барионной асимметрии во Вселенной:

1. Асимметрия между частицами и античастицами как нарушение зарядовой  $C$ - и комбинированной  $CP$ -симметрии.
2. Нарушение закона сохранения барионного заряда.
3. Нарушение локального термодинамического равновесия.

## Первичная антиматерия(2)

В конечном результате бариосинтеза во Вселенной могут образовываться не только области с избытком вещества, но и области с избытком антивещества.

Шаровые скопления антизвезд могли бы образоваться в период формирования Галактики и сохраниться в ее гало к настоящему времени.

Антиядра в космических лучах могут являться доказательством существования таких шаровых скоплений.

Рассматривается М4 как прототип шарового скопления антизвезд[1] :

Возраст	Расстояние от Солнца	Число звезд
12 млрд. лет	1.72 кпк	$8 \cdot 10^4$

Три возможных механизма инъекции антигелия в космические лучи от шарового скопления М4:

1. Стационарное истечение вещества с поверхности антизвезд.
2. Вспышки на антизвездах.
3. Взрывы антисверхновых в шаровом скоплении.

# Магнитные поля Галактики

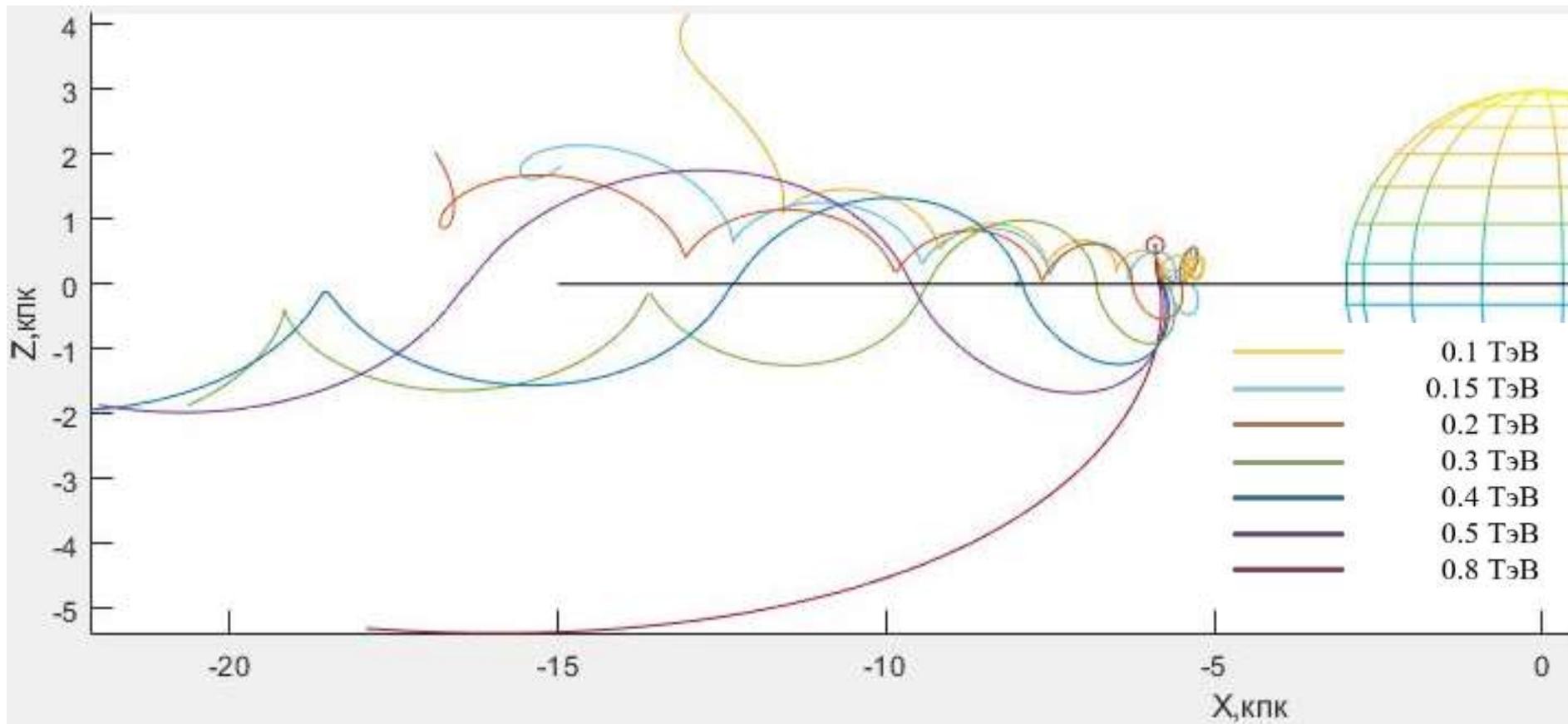
Используя данные [3]:

$$B_{\phi} = -\frac{B_1}{2R/R_0} \frac{z}{(z+z_0)} \left( \sqrt{(R/R_0)^2 + (z/z_0)^2} - z/z_0 \right)$$

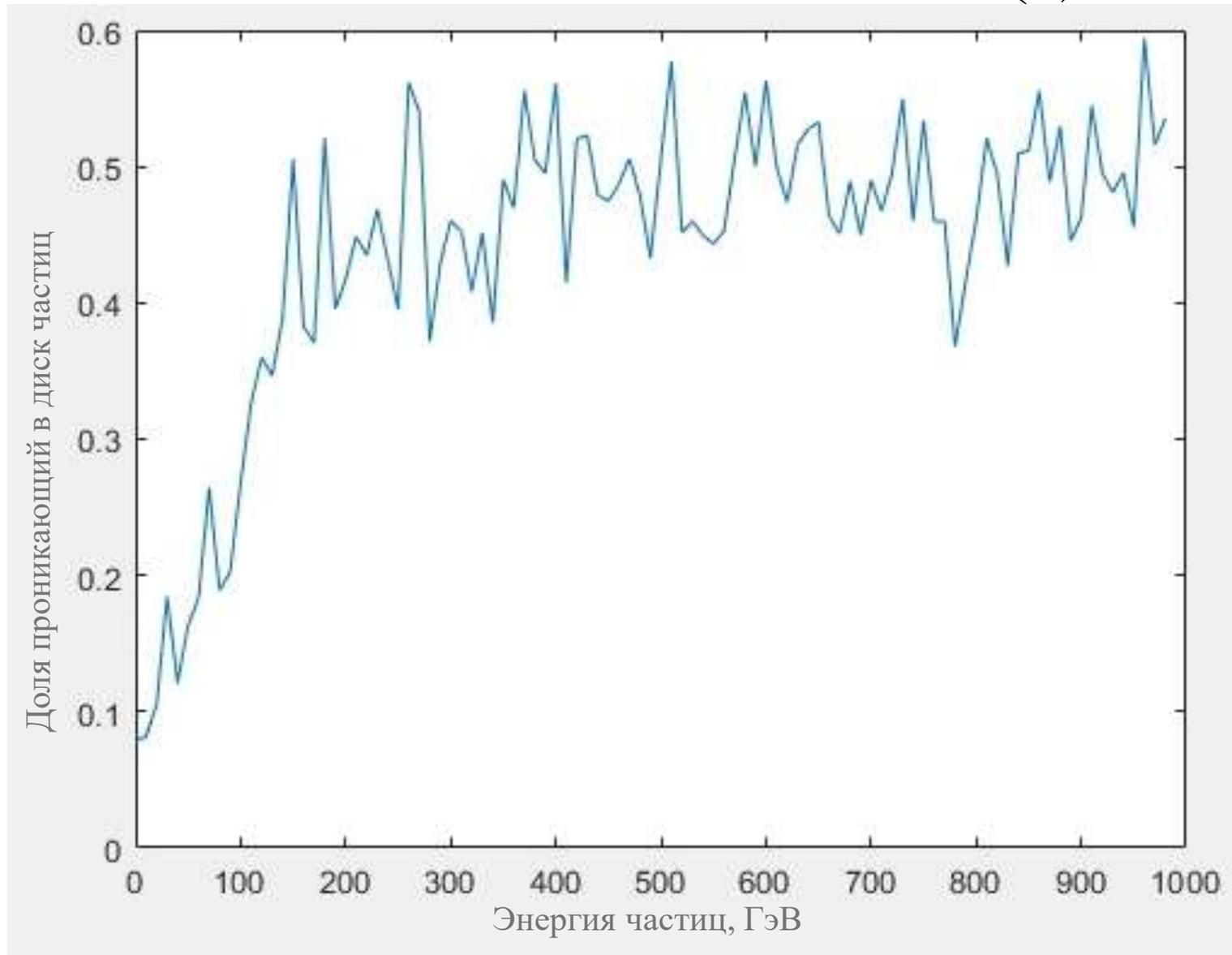
$$B_R = \frac{1}{2} B_1 \frac{z_0^2}{(z+z_0)^2} \tanh(R/R_0)$$

$$B_z = \frac{0.1B_1z_0}{R_0} + \frac{1}{2} B_1 \frac{z_0^2}{(z+z_0)^2} \left( \frac{\tanh(R/R_0)}{R} + \frac{\operatorname{sech}^2(R/R_0)}{R_0} \right)$$

## Магнитные поля Галактики(2)



# Магнитные поля Галактики(3)



Грубая оценка пороговой энергии  $\sim 0.1$  ТэВ

# Заключение

Была оценена плотность энергии высокоэнергетических античастиц, выброшенных ШС в космических лучах. Полученное значение противоречит экспериментальным данным.

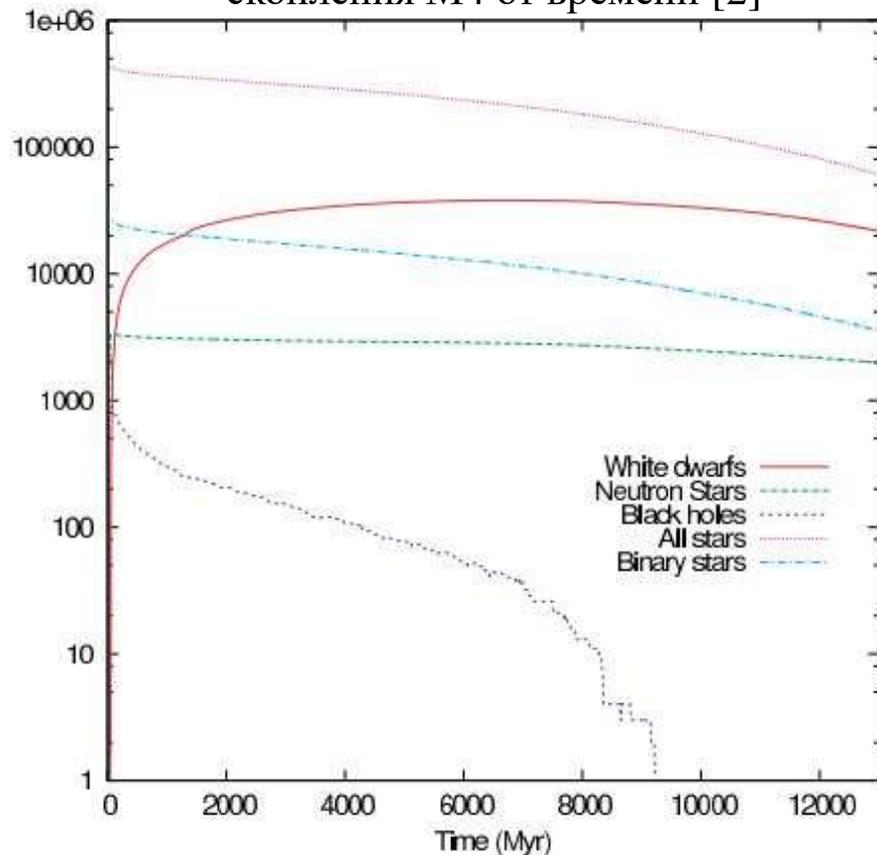
Так же в части моделирования траектории потока частиц оценена пороговая энергия проникновения частиц в диск, на крупномасштабном магнитном поле.

Таким образом, дальнейшая работа направлена на моделирование движения частиц в магнитном поле Галактики в малых масштабах, которые внесут дополнительные модификации в поток частиц.

Реализация нашей программы поможет получить прогнозы ожидаемого потока антиядер от доменов антивещества в нашей Галактике.

# Вспышки сверхновых

Зависимость звездного населения скопления М4 от времени [2]



Число нейтронных звезд не изменилось за 12 млрд. лет. Это значит, что примерно 12 млрд. лет назад они могли образоваться как результат взрыва сверхновых.

[2] D. C. Heggie, M. Giersz: Monte Carlo simulations of star clusters – V. The globular cluster M4 (2008).

## Вспышки сверхновых(2)

$$\rho_{CR} = \frac{E_{sn} \dot{N}_{sn} t_{ret}}{V} \quad (1)$$

$N_{sn}$  - число нейтронных звезд в М4,

$\dot{N}_{sn}$  - средняя частота взрыва сверхновых

$E_{sn}$  - энергия от одной сверхновой

$t_{ret}$  - время удержания КЛ

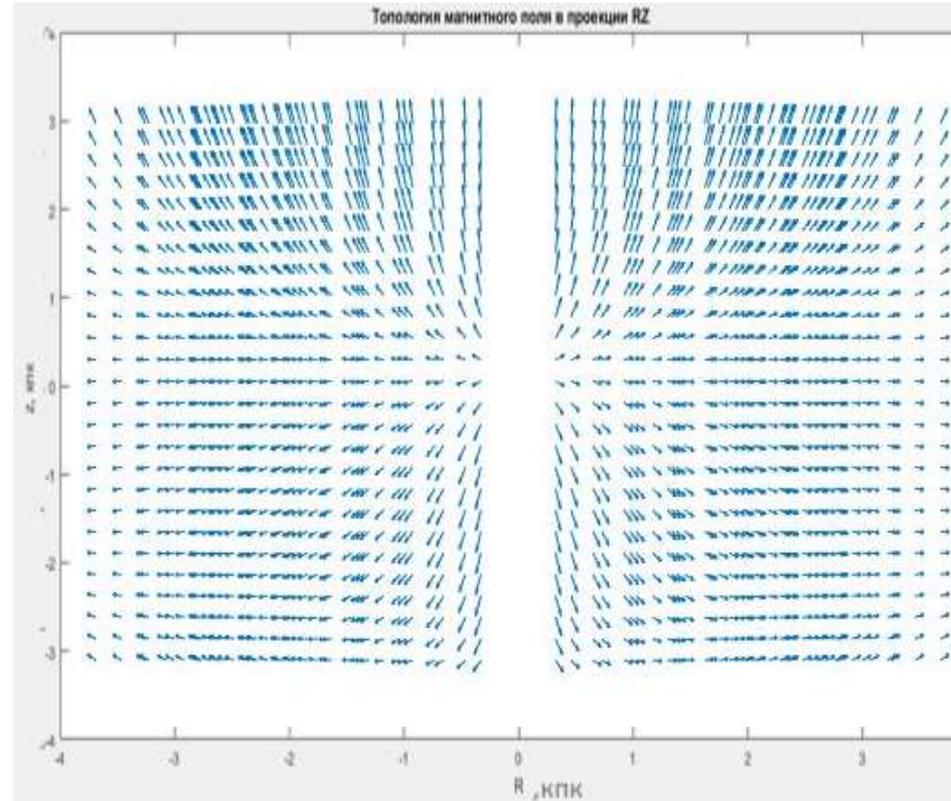
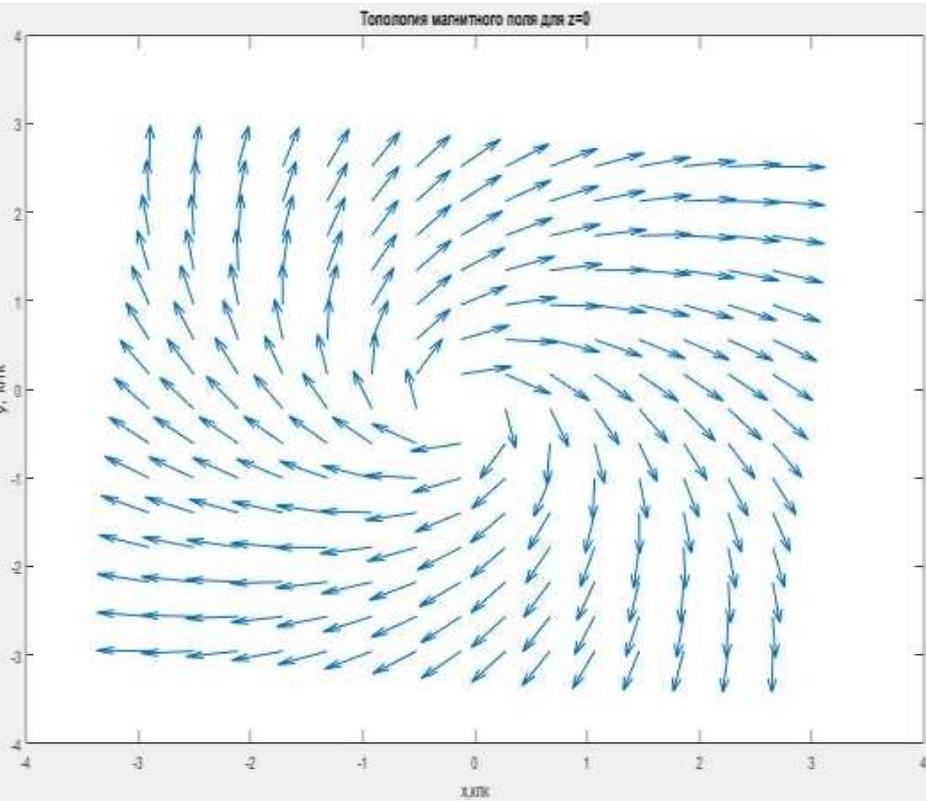
$V$  - объем области распространения

# Магнитные поля Галактики (2)

Получены топологии

Для  $z=0$ :

Для RZ:



## Вспышки сверхновых(3)

Используя данные таблицы

$N_{sn}$	t	$\dot{N}_{sn}$	$E_{sn}$	$t_{ret}$	V
$2 \cdot 10^4$	$13 \cdot 10^9$ лет	$2 \cdot 10^{-5}$	$10^{51}$ эрг	$10^7$ лет	$3 \cdot 10^3$ КПК

Получаем значение плотности

$$\rho_{CR} = 10^{-4} \text{ эВ/см}^3$$

Плотность энергии для вторичных антипротонов:

$$\rho_{\bar{p}} = 10^{-5} \text{ эВ/см}^3$$