

### НЕЙТРИННЫЕ ПУЧКИ КОЛЛАЙДЕРА УНК

Н.П. Зотов\*, В.А. Царев

*Показана принципиальная возможность проведения нейтринных экспериментов на УНК, работающем в режиме коллайдера. Даны оценки потоков и числа событий в детекторе для прямых нейтрино.*

В настоящей работе оценивается возможность проведения нейтринных экспериментов на ускорителе УНК, работающем в режиме коллайдера. При несомненном достоинстве коллайдеров — большой энергии столкновения их недостатком является отсутствие вторичных, в том числе лептонных, пучков, что существенно обедняет возможности экспериментальных исследований. В работе /1/ обращено внимание на то, что на мультитэвных коллайдерах этот недостаток, по крайней мере частично, может быть компенсирован за счет использования энергичных и хорошо коллимированных пучков прямых лептонов, которые генерируются в местах встречи протонных пучков. Роль прямых нейтрино в формировании нейтринных пучков ускорителей высоких энергий уже отмечалась в /2/. Преимущество прямых нейтрино по сравнению с обычными нейтрино от распадов  $\pi$ - и  $K$ -мезонов при высоких энергиях основано на значительной разнице длин распада обычных адронов и очарованных частиц. Типичная длина распада последних при массе  $m_c \cong 2$  ГэВ и времени жизни  $\tau_c \cong 5 \cdot 10^{-13}$  с при энергиях УНК составляет\*\*

$$l_c = \gamma c \tau_c \cong 4,5 \text{ см} [5 / (n + 2)] (E_p / 3 \text{ ТэВ}),$$

то есть при  $n = 1 \div 5$   $l_c \cong 3 \div 10$  см. В то же время распадная длина пионов

$$l_\pi = \gamma c \tau_\pi \cong 28 \text{ км} [6 / (n_\pi + 2)] (E_p / 3 \text{ ТэВ})$$

при  $n_\pi = 4$  равна 28 км. Поэтому при  $\sigma_c / \sigma_{\text{tot}} \cong 0,1$  и длине прямолинейного промежутка pp-коллайдера порядка сотни метров отношение числа лептонов от распада пионов и очарованных частиц составляет  $\sim 1/10$ , а при меньших длинах прямая генерация полностью преобладает. Среднюю энергию прямых нейтрино можно оценить по формуле  $\langle E_\nu \rangle = E_p / (3n + 6)$ . Однако более аккуратные расчеты по методу Монте-Карло /1/ дают несколько меньшее (на 15%) значение  $\langle E_\nu \rangle$ , что учтено в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Средняя энергия (в ТэВ) прямых нейтрино на УНК

$D \rightarrow \nu_\mu \nu_e$ $\bar{D} \rightarrow \bar{\nu}_\mu \bar{\nu}_e$ ( $n = 2$ )	$\Lambda_c \rightarrow \nu_\mu \nu_e$ ( $n = 0,5$ )	$F^+ \rightarrow \tau^+ \rightarrow \bar{\nu}_\tau$ $F^- \rightarrow \tau^- \rightarrow \nu_\tau$ ( $n = 2$ )	$F^+ \rightarrow \nu_\tau$ $F^- \rightarrow \bar{\nu}_\tau$ ( $n = 2$ )
0,23	0,37	0,24	0,07

\* НИИЯФ МГУ.

\*\* Если спектр очарованных частиц  $dN/dx \sim (1 - x)^n$ , то их средняя энергия  $\langle E_c \rangle \cong E_p / (n + 2)$ , где  $E_p$  — энергия первичных протонов в лабораторной системе.

Поток лептонов можно найти по формуле /1/:

$$\Phi_l = \Phi_0 \frac{\sigma(C)}{\sigma_c} \text{BR}(C \rightarrow l),$$

где  $\Phi_0 = \frac{1}{2} L \sigma_{\text{tot}} \frac{\sigma_c}{\sigma_{\text{tot}}}$ ,  $L$  – светимость коллайдера (для УНК принимаем  $L = 10^{33} \text{ (см}^{-2}\text{с}^{-1}\text{)}$ ). Для остальных величин ( $\sigma_{\text{tot}}$  – полное сечение pp-взаимодействия,  $\sigma_c$  – полное сечение рождения очарованных частиц,  $\sigma(C)$  – сечение рождения очарованных частиц определенного сорта ( $D, \bar{D}, \Lambda_c, F^\pm$ ),  $\text{BR}$  – относительная вероятность распада) используем значения из работы /1/. В частности,  $\sigma_{\text{tot}} = 38,3 + 0,5 \ln^2 \text{ (s/116 ГэВ}^2\text{)}$  и для УНК  $\sigma_{\text{tot}} \cong 118,24 \text{ мбн}$ . Полагая  $\sigma_c/\sigma_{\text{tot}} = 0,1$ , получим  $\Phi_0 = 5,9 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1} (L/10^{33} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1})$ .

Число нейтринных взаимодействий за время  $T$  в детекторе длины  $l$  с поперечными размерами, большими ширины пучка (угловая расходимость лептонного пучка  $\sim 2 \text{ мрад} \cdot (3 \text{ ТэВ}/E_p)$ ), и плотностью  $\rho$  равно

$$N = \rho N_A 10^{-35} \text{ см}^2 \langle E_\nu \rangle \Phi_\nu l T$$

( $N_A = 6 \cdot 10^{23}$  – число Авогадро). Принимая  $T = 10^7 \text{ с}$  (год),  $l = 25 \text{ м}$  и  $\rho = 5 \text{ г/см}^3$ , получим

$$N \cong 0,375 \langle E_\nu \rangle \Phi_\nu.$$

Таблица 2

Число взаимодействий в год от прямых нейтрино

Тип ускорителя	$\nu_e$ от $D$	$\bar{\nu}_e$ от $\bar{D}$	$\nu_e$ от $F^+$	$\bar{\nu}_e$ от $F^-$	$\nu_e$ от $\Lambda_c$	Число взаимодействий	
						полное, с учетом вклада от $\nu_\mu$	в экспериментах типа beam-dump
УНК	$2,6 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$
LHC	$8,4 \cdot 10^4$	$4,6 \cdot 10^4$	$6,3 \cdot 10^4$	$3,5 \cdot 10^4$	$6,7 \cdot 10^4$	$6,0 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^6$
SSC	$2,5 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^7$

В табл. 2 приведены результаты оценок для УНК числа событий в детекторе, вызванных прямыми нейтрино от различных распадов. Там же для сравнения даны аналогичные результаты /1/ для коллайдеров LHC (8 ТэВ  $\times$  8 ТэВ) и SSC (20 ТэВ  $\times$  20 ТэВ) при той же светимости.

В последнем столбце табл. 2 приведены оценки для числа нейтринных взаимодействий в экспериментах типа beam-dump. При этом /1/

$$\Phi_l(\text{bd})/\Phi_l = \frac{365 \text{ d}}{\pi 10^7 \text{ с}} N_p \left( \frac{\sigma_c}{\sigma_{\text{tot}}} \right)_{\text{bd}} \frac{1}{\Phi_0},$$

где  $N_p$  – полное число протонов, сбрасываемых на мишень;  $d$  – количество сбросов за сутки. Принимая для УНК число протонов в кольце  $N_p = 2,5 \cdot 10^{13}$ ,  $d = 3$  и отношение  $(\sigma_c/\sigma_{\text{tot}})_{\text{bd}} \cong 0,015$ , при  $E_p = 3 \text{ ТэВ}$ , получим:

$$\Phi_l(\text{bd})/\Phi_l \cong 2,2(d/3) (N_p/2,5 \cdot 10^{13}) (10^{33} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}/L).$$

Приведем еще оценку основного "фона" — числа жестких мюонов, рождаемых на один выведенный из ускорителя сгусток частиц (принимая для УНК число сгустков  $N_B = 110$ ):

$$N_\mu = \frac{N_p}{N_B} \left( \frac{\sigma_c}{\sigma_{tot}} \right)_{bd} \langle BR(c \rightarrow \mu) \rangle \cong 3,4 \cdot 10^8.$$

Приведенные выше оценки показывают, что имеется принципиальная возможность для проведения на УНК-коллайдере нейтринных экспериментов с разумной статистикой  $\sim 10^5$  событий в год при энергиях, недоступных существующим ускорителям со стационарными мишенями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. De Rújula A., Ruckl R. Proc. Workshop on the feasibility of Hadron Colliders in the LEP tunnel, Lausanne and CERN, March 1984.
2. Зотов Н. П. и др. Письма в ЖЭТФ, 39, 81 (1984).

Поступила в редакцию 5 августа 1987 г.