

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  
**КОСМОЛОГИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ СОСТОЯНИЙ,  
ОБРАЗУЕМЫХ ТЯЖЕЛЫМИ СТАБИЛЬНЫМИ  
КВАРКАМИ. ЗАРЯДОВО АСИММЕТРИЧНЫЙ  
СЛУЧАЙ**

Научный руководитель

д. ф-м. н.

Студент

\_\_\_\_\_ М. Ю. Хлопов

\_\_\_\_\_ К. Ю. Массалов

Москва 2021

# Содержание

Введение	3
1 Избыток положительного заряда	3
2 Избыток отрицательного заряда	3
Список использованных источников	5

# Введение

Проблема существования новых семейств кварков и лептонов является одной из важнейших в современной физике высоких энергий. Такие кварки и лептоны могут быть достаточно долгоживущими, чтобы представлять новую стабильную форму материи. В настоящее время существует по крайней мере две модели существования новых тяжелых кварков и лептонов в условиях зарядовой асимметрии. Рассмотрим их.

## 1 Избыток положительного заряда

Модель, предложенная Ш. Л. Глэшоу [1; 2], основывается на калибровочной группе  $SU(3) \times SU(2) \times SU'(2) \times U(1)$  и включает в себя в два раза больше фермионов, чем стандартная модель. То есть кроме 12 известных фермионов и калибровочной группы  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$  вводится 12 тяжелых тера-фермионов и калибровочная группа  $SU(3) \times SU'(2) \times U(1)$ . Также вводится  $CP'$  преобразование, которое связывает легкие фермионы с их зарядово сопряженными тяжелыми партнерами ( $U \rightarrow \bar{u}$ ) и наоборот.

Масса каждого тера-фермиона равна массе его легкого партнера, умноженного на фактор  $S$ , причем отсутствие успехов в поиске новых частиц дает ограничение на  $S$  снизу:

$$S > 2 \cdot 10^5 \quad (1)$$

Соответствующий расчет [1] показывает, что стабильными являются только тера-кварки  $U$ , которые в результате сильного взаимодействия объединяются в  $(UUU)^{++}$ , и тера-электрон  $E^-$ , который, объединяясь с  $(UUU)^{++}$ , образует  $(UUUEE)$ :

$$\begin{aligned} U + U &\rightarrow (UU) + g & U + (UU) &\rightarrow (UUU) + g \\ (UUU) + Ep &\rightarrow (UUUE) + p & (UUUE) + Ep &\rightarrow (UUUEE) + p, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $g$  — это глюон.

Остальные возможные соединения ( $(UUd)$ ,  $(Uud)$ ,  $(Ep)$  и др.) менее выгодны энергетически, в результате чего их концентрация много меньше концентрации  $(UUUEE)$ . Получившийся гелий-подобный атом — один из кандидатов на роль частиц скрытой массы.

Однако в модели возникают проблемы, которые не могут быть решены в нынешней версии. Например проблемой является захват свободного  $E^-$  в  $(4HeE^-)^+$ , что тормозит такую аннигиляцию  $E$  и  $E^+$  и препятствует эффективному уменьшению первичной распространенности тералептона. Даже для минимального значения  $S = 0,2 \cdot 10^6$  прогнозируемое земное содержание аномального водорода превышает экспериментальные верхние пределы более чем на 20 порядков.

## 2 Избыток отрицательного заряда

Предыдущий подход пытается избежать проблем со свободными заряженными частицами темной материи, скрывая противоположно заряженные частицы в атомоподобных связанных системах, которые слабо взаимодействуют с барионной материей. В случае асимметрии заряда с избытком первичных частиц связывание положительных и отрицательных

заряженных частиц никогда не бывает полным, и положительно заряженные тяжелые частицы должны сохраняться. Рекомбинируя с обычными электронами, эти тяжелые положительные частицы приводят к космологическому содержанию аномальных изотопов, превышающему экспериментальные верхние пределы. Чтобы соответствовать этим верхним пределам, аномальное содержание изотопов на Земле должно быть уменьшено, и механизмы такого уменьшения сопровождаются эффектами выделения энергии, которые сильно ограничены, в частности, данными с детекторов большого объема [3].

Другая модель предполагает наряду с избытком вещества избыток  $\bar{U}$  — стабильного антикварка четвертого поколения с массой больше 220 GeV [3; 4]. Кварк четвертого поколения из-за большой энергии связи образует стабильные легкие барионы и антибарионы:  $(Uud)$ ,  $(\bar{U}\bar{u}\bar{d})$ ,  $(UUu)$ ,  $(UUU)$ ,  $(\bar{U}\bar{U}\bar{u})$ ,  $(\bar{U}\bar{U}\bar{U})$ . Последний, так называемый анутиум (anti-U-triple state — anutium или  $\Delta_{3\bar{U}}^{--}$ ) с размером  $r_\Delta \sim 1/\alpha_{QCD} \cdot m_U$  (что много меньше обычного размера адронов  $r_h \sim 1/r_\pi$ ), представляет особый интерес. [ $\alpha_{QCD}$  это постоянная тонкой структуры = 1/137?]

В ранней Вселенной при температурах, значительно превышающих массы  $U$ -кварков, они находились в термодинамическом равновесии с релятивистской плазмой. В процессе расширения и, соответственно, остывания Вселенной часть  $U$ -кварков аннигилировала с  $\bar{U}$ -кварками, но из-за асимметрии  $\bar{U}$ -кварки начали объединяться и образовывать  $(\bar{U}\bar{U}\bar{U})$  с массой порядка 1 TeV, а также небольшую долю состояний  $(\bar{U}u)$  и  $(\bar{U}\bar{U}\bar{u})$ .

При температурах  $T < 100 \text{ KeV}$  (температура синтеза гелия)  $\Delta_{3\bar{U}}^{--}$  начинает объединяться с гелием:

$$\Delta_{3\bar{U}}^{--} + {}^4\text{He} \rightarrow \gamma + ({}^4\text{He}^{++}\Delta_{3\bar{U}}^{--}). \quad (3)$$

В результате все отрицательные заряды связываются с ядром гелия, образуя т.н. О-гелий  $({}^4\text{He}^{++}\Delta_{3\bar{U}}^{--})$  с массой порядка 1 TeV и радиусом

$$R_0 \sim 1/Z_E Z_{He} \alpha m_{He} \approx 2 \cdot 10^{-13} \text{ см}. \quad (4)$$

Такой «атом» может играть роль скрытой массы.

## Список использованных источников

1. *Glashow S. L.* A Sinister extension of the standard model to  $SU(3) \times SU(2) \times SU(2) \times U(1)$  // 11th International Workshop on Neutrino Telescopes. — 04.2005. — С. 539—547. — arXiv: hep-ph/0504287.
2. *Fargion D., Khlopov M.* Tera-leptons' shadows over Sinister Universe // Grav. Cosmol. — 2013. — Т. 19. — С. 219—231. — arXiv: hep-ph/0507087.
3. *Khlopov M. Y.* Composite dark matter from 4th generation // Pisma Zh. Eksp. Teor. Fiz. — 2006. — Т. 83. — С. 3—6. — arXiv: astro-ph/0511796.
4. *Belotsky K., Khlopov M., Shibaev K.* Stable quarks of the 4th family? — 2008. — Июнь. — arXiv: 0806.1067 [astro-ph].