

РОЖДЕНИЕ КУМУЛЯТИВНЫХ ПРОТОНОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ НЕЙТРИНО С ЯДРАМИ ФОТОЭМУЛЬСИИ

*Р.Амлар*¹, *А.Бакич*², *Т.Барнет*³, *Ю.А.Батусов*⁴,
*А.О.Вайсенберг*⁵, *Р.Вилкс*³, *Б.Вильчинска*⁶, *Г.Вильчински*⁶,
*Л.Войвондик*⁷, *Б.Войсек*⁶, *В.Волтер*⁶, *П.А.Горичев*⁵,
*Дж. Грэсс*¹, *М.И.Дайон*, *Р.Дэвис*¹, *О.К.Егоров*⁵, *М.Иванова*⁸,
*Н.Квак*¹, *Э.Д.Колганова*⁵, *Д.Коппадж*¹, *С.Крживджински*³,
*О.М.Кузнецов*⁴, *Дж.Лорд*³, *В.В.Люков*⁴, *И.В.Махлюева*⁵,
*А.Ольшевски*⁶, *Л.Пик*², *Е.А.Пожарова*⁵, *Р.Раймер*¹,
В.М.Раппопорт, *Р.Розенбладт*³, *Г.Рубин*⁹, *В.Смарт*⁷,
*В.А.Смирнитский*⁵, *Р.Стамп*¹, *В.И.Третьяк*⁴, *Х.Чернев*¹⁰,
*В.В.Шаманов*⁵, *А.Юрак*⁶

Проведено исследование кумулятивного эффекта во взаимодействиях нейтрино в диапазоне энергий $10 \div 200$ ГэВ с ядрами фотоэмульсии. Впервые наблюдалось падение среднего выхода кумулятивных протонов при энергии нейтрино, превышающей 50 ГэВ (кварата четырехимпульса больше 15 (ГэВ/с)², переданной энергии больше 20 ГэВ).

-
- 1) Канзасский Университет, Лоуренс, США.
 - 2) Сиднейский Университет, Австралия.
 - 3) Вашингтонский Университет, Сиэтл, США.
 - 4) ОИЯИ, Дубна, СССР
 - 5) ИТЭФ, Москва, СССР.
 - 6) ЯФ, Краков, ПНР.
 - 7) ФНАЛ, Багавия, США.
 - 8) Пловдивский Университет, Пловдив, НРБ.
 - 9) ИИТ, Чикаго, США.
 - 10) ИЯИЯЭ, София, НРБ.

Кумулятивный эффект, обнаруженный при взаимодействии адронов с ядрами ^{1, 2}, привлек большой интерес к образованию частиц, рождение которых на свободном нуклоне запрещено кинематикой реакций. К настоящему времени явление ядерного скейлинга меньше всего исследовано в нейтринных взаимодействиях. Имеются ограниченные экспериментальные данные по взаимодействию нейтрино с легкими ядрами ($\langle A \rangle = 20,30$) ^{3, 4}. Поэтому очень важными являются эксперименты с фотоэмульсией, которые позволяют детально исследовать каждое нейтринное взаимодействие на тяжелом ядре ($\langle A \rangle = 80$).

Изучение образования кумулятивных протонов на ядрах фотоэмульсии проводилось нами в рамках эксперимента E-564 при облучении ядерной фотоэмульсии в нейтринном пучке при энергиях 10 ÷ 200 ГэВ в Лаборатории им. Ферми. Описание методики эксперимента и способов определения энергии нейтрино можно найти в работе ⁵.

Было отобрано 151 взаимодействие с заряженным током. Для выделения кумулятивных протонов (КП) был разработан метод определения импульса g -частиц по измерению их относительной ионизации в фотоэмульсии ⁶. Были отобраны события с протонами, вылетающими в лабораторной системе назад, импульсы которых превышали 300 МэВ/с. В 31 ν -взаимодействии наблюдались кумулятивные частицы — это составляет $20,5 \pm 2,7\%$ от общего числа событий. Всего было зарегистрировано 50 КП, что дает их средний относительный выход равный $\langle N_{\text{КП}} \rangle = 0,33 \pm 0,07$.

Ранее нами были опубликованы результаты исследования кумулятивного эффекта: распределения КП по квадрату 4-импульса, кинетической энергии, углу вылета и скейлинговым переменным ⁷. Проведен также анализ A -зависимости выхода КП. Использование в качестве мишени ядерной фотоэмульсии позволяет выявить важные для механизма множественного образования кумулятивных частиц корреляции между числом КП и множественностями b -, g - и s -частиц в фотоэмульсии. Эта задача особенно интересна для нейтринных событий, поскольку нейтрино взаимодействует в ядре заведомо только один раз.

В таблице 1 приведены средние множественности для событий без кумулятивных частиц ($N_{\text{КП}} = 0$), с одной ($N_{\text{КП}} = 1$) и двумя и большим их числом ($N_{\text{КП}} \geq 2$). Обозначения $\langle N_b \rangle$, $\langle N_g \rangle$ и $\langle N_s \rangle$ соответствуют средним множественностям b -, g - и s -треков, $\langle N_{g \text{ вперед}} \rangle$ — средняя множественность g -треков, вылетающих вперед. Видно, что средняя множественность релятивистских частиц ($\langle N_s \rangle$) не зависит от наличия и числа КП, а средние множественности b - и g -частиц пропорциональны $N_{\text{КП}}$.

Т а б л и ц а 1

$N_{\text{КП}}$	$\langle N_b \rangle$	$\langle N_g \rangle$	$\langle N_{g \text{ вперед}} \rangle$	$\langle N_s \rangle$
0	$4,4 \pm 0,2$ ¹⁾	$1,4 \pm 0,1$	$1,4 \pm 0,1$	$7,0 \pm 0,3$
1	$5,4 \pm 0,6$	$3,0 \pm 0,3$	$2,0 \pm 0,3$	$6,5 \pm 0,5$
≥ 2	$10,0 \pm 1,0$	$5,6 \pm 0,5$	$3,1 \pm 0,6$	$7,4 \pm 0,6$

¹⁾ Все ошибки статистические.

При исследовании взаимодействий частиц высокой энергии с ядрами большой интерес вызывает выяснение пространственно-временной картины взаимодействия ⁸. Использование тяжелых ядерных мишеней в пучках нейтрино высокой энергии позволяет, в частности, проверить гипотезу конечной длины формирования адронов ^{8, 9}. Известно, что параметром, характеризующим число внутриядерных взаимодействий, является множественность g -частиц, а пропорциональность выхода КП величине $\langle N_g \rangle$ позволяет использовать $\langle N_{\text{КП}} \rangle$ для характеристики развития внутриядерного каскада.

В таблице 2 приведены зависимости $\langle N_{\text{кп}} \rangle$ и квадрата четырехимпульса Q^2 для событий без и с КП от энергии нейтрино E_ν . Из таблицы видно, что при $10 \text{ ГэВ} \leq E_\nu \leq 30 \text{ ГэВ}$ $\langle Q^2 \rangle$ не зависит от наличия в событиях КП; при $30 \div 50 \text{ ГэВ}$ значение $\langle Q^2 \rangle$ для событий с КП больше, чем для событий без КП; при $E_\nu > 50 \text{ ГэВ}$ значение $\langle Q^2 \rangle$ в событиях с КП меньше, чем в событиях без КП.

Т а б л и ц а 2

$E_\nu, \text{ ГэВ}$	$\langle N_{\text{кп}} \rangle$	$Q^2, (\text{ГэВ}/c)^2$	
		с КП	без КП
10 + 30	$0,56 \pm 0,14$	$6,2 \pm 1,5$	$5,4 \pm 0,7$
30 + 50	$0,45 \pm 0,13$	$15,9 \pm 2,3$	$9,4 \pm 1,3$
50 + 200	$0,10 \pm 0,04$	$13,6 \pm 3,4$	$22,4 \pm 2,3$

Т а б л и ц а 3

$Q^2, (\text{ГэВ}/c)^2$	$\langle N_{\text{кп}} \rangle$
0 + 10	$0,40 \pm 0,07$
10 + 15	$0,53 \pm 0,13$
> 15	$0,10 \pm 0,07$

В таблице 3 приведены результаты разбиения всех событий по трем приблизительно одинаково статистически обеспеченным интервалам по Q^2 .

Из таблиц 2 и 3 видно, что при $E_\nu > 50 \text{ ГэВ}$, $Q^2 > 15 (\text{ГэВ}/c)^2$ средний выход КП резко падает и достигает значения $\langle N_{\text{кп}} \rangle = 0,10 \pm 0,04$. На основании этих результатов можно сделать следующий вывод: с увеличением E_ν (Q^2) увеличивается переданный партонной струе импульс и в соответствии с гипотезой конечной длины формирования адронов уменьшается вклад их вторичных взаимодействий. Возможно, что при достаточно высоких значениях переданного импульса адроны формируются вне ядра и поэтому вклад вторичных взаимодействий вымирает.

Литература

1. Балдин А.М. Крат. сообщения по физике АН СССР, 1971, №1, с. 35.
2. Балдин А.М. и др. ЯФ, 1973, 18, 79.
3. Efremenko V.I. et al. Phys. Lett. B, 1979, 84, 511.
4. Иванюков А.А., Конюшко В.И., Кораблев В.М. и др. Письма в ЖЭТФ, 1979, 30, 390.
5. Smart et al. Acta Phys. Polon. B, 1986, 17, 1, 41.
6. Раппопорт В.М. и др. Препринт № 159, ФИАН, 1987.
7. Аммар Р. и др. Препринт № 48, ФИАН, 1988.
8. Николаев Н.Н. УФН, 1981, 134, 369.
9. Канчели О.В. Письма в ЖЭТФ, 1973, 18, 465.
10. Адамович М.И. и др. Труды ФИАН, 1979, 108, 65; Abdurazakova Y.A. et al. Acta Phys. Polon. B, 1987, 18, 249.

Физический институт им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
6 января 1989 г.