

**П И С Ь М А**  
**В ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ**  
**И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**

ОСНОВАН В 1965 ГОДУ  
 ВЫХОДИТ 24 РАЗА В ГОД

ТОМ 60, ВЫПУСК 9  
 10 НОЯБРЯ, 1994

Письма в ЖЭТФ, том 60, вып.9, стр.609 - 612

© 1994г. 10 ноября

**СУЩЕСТВУЕТ ЛИ ИЗБЫТОК ЭЛЕКТРОННЫХ НЕЙТРИНО В**  
**АТМОСФЕРНОМ ПОТОКЕ?**

*О.Г.Ряжская*

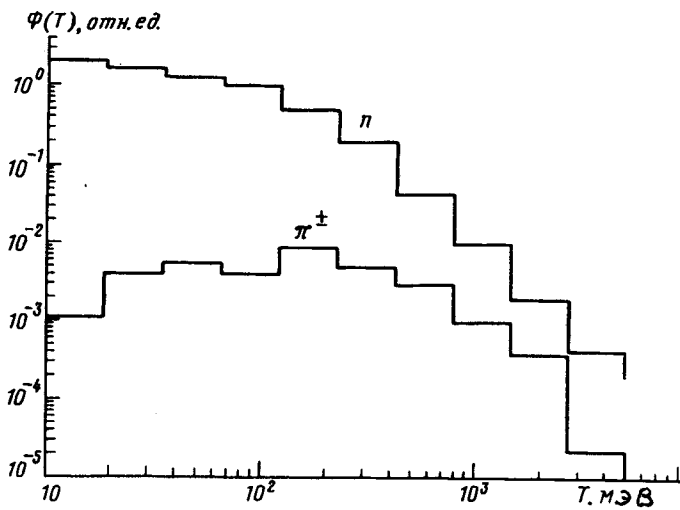
*Институт ядерных исследований РАН  
 117312 Москва, Россия*

Поступила в редакцию 11 октября 1994 г.

Рассматривается фон, создаваемый изолированными нейтронами в черенковских детекторах при регистрации атмосферных нейтрино. Нейтроны генерируются в ядерных ливнях, инициированных мюонами в грунте, окружающем детекторы. Показано, что учет событий, связанных с регистрацией  $\pi^0$ -мезонов, рожденных в реакциях  $nA \rightarrow \pi^0 X$  и имитирующих детектирование  $\nu_e$ , приводит к измеренному отношению  $I(\nu_\mu)/I(\nu_e)$ , близкому к ожидаемому для диапазона энергий 0,2 – 5ГэВ.

В последние годы появились работы [1-3], выполненные в основном с помощью черенковских детекторов, в которых обращалось внимание на малое отношение числа мюноподобных к числу электроноподобных событий по сравнению с ожидаемым из расчетов Монте-Карло, причем величина  $R = \frac{(\mu/e)_{data}}{(\mu/e)_{MC}}$  увеличивается с глубиной [4-6], приближаясь к единице для глубин  $H > 4000$  м.в.э. Это наводит на мысль, что в экспериментах при измерении электронных нейтрино существует источник фона, уменьшающийся с глубиной. Так как все детекторы имеют мощные антисовпадательные защиты, то этим источником фона могут быть только нейтральные частицы, а именно, – нейтроны.

В наших предыдущих работах было исследовано поведение с глубиной нейтронной компоненты, связанной с мюонами космических лучей, и измерены потоки и спектры изолированных нейтронов в области кинетических энергий 18–92 МэВ [7-13]. Расчеты Монте-Карло, выполненные как в указанных работах, так и другими авторами [14], показывают, что энергетические распределения ядерно-активных частиц с энергиями 0,02–5ГэВ вне центральной области ядерного ливня и особенно идущих в перпендикулярном к оси ливня направлении практически не зависят от энергии первичной частицы при



$E > 20 \text{ ГэВ}$ . На рисунке приведены расчетные энергетические спектры нейтронов и  $\pi^\pm$ -мезонов за слоем защиты  $250 \text{ г/см}^2$ , на которую падает поток нейтронов со спектром вида  $dT_n/T_n$  ( $T_n \leq 200 \text{ МэВ}$ ) и  $dT_n/T_n^2$  ( $T_n > 200 \text{ МэВ}$ ), – спектр генерации нейтронов в ливнях;  $T$  – кинетическая энергия частиц. Следует отметить, что форма спектра слабо зависит от угла падения нейтронов и от толщины защиты в диапазоне  $100\text{--}500 \text{ г/см}^2$  [14]. Таким образом, имея измеренный на глубине  $570 \text{ м.в.э.}$  поток нейтронов в диапазоне  $18\text{--}92 \text{ МэВ}$   $N_n(570)$  и учитывая зависимость  $N_n$  от глубины и от средней энергии мюонов на этой глубине  $\bar{E}_\mu(H)$ :

$$N_n(H) = \frac{I_\mu(H)}{I_\mu(570)} \left( \frac{\bar{E}_\mu(H)}{\bar{E}_\mu(570)} \right)^{0,75} N_n(570),$$

а также пользуясь спектрами рисунка, можно довольно точно рассчитать потоки нейтронов, падающие на поверхность расположенного на любой глубине детектора. Ниже представлены результаты такого расчета для потока изолированных нейтронов с энергиями  $T_n > 200 \text{ МэВ}$ , падающих за год на  $1 \text{ м}^2$  боковой поверхности детектора:

$H, \text{ м.в.э.}:$	1570	2700	3300	4000	5300
$N_n, \text{ м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}:$	230	65	25	7	3

В связи с тем, что при энергиях  $T_n < 1 \text{ ГэВ}$  для легких ядер средняя множественность пионов  $\bar{N}_\pi < 1$  [15], энергетический спектр пионов, приведенный на рисунке, очень близок к спектру событий в детекторе. В большинстве случаев  $\pi^\pm$ -мезоны, взаимодействуя с  $\text{O}^{16}$ , теряют свою энергию до значений ниже порога регистрации черенковского излучения. Оценки показывают, что при  $200 \text{ МэВ} < T_\pi < 1,5 \text{ ГэВ}$  не более 8-10%  $\pi^\pm$ -мезонов могут выглядеть как мюноподобные события, при этом их видимое энерговыделение менее  $500 \text{ МэВ}$ .  $\pi^0$ -мезоны, распадаясь на  $2\gamma$ -кванта, более чем в 30% случаев имитируют электроподобное событие, причем, так как минимальный угол разлета фотонов

уменьшается с энергией ( $\sin \frac{\psi_{\min}}{2} = \frac{m_{\pi^0}}{E_{\pi^0}}$ ), процент имитаций электроподобных событий увеличивается с энергией  $\pi^0$  или, что то же самое, с видимой энергией. В случае  $\pi^\pm$ -мезона вероятность имитации мюноподобного события с видимой энергией более 1 ГэВ ничтожна. Отсюда следует, что реакции  $nA \rightarrow \pi^0 X$  являются дополнительным каналом электроподобных событий и фоном при детектировании электронных нейтрино вплоть до энергий  $\sim 5$  ГэВ.

При рассмотрении пространственного распределения ложных событий необходимо иметь в виду, что угловые распределения пионов с  $T_\pi < 1$  ГэВ, рожденных в  $nA$ -реакциях с  $T_\pi/T_n < 0,5$ , близки к изотропным [15,16]. Поэтому значительная часть  $\gamma$ -квантов, генерированных в распадах  $\pi^0$  вблизи границы рабочего объема, будет давать сигналы в антисовпадетельной защите. Истинно внутренними событиями будут такие, которые образованы пионами в центральной области детектора, находящейся на расстоянии более  $\sim 1,5$  м от границы рабочего объема, а для рожденных вблизи границы – те, в которых  $\gamma$ -кванты летят внутрь детектора.

В таблице представлены результаты оценок фоновых событий внутри рабочего объема, данные экспериментов IMB (экспозиция 7,7 кТлет) и Камиоканде (6,18 кТлет для  $E < 1,33$  ГэВ и 8,2 кТлет для  $E > 1,33$  ГэВ) а также расчетные и экспериментальные значения отношения числа  $\mu$ -подобных к числу  $e$ -подобных событий.

Тип событий	Детектор					
	IMB		Камиоканде ( $E < 1,33$ ГэВ)		Камиоканде ( $E > 1,33$ ГэВ)	
	эксперимент	фон	эксперимент	фон	эксперимент	фон
Одиночные:						
всего	610	$\sim 250$	389	$\sim 54$	195	
ливневые	378	210	191	46	98	40
( $e$ -подобные)						
неливневые	232	$< 40$	198	$< 8$	31	
( $\mu$ -подобные)						
( $\mu/e$ ) <sub>data</sub>						
без учета фона	0,61		1,04		0,32	
с учетом фона	$\sim 1,1$		$\sim 1,4$		0,53	
( $\mu/e$ ) <sub>MC</sub> [1-3]	1,10		1,60		0,57	

Оценки сделаны с точностью до 30%, но они показывают, что фон при измерении электроподобных событий значителен и его учет приводит к величине  $R = \frac{(\mu/e)_{data}}{(\mu/e)_{MC}}$ , близкой к единице. Относительно углового распределения фоновых событий с  $E > 1,3$  ГэВ можно сказать, что оно близко к угловому распределению падающих нейтронов [15]. Так как вероятность попадания в рабочий объем изолированного нейтрона, идущего вблизи вертикали, крайне мала, фоновые события в этом направлении должны отсутствовать.

В заключение считаю своим приятным долгом выразить признательность за полезные обсуждения данной работы Р.Барлюто, Г.Т.Зацепину, А.С.Мальгину, С.П.Михееву, В.Г.Рясному, П.Моначелли, Л.Сулаку, М.Спинетти, О.Сааведра и Дж.Фиорентини.

1. K.S.Hirata, K.Inoue, T.Ishida et al., Phys. Lett. B280, 146 (1992).
2. R.Becker-Szendli, S.B.Bratton, D.Casper et al., Phys. Rev. D46, 3720 (1992).
3. M.Nakahata, Report to 27 ICHEP, Glasgow (1994).

4. M. Aglietta, G. Badino, G. Bologna et al., *Europhys. Lett.* **8**, 611 (1989).
5. Ch. Berger, M. Fröhlich, H. Mönch et al., *Phys. Lett.* **B245**, 305 (1990).
6. M. Goodman, Talk at the Atmospheric Neutrino Workshop, Louisiana, (1993).
7. Г.Т.Зацепин, О.Г.Ряжская, *Изв. АН СССР, сер.физ.* **20**, 1946 (1965).
8. А.С.Мальгин, О.Г.Ряжская, В.Г.Рясный, Ф.Ф.Хальчук, *Письма в ЖЭТФ* **36**, 308 (1982).
9. F.F.Khalchukov, A.S.Malgin, V.G.Ryasny, and O.G.Ryazhskaya, *Nuovo Cim.* **6C**, 320 (1983).
10. F.F.Khalchukov, V.A.Kuznetsov, V.G.Ryasny et al., *Proc. 20 ICRC, Moscow*, **5**, 266 (1987).
11. Л.Б.Безруков, В.И.Береснев, Г.Т.Зацепин и др., *ЯФ* **17**, 98 (1973).
12. Р.И.Еникеев, Г.Т.Зацепин, Е.В.Королькова и др., *ЯФ* **46**, 1492 (1987).
13. M. Aglietta, G. Badino, G. Bologna et al., *Nuovo Cim.* **12C**, 467 (1989).
14. А.Н.Калиновский, Н.В.Мохов, Ю.П.Никитин, Прохождение частиц высоких энергий через вещество, М.: Энергоатомиздат, 1985.
15. В.С.Барашенков, В.Д.Тонеев. Взаимодействие высокоэнергетических частиц и атомных ядер с ядрами. М.: Атомиздат, 1972.
16. С.Хаякава, Физика космических лучей, М.: Мир, 1973.