

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ» (НИЯУ МИФИ)

УДК 524.35

ОТЧЁТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

**Космологическая эволюция частиц образованных
новыми стабильными кварками**

Научный руководитель
д.ф.-м.н., профессор

_____ М. Ю. Хлопов

Выполнил

_____ М. А. Поволоцкий

Москва 2021

Оглавление

1	Введение	2
2	Модель Глэшоу	2
3	Этапы эволюции в модели “Sinister universe”	3
4	Результаты в случае зарядовой асимметрии	4
5	Заключение и дальнейшие цели	5
	Список использованных источников	6

1 Введение

Сегодня космологическая эволюция частиц образованных новыми стабильными кварками представляет большой интерес для исследования. Согласно космологическим данным большая часть массы сегодняшней материи во вселенной представлена неизвестным веществом. Современная физика не дает точного объяснения данного факта. Для решения данного вопроса предлагаются различные модели и гипотезы о происхождении и свойствах данного вещества. Одной из предлагаемых гипотез является существование 4-го поколения тяжелых частиц, которые могут входить в состав скрытой массы. В данной работе обозрена и рассмотрена космологическая эволюция подобного типа частиц в рамках механизмов предложенных в [1]. Эта работа является подробным рассмотрением модели "Sinister Universe" предложенной Глэшоу [2], которая как было показано имеет ряд нерешенных проблем.

2 Модель Глэшоу

Один из возможных вариантов ввести частицы 4-го поколения и описать их эволюцию это модель "Sinister Universe" $SU(3)_c \times SU(2) \times SU(2)' \times U(1)$. В этой модели есть самый легкий в своем поколении тяжелый кварк U или его антипартнер \bar{U} которые могут формировать связанные состояния при помощи Кулон-подобного КХД взаимодействия энергия связи которого много больше энергии связи КХД-конфайнмента. Кроме того в соответствии с этой моделью существует тяжелый электрон E^- , который может образовывать связанные стабильные состояния $(UUUEE)$ и нестабильное N нейтрино. Предполагается что структуры $(UUUEE)$ могут являться кандидатом на скрытую массу.

В условиях начальной зарядовой асимметрии в стандартном нуклеосинтезе вещество эффективно аннигилирует с антивеществом что приводит к подавлению антивещества веществом. Основной проблемой модели [2] является тот факт что хотя U и аннигилирует в ней с \bar{U} , такой механизм для аннигиляции E^- с E^+ не работает. Это происходит из-за того, что ядра гелия, в большом количестве образовавшиеся в стандартном нуклеосинтезе, захватывают все свободные E^- с образованием ионов $({}^4HeE^-)^+$. Из-за этого E^- не участвуют в дальнейших реакция аннигиляции E^+E^- и

связывании EU . В следствии этого в современной Вселенной должно наблюдаться большое количество гибридных систем тера-позитрония eE^+ и ионов $({}^4HeE^-)^+$. Это не подтверждается современными данными наблюдений.

3 Этапы эволюции в модели “Sinister universe”

Опишем вкратце основные этапы эволюции Вселенной начиная с барионной асимметрии, рассмотренные в статье [1]:

1. Аннигиляция пар U и \bar{U} и последующая закалка не успевших проаннигилировать пар.
2. Аннигиляция пар E^+E^- и последующая закалка.
3. Образование $U\bar{U}$ “тера-чармониев” путем КХД Кулон-подобного связывания и их незамедлительная аннигиляция. Этот процесс достаточно эффективен чтобы подавить большинство $U\bar{U}$ пар.
4. Связывание U -кварков в UU -дикварки и UUU -адроны.
5. КХД-фазовый переход. Рекомбинация UU и аннигиляция $U\bar{U}$ в адронах.
6. Связывание положительно заряженных U -адронов с E^- и как следствие образование “атомов” тера-гелия.
7. На этом этапе должно происходить образование тера-позитрония E^+E^- с последующей аннигиляцией. Данный процесс не является достаточно эффективным для чтобы уменьшить количество пар E^+E^- .
8. Гелий образованный в стандартном нуклеосинтезе захватывает все свободные E^- с образованием ионов гелия $({}^4HeE^-)^+$.
9. На этом этапе должен происходить pE захват, но такой процесс оказывается невозможен из-за того, что все E^- к этому моменту находятся в связанном состоянии с ядрами гелия из-за чего создающееся Кулон-экранирование не дает E^- вступить в связь с любой положительно заряженной частицей.
10. На этом этапе происходит образование атомов аномального гелия.

11. В последний рассматриваемый промежуток происходит формирование обычного водорода сопровождающееся образованием аномально-го позитрония и аномальных атомов водорода.

4 Результаты в случае зарядовой асимметрии

Здесь приведены результаты работы [1], а именно состав "Sinister universe" при $t \sim 1s$ для случая зарядовой асимметрии полученные с помощью методов разработанных и изложенных в данной работе:

1. Свободные E с $r_E = 1.08 \cdot 10^{-13}$ при $S_6 \sim 1$, а также $(1.4 \cdot S_6 - 0.32/S_6) \cdot 10^{-13}$ при $S_6 \gg 1$ стремится к $4 \cdot 10^{-16}/S_6$ при $S_6 \rightarrow 0.2$.
2. Свободные E^+ с $r_{E^+} = 1 \cdot 10^{-13}$ при $S_6 \sim 1$, которая растет вплоть до $(1.4 \cdot S_6 - 0.4/S_6) \cdot 10^{-13}$ при $S_6 \gg 1$ и падает до $1.6 \cdot 10^{-21}$ при $S_6 = 0.2$.
3. Нейтральные $(UUUEE)$ "тера-гелиевые атомы" (с $r_{(UUUEE)} \approx 3.6 \cdot 10^{-14}/S_6$ при $S_6 \geq 1$, с ростом до $3.96 \cdot 10^{-14}/S_6$, когда S_6 падает до 0.2) с неопределенной примесью (до 10%) первого и второго гибридных атомов тера-гелия $(UUuEE)$ и $(UuuEE)$. Минимальная оценка для этой примеси составляет $r_{(UUuEE)} \sim r_{(UuuEE)} \sim 10^{-20}$. Если (Uud) легчайший U -адрон, должны быть нейтральные гибридные атомы тера-водорода с минимальным количеством $r_{(UudE)} \sim 10^{-20}$.
4. Заряженные $(UUUE)^+$ "тера-гелиевые ионы" с $r_{(UUUE)} \approx 4 \cdot 10^{-15}/S_6$ при $S_6 \geq 1$ и до $r_{(UUUE)} \approx 4 \cdot 10^{-16}/S_6$ при $S_6 \approx 0.2$.
5. Свободный с двойным зарядом (UUU) чистый тера-гелий с $r_{(UUU)} \approx 4 \cdot 10^{-16}/S_6$ for $S_6 \geq 1$ и стремится к $r_{(UUU)} \approx 4 \cdot 10^{-18}/S_6$ при $S_6 \rightarrow 0.2$.
6. Теоретически неопределенное количество двухзарядных «первых гибридных ионов тера-гелия» (UUu) - остатков адронной рекомбинации с распространенностью в диапазоне $10^{-20} \leq r_{(UUu)} \leq 4 \cdot 10^{-15}/S_6$. Примем для определенности минимальную оценку $r_{(UUu)} = 10^{-20}$.

7. Теоретически неопределенное количество легчайшего «терабариона» (Uqq) ((Uuu) или (Uud)) $10^{-20} \leq r_{(Uqq)} \leq 4 \cdot 10^{-15}/S_6$. Минимальная оценка которого $r_{(Uqq)} = 10^{-20}$ принимается за определенность.
8. Экспоненциально малое количество стабильных тера-мезонов $(\bar{U}u)$.

5 Заключение и дальнейшие цели

Видно что эволюция Вселенной в рамках модели Глэшоу "Sinister universe" в присутствии зарядовой асимметрии приводит к образованию продуктов не наблюдаемых в современной вселенной. Интересно было бы рассмотреть эволюцию с другими начальными условиями.

Цель исследования, для проведения которого была разобрана статья [1], – рассмотрение случая зарядовой симметрии для эволюции частиц 4-го поколения. Предполагается использование методов разработанных и описанных в вышеупомянутой работе.

Список используемых источников

- [1] Fargion D., Khlopov M. Y. Tera-leptons' shadows over sinister universe //Gravitation and Cosmology. – 2013. – Т. 19. – №. 4. – С. 219-231.
- [2] Glashow S. L. A Sinister Extension of the Standard Model to SU (3) XSU (2) XSU (2) XU (1) //arXiv preprint hep-ph/0504287. – 2005.
- [3] Горбунов Д. С., Рубаков В. А. Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего Большого взрыва. Российская акад. наук, Ин-т ядерных исслед., 2007.