

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

Проявление аксионоподобных моделей

Научный руководитель
д. ф-м. н.

_____ М. Ю. Хлопов

Студент

_____ Э. М. Ульмаскулов

Москва 2021

1 Введение

Аксион – гипотетическая элементарная частица, постулированная теорией Печчи-Куинна в 1977 году для решения проблемы сильного CP-нарушения в квантовой хромодинамике. Это нарушение проявляется в так называемом θ -члене в лагранжиане КХД.[1]

$$\Delta L = \frac{g^2}{16\pi} \theta_{\text{КХД}} G_{\mu\nu} \tilde{G}_{\mu\nu} \quad (1)$$

Если аксионы существуют и имеют низкую массу в определенном диапазоне, они представляют интерес как возможный компонент холодной темной материи.

В теории аксиону соответствует фаза θ комплексного хиггсовского поля. Это поле приобретает ненулевое среднее значение в горячей Вселенной при температуре T_F (где F – энергетическая шкала нарушения $U(1)$ симметрии), когда происходит нарушение $U(1)$ симметрии. Значение фазы при этом произвольно и может меняться от точки к точке. Обход фазы на 2θ выделяет особые точки, геометрическим местом которых являются массивные нити. Если фазовый переход с нарушением $U(1)$ симметрии происходит на инфляционной стадии, то пространственное изменение фазы происходит на экспоненциально больших расстояниях и структура нитей оказывается очень редкой.

2 Постановка задачи

Космологические проявления аксионо-подобных моделей

2.1 Домены антивещества в барионной асимметричной Вселенной

Механизм спонтанного бариогенеза предполагает существование сложного скалярного поля $\chi = (f/\sqrt{2})\exp(i\theta)$, несущее барионный заряд. Как и в случае с ALP, явный $U(1)$ симметрия барионного заряда нарушается самопроизвольно и явно. Явное нарушение $U(1)$ симметрии обусловлено фазозависимым членом[2]:

$$V(\theta) = \Lambda^4(1 - \cos\theta) \quad (2)$$

Взаимодействие поля χ с полями материи нарушает барионное и лептонное число:

$$\mathcal{L} = g\chi\bar{Q}L + \text{h.c.} \quad (3)$$

где Q и L – тяжелые кварковые и лептонные поля, связанные с обычными полями материи. фаза θ приобретает динамический смысл и начинает колебаться около минимума своего потенциала (2) распадаясь на поля материи. Взаимодействие (3) приводит к следующему: оно создает барионный

избыток, когда фаза начинает опускаться по часовой стрелке, и избыток антибариона, если он начинает опускаться против часовой стрелки, поэтому избыток барионов или антибариона определяется начальным значением θ , зафиксированным на стадии инфляции определенной(?). Эта специфика проиллюстрирована на рисунке[2]:

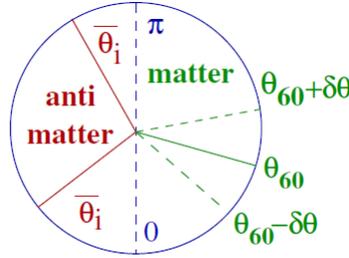


Рис. 1: Эволюция фазы на стадии инфляции вселенной

Если значение фазы θ_N в е-сворачивании (не знаю, как перевести это на русский), соответствующем наблюдаемой части современной Вселенной, находится в диапазоне $[\pi, 0]$, создается чистый избыток барионов, однако на последовательных стадиях инфляции, создается барионная материя, но на последовательных стадиях инфляции вселенной, на каждом последующем е-сворачивании, соответствующем меньшим масштабам, это значение претерпевает изменение

$$\partial\theta = H_{infl}/(2\pi f) \quad (4)$$

,где H_{infl} - параметр Хаббла на инфляционной стадии. Обычный масштаб колебания $\partial\theta$ равен H_{infl}^{-1} . Домен содержащий фазу θ_N , разделяется после одного е-сворачивания на e^3 причинно несвязанные области радиуса H_{infl}^{-1} . Каждая новая область содержит почти однородное значение фазы [2]

$$\theta_{N-1} = \theta_N \pm \partial\theta. \quad (5)$$

Этот процесс повторяется в каждой области с каждым последующим е-сворачиванием, и на некотором шаге N фаза θ_N может пересекать значение π . В этой области направление убывания к минимуму потенциала (Рис2) - против часовой стрелки, и в этой области генерируется избыток антибарионов, окруженный избытком барионов за ее пределами.

2.2 Звезды из антиматерии

В случае, когда в процессе бариосинтеза доминирует нарушение CP, вызванное аксионом, плотность антивещества в выживших доменах должна быть больше средней плотности барионов. Достаточно плотные домены антивещества могут развиваться в антибарионные объекты, которые могут присутствовать в нашей Галактике[3].

Стоит обратить внимание на то, что изолированный домен не может образовывать астрономический объект, меньший, чем шаровое скопление. Изолированная антив звезда не может образоваться в окружающей материи, так как ее образование подразумевает развитие тепловой неустойчивости, во время которой холодные облака сжимаются горячим газом. Давление газа горячей материи на облако антивещества сопровождается аннигиляцией антивещества. Таким образом, антив звезды могут образовываться только в окружающей антивеществе, что может иметь место, когда такое окружение имеет, по крайней мере, масштаб шарового скопления. Следует ожидать обнаружения объектов из антивещества среди старейшего населения Галактики. Он должен находиться в гало, так как из-за сильной аннигиляции антивещества и газа вещества образование вторичных объектов антивещества в дисковой составляющей нашей Галактики невозможно[4].

Список литературы

1. *M.Yu.Khlopov*. Fundamentals of Cosmoparticle..M. — 2011.
2. *M.Yu.Khlopov*. Cosmoparticle physics of Dark Universe. — 2021.
3. *M.Yu.Khlopov*. Gravitation Cosmology. 4, 69. — 1998.
4. *K.M.Belotsky Yu.A.Golubkov M.* Gravitation Cosmology. // AMS-Shuttle test for antimatter stars in our Galaxy. — 1992. — Т. 5. — С. 47—53.