

**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 массы. 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  $P$ -четность у зеркальных партнеров имеет противоположный знак. Далее на основе идеи о сохранении комбинированной  $CP$ -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  $CP$ -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 некоторые мезоны и барионы, составленные из этих частиц, стабильные. Из-за отсутствия слабого взаимодействия не будет наблюдаться нарушение  $C$ - и  $CP$ -четности, а нейтрино будет принимать участие только в гравитационном взаимодействии.

## Бариосинтез

Во вселенной наблюдается полное преобладание вещества над антивеществом. Точнее антивещество отсутствует 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):

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

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

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-несимметричной 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.

### Закалка элементарных частиц

При температуре  $T < 170 \text{ МэВ}$  начиналась адронизация, то есть формирования адронов из кварков и глюонов. Так как массы  $c$ - и  $s$ - кварков отличаются на  $m_c - m_s = \Delta m = 1180 \text{ МэВ}$ , то образование адронов, содержащих  $c$ -кварк будет подавлено при уменьшении температуры плазмы, и будут больше образовываться адроны, состоящие из  $s$ -кварков. Также можно утверждать, что с понижением температуры количество  $c$ -кварков уменьшалось в соответствии с распределением:

$$\frac{n_c}{n_s} \sim \exp\left(\frac{-\Delta m}{kT}\right) = 9,7 \cdot 10^{-4}, \text{ при } T = 170 \text{ МэВ}.$$

К началу адронизации  $c$ -кварков будет гораздо меньше  $s$ -кварков. Поэтому количество адронов, включающих  $c$ -кварки, будет невелико. В основном будут стабильные  $\Omega^-$  гипероны, состоящие из трех  $s$ -кварков. Все мезоны, состоящие из пары  $s \bar{s}$  аннигилируют.

Сумма всех мюонов и фотонов при  $T = 170 \text{ МэВ}$  :

$$n_\gamma = \left(\frac{kT}{ch}\right)^3 \approx \left(\frac{mc}{h}\right)^3 \approx 10^{61}.$$

В состоянии кварк-глюонной плазмы все частицы находятся в равновесии, и чем ниже температура, тем меньше будет образовываться пар  $c \bar{c}$ . А пары кварков  $s \bar{s}$  будут расти.

## Взаимодействия 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:

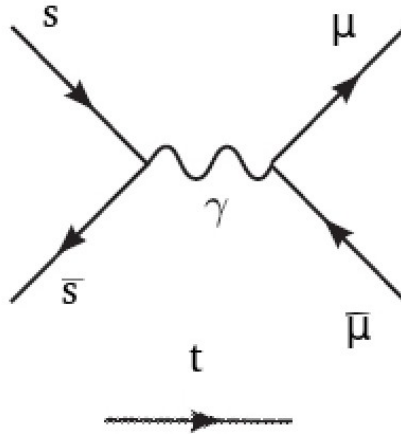


Рисунок 1 — распад  $\eta$ -мезона

Реакции с  $D_s^\pm(c\bar{s},\bar{c}s)$  мезонами будут проходить, например, по такой схеме:  $D^+ + \Omega_c^0 = \Omega_{cc}^+ + \eta^0$ .

## Заключение

Модель состоящая из стабильных фермионов второго поколения будет включать в себя стабильные мезоны  $D_s^{\pm}(c\bar{s},\bar{c}s)$  , концентрация которых будет очень низкая. В основном будут преобладать  $\Omega^-$  гипероны. Все остальные барионы будут образовываться в малых количествах, так как концентрация с-кварков будет очень низкая. Мезоны, состоящие из пары  $s\bar{s}$  аннигилируют.

### **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/>