

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

ОТЧЁТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
**ХИМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ДОМЕНОВ
АНТИВЕЩЕСТВА В РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ**

Научный руководитель

доц., д.ф.-м.н., проф

_____ М. Ю. Хлопов

Студент

_____ А. И. Агафонова

Москва 2023

Содержание

Введение	3
1 Неоднородный бариосинтез	4
2 Эволюция доменов антивещества	5
Заключение	6
Список использованных источников	7

Введение

Существование антивещества было предсказано Полем Дираком в 1927 году на основе его уравнения:

$$i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t} = [c(\hat{a}_x\hat{p}_x + \hat{a}_y\hat{p}_y + \hat{a}_z\hat{p}_z) + mc^2\hat{\beta}]\psi$$

особенность которого заключается в том, что оно содержит равное количество решений, соответствующих как положительной энергии частицы, так и отрицательной [1]. Позже экспериментальным путём было доказано существование электрона с противоположным зарядом - позитрона, а ещё через практически 30 лет - существование антипротона. Более того, в период с 1998 по 2006 год было совершено несколько исследований, подтверждающих идентичность спина, массы протона и антипротона [2, 3].

Механизм бариосинтеза описывает несколько возможных сценариев формирования барионной асимметрии Вселенной, включая стандартный, который рассматривается, как отношение разности плотностей барионов и антибарионов к плотности фотонов[4]:

$$\eta = \left. \frac{N_B - N_{\bar{B}}}{N_\gamma} \right|_{T=3K}$$

Однако в данной работе мы не будем углубляться в физику процессов, стоящих за этим механизмом, а рассмотрим в общем виде картину развития антивещества в регионах при неоднородном бариосинтезе, когда в среде, в которой доминирует материя, образуются регионы с преобладающей антиматерией.

1 Неоднородный бариосинтез

Сценарий неоднородного бариосинтеза предполагает возможность нахождения доменов антивещества в барион-асимметричной Вселенной, причём для существования таких доменов их размер должен быть не меньше критического $L_c = 8h^2$ кпк, что позволило бы ему дожить до современной эпохи и не проаннигилировать с окружающим веществом, и эффект такой аннигиляции должен быть совместим с наблюдаемым радиационным фоном. Комбинация этих условий даёт небольшой разброс $10^3 M_\odot < M < 10^5 M_\odot$ общей массы макроскопических областей антиматерии в нашей Галактике.

С помощью численного моделирования могут быть получены оценочные значения количества антивещества в доменах, размерами превышающих критическое значение L_c , и, следовательно, сохранившихся до наших дней, в пределах видимой Вселенной.

е-кратность	Количество доменов	Размер домена
59	0	1103 Мпк
55	$5,005 \cdot 10^{-14}$	37,7 Мпк
54	$7,91 \cdot 10^{-10}$	13,9 Мпк
52	$1,291 \cdot 10^{-3}$	1,9 Мпк
51	0,499	630 кпк
50	74,099	255 кпк
49	$8,966 \cdot 10^3$	94 кпк
48	$8,012 \cdot 10^5$	35 кпк
47	$5,672 \cdot 10^7$	12 кпк
46	$3,345 \cdot 10^9$	4,7 кпк
45	$1,705 \cdot 10^{11}$	1,7 кпк

Таблица 1.1 — Оценка количества доменов антибарионов и их размера

Оценивая размеры и количество областей с преобладанием антиматерии, можно прийти к выводу, что эти области по массе сопоставимы с размерами таких астрономических объектов, как шаровое скопление.

2 Эволюция доменов антивещества

Благодаря экспериментам на ускорителях, синтезирующих антивещество, было показано, что свойства антивещества и вещества практически идентичны, за исключением небольшого эффекта от нарушения CP-чётности[5]. Из этого следует, что домены вещества и антивещества должны эволюционировать одинаково.

Исходя из этого, а так же из вышеупомянутых допустимых размеров доменов, можно предположить, что эволюционирующий в домене астрономический объект не может быть меньше шарового скопления[6]. В нашей галактике с момента её образования по таким предположениям могут находиться приблизительно от 1000 до 100000 антизвёзд в виде шаровых скоплений. Из-за нахождения этих шаровых скоплений в гало галактики, наблюдать рентгеновское излучение достаточно проблематично, но возможно наблюдать потоки антиметеоритов или антиядер в космических лучах[7].

Несмотря на это, формирование привычных нам астрономических объектов - к примеру, тех же шаровых скоплений - в домене антибарионов невозможно: в процессе эволюции химического вещества в область постоянно поступают продукты нуклеосинтеза других звёзд извне. Таким образом, при схожем формировании астрономических (анти)объектов, всё антивещество бы проаннигилировало веществом, поступающим из внешних источников.

Отсюда следует, что процессы, происходящие внутри регионов антивещества в ходе его эволюции, отличны от тех, происходящих с веществом. Однако в ранней Вселенной в домене антивещества будут происходить процессы первичного нуклеосинтеза, что ведёт за собой образование антигелия.

Заключение

Исходя из вышеописанных рассуждений, можно сделать вывод, что домены антивещества не эволюционируют так же, как вещество. В дальнейшем планируется более подробно изучить процесс химической эволюции внутри доменов антибарионов, а так же подкрепить выводы математическими расчётами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Paul Adrien Maurice Dirac. A theory of electrons and protons. *royalsocietypublishing*, 1930.
2. Alexander Hellems. Putting antimatter on the scales. *Science*, 1998.
3. Mitja Fridman Saurya Das, Gaetano Lambiase, and Elias C. Vagenas. Baryon asymmetry from the generalized uncertainty principle. *arXiv*, 2022.
4. Mikhail Shaposhnikov Laurent Canetti, Marco Drewes. Matter and antimatter in the universe. *arXiv*, 2012.
5. G. M. Shore M. Charlton, S. Eriksson. Testing fundamental physics in antihydrogen experiments. *arXiv*, 2020.
6. K. M. Belotsky, Yu. A. Golubkov, M. Yu. Khlopov, R. V. Konoplich, and A. S. Sakharov. Anti-helium flux as a signature for antimatter globular clusters in our galaxy. *arXiv*, 2000.
7. Maxim Yu. Khlopov. Nonstandard cosmological scenarios. *viauca*, 2016.