

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

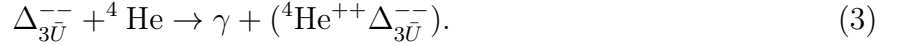
Предыдущий подход пытается избежать проблем со свободными заряженными частицами темной материи, скрывая противоположно заряженные частицы в атомоподобных связанных системах, которые слабо взаимодействуют с барионной материей. В случае асимметрии заряда с избытком первичных частиц связывание положительных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

В ранней Вселенной при температурах, значительно превышающих массы \bar{U} -кварков, они находились в термодинамическом равновесии с релятивистской плазмой. Равновесные концентрации \bar{U} и U пропорциональны соответственно $\exp(\frac{\mu}{T})$ и $\exp(-\frac{\mu}{T})$ [2]. Таким образом при дальнейшем остывании и расширении Вселенной часть \bar{U} -кварков аннигилировала с большей частью U -кварков, а оставшиеся из-за асимметрии \bar{U} -кварки начали объединяться и образовывать $(\bar{U}\bar{U}\bar{U})$ с массой порядка 1 TeV. Также будут образовываться нейтральные состояния $(\bar{U}u)$ и $(\bar{U}\bar{U}\bar{u})^{--}$, концентрацию которых я собираюсь искать в следующем семестре.

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



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].