

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего профессионального образования**  
**Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»**

**Институт ядерной физики и технологий (ИЯФит)**  
**КАФЕДРА № 40**  
**«Физика элементарных частиц»**

Реферат  
«Зеркальный мир без слабого взаимодействия:  $U(1) \times SU(3)$ »

Выполнил студент группы М18-115  
Касаткин Денис Дмитриевич

Проверил преподаватель  
Хлопов Максим Юрьевич

Москва - 2018

## Введение

В настоящее время термины «зеркальные частицы», «зеркальная материя» и «зеркальный мир» используют, когда речь заходит о гипотетически скрытом секторе частиц и взаимодействии – скрытой материи. Изначально возможность существования зеркальных частиц была рассмотрена в работе Ли и Янга [1], в которой авторы предположили нарушение пространственной четности. Сохранение пространственной четности, другими словами инверсия координатных осей, приводит к преобразованию поля данной частицы в другое поле, описывающее частицы. Нарушение четности приводит к тому, что лево- и право-ориентированные системы координат становятся неэквивалентными, это было подчеркнуто в статье Ли и Янга. Для восстановления эквивалентности систем координат была выдвинута идея о существовании зеркальных партнеров для всех известных частиц. При этом Р-четность у зеркальных партнеров имеет противоположный знак. Далее на основе идеи о сохранении комбинированной СР-четности Ландау, Ли и др. предположили, что в качестве зеркальных частиц могут выступать уже известные античастицы. Античастицы соответствовали критерию зеркальных частиц: они полностью симметричны обычным частицам. Таким образом, инверсия системы координат и замена частиц на античастицы приводит к сохранению баланса между правыми и левыми системами. Но с открытием нарушения СР-четности в распадах каонов, стало ясно, что античастицы не могут выступать в роли зеркальных частиц [2].

В данной модели рассматривается стабильное второе поколение фермионов (s- и c- кварки, мюон и антинейтрино мюонное, их античастицы), а также все мезоны и барионы, составленные из этих частиц, стабильные (например, J/ψ мезон стабильный). Из-за отсутствия слабого взаимодействия не будет наблюдаться нарушение С- и СР-четности, а нейтрино будет принимать участие только в гравитационном взаимодействии.

## Бариосинтез

Во вселенной наблюдается полное преобладание вещества над антивеществом. Точнее антивещество отсутствует на макроскопических масштабах в сопоставимых масштабах. Однако, если отсутствует слабое взаимодействие, то есть не происходит распад кварков второго поколения, то не будет нарушение CP-четности.

В оригинальном сценарии существует два канала распада частиц. Применим это для зеркальных кварков[3]:

$$X \rightarrow qq \quad (1),$$

$$X \rightarrow \bar{q}l \quad (2),$$

где  $X$  — вышедшие из равновесия частицы зеркального мира,  $q$  — кварк,  $\bar{q}$  — антикварк, а  $l$  — заряженный лептон.

А также два канала распада для античастиц:

$$X \rightarrow \bar{q}\bar{q} \quad (3),$$

$$X \rightarrow q\bar{l} \quad (4),$$

где  $\bar{q}$  — антикварк, а  $\bar{l}$  — заряженный антилептон.

Из-за CPT инвариантности полные ширины частиц и античастиц будут равны. Однако во вселенной существует CP-нарушения, поэтому относительные вероятности для распадов частиц и античастиц не совпадают. В зеркальном же мире нет CP-нарушения. Обозначим полную вероятность распада за 1. Относительные вероятности распада по каналам (1) и (2):

$$Br(X \rightarrow qq) = r \quad ,$$

$$Br(X \rightarrow q\bar{l}) = 1 - r \quad .$$

Относительные вероятности распада по каналам (3) и (4):

$$Br(X \rightarrow \bar{q}\bar{q}) = \bar{r} \quad ,$$

$$Br(X \rightarrow q\bar{l}) = 1 - \bar{r} \quad .$$

Из-за отсутствия слабого взаимодействия в зеркальном мире вероятность распада по каналу (2) и (4) будет равна 0. А все распады будут проходить по каналам (1) и (3).

Избыток барионов считается по формуле:

$$n_b = (r - \bar{r}) n_X \quad .$$

В барион-симметричной вселенной с равными концентрациями частиц и античастиц будет наблюдаться избыток частиц и недостаток античастиц. Но в зеркальном мире без слабого взаимодействия этого наблюдаться не будет из-за равных вероятностей распадов по каналам (1) и (3)  $r = \bar{r} = 1$  .

Так как не будет наблюдаться избытка частиц, то все частицы и античастицы аннигилируют друг с другом. Поэтому зеркальный мир со стабильными поколениями кварков никак не повлияет на существование нашей вселенной (при условии, что зеркальный мир будет существовать совместно с нашей вселенной), в которой существует слабое взаимодействие. Модель бариосинтеза не может описать существование зеркального мира без слабого взаимодействия отдельно от нашей вселенной из-за аннигиляции всех частиц и античастиц друг с другом.

## Стабильность частиц

В зеркальном мире без слабого взаимодействия частицы могут распадаться только по электромагнитному и сильному взаимодействию. При таких распадах не будет перехода в другие поколения кварков.

Рассмотрим  $\eta$ -мезон, состоящий из пары  $s\bar{s}$ . Этот мезон может распадаться только по электромагнитному каналу:

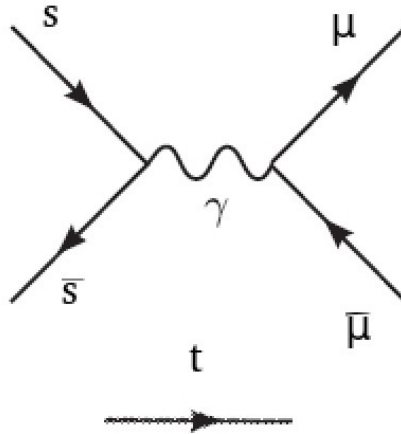


Рисунок 1 — распад  $\eta$ -мезона

В представленной модели рассматривается только второе поколение фермионов. Распад  $D_s^+(c\bar{s}, \bar{c}s)$  мезонов. Например:  $D^+ + \Omega_c^0 = \Omega_{cc}^+ + \eta^0$ . В данной модели количество барионов будет больше, чем количество мезонов, так как  $\eta$ -мезон — нестабильный, и будет распадаться на два мюона.



## Закалка и нуклеосинтез

В данной модели вместо протона  $p$  и нейтрона  $n$  будут рассматриваться **омега-барионы  $\Omega^+$  и  $\Omega^0$** , состоящие только из  $c$ - и  $s$ -кварков. Соотношение концентрации омега-барионов определяется по формуле:

$$\frac{\Omega^0}{\Omega^+} = \exp\left(\frac{-\Delta m}{T}\right).$$

Однако в данной модели это оценить точно невозможно из-за неизвестного значения массы  $\Omega^+$  [4].

В реальном мире нуклеосинтез проходит по реакциям слияния протонов и нейтронов, например:  $n + p \rightarrow d + \gamma$ . Назовем  $d_c$  — **очаровательным дейтерием** в зеркальном мире, который будет состоять из  $\Omega^+$  и  $\Omega^0$ , а реакция по аналогии с дейтерием в реальном мире:  $\Omega^+ + \Omega^0 = d_c + \gamma$ . Такой очаровательный дейтерий будет гораздо тяжелее своего аналога реального мира. Рассмотрим остальные реакция, которые приведу к очаровательному гелию  ${}^4_2He_c$ :

$$\begin{aligned}d_c + \Omega^+ &\rightarrow t_c + \gamma, \\d_c + d_c &\rightarrow t_c + \Omega^+, \\ \Omega^+ + d_c &\rightarrow {}^3_2He_c + \gamma, \\d_c + d_c &\rightarrow {}^3_2He_c + \Omega^0, \\t_c + \Omega^+ &\rightarrow {}^4_2He_c + \gamma, \\{}^3_2He_c + \Omega^0 &\rightarrow {}^4_2He_c + \gamma,\end{aligned}$$

где  ${}^3_2He_c$  - гелий, состоящий из омега-барионов,  $t_c$  — тритий, состоящий из омега-барионов. Если предположить, что массы  $\Omega^+$  и  $\Omega^0$  примерно равны, то массу  ${}^4_2He_c$  можно оценить  $m({}^4_2He_c) = 2695,2 \cdot 4 = 10780,8 \text{ МэВ}$ . Это в 2695,2 раз больше, чем масса  ${}^4_2He$ , существующего в реальном мире.

Без точной массы  $\Omega^+$  нельзя оценить долю первичного гелия в зеркальном мире.

## **Заключение**

Стабильные фермионы второго поколения будут тяжелые, а частицы составленные из них, хоть и будут стабильные, но также будут иметь большую массу. Модель бариосинтеза показывает, что зеркальный мир, составленный из стабильных фермионов второго поколения не может существовать. Возможно, другая модель может описать существование такого мира. На данный момент неизвестна масса  $\Omega^+$  бариона, поэтому оценить соотношения концентрация  $\Omega^+$ ,  $\Omega^0$  и процентное содержание первичного гелия, состоящего из омега-барионов, невозможно.

### **Список использованных источников**

1. Ли и Янг, «Вопрос о сохранении равенства в слабых взаимодействиях», Phys. Rev., 1956
2. Окунь Л. Б. Зеркальные частицы и зеркальная материя: 50 лет гипотез и поисков //Успехи физических наук. – 2007. – Т. 177. – №. 4. – С. 397-406.
3. Хлопов М. Ю. Основы космомикрoфизики. – УРСС, 2004.
4. Particle Data Group Review: <http://pdg.lbl.gov/>