

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

ОСНОВАН В 1965 ГОДУ  
 ВЫХОДИТ 24 РАЗА В ГОД

ТОМ 61, ВЫПУСК 4  
 25 ФЕВРАЛЯ, 1995

Письма в ЖЭТФ, том 61, вып.4, стр.229 - 232

© 1995г. 25 февраля

**КОММЕНТАРИЙ К ИНТЕРПРЕТАЦИИ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКА**  
**АТМОСФЕРНЫХ НЕЙТРИНО ДЕТЕКТОРОМ КАМИОКАНДЕ**

*О.Г.Ряжская*

*Институт ядерных исследований РАН  
 117312 Москва, Россия*

Поступила в редакцию 13 января 1995 г.

Проведен анализ распределения по объему событий, зарегистрированных детектором Камиоканде в эксперименте по измерению потока атмосферных нейтрино. Показано, что электроноподобные события вблизи границ рабочего объема состоят из смеси взаимодействий  $\nu_e$  с нуклонами и нейтронов – с ядрами  $O^{16}$ . Нейтроны генерируются в ливнях, рождаемых мюонами в грунте. Отношение  $\nu_\mu/\nu_e$  в центральном объеме детектора, отстоящем от плоскости фотоумножителей примерно на 3 м, близко к ожидаемому.

В [1] обсуждался фон, вызываемый изолированными нейтронами в черенковских детекторах, изучающих атмосферные нейтрино. Нейтроны рождаются в ливнях, генерируемых мюонами в стенах. Определенная часть высокоэнергичных нейтронов может отойти далеко от ствола ливня, пройти без видимого сигнала в антисовпадательной защите во внутренний объем детектора и дать электроноподобные события за счет реакции  $nA \rightarrow \pi X^0$ . Оценки показывают, что такой фон существен вплоть до глубин 5000 м.в.э.

Недавно появилась статья коллаборации Камиоканде [2], в которой авторы представили пространственное распределение точек взаимодействия электроно- и мюноподобных событий для энергий выше 1,33 ГэВ (см. рис.1; ось абсцисс представляет квадрат радиуса детектора, ось ординат – его высоту). Событие называется полностью внутренним (FC), если точка взаимодействия лежит внутри рабочего объема и нет видимой энергии в системе антисовпадений. Частично внутреннее событие (PC) может иметь видимую энергию, соответствующую прохождению одной частицы, в антисовпадательной защите, но при этом надежно устанавливается, что точка взаимодействия находится в рабочем объеме. По определению, PC-событиями могут быть только мюноподобные события. FC-событиями являются как мюноподобные (светлые точки

на рис.1), так и электроноподобные (черные точки) события. Полное число мюноподобных FC-событий равно 31, электроноподобных – 98.

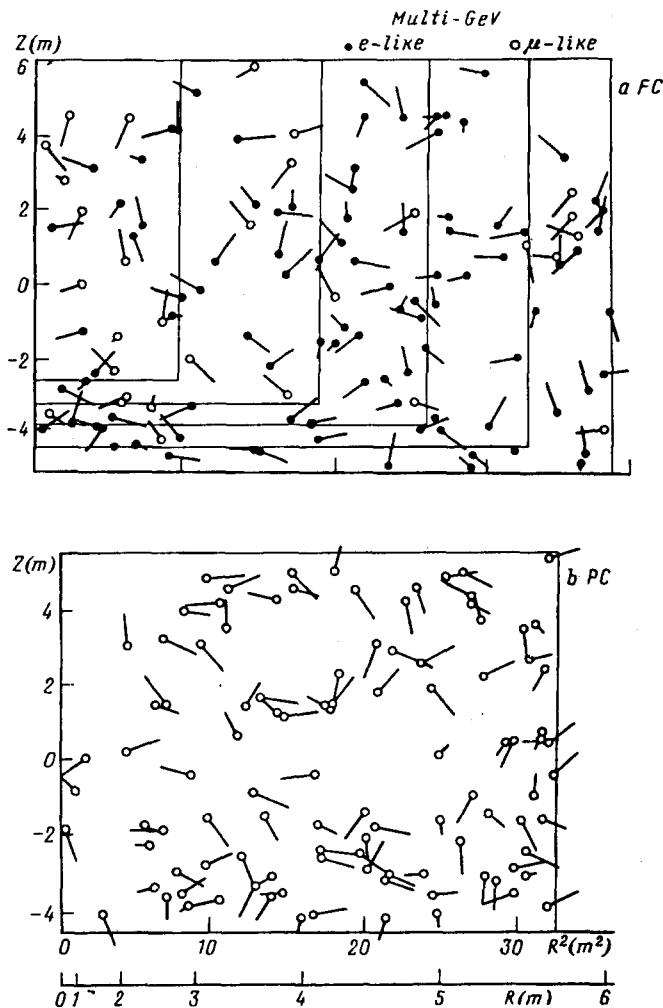


Рис.1. Двумерное, в плоскости  $R^2 - Z$ , распределение точек взаимодействия и направления импульсов для: а) FC-событий; б) PC-событий, зарегистрированных детектором Камиоканде.  $Z$  – вертикальная ось,  $R$  – расстояние вдоль радиуса цилиндрического рабочего объема. Черные точки – места взаимодействий для электроноподобных событий, светлые – то же для мюноподобных событий. Линии по вертикали и горизонтали – границы одинаковых объемов (см. текст)

Рассмотрим, насколько распределение, приведенное на рис.1, соответствует гипотезе о том, что все зарегистрированные события являются взаимодействиями нейтрино.

В отсутствие краевого эффекта точки взаимодействия нейтрино должны быть распределены равномерно. Такое распределение справедливо для суммы FC- и PC-событий. За счет краевого эффекта плотность нейтринных FC-событий должна уменьшаться от центра к периферии. Плотность событий, обязанных нейтронному фону, должна быть больше в наружных слоях, так как источник нейтронов находится вне детектора. Из-за краевого эффекта количество событий, связанных с нейтронами, будет уменьшаться к центру слабее, чем  $\exp(-r/\lambda)$ , где  $\lambda$  – пробег нейтрона до генерации пиона.

Следует отметить, что нейтроны, генерируемые мюонами в грунте, попадают в детекторы преимущественно через боковые стенки и снизу. Вероятность

нейтрону, созданному в ливне над установкой, прийти в детектор без сопровождения заряженных частиц крайне мала. Разделим детектор на пять одинаковых объемов, как показано на рис.1. Линии по вертикали – следы цилиндрических поверхностей, отстоящих от границы рабочего объема на 0,5λ, 1,1λ, 2,1λ и 3,3λ. Линии по горизонтали показывают сечения цилиндра, отстоящие от дна на 0,7λ, 1,4λ, 2,1λ и 2,8λ.

Распределение зарегистрированных в эксперименте событий по объему детектора, считая от центра к периферии, представлено на рис.2. Ось абсцисс – доля объема, ось ординат – число событий, зарегистрированных в данном объеме. Гистограмма 1 – ожидаемое распределение точек взаимодействия мюонных нейтрино для FC-событий, точки – экспериментальные данные. Согласие между кривой и точками довольно хорошее. Это подтверждает гипотезу, что мюноподобные события являются взаимодействиями мюонных нейтрино.

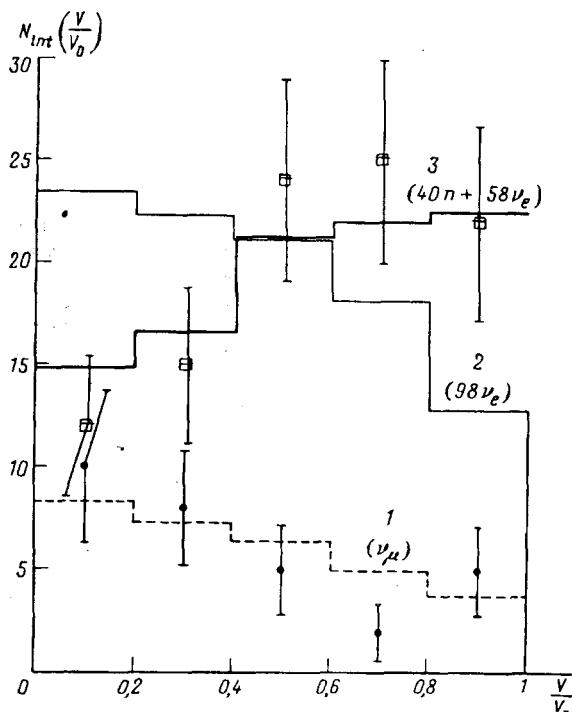


Рис.2. Распределение зарегистрированных Камиоканде событий в одинаковых долях рабочего объема ( $V/V_0$ ) от центра к периферии. Точки – мюноподобные, квадратики – электронноподобные события. Ожидаемые распределения: 1 – нейтринных мюноподобных событий; 2 – то же для электронноподобных событий, вызванных нейтрино; 3 – для смеси взаимодействий электронных нейтрино и фона, вызванного нейтронами высоких энергий

Гистограмма 2 – распределение точек взаимодействий, ожидаемое в случае, если все электронноподобные события обязаны нейтрино. Видно, что экспериментально полученное распределение электронноподобных событий отличается как от ожидаемой гистограммы, так и от распределения мюноподобных событий. Гистограмма 3 рассчитана в предположении, что из полного числа (98) зарегистрированных событий 58 обязаны взаимодействиям нейтрино, а 40 – регистрации  $\pi^0$ -мезонов, рожденных в реакциях  $n0^{16} \rightarrow \pi^0 X$ , как было получено в работе [1]. Согласие экспериментальных данных с этой гистограммой – вполне удовлетворительное.

Из рис.2 можно заключить, что нейтронный фон в 40% рабочего объема, ограниченного 2,1λ снизу и сбоку, мал. По оценке, он составляет менее 20% зарегистрированных событий. Следовательно, этот объем можно использовать

для определения  $\nu_\mu/\nu_e$ -отношения. Эта величина получается равной  $(N_\mu^{\text{FC}} + N_\mu^{\text{PC}})/N_e^{\text{FC}} = 59/27 = 2,2 \pm 0,4$ , близкой к ожидаемой.

Приведенное рассмотрение показывает, что на глубинах около 3000 м.в.э. для проведения экспериментов по регистрации атмосферных нейтрино, взаимодействующих внутри детекторов, необходимо выбирать рабочий объем, отстоящий от стен не менее чем на 5λ. Это требование становится мягче с увеличением глубины. Но даже на глубинах около 5000 м.в.э. следует использовать антисовпадательную защиту толщиной  $1 \div 2\lambda$ .

Из приведенных рисунков следует, что если размеры внутреннего объема детектора меньше  $4 - 6\lambda$ , то пространственное распределение событий будет близким к равномерному (см. 3 последних точки на гистограмме 3 рис.2), что может затруднить выделение эффекта из фона.

В заключение считаю своим приятным долгом поблагодарить Г.Т.Зацепина, Л.Б.Безрукова, Э.В.Бугаева, Л.В.Волкову, Г.В.Домогацкого, И.М.Железных, С.П.Михеева и В.Г.Ряского за обсуждение данной работы.

---

1. О.Г.Ряжская, Письма в ЖЭТФ 60, 609 (1994).

2. Y.Fukudo, T.Nayakama, K.Inoue et al., Phys. Lett. 335, 237 (1994).