

539.1(045)

Б85

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР



МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

«Некоторые вопросы экспериментальных
исследований в области физики высоких энергий»

В. С. КАФТАНОВ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕЙТРИНО ВЫСОКИХ
ЭНЕРГИЙ С АДРОНАМИ И ЛЕПТОНАМИ

(Конспекты лекций)

МОСКВА — 1975

639.1/023
K30
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

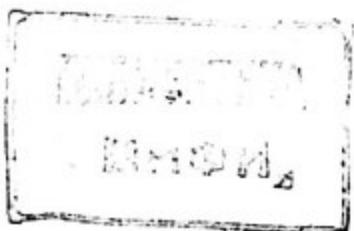
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

В.С. Кафтанов

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕЙТРИНО ВЫСОКИХ
ЭНЕРГИЙ С АДРОНАМИ И ЛЕПТОНАМИ

(Конспекты лекций)



Москва - 1975

Лекция посвящена некоторым вопросам физики нейтрино, которые изучались в опытах на ускорителях. Довольно полный обзор по этой проблеме можно найти в докладе Канди на Лондонской Конференции 1974 г. [1].

Нейтринные опыты, сегодня, ведутся на ускорителях в пяти лабораториях мира – в Брукхавене, Аргонне, Батавии (США), в ЦЕРНе (Швейцария) и в Советском Союзе в Серпухове.

Как и 10 лет назад, методика создания нейтринных пучков и основные элементы пучка остались прежними (рис. 1). Ускоренный пучок протонов выводится из ускорителя на внешнюю мишень, в которой рождаются π^\pm и K^\pm – мезоны с широким спектром импульсов. Нейтрино появляются из распада на лету π^+ и K^+ мезонов, а антинейтрино из распада π^- и K^- мезонов. Специальные линзы с импульсным полем фокусируют вдоль оси пучка либо положительные, либо отрицательные частицы. При этом не только увеличивается приблизительно на порядок величины интенсивность пучка, но и происходит формирование либо нейтринного, либо антинейтринного пучка с небольшой ($\sim 1\%$) примесью частиц другого сорта. Энергетические спектры нейтрино, получаются весьма широкими (см. рис. 2), максимумы этих распределений сдвинуты в мягкую область.

Д е т е к т о р ы.

Прекрасным инструментом для изучения взаимодействий нейтрино с веществом являются большие пузырьковые камеры с магнитным полем, в которых можно видеть де-

тальную картину события, его вершину, измерить импульсы и знаки заряженных частиц и т.д. (см.таблицу 1).

Недостатком пузырьковых камер является относительно небольшой вес (по сравнению с желаемым), малая плотность рабочего вещества, и отсюда невысокая достоверность выделения мюона.

Нейтринные детекторы с электроникой сегодня имеют большой вес и надежное выделение мюонов. Такая комбинация позволяет изучать инклюзивные процессы, некоторые эксклюзивные реакции и продвинуться в изучении реакций с малыми сечениями (экзотических реакций).

Рассмотрим кратко эти детекторы :

1) Детектор, созданный группой университетов Харвард - Пенсильвания - Висконсин (ХПВ) - этот детектор стоит в нейтринном пучке на Батавском протонном ускорителе. Он состоит из 2-х частей: мишени-калориметра, составленного из жидкостных сцинтиляционных счетчиков и спектрометра из намагниченной стали для измерения импульса μ -мезона (см.рис.3). Между слоями сцинтиляционных счетчиков или магнитов расположены широкозорные искровые камеры (всего 8 камер $3 \times 3 \text{ м}^2$). Полезный вес мишени - калориметра - 60 тонн. Разрешение калориметра по энергии, измеренное по π -мезонам в интервале энергий $15 < E_{\pi} < 150 \text{ Гэв}$ $\frac{\Delta E}{E} \pm 12 \%$.

Точность определения энергии μ -мезона $\pm 15\%$
для $E_\mu \leq 80$ Гэв.

2) Детектор Калифорнийского технологического института (КТИ) (рис.4). Этот детектор стоит в Батавии в дихроматическом пучке нейтрино. Он также состоит из калориметра, и магнита для измерения импульса мюона, но калориметр составлен из стальных пластин толщиной 10 см, между которыми размещены сцинтилляционные счетчики, а через каждые четыре пластины искровая проволочная камера с магнитострикционным съемом ($1,5 \times 1,5 \text{ м}^2$). Полезный вес мишени калориметра ~ 120 тонн. Разрешение по энергии адронов в данном калориметре хуже, чем в первом и составляет $\frac{\Delta E}{E} = \pm 25\%$.

3) Детектор ИТЭФ (рис.5).

Этот детектор стоит в нейтринном пучке Серпуховского ускорителя. Он также состоит из 2-х частей : головная часть мишени состоит из стальных пластин (24 пластины толщиной 12 см), между которыми расположены искровые камеры (полезная площадь $2,3 \times 1,8 \text{ м}^2$) и магнит, состоящий из 6 секций, между которыми также установлено по 2 искровые камеры.

Полезный вес головной части - 96 тонн. Точность в определении импульса мюона лучше $\pm 10\%$.

4) От этих детекторов отличается детектор институтов Аахен-Падуя, установленный в Церне на 28 Гэв ускорителе для поиска рассеяния мюонного нейтрино на электроне. Он состоит из 150 искровых камер с электродами из алюминия толщиной 10 мм площадью $2 \times 2 \text{ м}^2$ общим весом около 30 тонн. В этом детекторе нет магнита. Эксперимент начал в июне 1974 г.

Перейдем к обсуждению физических результатов, и в частности к проблеме нейтральных токов.

II. НЕЙТРАЛЬНЫЕ ТОКИ

1) Нейтральные токи в инклюзивных процессах.

Впервые наблюдение нейтральных токов, а точнее безмюонных событий в нейтринных взаимодействиях было зарегистрировано в ЦЕРНе в 1973 г. на пузырьковой камере "Гаргамель" /2/, заполненной CF_3Br . В данном опыте в выделенном внутри камеры эффективном объеме ($V_{\text{эфф}} = 3 \text{ м}^3$) были отобраны нейтринные события, которые подходили к I из 3-х классов:

1) События, вызванные заряженными токами (CC - события). В этих событиях все треки, кроме одного, идентифицированы как адроны, а остающийся один трек не противоречит предположению, что он мюон. Полная энергия адронов должна превышать 1 Гэв.

2) События, вызванные нейтральными токами (NC).

В этих событиях все частицы идентифицированы как адроны, и полная их энергия превышает 1 Гэв.

3) "Совместные" случаи (AS). Такой случай был бы классифицирован как NC , но из-за того, что на той же фотографии имеется нейтринное событие с мюоном (с любым выделением энергии в адроны), к которому оно может быть генетически привязано, то это событие классифицируется как нейтронная звезда, где нейтрон появился из нейтринного события. После классификации событий был получен следующий результат:

Тип события	ν -пучок	$\bar{\nu}$ -пучок
NC	102	63
CC	413 (μ^-)	113 (μ^+)
AS	15	12
NC /фотографию	$1,2 \times 10^{-3}$	$0,3 \times 10^{-3}$

Отметим, что $NC/AS \sim 6 : 1$

После анализа всех источников фона и всевозможных поправок отношение числа событий NC к событиям CC, опубликованное в работе /2/ было равно :

$$\left(\frac{NC}{CC}\right)_\nu = 0,23 \pm 0,03 \quad (1)$$

$$\left(\frac{NC}{CC}\right)_{\bar{\nu}} = 0,46 \pm 0,09 \quad (2)$$

Основная критика полученного результата сводилась к двум пунктам :

1. Мала статистика событий в классе \bar{AS} , число которых необходимо для получения уровня нейтронного фона и 2. отсутствие калибровок в нейтронном пучке, необходимых для понимания ядерных каскадов, вызванных нейтронами как в самой камере, так и в окружающем веществе. Ко времени Лондонской конференции 1974 г. была проделана большая дополнительная работа. В результате результат в целом не изменился и на сегодня это /1/:

$$R_\nu = \left(\frac{NC}{CC} \right)_\nu = 0.22 \pm 0.03 \quad (3)$$

$$R_{\bar{\nu}} = \left(\frac{NC}{CC} \right)_{\bar{\nu}} = 0.43 \pm 0.12 \quad (4)$$

В) Эксперимент Харвард - Пенсильвания - Висконсин.[3].
Первый результат по нейтральным токам был опубликован на конференции в Бонне /4/ в 1973 г.

Эксперимент заключался также, как и в камере "Гаргамель" в поиске нейтринных событий с мюоном и без него. Мюонам считалась каждая час.ица из нейтринного события с вершиной в калориметре, которая прошла хотя бы первый магнит (1,2 метра Fe). Трудности эксперимента заключались в том, что часть мюонов, рожденных в нейтринных СС событиях не попадала в магнит, уходя из установки

через боковые стены и эту часть необходимо было точно рассчитать. Другая трудность заключалась в том, что пучок в этом эксперименте представлял смесь нейтрино и антинейтрино приблизительно в отношении $N_{\nu}/N_{\bar{\nu}} = 3/1$. В данном опыте для смеси ν и $\bar{\nu}$ было получено:

$$N_{CC} = 93 \text{ соб.} \quad (5)$$

$$N_{NC} = 76 \text{ соб.} \quad (6)$$

а N_{CC} , где μ не зарегистрирован (расчет) - 38 соб (7)

Если обозначить вероятность регистрации мюона через \mathcal{E}_μ , то истинное значение $R = \frac{NC}{CC}$ выражается через экспериментальное значение $R_{\text{эксп}}$ следующим образом:

$$R = \mathcal{E}_\mu (1 + R_{\text{эксп}}) - 1 \quad (8)$$

т.е. сильно зависит от \mathcal{E}_μ . В данном опыте авторы считают, что $\mathcal{E}_\mu = 0,71$ и таким образом:

$$R = 0,28 \pm 0,10 \quad (17) \quad (\text{ранее } R = 0,23 \pm 0,09 \quad (5)) \quad (9)$$

В следующей серии измерений, чтобы увеличить \mathcal{E}_μ были поставлены искровые камеры большого размера в магнитной части (раньше $5,3 \text{ м}^2$, теперь $13,4 \text{ м}^2$), а также после четвертой части калориметра был добавлен блок стали толщиной 35 см.

Чтобы найти значение R для нейтрино и антинейтрино отдельно, измерения были выполнены для пучков с различным составом ν и $\bar{\nu}$. Тогда можно написать выражение

ние для R следующим образом:

$$R = R_{\bar{\nu}} (1 - \lambda) + \lambda R_{\nu} \quad (10)$$

где $\lambda = \frac{N'_{CC}}{N'_{CC} + N_{CC}}$

Результаты различных опытов представлены в следующей таблице:

Таблица

Эксперимент	Число событий	λ	R
1. WB^* без фокусировки	255	0,74	$0,18 \pm 0,05$
2. WB с фокусировкой	283	0,45	$0,22 \pm 0,05$
3. NB^{**} (отобраны Π^-, K^-)	100	0,12	$0,34 \pm 0,12$
NB (отобраны Π^+, K^+)	188	0,98	$0,13 \pm 0,06$

WB^* - Широкий, естественный спектр нейтрино

NB^{**} - Дихроматический спектр

Отсюда авторы получают /1/

$$R_{\nu} = 0,12 \pm 0,04 \quad (11)$$

$$R_{\bar{\nu}} = 0,32 \pm 0,08 \quad (12)$$

в) Эксперимент в Батавии Калифорнийского технологического института /6/.

Основная идея поиска бозонных нейтринных событий в этом опыте проста. Мюон в железе проходит ~ 1 м/Гэв энергии, а адронный каскад с энергией 10–1000 Гэв проходит всего несколько метров железа. Следовательно, глубина проникновения частиц из СС событий, где присутствует мюон и $N\bar{C}$ событий, где его нет, будет различной. На рис. 6 представлено распределение спроектированной на ось пучке длины самого длинного трека в нейтринном событии. Опыт проводился в дихроматическом пучке нейтрино, минимальное выделение энергии в калориметре составляло 6 Гэв. Хорошо заметен высокий пик при малых длинах треков в событии. Для оценки примеси СС событий в области пика, было принято, что все события с длиной треков $> 1,4$ м Fe вдоль по пучку являются СС события. Эта примесь, рассчитанная в предложении скейлинга и $V-A$ взаимодействия также показана на рис. 6. Здесь же представлен и фон от событий, вызванных нейтрино из сплошного спектра, всегда присутствующих в дихроматическом пучке в виде подложки. На рис. 7 представлено аналогичное распределение для антинейтрино.

Если бы значительная часть событий в пике была СС событиями, с отличным от скейлинга поведением, то в этих событиях энергия, переданная в адроны была бы велика. Распределение на рис. 8 показывает, что это не так,

и имеется большое число событий с малым выделением энергии.

Окончательно авторы приводят следующие результаты

γ - эксперимент

$\bar{\gamma}$ - эксперимент

Толщина железа	Число на- блюденных событий	Оценка числа со- бытий СС	Число заре- гистриро- ванных со- бытий	Оценка числа со- бытий СС
1,4 м	666	666	444	444
1,4-6,0	371	412	207	171
0,0-1,4	332	155	202	41

Откуда $R_{\gamma} = \frac{177}{821} = 0,22$ (13)

$$R_{\bar{\gamma}} = \frac{161}{485} = 0,33 \quad (14)$$

Авторы считают полученный результат качественным указанием на существование нейтральных токов, и полагают, что истинные значения могут быть даны лишь после более детального изучения структуры СС и NC процессов.

Если взять результаты, полученные в экспериментах на "Гаргамели" и на установке ХПВ, то, можно попробовать вычислить отношение нейтринных полных сечений для процессов с нейтральными токами.

Из данных на Гаргамели это отношение есть:

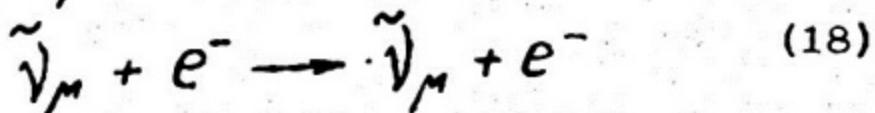
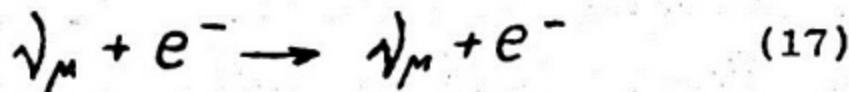
$$\frac{G_{NC}^{\gamma}}{G_{NC}^{\bar{\nu}}} = 0,5 \pm 0,2 \quad (15)$$

В эксперименте ХПВ

$$\frac{G_{NC}^{\gamma}}{G_{NC}^{\bar{\nu}}} = 1,0 \pm 0,2 \quad (16)$$

§ 2. Нейтральные токи в отдельных каналах реакций.

Поиск реакций рассеяния нейтрино (антинейтрино) на электроне :



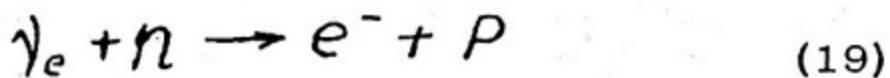
является наиболее привлекательным для проверки теории Вайнберга /7/. В этих процессах участвуют только лептоны, что существенно облегчает сравнение с теорией. Главной трудностью этих опытов являются чрезвычайно малый ожидаемый уровень сечения реакции 17 и 18, который составляет $\sim 10^{-3} \div 10^{-4}$ от полного сечения взаимодействия.

С экспериментальной точки зрения опыт сводится к поиску среди нейтринных событий одиночных электронов, летящих под малым углом к пучку нейтрино.

В результате просмотра $\sim 70\%$ фотографий (из 2 миллионов) было обнаружено 3 события реакции 18 и ни одного события из реакции 17 /8/. Основные характеристики событий представлены в таблице :

№	Пучок	Угол с пучком в град	Энергия электрона (Гэв)
1	$\bar{\gamma}$	$1,4 \pm 1,6$	$0,385 \pm 0,10$
2	$\bar{\gamma}$	2 ± 2	$0,500 \pm 0,12$
3	$\bar{\gamma}$	$1,5 \pm 1,6$	$0,800 \pm 0,25$

Главным фоновым процессом в этом опыте является реакция



где протон не зарегистрирован из-за малого пробега. Ожидаемый уровень фона для 3-х зарегистрированных событий

$$N_\phi = 0,46 \pm 0,15 \quad (20)$$

Отсюда авторы получают ограничение на сечение $\sigma_M e$ рассеяния

$$\sigma_{\bar{\gamma}_\mu} e < 0,17 \times 10^{-41} \quad E_\gamma \text{ (Гэв)} \quad (90\% \text{ ур. дост.}) \quad (19)$$

$$\sigma_{\gamma_\mu} e < 0,26 \times 10^{-41} \quad E_\gamma \text{ (Гэв)} \quad (90\% \text{ ур. дост.}) \quad (20)$$

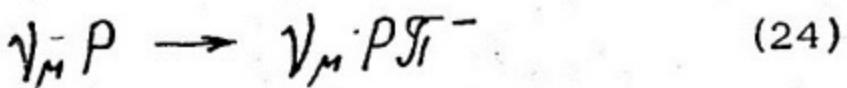
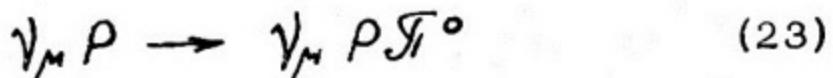
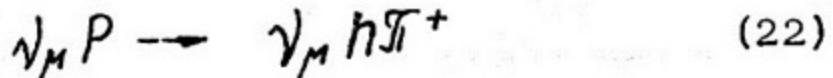
откуда можно вычислить ограничение для параметра Вайн-

берга

$$0,1 < \sin^2 \theta < 0,45 \quad (20^1)$$

Эксперимент на Гаргамели продолжается и полученные результаты должны быть уточнены.

Б) Рождение одиночного Π -мезона в реакциях с нейтральными токами. Эксперимент выполнен в Аргонне /9/ на 12-футовой жидколоводородной камере, где было проанализировано 360 тыс. фотографий в водороде и 400 тыс. вдейтерии (средняя интенсивность протонов $1,3 \times 10^{12}$ Р/импульс). В Эксперименте изучались реакции :



Калибровочные измерения в нейтронных пучках позволили оценить фон нейтронов и выработать необходимые критерии отбора событий. Окончательный результат :

Реакция	Число событий	Фон
$\gamma_m P \rightarrow \gamma_m h\bar{\pi}^+$	7	$0,9 \pm 0,5$
$\gamma_m P \rightarrow \gamma_m P\bar{\pi}^0$	7	$1,6 \pm 0,5$
$\gamma_m P \rightarrow \gamma_m P\bar{\pi}^-$	14	$2,0 \pm 2,0$
Итого	28	$4,5 \pm 2,2$

Откуда :

$$\left. \begin{aligned} \frac{\gamma_\mu P\bar{\pi}^0}{M^- P\bar{\pi}^0} &= 0,51 \pm 0,027 \\ \frac{\gamma_\mu P\bar{\pi}^+}{M^- P\bar{\pi}^+} &= 0,17 \pm 0,08 \end{aligned} \right\} 0,68 \pm 0,28 \quad (25)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\gamma_\mu P\bar{\pi}^-}{M^- P\bar{\pi}^+} &= 0,18 \pm 0,07 \end{aligned} \right\} 0,68 \pm 0,28 \quad (26)$$

$$\frac{\gamma_\mu P\bar{\pi}^-}{M^- P\bar{\pi}^+} = 0,18 \pm 0,07 \quad (27)$$

В заключение можно сформулировать следующие выводы:

1. Существование нейтральных токов в инклюзивных реакциях взаимодействия нейтрино установлено надежно в трех экспериментах, причем наиболее точные измерения проделаны в камере Гаргамель.
2. Существование реакции рассеяния мюонного нейтрино на электроне установлено с гораздо меньшей надежностью (3 события). Этот эксперимент должен быть продолжен с детекторами существенно большей массы.

Как сопоставить существование реакций с нейтральными токами без изменения странности с чрезвычайно сильным экспериментальным запретом на нейтральные токи в процессах с $\Delta S = 1$, пока не ясно. Одной из заманчивых возможностей является введение в трех夸arkовую модель элементарных частиц четвертого, "очарованного"夸arkа, с помощью которого можно запретить каналы реакций с $\Delta S = 1$.

П. Поиск новых частиц и новых явлений.

§ 1. Поиск мюонных пар.

Совсем недавно появилось сообщение /10/, группы ХПВ, в котором опубликовано наблюдение среди нейтринных взаимодействий 14 событий с двумя мюонами в конечном состоянии. К Парижской конференции 1975 года их количество увеличилось до 32. Считалось, что частица является мюоном, если прошла 1,2 м Fe . В данном эксперименте, который проводился в смешанном пучке нейтрино и антинейтрино, отбирались события, рожденные в калориметре, или в первом блоке магнитов. Поскольку интенсивность нейтринного пучка довольно велика, и имеется заметная вероятность наложения двух событий на одной фотографии, то было зарегистрировано много событий с двумя мюонами на фотографии. Потребовалось, чтобы 1) минимальное расстояние между двумя треками в области предполагаемой вершины события не превышало 20 см, 2) импульсы в счётчиках от каждого из мюонов совпадали с точностью до 20 нсек и 3) вершина события лежала внутри установки, тем самым случайные наложения двух треков были исключены (см.рисунок 9). В таблице представлено число отброшенных и оставшихся для анализа событий после применения критериев 1 - 3.

Тип события	Отброшены	2μ -кандидаты
$\mu^+\mu^-$	40	14
$\mu^+\mu^+$	25	0
$\mu^-\mu^-$	23	0

Из 14 событий 8 имеют вершину в калориметре и 6 в железе. На рис. 10 представлено 2-мерное распределение по импульсам этих событий.

Как показывает анализ, вероятность случайного наложения в пространстве и времени в пределах разрешения прибора не превышает 5×10^{-6} , что приводит к фону в 0,1 события для 14 зарегистрированных. Сложнее отвести возможность имитации 2μ события распадом π или K -мезонов: налету из неупругого нейтринного события. Авторы используют для этого следующие аргументы: разные знаки

μ -мезонов и приблизительно равные количества событий, рожденных в сцинтилляторе (8) и в железе (6), хотя, если бы все они были рождены в распадах π -мезонов, то на 6 событий в железе должно было бы быть 24 события в сцинтилляторе. Кроме того, распределение μ -мезонов по поперечному импульсу (рис. 11а) и прямые калибровки в π -мезонном пучке также говорят против распада π -мезонов на лету.

14 событий имеют следующее распределение по видимой энергии.

E (вид.) Гэв	20 - 40	40 - 60	60 - 100	Гэв	100
$N_{\text{соб.}}$	3	6	2		3

Полное число зарегистрированных нейтринных и антинейтринных событий в этом опыте – 21 тыс., из которых с энергией выше 40 Гэв – 8 тысяч (5 тысяч нейтринных и 3 тысячи антинейтринных).

Эффективность аппаратуры к 2μ -событиям по оценке авторов $\epsilon \sim 0.15$, хотя это число содержит неопределенность ~ 2 . Взяв события с энергией выше 40 Гэв и используя эффективность $\epsilon = 0.15$, можно получить отношение сечения рождения 2μ -событий к полному $R_{2\mu} = (9 \pm 3) \times 10^{-3}$ (ошибка только статистическая).

Рассмотрение распределений событий по массе двух 2μ -мезонов в массе адронной системы с одним из мюонов, позволяет авторам сделать следующие заключения:

- 1) Плоское распределение по массе 2μ -мезонов и другие характеристики события говорят против того, что эти пары связаны с рождением W -бозона.
- 2) Сечение прямого рождения мезонных пар на несколько порядков ниже наблюдаемого сечения, поэтому разные знаки мюонов и отсутствие трёх-мюонных событий говорит, что в реакции есть незарегистрированный лептон. Всё это указывает на возможное рождение новой частицы. Из распределения по P_T (рис. 11 а) и распределения по W_{\min} .

(рис. 115), масса частицы $2 \text{ Гэв}/c^2 < M < 4 \text{ Гэв}/c^2$. На возможное существование такой частицы указывают и данные этой же группы по изучению инклюзивных реакций в распределениях по $y (y = \frac{E_{\text{адр}}}{E_\gamma})$ в инклюзивных процессах /11/.

В марте 1975 г. на конференции в Париже Бариш также доложил о наблюдении 4-х событий рождения μ -пар на установке КТИ в нейтринном дихроматическом пучке на уровне сечения $\sim 10^{-2}$ от полного /12/. Характеристики этих событий представлены в таблице:

$\#$	$E(\text{Гэв})$	$E(\text{Гэв})$	$Eh(\text{Гэв})$	$E_{\text{полн}}$	γ	x	y	Q^2	$M_{\mu\mu}$	W
1	84,8	18,8	69,6	168	83	0,25	0,55	39,6	3,4	10,9
2	24,8	19,0	82,9	131	106	0,03	0,77	5,7	0,5	13,6
3	62,2	14,1	71,2	147	85	0,16	0,58	24,9	2,6	11,6
4	63,1	44,8	25,1	132	69,9	0,17	0,53	22,1	5,4	10,4

Поскольку средняя полная энергия события ~ 150 Гэв, то все эти события вызваны нейтрино из распада К-мезонов.

В Серпухове на искровом детекторе ИТЭФ в настоящее время также ведётся поиск 2μ -событий. К февралю 1975 года было зарегистрировано около 20.000 нейтринных и более 2.000 антинейтринных событий. Анализ событий только начат и еще рано говорить о каких-либо результатах, хотя есть события с двумя треками, каждый из которых прошел более 1,0 метра Fe .

1У. ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ

Высокая активность в нейтринной физике, появление новых результатов, которые наблюдаются в последние годы в нейтринной физике, будут продолжаться и в будущем.

Помимо опытов в Батавии и ЦЕРНе, начались измерения в Серпухове и новые опыты в Брукхавене. В ближайшее время в Серпухове добавится еще один детектор — пузырьковая камера на тяжелых жидкостях "СКАТ". В Батавии установка КТИ усовершенствуется (ставится магнит для M -мезонов значительно большего размера) и аппаратура переносится на новое место, где можно будет работать с пучками нейтрино более высоких энергий. Основное направление исследований этой группы — глубоко-неупругие процессы.

Установка ХПВ также модифицируется. В ней также увеличивается магнит, а в калориметр будут введены свинцовые пластины для существенного увеличения веса мишени и регистрации электромагнитной компоненты.

В конце 1976 г. должен быть запущен новый протонный ускоритель в ЦЕРНе на энергию до 400 Гэв. На этом ускорителе начнутся опыты на двух пузырьковых камерах: жидководородной (БЕБС) и на Гаргамели. Помимо этого группа институтов Европы (ЦЕРН, Дортмунд, Гайдельберг, Сакле) создает большую установку с искровыми камерами и счетчиками.

Существующие электронные детекторы достигают полезного веса до $\sim 10^2$ тонн, но уже сегодня не только обсуждаются, но и разрабатываются проекты установок следующего поколения — полезным весом в тысячи тонн.

Автор приносит свою благодарность В.И.Захарову, М.А.Кубанцеву, В.Д.Хованскому за полезные обсуждения и помощь при подготовке лекции.

Т а б л и ц а 1

НЕЙТРИНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ НА РАЗЛИЧНЫХ УСКОРИТЕЛЯХ МИРА

Лаборатория	Серпухов	Брукхавен	Аргон	Батавия	ЦЕРН-1	ЦЕРН-2
Максим.энергия про- тонов, ГэВ	70	30	12	40С	28	400
Пузырьковые камеры на тяжелых жидкостях (пропан).	СКАТ	нет	нет	нет	Гаргамель	Гаргамель
Пузырьковые камеры жидковолородные (, ,)	нет	7-фут.	12-фут.	1.5-фут.	нет	ВЕВС (данные ВЕВС)
Полный объем (m^3)	7	10	26	30	11	35
Магнитное поле (кгаусс)	27	30	20	30	27	35
Электронные детекторы	Есть	Есть	нет	Есть	Есть	Есть

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

- Рис.1. Типичная схема нейтринного пучка на ускорителе.
- Рис.2. Относительные выходы событий в инклюзивных нейтринных реакциях на ускорителях в ЦЕРНе, Серпухове и Батавии. Выходы приведены к одинаковой интенсивности протонов и одинаковой мишени.
- Рис.3. Схема нейтринного детектора университетов Харвард-Пенсильвания-Висконсин, установленного на ускорителе в Батавии.
- Рис.4. Схема нейтринного детектора Калифорнийского Технологического Института, установленного на ускорителе в Батавии.
- Рис.5. Схема нейтринного детектора ИГЭФ на ускорителе в Серпухове.
- Рис.6. Распределение по максимальной длине трека в нейтринных событиях в эксперименте Калифорнийского Технологического Института.
- Рис.7. Распределение по максимальной длине трека в антинейтринных событиях в эксперименте КТИ.
- Рис.8. Распределение по энергии, выделенной в адроны в нейтринных событиях из области пика на рис. 5.
- Рис.9. Распределение событий-кандидатов в мюонные пары по минимальному расстоянию между мюонами в области вершины (эксперимент Харвард-Пенсильвания).

вания-Висконсин).

Рис.10. а) Распределение событий по углу между мюонами.

б) Двумерное распределение событий по импульсу отрицательного и положительного мюона (в скобках – значение адронной энергии).

Рис.11. а) Двумерное распределение мюонов из 14 случаев по полному импульсу и импульсу, перпендикулярному плоскости нейтринс-2-й мюон.

б) Распределение 14 событий по массе двух мюонов.

в) Распределение событий по массе системы мюон – все адроны (только для событий в калориметре).

ЛИТЕРАТУРА

1. D.Cundy, Proceedings of the 17-th International Conference on High Energy Physics, London, 1974, p. IV-131
2. F.Hasert et al, Phys.Lett. 46B, (1973) p. 138.
3. C.Rubbia, Paper 692,693, Proceedings of the 17-th Int. Conf. on High Energy Physics, London, 1974
4. Benvenuti et al. International Symposium Bonn, 1973, and Phys. Rev. Lett. 32, p. 800, (1974)
5. A Benvenuti et al. Phys. Rev. Lett. 32, p. 800, (1974)
6. B.Barish et al. Paper 587, Proceedings of the 17-th int. Conf. on High Energy Physics, London, 1974, p. IV-111.
7. S. Weinberg, Phys. Rev. lett. 19, p. 1264, (1967)
8. D.Cundy et al, International Conf. on Neutrino physics, Paris, 1975, Paper 18.
9. S. Barish et al, Paper 530, Proceedings of the 17-th Intern. Conference on High Energy Physics, London 1974.
10. A.Benvenuti et al, Phys. rev lett. 34 p. 419, (1975)

11. A. Benvenuti et al. Phys. rev. Lett., 34,
p. 597 (1975)
12. B. Barish et al, Paper 35, Intern. conference
on Neutrino Physics, March, 1975.

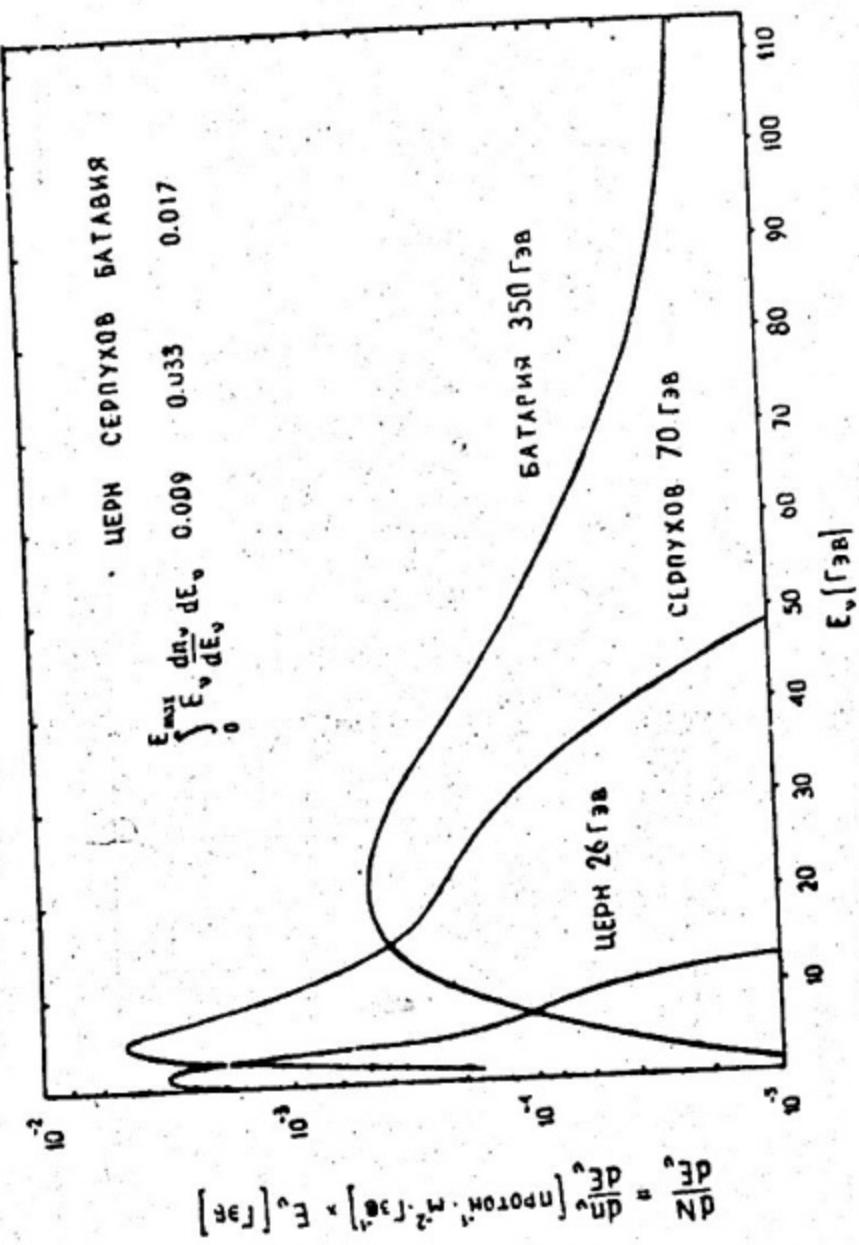


Рис. 2. Сравнение кривых выхода реакции $\bar{\nu}_4 + e^- \rightarrow \bar{\nu}_5 + e^-$ для разных ускорителей в предположении линейного роста сечения с энергией.

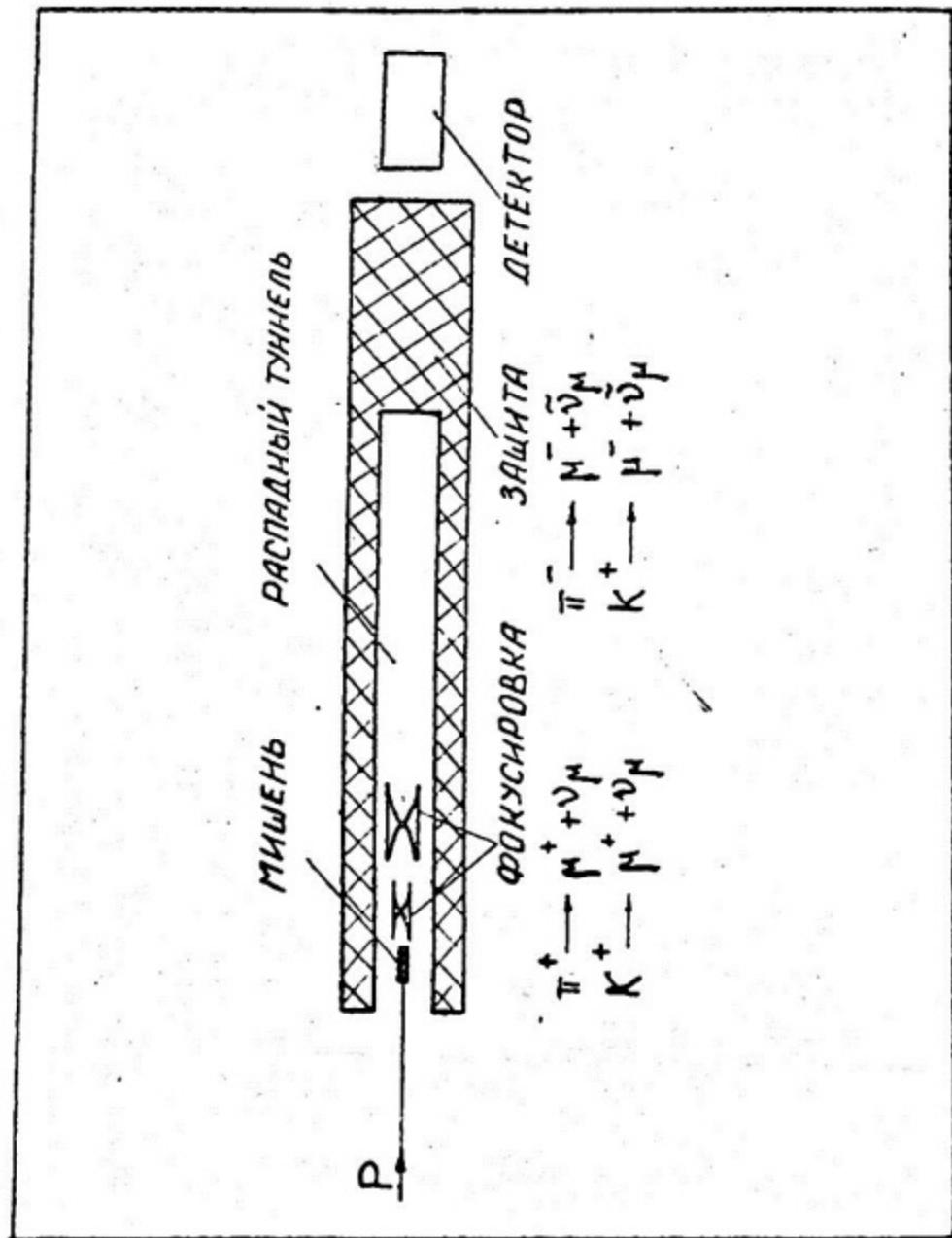
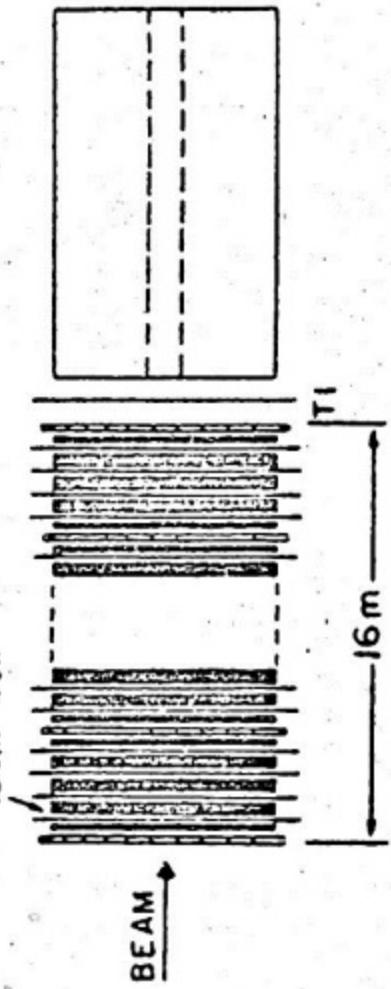


Рис. 1.

PLAN VIEW

TARGET-CALORIMETER TOROIDAL IRON
CORE MAGNET

10cm iron



- Steel target
- Spark chamber
- Calorimeter counter

1m

0

Fig. 5 Apparatus of the F - NAL CALTECH experiment

Пис. 4.

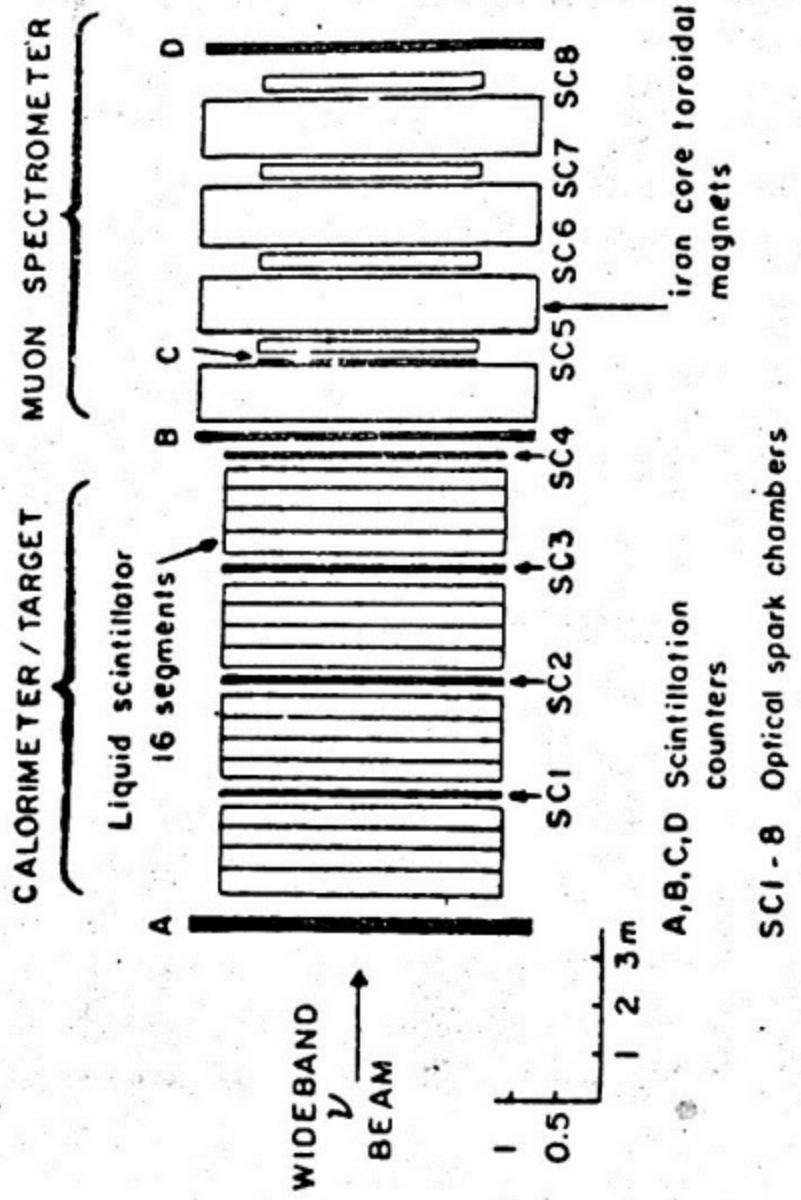
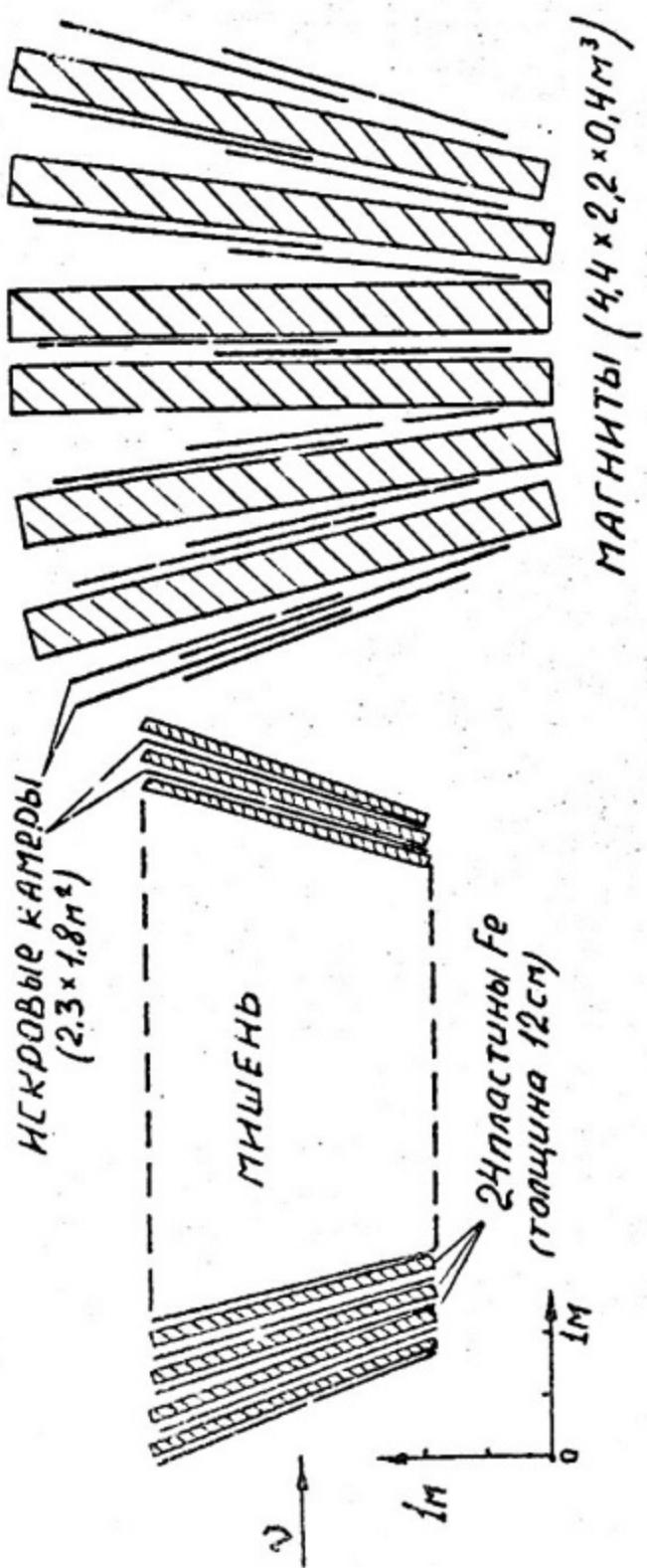


Fig. 4 Apparatus of the F-NAL Harvard, Pennsylvania, Wisconsin (HPW) experiment

FIG. 3.



НЕЙТРИННЫЙ ДЕТЕКТОР И ТЭФ

Рис. 5.

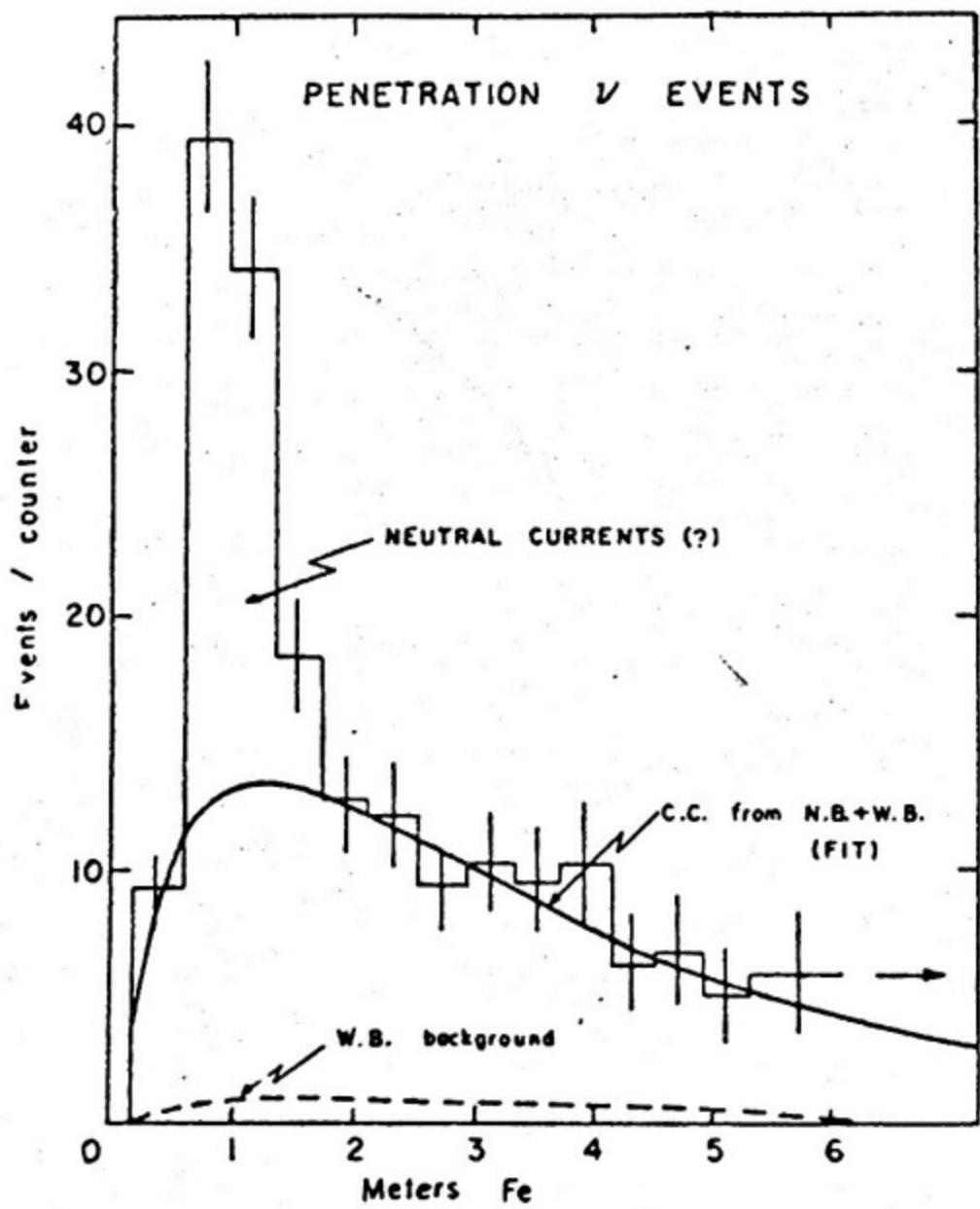


Fig. 6 Penetration distribution for events produced in neutrino beam

Рис. 6.

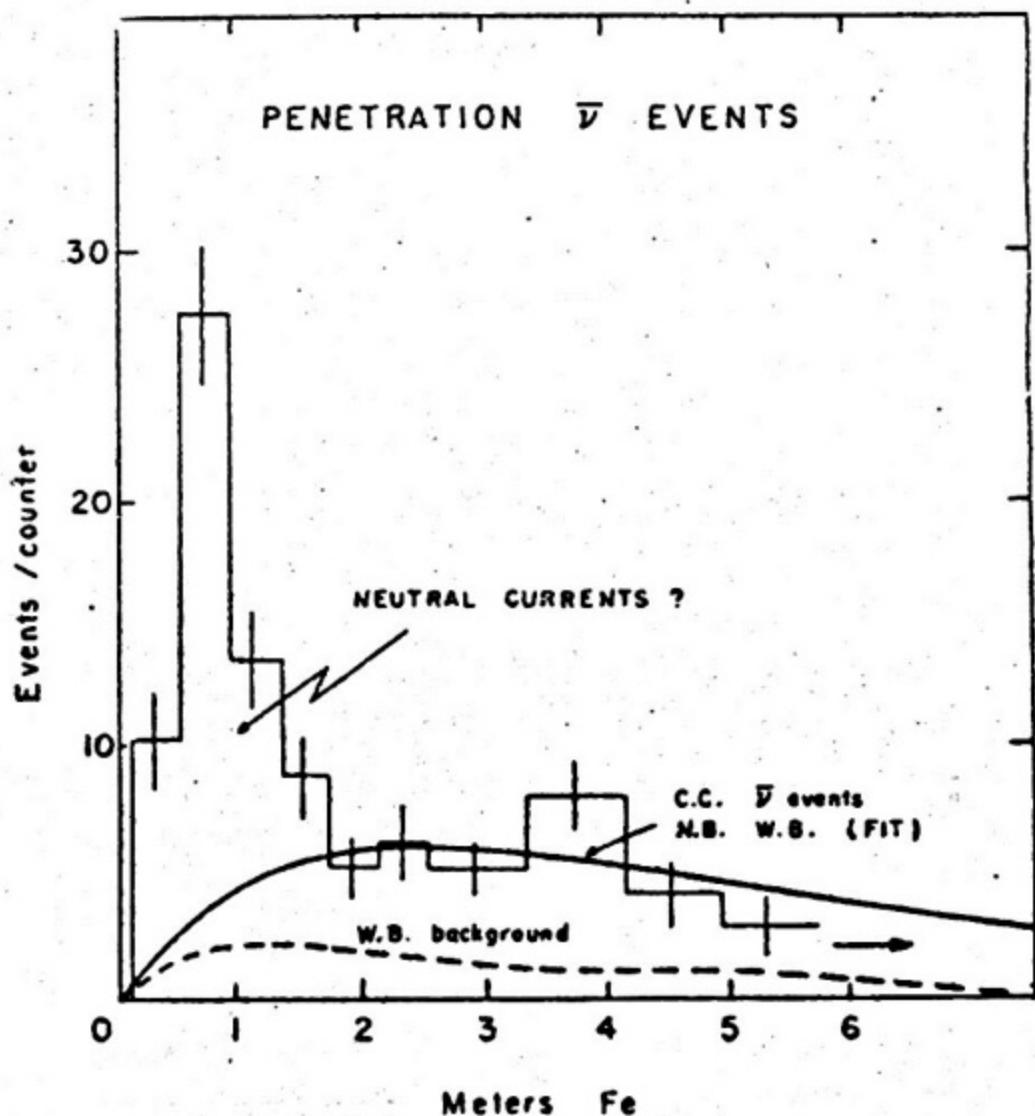


Fig. 7 Penetration distribution for events produced in anti-neutrino beam

Рис. 7.

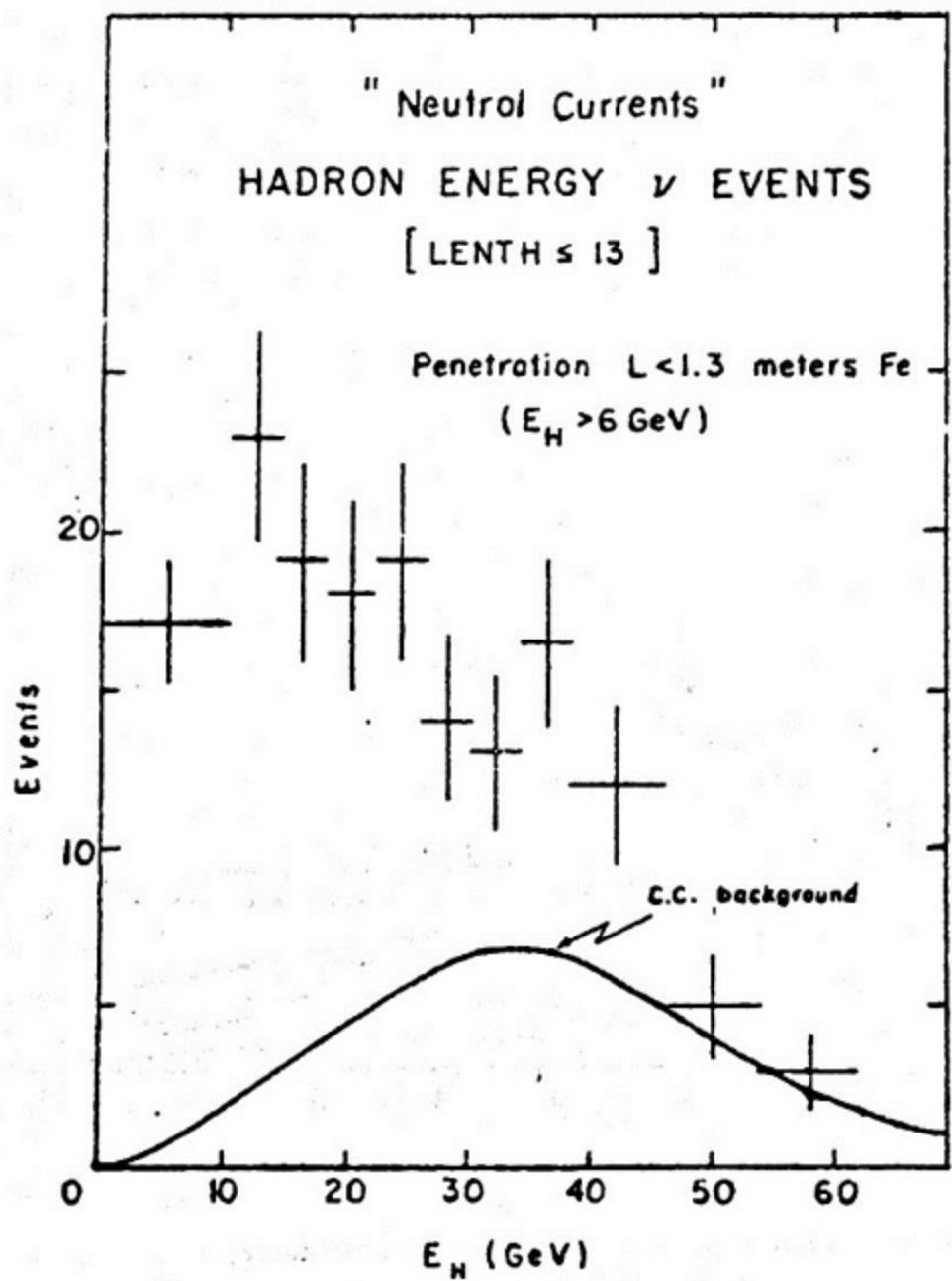


Fig. 8. Energy distribution for "neutral E currents" candidates

FIG. 8.

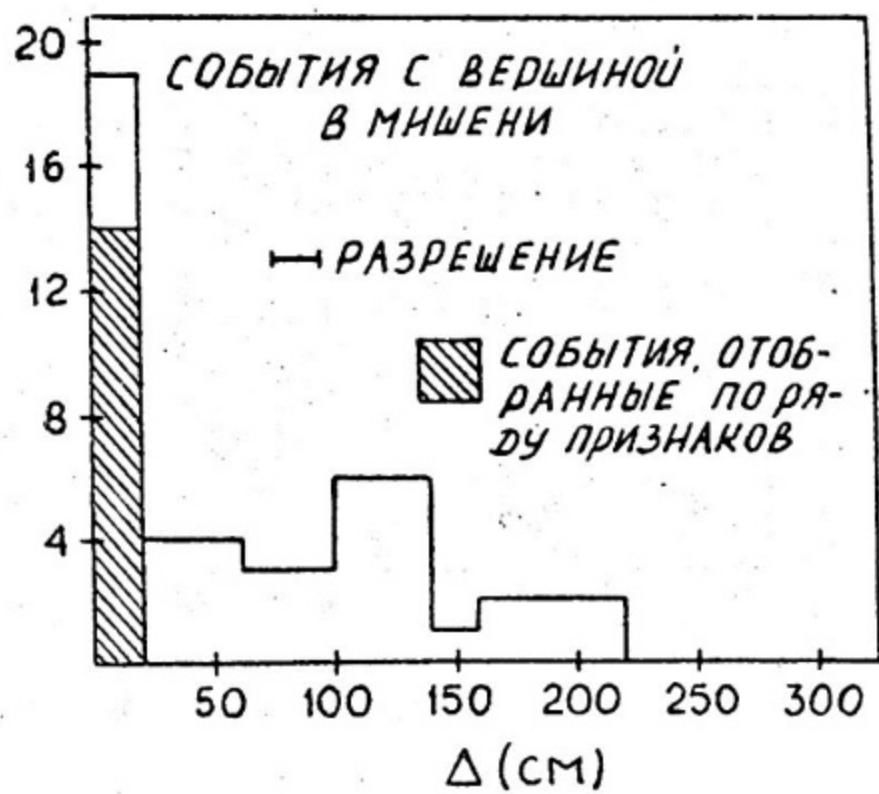
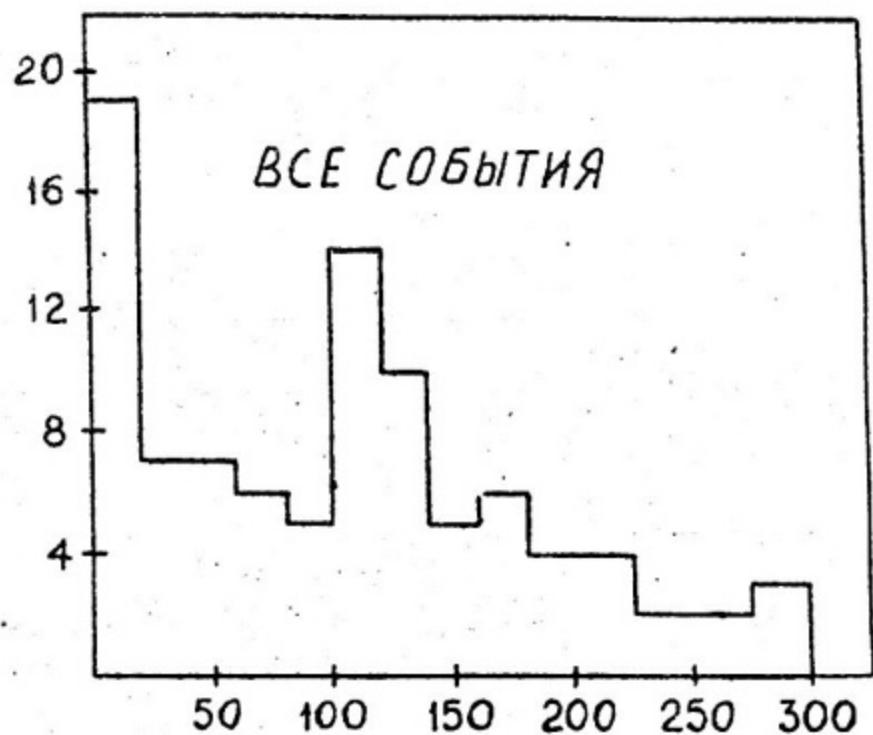


Рис. 9.

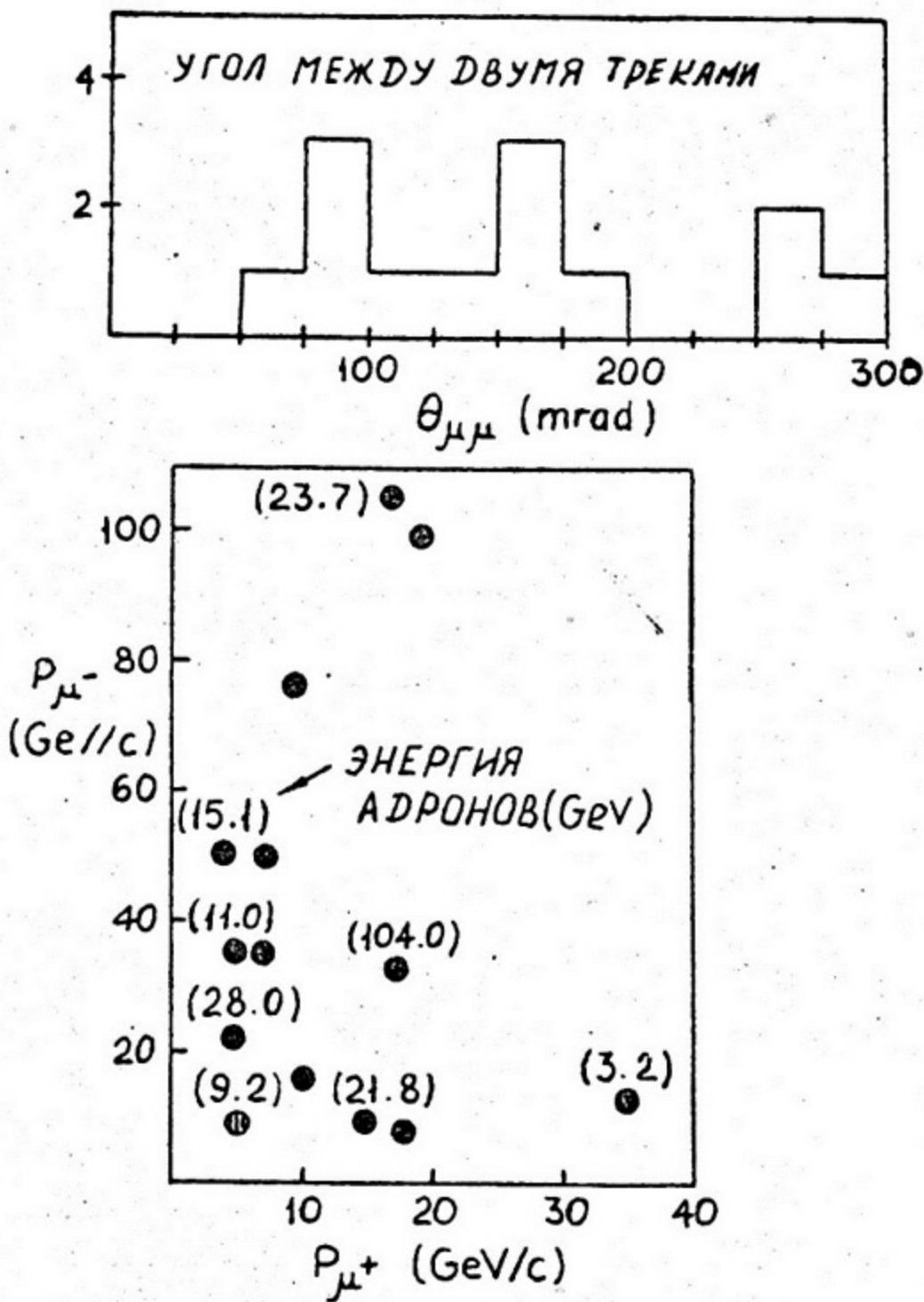


Рис. 10.

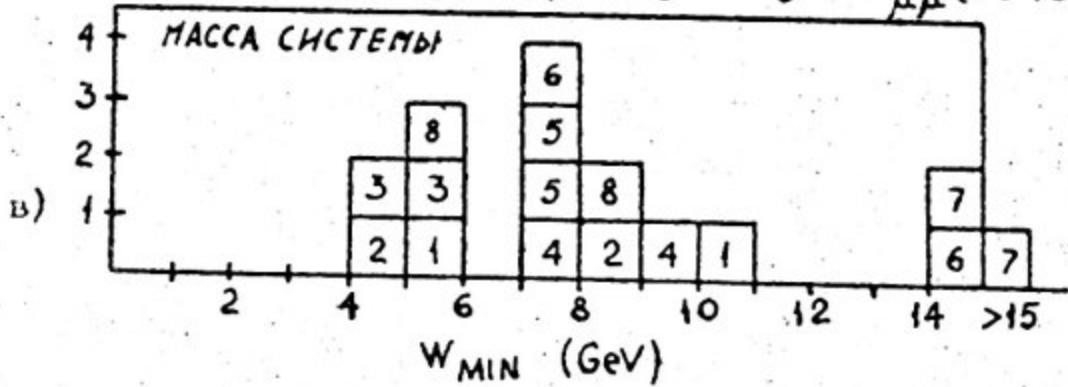
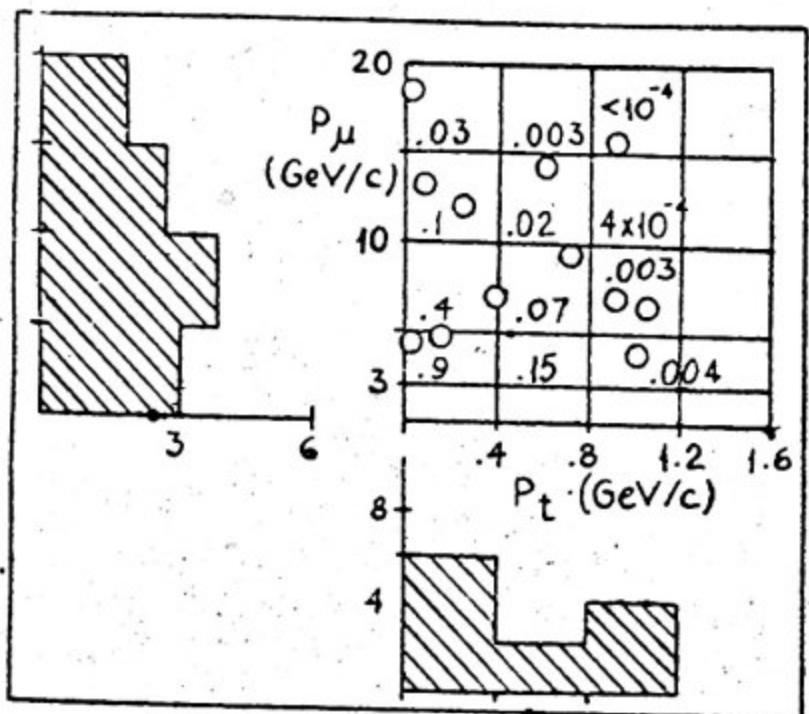


Рис. 11.

Л 91165. Подп. к печати 13/У-75 г. Объем 2,5 п.л.
Заказ 768. Цена 25 к. Тираж 250.

Типография МИФИ, Каширское шоссе, д. 1.