

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
Факультет Экспериментальной и Теоретической физики  
Кафедра №40 «Физика элементарных частиц»

Реферат по космомикрoфизике на тему:  
«Теневой мир  
с двумя поколениями фермионов»

Выполнил:  
студент группы Т09-40  
Вознюк Никита

Москва, 2013 г.

Зеркальным миром называется материя, присутствующая во Вселенной, которая не имеет никаких общих известных взаимодействий с нашим миром, кроме гравитационного. Изначально предполагалось, что эта материя – полная копия обычной материи, т. е. с тем же составом частиц и теми же взаимодействиями, но только своими (действующими только между зеркальными частицами) и с обратными знаками Р- и СР-нарушений.

Сейчас предполагается, что свойства этого мира всё-таки могут отличаться, т. е. быть "незеркальными", и в этом случае он называется тeneвым.

В нашем случае рассматривается тeneвой мир с 2-мя поколениями частиц (в отличие от нашего, где 3 поколения).

Важное ограничение на зеркальный или тeneвой мир дают данные о первичном содержании  ${}^4\text{He}$ . Эти данные ограничивают количество любой неизвестной материи (в т. ч. тeneвой) на момент первичного нуклеосинтеза (т. е. в период п/р-заковки,  $t \sim 1$  с,  $T \sim 1$  МэВ). Например, сейчас запрещено более 1,5 дополнительных сортов лёгких нейтрино.

В случае тeneвого мира с 2 поколениями, такими же, как первые 2 поколения нашего мира (лептоны,  $u$  и  $d$  кварки, нейтрино), мы имеем 2 лёгких сорта нейтрино  $\nu_e^{\text{mir}}, \nu_\mu^{\text{mir}}$ , тeneвые  $e_{\text{mir}}^+$  и  $e_{\text{mir}}^-$ , тeneвой фотон  $\gamma^{\text{mir}}$ . Из космологических ограничений следует, что такой тeneвой мир на момент  $t \sim 1$  с существовать не мог, а если он сейчас и существует, то должен был родиться после  $t \sim 1$  с.

В рамках своей задачи будем предполагать, что зеркальный мир родился после  $t \sim 1$  с, но с концентрациями тeneвых частиц такими, как если бы они родились до 1-ой секунды ( $t \ll 1$  с) и температурой такой же, как у обычных частиц.

Таким образом, на момент  $t \sim 1$  с:

$$n(\nu_e) = n(\nu_e^{\text{mir}}), \quad n(\nu_\mu) = n(\nu_\mu^{\text{mir}}), \quad n(\nu) = n(\nu^{\text{mir}}), \quad n(e^\pm) = n(e_{\text{mir}}^\pm), \quad n(\nu_{n+p}) = n(\nu_{n+p}^{\text{mir}}).$$

Проблемы инфляции и бариосинтеза в рамках данной модели не рассматриваются.

Посчитаем, какое должно было быть закалённое п/р-отношение при этих условиях. При достаточно высокой температуре два состояния нуклона  $N = \{n, p\}$  находились в равновесии за счёт реакций:

$$\begin{aligned} \nu_e + n &\leftrightarrow p + e^- \\ \bar{\nu}_e + p &\leftrightarrow n + e^+. \end{aligned}$$

$$\frac{n(n)}{n(p)} \equiv \frac{n}{p} = e^{-\Delta m/T}. \quad \Delta m = m_n - m_p = 1,29 \text{ МэВ}.$$

$T = T_*$ , индекс  $*$  означает момент заковки.

В этот момент  $n_{e,\nu} \langle \sigma_{e,\nu} \nu_{e,\nu} \rangle = H(t_*)$ , где  $\langle \rangle$  означает усреднение по тепловому распределению частиц.

Считаем  $T_* > m_e > m_\nu$ ,  $n_{e,\nu} \sim T_*^3$ ,  $\nu_{e,\nu} = 1$ ,  $\langle \sigma_{e,\nu} \nu_{e,\nu} \rangle \sim \langle \Delta E^2 \rangle \sim T_*^2$ ,

$H(t_*) = 1/2t_* \sim G^{1/2} \kappa_{e*}^{1/2} T_*^2$ ,  $\kappa_{e*}$  отвечает за вклад различных частиц в общую плотность энергии  $\varepsilon$  в момент  $t \sim 1$  с.

$$\text{Отсюда для температуры заковки } T_* \sim \frac{\kappa_{e*}^{1/6} G^{1/6}}{G_F^{1/6}} \propto \kappa_{e*}^{1/6}.$$

Для наблюдаемой материи  $\kappa_{e^*}^{\text{ord}} = 1(\gamma) + \frac{7}{8} \left( 2 \cdot \frac{2}{2} (e^\pm) + 3 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} (\nu\bar{\nu}) \right) = \frac{43}{8}$ .

В случае существования рассматриваемого теневого мира:

$$\kappa_{e^*}^{\text{ord+mir}} = 1(\gamma) + \frac{7}{8} \left( 2 \cdot \frac{2}{2} (e^\pm) + 3 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} (\nu\bar{\nu}) \right) + 1(\gamma^{\text{mir}}) + \frac{7}{8} \left( 2 \cdot \frac{2}{2} (e_{\text{mir}}^\pm) + 2 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} (\nu^{\text{mir}} \bar{\nu}^{\text{mir}}) \right) = \frac{79}{8}.$$

Тогда, нормируя на коэффициент  $\kappa_{e^*}$  для обычной материи, получаем:

$$\left( \frac{n}{p} \right)_{\text{ord+mir}} = e^{-\frac{\Delta m}{T_*} \left( \frac{\kappa_{e^*}^{\text{ord}}}{\kappa_{e^*}^{\text{ord+mir}}} \right)^{1/6}} = \left( \frac{n}{p} \right)_{\text{ord}} \left( \frac{\kappa_{e^*}^{\text{ord}}}{\kappa_{e^*}^{\text{ord+mir}}} \right)^{1/6}$$

Учитывая значение  $\left( \frac{n}{p} \right)_{\text{ord}} = 0,25$ , полученное из астрономических наблюдений,

$$\text{относительная плотность первичного гелия } Y_{\text{prim}} = \frac{2(n/p)}{1 + (n/p)} = 0,29.$$

Итого в данном теневом мире будет иметь место следующий первичный химический состав:

71%  $^1\text{H}$

29%  $^4\text{He}$

Проблема скрытой массы решается частично, поскольку, согласно предположениям нашей модели  $\Omega_{\text{sh}} = \Omega_{\text{ord}} = 0,044$ , в то время как современная оценка плотности скрытой массы составляет  $\Omega_{\text{DM}} = 0,22$ .

## Литература

- Емельянов В. М. Стандартная модель и её расширения. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.  
 Емельянов В. М., Белоцкий К. М. Лекции по основам электрослабой модели в новой физике. – М.: МИФИ, 2007.  
 Окунь Л. Б. Лептоны и кварки. Изд. 4-е. – М.: Издательство ЛКИ, 2008.  
 Перкинс Д. Введение в физику высоких энергий. – М.: Энергоатомиздат, 1991.  
 Хлопов М. Ю. Основы космофизики. – М.: Едиториал УРСС, 2004.