МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»**

Кафедра № 40 «Физика элементарных частиц»

**Зеркальный мир без слабого взаимодействия**

Выполнил:

Студент: Козлова Е.С.
Группа: М16-115

Москва 2016г.

**Введение**

Теория зеркального мира впервые была предложена в 1956 году Ли и Янгом для объяснения нарушения Р-чётности. В своей работе для восстановления симметрии между правой и левой системой координат, они выдвинули предположение о существовании зеркальных партнеров обычных частиц[1]. Подобная модель может использоваться для решения некоторых современных космологических задач, как, к примеру, объяснения феномена скрытой массы (одна из теорий утверждает, что тёмная материя может состоять из зеркальных частиц).
Условием модели зеркального мира является фактическое отсутствие иного взаимодействия, кроме гравитационного, между «обычными» и зеркальными частицами. Ещё допустимо кинетическое смешивание[2] обычных и зеркальных фотонов или превращение обычных частиц в зеркальные с испусканием частицы Холдома и взаимодействие с катоптронами.[3]**[please, say a few words about these transitions]**

В данном реферате рассматривается мир без слабого взаимодействия – т.е. мир, описывающийся SU(3)\*U(1) группой. В процессе рассмотрения было принято предположение, что массы и все заряды частиц, а так же константы взаимодействия, остаются неизменными.

**Последствия модели**

Основными следствиями модели являются[4]:
- Стабильность нейтронов по причине отсутствия моды распада
- Стабильность - мезонов (т.к. отсутствуют W и Z – бозоны) и мюонов;

- Стабильность всех кварков и лептонов;

- Сохранение С, Р и СР-чётности (кроме случая сильного СР-нарушения);

- Все кварки, в том числе и t-кварк, смогут образовывать адроны; **[stable ?]**

- Нейтрино сможет участвовать только в гравитационном взаимодействии.

**Инфляция и бариосинтез**

Инфляция: Данная модель не включает в себя инфляцию, но даёт возможность рассмотреть постинфляционный разогрев.(скорость распада инфлатона и термализации будут ниже, чем в реальном мире).
Будем считать, что инфлатон обладает определённой зеркальностью, т.е. должно существовать два инфлатонных поля — обычное φO и зеркальное φM. Примем их начальные энергии и массы одинаковыми. Масса инфлатона принята равной mφ ~10-6 MPl~1013 ГэВ.[5-6]
Оценим температуры разогрева:**[how did you obtain these values ?]**

TrO ≤ 10-1 (mφ ·MPl)1/2 ~1015 ГэВ;

TrM ≤ 10-1 mφ ~1012 ГэВ.

После распада обычного зеркальный инфлатон ещё не успеет распасться и будет доминирующей формой материи в течение продолжительного времени. **[if mirror inflaton continues to drive inflation, the heated ordinary matter is exponentially suppressed]**

Бариосинтез: Допустим предположение о том, что асимметрия в теневом и нашем мире одинаковы (последствия модели проявятся позже, чем одна миллисекунда, т.е. модель не оказывает последствий на кварковую асимметрию). Сама барионная асимметрия может объясняться моделью спонтанного бариосинтеза[7], которая согласуется с моделью подобного зеркального мира[1]. **[ ?]**

**Нуклеосинтез**

Рассмотрим два случая: теневой мир отдельно (№1) и предположение о том, что совместно с нашим миром существует ещё и теневой (№2).

При отсутствии слабого взаимодействия рождение нейтрино возможно только при гравитационных взаимодействиях при высоких энергиях, а это достаточно маловероятно, т.е., концентрация нейтрино очень мала.[8] Оценим её.

Рассмотрим рождение нейтрино в реакциях с любыми двумя частицами через гравитон[9]:

υ

i

G

υ

j

Оценим концентрацию:

Как видно из расчётов выше, концентрация нейтрино, рождённых таким образом, действительно невелика.

Как указано выше, - мезоны и мюоны стабильны (отсутствуют основные моды распада), и, следовательно, они могут участвовать в образовании атомов. **[K, B, … mesons, all the hyperons, tau-leptons are also stable and form atoms.]** В целом в образовании атомов будут участвовать и другие кварки, и барионы чаще всего будут иметь кварковый состав (q1q1qi), а мезоны — (q1 qi͞ ), где qk ­и qi͞ — соответственно кварк и антикварк i-го поколения. В меньших количествах будут присутствовать и другие адроны. Так же смогут образовываться барионы из двух тяжёлых и одного лёгкого кварка[10-11]. **[Can you estimate the excess of different quark species at the given mirror baryon asymmetry?]**

**To make your life easier, I’d like to propose you to say here that to make your analysis more definite, you neglect in the future analysis effects of the 2d and 3d families and restrict your consideration by only the 1st family**

До момента закалки пионов, происходящего раньше закалки n/p (), соотношение n/p меняться не будет.
Поддержание объясняется двумя факторами:

* Нейтральные пионы будут распадаться по электрослабому **[you don’t have weak interaction]** взаимодействию;
* Но так как в зеркальном мире присутствуют стабильные нейтроны и протоны, заряженные мезоны смогут переходить в нейтральные посредством реакции перезарядки нуклонов,

π+ + n → π0 + p;

π- + p → π0 + n;

в то время как обратный процесс будет подавлен за счет малой концентрации π0 из-за их быстрого распада по электромагнитному взаимодействию.

Рассчитаем более точно температуру и концентрацию на момент закалки.

Рассмотрим две версии: существование зеркального мира «отдельно» и совместно с реальным.
**1.** Зеркальный мир «отдельно»:
Закалка :

После преобразования получаем уравнение Ламберта, имеющее решение:

,

Член вносит заметно больший вклад, чем , поэтому пренебрегаем.

 Закалка отношения n/p:

Концентрация фотонов на момент закалки:

Итого получаем:
1) Температура закалки пионов:

3.11 МэВ

2) Концентрация пионов на момент закалки:

3)Температура закалки :

3.11 МэВ

Закалённое соотношение:

Считаем, что концентрация барионов сформировалась так же, как и в реальном мире, получаем концентрацию первичного гелия:

Из полученных результатов можно прийти к двум выводам:
1) В мире будут существовать мезоатомы на основе заряженных пи-мезонов;
2)Концентрация первичного гелия в 3.5 раза выше, а концентрация водорода - в 3 раза меньше.

**2.**Для закалённого соотношения имеем:

Эффективное число сортов частиц по отношению к фотону[8]:

-«Реальный» мир:

-Плюс теневой:

Для температуры закалки[5]: Т~κ1/6

Эффективное число сортов частиц для теневого мира:

Число, получаемое для 1.5 дополнительных сортов нейтрино:

На момент закалки

Получаем:

Около 1/10 части нейтронов распадётся до объединения с протонами в дейтерий:

Теперь рассмотрим возможность такой модели мира.
Она невозможна по двум причинам:

1) Число эффективных сортов – 2.75, а для максимально возможных 1.5 число равно 2.3125;

2)Количество первичного гелия выше критического (27.1% против 26%).

**How does the evolution of your mirror world looks like after nucleosynthesis? In fact, you must consider all the stable species of quark matter as well as all the forms of muon and tau ”atoms”.**

**Заключение**

В реферате рассмотрена модель зеркального мира без слабого взаимодействия. При принятии модели «наш мир + зеркальный» получаются результаты, не соответствующие реальности – но, с другой стороны, если говорить о скрытой массе, то вполне возможно, что подобный зеркальный мир является одной из её частей.
При рассматривании модели зеркального мира отдельно мы получаем иное развитие Вселенной (другие концентрации существующих веществ и появление абсолютно новых, например, мезоатомов с пи-мезонами или tt и ttt частиц [12-13]).

**Since you still consider 3 families in your mirror world, you should stipulate all the forms of stable species, including those that are formed by quarks of 2d and 3d families**

**Список литературы**

1. И. Ю. Кобзарев, Л. Б. Окунь, И. Я. Померанчук. О возможности экспериментального обнаружения зеркальных частиц. ЯФ 3 1154 (1966).
2. Biswajoy Brahmachari and Amitava Raychaudhuri, Kinetic mixing and symmetry breaking dependent interactions of the dark photon,  arXiv:1409.2082v1 , 2014
3. George Triantaphyllou, Mass generation and the dynamical role of the Katoptron Group, Mod.Phys.Lett. A16 (2001) 53-62
4. R. Harnik, G. D. Kribs, G. Perez. A universe without weak interactions. Phys. Rev. D 74, 035006 (2006).
5. A. D. Linde. Particle physics and inflationary cosmology. Harwood Academic Publishers, Chur, Switzerland (1990).
6. R. Allahverdi, R. Brandenberger, F.-Y. Cyr-Racine, and A. Mazumdar. Reheating in Inflationary Cosmology: Theory and Applications. Ann.Rev.Nucl.Part.Sci. 60, 27-51 (2010).
7. A. Dolgov, K. Freese, R. Rangarajan, M. Srednicki. Baryogenesis during reheating in natural inflation and comments on spontaneous baryogenesis. Phys.Rev. D 56, 6155-6165 (1997).
8. Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков. Введение в теорию ранней Вселенной: Теория горячего Большого взрыва. М.: ЛКИ (2006).
9. Jonathan Miller, Quasi-classical Gravity effect on neutrino oscillations in a gravitational field of a heavy astrophysical object, Adv. High Energy Phys. 2015 (2015) 381569
10. A. Vairo. Effective field theories for baryons with two- and three-heavy quarks. Few Body Syst. 49 263-268 (2011).
11. B. Eakins, W. Roberts. Symmetries and systematics of doubly heavy hadrons. Int.J.Mod.Phys. A27 1250039 (2012).
12. I.M. Narodetskiy, Yu.A. Simonov, A.I. Veselov. Heavy Quark Bound States Above Deconfinement. Phys. of Atom. Nucl.74 470-476 (2011).
13. Yu Jia. Variational study of weakly coupled triply heavy baryons. JHEP 0610 (2006).
14. Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков. Введение в теорию ранней Вселенной: Космологические возмущения. Инфляционная теория. М.: КРАСАНД (2010).
15. Емельянов В. М., Белоцкий К. М., Лекции по основам электрослабой модели и новой физике. Москва : МИФИ, 2007
16. Емельянов В.М., Стандартная модель и ее расширения, Москва: Физматлит, 2007
17. М. Ю. Хлопов. Основы космомикрофизики. М.: Едиториал УРСС (2011).