

## О РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРИНО, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ РЕЛЯТИВИСТСКОМ КОЛЛАПСЕ

Г.С.Бисноватый-Коган, Э.Ф.Сеидов

Указана возможность регистрации энергичных нейтрино ( $E_\nu \gtrsim 30$  Мэв) по реакции  $A^Z(\nu, e^-)A^{Z+1}$  с последующим вылетом нейтрона из высоковозбужденного ядра  $A^{Z+1}$ .

Современная теория предсказывает большие потоки высокоэнергичных нейтрино ( $E_\nu \approx 20 + 60$  Мэв) при релятивистском коллапсе звезд, который может сопровождаться взрывом сверхновой [1 – 4]. При выделении энергии в результате коллапса  $\sim 10^{53}$  эрг поток нейтрино равен  $L_\nu \approx 2 \cdot 10^{11} \left( \frac{10 \text{ knc}}{R} \right)^2 \cdot \left( \frac{30 \text{ Мэв}}{E_\nu} \right) \text{ см}^{-2}$ , где  $R$  – расстояние до коллапсирующей звезды. Регистрация нейтрино от взрыва сверхновой или тихого коллапса представляет собой важнейшую задачу для всей теории эволюции звезд. Отметим, что наблюдение нейтрино является, по видимому, единственной возможной проверкой явления безостановочного "тихого" сферически-симметричного коллапса.

Проблема регистрации таких нейтрино рассматривалась в работе [5]. Наряду с радиохимическим методом, применяемым для поиска нейтрино от Солнца, в этой работе предполагалась регистрация быстрых электронов, возникающих в реакции  $A^Z(\nu, e^-)A^{Z+1}$ , и выделяющихся на фоне естественной радиоактивности детектора. Анализ угловых корреляций и сечений реакции для различных легких ядер проведен в [6]. Выбор легких ядер предлагаемых в [5], обусловлен тем, что они обладают большим сечением на единицу веса детектора.

Однако большие значения энергии нейтрино от релятивистского коллапса могут представить новые возможности для их регистрации. При взаимодействии с тяжелыми ядрами энергичные нейтрино с большой вероятностью захватываются на высоковозбужденные уровни ядра, в результате чего возможен вылет свободных нейтронов. Последовательная регистрация быстрого электрона и поглощения свободного нейтрона послужит указанием на акт взаимодействия ядер с энергичным нейтрино, причем два эти события должны быть скоррелированы.

В качестве грубого приближения для описания достаточно тяжелых ядер, используется модель ядра, как ферми-газа протонов и нейтронов. Рассмотрим в рамках этой модели взаимодействие энергичного нейтрино с тяжелым ядром. Для вероятности захвата нейтрино с энергией  $20 + 60$  Мэв с потоком  $L_\nu$  на одно ядро  $W_\nu$  получим следующую формулу:

$$W_\nu = \frac{L_\nu}{c} 2\pi^2 \left( \frac{\hbar^2}{Z_e m_\mu e^2} \right)^3 \frac{N}{Z_e} \frac{W_\mu}{p_\nu} \frac{8}{3} \frac{m c p_o^2}{(m c + p_o)^3} \frac{\phi_e}{5 \cdot 10^5 (m_e c)^3}, \quad (1)$$

$$\phi_e = (p_\nu - p_{\nu_0})^4 + \left(1 - \frac{p_0}{mc}\right) p_{\nu_0} (p_\nu - p_{\nu_0})^3.$$

Здесь  $W_\mu$  — экспериментально известная вероятность поглощения мюона ядром в мезоатоме [7],  $Z_e$  — эффективный заряд ядра для реакции мю-захвата,  $p_0$  — ферми-импульс протонов в ядре,  $m$  — эффективная масса нуклона в ядре,  $p_\nu$  — импульс нейтрино,  $m_\mu = 207 m_e$  — масса покоя мюона,  $c p_{\nu_0} = \Delta$  — порог для поглощения нейтрино ядром. Используя для оценок численные значения  $m = 920 m_e$ ,  $p_0 = 420 m_e c$ , получим:

$$W_\nu = 5 \cdot 10^{-43} L_\nu \frac{N}{Z_e^4} W_\mu \left(\frac{c p_\nu}{30 \text{ Мэв}}\right)^3 \left(1 - \frac{p_{\nu_0}}{p_\nu}\right)^4. \quad (2)$$

Принимая  $W_\mu = 5 \cdot 10^6$  [7],  $Z_e = 20$  для  $\text{Fe}^{56}$ ,  $N = 30$ , получаем для сечения захвата нейтрино  $\sigma_\nu$ :

$$W_\nu = L_\nu \sigma_\nu, \quad \sigma_\nu \approx 4 \cdot 10^{-40} \left(\frac{p_\nu c}{30 \text{ Мэв}}\right)^3 \text{ см}^2.$$

Максимальная энергия возбуждения ядра в нашей модели равна

$$Q_{max} = c p_\nu \frac{2p_0}{mc + p_0} - \Delta. \quad (3)$$

При  $E_\nu = 30 \text{ Мэв}$  для реакции  $\text{Fe}^{56} + \nu \rightarrow e^- + \text{Co}^{56}$  получим  $Q_{max} = 14 \text{ Мэв}$ ,  $\Delta = 5,1 \text{ Мэв}$ . При энергии возбуждения ядра  $\approx 14 \text{ Мэв}$  вероятность вылета нейтрона весьма велика. Вероятность захвата энергичного нейтрино на высоковозбужденные уровни ядра может быть сравнима и выше вероятности разрешенного перехода на нижний уровень из-за большого числа конечных  $\zeta$ -азовых состояний и участия в реакции всех нейтронов ядра.

Расчеты взаимодействия ядра  $\text{C}^{12}$  с нейтрино, сделанные в работе [8], показали, что вылет нейтрона происходит в половине актов поглощения при  $E_\nu \approx 60 \text{ Мэв}$ . Для тяжелых ядер эффект размазывания уровней гораздо сильнее. Поэтому вероятность возбуждения ядра до высоких энергий с вылетом нейтрона может стать существенной гораздо раньше. Это происходит примерно при  $E_\nu \approx 30 \text{ Мэв}$ , согласно нашим грубым расчетам, сделанным в предположении полного перемешивания уровней, т. е. условиях постоянства матричного элемента.

Настоящей статьей мы хотели бы обратить внимание физиков, занимающихся проблемой регистрации нейтрино, на то, что энергичные нейтрино от вспышек сверхновых или релятивистского коллапса можно наблюдать регистрируя электроны по реакции  $A^Z(\nu, e^-)A^{Z+1}$  с последующей регистрацией нейтрона, испущенного ядром  $A^{Z+1}$ . При этом следует в качестве детектора применять тяжелые ядра типа  $\text{Fe}^{56}$ , так как они обладают большим количеством тесно лежащих возбужденных уровней и легко доступны. Если бы детектор входил в состав прозрачного вещества, то все события, сопровождающие захват нейтрино, были бы непосредственно наблюдаемы, наподобие тому, как это имело место в опыте Райнеса [9].

Выражаем благодарность Я.Б.Зельдовичу, А.О.Вайсенбергу и Г.В.Домогацкому за полезные обсуждения.

Институт прикладной математики  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
29 марта 1974 г.

### Литература

- [1] Я.Б.Зельдович, О.Х.Гусейнов. ДАН СССР, **162**, 791, 1965.
  - [2] О.Х.Гусейнов, Я.Б.Зельдович. Письма в ЖЭТФ, **1**, 11, 1965.
  - [3] О.Х.Гусейнов. Астрон. журн., **45**, 985, 1968.
  - [4] Я.Б.Зельдович, И.Д.Новиков. Теория тяготения и эволюция звезд, М., изд. Наука, 1971.
  - [5] Г.В.Домогацкий, Г.Т.Зацепин. Космические лучи, №10, 139, 1969.
  - [6] Г.В.Домогацкий, Г.Т.Зацепин. Proc. of the IX Int. on Cosmic Rays, **2**, 1030, 1965; Scientific Report CERN, №28, 161, 1969.
  - [7] А.О.Вайсенберг. Мю-мезон. М., изд. Наука, 1964
  - [8] H.Uberall, B.A.Lamers, J.B.Langworthy, F.J.Kelly, "Neutrino 72" Conference 1972 Belatofured, Hungary p. 139.
  - [9] F.Reines. Сб. "Нейтрино" под ред. Б.М.Понтекорво, М., изд. Наука, 1970.
-