

**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. Для восстановления симметрии Кобзарев, Померанчук и Окунь постулировали помимо пары «частица – античастица» существование пары «зеркальная частица – зеркальная античастица», тем самым удвоили число частиц. Для различия обычных и зеркальных частиц была введена условная характеристика – число Алисы, а для зеркального отражение — A – преобразование [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. Из-за отсутствия слабого взаимодействия не будет наблюдаться нарушение C - и CP -

четности, а нейтрино будет принимать участие только в гравитационном взаимодействии. В зарядово-симметричном мире концентрация адронов очень низкая, чтобы образовать отдельные газовые облака. Поэтому бариосинтез в этом мире будет отсутствовать. Также нельзя говорить об инфляции, потому что на ранних этапах остается мало частиц и античастиц, и, следовательно, гравитационное взаимодействие между ними мало. Расширение задается таким образом, чтобы кинетическая энергия расширения равнялась потенциальной энергии гравитационного взаимодействия.

Таблица 1 — Стабильные частицы зеркального мира [3]

Частица	Кварковый состав	Масса, МэВ
Ω^-	sss	1672,5
$\bar{\Omega}^+$	$\bar{s} \bar{s} \bar{s}$	
Ω_c^0	ssc	2695,2
$\bar{\Omega}_c^0$	$\bar{s} \bar{s} \bar{c}$	
D_s^+	$c \bar{s}$	1968,3
D_s^-	$s \bar{c}$	

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[4]. Применим это для зеркальных кварков[5]:

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

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

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):

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

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

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

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

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

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.

Закалка элементарных частиц

При высоких температурах концентрация кварков и антикварков в зарядово-симметричном мире определяется равновесием [6]:

$$n \equiv n_q = n_{\bar{q}} = n_{\text{равн}} = \sqrt{\frac{2}{\pi^3}} \frac{m^{3/2} (kT)^{3/2}}{\hbar^3} e^{\frac{-mc^2}{kT}},$$

где m — масса кварка.

Термодинамическое равновесие осуществляется за счет баланса между аннигиляцией при соударении кварков и антикварков и рождением пар. Введем параметр $\theta = \frac{kT}{mc^2}$, который связан с концентрациями фотонов (суммой легких частиц μ^+ , μ^- , γ) и кварков.

$n_\gamma = 10^{41} \theta^3 \text{ см}^{-3}$ — концентрация фотонов.

Рассмотрим три случая: $\theta = 1$ — плотность кварков была того же порядка, что и плотность легких частиц; $\theta = 1/45$ — плотность кварков снижалась экспоненциально до этого момента; $\theta = 12/100$ — плотность кварков в момент начала адронизации.

Таблица 2 — Концентрации кварков при различной температуре (данные для параметра θ с-кварка)

	$n_i, \text{ см}^{-3}$		
	$\theta = 1$, $T = 1275 \text{ МэВ}$	$\theta = 1/45$, $T = 28 \text{ МэВ}$	$\theta = 12/100$, $T = 170 \text{ МэВ}$
с-кварк	$8,08 \cdot 10^{45}$	$1,49 \cdot 10^{24}$	$1,09 \cdot 10^{42}$
s-кварк	$3,47 \cdot 10^{44}$	$2,95 \cdot 10^{40}$	$1,24 \cdot 10^{43}$

При температуре 1275 МэВ концентрация с- и s-кварков одного порядка, но при температуре 28 МэВ отношение концентрации с-кварка к концентрации s-кварка отличается в $5 \cdot 10^{-17}$ раз. Однако закалка кварков произойдет раньше, а именно при температуре адронизации. Поэтому необходимо рассмотреть закалку стабильных частиц (не распадающихся по электромагнитному и сильному каналам), образовавшихся из с- и s-кварков.

Таблица 3 — Концентрации стабильных частиц и мюонов при различной температуре (данные для параметра θ каждой частицы)

	$\theta = 1$		$\theta = 1/45$	
	$n_i, \text{см}^{-3}$	T, МэВ	$n_i, \text{см}^{-3}$	T, МэВ
Ω^- - гиперон	$1,83 \cdot 10^{46}$	1672,5	$4,71 \cdot 10^{24}$	37,2
Ω_c^0 - гиперон	$7,64 \cdot 10^{46}$	2695,2	$1,97 \cdot 10^{25}$	59,9
D_s^+ - мезон	$2,99 \cdot 10^{46}$	1968,3	$7,69 \cdot 10^{24}$	43,7

Таблица 4 — Концентрации стабильных частиц и мюонов, взятые для параметра $\theta = 1/45$ для $\bar{\Omega}^+$ -гиперона ($T=59,9 \text{ МэВ}$)

	$n_i, \text{см}^{-3}$
Ω_c^0 - гиперон	$1,97 \cdot 10^{25}$
Ω^- - гиперон	$2,52 \cdot 10^{32}$
D_s^+ - мезон	$2,31 \cdot 10^{30}$
μ^+, μ^-, γ	10^{36}

Из расчетов видно, что концентрации стабильных частиц будут примерно одинаковы, но будут в 10^{-11} раз меньше, чем концентрация легких частиц.

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

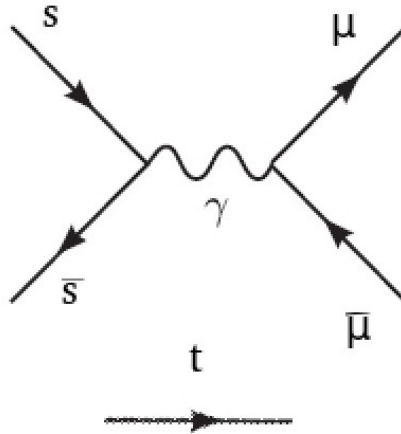


Рисунок 1 — распад η -мезона

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 и барионы, приведенные в таблице 1, концентрация которых будет очень низкая. Количества барионов будет недостаточно, чтобы создать скопления, так как недостаточно будет гравитационного притяжения, создаваемого между ними.

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. Particle Data Group Review: <http://pdg.lbl.gov/>
4. Сахаров. А. Д. Нарушение CP-инвариантности, C-асимметрия и барионная асимметрия вселенной. — Академия Наук СССР, 1967.
5. Хлопов М. Ю. Основы космомикрoфизики. – УРСС, 2004.
6. Зельдович Я. В., Новиков И. Д. Строение и эволюция Вселенной. 1975