

A-192

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



11482 3453/2-78

21/VIII-78

1 - 11482

С.А. АВЕРИЧЕВ И ДР.

ДЕВЯНОСТОКАНАЛЬНЫЙ ЧЕРЕНКОВСКИЙ
МАСС-СПЕКТРОМЕТР ЭЛЕКТРОНОВ
И ГАММА-КВАНТОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

(Установка "Фотон")

1978

1 - 11482

ДЕВЯНОСТОКАНАЛЬНЫЙ ЧЕРЕНКОВСКИЙ
МАСС-СПЕКТРОМЕТР ЭЛЕКТРОНОВ
И ГАММА-КВАНТОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

(Установка "Фотон")

Направлено в ПТЭ

С.А.Аверичев, В.В.Архипов, Р.Г.Аствацатуров,
В.В.Бакаев, А.М.Балдин, С.Г.Басиладзе, Л.С.Бойцова,
Л.Б.Голованов, Ю.В.Заневский, А.Б.Иванов,
В.И.Иванов, И.М.Иванченко, А.Д.Кириллов, Е.Кнапик,
И.Ф.Колпаков, В.А.Крамаренко, Б.А.Кулаков,
Ю.В.Куликов, Б.К.Курятников, Л.Г.Макаров,
А.И.Малахов, Е.А.Матюшевский, В.Л.Мазарский,
Г.Л.Мелкумов, П.В.Мойсенз, В.Т.Паршутов,
В.Д.Пешехонов, Н.Н.Пляшкевич, С.Н.Пляшкевич,
А.Е.Сеннер, В.А.Смирнов, Б.М.Старченко,
В.Т.Трофимов, М.Н.Хачатурян, А.П.Цвинев,
А.С.Чвыров, С.П.Черненко, Р.Фирковски

Аверичев С.А.

1 - 11482

Девяностоканальный черенковский масс-спектрометр электронов и гамма-квантов высоких энергий. (Установка "Фотон")

Дается описание девяностоканального черенковского масс-спектрометра, предназначенного для исследования процессов рождения и распада резонансов на гамма-кванты и электрон-позитронные пары. Аппаратура масс-спектрометра включает девяносто γ -спектрометров из свинцового стекла, 32 магнетострикционные искровые камеры размерами 100×100 см², шесть пропорциональных камер, два сцинтилляционных годоскопа по 10 элементов каждый, пучковые сцинтилляционные счетчики, жидководородную мишень длиной 80 см и электронную аппаратуру, выполненную в стандарте "Визня" и в стандарте КАМАК. Масс-спектрометр работает на линии с ЭВМ "HEWLETT-PACKARD 2116B".

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Averichev S.A. et al.

1 - 11482

A 90-Channel Cerenkov Mass-Spectrometer for High Energy Electrons and Photons ("Photon" Setup)

A 90-channel Cerenkov mass-spectrometer for detection of electrons and photons from resonance decays is described. The apparatus includes 90 lead-glass Cerenkov spectrometers, 32 magnetostrictive spark chambers 100×100 cm² in size, 6 proportional chambers, a hodoscope of 20 scintillation counters, beam defining scintillation counters, a 80 cm liquid hydrogen target and CAMAC and "Vishnya" electronics. Data collection and analysis have been performed on-line with an HP 2116B computer.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research.

Dubna 1978

1. ВВЕДЕНИЕ

Черенковский масс-спектрометр из свинцового стекла, описание которого дается ниже, был предложен и создан для экспериментов по поиску новых резонансов в системах e^+e^- , 2γ , 3γ и т.д. на протонном синхротроне ИФВЭ на 70 ГэВ в Серпухове.

Принцип измерения эффективной массы электрон-позитронных пар и гамма-квантов с помощью искровых камер и гамма-спектрометров из свинцового стекла был впервые предложен и реализован в двухканальном варианте в 1964-1965 гг.¹ На этой установке были обнаружены редкие электромагнитные распады ρ^0 - и ϕ -мезонов на электрон-позитронную пару и измерены их парциальные ширины^{1/2}.

Масс-спектрометр на 90 каналов /установка "Фотон"/ в течение 1976-1977 гг. экспонировался на ускорителе ОИЯИ на 10 ГэВ с целью исследования структуры дифференциального сечения реакции $\pi^- p \rightarrow \eta^0 p$, $\eta^0 \rightarrow \gamma\gamma$ в области переданных импульсов от t_{\min} до 0,3 /ГэВ/с².

2. ОПИСАНИЕ МАСС-СПЕКТРОМЕТРА

Схема масс-спектрометра приведена на рис. 1. Основными элементами установки являются:

1. Годоскоп из девяти черенковских гамма-спектрометров из свинцового стекла С1-90, позволяющий с высокой точностью измерять энергию электронов и гамма-квантов^{1/3}.

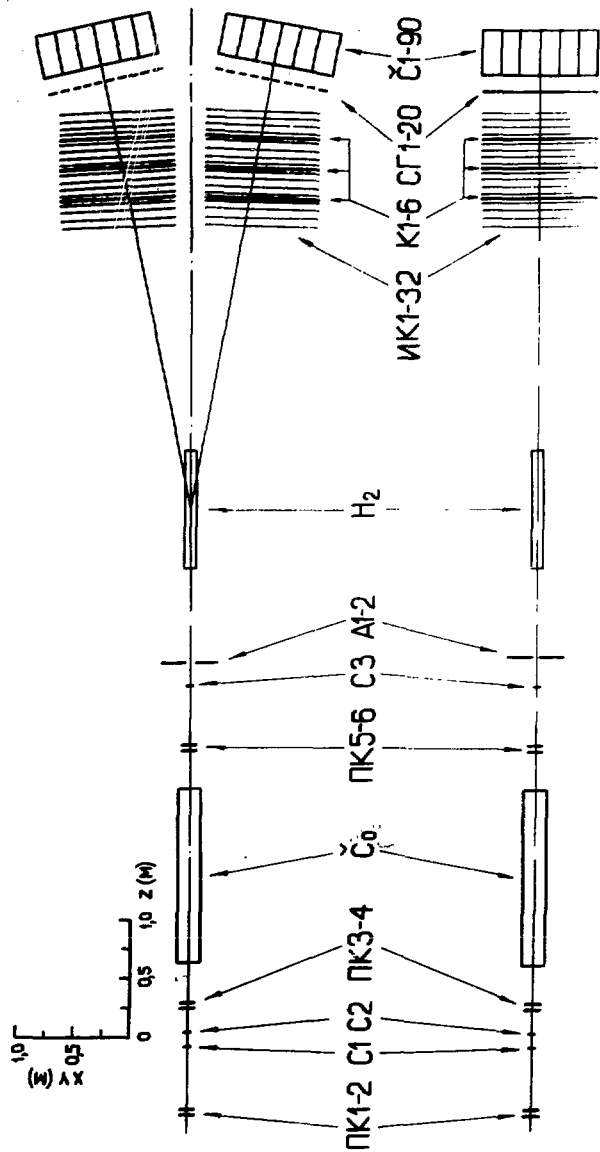

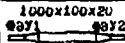




Рис. 1. Схема масс-спектрометра "Фотон".

Таблица 1

Детекторы		Обозначение	Кол-во детекторов	Рабочий объем, мм ³	Тип ФЭУ	Кол-во ФЭУ	Суммарное число сигнальных проводов	Пространственное разрешение, мм	Энергетическое разрешение, %	Временное разрешение, мс	Эффективность, %
Сцинтилляционные счетчики	мониторные	С1-3	3	50x50x5	ФЭУ-29	3	—	± 25	—	5	99,99
	антиковендетольные	А1-А4	2	500x500x5 	ФЭУ-30	2	—	—	—	5	99,7
	годовскопические	СГ1-20	20	1000x100x20 	ФЭУ-30	40	—	$\Delta X = \pm 50$ $\Delta Y = \pm 500$	+18 -10	20	99,7
Газовые черенковские счетчики	$\gamma_{\text{Ф}}$	1	 $l=1500$ $d=150$	ФЭУ-30	1	—	—	± 1	—	5	—
Черенковский спектрометр полужоного поглощения на свинцовом стекле	$\gamma_{\text{С1-50}}$	90	 $l=350$ $d=175$	ФЭУ-495	90	—	± 40	$\pm (0,36+4,6/\sqrt{E})$ E - в лэв.	—	180	100
Лучевые пропорциональные камеры	ПК1-6	6	150x150x8	—	—	208	± 1,5	—	—	60	99,5
Наимитострукционные искровые камеры	НК1-32	32	920x920x9,6	—	—	64 тыс.	$\Delta X = \pm 0,45$ $\Delta Y = \pm 0,30$	—	—	1000	98

2. 32 проволочные магнестрикционные искровые камеры ИК1-32, с помощью которых измеряется направление электронов и конверсионных пар^{/4/}. В случае регистрации гамма-квантов между группами из четырех камер располагаются медные конверторы К1-6 толщиной по 0,4 рад.ед. каждый.

3. Годоскоп из 20 сцинтилляционных счетчиков СГ1-20, используемый для увеличения эффективности триггера и получения дополнительной информации о направлении и числе вторичных заряженных частиц^{/5/}.

4. Телескоп сцинтилляционных счетчиков С1-3 для мониторингования пучка и счетчики антисовпадений А1, А2 с центральным отверстием^{/6/}.

5. Шесть пропорциональных камер ПК1-6 для измерения направления падающих на мишень частиц^{/6/}.

6. Жидководородная мишень H_2 длиной 80 см, диаметром 7 см и толщиной стенок 0,005 рад.ед.

7. Газовый пороговый черенковский счетчик \check{C}_0 , используемый при калибровке черенковского годоскопа для выделения электронов в пучке отрицательных π -мезонов.

8. Электронная аппаратура, выполненная в стандарте "Вишня" /520 блоков/ и в стандарте КАМАК /100 блоков/.

9. ЭВМ типа "Hewlett-Packard 2116B" с внешними устройствами и оперативной памятью 32К.

10. Устройства, предназначенные для распределения, сбора и регенерации газовой смеси, используемой в искровых и пропорциональных камерах^{/8/}.

Основные параметры детекторов масс-спектрометров приведены в табл. 1.

2.1. Годоскоп гамма-спектрометров из свинцового стекла

Годоскоп состоит из 90 идентичных гамма-спектрометров, разделенных на две группы по 45 в каждой.

Радиатор гамма-спектрометра изготовлен из оптического стекла марки ТФ-1 с плотностью 3,86 г/см³

и радиационной длиной 2,5 см и имеет гексагональную форму с диаметром вписанной окружности 17,5 см и высотой 35 см /14 рад.ед./ . Все грани радиатора имеют оптическую полировку. К торцу радиатора клеится фотоумножитель типа ФЭУ-49Б с диаметром фотокатода 15 см. На фотоумножитель и стекло с целью защиты от внешних магнитных полей надеты экраны из пермаллоя.

С целью увеличения динамического диапазона линейности ФЭУ работают при сравнительно низком напряжении /в среднем 1500 В/. Распределение потенциалов фокусирующей системы и первых диодов выбрано таким образом, чтобы при освещении световыми импульсами всей поверхности фотокатода обеспечить наилучшее амплитудное разрешение. Для выбранного делителя интегральная нелинейность анодного сигнала при токе анода до 10 мА не превышает 0,5%^{9/}. Для питания фотоумножителей годоскопа, а также фотоумножителей сцинтилляционных счетчиков /общее количество ФЭУ около 200/ используется специально разработанный блок, обеспечивающий ток 0,4 А при напряжении 800-2900 В со стабильностью 0,05%^{9/}. Для отдельной регулировки напряжения на каждом ФЭУ служит блок высоковольтного разветвителя. Регулировка напряжения производится ступенями с шагом 5 В путем подключения гасящих резисторов последовательно с делителем ФЭУ.

2.2. Калибровка и устройства контроля стабильности гамма-спектрометров

Все 90 гамма-спектрометров в отдельности калибруются на пучке моноэнергетических электронов известной энергии. Типичное распределение амплитуд сигналов при калибровке на пучке электронов и зависимость средней величины энергетического разрешения от энергии электронов для 90 спектрометров приведены на рис. 2.

Измерения показали, что в интервале энергий 2-4 ГэВ спектрометры линейны с точностью не хуже чем $\pm 1\%$,

а энергетическое разрешение (FWHM) в этой области энергий хорошо описывается выражением

$$\Delta E/E\% = 0,7 + 9,2/\sqrt{E}$$

где E - энергия электронов в ГэВ.

В течение эксперимента калибровка гамма-спектрометров и электроники производится с помощью световых вспышек в кристалле NaJ(Tl), возникающих в результате облучения кристалла альфа-частицами радионуклида ^{241}Am . Ампула с NaJ и радионуклидом ^{241}Am клеится на свободном от ФЭУ торце стекла [1]. Среднее значение амплитуды световой вспышки NaJ эквивалентно амплитуде сигнала от электронов с энергией 1 ГэВ.

Для контроля стабильности гамма-спектрометров используются также световые диоды типа АЛ102А с системой термостабилизации [12] и генератор искры, све-

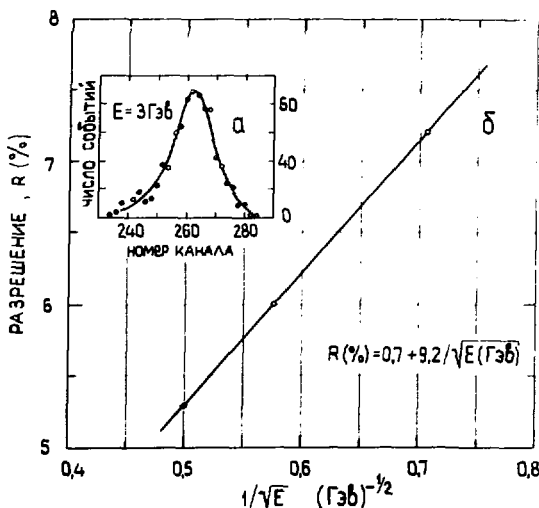


Рис. 2. Калибровочный спектр электронов с энергией 3 ГэВ /а/ и зависимость средней величины энергетического разрешения (FWHM) для 90 спектрометров /б/.

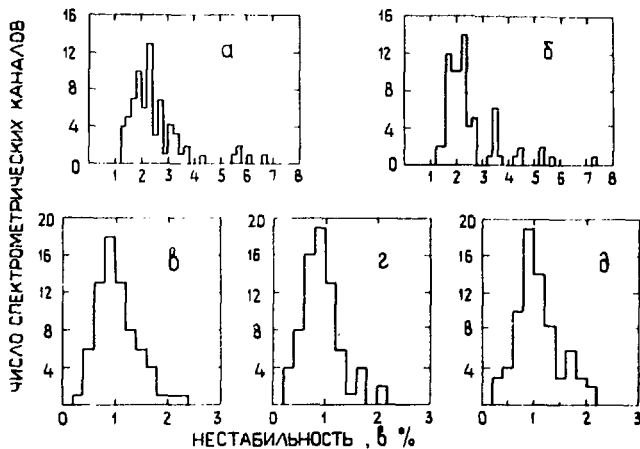


Рис. 3. Распределения дрейфов сигналов от: 1/ кристаллов $\text{NaJ} + {}^{241}\text{Am}$ /а/, светодиодов /б/; 2/ этих же источников, сигналы от которых скорректированы с помощью системы относительной стабильности /в,г/; 3/ светодиодов, сигналы от которых скорректированы с помощью кристаллов $\text{NaJ} + {}^{241}\text{Am}$. Данные получены в результате непрерывной работы в течение 5 суток.

товые вспышки которого с помощью световодов позволяют одновременно освещать все 90 гамма-спектрометров /13/. Нестабильности спектрометров, измеренные с помощью указанных устройств, иллюстрирует *рис. 3*.

Калибровочные спектры между циклами ускорителя по команде от ЭВМ обрабатываются и затем записываются на магнитную ленту для использования во время обработки экспериментального материала.

2.3. Проволочные магнитоотрижательные искровые камеры

Важным элементом масс-спектрометра являются 32 проволочные магнитоотрижательные искровые камеры, которые дают возможность с высокой точностью измерять направления вторичных частиц - продуктов распада ре-

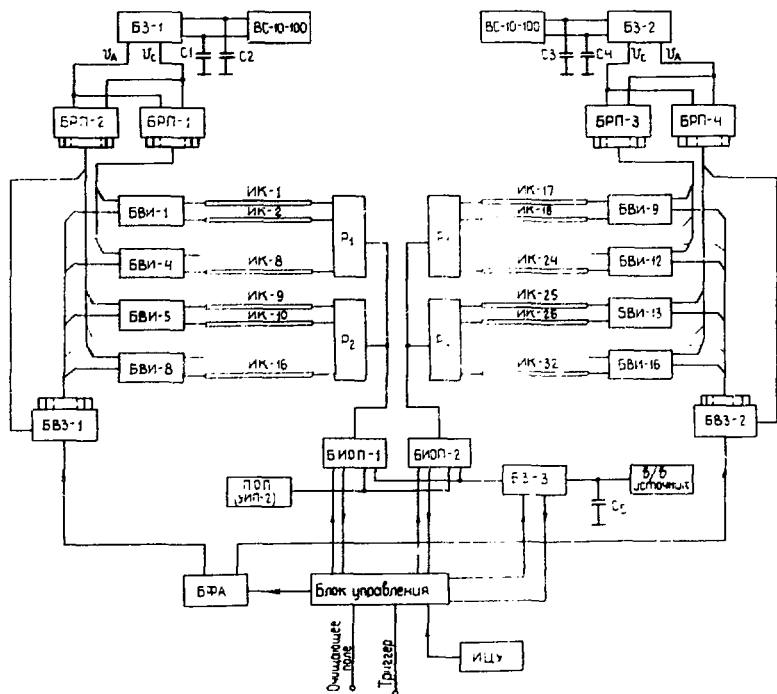


Рис. 4. Блок-схема системы высоковольтного питания искровых камер. ИЦУ - имитатор циклов ускорителя, БФА - быстрый формирователь амплитуды, БВЗ-1-2 - блоки высоковольтного запуска, БВИ-1-16 - блоки высоковольтных импульсов, БРП-1-4 - блоки раздельного питания, БЗ-1-3 - блоки защиты, Р1-4 - размножители для очищающих полей, БИОП-1-2 - блоки импульсного очищающего поля, ПОП - блок постоянного очищающего поля, ВС-10-100 - высоковольтный выпрямитель на 10 кВ, 100 МА.

зонанса. Камеры имеют размер $100 \times 100 \text{ см}^2$, шаг намотки электродов равен 1 мм. Межэлектродное расстояние составляет 9,6 мм. Расстояние между одноименными плоскостями соседних камер равно 60 мм. Камеры сгруппированы в два блока, по 16 в каждом. В блоке 8 камер с четными номерами расположены го-

горизонтально, а 8 камер с нечетными номерами развернуты на 17° вокруг оси блока.

Объем камеры изолирован от внешней среды с помощью полиэтилен-лазсановой пленки толщиной 60 микрон.

Мертвое время искровых камер в рабочих условиях составляет 10 мс. Время памяти камер - 1,5 мкс. Задержка высоковольтного импульса относительно момента пролета частицы - 0,9 мкс.

Информация о пространственной координате траектории ионизирующей частицы снимается с обоих электродов каждой камеры идентичными съемными магнито-стрикционными узлами. В качестве магнито-стрикционной линии считывания используется лента типа Vacoflux сечением $0,5 \times 0,05 \text{ мм}^2$. Сигналы с приемной катушки поступают на предусилитель, установленный на узле считывания.

В высоковольтном питании искровых камер в качестве коммутирующих элементов используются металло-керамические тиратроны типа ТГИ1-500/16. На рис. 4 представлена блок-схема высоковольтного питания искровых камер¹⁴. В рабочем режиме на вход высоковольтного питания поступает сигнал "триггер", который проходит через блок управления, усиливается быстрым формирователем амплитуды /БФА/ и запускает два блока высоковольтного запуска /БВЗ-1 и БВЗ-2/. Каждый из них, в свою очередь, запускает восемь двухканальных блоков высоковольтных импульсов /БВИ/, выходные сигналы с которых подаются на 32 искровые камеры. Выходной импульс /БВИ/ поступает в пять равноудаленных точек высоковольтного электрода искровых камер. Основные параметры высоковольтного импульса следующие:

- | | |
|--|---------------|
| 1. Амплитуда | - 4,0-6,0 кВ, |
| 2. Длительность фронта | - 30-50 нс, |
| 3. Длительность на полувысоте
/на нагрузке 10 Ом/ | - 190 нс, |
| 4. Задержка относительно
"триггера" | - 200 нс. |

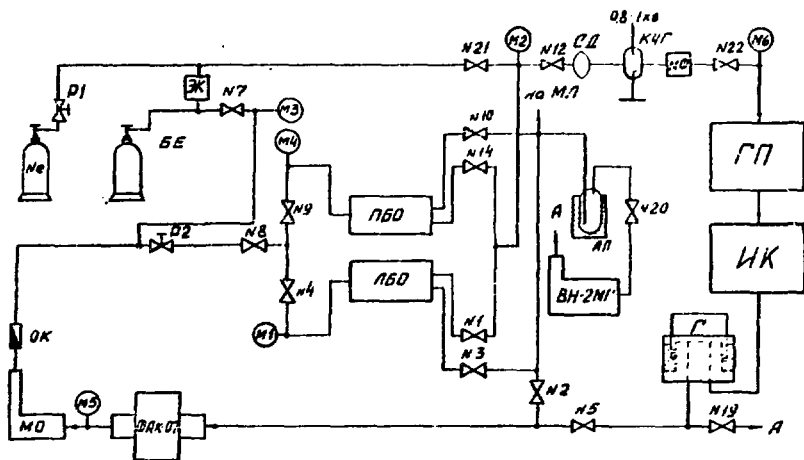


Рис. 5. Схема газообеспечения искровых камер. СД - стабилизатор давления; КЧГ - индикатор контроля чистоты газа; Г - газгольдер; ЛБО, ЛБО - правый и левый блоки очистки; АЛ - азотная ловушка; ВН-2МГ - вакуумный насос; ФАК-0,7 - компрессор; N1 - N22 - вакуумные насосы; ФАК-0,7 - компрессор; N1 - N22 - сильфонные вентили; M1-4 - мановакуумметры; M5, M6 - манометры; МО - маслоочиститель; ОК - обратный клапан; МФ - масляный фильтр; БЕ - балластная емкость; ЭК - электроклапан; А - атмосфера; МЛ - манометрическая лампа.

Средняя эффективность 32 искровых камер для среднего числа искр, равного трем, за 700 часов непрерывной работы в условиях эксперимента по изучению процесса $\pi^-p \rightarrow \eta^0 n$, $\eta^0 \rightarrow \gamma\gamma$ оказалась равной 91%¹⁵. За время измерений минимальная и максимальная величины средней эффективности составили соответственно 87 и 95%. При контрольных измерениях, когда пучок отрицательных пионов отклонялся в центр блока искровых камер, величина средней эффективности камер составила 98%.

Искровые камеры продуваются газовой смесью Ne + +1,5% C₂H₅OH. Газ из искровых камер, общий объем которых составляет 900 литров, поступает в газгольдер /Г/

емкостью 200 литров и компрессором /К/ перегоняется в балластную емкость /БЕ/. Давление в последней автоматически поддерживается в пределах 3-4 атмосфер. Из БЕ газ проходит через левый /ЛБО/ или правый /ПБО/ блоки очистки, регулируемый стабилизатор давления /СД/, устройство контроля чистоты газа /КЧ/ и газовый пульт /ГП/.

Независимая регулировка продува каждой камеры осуществляется на газовом пульте с помощью ротаметров. Потери газа автоматически восполняются из баллона с чистым неоном. Система газообеспечения позволяет осуществить суммарный продув до 800 литров/час. Схема газообеспечения искровых камер приводится на рис. 5.

2.4. Годоскопические сцинтилляционные счетчики

Годоскопические сцинтилляционные счетчики СГ1-20 располагаются между гамма-спектрометрами и искровыми камерами и выполняют четыре функции:

а/ увеличивают эффективность запусков установки в случае регистрации гамма-квантов;

б/ улучшают временную и пространственную селекцию событий;

в/ дают информацию о числе и направлении вторичных заряженных частиц и конверсионных пар;

г/ позволяют идентифицировать конверсионные пары измерением ионизационных потерь (dE/dX) в сцинтилляторе.

Годоскопический счетчик имеет сцинтиллятор размерами $100 \times 10 \times 2$ см³, просматриваемый с двух сторон фотоумножителями типа ФЭУ-30. В счетчиках применены концентрирующие световоды из оптического оргстекла длиной 25 см. Световод и сцинтиллятор покрыты комбинированным отражателем для улучшения однородности светосбора^{/18/}. Среднее значение эффективности 20 счетчиков, измеренное на пучке π^- -мезонов с импульсом 3,3 ГэВ/с, составляет 99,7%. Средний уровень шумов

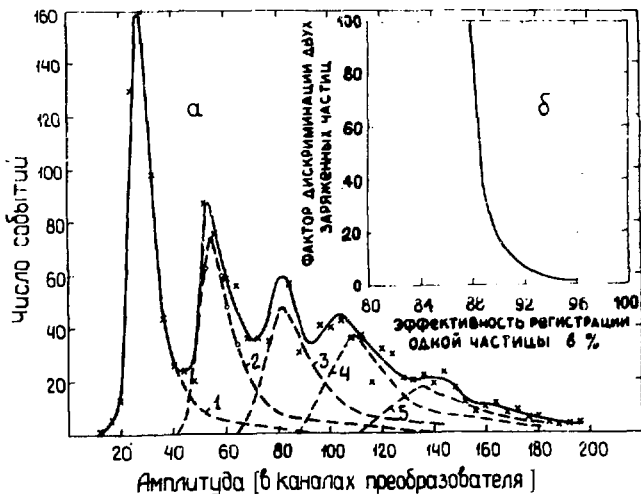


Рис. 6 а/ Амплитудные спектры для одной /1/, двух /2/ и более заряженных частиц и б/ фактор дискриминации двух и более заряженных частиц в зависимости от эффективности регистрации одной частицы.

ФЭУ при чувствительности формирователя, равной 100 мВ, не превышает 1 кГц.

Конструктивно счетчики выполнены в виде 20 независимых модулей, собранных в два пакета по 10 штук в каждом.

Для амплитудного анализа сигналы с последних диодов ФЭУ подаются на входы 256-канальных зарядово-цифровых преобразователей^{/17/}, работающих на связи с ЭВМ. Сигналы с анодов ФЭУ используются для временной селекции. Среднее амплитудное разрешение для 20 счетчиков /полная ширина на полувысоте/ равно $\Delta A/A = \pm 18\%$. Коэффициент неоднородности амплитуды вдоль длины

счетчиков /средний по 20 счетчикам/ равен $\Delta A = \pm \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} =$

$= \pm 8,7\%$. Амплитудные спектры для одной, двух и более заряженных частиц иллюстрирует рис. 6а. Указанное

выше амплитудное разрешение позволяет эффективно разделять конверсионные пары, образованные гамма-квантами, от электронов, рис. 6б.

2.5. Пучковые сцинтилляционные счетчики и пропорциональные камеры

а/ Пучковые сцинтилляционные счетчики С1-3 используются для мониторинга потока заряженных частиц и временной селекции событий. В счетчиках применяются фотоумножители типа 56DVP. Размер сцинтилляторов - $5 \times 5 \times 0,5$ см³. Рабочий ток делителя - 2 мА. Режим работы счетчиков подбирался на пучке отрицательных пионов интенсивностью $5 \cdot 10^5$ част./с. При рабочем напряжении уровень шумов ФЭУ на выходе формирователя чувствительностью 100 мВ не превышает 300 Гц.

б/ Счетчики антисовпадений А1 и А2 служат для исключения запусков установки от частиц ореола пучка, попадающих в нерабочую область мишени. Взаимное расположение счетчиков позволяет изменять размеры центрального отверстия в зависимости от поперечных размеров пучка и диаметра мишени. Площадь перекрытия ореола пучка составляет $0,5 \times 0,5$ м².

в/ В установке используются шесть однокоординатных пропорциональных камер, позволяющих определить пространственные координаты падающих на мишень заряженных частиц. Рабочий размер камер 15×15 см², зазор между анодной и катодной плоскостями равен 8 мм. Сигнальные нити диаметром 20 мкм намотаны с шагом 3 мм. Газовый объем камер изолирован с помощью майлара толщиной 50 мкм. Камеры продуваются газовой смесью $\text{Ar} + 20\% \text{CO}_2 + 3\% \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.

2.6. Жидководородная мишень

При исследовании процессов, в которых генерируются частицы электромагнитной природы, т.е. гамма-кван-

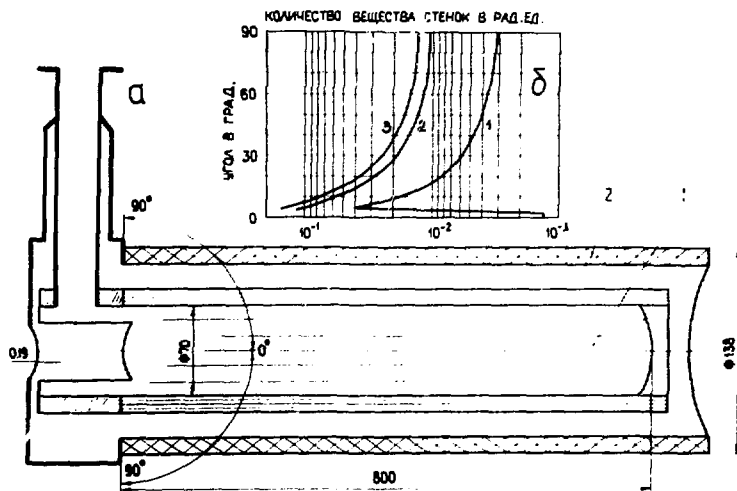


Рис. 7а/ Схема жидководородной мишени и б/ распределение количества вещества стенок равнопрочных вакуумных кожухов, изготовленных из пенопласта /1/, стеклопластика /2/ и алюминия /3/ для углов вылета частиц 0-90°.

ты и электрон-позитронные пары, важное значение приобретает создание жидководородной мишени с минимальным количеством вещества стенок. С этой целью была разработана и изготовлена жидководородная мишень с вакуумным кожухом из пенопласта. Мишень состоит из внутреннего сосуда /1/ и вакуумного кожуха /2/, рис. 7а. Внутренний сосуд выполнен из лавсановой пленки толщиной 0,19 мм. Рабочая часть вакуумного кожуха изготовлена из пенопласта. Для герметизации кожух окружен тонкой лавсановой оболочкой. Рабочая длина внутреннего сосуда равна 800 мм, диаметр - 700 мм. Количество вещества стенок мишени на входе и выходе частиц составляет 0,0013 рад.ед. и в направлении, перпендикулярном оси мишени, - 0,0050 рад.ед. Применение пенопласта в качестве конструкционного материала кожуха позволило уменьшить количество вещества стенок в 3-4 раза по сравнению со случаями использования стеклопластика

и алюминия. На рис. 76 приведены кривые распределения количества вещества стенок равнопрочных вакуумных кожухов, изготовленных из пенопласта, стеклопластика и алюминия, для углов вылета частиц $0-90^\circ$.

2.7. Электронная аппаратура

Блок-схема электроники масс-спектрометра приведена на рис. 8. Сигналы сцинтилляционных счетчиков поступают на формирователи чувствительностью 100 мВ и длительностью 5 нс /счетчики С1-3, А1, А2, С₀/ и 20 нс /счетчики С1'-20/.

Выходные сигналы формирователей мониторинговых счетчиков С1-3 поступают на схему совпадений 1. На вход антисовпадений этой схемы через блок ИЛИ подаются сигналы счетчиков А1 и А2 и сигнал блокировки, исключающий просчеты из-за мертвого времени пересчетных схем $/50 \text{ нс}/$.

Разрешающее время схемы совпадений 1 равно $5,5 \text{ нс}$, а уровень случайных совпадений при интенсивности пучка заряженных частиц $0,5 \cdot 10^6$ в секунду не превышает $0,5\%$.

Схема совпадений 2 выделяет совпадающие по времени сигналы мониторинговых счетчиков сцинтилляционного годоскола. Временное разрешение этой схемы равно 50 нс , а уровень случайных совпадений при интенсивности $1 \cdot 10^5$ част./с менее 3% .

Сигналы с 90 гамма-спектрометров поступают на входы 90 линейных усилителей^{/18/}. Выходные сигналы усилителей подаются на 90-входовый линейный сумматор и затем на дискриминаторы Д1-Д3. С помощью дискриминаторов Д1, Д2 и Д3 отбираются события, энергия которых в каждом из двух плеч спектрометра превышает E_1 и E_2 , а их сумма - E_3 . Для уменьшения зависимости времени срабатывания дискриминатора от амплитуды спектрометрического сигнала длительности входных импульсов дискриминаторов увеличены до 180 нс . Максимальный разброс времени срабатывания дискриминаторов составляет 100 нс и определяется

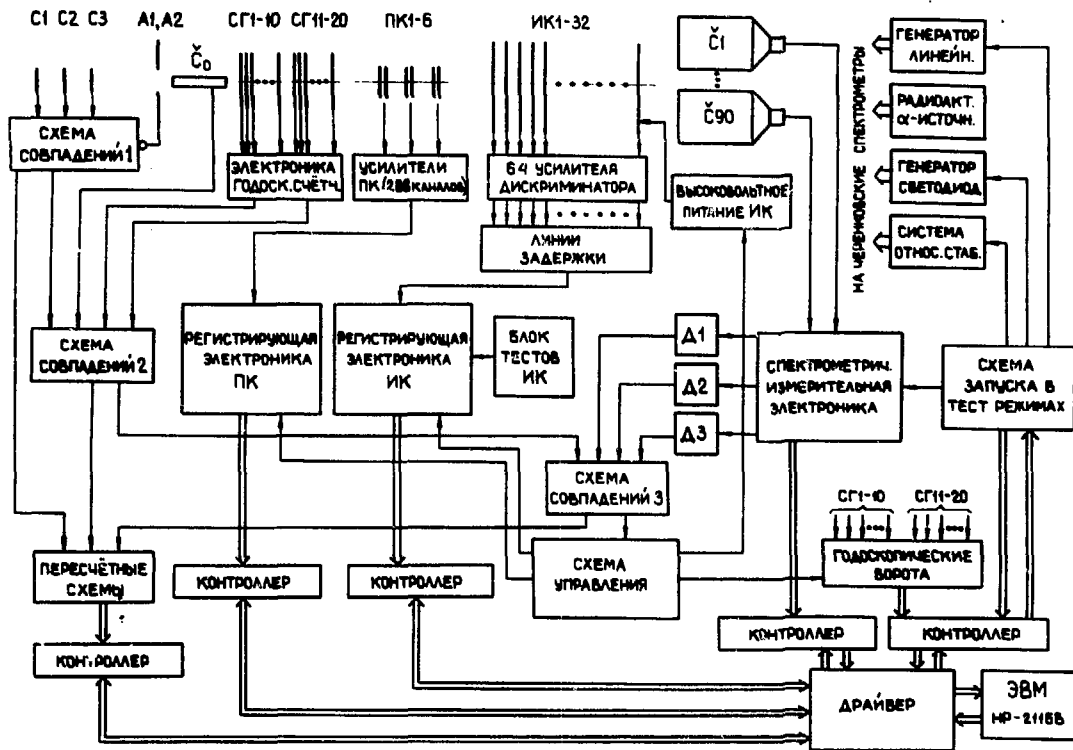


Рис. 8. Блок-схема электроники девятиканального черенковского масс-спектрометра.

временем нарастания импульсов с ФЭУ-49Б. После схем совпадений 3 сигнал формируется по длительности и блокируется на мертвое время установки, равное 10 мс. Для этой цели используется импульс синхронизации от ускорителя, позволяющий сформировать сигнал длительностью 400 мс. Этот сигнал "разрешает" работу схем совпадений, которые в промежутках между сбросами пучка на мишень блокируются. После каждого запуска установки, в течение сброса, установка также блокируется на время приема информации ЭВМ /10 мс/.

Основные параметры схем, формирующих триггер, следующие: разрешающее время - 180 нс, суммарная задержка сигнала запуска - 490 нс /обусловлена временем прохождения сигнала по спектрометрическому тракту/.

Импульсы тока с фотоумножителей черенковских детекторов С1-90 поступают на линейные усилители и далее на четыре 23-канальных блока аналоговой памяти /АП/ с параллельной записью и последовательным чтением^{/19/}. В АП после прохождения в каждом из каналов токовым сигналом входных линейных "ворот" производится его интегрирование на запоминающей емкости. Входные и выходные ворота АП имеют суммарный "пьедестал", составляющий примерно 20% от максимальной величины рабочего сигнала. Это позволяет избежать нелинейной области при регистрации малых амплитуд и существенно расширить динамический диапазон спектрометрического канала. Каждый блок АП связан со своим амплитудно-цифровым преобразователем /АЦП/. Передача информации в ЭВМ ведется параллельно по всем четырем группам. В результате этого принципиально достижимый уровень скорости передачи информации со спектрометров в ЭВМ только в 1,5 раза меньше максимальной скорости передачи данных по каналу прямого доступа ЭВМ типа ИР 2116В.

Считывание спектрометрической информации производится по каналу прямого доступа /КПД/ в память ЭВМ^{/20/}. Схема синхронизации по сигналу "триггер" выдает две серии синхронизирующих импульсов: сигналы для синхронизации чтения из АП и сигналы для считы-

вания информации с АЦП. По каждому сигналу чтения четыре импульса из АП параллельно поступают в АЦП, и после окончания преобразования аналог-код /25 мс/ формируется сигнал считывания информации, который поступает в контроллер. По этому сигналу контроллер последовательно считывает информацию с четырех АЦП и передает ее в ЭВМ. Общее время считывания для 90 спектротрических каналов равно 1,22 мс. Основные характеристики измерительной спектротрической электроники: чувствительность - 300 пКл, длительность сигнала записи в АП - 600 нс /при уровне потерь в величине измеряемого заряда $\leq 1\%$ /. Нестабильность коэффициентов передачи для всех 90 спектротрических каналов $\leq 0,5\%$ за время работы, равное 100 ч. Динамический диапазон регистрирующей электроники - 400. В указанном динамическом диапазоне интегральная нелинейность не превышает 1%. Средняя нелинейность по всем каналам равна 0,6%. Разброс величин пьедесталов $\leq 10\%$. Средняя нестабильность "пьедесталов" для 90 каналов за 100 часов работы равна $\pm 2,8\%$ и определяется дрейфом "нулей" линейных усилителей.

Для определения величин дрейфа усиления фотоумножителей и электроники, а также проверки характеристик спектротрической аппаратуры используются следующие способы контроля^{/21/}:

1/ с помощью генератора точной амплитуды, который позволяет определить коэффициенты передачи "пьедесталов" и величины нелинейности 90-канальной спектротрической электроники;

2/ с помощью генераторов импульсных световых вспышек /светодиоды и кристалл NaJ : ^{241}Am /, дающих возможность определить дрейф коэффициентов усиления фотоумножителей и спектротрической электроники.

Регистрирующая электроника искровых камер является последовательно-параллельной системой с запоминанием информации на динамических магнитострикционных линиях задержки^{/22,23/} и позволяет регистрировать до 640 координат искр на один "триггер" /10 искр на датчик/. Информация с искровых камер, содержащая 642 16-разрядных слова, передается в ЭВМ за время около 7,2 мс. Последние два слова - контрольные.

FOTON

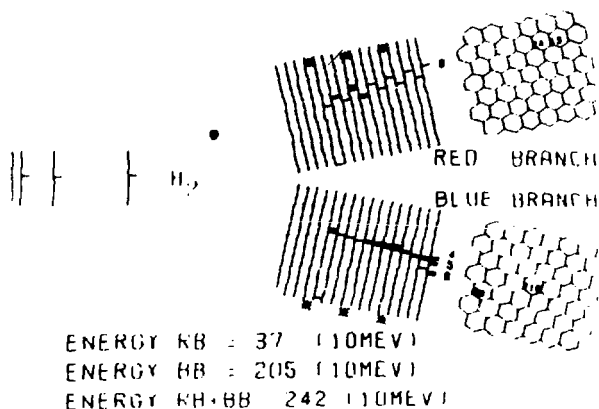


Рис. 9. Горизонтальная проекция события типа $\pi^- p \rightarrow \eta^0 n$, $\eta^0 \rightarrow \gamma\gamma$ /снимок с оцифры/.

Схемы кодирования и считывания информации, а также управления и контроля выполнены в стандарте КАМАК. Схемы формирования сигнала, поступающего с магнитострикционных датчиков, и задержек выполнены в стандарте "Вишня".

Сигналы с 6 пропорциональных камер /288 каналов/ усиливаются с помощью четырехканальных усилителей и передаются на блоки регистрации. Массив информации, передаваемый с регистрирующей аппаратуры, содержит двадцать 16-разрядных слов, первые 18 слов представляют информацию с пропорциональных камер, последние два слова - контрольные. Все блоки регистрирующей аппаратуры пропорциональных камер за исключением усилителей выполнены в стандарте КАМАК.

Установка работает на связи с ЭВМ "HEWLETT - PACKARD 2116B". Электроника, осуществляющая связь с ЭВМ, представляет собой полную "ветвь" /7 крейтов/, выполненную в стандарте КАМАК. ЭВМ осуществляет

прием информации с детекторов, контроль и предварительный отбор информации, накопление информации и ее частичную обработку, управление работой аппаратуры и ее контроль.

2.8. Математическое обеспечение масс-спектрометра

Математическое обеспечение /25/ установки разделяется на ряд основных программ, обеспечивающих решение одной или нескольких связанных задач. Выполнение основных программ производится в мультипрограммном режиме. Характерной особенностью организации математического обеспечения по сравнению с классической мультипрограммностью является то, что набор основных программ образует совокупность, решающую единую целевую задачу в реальном масштабе времени. Прохождение основных программ осуществляется в рамках дисциплины диспетчеризации с абсолютными приоритетами.

Высшим приоритетным уровнем обладает программа диспетчер. Основными функциями диспетчера являются:

- синхронизация работы всех основных программ с работой ускорителя,
- распределение ресурсов ЭВМ между программами,
- выбор режима работы установки, включение тесткалибровочных режимов согласно дисциплине обслуживания с относительными приоритетами.

Программе приема присвоен нулевой приоритетный уровень. Она осуществляет в пределах одного сброса ускоренных частиц или элементарного кванта тесткалибровочного режима управление аппаратурой передачи информации, прием и размещение принимаемых данных в оперативной памяти и на диске. При работе программы приема используется принцип запараллеливания процессов ввода информации и записи ее на диск, что существенно снижает требования к длине буферного массива в оперативной памяти.

Программы первого уровня осуществляют формальные преобразования экспериментальной информации, паспортизацию и запись данных основного рабочего режима на магнитную ленту.

Программы второго уровня обеспечивают диалог физика-оператора с ЭВМ. Программное обеспечение диалога ориентировано на ввод директив и вспомогательной информации на специальном языке управления посредством алфавитно-цифрового дисплея, снабженного клавиатурой, тумблерного регистра ЭВМ и блока набора констант, выполненного в стандарте КАМАК. Программы выводят информацию на АЦПУ и дисплей в алфавитно-цифровой и графической форме.

Программы третьего уровня осуществляют обработку тест-калибровочной информации и запись результатов обработки на магнитную ленту. Статистическая обработка выполняется в режиме разделения времени для каждого типа данных, получаемых при помощи генераторов точной амплитуды и импульсных световых вспышек. Результирующие массивы, записанные на магнитную ленту используются при последующей обработке по программам геометрической и энергетической реконструкции событий на ЭВМ CDC-6500^{24/}. В процессе эксперимента результаты работы рассматриваемых программ служат основным средством контроля годоскопа гамма-спектрометров.

Программы четвертого уровня производят обработку информации с целью контроля всех основных звеньев установки. Большинство характеристик работы аппаратуры имеет статистическую природу. Поэтому значительная часть обработки сводится к повторению статистических распределений /гистограммированию/ определенных величин, вычислению интегральных характеристик типа эффективностей, частоты отказов, параметров гистограмм. При накоплении набора гистограмм используется концепция виртуальной памяти с размещением части гистограмм на диске.

Программы пятого уровня являются фоновыми. Эти программы могут быть не связаны с работой установки как источником информации или объектом управления или

контроля. В режиме фоновых программ могут работать трансляторы, редактор, загрузчик и другие служебные программы, что позволяет развивать математическое обеспечение установки в процессе проведения эксперимента. Возможность работы фоновых программ появляется благодаря запараллеливанию процессов обмена и счета, а также из-за статистического характера количественных и качественных параметров потоков информации.

3. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МАСС-СПЕКТРОМЕТРА

Важной характеристикой масс-спектрометра является точность измерения эффективной массы. Эффективная масса $\gamma\gamma$ -событий была измерена для процесса $\pi^-p \rightarrow \eta^0 p$, $\eta^0 \rightarrow \gamma\gamma$ при импульсе π^- -мезонов, равном $3,26 \text{ ГэВ}/c^{2/3}$. Спектр эффективных масс для идентифицированных $\eta^0 \rightarrow \gamma\gamma$ распадов /около 750 событий/ представлен на рис. 10. Полная ширина на полувысоте этого распределения, как видно из рисунка, - около 15%. Отличие экспериментальной ширины распределения по эффективной массе от расчетной величины ($\Delta M/M = 7\%$) обусловлено следующими причинами:

1/ дрейфом коэффициентов усиления фотоумножителей γ -спектрометров и спектрометрической электроники, а также нестабильностью генераторов световых импульсов, с помощью которых производится абсолютная калибровка спектрометрической аппаратуры в течение эксперимента $\pm 1,2\%$;

2/ ошибками, возникающими из-за угловой и координатной зависимостей амплитуды импульса и энергетического разрешения $\pm 3\%$;

3/ погрешностью измерения величины пьедесталов электронной аппаратуры $\pm 0,5\%$;

4/ вкладом фоновых событий в идентифицированные события, составляющим около 14%;

5/ ошибками, возникающими при геометрической и энергетической реконструкции событий.

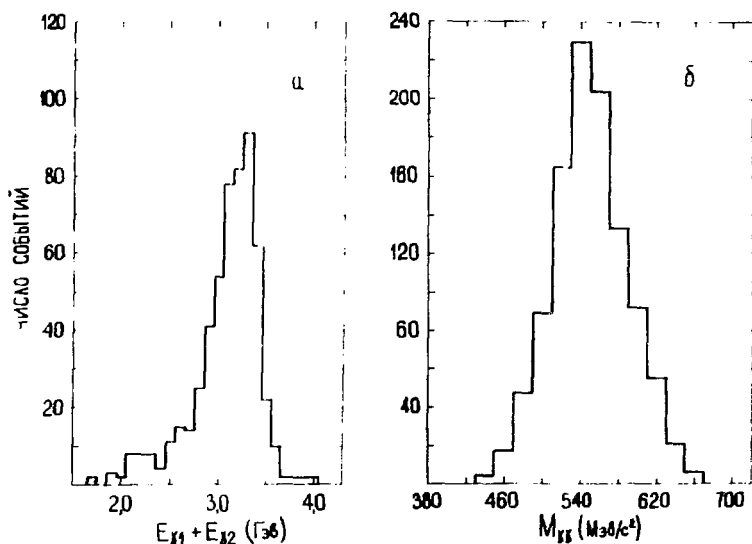


Рис. 10. Распределение энергии /а/ и эффективной массы /б/ двух гамма-квантов, образующихся в реакции $\pi^+ p \rightarrow \eta^0 p$, $\eta^0 \rightarrow \gamma\gamma$ при импульсе 3,3 ГэВ/с.

Авторы благодарят за интерес к работе и помощь Н.Н.Говоруна, А.А.Кузнецова, И.Н.Семенюшкина, Ю.М.Попова, В.С.Григорашенко, А.Г.Зельдовича, И.А.Савина.

Большой вклад внесли в разработку, монтаж и наладку отдельных узлов установки Е.В.Черных, П.К.Маньяков, А.Н.Парфенов, Н.А.Филатова, В.И.Головатюк, Е.А.Силаев, И.А.Тяпкин, М.Н.Михайлова, В.И.Проخورов, Ю.С.Анисимов, И.Н.Какурин, В.А.Беляков, А.Е.Московский, И.Н.Тиханчев и А.Ф.Елишев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азимов М.А. и др. ОИЯИ, Б-7-2070, Дубна, 1964; Azimov M.A. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1967, 51, p.309.
2. Азимов М.А. и др. ЯФ, 1967, 3, 6, с.515.

3. Аствацатуров Р.Г. и др. *Nucleonica*, 1974, 19, 6, p.575.
4. Заневский Ю.В. и др. ОИЯИ, P13-8668, Дубна, 1975.
5. Аствацатуров Р.Г. и др. ОИЯИ, 13-10458, Дубна, 1977.
6. Заневский Ю.В. и др. ОИЯИ, P13-8283, Дубна, 1974.
7. Голованов Л.Б., Мазарский В.Л. ОИЯИ, P8-8602, Дубна, 1975; ПТЭ, 1975, 5, с.252.
8. Бакаев В.В. и др. ПТЭ, 1976, 1, с.157.
9. Аствацатуров Р.Г. и др. *Nucleonica*, 1975, 20, 5, p.483.
10. Басиладзе С.Г. и др. ОИЯИ, 13-10283, Дубна, 1976.
11. Нго Куок Быу и др. ПТЭ, 1974, 6, с.163.
12. Басиладзе С.Г. и др. ПТЭ, 1975, 4, с.92.
13. Малахов А.И., Хачатурян М.Н. ПТЭ, 1975, 5, с.35.
14. Анисимов Ю.С. и др. ОИЯИ, 13-10569, Дубна, 1977.
15. Анисимов Ю.С. и др. ОИЯИ, 13-10321, Дубна, 1976.
16. Аствацатуров Р.Г. и др. ОИЯИ, 1-10008, Дубна, 1976.
17. Басиладзе С.Г., Маньяков П.К. ПТЭ, 1974, 2, с.82.
18. Аствацатуров Р.Г. и др. ОИЯИ, 13-10282, Дубна, 1976.
19. Басиладзе С.Г. ПТЭ, 1973, 4, с.95.
20. Колпаков И.Ф. и др. ОИЯИ, 10-7920, Дубна, 1974.
21. Басиладзе С.Г. и др. ОИЯИ, 13-10299, Дубна, 1976.
22. Заневский Ю.В. и др. ОИЯИ, 13-8691, Дубна, 1975.
23. Заневский Ю.В. и др. ОИЯИ, 13-10411, Дубна, 1977.
24. Мелкумов Г.Л., Хачатурян М.Н. ОИЯИ, 10-8170, Дубна, 1974; Говорун Н.Н. и др. ОИЯИ, Д10-7707, Дубна, 1974.
25. Говорун Н.Н. и др. ОИЯИ, Д10-7707, Дубна, 1974.
26. Аствацатуров Р.Г. и др. ОИЯИ, P1-10600, Дубна, 1977.