

# МЕХАНИЗМ ГЕНЕРАЦИИ КОСМИЧЕСКИМИ ЛУЧАМИ МЮОНОВ СВЕРХВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПО АЗИМУТАЛЬНОМУ УГЛУ, БЛИЗКИМ К ИЗОТРОПНОМУ

Е.П.Шабалин

Результаты недавнего эксперимента [1] по наблюдению мюонов от космических лучей с энергией  $E > 10^3 \text{ Гэв}$  находят простое объяснение, если существует механизм рождения мюонов в верхнем слое атмосферы.

В данной работе мы обращаем внимание на то, что такой механизм естественным образом содержится в теории перенормируемого слабого взаимодействия, развитой ранее автором [2] на основе модели Куммера – Сегре [3]. Согласно [2] слабое взаимодействие описывается лагранжианом

$$L = g_1(\bar{\mu}^*(1 + 3\gamma_5)\mu^+ + \bar{n}^*(1 + 3\gamma_5)p + \bar{e}(1 - 3\gamma_5)e^*)V^+ + \\ + g_{1,2}(\bar{\mu}^*(1 + \gamma_5)\nu_\mu + \bar{n}^*(1 + \gamma_5)n + \bar{\nu}_e(1 - \gamma_5)e^*)V^+ + \\ + g_3(\bar{n}^*(1 + \gamma_5)\Lambda)V^0 + h. c., \quad (1)$$

где  $V^{\pm,0}$  – бозоны со спином нуль и массой  $M \leq 30 \text{ Гэв}$ ,  $\mu^*$  и  $e^*$  – нейтральные лептоны, причем  $m_{\mu^*} \geq m_\mu$ ,  $n^*$  – нейтральный барион. Поля  $V$ ,  $\mu^*$ ,  $e^*$ ,  $n^*$  несут новое квантовое число, которое строго сохраняется. На основе методов, аналогичных методам алгебры токов, было показано [2], что в пределе малых энергий (1) приводит к 4-фермионному взаимодействию с равенством векторных констант распада мюона и нейтрона и отсутствием запрещенных экспериментально взаимодействий с нейтральными лептонными токами.

Важным свойством модели (1) является то, что бозоны  $V$  должны быть достаточно тяжелыми:  $M \sim 15 - 30 \text{ Гэв}$  и следовательно могут в заметном количестве рождаться лишь первичным излучением с энергией  $E \gtrsim 10^3 \text{ Гэв}$ .

Константы  $g_{1,2}$  связаны с константой слабого взаимодействия  $G$  соотношением  $G/\sqrt{2} = g_1^2 g_2^2 / 4\pi^2 M^2$ , так что при  $M \approx 30 \text{ Гэв}$  и  $g_1^2 > g_2^2$  константа  $g_1$  оказывается порядка единицы. Точнее, эффективная константа перехода

$$p \rightarrow n^* + V^+ \quad (2)$$

согласно (1) (см. также [2]) есть

$$g_{\text{эф}}^2 \sim 10g_1^2, \quad g_1^2 \sim 2. \quad (3)$$

Напомним, что в теории с промежуточным векторным мезоном при  $M_W = 30 \text{ Гэв}$  константа перехода

$$p \rightarrow n + W^+ \quad (4)$$

есть

$$f^2 = \frac{GM_W^2}{\sqrt{2}} \sim 10^{-2}. \quad (5)$$

Заметим также, что в отличие от теории с векторным  $W$ -мезоном зависимость матричного элемента  $\langle n^* | p \rangle$  от переданного импульса  $(k_p - k_{n^*})^2$  определяется скалярным формфактором. И если формфактор векторного перехода  $\langle n | p \rangle$  в теории с  $W$ -мезоном весьма мал в случае рождения мезона с большой массой, то для самосогласованности теории (1) формфактор перехода  $\langle n^* | p \rangle$  скорее должен быть медленно меняющейся функцией переданного импульса.

Вышеизложенное позволяет заключить, что частицы  $n^*$  и  $B$  должны рождаться в нуклон-нуклонных соударениях с сечением, характерным для обычных сильных взаимодействий. Если учесть, что бозон  $B$  распадается на пару  $\mu\mu^*$  за время  $\sim 10^{-24} \text{ сек}$  и  $n^*$  распадается при массе  $2m_p$  на протон и пару  $\mu\mu^*$  за время  $\sim 10^{-16} \text{ сек}$  (последнее в предположении, что формфактор вершины  $\bar{n}^*pB$  слабо меняется при изменении  $(k_p - k_{n^*})^2$  от  $M^2$  до  $m_N^2$ ), следует заключение, что частицы  $B$  и  $n^*$  могли бы быть источником изотропных мюонов сверхвысокой энергии.

Если принять, что сечение образования  $\pi$ -мезонов, уносящих значительную долю энергии первичного протона, и сечение рождения системы  $Bn^*$  равны и учесть, что доля  $\pi$ -мезонов с энергией  $E > 10^3 \text{ Гэв}$ , распадающихся на мюоны, составляет менее  $10^{-1}$  (см. [1, 4]), получим ослабление зависимости интенсивности  $I_\mu(\cos\theta)$  при  $\theta = \pi/4$  менее, чем в 4 раза<sup>1)</sup>. Такое ослабление не противоречит допустимой экспериментом [1] зависимости  $I_\mu(\cos\theta) = \cos\theta^{-1/4}$ .

Подчеркнем, что рассмотренный механизм в равной степени генерирует изотропные электроны сверхвысокой энергии.

Автор благодарен Б.Л.Иоффе, Л.Б.Окуню и М.В.Терентьеву за обсуждения.

Поступило в редакцию  
17 сентября 1968 г.

<sup>1)</sup> Мы воспользовались расчетами Зацепина и Кузьмина [5] для  $I_\mu(\cos\theta)$  в предположении  $\pi$ - и  $K$ -механизмов генерации мюонов.

## Литература

- [1] H. E. Bergsen, J. W. Keuffel, M. O. Larson et. al. Phys. Rev. Lett., 19, 1487, 1967.
- [2] Е.Л.Шабалин. ЯФ, 8, 74, 1968; Препринт ИТЭФ, № 635, 1968.
- [3] W. Kummer, G. Segre. Nucl. Phys., 64, 585, 1965.
- [4] Л.И.Дорман. Сб. Космические лучи, М., Изд. АН СССР, 3, 174, 1961.
- [5] Г.Т.Зацепин, В.А.Кузьмин. ЖЭТФ, 39, 1677, 1960.