

9542

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



СЗУЧ, 1К  
К-663

14/21-76

P13 - 9542

2212/2-76

С.М.Коренченко, Г.В.Мицельмахер, К.Г.Некрасов

СПЕКТРОМЕТР АРЕС  
(Проект)

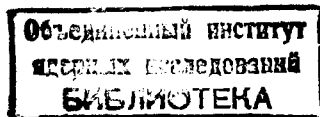
**1976**

P13 - 9542

С.М.Коренченко, Г.В.Мицельмахер, К.Г.Некрасов

СПЕКТРОМЕТР АРЕС

(Проект)



## 1. Введение

В связи с принципиально новыми экспериментальными возможностями, открываемыми "мезонными фабриками" <sup>/1/</sup>, возникает задача создания аппаратуры, адекватной этим новым возможностям.

Ниже приводится описание проекта магнитного спектрометра с проволочными камерами <sup>/2/</sup>, называемого далее АРЕС / Анализатор РЕдких Событий/, на котором предполагается осуществить широкую программу исследований на реконструированном синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем.

В первую очередь предполагается провести изучение редких распадов пионов и мюонов. Это важное направление исследований планируется на всех "мезонных фабриках".

Детальное изучение редких распадов пиона  $\pi \rightarrow e\nu\gamma$ ,  $\pi \rightarrow e\nu e e$  / позволяет выделить структурно-зависимую часть распада, определить слабоэлектромагнитные форм-факторы пиона, измерить электромагнитный радиус пиона, проверить такие теоретические положения, как сохранение векторного тока, соотношения алгебры токов и гипотезу частичного сохранения аксиально-векторного тока <sup>/3,4/</sup>.

Поиски безнейтринных распадов мюона  $\mu \rightarrow e\nu$  и  $\mu \rightarrow e e e$  / и процессов типа  $\mu^- + A \rightarrow e^\pm + A^*$  позволяют проверить справедливость закона сохранения мюонного числа. Нельзя исключить, что это число является одним из претендентов на нарушающееся квантовое число <sup>/5/</sup>.

Проблема различия физических свойств электрона и мюона, по-видимому, одна из фундаментальных в современной физике элементарных частиц. Экспериментальное определение степени справедливости закона сохранения лептонного заряда, выявление сущности этой симметрии микромира представляет несомненный интерес.

На спектрометре АРЕС можно будет проводить изучение редких распадов пионов и мюонов на уровне до  $10^{-10}$  -  $10^{-11}$  от вероятности обычного распада, т.е. на уровне в 100-1000 раз более низком, чем это было достижимо до сих пор. Эти новые уникальные возможности обеспечиваются совокупностью следующих свойств: большим телесным углом установки /  $\sim 2\pi$  ср/, высоким временным /1 нс/, пространственным /  $\sim 1$  мм/ и энергетическим /  $\sim 1-3\%$ / разрешением, отсутствием стенок между камерами и связанной с этим большой "прозрачностью" детекторов, способностью установки работать на высокоинтенсивных пучках частиц /до  $10^9$  с $^{-1}$ / и перерабатывать большие потоки информации, обеспечиваемой применением пропорциональных проволочных камер на линии с ЭВМ, развитой наносекундной электроникой, специализированной быстрой системой распознавания треков /РАСТР/ и "магнитной защитой" детектора гамма-квантов.

Большое место в программе экспериментов на АРЕСе, по-видимому, займут исследования взаимодействий пионов и мюонов с ядрами, в особенности многочастичных процессов. То обстоятельство, что АРЕС представляет собой мощную детектирующую систему с большим телесным углом, окружающую центральный объем, в котором можно устанавливать различные мишени или детекторы, значительно расширяет диапазон его применений, придает установке универсальный характер.

Вся экспериментальная информация, получаемая на АРЕСе, будет через ЭВМ выводиться на стандартную магнитную ленту, что создает благоприятные условия для организации сотрудничества между различными группами на базе этой установки.

## 2. Устройство спектрометра

Схема спектрометра показана на рис. 1 и 2. Спектрометр состоит из:

1/ мишени, в которой останавливаются или взаимодействуют пионы и мюоны;

2/ детектора электронов и позитронов, состоящего из сцинтилляционных счетчиков и цилиндрических проволочных пропорциональных камер, окружающих мишень;

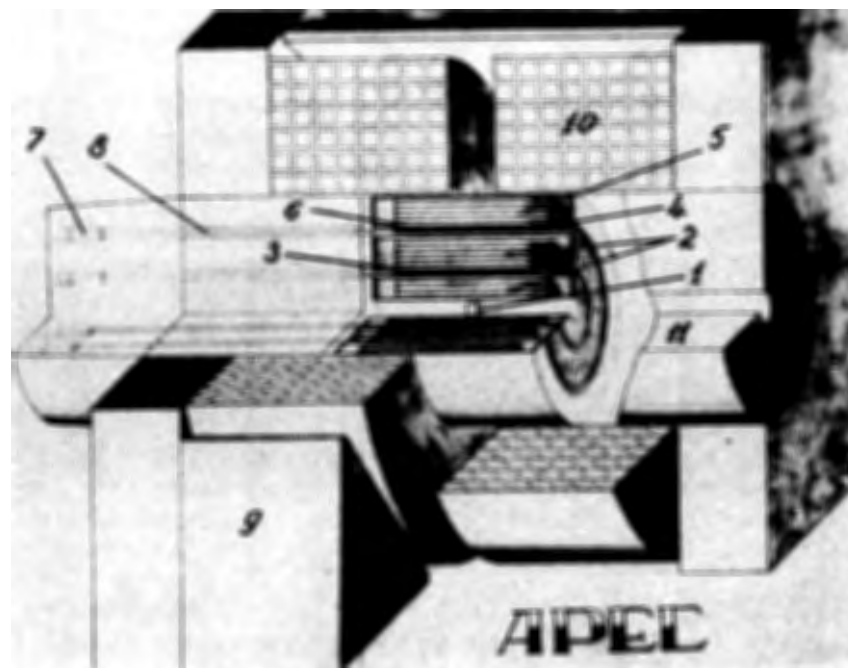


Рис. 1. Общая схема устройства спектрометра АРЕС. 1 - мишень, 2 - пропорциональные камеры детектора заряженных частиц, 3 - сцинтилляционные счетчики детектора заряженных частиц, 4 - конвертор гамма-квантов, 5 - пропорциональные камеры детектора гамма-квантов, 6 - сцинтилляторы детектора гамма-квантов, 7 - ФЭУ, 8 - световоды, 9 - ярмо магнита, 10 - обмотка магнита, 11 - полюса-вставки магнита.

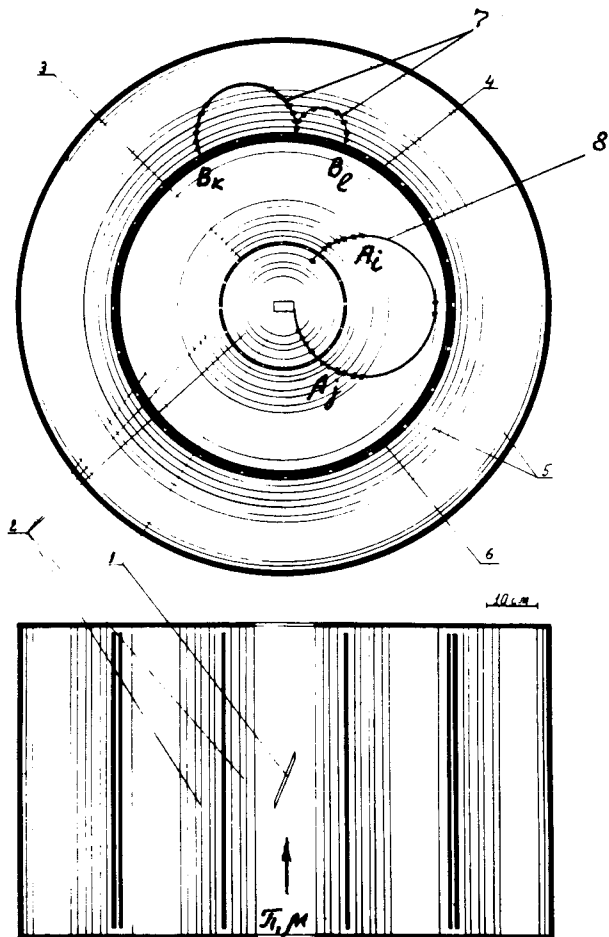


Рис. 2. Схема детектирующей части спектрометра АРЕС. 1 - мишень, 2 - слой сигнальных нитей пропорциональных камер детектора заряженных частиц, 3 - сцинтилляторы детектора заряженных частиц, 4 - конвертор гамма-квантов, 5 - слой сигнальных нитей пропорциональных камер детектора гамма-квантов, 6 - сцинтилляторы детектора гамма-квантов, 7 - треки электрон-позитронной пары, 8 - трек позитрона.

3/ детектора гамма-квантов, окружающего детектор электронов и включающего в себя цилиндрический свинцовый конвертор, сцинтилляционные счетчики и цилиндрические пропорциональные камеры;

4/ наносекундной электроники;

5/ электроники пропорциональных камер;

6/ системы быстрого распознавания треков и предварительной фильтрации информации /РАСТР/;

7/ системы вывода информации в ЭВМ;

8/ системы газообеспечения камер;

9/ магнита СП-173 с рабочей напряженностью поля до 1,8 Т;

10/ аппаратуры контроля и управления установкой с помощью малой ЭВМ.

Цилиндрическая геометрия спектрометра обеспечивает:

1/ максимальный телесный угол для заданного количества проволочек;

2/ эффективное использование рабочего объема магнитного поля;

3/ определенную изотропию свойств спектрометра /независимость свойств спектрометра от угла в плоскости, перпендикулярной оси соленоида/ и связанную с этим унификацию логики запуска, упрощение систем фильтрации и программ обработки данных;

4/ пороговые свойства при использовании мишеней малого диаметра, так как определенному радиусу соответствует определенный диапазон импульсов частиц;

5/ удобство создания принципиально важной "магнитной защиты" детектора  $\gamma$ -квантов от заряженных частиц, идущих от мишени, за счет полного их заворачивания магнитным полем в пределах детектора электронов.

Использование пропорциональных камер в спектрометре обеспечивает возможность работать в условиях большой интенсивности остановок / $\sim 10^7 \text{ с}^{-1}$ /. Наличие пропорциональных камер позволяет также в случае необходимости применять достаточно сложную логику для того, чтобы уменьшить число запусков установки.

Пучки частиц, останавливаемые в мишени, вводятся вдоль оси соленоида. При работе на проходящих через

мишень пучках они могут вводиться между катушками магнита, если это необходимо по условиям эксперимента, например, при изучении рассеяний. Возможность такого ввода пучка предусматривается.

В экспериментальном зале установка размещается с таким расчетом, чтобы имелась возможность работать как на пучках пионов, полученных на выведенном пучке протонов, так и на пучках  $\mu$ -тракта /каналы I, II, III /<sup>1</sup>.

### 3. Мишень

Мишень располагается в центральной цилиндрической области спектрометра. В простейшем варианте она состоит из 4-х сцинтилляторов размером  $120 \times 8 \times 6$  мм<sup>3</sup>, лежащих в одной плоскости, наклоненной под углом  $20^\circ$  по отношению к направлению пучка. При этом проекция мишени на плоскость, перпендикулярную пучку, составляет  $32 \times 40$  мм<sup>2</sup>, а количество вещества на пути пучка  $\sim 1,7$  г/см<sup>2</sup>. Каждый сцинтиллятор выводится на отдельный ФЭУ. После получения экспериментальной информации о форме пучка размеры и конструкция мишени будут уточнены.

Информация о потере энергии частицей в мишени будет получаться как на основе амплитудного анализа импульсов от ФЭУ, так и исходя из количества вещества, пройденного частицей.

Рассматриваются и другие варианты мишени, в частности, различные комбинации из сцинтилляционных счетчиков и пропорциональных камер. В том случае, когда будет необходимо исследовать взаимодействие частиц из пучка с каким-либо определенным веществом, будет, естественно, использоваться мишень из этого вещества.

При изучении распадов частиц на лету центральная область остается свободной для проходящего пучка.

### 4. Детектор электронов и позитронов

Детектор позитронов и электронов состоит из 11 пропорциональных камер, проволочки которых распо-

жены по образующим цилиндра<sup>16/</sup>. Камеры вложены друг в друга /рис. 2/.

С целью уменьшения количества вещества на пути частиц предполагается все камеры детектора расположить в общем объеме без разделяющих камеры стенок. Расстояние между сигнальными и высоковольтными слоями - 6 мм, шаг намотки сигнальных нитей - 2 мм. Диаметр сигнальных нитей - 20 мкм, диаметр высоковольтных нитей - 50 мкм.

Для определения координаты по глубине камеры /z-координаты/ будут использоваться либо гиперболические камеры, либо камеры, в которых информация будет сниматься также и с высоковольтных электродов, выполненных в виде стрипов или проволочек, имеющих форму винтовой линии с углом наклона к образующей  $45^\circ$ .

Всего в детекторе заряженных частиц будет 5300-5700 сигнальных проволочек. Между 4 и 5 камерами по образующей цилиндра расположены 16 сцинтилляционных счетчиков.

Размеры детектора определяются тем условием, что треки частиц от распадов пионов и мюонов должны полностью заворачиваться в детекторе. Максимальная энергия позитронов в изучаемых распадах 70 МэВ. При поле 1,7 Т радиус кривизны трека позитрона - 13,7 см. При условии, что мишень может иметь радиус до 5 см, получается внешний радиус детектора 32 см.

Высота детектора - 60 см. Геометрический телесный угол составляет  $\sim 2\pi$  ср. При наличии магнитного поля эффективный телесный угол детектирования для частиц с импульсом  $\sim 70$  МэВ/с, идущих из центра мишени, при поле 1,7 Т равен  $\sim 0,4 \cdot 4\pi$  ср.

Разрешение, даваемое камерой, зависит от условий работы, угла прохождения трека и т.д. При расстоянии между проволочками 2 мм оно лучше чем 1 мм для частиц, проходящих под углом менее  $40^\circ$  /7/. Разрешение по глубине камеры определяется углом между нитями и составляет  $\pm 3$  мм.

Точность определения энергии частицы в камере зависит в основном от потерь энергии в мишени, в сцинтилляторах и точности определения траектории частиц. Рас-

положение сцинтилляционных счетчиков в детекторе выбрано с таким расчетом, чтобы любая частица с максимальной энергией проходила путь, равный половине окружности или больше, во внешних по отношению к сцинтилляторам камерах. Это приводит к тому, что радиус кривизны треков частиц измеряется с высокой точностью /до ~ 0,5%/ . Точность определения энергии несколько хуже /при  $E_0 = 70 \text{ МэВ}$  ~ 1,8%/ . Основной вклад в неточность измерения энергии дают: неточности определения потери энергии в мишени /~ 1,4%/ , радиуса и наклона трека /~ 0,7%/ , потери энергии в сцинтилляторе /~ 0,9%/ .

Точность определения энергии для частиц с меньшей энергией ухудшается. Энергия 25 МэВ измеряется с точностью ~ 5% , если не принимать специальных мер /уменьшение величины магнитного поля, использование более тонких мишеней и т.п./ .

### 5. Детектор гамма-квантов

Детектор гамма-квантов /рис. 2/ представляет собой магнитный спектрометр электрон-позитронных пар от конверсии гамма-квантов в свинце, окружающем детектор заряженных частиц. Свинцовый конвертор представляет собой цилиндр диаметром 66 см и высотой 60 см. Толщина конвертора выбирается в зависимости от того разрешения по энергиям, которое необходимо получить, и будет составлять ~ 0,5-2 мм. Предусматривается возможность замены или удаления конвертора. Снаружи конвертор окружается 24 сцинтилляционными счетчиками. В случае благоприятной фоновой ситуации сцинтилляционные счетчики будут расположены перед конвертором. Это позволит более точно измерять энергию гамма-квантов. Затем располагаются концентрические слои восьми проволочных пропорциональных камер. В третьей и четвертой камерах измеряется  $z$ -координата. Всего в камерах детектора гамма-квантов содержится около 10500 сигнальных проволочек.

Размер максимального радиуса детектора гамма-квантов /53 см/ выбран таким образом, чтобы при любом

распределении энергии между компонентами пары самая энергичная частица полностью заворачивалась в чувствительном объеме. При этом частица пересекает камеры, расположенные вблизи конвертора, то есть примерно на диаметре траектории под углом, близким к  $90^\circ$  . Благодаря этому, радиус кривизны измеряется с высокой точностью. Точность измерения энергии гамма-кванта определяется прежде всего погрешностями в определении потерь энергии в конверторе и сцинтилляторах. При толщине конвертора ~ 0,5-1 мм для гамма-квантов с энергией 50-70 МэВ она составит ~ 2-3% .

Высота камер равна 60 см. При этом телесный угол для регистрации гамма-квантов с энергией 70 МэВ, идущих из центра мишени, при поле 1,7 Т, составляет /0,34-0,48/  $\cdot 4\pi$  ср в зависимости от того, как распределится энергия гамма-квантов между компонентами пары.

### 6. Сцинтилляционные счетчики и наносекундная электроника

Как уже говорилось выше, в детекторе заряженных частиц устанавливается цилиндрический ряд из 16 сцинтилляционных счетчиков. Средний диаметр ряда 250 мм. Толщина сцинтилляционных счетчиков - 5 мм, высота - 60 см. Световые импульсы от сцинтилляторов поступают на фотокатоды ФЭУ по световодам длиной 1,3 м, изготовляемым из высокопрозрачного плексигласа. Для получения высокого временного разрешения будут использованы ФЭУ типа ХР1020.

В гамма-детекторе устанавливается цилиндрический ряд из 24 сцинтилляционных счетчиков. Диаметр ряда 666 мм. Толщина счетчиков - 5 мм, высота - 60 см.

Таким образом, в цилиндрических рядах используется 40 сцинтилляционных счетчиков и соответствующее число ФЭУ ХР1020.

Импульсы от ФЭУ поступают в систему наносекундной логики, вырабатывающей импульс запуска всей установки /мастер-импульс/, а также на систему временного анализа. Временной анализ, при котором будет учитыва-

ться место попадания частицы в сцинтиллятор, позволяет получить разрешение 1-2 нс.

Конкретная логическая схема электроники будет зависеть от свойств изучаемого процесса. При изучении распадов  $\mu \rightarrow e\gamma$  и  $\pi \rightarrow e\nu\gamma$  естественно потребовать совпадений типа  $(A_i \cdot A_j) \cdot (B_k \cdot B_l)$  /  $i, j = 1, 2, \dots, 16$ ;  $k, l = 1, 2, \dots, 24$  см, рис. 2/. Совпадения  $A_i \cdot A_j$  означают вылет позитрона из мишени. Совпадения  $B_k \cdot B_l$  происходят при возникновении электрон-позитронной пары. При этом, чтобы быть зарегистрированными, и позитрон, и гамма-квант должны иметь энергию в пределах некоторого диапазона, определяемого величиной магнитного поля, расстоянием между соответствующими счетчиками /другими словами, значениями  $|i-j|$  и  $|k-l|$  /, размерами мишени и высотой камеры.

Очевидно, что запуски установки будут определяться либо физическими процессами с участием позитронов и гамма-квантов, либо случайными совпадениями. В последнем случае решающее значение имеет интенсивность совпадений в гамма-детекторе, поскольку в детекторе позитронов подавляющее число совпадений будет вызываться позитронами с подходящей энергией от распада мюонов. При интенсивности остановок  $\sim 5 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ , скважности  $\sim 0,5$  и разрешающем времени  $\sim 10 \text{ нс}$  любое совпадение в гамма-детекторе будет в  $\sim 10\%$  случаев совпадать с вылетом позитрона.

С целью уменьшить число совпадений в гамма-детекторе будет использована информация от пропорциональных камер. При этом можно сузить диапазон регистрируемых энергий гамма-квантов, а также существенно понизить фон случайных совпадений.

Дополнительное снижение числа случайных совпадений будет достигнуто введением определенных требований к угловым корреляциям между треками в детекторе позитронов и в гамма-детекторе.

При изучении распадов с тремя заряженными частицами / $\mu \rightarrow eee$ ,  $\pi \rightarrow e\nu ee$  / проблема случайных запусков становится очень острой. Нетрудно оценить, что при интенсивности остановок  $\sim 5 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ , скважности  $\sim 0,5$  и разрешающем времени  $\sim 10 \text{ нс}$  число случайных совпаде-

ний трех позитронов от распадов мюонов в мишени будет  $\sim 2 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$ .

Уменьшение числа случайных запусков в этом случае будет достигнуто благодаря применению электронной логической схемы, реагирующей на знак частицы, точнее, на присутствие электрона. С целью создания благоприятных условий для работы такой схемы, а также для того, чтобы надежно регистрировать частицы с достаточно малыми энергиями /15-20 МэВ/, магнитное поле будет снижаться.

Электронные системы быстрой логики будут сделаны на интегральных схемах. По-видимому, наиболее оптимальным путем является создание специализированных управляемых логических сетей.

## 7. Электроника пропорциональных камер

Сигналы, получаемые с проволочек пропорциональной камеры, обрабатываются по более или менее стандартной схеме, принятой в настоящее время, то есть усиливаются, формируются, задерживаются, пропускаются через управляемые ворота и запоминаются. Предполагается, что операции будут выполняться с помощью больших гибридных интегральных схем, в которых будут содержаться все необходимые элементы. При этом предусматривается возможность вывода сформированного импульса /до задержки/ для использования в быстрой логике.

Широко распространенным вариантом является расположение предусилителей в непосредственной близости от камеры. В описываемой установке это невозможно из-за недостатка места, связанного с большой плотностью установки камер и ограниченностью рабочей области магнитного поля. Поэтому электроника пропорциональной камеры располагается на ярме магнита. При этом длина подводящей проволочки от камеры до интегральной схемы не превышает 2 м.



Вывод проволочек из камер производится группами по 32 на отдельную плату, на которой размещается вся необходимая электроника для 32 каналов. Платы располагаются на 16 линейках по 32 платы в линейке. Каждая линейка содержит электронику для 1024 нитей пропорциональной камеры.

Вывод в ЭВМ производится группами по 32 проволочки в соответствии с логикой, разработанной ранее для искровых камер<sup>8/</sup>. Устройство управления выводом информации в ЭВМ располагается в блоках КАМАК.

### 8. Фильтрация потока информации

Поток информации со спектрометра может достигать очень больших величин. По оценкам, средняя величина одного регистрируемого события составляет 300-1000 байт. Если исходить из величины мертвого времени, связанного с необходимостью задержки сигнала от пропорциональных камер /до  $\sim 10^{-6}$  с/, то получается, что максимальный возможный поток может доходить до  $\sim 10^9$  байт/с<sup>-7</sup>. Такой поток информации в настоящее время невозможно переработать или даже пропустить через известные устройства ввода в ЭВМ. Предполагается, что вывод информации будет осуществляться через промежуточную малую ЭВМ /"Хьюлетт-Паккард" или ЕС-1010/. Это сразу определяет максимально возможную скорость вывода  $\sim 10^6$  байт/с. На самом деле скорость получается меньше<sup>8</sup> / $\sim 3 \cdot 10^5$  байт/с/. Поскольку распределение времени поступления событий носит статистический характер, поток информации должен быть еще в 3-10 раз меньше, то есть /3-10/  $\cdot 10^4$  байт/с, другими словами, не более  $\sim 100$  событий/с. Этот поток по-прежнему очень велик и соответствует максимальной скорости записи на магнитную ленту. Записывать такое количество событий целесообразно только в том случае, если эта информация в основном полезная. Следует заме-

нить, что время набора экспериментальных данных при этом не будет большим, за 24 часа экспозиции можно набрать несколько миллионов событий.

При изучении редких процессов основной поток событий представляет собой фон, а время экспозиции велико. В связи с этим возникает задача предварительной фильтрации событий перед тем, как выводить информацию в ЭВМ, а затем записывать ее на магнитную ленту. Эта задача решается в несколько этапов.

Ограничение потока информации прежде всего производится электронными логическими схемами, вырабатывающими мастер-импульс. По оценкам, выбранная логика обеспечивает коэффициент отбора  $\sim 10^5$  и соответственно при интенсивности остановок  $\sim 5 \cdot 10^6$  с<sup>-1</sup> 50-100 мастер-импульсов в секунду.

В качестве следующего уровня фильтрации информации будет использована специализированная система РАСТР /РАСПознавание ТРеков/. Эта система, включающая быстрый процессор, выполняет следующие функции: 1/ выделяет те проволочки, которые сработали от треков; т.е. идентифицирует треки частиц; 2/ отвергает случаи, когда нет настоящих треков; 3/ осуществляет дополнительную фильтрацию событий по более жестким энергетическим и угловым критериям, чем это делается электронной схемой выработки мастер-импульса; 4/ выдает для использования при дальнейшей обработке координаты центра кривизны и радиус кривизны идентифицированных треков.

Информация о сработавших проволочках подается в систему РАСТР одновременно с запоминанием ее на триггерах памяти, входящих в электронику отдельных проволочек.

Оценки показывают, что если уровень фона в зале существенно не изменится, применение системы РАСТР позволит ограничить поток информации до 3-5 событий в секунду при изучении распадов  $\mu \rightarrow e \nu$  и  $\pi \rightarrow e \nu \gamma$  и до 8-15 событий в секунду при изучении распадов  $\mu \rightarrow e e e$  и  $\pi \rightarrow e e e e$ .

Время работы системы РАСТР будет достаточно малым / $\sim 10^{-4}$  с/. Вывод информации из триггеров

памяти в малую ЭВМ осуществляется по сигналу с этой системы. При этом в ЭВМ выдаются также сведения о положении треков.

Малая ЭВМ работает на линии с ЭВМ ЕС-1040, в которой производится окончательная фильтрация информации. Здесь вычисляются точные временные характеристики и проводится простейший кинематический анализ зарегистрированных событий. Остающиеся события записываются на магнитную ленту для последующей обработки на мощных ЭВМ. Предполагаемый поток таких событий 0,5-1,5 в секунду. Помимо фильтрации, на ЭВМ ЕС-1040 будет проводиться анализ части событий с целью оперативного контроля процесса набора экспериментальных данных.

### 9. Магнит

Детектирующая часть спектрометра располагается в магните СП-173. В полюсах-вставках магнита сделаны необходимые отверстия для вывода информации из пропорциональных камер и установки световодов.

#### Основные данные магнита СП-173

Диаметр рабочей области магнитного поля	- 108 см,
Высота рабочей области магнитного поля	- 84 ± 100 см,
Габаритные размеры магнита	- 360x280x300 см <sup>3</sup>
Вес магнита	- 150 т,
Вес отдельных блоков	- не более 19 т,
Величина магнитного поля	- до 1,8 Т/при силе тока 2000 А и напряжении 450 В/.

### 10. Основные характеристики спектрометра АРЕС

Детекторы	- сцинтилляционные счетчики, цилиндрические и гиперболические пропорциональные камеры.
Размеры детектора заряженных частиц	- $\phi 64 \times 60$ см <sup>3</sup> .
Количество пропорциональных камер в детекторе заряженных частиц	- 7 цилиндрических, 4 гиперболических /5700 нитей/.
Диаметр 1-го ряда сцинтилляционных счетчиков /16 шт./	- 24,8 см.
Диаметр конвертора гамма-квантов	- 66 см.
Размеры детектора гамма-квантов	- $\phi 106 \times 60$ см <sup>3</sup> .
Количество пропорциональных камер в детекторе гамма-квантов	- 6 цилиндрических, 2 гиперболических /10500 нитей/.
Диаметр 2-го ряда сцинтилляционных счетчиков /24 шт./	- 67 см.
Геометрический телесный угол спектрометра	- $2\pi$ ср.
Пространственное разрешение	- 1 мм,
Временное разрешение	- 1 нс
Размеры магнита	- 3,6x2,8x3,0 м <sup>3</sup>
Вес магнита	- 150 т
Величина магнитного поля	- до 1,8 Т

## 11. Контроль и управление

Спектрометр АРЕС представляет собой сложную систему, включающую очень большое число элементов, характеристики которых необходимо поддерживать постоянно с высокой точностью в течение многочасовых экспозиций. Эта задача будет выполняться с помощью отдельной ЭВМ контроля и управления. Будет контролироваться величина магнитного поля, напряжение на пропорциональных камерах, ФЭУ и электронных блоках, интенсивности в отдельных точках электронных логических схем и т.п. Благодаря цилиндрической геометрии спектрометра, детектирующие элементы, расположенные на одном радиусе, имеют практически одинаковую загрузку. Это позволяет организовать удобный контроль за правильностью работы каждого элемента по этому параметру.

Некоторые параметры установки, такие, как величина магнитного поля СП-173 и отклоняющих магнитов, будут, по-видимому, в некоторых пределах регулироваться автоматически с помощью ЭВМ.

Управляющая ЭВМ будет также производить переключения электронных логических схем в режимы работы или контроля отдельных участков этих схем.

## 12. Программа экспериментов на установке АРЕС

### I. Поиски распадов и процессов, запрещенных законом сохранения мюонного числа

1.  $\mu^+ \rightarrow e^+ + \gamma$  - оценка верхней границы относительной вероятности распада на уровне  $\sim 10^{-11}$  /современная оценка  $\sim 2 \cdot 10^{-8}$  /.
2.  $\mu^+ \rightarrow e^+ + e^+ + e^-$  - оценка верхней границы относительной вероятности распада на уровне  $\sim 10^{-11}$  /современная оценка  $\sim 2 \cdot 10^{-9}$  /.
3.  $\mu^- + A \rightarrow e^\pm + A^*$  - оценка вероятности процесса на уровне  $\sim 10^{-13}$  /современная оценка  $\sim 1,6 \cdot 10^{-8}$  /.

## II. Исследования распадов мюонов

1.  $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$  - более точное измерение спектра позитронов, уточнение параметров  $\rho$  и  $\eta$ , оценка возможного отличия от V-A варианта слабых взаимодействий.
2.  $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu + \gamma$  - измерение спектров позитронов и  $\gamma$ -квантов, оценка возможной примеси S- и P-связей в слабом взаимодействии.
3.  $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu + e^+ + e^-$  - определение вероятности распада.

## III. Исследования слабоэлектромагнитных распадов пионов

1.  $\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \gamma$  - измерение спектров и угловых распределений позитронов и  $\gamma$ -квантов, изучение структуры пиона, определение векторного  $a(0)$ , и аксиального  $b(0)$  формфакторов пионов, статистика  $\sim 20$  тыс. случаев.
2.  $\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + e^+ + e^-$  - измерение спектров и угловых распределений, определение векторного (a) и аксиальных (b,  $\xi$ ) формфакторов пиона, определение электромагнитного радиуса пиона, проверка гипотезы PCAC, соотношений алгебры токов, статистика  $\sim 500$  случаев.

### IV. Уточнение вероятности распада $\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$ / $\mu \rightarrow e$ -универсальность/

### V. Изучение распадов $\pi^0$ -мезона ( $\pi^0 \rightarrow e^+ + e^-$ , $\pi^0 \rightarrow e^+ + e^- + e^+ + e^-$ , $\pi^0 \rightarrow \gamma + e^+ + e^-$ ).

VI. Исследование процесса  $\mu^- + p \rightarrow p + \nu_\mu + \gamma$   
/определение константы индуцированного P-взаимодей-  
ствия/

VII. Исследования взаимодействий пионов  
и мюонов с ядрами  
/многочастичные процессы/

Авторы благодарят В.П.Джелепова, Л.И.Лapidуса,  
Б.М.Понтекорво за постоянное внимание и поддержку  
настоящей работы, а также В.Г.Зинова, Б.Ф.Костина,  
Н.А.Кучинского, В.К.Ляпидевского, Й.Полаха и А.И.Фи-  
липпова за многочисленные плодотворные дискуссии.

#### Литература

1. А.В.Демьянов и др. ОИЯИ, Р9-8222, Дубна, 1974.
2. С.М.Коренченко. Авторское свид. № 502350. Бюлл. ОИПОТЗ №5, 1976.
3. Д.Ю.Бардин, С.М.Биленький. ЯФ, 16, 557 /1972/.
4. Д.Ю.Бардин и др. ЯФ, 14, 427 /1971/.
5. Б.Понтекорво. ЖЭТФ, 53, 1717 /1967/.
6. М.П.Кравчук и др. Труды Международного совещания по методике проволочных камер /Дубна, 1975/; ОИЯИ, Д13-9164, стр. 71-75, Дубна, 1975.
7. R. Bouclier et al. Nucl. Instr. and Meth., 88, 149(1970).
8. В.В.Вишняков и др. ОИЯИ, 10-5804, Дубна, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел  
16 февраля 1976 года.