

ХИМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ДОМЕНОВ АНТИБАРИОНОВ В РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ

Первичный отчёт

Введение

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

$$i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t} = [c(\hat{a}_x\hat{p}_x + \hat{a}_y\hat{p}_y + \hat{a}_z\hat{p}_z) + mc^2\hat{\beta}]\psi, \quad (1)$$

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, 5].

Исходя из этого, логично предположить и равность количества барионов и антибарионов, однако в данном случае теоретически полученные данные не совпадают с наблюдательными. На сегодняшний день известно, что видимая часть Вселенной, вопреки ожиданиям, в большинстве своём состоит из материи, а не из равного количества материи и антиматерии. [3]

Причины барионной асимметрии Ранней Вселенной до сих пор неизвестны и данная проблема весьма актуальна на сегодняшний день.

Математически барионная асимметрия Вселенной (далее - БАВ) может быть определена как разность между количеством барионов и антибарионов, делённая на их сумму в момент, когда антипротоны ещё не исчезли из первичной

плазмы. Но учитывая факт того, что продуктами аннигиляции в большинстве своём являются фотоны, а антибарионов в видимой части вселенной нет, уравнение для БАВ может быть определено, как отношение барионов к фотонам:

$$\eta = \frac{N_B}{N_\gamma} \Big|_{T=3K} = \frac{N_B - N_{\bar{B}}}{N_\gamma} \Big|_{T=3K} \sim \frac{N_B - N_{\bar{B}}}{N_B + N_{\bar{B}}} \Big|_{T \geq 1 GeV}. \quad (2)$$

В последнем выражении температура выражена через ГэВ, где $1 \text{ ГэВ} \approx 1.16 \times 10^{13} K$. [2]

Здесь η является фундаментальной константой и равняется 10^9

Для возникновения такой асимметрии должны быть удовлетворены три условия, предложенные А. Д. Сахаровым: I - Отсутствие закона сохранения барионного заряда; II - Отличие частиц от античастиц (СР-инвариантность); III - отсутствие локального термодинамического равновесия. [4]

В настоящее время наиболее вероятной причиной возникновения БАВ считается нарушение СР-симметрии, (all the three conditions are needed!) в результате которой в ранней Вселенной образовалось (2):

$$\eta = \frac{N_B - N_{\bar{B}}}{N_B} \Big|_{T=3K} \approx \beta.$$

Величина диспропорции между материей и антиматерией составляет примерно $10^9 + 1$ к 10^9 , что соответствует избытку в 1 частицу на каждый миллиард античастиц. Исходя из этого, можно предположить, что при остывании Вселенной всё антивещество аннигилировало с веществом, производя огромное количество фотонов, которое затем сформировало реликтовое излучение, оставляя одну миллиардную долю частиц, составляющую сейчас нашу Вселенную.

Очевидно, что данная гипотеза не является подтверждённой, и, более того, имеет достаточно противоречий. Другое предположение основано на наличии антивещества за пределами видимой части Вселенной, в том числе и сконцентрированного в космических объектах, идентичных тем из материи - звёздах, планетах, галактиках. Однако на границах регионов вещества и антивещества должна наблюдаться аннигиляция с выделением огромного количества фотонов, чего в данный момент обнаружить так же не удалось. (It is not your task - our approach is to consider regions with antibaryon excess in baryon asymmetric Universe!)

[1] P. A. M. Dirac. A theory of electrons and protons. *royalsocietypublishing*, 1930.

[2] A. Hellemans. Putting antimatter on the scales. *Science*.

- [3] M. S. Laurent Canetti, Marco Drewes. Matter and antimatter in the universe. *arXiv*, 2012.
- [4] A. Sakharov. Baryon asymmetry of the universe. *eliv*, 1967.
- [5] M. F. Saurya Das, G. Lambiase, and E. C. Vagenas. Baryon asymmetry from the generalized uncertainty principle. *arXiv*, 2022.