МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

(НИЯУ МИФИ)

ФАКУЛЬТЕТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

КАФЕДРА ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Рефератпо космомикрофизике на тему:

**«Mirror world with *mn<(mp-me)*»**

Выполнил:

группа: M16-115

студент: БудаевР. И.

Преподаватель:

ХлоповМ.Ю.

г. Москва

2016

**Введение**

В 1957 году был проведен знаменитый опыт Ву, показавший несохранение P-четности. Для восстановления эквивалентности правых и левых систем координат пространственное отражение должно сопровождаться заменой частиц на зеркальные партнеры. Ли, Ландау и др. в 1957 году предложили на роль зеркальных частиц античастицы, то есть C-сопряженные. Однако после открытия нарушения CP-четности в 1964 году стало ясно, что зеркальными партнерами не могут быть античастицы [1].

В 1966 году Кобзарев, Померанчук и Окунь [2]показали, что зеркальные частицы не могут обладать электромагнитным и сильным взаимодействиями обычных частиц, так как это приводило бы к увеличению числа состояний электрона в атоме и другим эффектам, не обнаруженным на практике (то есть противоречило бы наблюдениям). С открытием W, Z- бозонов стало ясно, что зеркальные частицы не могут обладать и обычным слабым взаимодействием, а могут обладать только обычным гравитационным (и своим набором "зеркальных" взаимодействий). Единственным "мостом" между обычными и зеркальными частицами может быть нейтральная по сохраняющемуся электрическому заряду частица с ненулевой массой. **[photon kinetic mixing ?}** Если нейтрино имеет массу, и имеет место смешивание обычного и зеркального нейтрино, то именно оно может стать "мостом". Пока такого смешивания не обнаружено.

В 80'х годах вышел ряд работ Блинникова и Хлопова [3], в которых было показано, что наличие целого зеркального мира с массами частиц и константами связи своих, "зеркальных" взаимодействий, равными нашим, привело бы к противоречию с наблюдательными данными. Однако предположение о некотором отличии зеркального мира от нашего может сильно изменить эту картину. В моделях зеркальных миров, отличных от наших, роль темной материи могут играть некоторые зеркальные частицы и даже астрономические объекты из зеркальных частиц.

В данном реферате рассматривается модель зеркального мира, в котором *mn<(mp-me)*.

**Космологическая эволюция ранней вселенной**

Рассмотрим сначала зеркальный мир, который отличается от нашего только тем, что разность масс нейтрона и протона *Δmn-p* имеет обратный знак (напомним, что в нашем мире *Δm ≈ 1,3МэВ*. При это мы полагаем, что рассматриваемый зеркальный мир включает те же механизмы инфляции, бариосинтеза и др., что и наш.

Так, для реализации механизма инфляции вводится скалярное инфлатонное поле. В случае зеркального мира вводятся два инфлатонных поля: для обычных и для зеркальных частиц. При этом, чтобы удовлетворить космологическому ограничению на число сортов частиц (из наблюдательных данных по первичному гелию), мы полагаем температуру зеркальных частиц на момент отцепления наших частиц достаточно низкой, что означает, что инфляция зеркальных частиц произошла и закончилась несколько раньше, чем в нашем мире. Также, с целью объяснения темной материи частицами зеркального мира, мы полагаем плотность зеркальных частиц выше, чем плотность частиц нашего мира.

Для реализации механизма бариосинтеза в нашем мире может быть использован механизм see-saw образования малой майорановской массы нейтрино, при которой возникает тяжелое состояние нейтрино, процессы с участием которого нарушают лептонное число. Впоследствии это лептонное число распределяется между лептонами и барионами вследствие сфалеронных процессов, сохраняющих B-L=0. Такой же механизм бариосинтеза предполагается и для зеркальных частиц. Заметим, что, поскольку мы полагаем *Δm ≪ TB*, где *TB* - температура при бариосинтезе (*TB > 100 МэВ*), то избыток барионов в зеркальном мире можно положить равным избытку барионов в обычном мире. **[You assume mirror matter colder, what can make mirror baryon excess larger for the same mechanism of baryiosynthesis]**

Тот факт, что протон теперь тяжелее суммы масс нейтрона и электрона (масса которого равна массе позитрона):

*mp>mn+me* (1)

Повлияет, во-первых, на соотношение концентраций *n/p* на момент закалки (*Tf ~ 1МэВ*, *t ~ 1с* с Большого Взрыва), даваемое соотношением:

*n/p=exp(-Δm/Tf) ≈ 6 => p/n ≈ 1/6* (2)

При *Δm<0* остаточная концентрация нейтронов будет превосходить концентрацию протонов.

Во-вторых, исходя из формулы (1), становится возможным процесс распада протона:

*p → n + e+ + νe* (3)

И наоборот, нейтрон становится стабильной частицей (ему не на что распадаться).

К моменту начала нуклеосинтеза (*t ~ 1с*) имеется некая концентрация протонов, и в 6 раз большая концентрация нейтронов. Протоны при этом распадаются с производством нейтронов и позитронов, а также нейтрино, а время жизни протона можно найти по формуле:**[numerical factor is missed in this formula]**

$τ\_{p}= \frac{1}{G\_{F}^{2} Δm^{5}}≈15 мин$ (4)

За *3 минуты*, в течение которых идет нуклеосинтез, успевает распасться около *10%* протонов, что приводит к изменению отношения *p/n ≈ 1/7*.

В процессе нуклеосинтеза в результате термоядерных реакций нейтронов с протонами образуются сначала ядра дейтерия:

*n + p → D + γ* (5)

А затем и более тяжелыe ядра гелия, лития и других:

*n + D → T + γ* (6)

*D + D → T + p* (7)

*D + T → 4He + n* (8)

*p + T →4He + γ* (9)

*p + D →3He + γ* (10)

*D + D →3He + n* (11)

*T + 4He →7Li + γ* (12)

Их относительные концентрации можно оценить по формулам:

*X(n) = (1-p/n) / (1+p/n) ≈ 0,75* (13)

*X(4He) = (2p/n) / (1+p/n) ≈ 0,25* (14)

Таким образом, после эпохи нуклеосинтеза Вселенная в основном состоит из нейтральных стабильных нейтронов и ядер гелия. Более тяжелые ядра представлены в значительно меньшей концентрации.

**Образование галактик и звезд**

Основной составляющей в рассматриваемом зеркальном мире будут нейтроны. Поскольку они электрически нейтральны, они почти не будут терять энергию в процессе "трения" межгалактического газа, вследствие чего они будут слабо оседать в гравитационно-связанные системы и не будут формировать галактики.Нейтроны могут формировать только сферически-симметричные гало, но не дисковые структуры, то есть по своим свойствам нейтроны оказываются близкими к темной материи. В таком случае нейтроны будут столкновительной темной материей с сечением взаимодействия порядка размера нейтрона. Как показано в [4], заметное отклонение от сферичности гало в случае столкновительной темной материи может быть замечено при:

$\frac{σ}{m}∼1 см^{2}/г$ (15)

Для нейтронов соотношение (15) равно ∼ 0.01 см2/г, следовательно, не ожидается заметного отклонения формы гало из зеркальных нейтронов от сферически-симметричных.

Галактики же будут формироваться, в основном, из дважды положительно заряженного гелия. Концентрация гелия в 3 раза меньше концентрации нейтронов, однако меньшие скорости движения ядер гелия из-за большей массы, и больший электрический заряд, позволяющий им терять энергию в диссипативных процессах, приведут к более быстрому оседанию гелия в галактики. Можно ожидать, что к современному моменту в зеркальном мире в галактики будет собран больший процент вещества вселенной, чем в нашем мире (около нескольких %). **[All that should be discussed more accurately]**

Спустя длительное время образования клампов из зеркальных нейтронов плотность таких сгустков может оказаться достаточной для начала термоядерных реакций в них – горения нейтронов аналогично горению водорода в наших звездах. В отличие от горения водорода, горение нейтронов не связано с преодолением потенциального барьера (нейтроны нейтральны), поэтому достижения пороговой температуры не требуется и не требуется образования горячего ядра. Таким образом, можно ожидать, что зеркальные нейтроны по объему клампа начнут медленно "сгорать", выделяя энергию через зеркальные гамма-кванты и нейтрино, с образованием дейтерия и затем гелия. **{all that is correct if mass of 2n is larger than mass of D and this burning is energetically favorable. Is it so?]**

В зеркальных галактиках формирование звезд ожидается только из гелия, который, как известно, начинает "гореть" в термоядерных реакциях при гораздо больших температурах, чем водород. Большинство сгустков в зеркальных галактиках будет иметь недостаточную для начал горения гелия массу и образуют гелиевые карлики, в которых электроны (до ионизации состоявшие в атомах гелия) образуют вырожденный газ, в который погружены полностью ионизированные ядра гелия с температурой, недостаточной для преодоления потенциального барьера и начала термоядерных реакций. Некоторые редкие сгустки будут иметь большую массу, достаточную для образования звезды, в центре которой будет гореть гелий. Такие звезды будут подобны звездам в нашем мире, с той разницей, что их количество будет намного меньше.

**Кандидат на роль темной материи**

Очевидно, в рассматриваемой модели роль темной материи могли бы выполнять нейтроны, концентрация которых в 3 раза превышает концентрацию зеркальных ядер гелия, и которые образуют сферически-симметричные гало вокруг галактик. Возможно, что рассматриваемая модель зеркального мира совместима с имеющимися наблюдательными данными, если полагать нейтроны зеркального мира за темную материю.

**Заключение**

Была рассмотрена модель зеркального мира с *mn<(mp-me)*. Показано, что при определенном выборе начальных данных и предположений (о механизме инфляции и бариосинтеза в зеркальном мире, о концентрации и температуре отцепления зеркальных частиц и др.) такая модель может быть совместима с известными наблюдательными данными. Наибольший интерес в такой модели представляет собой формирование структур: гало, галактик, звезд и подобных астрономических объектов, поскольку эти процессы в зеркальном мире сильно отличаются от известных процессов в нашем мире. Показано, что кандидатом на роль нашей темной материи могут служить зеркальные нейтроны, которые имеют достаточную плотность, почти стабильны и образуют гравитационно связанные сферически-симметричные гало и клампы.

**Список литературы**

[1] "CP Violation" / Edited by: L. Wolfenstein // ISBN: 978-0-444-88114-4

[2] Кобзарев И.Ю., Окунь Л.Б., Померанчук И.Я., ЯФ 3 1 154 (1966) [Kobzarev I Yu, Okun L B, Pomeranchuk I Ya Sov. J. Nucl. Phys. 3 837 (1966)]

[3] Блинников С.И., Хлопов М.Ю., "О возможных проявлениях "зеркальных" частиц" *ЯФ* **36** 809 (1982)

[4] R Massey et al. / The behaviour of dark matter associated with four bright cluster galaxies in the 10 kpc core of Abell 3827 // MNRAS (2015) 449 (4)

**Bibliography should be ore extensive**