

M-52

ЛВЭ 9

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**  
**ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ**

1 - 8391

**МЕРЕКОВ**  
**Юрий Павлович**

**ПОИСК НОВЫХ ТЯЖЕЛЫХ ЧАСТИЦ**  
**НА ПРОТОННОМ СИНХРОТРОНЕ ИФВЭ (Серпухов)**

**Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата физико-математических наук**

**(Диссертация написана на русском языке)**

Дубна 1974

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований (г.Дубна).

Научный руководитель: старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук

В.И.Петрухин

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук В.Г.Гришин,  
кандидат физико-математических наук А.И.Шмелева

Ведущее научно-исследовательское учреждение - Московский инженерно-физический институт, г. Москва.

Автореферат разослан " " 1974 г.

Защита диссертации состоится " " 197 г. в

" " часов на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединенного института ядерных исследований.

Ученый секретарь Совета  
кандидат физико-математических наук

Ю.А.Батусов

1 - 8391

МЕРЕКОВ  
Юрий Павлович

ПОИСК НОВЫХ ТЯЖЕЛЫХ ЧАСТИЦ  
НА ПРОТОННОМ СИНХРОТРОНЕ ИФВЭ (Серпухов)

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Переход в область более высоких энергий ускоряемых частиц делает возможным проведение поиска новых частиц в интервале масс, который ранее не мог быть исследован либо по причине высокого энергетического порога, либо из-за малых сечений рождения. Такие эксперименты были выполнены на протонном синхротроне ИФВЭ (энергия ускоренных протонов 70 ГэВ) в 1969–1973 годах: поиск частиц с дробным электрическим зарядом—кварков и поликварков<sup>/1-3/</sup>; поиск новых антиядер—антигелия— $3^{4/}$  и антитрития<sup>/5/</sup>; поиск новых долгоживущих однозарядных частиц в интервале масс от антинейтрона до 10 протонных масс<sup>/6,7/</sup>. В настоящей диссертации описываются результаты последних экспериментов<sup>/6,7/</sup>, а также некоторых методических работ, выполненных при подготовке и проведении этих экспериментов и эксперимента по поиску ядер антитрития. Результаты исследований, положенных в основу диссертации, были опубликованы в работах<sup>/5-10/</sup>.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. В первой главе приводится краткий обзор теоретических предсказаний существования новых частиц, а также результаты экспериментов, выполненных с целью проверки этих предсказаний. До проведения эксперимента, описываемого в диссертации, для сечения рождения новых долгоживущих однозарядных частиц при энергии 70 ГэВ была получена верхняя граничная оценка, равная  $1,2 \cdot 10^{-35} \frac{\text{см}^2}{\text{ср.ГэВ/с} \cdot \text{нуклон}}$  с достоверностью 90%<sup>/4/</sup>. При этом был исследован интервал масс 2–2,8 ГэВ/с<sup>2</sup>.

Постановка эксперимента описывается во второй главе. Во всех экспериментах, целью которых является поиск новых частиц, главная

проблема заключается в подавлении фона от частиц, составляющих основную долю продуктов первичного ядерного взаимодействия —  $\pi$ -мезонов,  $K$ -мезонов, барионов. При поиске кварков и антиядер с зарядом  $Z = -2$  для этой цели используется различие зарядов этих частиц и других компонент пучка, проявляющееся в различии магнитных отклонений, ионизационных потерь и интенсивности черенковского излучения. В случае однозарядных частиц основным методом выделения тяжелых частиц является измерение скорости частиц при фиксированном импульсе. Эксперимент, описываемый в диссертации, проводился на пучке вторичных отрицательно заряженных частиц с импульсом 25 ГэВ/с, образуемых протонами с энергией 70 ГэВ на внутренней мишени ускорителя под углом  $0^\circ$  к направлению первичного пучка. Импульс 25 ГэВ/с примерно соответствует максимуму фазового объема реакции  $p + p \rightarrow N + N + X + \bar{X}$  для масс  $M_X \geq M_p$ . При энергии налетающих протонов, равной 70 ГэВ, масса частиц, рожденных в реакции парного образования на покоящемся протоне, не может превышать  $\sim 5 M_p$ . В соударениях протонов с нуклонами ядер могут рождаться и более тяжелые частицы, но доля таких соударений быстро падает с ростом массы частицы (по некоторым оценкам<sup>/11/</sup>, доля соударений, в которых кинематически возможно парное образование частиц с массой  $10 M_p$ , составляет  $\sim 10^{-4} - 10^{-5}$  полного сечения). Поскольку с увеличением угла вылета регистрируемых частиц из мишени масса рожденных частиц уменьшается, поиск проводился под углом  $0^\circ$ .

При импульсе 25 ГэВ/с различие скоростей частиц весьма мало (табл.1) и, чтобы надежно выделить и идентифицировать искомые частицы, необходимо обеспечить высокое разрешение по скорости, проведение измерений скорости независимыми детекторами и эффективное подавление регистрации более легких частиц ( $\pi^-$ ,  $K^-$ ,  $\bar{p}$ ,  $\bar{d}$ ).

Кроме того, требуется принять особые меры для подавления фона, обусловленного ядерными взаимодействиями в веществе детекторов и стенках ионопровода, продукты которых могли бы имитировать тяжелые частицы.

Таблица 1. Скорости частиц и времена пролета базы 100 м при импульсе 25 ГэВ/с.

Частица	$\pi^-$	$\bar{p}$	$\bar{d}$	${}^3\bar{H}$	$4M_p$	$5M_p$	$7,5M_p$	$10M_p$
$\beta$	0,999985	0,9993	0,9972	0,9937	0,9889	0,9828	0,9626	0,9362
$\Delta\beta = 1 - \beta$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$3,7 \cdot 10^{-2}$	$7,4 \cdot 10^{-2}$
$t, \text{нсек}$	333,6	333,8	334,5	335,7	337,3	339,4	346,5	356,3

При ожидаемых малых выходах искомых частиц необходимо было проводить эксперимент при предельно достижимых интенсивностях пучка в канале. В этих условиях особенно важной задачей является снижение уровня случайных совпадений, которые также могут имитировать прохождение через канал тяжелой частицы. В реализованной постановке эксперимента решение этих проблем достигалось использованием специального магнитного канала<sup>/12/</sup> с двукратным анализом пучка по импульсу и многократной очисткой его от продуктов ядерных взаимодействий, применением для измерения скорости частиц спектрометра по времени пролета (СВП) с высоким временным разрешением и газовых черенковских детекторов, измерением временных соотношений между сигналами от счетчиков телескопа, регистрирующего прохождение



частицы через канал, а также работой на линии с ЭВМ, что дало возможность проводить многомерный анализ отобранных событий и контроль условий эксперимента в реальном времени. При работе на линии с ЭВМ можно ослабить ограничения, связанные с предварительным отбором частиц и неизбежно приводящие к потере эффективности регистрации, выполняя часть функций схемного отбора при обработке зарегистрированных событий. В этом случае можно получить существенно более полные сведения о фоновых условиях эксперимента, поскольку во время обработки на ЭВМ имеется возможность гибко менять критерии отбора событий и, по существу, проводить контрольные измерения по набранной статистике событий. Нестабильности аппаратуры могут быть учтены с помощью реперных событий, непрерывно регистрируемых в ЭВМ в ходе эксперимента. Это особенно важно при проведении многосуточных измерений с высоким разрешением, когда предъявляются повышенные требования к долговременной стабильности аппаратуры и контролю условий измерения.

В третьей главе описана экспериментальная установка: магнито-оптический канал, детекторы, электроника, ЭВМ, аппаратура связи с ЭВМ и система программ приема и обработки данных в реальном времени. Экспериментальная аппаратура располагалась на канале 4В Серпуховского ускорителя. Схема канала, его оптика и размещение на нем детекторов показаны на рис.1. Прохождение частицы через канал регистрировалось телескопом сцинтилляционных счетчиков  $M = S_1 \cdot S_2 \dots S_7$ . Два газовых пороговых черенковских счетчика  $C_1$  и  $C_3$ , включенные на антисовпадения с мониторным телескопом  $M$ , обеспечивали подавление скорости счета легких частиц ( $\pi^-$ ,  $K^-$ ,  $\bar{p}$ ) до уровня  $\sim 10^{-6}$  при интенсивности пучка  $(2,0-2,3) \cdot 10^6$  частиц/сек. Возникающая из-за случайных антисовпадений неэффективность триггера  $\bar{M}C_1\bar{C}_3$  составляла

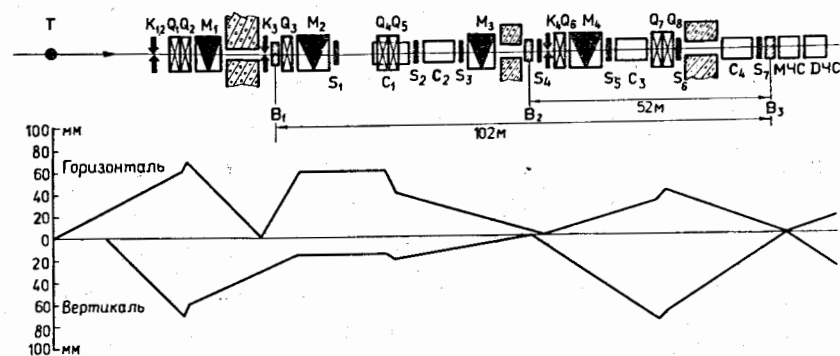


Рис.1 - Схема расположения аппаратуры на канале 4В и профиль пучка частиц.

T - мишень, K - коллиматоры, Q - квадрупольные линзы, M - отклоняющие магниты, S - сцинтилляционные счетчики, B - базовые счетчики спектрометра по времени пролета, МЧС - многоканальный черенковский счетчик.

при этой интенсивности  $\approx 15\%$ . Пороговая скорость частиц для этих счетчиков была равна 0,9987, так что эти счетчики не дискриминировали ядра  ${}^3\text{He}$ . Счетчики  $C_2$  и  $C_4$ \*) эффективно регистрировали антинейтроны.

Время пролета измерялось на базе 102 м и двух половинах базы с помощью трех сцинтилляционных счетчиков  $B_1$ - $B_3$ . Для уменьшения влияния больших загрузок счетчик  $B_1$  состоял из двух независимых частей. Использование большого пролетного расстояния ( $\sim 170$  м от мишени до последнего базового счетчика) ограничивало интервал времен жизни частиц, эффективно регистрируемых установкой, величиной  $\sim 10^{-7}$ - $10^{-8}$  сек. Временное разрешение спектрометра по всем базам было не хуже 0,3 нсек. Дополнительная неопределенность во времени пролета, обусловленная разбросом пучка по импульсу ( $\Delta P/P \leq 2,8\%$ ), дает заметный вклад в разрешение лишь в области больших масс и для  $M_x = 10 M_p$  составляет 1,2 нсек. В диапазоне масс  $1,6 M_p < M < 3,3 M_p$  скорость частиц измерялась также многоканальным черенковским счетчиком (МЧС)/13/ с разрешением по скорости  $\Delta\beta/\beta \sim 4 \cdot 10^{-4}$ .

Триггером регистрации событий служил сигнал  $\overline{MC}_1\overline{C}_3$ , а также сигналы реперных событий, выбранных из сигналов монитора с помощью соответствующих блокировок. Эти реперные события отвечают, в основном,  $\pi$ -мезонам, составляющим  $\sim 98\%$  частиц пучка. Для одного из этих событий сигнал монитора сдвигался на  $\sim 70$  нсек. Такие события ( $\Pi$ -события) использовались для контроля стабильности нулевого уровня (пьедесталов) в трактах амплитудных и временных измерений и регистрации амплитудных и временных распределений сигналов случайных срабатываний отдельных детекторов.

\*) Счетчик  $C_4$  сконструирован В.П.Зреловым, П.Павловичем, В.И.Сидоровой и П.Шулеком.

Для выделенных системой триггера событий измерялись времена пролета частицы между счетчиками  $S_3, S_5 (t_{35}), S_3, S_7 (t_{37})$  и  $S_5, S_7 (t_{57})$  с разрешением 1,0-1,5 нсек. В последующей обработке на ЭВМ сравнение этих времен между собой позволило очистить выборку событий  $\overline{MC}_1\overline{C}_3$  от фона случайных совпадений в мониторе. Измерялись также временные отметки сигналов от счетчиков  $C_1$ - $C_4$  и амплитуды сигналов от счетчиков  $B_1$ - $B_3, C_1$ - $C_4, S_3, S_5, S_7$ . Отбрасывая события, имеющие большие амплитуды сигналов в черенковских счетчиках  $C_1$ - $C_4$ , можно подавать до необходимого уровня фон, связанный с прохождением "легких" частиц ( $M \leq M_d$ ). Амплитудная информация от счетчиков СВН и сцинтилляционных счетчиков монитора позволяла определить заряд частицы и исключить случаи одновременного (в интервале 20 нсек - длительность ворот, пропускающих сигналы) прохождения через них нескольких частиц. Отношение  $\tau$  амплитуд сигналов от сцинтилляционных счетчиков к порогам формирователей задавалось равным 10-20. Измерения показали, что доля амплитуд, меньших 50% от наиболее вероятной, не превышает 1% всех амплитуд, так что установка могла эффективно ( $\epsilon > 0,90$ ) регистрировать частицы с зарядом  $|z| = \sqrt{\frac{2}{\tau}} > 0,45$ . При  $Z = -3$  в канал могут попадать только частицы с "нефизическим" импульсом 75 ГэВ/с.

Зарегистрированная в каждом событии амплитудно-временная информация от всех детекторов (50 параметров по 1024 канала каждый) и до 40 логических признаков события передавались в ЭВМ. По окончании импульса интенсивности ЭВМ регистрировала показания 30 пересчетных схем, содержащих информацию о работе монитора, черенковских счетчиков и об условиях наведения внутреннего пучка на мишень, показания цифрового вольтметра, с помощью которого измерялись напряжения на счетчиках и в основных точках электронной логики, а так-

же принимала служебную информацию, характеризующую данное измерение (номер измерения, календарное время, условия измерения). Время регистрации и передачи в ЭВМ одного события составляло ~800 мксек. В эксперименте использовалась ЭВМ среднего класса БЭСМ-ЭМ, модернизированная для работы в режиме "на линии"<sup>/14/</sup>. Для передачи информации от детекторов в ЭВМ была разработана аппаратура сопряжения<sup>/15/</sup>, которая выполняла следующие функции: а) преобразование информации из аналоговой в цифровую форму; б) промежуточное хранение массива регистрируемых данных; в) упаковка информации в слово ЭВМ (45 разрядов); г) организация передачи данных в соответствии с циклом работы ЭВМ (10 мксек); д) согласование выходных потенциалов с входными цепями ЭВМ. В аппаратуре сопряжения использовалось управление передачей информации с помощью программы ЭВМ, при котором могут произвольно изменяться последовательность передачи и объем передаваемых данных.

Вычислительная машина выполняла в эксперименте следующие функции: а) организация приема экспериментальной информации; б) запись принятой информации на магнитную ленту; в) контроль работы экспериментальной установки; г) выборочный статистический анализ данных эксперимента и визуальное представление спектров амплитудно-временной информации. Для обеспечения работы ЭВМ в режиме "на линии" была создана система программ<sup>/10/</sup>, обеспечивающая возможность быстрой адаптации при изменении условий эксперимента, прием данных и их обработку в реальном масштабе времени, а также обратную связь ЭВМ с экспериментом. При написании текста программ использовался ассемблер системы математического обеспечения БЭСМ-4<sup>/16/</sup>, который предусматривает независимую трансляцию и сегментацию программ. Блок-схема организации системы программ

приведена на рис.2. Работа комплекса программ организована следующим образом. После установки начального состояния системы управление передавалось диспетчеру, организующему порядок исполнения программ в соответствии с приоритетом и наличием для них работы. По сигналу прерывания, связанному с синхроимпульсом ускорителя, включалась подпрограмма приема данных от экспериментальной установки. После окончания приема информации управление возвращалось в диспетчер, который по флагу, сигнализирующему о наличии новой информации, инициировал работу программ первого приоритета (контроль передачи информации по каналу связи, перепись информации на магнитную ленту, контроль работы магнитооптического канала и электронной логики по содержанию пересчетных схем и показаниям цифрового вольтметра). Работа этих программ шла с запретом прерывания. После выхода из блока программ первого приоритета управление возвращалось в диспетчер, который при наличии массива данных, подлежащих обработке, включал выполнение подпрограмм второго приоритета (обработка событий, статистический анализ данных эксперимента и визуальное представление спектров). Подпрограммы второго приоритета работали с разрешением прерывания, возобновляя обработку с того места, где она была прервана приемом информации. В программах обработки была реализована развитая система критериев отбора (до 132 критериев), которая позволяла выделять события по любой совокупности признаков. Использованный способ сжатия информации давал возможность строить в оперативной памяти одновременно 63 гистограммы с суммарным числом каналов ~12500.

Оперативное управление работой ЭВМ выполнялось с помощью четырех 45-разрядных тумблерных регистров пульта ЭВМ, а также дистанционно посредством переключателей в аппаратуре сопряжения. Обрат-

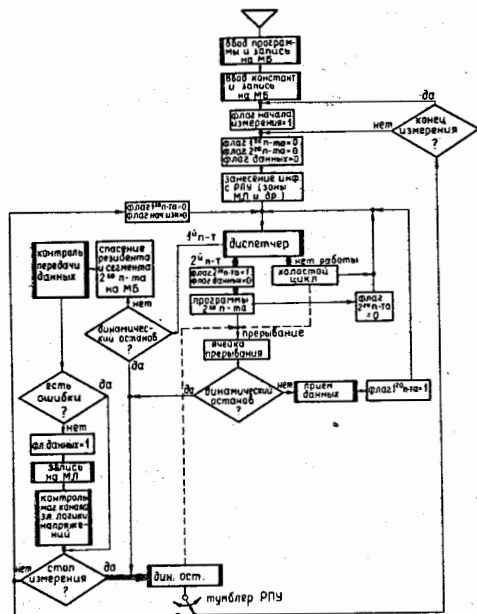


Рис.2 - Блок-схема системы программ.

ная связь с домиком экспериментатора осуществлялась через дисплей многоканального анализатора с помощью управляющих сигналов канала связи, которые генерировались программой ЭВМ<sup>/9/</sup>.

Кроме экспериментов по поиску новых тяжелых частиц и антитрития система программ использовалась также в ряде методических исследований (изучение временных и амплитудных характеристик спинтилляционных счетчиков в условиях больших импульсных нагрузок<sup>/17/</sup>, измерение микроструктуры пучка ускорителя и др.). При этом не потребовалось перестройки аппаратуры и существенных изменений в программах, хотя структура данных и режим их приема значительно отличались от выбранных для основных экспериментов.

Проведение измерений на ускорителе и результаты эксперимента описаны в последней, четвертой главе диссертации. В предварительных измерениях<sup>/6/</sup> был исследован с меньшей статистикой диапазон масс до  $17 M_p$  и получена верхняя граничная оценка

$$d^2\sigma/d\Omega dP(0^0, 25 \text{ ГэВ/с}) \leq 1,0 \cdot 10^{-34} \text{ см}^2/(\text{ср} \cdot \text{ГэВ/с} \cdot \text{ядро Al}).$$

В основном эксперименте было проведено четыре сеанса работы на ускорителе. Распределение статистики по сеансам приведено в табл.2. Через установку было пропущено  $3,75 \cdot 10^{11}$  частиц и зарегистрировано  $5 \cdot 10^5$  событий  $M\bar{C}_1\bar{C}_3$  вместе с  $\sim 10^6$  реперных событий. Средняя интенсивность пучка во время эксперимента поддерживалась на уровне  $\leq 2,5 \cdot 10^6$  частиц/сек. В начале и конце каждого сеанса проводилась калибровка временной шкалы СВЦ, контроль измеряемого диапазона времен пролета, калибровка временных трактов системы амплитудно-временного анализа и калибровка МЧС (измерение зависимости координат кольца черенковского света  $\pi$ -мезонов от давления газа в счетчике). Экспрессный контроль стабильности работы аппаратуры производился в реальном времени по амплитудным и временным распределениям  $\pi$ -событий, зарегистрированных в ходе эксперимента. Влияние долговремен-



Таблица 2

Сеанс	Материал	$N \cdot 10^{11}$ частиц	$N_p \cdot 10^3$ частиц
I (окт. 1972 г.)	8,1 г/см <sup>2</sup> Al	0,21	4,7
II (дек. 1972 г.)	8,1 г/см <sup>2</sup> Al	0,85	13,1
III (январь 1973 г.)	5,5 г/см <sup>2</sup> Be	0,46	8,9
IV (март 1973 г.)	8,1 г/см <sup>2</sup> Al 13,41 г/см <sup>2</sup> Cu	1,30 0,93	28,6 20,4
I-IV		3,75	75,7

ных нестабильностей исключалось при обработке данных: положение каждой измеряемой величины определялось относительно центра тяжести распределения для реперных  $\pi$ -событий. В результате набранный за 200 часов спектр времен пролета антинейтронов после проведения обработки не отличался от аналогичного спектра, полученного в течение нескольких часов.

Зарегистрированные события подвергались анализу по следующей совокупности критериев: 1) критерии, которым должны удовлетворять все частицы в исследуемом диапазоне масс; 2) критерии, отбрасывающие частицы, эффективно регистрируемые черенковскими счетчиками ( $M \leq 2,2M_p$ ); 3) критерии идентификации тяжелых частиц. Первую группу критериев составляют: а) критерий "правильной" комбинации (ПК) логических признаков от счетчиков  $B_1$ - $B_3$ , требующий наличия сигналов от  $B_2$ ,  $B_3$  и одной из половин  $B_1$ . Критерий отбрасывает заведомо фо-

новые события и сильно уменьшает долю событий, обусловленных одновременным прохождением двух и более частиц через эти счетчики; б) условие постоянства скорости частиц на участках канала между счетчиками  $S_3, S_5$  и  $S_5, S_7$  (равенство времен пролета  $t_{35}$  и  $t_{57}$ ); в) условие соответствия времен пролета  $t_{37}$  и  $t_{57}$  исследуемому диапазону масс; г) ограничение на амплитуды сигналов в счетчиках  $S_7$  и  $B_3$ , расположенных в конце канала, где отсутствует магнитный анализ. В критериях второй группы задавались интервалы, внутри которых должны находиться амплитуды и временные отметки сигналов от черенковских счетчиков  $C_1$ - $C_4$  для частиц, регистрируемых счетчиками. Для идентификации тяжелых частиц использовалась информация, полученная от спектрометра по времени пролета на полной базе и подбазе, а в области масс  $2,2 M_p < M_x < 2,8 M_p$  также от многоканального черенковского счетчика.

В специальной обработке, проведенной с целью поиска двухзарядных частиц, отбирались события, в которых амплитуды сигналов в сцинтилляционных счетчиках с "толстыми" сцинтилляторами и счетчике  $C_4$  удовлетворяли условию  $A_i \geq 2A_i^{\pi}$  ( $i = B_1, B_3, S_3, S_7, C_4$ ), где  $A_i^{\pi}$  - средние значения амплитуд в этих счетчиках при регистрации  $\pi$ -мезонов. При этом одновременно могли отбираться также события, отвечающие прохождению через установку поликварков с зарядами  $z = -5/3$  и  $-7/3$ . Поликварки с зарядом  $z = -4/3$  могли быть выделены в ходе основной обработки. Выбранные значения границ интервалов для критериев отбора соответствовали максимальному подавлению фона при сохранении эффективности регистрации частиц с массой  $M \geq 2,2 M_p$  не менее 90%. Суммарные данные об уровнях подавления и эффективностях регистрации частиц, полученные по материалу последнего сеанса (65% статистики), приведены в таблице 3.

Таблица 3

Группа	Название критерия	Граница критерия	Эфф. критерий для оставшихся частиц, %	Коэффициент поправки фона	Число оставшихся событий
	ПК		70	3	75 000
			по отн. к $\overline{MC}_1\overline{C}_3$ (ПК)		
I	$t_{37(57)}$	$t_{37(57)}^* \geq t_{37(57)} - 3,5 \text{ нсек}$ $t_{37(57)}^* \leq t_{37(57)} + 16 \text{ нсек}$	98	2	
	$\delta t$	$ t_{35} - t_{37}  \leq 2,5 \text{ нсек}$	99	20	
	$A_{3,7}$	$A_{3,7} < 4 A_{3,7}^*$	98	I, I	
I			97	50	57 000
2	$C_1$	$ t_{c_1} - t_{c_1}^*  \geq 2,5 \text{ нсек}$ $A_{c_1} \leq 0,8 A_{c_1}^*$	98	4	
	$C_3$	$ t_{c_3} - t_{c_3}^*  \geq 2,5 \text{ нсек}$ $A_{c_3} \leq 0,8 A_{c_3}^*$	99	2	
	$C_1 + C_3$		97	6	53 000
	$I + C_1 + C_3$		93	170	50 200
	$C_2$	$ t_{c_2} - t_{c_2}^*  \geq 2,5 \text{ нсек}$ $A_{c_2} \leq 0,3 A_{c_2}^*$	98		16
	$C_4$	$ t_{c_4} - t_{c_4}^*  \geq 2,5 \text{ нсек}$ $A_{c_4} \leq 0,6 A_{c_4}^*$	99		378
$C_2 + C_4$		98		16	

После применения к событиям  $\overline{MC}_1\overline{C}_3$  критериев 1 и 2 групп осталось 29 событий. Двумерное распределение этих событий в координатах  $T_0 - \Delta T$  показано на рис.3. ( $T_0$  - время пролета частицы полной базы СВП,  $\Delta T = T_1 - T_2$  - разность времен пролета частицы полубаз СВП). В интервал  $|\Delta T| < 3\sigma = 0,54 \text{ нсек}$  попадают 28 частиц, при этом 24 из них идентифицируются по времени пролета как антинейтроны, а четыре события - как ядра антитрития. Наблюдается также одно событие в районе  $4,5 M_p$ , однако разность времен пролета для него выходит за пределы 8 стандартных отклонений от среднего,

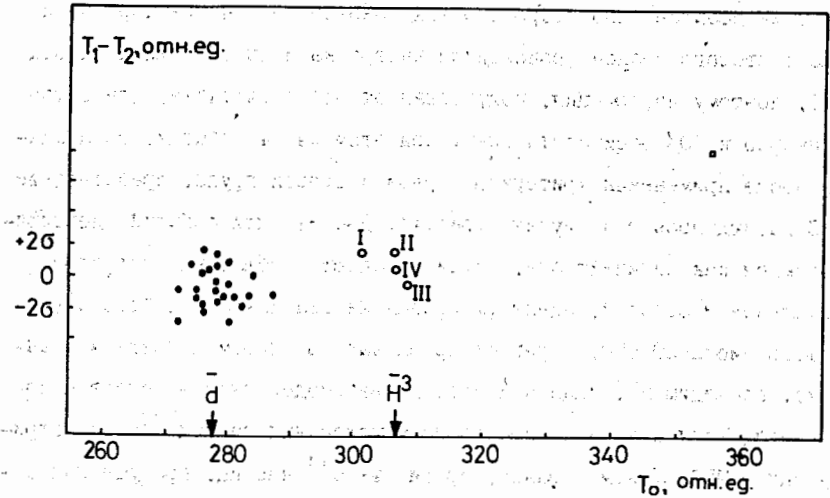


Рис.3 - Идентификация событий, оставшихся после применения критериев отбора, спектрометром по времени пролета.

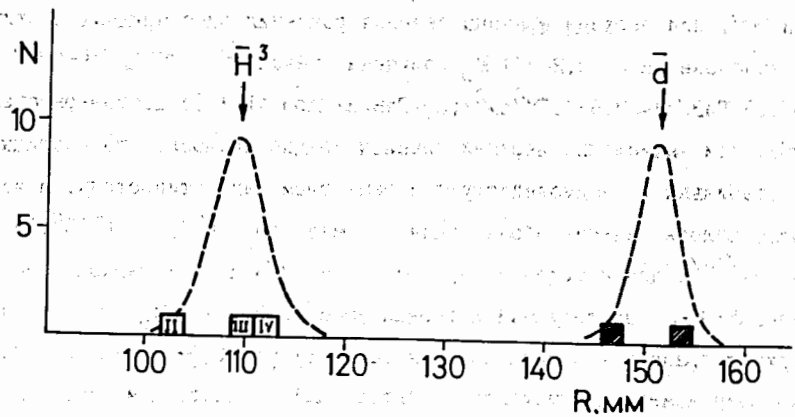


Рис.4 - Идентификация событий, оставшихся после применения критериев отбора, многоканальным черенковским счетчиком.

поэтому событие было отброшено как фоновое. В течение первого и части второго сеанса происходили настройка и выбор режима работы МЧС, поэтому информация, полученная от этого счетчика, относится примерно к 80% всей статистики. При этом из 14 событий, оставшихся после применения критериев первой и второй групп, срабатывание МЧС наблюдалось в 5 случаях (рис.4). Два из пяти событий идентифицируются как антидейтроны, а три попадают в область антитрития. Остальные 9 событий, идентифицированные СВЧ как антидейтроны (из общего числа ~20 000, зарегистрированных во втором и третьем сеансах), по-видимому, испытали ядерные взаимодействия в веществе последней части канала с образованием медленных частиц, не регистрируемых в МЧС. Таким образом, среди  $\sim 4 \cdot 10^{11}$  частиц, пропущенных через установку, не зарегистрировано ни одной новой частицы, кроме ядер  ${}^3\text{He}$ . С учетом поправок на поглощение и распад частиц, а также эффективности регистрации и отбора отношение выходов искомым частиц  $X$  и  $\pi^-$ -мезонов не превышает  $1,1 \cdot 10^{-11}$  на уровне достоверности 90%. Для верхней границы сечения рождения однозарядных частиц в диапазоне масс  $(2,2-10) M_p$  получена оценка  $E = d^2\epsilon_x/d\Omega dP$  ( $0,25 \text{ ГэВ/с}$ )  $< 2,6 \cdot 10^{-36} \text{ см}^2/(\text{ср} \cdot \text{ГэВ/с} \cdot \text{ядро Al})$  (с достоверностью 90%). При вычислении верхней границы предполагалось, что частицы  $X$  стабильны и взаимодействуют с веществом как антипротоны, и использовалось сечение образования  $\pi^-$ -мезонов  $d^2\epsilon_\pi/d\Omega dP$  ( $0,25 \text{ ГэВ/с}$ )<sup>18/</sup>. Для кварков с зарядом  $Z = -2/3$  и поликварков (импульс  $P \cdot |z|$ , исследуемый интервал масс  $(2,2 - 10) M_p \cdot |z|$ ) верхняя граничная оценка сечения равна  $E \cdot \frac{1}{|z|}$  ( $\frac{1}{|z|}$  - коэффициент, учитывающий изменение импульсного интервала). В настоящем эксперименте не наблюдалось ни одного события с амплитудами сигналов от черенковских и сцинтилляционных счетчиков, отвечающими частице с заря-

дом  $Z = -2$ . Отсюда верхняя граничная оценка дифференциального сечения образования ядер  ${}^3\text{He}$  с импульсом 50 ГэВ/с под углом  $0^\circ$  равна  $2,6 \cdot 10^{-36} \frac{\text{см}^2}{\text{ср} \cdot \text{ГэВ/с} \cdot \text{ядро Al}}$ . (предполагалось, что сечение взаимодействия ядер  ${}^3\text{He}$  с веществом в 1,5 раза больше соответствующих сечений для антидейтронов).

Основные результаты диссертации приведены в Заключение:

1. На экспериментальной установке, состоящей из сцинтилляционных и черенковских счетчиков и работающей в линию с ЭВМ, достигнут уровень отбора искомым событий не хуже  $2,5 \cdot 10^{-12}$  в диапазоне масс до  $10 M_p$  и интервале зарядов  $0,45 < |z| < 3$ .

2. Создана система программ для проведения широкого класса электронных экспериментов на линии с ЭВМ БЭСМ-3 М.

3. Реализовано дистанционное подключение к ЭВМ БЭСМ-3М стандартного амплитудного анализатора, используемого в качестве дисплея с запоминанием.

4. Выполнен поиск новых тяжелых частиц с зарядом  $0,45 < |z| < 3$  в широком диапазоне масс  $(2,2-10) M_p \cdot |z|$  и получена верхняя граница сечения их рождения в соударениях протонов с ядрами при энергии 70 ГэВ, равная  $2,6 \cdot 10^{-36} \text{ см}^2/(\text{ср} \cdot \text{ГэВ/с} \cdot \text{ядро Al})$ . Полученная оценка для однозарядных частиц и поликварков ниже соответствующих оценок, найденных в других экспериментах<sup>3,4/</sup>.

5. Измеренная с большей точностью величина отношения

$R_a = \frac{d^2\epsilon_a/d\Omega dP}{d^2\epsilon_\pi/d\Omega dP}$  для рождения антидейтронов под углом  $0^\circ$  с импульсом 25 ГэВ/с при энергии налетающих протонов 70 ГэВ оказалась равной для ядра алюминия  $(5,1 \pm 0,2) \cdot 10^{-7}$ , что в пределах ошибок согласуется с результатом, полученным ранее<sup>19/</sup>.

Результаты работ, по которым написана диссертация, докладывались на XV Международной конференции по физике высоких энергий,

Киев, 1970 г.; Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий, Дубна, 1970 г.; III Международном симпозиуме по физике высоких энергий и элементарных частиц, Синая (СРР), 1973г.; VIII Международной конференции по физике высоких энергий, Лондон, 1974 г.

#### Литература

1. Ю.М.Антипов и др., ЯФ 10, 346 (1969).
2. Ю.М.Антипов и др., ЯФ 10, 976 (1969).
3. Ю.М.Антипов и др., ЯФ 13, 130 (1971).
4. Ю.М.Антипов и др., ЯФ 12, 311 (1970).
5. Н.К. Вишневский и др., ЯФ 20, 694 (1974).
6. В.Боткин и др., Труды XV Междун.конф.по физике высоких энергий, Киев, 1970г..
7. Н.К. Вишневский и др., Препринт ОИЯИ Р1-8322 (1974).  
Д.Позе, Труды III Межд.симп.по физике высоких энергий и элементарных частиц, Синая (СРР), 1973; ОИЯИ Д 1,2-7781, стр.164, Дубна, 1974г.
8. Я.В.Гришкевич и др. Труды Межд.конф.по аппаратуре в физике выс. энергий, Дубна, 1970г., ОИЯИ Д-5805, стр.29, Дубна, 1971.
9. Я.В.Гришкевич и др., сообщение ОИЯИ 10-6296 (1972).
10. Л.С.Вертоградов и др., сообщение ОИЯИ 1-7798 (1974).
11. M. Danos, V.F. Gibson, Phys. Rev. Lett., 26, 473 (1971).
12. М.И.Грачев и др. ЖТФ 41, 1812 (1971).
13. Н.К.Вишневский и др., Труды межд.конф.по аппаратуре в физике выс. энергий, Дубна, 1970г.; ОИЯИ Д-5805, стр.305, Дубна, 1971г.
14. А.И.Барановский и др, деп.сообщение ОИЯИ Б1-10-4643 (1969).
15. Р.Ляйсте и др, Препринт ОИЯИ 13-7699 (1974).
16. В.А.Загинайко, сообщение ОИЯИ 11-6005 (1971).
17. М.Ю.Казаринов и др., ПТЭ 1973 г. № 1, 81.
18. F. Binon et al., Phys. Lett., 30B, 506 (1969).
19. F. Binon et al., Phys. Lett. 30B, 510 (1969).

Рукопись поступила в издательский отдел

18 ноября 1974 г.