

12/ХИ-83



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

6500/83

1-83-569

РЕГИСТРАЦИЯ И АНАЛИЗ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НЕЙТРИНО С ЯДРАМИ
В ФОТОЭМУЛЬСИИ
НА УСКОРИТЕЛЕ ИФВЭ (СЕРПУХОВ)

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1983

Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, О.М.Кузнецов, В.В.Люков,
В.И.Третьяк

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

В.И.Баранов, А.А.Бельков, А.П.Бугорский, А.С.Вовенко,
А.А.Волков, В.И.Кочетков, В.И.Курбаков, А.И.Мухин,
В.Ф.Перельгин, Ю.М.Свиридов, В.А.Ярба

Институт физики высоких энергий, Серпухов

В.А.Жеманов, А.А.Зайцев, С.А.Зельдович, Н.В.Калганов,
Ю.Г.Корнелюк, Е.А.Пожарова, В.М.Серезин, В.А.Смирнитский,
В.А.Смотряев, И.С.Тростин, В.В.Шаманов, В.Г.Шевченко,
В.Ш.Эпштейн

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва

Н.И.Костанашвили

Тбилисский государственный университет

М.Хайдук

Центральный институт физики, Бухарест

1. ВВЕДЕНИЕ

Высокое пространственное разрешение ядерной фотоэмульсии позволяет регистрировать короткоживущие частицы с временем жизни $\sim 10^{-18} - 10^{-14}$ с, а также исследовать некоторые характеристики взаимодействий нейтрино с ядрами /например, энергию возбуждения ядер/, недоступные для исследований с помощью других детекторов. При облучении фотоэмульсии в пучке нейтрино для поиска первичных взаимодействий используется информация от внешнего детектора /системы целеуказания/, позволяющая по угловым характеристикам вторичных частиц локализовать вершину взаимодействия в фотоэмульсии.

Ядерная фотоэмульсия в сочетании с системой целеуказания для регистрации взаимодействия нейтрино впервые была использована в 1965 году Э.Буропом и др.^{/1/} в эксперименте на протонном синхротроне ЦЕРН. Было найдено 4 взаимодействия нейтрино и показана принципиальная возможность регистрации нейтринных взаимодействий в фотоэмульсии с помощью системы целеуказания.

Следует отметить, что в экспериментах по изучению широких атмосферных ливней подобная методика применялась еще в 1957 г.^{/2/}, а одна из первых установок на ускорителях с использованием фотоэмульсии и искровых счетчиков была создана в начале 60-х годов в ОИЯИ и использовалась в методических целях на синхрофазотроне ЛВЗ^{/3/}.

В 1976-1979 годах на нейтринном канале ИФВЗ /Серпухов/ в рамках совместного эксперимента ИТЭФ-ИФВЗ-ОИЯИ были проведены работы по регистрации взаимодействий нейтрино с ядрами в фотоэмульсии с использованием системы целеуказания. Фотоэмульсионные камеры, располагавшиеся перед нейтринным детектором ИТЭФ, облучались в пучке мюонных нейтрино с энергией в интервале 2-30 ГэВ. Примесь $\bar{\nu}_\mu$ и ν_e в нейтринном пучке составляла не более 1,5%. Средняя /по взаимодействиям/ энергия нейтрино $\sim 8,1$ ГэВ. В первом сеансе было облучено 16 л, во втором - 40 л фотоэмульсии и зарегистрировано 13 взаимодействий нейтральных частиц, из которых 8 взаимодействий были найдены в первом сеансе по 20 целеуказаниям и 5 взаимодействий - во втором сеансе по 76 целеуказаниям. Результаты предварительной обработки событий, зарегистрированных в первом сеансе, описаны в работах^{/4,5/}. В настоящей работе представлены результаты поиска и анализа событий, зарегистрированных в обоих сеансах.

2. РЕГИСТРАЦИЯ СОБЫТИЙ В ЭМУЛЬСИИ

В качестве системы целеуказания использовались первые три /в некоторых случаях четыре/ трехэлектродные искровые камеры /8,7/ нейтринного детектора, которые фотографировались двумя фотоаппаратами с параллельными осями. Средний коэффициент увеличения составлял $\sim 1/37$, а стереоугол - $\sim 17^\circ$.

Во время облучения фотоэмульсионные камеры, помещенные в специальные кассеты, устанавливались на несущей раме эмульсионного модуля. Точность установки кассет составляла $\sim 0,2$ мм. Реперные метки, нанесенные на стенки модуля, фиксировали его положение относительно системы целеуказания с точностью 0,1 мм вдоль пучка /ось Y/, 0,4 мм в направлении от фотоаппаратов к детектору /ось Z/ и 0,1 мм - в перпендикулярном направлении /ось X/.

Алгоритм пространственного восстановления событий основан на конических преобразованиях от пространства к пленке вида:

$$U = \frac{A_5 \cdot X + A_6 \cdot Y + A_7 \cdot Z + A_8}{A_1 \cdot Z + A_2 \cdot Y + A_3 \cdot X + A_4}, \quad V = \frac{A_9 \cdot X + A_{10} \cdot Y + A_{11} \cdot Z + A_{12}}{A_1 \cdot X + A_2 \cdot Y + A_3 \cdot Z + A_4}, \quad /1/$$

где U и V - координаты точки на пленке, а X, Y, Z - в пространстве. Параметры преобразования A_i определялись с помощью реперных меток, располагавшихся в объеме детектора. Оптическая система обеспечивала точность восстановления точек в пространстве, равную:

$$\sigma_x = 0,2 \text{ мм}; \quad \sigma_y = 0,5 \text{ мм}; \quad \sigma_z = 1,2 \text{ мм}.$$

Одним из важных факторов, влияющих на точность целеуказания, и, следовательно, на эффективность поиска событий в эмульсии, является число треков энергичных частиц в целеуказаниях /8/. Основную часть целеуказаний в нашем эксперименте, вследствие относительно низкой энергии нейтрино и связанной с этим малой множественности релятивистских частиц, составили "двухлучевые целеуказания"*. Средняя точность определения координат вершин таких событий, без учета многократного рассеяния и точности установки эмульсии относительно системы целеуказания, оценивались как: 11,2 мм; 3,0 мм; 0,4 мм соответственно, вдоль осей Y, Z, X /5/. На рис.1 представлены разности предсказанных и измеренных значений координат для 13 найденных в эмульсии вершин. Ось Z_3 , определяющая номер слоя N, направлена перпендикулярно плоскости эмульсионных пластин и совпадает с осью X; оси X_3 и Y_3 повернуты относительно осей Z и Y на угол $\sim 22^\circ$. Стандартные откло-

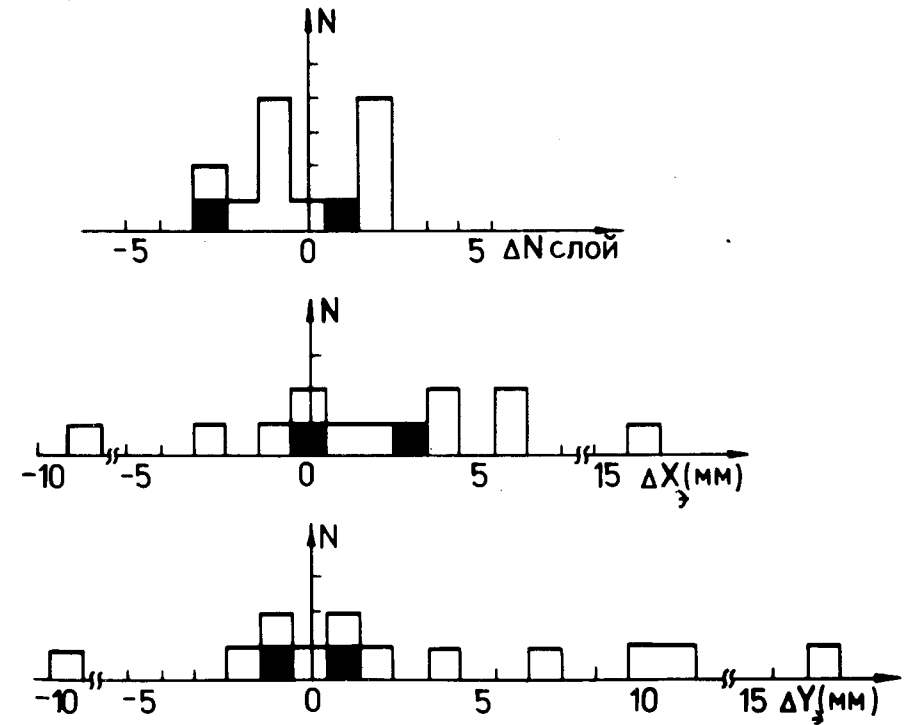


Рис.1. Разности предсказанных и измеренных координат вершин 13 найденных событий: □ - двухлучевые предсказания, ■ - трехлучевые предсказания.

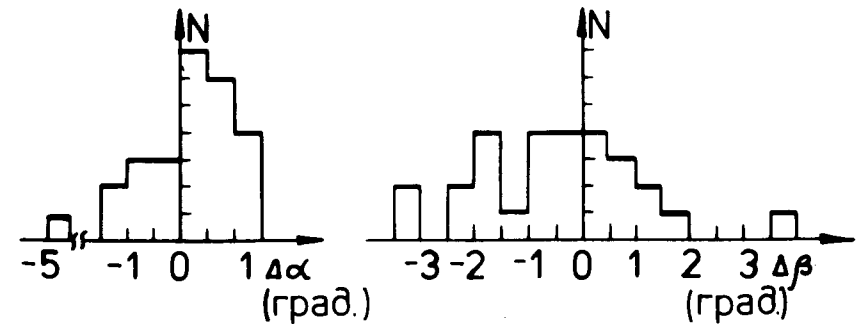


Рис.2. Разности предсказанных и измеренных значений азимутальных углов $\Delta\alpha$ и углов погружения $\Delta\beta$ для треков найденных событий.

* В искровых камерах системы целеуказания регистрировались частицы с углом вылета $< 45^\circ$ по отношению к направлению пучка нейтрино: в среднем $\sim 2,2$ частицы на событие.

Точность целеуказания в экспериментах с гибридной методикой

Эксперимент	Система целеуказания	Разность предсказанных и найденных координат вершин взаимодействий / 1 ст.откл./	Литература
ИФВЭ E-1111	Трехэлектродные искровые камеры	6,9 мм по пучку, 5,8 мм и 1,2 мм	Наст. работа
FNAL E-247	Широкоазорные искровые камеры	9,8 мм по пучку, 1,2 мм и 1,4 мм	/18/
CERN WA-17	Пузырьковая камера BEBC + проволочная камера	8 мм по пучку, 1,0 мм и 1,0 мм	/8/
FNAL E-564	15-футовая пузырьковая камера FNAL	2,8 мм по пучку, 1,5 мм и 1,0 мм	/19/
FNAL E-531	Дрейфовые камеры + корректирующий слой	1,4 мм по пучку, 0,29 мм и 0,37 мм	/20/

нения для представленных распределений равны:

$$\sigma_{\Delta y_3} = 6,9 \text{ мм}; \quad \sigma_{\Delta x_3} = 5,8 \text{ мм}; \quad \sigma_{\Delta z_3} = 1,2 \text{ мм}/1,9 \text{ слоя/}.$$

Для сравнения в табл.1 представлены оценки точности целеуказания в экспериментах с гибридной методикой.

На рис.2 приведено распределение разностей предсказанных и измеренных в эмульсии значений азимутальных углов $\Delta\alpha$ и углов погружения $\Delta\beta$ для частиц, попавших в искровые камеры. Стандартные отклонения равны:

$$\sigma_{\Delta\alpha} = 1,0^\circ; \quad \sigma_{\Delta\beta} = 1,5^\circ.$$

Поиск событий в эмульсии проводился методом просмотра по площади предсказанной зоны при увеличении 225x. Средний просмотренный объем для события составил $\sim 0,6 \text{ см}^3$ в первом и $\sim 1,8 \text{ см}^3$ во втором сеансах облучения. Эффективность поиска событий по целеуказаниям в первом и во втором сеансах составила 40% и 7% соответственно. Главной причиной снижения эффективности во втором сеансе явилось низкое качество фотоэмульсии: наличие сильной регрессии и фоновой вуали. Так, плотность зерен на релятивистских следах в эмульсии первого сеанса составила 33 зерна на 100 мкм, в то время как во втором сеансе зарегистрированы следы с плотностью 18 зерен на 100 мкм.

На рис.3 приведено распределение найденных событий в эмульсии вдоль направления нейтринного пучка. Так как в первом сеансе отмечался эффект уменьшения числа найденных событий в передней по пучку части эмульсионных камер (это отражает влияние многократного рассеяния и вторичных взаимодействий на точность целеуказаний), во втором сеансе толщина эмульсии по пучку была уменьшена с 10 до 5 см.

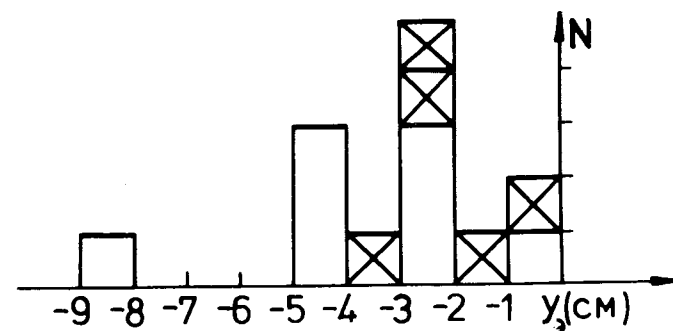


Рис.3. Распределение вершин найденных событий в эмульсии по координате Y_3 . \square - события, найденные в первом сеансе облучения, \blacksquare - события, найденные во втором сеансе облучения.

3. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ

Искровой детектор ИТЭФ позволял идентифицировать мюоны, попавшие в мюонный спектрометр, в котором определялся знак заряда и импульс мюона. Точность определения импульса по кривизне в магнитном поле составляла 15%. Калориметр детектора позволял надежно регистрировать электромагнитные ливни от электронов и γ -квантов с энергией $>1,0$ ГэВ. Точность восстановления энергии электромагнитного ливня составляла 25%^{/9/}. Для частиц, остановившихся в детекторе, было возможно определение их энергии по пробою. Полная длина калориметра соответствует 4 ядерным длинам взаимодействия или 20 радиационным длинам.

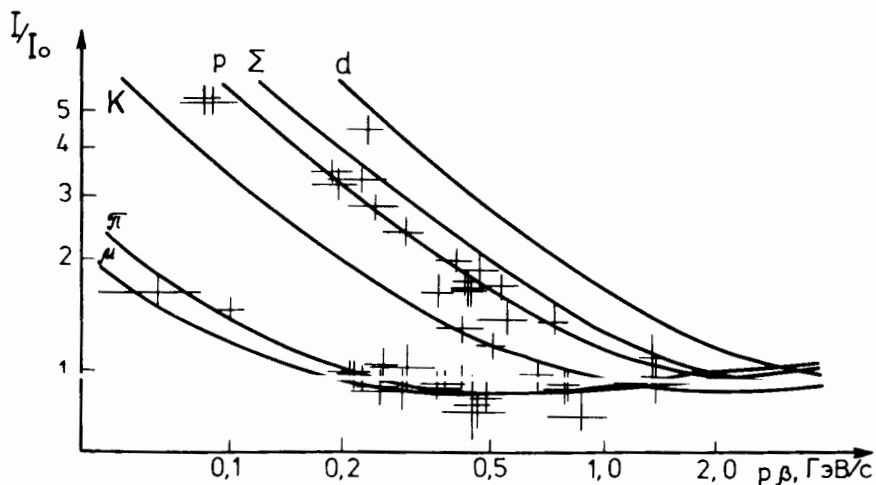


Рис.4. Идентификация вторичных частиц по измерениям относительной ионизации I/I_0 и кулоновского рассеяния $p\beta$ в фотоэмульсии.

Для идентификации вторичных заряженных адронов и определения их импульсов использовались измерения ионизации и многократного кулоновского рассеяния в фотоэмульсии. Для оценки величины $p\beta$ использовался метод кратных ячеек^{/10/}. При окончательном анализе зарегистрированных событий процедура обработки измерений рассеяния была несколько модифицирована по сравнению с процедурой работы^{/4/}, что позволило повысить надежность оценки величины $p\beta$. Кроме того, при определении относительной ионизации I/I_0 в настоящей работе сделаны поправки, учитывающие перекрытие зерен. На рис.4 показаны результаты измерений I/I_0 и $p\beta$ для треков всех 13 событий. Введение поправок на величины I/I_0 и $p\beta$ повлияло, в основном, на идентификацию частиц с большой ионизацией ($I/I_0 \geq 3$). В частности, из 7 частиц, рассматривавшихся ранее

как кандидаты в странные, только две /события 1 и 2 в работе^{/4/}/ в окончательном варианте идентифицированы как K-мезоны.

4. ОТБОР НЕЙТРИННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Для отделения нейтринных взаимодействий от нейтронного фона требовалось, чтобы видимое энерговыделение превышало 2 ГэВ. Все 13 событий удовлетворяли этому требованию. Для дальнейшего анализа отбирались события, идущие через слабый заряженный ток /СС-события/:



В семи событиях из тринадцати среди вторичных частиц есть частица, попавшая в мюонный спектрометр после прохождения четырех ядерных длин в алюминиевых фильтрах и искровых камерах. Вероятность того, что эта частица является мюоном, превышает 98%. При отсутствии данных с мюонного спектрометра, в отличие от работы^{/4/}, где кандидатом в СС-событие считалось событие, содержащее частицу, прошедшую больше двух ядерных длин без взаимодействия, в данной работе использовались дополнительные кинематические критерии 1 и 2:

Критерий 1. В событии есть непровазимодействовавшая в спектрометре частица, которая имеет наибольший как поперечный, так и продольный импульсы /импульс определялся по рассеянию в эмульсии/.

Критерий 2. Угол между поперечной составляющей импульса кандидата в мюон и поперечной составляющей суммарного импульса адронов в плоскости, перпендикулярной направлению пучка нейтрино, больше $90^{\circ}/11/$.

Согласно работе^{/12/}, эффективность выделения мюонов по этим критериям составляет 96%. Указанным критериям удовлетворяют 9 событий, в том числе 7 событий с мюоном, идентифицированным в спектрометре. Три события отнесены к безмюонным, а одно не классифицировано. Безмюонные реакции могут быть вызваны взаимодействиями нейтронов, нейтральных каонов, γ -квантов, а также нейтринными взаимодействиями, идущими через слабый нейтральный ток /NC-события/. При подобных критериях отбора СС-событий в эксперименте на камере СКЛТ ~21% зарегистрированных взаимодействий, вызванных нейтральными частицами, являются безмюонными. В нашем случае должно было наблюдаться не более трех таких событий, что согласуется с результатами отбора СС-событий. Энергия безмюонных событий должна быть меньше средней энергии СС-событий, так как энергия каонов, нейтронов и γ -квантов, являющихся вторичными продуктами реакций в защите, меньше энергии

первичных нейтрино, а в NC-событиях значительную часть энергии уносит рассеянное нейтрино. Средняя видимая энергия зарегистрированных нами безмюонных и CC-событий оказалась равной ~3,2 ГэВ и ~8,2 ГэВ соответственно.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ НЕЙТРИНО

Для определения энергии нейтрино в событиях с множественностью вылетающих в переднюю полусферу адронов, больше двух, примененся "TRANSVERSE MASS" метод^{/13/}. Этот метод основан на предположении, что наиболее вероятное направление импульса нейтральной адронной системы относительно ν -пучка определяется таким углом θ , при котором сумма величин $(P_{\perp i}^2 + m_i^2)^{1/2}$ каждого адрона и нерегистрируемой нейтральной системы в целом относительно суммарного импульса адронной системы минимальна. Угол θ определяется из условия минимума функционала

$$F(\theta) = \sum_i^n (P_{\perp i}^2 + m_i^2)^{1/2} + (P_{\perp 0}^2 + \mu_0^2)^{1/2}, \quad /2/$$

$$\mu_0^2 = m_{\pi^0}^2 + 0,01(M_0^2 - m_{\pi^0}^2),$$

где $P_{\perp i}$ и $P_{\perp 0}$ - поперечные импульсы i -го адрона и нейтральной системы адронов относительно полного импульса адронной системы, а m_i , m_{π^0} , M_0 - массы i -го адрона, π^0 -мезона и нейтральной системы адронов соответственно. При известном угле θ энергия нейтрино равна:

$$E_{\nu} = P_{\parallel}^c + P_{\perp}^N \operatorname{ctg} \theta, \quad /3/$$

где P_{\parallel}^c - суммарный продольный импульс адронов и мюона, а P_{\perp}^N - поперечный импульс нейтральной системы адронов. В интервале $E_{\nu} = 5 \div 30$ ГэВ точность восстановления энергии нейтрино этим методом составляет $/10 \div 15/\%$.

Для остальных событий энергия нейтрино определялась как сумма видимого энерговыделения, кинетической энергии вторичных нейтронов и энергии π^0 -мезонов. В соответствии с результатами эксперимента на камере СКАТ кинетическая энергия вторичных нейтронов считалась равной 24% от энергии видимых адронов^{/12/}. Средняя энергия π^0 -мезонов определялась как половина полной энергии заряженных пионов в данном событии.

Поправка к восстановленному значению E_{ν} , связанная с энергией возбуждения ядра, равна в среднем 214 ± 29 МэВ и составляет незначительную часть энергии нейтрино.

В табл.2 и 3 приведены кинематические характеристики зарегистрированных CC-событий. Средняя энергия нейтрино равна $E_{\nu} \sim$

Таблица 2

Энергетические характеристики взаимодействия нейтрино

№ события	Топология ^{жж}	E_{ν} , ГэВ	E_{μ} , ГэВ	\sqrt{s} , ГэВ	E^* , МэВ
1	$\mu^+ 3\pi^+ 1p 5b$	$7,23 \pm 1,26$	$3,92 \pm 1,05$	$3,31 \pm 0,70$	310
2 ^ж	$\mu^+ 3p 3b$	$7,01 \pm 0,60$	$6,30 \pm 0,60$	$0,71 \pm 0,05$	170
3 ^ж	$\mu^+ 1\pi^+ 6p 6b$	$10,23 \pm 1,56$	$7,85 \pm 1,33$	$2,38 \pm 0,81$	340
4 ^ж	$\mu^+ 5\pi^+ 7p 3b$	$30,31 \pm 3,94$	$26,20 \pm 3,90$	$4,11 \pm 0,56$	180
5	$\mu^+ 2\pi^+ 2p 3b$	$5,81 \pm 0,68$	$2,01 \pm 0,36$	$3,80 \pm 0,58$	180
6 ^ж	$\mu^+ 2p 5b$	$4,79 \pm 0,31$	$3,86 \pm 0,31$	$0,93 \pm 0,05$	300
7 ^ж	$\mu^+ 2\pi^+ 1p 1b$	$3,67 \pm 0,58$	$2,36 \pm 0,23$	$1,31 \pm 0,52$	60
8 ^ж	$\mu^+ 1\pi^+ 1p 3b$	$7,27 \pm 0,60$	$6,30 \pm 0,60$	$0,97 \pm 0,04$	190
9 ^ж	$\mu^+ 1\pi^+ 2p 3b$	$3,58 \pm 0,38$	$1,70 \pm 0,20$	$1,88 \pm 0,32$	200
Среднее значение		$\sim 8,9$	$\sim 6,7$	$\sim 2,2$	210

ж/ Мюон идентифицирован в мюонном спектрометре.

жж/ b - испарительные частицы.

Кинематические характеристики взаимодействий нейтрино *

№ события	W, ГэВ	Q ² , (ГэВ/с) ²	X	Y
1	2,48±0,28	0,93±0,39	0,149±0,063	0,458±0,085
2	1,27±0,06	0,60±0,11	0,445±0,883	0,102±0,010
3	2,19±0,30	0,56±0,17	0,126±0,050	0,232±0,668
4	2,78±0,28	0,85±0,23	0,110±0,033	0,136±0,024
5	2,72±0,17	0,60±0,15	0,084±0,019	0,655±0,053
6	1,21±0,08	1,17±0,17	0,670±0,100	0,194±0,015
7	1,80±0,07	0,10±0,02	0,042±0,012	0,357±0,095
8	1,46±0,06	0,56±0,10	0,308±0,056	0,133±0,012
9	2,06±0,12	0,18±0,03	0,052±0,009	0,524±0,051

* Величины W, Q², а также скейлинговые переменные X и Y и полная энергия адронов ν определялись стандартным образом:

$$- \nu = E_\nu - E_\mu; Q^2 = 4E_\nu E_\mu \sin^2(\theta/2); W^2 = m_N^2 + 2m_N \nu - Q^2; X = Q^2/2m_N \nu;$$

$$Y = \nu/E_\nu.$$

Здесь θ - угол вылета мюона.

~ 8,9 ГэВ. Средние значения инвариантной массы адронной системы W /которая эквивалентна полной энергии в системе центра инерции реакции √S / и квадрата переданного 4-импульса Q² для зарегистрированных СС-событий составляют ~2,0 ГэВ и ~0,62/ГэВ/с/2/ соответственно.

6. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ СОБЫТИЙ

Как уже отмечалось, для поиска событий в фотоэмульсии применялся метод просмотра по площади. Эффективность нахождения собы-

тий в этом случае зависит как от множественности частиц в целеуказаниях^{/8/}, так и от числа сильноионизирующих частиц (N_b) во взаимодействиях^{/14/} /теряются почти все события с N_b ≤ 3 /. В приводимых ниже результатах никаких поправок, учитывающих эффективность регистрации событий, не делалось.

6.1. Поиск распадов очарованных частиц

С целью поиска распадов очарованных частиц все треки заряженных частиц были прослежены до выхода из эмульсии. Кроме того, в трех эмульсионных пластинках вблизи найденных вершин при увеличении 1350х были просмотрены зоны размером 1 мм в направлении пучка. Общая длина прослеженных треков составила 117 см. Было найдено три ядерных взаимодействия и два π⁺ → μ⁺ ν_μ распада. Ни одного кандидата на распад нейтральной или заряженной очарованной частицы обнаружено не было.

6.2. Множественность частиц в зарегистрированных событиях

Средние множественности ливневых (N_g), серых (N_g) и черных (N_b) частиц для СС-событий составили:

$$\langle N_g \rangle = 2,2 \pm 0,4 \text{ /без } \mu /$$

$$\langle N_g \rangle = 2,1 \pm 0,6$$

$$\langle N_b \rangle = 3,6 \pm 0,5.$$

Средняя энергия π[±]-мезонов в событиях составляет ~400 МэВ, а серых протонов ~100 МэВ. Среднее значение полной энергии адронов, полученное с учетом поправок на нейтральную компоненту, составляет <ν> = 2,2 ГэВ. На энергию вторичных нейтронов и π⁰-мезонов приходится ~23% полной энергии адронов.

Нормированная множественность ливневых частиц R является одной из характеристик, отражающих влияние ядра на множественность s-частиц

$$R_{Em} = N_s^{\nu Em} / N_s^{\nu N} \quad /4/$$

Число s-частиц в νN-взаимодействиях, идущих через заряженный ток в зависимости от инвариантной массы адронной системы W при W² ≥ 4 ГэВ², описывается выражением:

$$N_s = a \ln \langle W^2 \rangle + b, \quad /5/$$

где коэффициенты a и b равны^{/15/}:

$$a = 1,33 \pm 0,02, \\ a = 1,21 \pm 0,04,$$

$$b = 0,37 \pm 0,02 \text{ в } \nu p, \\ b = 0,21 \pm 0,10 \text{ в } \nu n \text{ взаимодействиях.}$$

С учетом того, что сечение взаимодействия нейтрино с нейтроном в два раза больше, чем с протоном, а отношение числа нейтронов к числу протонов для ядер в фотоэмульсии в среднем равно 1,2, множественность ливневых частиц при $\langle W^2 \rangle = 4,3 \pm 0,8 \text{ ГэВ}^2$ без учета влияния ядра должна составлять $2,07 \pm 0,26$. Тогда значение нормированной множественности ливневых частиц равно:

$$R_{Em} = 1,07 \pm 0,25.$$

Другой характеристикой, отражающей влияние внутриядерного каскада на множественность s -частиц, является зависимость N_s от N_h :

$$N_s = A + BN_h, \quad /6/$$

где A характеризует множественность ливневых частиц, рожденных в столкновении налетающей частицы с нуклоном, а B - увеличение числа ливневых частиц за счет внутриядерного каскада. В нашем случае для коэффициентов A и B получены значения:

$$A = 1,18 \pm 0,86; \quad B = 0,19 \pm 0,16.$$

Большие статистические ошибки, а также неучтенные систематические ошибки не позволяют сделать каких-либо количественных выводов относительно влияния внутриядерного каскада на множественность ливневых частиц.

6.3. Энергия возбуждения ядра в νEm -взаимодействиях и характеристики испарительных частиц

Энергия возбуждения ядра определялась как сумма кинетической энергии испарительных частиц и энергии связи протонов и нейтронов. Предполагалось, что все черные следы принадлежат протонам. Энергия протонов определялась по пробегу. Далее считалось, что в среднем на один испарительный протон приходится 4 нейтрона с кинетической энергией по 3 МэВ^{18/}. Энергия связи определялась как

$$E_{CB} \sim (N_p + N_n) \cdot 8 \text{ МэВ.} \quad /7/$$

Определенная таким образом средняя энергия возбуждения ядра E^* в зарегистрированных нами нейтринных взаимодействиях оказалась равной $214 \pm 29 \text{ МэВ}$ /см. табл.2/, причем на энергию заряженных испарительных частиц приходится в среднем $58 \pm 8 \text{ МэВ}$.

Характеристики b -частиц в событиях, зарегистрированных в нашем эксперименте ($\sqrt{S_{\text{вид}}} \sim 1,7 \text{ ГэВ}$), можно сравнить с данными по

μEm - взаимодействиям, полученным в работе^{17/}, в которой $\sqrt{S_{\text{вид}}} = 1 \pm 1,5 \text{ ГэВ}$. В этой работе события в эмульсии регистрировались методом просмотра по площади зоны прохождения мюонного пучка. Средние множественности b -частиц в обоих экспериментах совпадают в пределах ошибок:

$$\langle N_b^{\nu Em} \rangle = 3,6 \pm 0,5; \quad \langle N_b^{\mu Em} \rangle = 4,2 \pm 0,8.$$

Средние значения энергии испарительных заряженных частиц и среднеквадратичные отклонения распределений по энергии близки для обоих экспериментов:

$$T = 8,3 \pm 1,0 \text{ МэВ,} \quad \sigma_T = 5,7 \text{ МэВ для } \nu Em,$$

$$T = 9,0 \pm 0,7 \text{ МэВ,} \quad \sigma_T = 6,3 \text{ МэВ для } \mu Em.$$

В отличие от мюон-ядерных взаимодействий, где авторы^{17/} наблюдают асимметрию в распределении испарительных частиц, вылетающих в переднюю и заднюю полусферы $F/B = 1,47 \pm 0,22/$, в описываемом эксперименте это распределение согласуется с изотропным:

$$F/B = 0,78 \pm 0,28.$$

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе приведены результаты первых экспериментов по регистрации и анализу нейтринных взаимодействий с ядрами в фотоэмульсии при энергии нейтрино 2-30 ГэВ на ускорителе ИФВЭ /Серпухов/. В двух сеансах облучения зарегистрировано 13 взаимодействий нейтральных частиц. Средняя эффективность поиска событий в эмульсии составила 40% в первом сеансе и 7% - во втором. Снижение эффективности во втором сеансе связано с низким качеством фотоэмульсии: наличием сильной регрессии и фоновой вуали.

Девять из тринадцати зарегистрированных событий интерпретированы как нейтринные взаимодействия, идущие через слабый заряженный ток /СС-события/. Средняя энергия нейтрино в зарегистрированных СС-событиях составляет $E_\nu \sim 8,9 \text{ ГэВ}$, а среднее значение инвариантной массы адронов конечного состояния $W \sim 2,0 \text{ ГэВ}$.

Ни одного кандидата на распад заряженной или нейтральной очарованной частицы обнаружено не было.

Средние множественности ливневых, серых и черных следов в зарегистрированных СС-событиях равны:

$$\langle N_g \rangle = 2,2 \pm 0,4 \text{ /без } \mu /; \quad \langle N_g \rangle = 2,1 \pm 0,8; \quad \langle N_b \rangle = 3,6 \pm 0,5.$$

Сравнение характеристик испарительных частиц в $\nu E\pi$ и $\mu E\pi$ -взаимодействиях показало, что при близких значениях видимой энергии в системе центра инерции реакции средние энергии испарительных частиц и величины среднеквадратичных отклонений совпадают. Во взаимодействиях нейтрино с ядрами в фотоэмульсии, в отличие от взаимодействия мюонов^{17/}, распределение вылета испарительных частиц вперед/назад согласуется с изотропным:

$$F/V = 0,78 \pm 0,28.$$

Энергия возбуждения ядра для зарегистрированных CC -взаимодействий в среднем равна 214 ± 19 МэВ.

ЛИТЕРАТУРА

- Burhop E.H.S. et al. Nuovo Cim., 1965, vol.39, p.1037.
- Brikker S.I. et al. Suppl.Nuovo Cim., 1958, vol.2, p.733.
- Dvoretzki A.S. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1963, vol.20, p.277.
- Баранов В.И. и др. ЯФ, 1978, 27, с.362.
- Смотряев В.А. и др. Препринт ИТЭФ-145, Москва, 1979.
- Живалов Ю.А. и др. Препринт ИТЭФ-67, Москва, 1973.
- Baranov V.I. et al. Preprint IHEP 77-120, Moscow, 1977.
- Allasia D. et al. Nucl.Phys.B, 1980, vol.176, p.13.
- Зайцев А.А. и др. Препринт ИТЭФ-39, Москва, 1982.
- Бонетти А. и др. Ядерные эмульсии. Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры. М., 1961.
- Charman J.W. et al. Phys.Rev.B, 1976, vol.8, p.5.
- Baranov D.S. et al. Proc. of the Int. Conf. "Neutrino-77", "Nauka", М., 1978, vol.1.
- Fernandez E., Garfinkel A. Perdue University HEP MEMO, No.371, 1979.
- Fuchi H. et al. J.Phys.Soc.Jap., 1979, vol.47, p.21.
- Schmitz N. Rapporteur's talk presented at the 1981 Int. Symp. on Lepton and Photon Interactions at High Energies, Bonn, 1981.
- Barkas W.H. Nuclear Research Emulsions. Academic Press, New York and London, 1963, vol.1.
- Колганова Э.Д., Рабин Н.В. ЯФ, 1982, т.35, с.1474.
- Read A.L. et al. Phys.Rev.D, 1979, vol.5, p.1287.
- Горичев П.А. и др. Препринт ИТЭФ-33, Москва, 1982.
- Errede S.M. Dissertation. The Ohio State University, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 августа 1983 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д4-80-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
Д3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Батусов Ю.А. и др. 1-83-569
Регистрация и анализ взаимодействий нейтрино
с ядрами в фотоэмульсии на ускорителе ИФВЭ /Серпухов/

Приведены результаты регистрации и анализа нейтринных взаимодействий с ядрами в фотоэмульсии на ускорителе ИФВЭ /Серпухов/ при энергии нейтрино 2-30 ГэВ. В двух сеансах облучения эмульсии зарегистрировано 13 взаимодействий нейтральных частиц. Девять из них интерпретированы как нейтринные взаимодействия, обусловленные слабым заряженным током /СС-события/: $\nu_{\mu} N \rightarrow \mu^{-} X$.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Batusov Yu.A. et al. 1-83-569
Registration and Analysis of Neutrino Interaction
with Nuclei in Photoemulsion at IHEP Accelerator /Serpukhov/

The results of registration and analysis of neutrino interactions with nuclei in photoemulsion at IHEP accelerator /Serpukhov/ at 2-30 GeV neutrino energy are presented. 13 interactions of neutral particles are registered in two runs of emulsion irradiation. Nine of them are interpreted as weak charged current neutrino interactions: $\nu_{\mu} N \rightarrow \mu^{-} X$.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой