

СЗ44/12
А-91

Астахов, А. Я. +

1081 / 78_x



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

АСТАХОВ, А. Я. и др.
Б1-13-11288.

Б1-13-11288

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19 78

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

СОТРУДНИЧЕСТВО ПО УСТАНОВКЕ СКМ-200 -
Алма-Ата - Будапешт - Варшава - Дубна - Ленинград - Лодзь -
Москва - Саратов - Тбилисси

51-13-11288

ПРОЕКТ РАЗВИТИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ УСТАНОВКИ
СКМ-200 НА 1976-1980 ГОДЫ

Дб. эм. Ж.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БЕЛАРУСЬКА

Дубна, 1978 год

"Проект развития и автоматизации установки СКМ-200 на 1976-1980 годы" составлен (по разделам):

разделы I, II - Оконовым Э.О.;

разделы III, VI-IX, XI - Астаховым А.Я., Володиным В.Д., Глаголевой Н.С., С.В.Кадыковой, Каминским Н.И., Матюшиным А.Т., Матюшиным В.Т., Мусульманбековом Ж.Ж., Нургожиным Н.Н. и Хорватом А.;

раздел IV - Лукстиньшем Ю.;

разделы V - Оконовым Э.О. и Хорзовым С.А.;

раздел X - Лукстиньшем Ю. и Оконовым Э.О.;

раздел XI - Лукстиньшем Ю.;

О Г Л А В Л Е Н И Е

	стр.
Введение	2
Участники проекта	4
I. Основные направления и этап развития установки СКМ-200	7
Предполагаемый график работ по развитию установки СКМ-200 и перспективы экспериментальных исследований (на ускорителях Серпухова и Дубны)	16
II. Перспективы экспериментальных исследований с помощью установки СКМ-200	19
III. Система высоковольтного импульсного питания	51
IV. Система фотографирования	68
V. Система триггера	75
<u>Приложение</u> : Задание на разработку программ контроля режимов работы триггера и ГИНа	82
VI. Система контроля электрического режима камеры...	91
VII. Система контроля газового режима камеры	100
VIII. Система контроля трекового режима камеры	107
IX. Контрольно управляющий комплекс	111
X. Мишени в рабочем объеме стримерной камеры	118
XI. Четырехэлектродная стримерная камера	124
XII. Режим запоминания в стримерной камере	130

В в е д е н и е

Основные направления развития и автоматизации установки с 2-х метровой стримерной камерой в магнитном поле (СКМ-200) обсуждались на совместном заседании камерного и электронного комитетов и одобрены решением от 31 октября 1974 г., которое было утверждено XIX сессией Ученого совета по физике высоких энергий ОИЯИ. На XXXVII сессии Ученого совета на основании решений специализированных комитетов было запланировано выделить на развитие установки СКМ-200 в 1976-1980 г.г. 950 тыс.рублей.

Настоящий проект разработан в соответствии с требованиями перспективного развития экспериментальных исследований на установке СКМ-200 и с учетом упомянутых выше решений Ученого совета по физике высоких энергий ОИЯИ. В проект в качестве вводной части включено описание установки СКМ-200 и её рабочих характеристик на этапе её облучений в пучке релятивистских e^- - частиц в октябре 1974 года. В первом разделе проекта сформулированы основные требования эксперимента к планам дальнейшего усовершенствования установки СКМ-200 и ориентировочно намечены основные этапы её развития на 1976-1980г.г. Второй раздел содержит краткое изложение перспектив будущего использования усовершенствованной установки СКМ-200 с анализом возможных экспериментов, включающим результаты моделирования на ЭВМ^{ж)}.

Приведенный перечень экспериментов не претендует на полноту и не является обязательной экспериментальной программой. Конкретные планы будущих рабочих облучений СКМ-200 будут разрабатываться поэтапно с учётом достигнутого методического уровня развития установки и ускорителя, важности научной проблемы, результатов предыдущих

ж) Перспективный план развития экспериментов на СКМ-200 также обсуждался и был одобрен на заседаниях специализированных комитетов ОИЯИ.

исследований, а также возможностей обработки экспериментального материала. Основную часть предлагаемого проекта составляют планы развития существующих и разработка новых узлов и систем установки СКМ-200, изложенные в следующих разделах:

III. Система быстродействующего высоковольтного импульсного питания.

IV. Быстродействующий стереофотоаппарат.

V. Развитие системы триггера.

Автоматизация управления и контроля рассмотрена в главах:

VI. Система контроля электрического режима камеры.

VII. Система контроля газового режима камеры.

VIII. Система контроля трекового режима камеры.

IX. Контрольно-управляющий комплекс.

Кроме того проанализированы возможности развития методики стримерных камер и предложены проекты возможных разработок и методических исследований:

X. Мишени в рабочем объеме стримерной камеры.

XI. Четырехэлектродная стримерная камера.

XII. Режим запоминания в стримерной камере.

УЧАСТНИКИ ПРОЕКТА

I. Лаборатория высоких энергий:

Руководитель проекта - нач. сектора № 3 НЭЭО ЛВЭ Оконов Э.О.

Ответственные исполнители работ: Д. Лукстиньш, В.Т. Матюшин,
С.А. Хорозов.

Участники проекта:

А.И. Голохвастов, А.Г. Грачев, Г.Л. Варденга, В.Д. Володин,
М.Х. Аникина, М.С. Журавлева, В.П. Садилов, А.И. Завгородний,
Е.В. Филиппова, Л.С. Любимова, Г. Щорнак и прикомандированные
к ЛВЭ: Ю. Черепанов (МГУ); В. Ильина (Саратовский ГУ);
Ю. Яковлев, Д. Балин (ЛГУ); А.И. Вихров, Н.А. Нефедов, В.Т. Антонова,
А.А. Волков (ИМБП); В. Павловский, В. Швед (Варшавский университет);
производственная группа Какурина И.Н. (НЭЭО).

Для реализации настоящего проекта необходим ресурс следующих подразделений ЛВЭ:

ПТО (нач.Курятников Б.К.); КБ (нач.Матюшевский Е.А.);

ОННР (нач.Колпаков И.Ф.): С.Г.Басиладзе, П.К.Маньяков,
М.П.Белякова + 2 чел.;

СКБ (нач.Заневский Ю.В.): Пешехнов В.Д. + 2 чел. - разработка и наладка пропорциональных камер.

КО (нач.Зельдович А.Г.), сектор Л.Б.Голованова - разработка и отладка газовой и жидководородной мишени.

ОЭФА (нач.Аверичев С.А.) - участие в создание отдельных систем и их эксплуатация. Ремонт и реконструкция магнита СП-4Г.

ЧЭМО (нач.Шафранов М.Д.), группа Кириллова А.Д. - сформирование пучков, отладка работы каналов; группа Матвеевой Е.Н. - разработка и изготовление пластических сцинтилляторов.

ОСФ (нач.Зиновьев Л.П.) - сектор Иссинского И.Б.: отладка режимов медленного вывода релятивистских ядер.

ОГЭ (нач.Григорашенко В.С.) - участие в разработке в/в питания и реконструкция магнита СП-4Г.

ОО (нач.Попов Ю.М.) - группа Баранова А.А. снабжение и общее обеспечение.

СНЭО (нач.Соловьев М.И.) - группа Мальцева Э.И. - проведение расчетов и моделирование экспериментов в Серпухове.

Ресурс по ПТО и КБ более подробно оценен и обоснован в соответствующих разделах и указан в общей смете.

2. Лаборатория вычислительной техники и автоматизации

Руководитель проекта - нач. сектора № 3 ОА ЛВТА Матюшин А.Т.

Ответственные исполнители работ: Н.С.Глаголева, Н.И.Каминский

Участники проекта: Г.Ф.Акимова, А.Я.Астахов, А.А.Верещагин, Е.А.Дементьев, Т.Ф.Жмырова, С.В.Кадыкова, В.Н.Ряховский, П.С.Кузнецов, В.Я.Рубцов, Э.А.Шевченко, Ю.И.Сусов, Я.Балаж, А.Хорват.

Помимо перечисленных сотрудников ОА (нач. отдела Сусов Ю.И.) в реализации проекта участвуют следующие сотрудники ЛВТА: Н.Н.Говорун, С.А.Щелев, А.Д.Злобин, И.Ф.Фурсов, Н.П.Богачев, Е.С.Кузнецова, В.Г.Иванов, В.М.Котов, Г.И.Олейник, Т.Г.Останевич, Бутцев В.С.

3. Институт физики высоких энергий АН Каз.ССР

Руководитель проекта - зав. сектором искровых камер МНС ЛКЛ Нургсжин Н.Н.

Ответственные исполнители работ: Ж.Ж.Мусульманбеков,
И.И.Николаев.

Участники проекта: Б.Ахметов, С.Е.Калячкин, Ю.И.Климов, Л.И.Тупикина, Т.Д.Иманбеков, А.И.Даулетбаков, А.Г.Комарова.

Помимо перечисленных сотрудников в реализации проекта участвуют следующие сотрудники ИФВЭ АН Каз.ССР: М.А.Ташимов, Ю.Т.Лукин, А.И.Кушулун, И.Д.Джанбусинова.

I. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ

УСТАНОВКИ СКМ-200.

Высокие параметры Серпуховского и реконструируемого дубненского*) ускорителей и, особенно, проектируемого нуклотрона /I/ создают прочную основу дальнейшего развития исследований на установке СКМ-200.

Другим необходимым условием успеха экспериментальных программ на СКМ-200 является реализация больших потенциальных возможностей, заложенных в методике стримерных камер.

Опыт проведения долгосрочных экспериментальных программ показывает, что ⁹¹⁹сохранения лидирующего положения в перспективных исследованиях нельзя полагаться на простой набор статистики.

Необходимы качественное улучшение и всестороннее развитие используемой методики, которые должны обеспечить увеличение "чувствительности" установки и скорости набора нужных событий.

Это имеет особое значение для стримерной методики, которая, будучи очень "лабильной", может обеспечить постепенное наращивание качественно новых экспериментальных возможностей.

Каковы же основные направления, усовершенствования установки СКМ-200, вызванные требованиями перспективного развития экспериментальных исследований?

I) Увеличение быстродействия установки.

Многokратное (за цикл ускорителя) срабатывание установки СКМ-200 увеличивает скорость набора большего по объему экспериментального материала (как и при увеличении быстродействия пузырьковых камер). Но для СКМ-200, как установки с избирательным запуском, гораздо важнее то обстоятельство, что при увеличении быстродействия, увеличивается ее чувствительность к регистрации редких событий. Может

*) Уже на нынешнем этапе реконструкции синхрофазатрона ЛВЭ ОИЯИ достигнута интенсивность более 10^{12} протонов в цикле, ускорены дейтроны и α -частицы до самых больших энергий, достижимых на ускорителях; завершается строительство огромного экспериментального павильона (корп.205).

показаться; что увеличение быстродействия установки СКМ-200 не дает существенного выигрыша, если ее триггер отбирает редкие события.

В действительности же для большинства экспериментов, как показывает опыт, выигрыш оказывается весьма значительным. Причина этого состоит в следующем: более "мягкий" (менее избирательный) триггер обладает, как правило, большей эффективностью отбора нужных событий. Однако "смягчение" триггера приводит также и к увеличению фоновых запусков, которые начинают существенно "забивать" более редкий эффект, если число фоновых запусков становится более $0,5 \pm 1$ за один цикл ускорителя.

С увеличением быстродействия установки этот критический предел наступает при больших нагрузках триггера, что дает возможность увеличить скорость набора редких событий путем дальнейшего "смягчения" триггера или увеличения интенсивности первичного пучка^{ж)}.

В настоящее время на установке СКМ-200 можно получить не более одной фотографии за цикл ускорителя, что обусловлено ограниченным быстродействием генератора импульсного напряжения (ГИНа) и лентопротяжного механизма системы фотографирования. Проект развития установки СКМ-200 предусматривает увеличение быстродействия ГИНа и лентопротяжного механизма до 10 гц. (см. разделы III, IV), что может обеспечить увеличение скорости набора статистики нужных событий в 3-6 раз^{жж)} на ускорителях У-10 и У-70.

Дальнейшее увеличение быстродействия (до ~100 гц) потребует по-видимому бесфильмового съема информации.

ж) Опыт показывает, что просмотр большого количества "стримерных" фотографий и отбор кандидатов для измерения, не представляет проблемы.

жж) Очевидно, что этот фактор увеличения зависит от "растяжки" пучка ускорителя и от частоты следования импульсов триггера; на нуклотроне^{он} может быть доведен до 20 ± 50 при предполагаемой растяжке 5 ± 10 с.

2) Развитие системы триггера.

В планируемых физических исследованиях экспериментальные возможности СКМ-200, как установки с избирательным запуском, определяются развитием системы триггера.

В систему запуска СКМ-200 могут быть включены любые электронные детекторы, системы детекторов, целые установки, способные с помощью электронной логики (быстрых процессоров) выработать управляющий импульс за время $1 \div 10$ мкс.

Создание системы, осуществляющей так называемый режим "запоминания" (см. раздел XII), позволило бы включить в триггер ЭВМ для предварительного анализа (в пределах $1 \div 2$ мс) и отбора событий для фотографирования.

Несмотря на широкие возможности развития системы запуска, долгосрочное его планирование, встречает серьезные трудности, связанные с тем, что оптимальное решение определенной физической задачи требует специального триггера, для разработки которого часто необходимо использовать результаты предыдущих экспериментов.

Настоящий проект предусматривает создание триггерных систем "общего назначения", которые могут быть использованы для широкого круга экспериментов: пучкового триггера, идентифицирующего частицы на входе в камеру; систем сцинтилляционных счетчиков (пропкаммер) регистрирующих частицы большой энергии, летящие вперед; годоскопов, счетчиков (пропкаммер), перекрывающих большой телесный угол, для отбора событий с определенной множественностью и т.д. (см. раздел У).

Отбор событий системой триггера почти всегда вносит искажения в физический результат, причем учет этих искажений требует тщательных расчетов и моделирования на ЭВМ. Поэтому при разработке триггера для СКМ-200 предпочтение по-видимому следует отдавать системам запуска, отбирающим события не по специфическим характеристикам продуктов взаимодействия, а по общим свойствам самого взаимодействия. При этом не только уменьшается "выборка" (искажение результатов), но и охватывается более широкий круг изучаемых процессов. Так, включение в триггер регистрации когерентно провзаимодействовавшего релятивистского ядра, отбирает все процессы когерентного рождения частиц, независимо от их природы.

При такой постановке эксперимента, триггер не будет давать ложной пространственной асимметрии в распределении конечных продуктов взаимодействия, например, π^+ и π^- мезонов в реакции когерентного рождения $\alpha + \alpha \rightarrow \alpha + \alpha + \left. \begin{matrix} \rho \\ \omega \end{matrix} \right\} \pi^{\pm}$ при исследовании возможных эффектов нарушения изотопинвариантности (см. раздел I-A).

Многонуکلонные центральные взаимодействия релятивистских ядер рациональнее отбирать не по продуктам взаимодействия, а по отсутствию частиц-спектаторов. С таким триггером можно регистрировать случаи кумулятивного рождения разных адронов, исследовать кумулятивные эффекты множественного рождения, вести поиски проявления таких аномалий, как "пионный конденсат", адронные "сверхкластеры" и т.д. (см. раздел I A-I).

В тех случаях, когда загрузка по триггеру не очень велика (значительно меньше, чем I запуск в цикл) имеется возможность суммировать импульсы с 2-х и более систем запусков, отбирающих разные, но близкие по выходу процессы.

Такой режим работы триггера не наносит существенного ущерба статистике по основному изучаемому процессу.

При этом, однако, желательно в кадр (с помощью табло) маркер, отмечающий, какая из систем триггера осуществила запуск.

3) Развитие системы контроля и автоматического управления

Эффективный набор высококачественного экспериментального материала в длительных облучениях такой сложной установки, как СКМ-200, невозможен без осуществления действенного контроля за характеристиками работы всех систем установки, а также за параметрами используемого пучка.

Дальнейшее развитие самой установки СКМ-200, особенности ее использования в предстоящих экспериментах еще больше повышают требования к совершенствованию системы контроля и управления. В этой связи необходимо учесть следующие обстоятельства:

а) От того, насколько тщательно контролируется и выдерживается оптимальный режим работы стримерной камеры, зависит не только эффективность работы установки, но и качество фотографируемых стримерных треков и точность последующих трековых измерений. Использование стримерной камеры как трекового детектора, позволяет получить высокие точности в измерении импульсов (ρ) и углов вылета (θ)

регистрируемых частиц. (см. рис. 1 и 2). Однако, чтобы реализовать полностью эти потенциальные возможности стримерной методики необходимо создать для СКМ-200 комплексную систему контроля и автоматического управления, которая обеспечивала бы высокую стабильность всех рабочих характеристик, определяющих режим работы камеры^{ж)}

(см. раздел IX)

б) При проведении большинства экспериментов с жестким избирательным триггером нужно не только контролировать, но и записывать (с помощью ЭВМ) эффективность детекторов в течении всего облучения. Без соблюдения этого условия нельзя, как правило, обеспечить точность (правильность) получаемых физических результатов. По мере усложнения системы запуска, ЭВМ должна будет контролировать, обрабатывать и записывать все больший объем "триггерной" информации для последующего сопоставления с результатами обработки зарегистрированных событий (см. раздел V).

в) Трудности поддержания ^{эпгч} стабильных режимов инъекции, ускорения вывода из ускорителя и формирования в пучки частиц (особенно для релятивистских ядер) требуют осуществления оперативной обратной связи системы контроля пучка на СКМ-200 (см. раздел V) с ЭВМ, управляющим режимом работы синхрофазотрона и пучкового канала.

г) При фильмовом съеме информации очень затруднен оперативный контроль за выходом регистрируемых событий^{жж)}, в то же время он крайне необходим, особенно для управляемых установок, какой является СКМ-200.

ж) Среди других условий, обеспечивающих высокую точность трековых измерений, следует выделить тщательность определения оптических поправок для стереофотоголовки (с помощью юстировочного стенда, входящего в состав системы фотографирования см. раздел IV), а также повышение точности измерений и улучшение качества фотопленки.

жж) Визуальный контроль не эффективен, а в большинстве случаев просто невозможен из-за радиационных условий; проявление и просмотр кусков пленки не обеспечивает должной оперативности в контроле и идет в ущерб набору статистики.

Для решения этой проблемы должна быть создана система бесфильмового съема изображения фотографируемого события (например, с помощью мозаики из фоточувствительных элементов) с передачей его на ЭВМ, для грубого обчета, воспроизведения на дисплее и записи. Такая система могла бы послужить модельно для разработки бесфильмового съема информации с установки СКМ-200.

Все эти обстоятельства были учтены при разработке проекта контрольно-управляющего комплекса установки СКМ-200 (см. раздел IX), который предусматривает поэтапное развитие этой системы от включения в систему контроля ЭВМ ТРА-I до автоматического управления установкой и осуществления бесфильмовой регистрации событий.

4) Мишени в рабочем объеме стримерной камеры.

Развитие экспериментальных программ по исследованию взаимодействий частиц (релятивистских ядер) на различных ядрах полностью определяется прогрессом разработки конструкций мишеней, помещаемых в рабочий объем стримерной камеры.

Первым, уже пройденным этапом, на пути решения этой сложной методической задачи, было создание на СКМ-200 системы сменных мишеней, которая позволяет помещать внутрь камеры любые твердые мишени (в т.ч. металлические) и избежать при этом коронирования и пробоев.

К сожалению ряд веществ, часто используемых в качестве мишеней (водород, дейтерий, гелий и др.) при нормальных условиях находятся в газообразном состоянии. Это вызывает необходимость создания для СКМ-200 газовых мишеней (под давлением) и мишеней с сжиженным газом (жидководородной). Однако, использование такого рода мишеней затрудняет решение физических задач, для которых важно наблюдать саму область взаимодействия и его короткопробежные продукты (протоны и ядра отдачи, медленные фрагменты, нестабильные частицы с $T_{1/2} \sim 10^{-10}$ сек. и др.).

В подобных экспериментах оптимальным решением было бы использовать в качестве мишени газ, наполняющий стримерную камеру (как, например, при облучении установки СКМ-200, в которой наблюдались взаимодействия α -частиц с ядром неона). Другие газы, пригодные в принципе для наполнения стримерных камер, требуют разных и более сложных режимов работы ГИНа и не обеспечивают достаточно хо-

рошего качества стримерных треков^{х)}. Это обстоятельство побуждает к разработке конструкции газовой мишени в виде небольшого (по диаметру пучка) прозрачно тонкостенного цилиндра, который может наполняться газами (в т.ч. изотопически чистыми) при таком давлении которое обеспечивает получение стримерного режима (как и в самой камере, наполненной неоном) при "обычных" параметрах ГИНа (раздел X-2).

Значительно более сложной методической разработкой является водородная газовая мишень - трековый детектор внутри стримерной камеры (раздел X-3) - система, которая в ряде экспериментов могла бы оказаться эффективней по своим методическим возможностям (например, по точности трековых измерений), чем разрабатываемые сейчас в разных лабораториях водородные стримерные камеры.

Из этого краткого (далеко неполного) анализа основных требований эксперимента к развитию установки СКМ-200, видно, что без постоянного значительного усовершенствования установки невозможно обеспечить необходимый рост методического уровня развивающихся экспериментальных исследований.

С другой стороны, усовершенствование экспериментальной установки, ее дальнейшее развитие требуют значительных усилий и времени, что естественно ограничивает время использования установки непосредственно в эксперименте. Трудность здесь состоит в правильном учёте этих двух обстоятельств с целью получить наибольшее количество экспериментальной информации и одновременно обеспечить необходимые качественные изменения методического уровня исследований в процессе длительного эксперимента.

Это вызывает необходимость четкого планирования усовершенствования экспериментальной установки с учетом требований намеченного развития физических исследований

^{х)} На установке СКМ-200 при повышенном (на 20 %) напряжении на ГИНе и большей длительности в/в импульса удалось получить стримерный режим в гелии, однако, точность трековых измерений при этом оказалась заметно хуже.

Основной принцип развития установки СКМ-200, предусмотренный настоящим проектом, сводится к следующему. После проведения методических работ, необходимых для решения намеченной физической задачи, проводится большая серия облучений в возможно сжатые сроки. Затем следует просмотр и обработка полученной экспериментальной информации. Тем временем осуществляется очередной этап усовершенствования установки и подготавливается очередное рабочее облучение.

Таким образом, настоящий проект предусматривает поэтапное усовершенствование установки СКМ-200 с максимально возможным использованием в больших рабочих облучениях методических достижений, реализованных на каждом из этапов. Это позволит сохранить нарастающий темп исследований в избранных нами направлениях.

На стр. 35 приведен предполагаемый поэтапный график реализации проекта развития установки СКМ-200 в период 1976-1980 г.г., с указанием экспериментальных возможностей, которые открывает каждый из этапов при исследовании в пучках релятивистских ядер и каонов.

Дальнейшее (в следующей пятилетке) развитие экспериментальной программы потребует коренной реконструкции установки СКМ, выходящей за рамки настоящего проекта (создание стримерной камеры размером 4-8 м с ГИном на 100-200 гц и бесфильмовым съемом информации, сооружение анализирующего сверхпроводящего магнита на 30-40 кГс и т.д.).

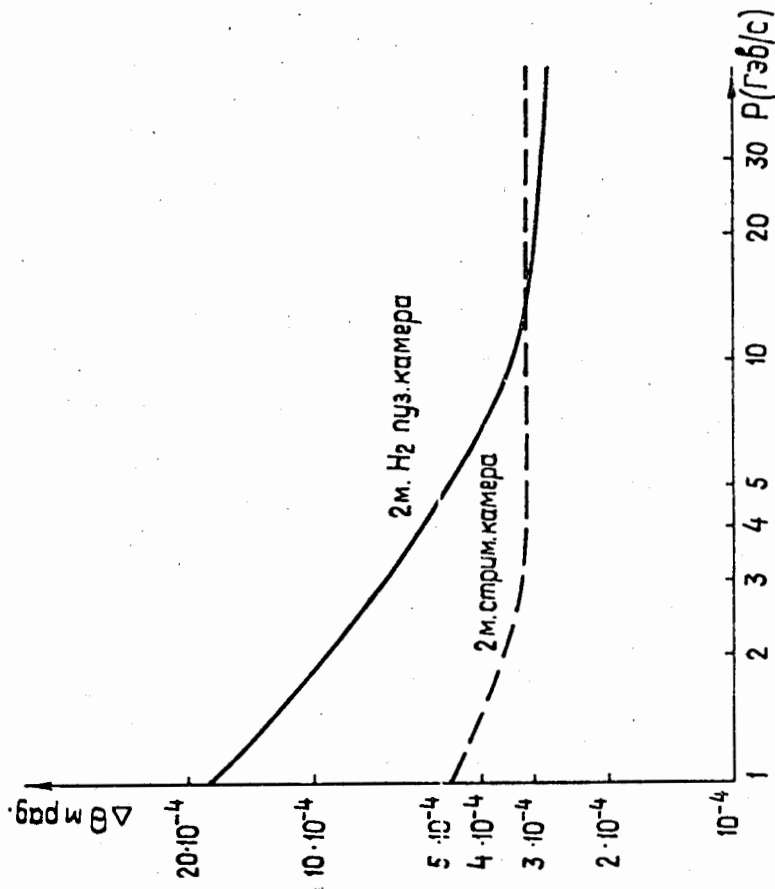


Рис. 1. Зависимость ошибки в определении угла от величины импульса в 2-метровых камерах — водородной камере, — стримерной камере при $H = 10$ кгаусс.

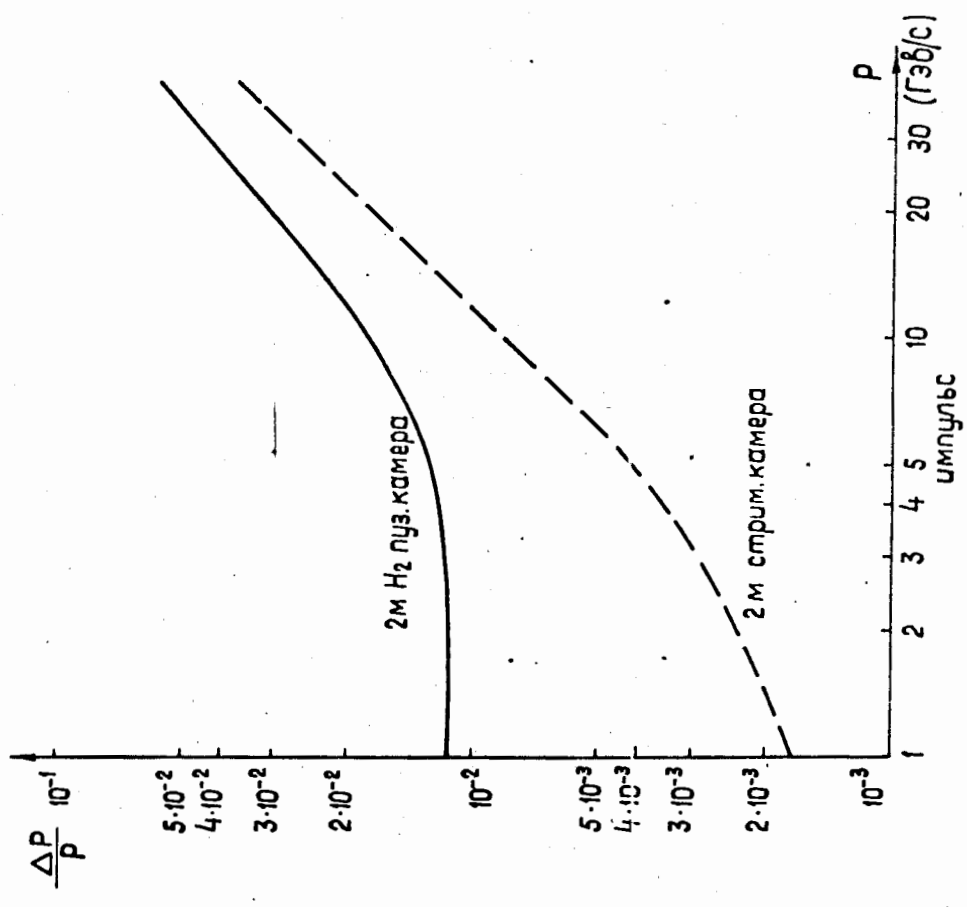


Рис. 2. Зависимость относительной ошибки в определении импульса от величины импульса в 2-метровых камерах — водородной камере, — стримерной камере при $H = 10$ кгаусс.

ПРЕДПОЛАГАЕМЫЙ ГРАФИК РАЗВИТИЯ УСТАНОВКИ СИМЛ-200
И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.

№ пп	Этапы развития	Уровень методического развития установки к концу соответствующего этапа	3	4	5
			3	4	5
I	I этап I976÷77гг	<p>Уровень методического развития установки к концу соответствующего этапа</p>	<p>1) Включение в триггер годоскопа из сцинтилляционных счётчиков.</p> <p>2) Контроль за рабочими характеристиками с помощью ЭВМ ТРА-1. Для контроля пучка - система пропорциональных камер.</p> <p>3) Изменен с газовым наполнением внутри стримерной камеры.</p> <p>4) Стереороаппарат с быстрой лентопротяжкой.</p> <p>5) Быстродействующий генератор импульсных напряжений (\sim на 10 Гц)...</p> <p>6) Газобеспечение с автоматической регулировкой времени памяти камеры.</p>	<p>В пучках релятивистских ядер (в ЛВЭ ОИЯИ)</p>	<p>В пучках каонов (в ИФВЭ, Серпухов)</p>
			<p>Исследование кумулятивных эффектов в рождении различных адронов (в т.ч. в процессах множественного рождения).</p> <p>Изучение $\alpha\alpha$; (αp) - взаимодействий (упругих и неупругих, рождения адронов) и т.д.</p> <p>Поиски резонансных состояний в системе $\alpha\psi$</p>	<p>Поиски слабо-электромагнитных распадов K_L^0 - мезонов на уровне относительной вероятности $BR \sim 10^{-5}$.</p> <p>Изучение рождения гиперонов, гиперядер при K^- - захвате и взаимодействии K^0 + ядро.</p>	

1	2	3	4	5
<p>2-ой этап 1978-1979</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Включение в триггер пропорциональных камер. 2) Обработка информации с триггера с помощью ЭВМ. 3) В системе триггера быстрая электроника в стандарте "САМАС" и быстрые процессоры. 4) Контрольно управляющий комплекс с автоматическим управлением установкой. 5) Жидководородная (дейтериевая) мишень внутри стримерной камеры. 	<p>Исследование общего характера взаимодействий релятивистских ядер с $A \geq 12$.</p> <p>Изучение многокулонных взаимодействий (поиски аномалий во множественном рождении) и т.д.</p> <p>Проверка изотопинвариантности по реакциям типа: $\alpha + \alpha \rightarrow \alpha + \alpha + \omega$ $\alpha + d \rightarrow {}^3H + {}^3He$ $\alpha + \alpha \rightarrow \alpha + \rho$ $\alpha + \alpha \rightarrow \pi^+ \pi^-$</p> <p>Изучение релятивистских гиперядер, измерение их времени жизни.</p> <p>Поиски "странных" многобарийных резонансов.</p> <p>Исследование рождения пар e^+e^- ($\mu^+\mu^-$) при взаимодействии ядро-ядро.</p>	<p>Изучение распадных свойств K^0_L-мезонов извещной энергии в реакциях: $K^+ N \rightarrow K^0 N$ $\pi^- p \rightarrow K^0 \Lambda$</p> <p>Исследование электромагнитной структуры каона (по распаду $K^0_L \rightarrow \pi^+ \pi^- e^+ e^-$ на уровне $BR \lesssim 10^{-6}$).</p> <p>Поиски эффектов CP-нарушения в слабо-электромагнитных распадах каонов.</p> <p>Исследование $K^0 - \bar{K}^0$ взаимодействия (в т.ч. с рождением резонансов типа $\Lambda \chi$).</p>	

1	2	3	4	5
	<p>3-ий этап 1979-1980гг. (с возможным переходом на 1981-1982гг.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Включение в триггер годоскопа из больших пропорциональных камер. 2) Режим "запоминания" (высоковольтный генератор с предимпульсом). 3) Включение в триггер ЭВМ ТРА1 4) Телевизионный контроль с записью регистрируемых событий на дисплей с помощью ЭВМ. 5) Разработка макета системы бесфильмового съема информации. 	<p>Исследование особенностей взаимодействия релятивистских ядер с $A \geq 20$.</p> <p>Изучение характеристик ядерного вещества при больших давлениях. Поиски проявлений пионного конденсата и адронных суперкластеров.</p> <p>Исследования изомерных (возбужденных) состояний гиперядер.</p> <p>Поиски гиперядер со странностью ≥ 2.</p> <p>Изучение взаимодействия релятивистских гиперядер.</p>	<p>Изучение характеристик слабых взаимодействий магнитного взаимодействия. Гиперядерная спектроскопия по реакции $K^+ + A \rightarrow \Lambda + \pi^+$</p> <p>Изучение структуры слабых взаимодействий по распаду $K_L^0 \rightarrow K^+ e^- \nu$</p> <p>Исследование связанного Π/μ-состояния в распаде $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \mu^- \nu$</p> <p>Поиски редких распадов каонов, гиперонов (гиперфрагментов) на уровне $BR \sim 10^{-8} + 10^{-9}$.</p>

В перспективных планах на 1980-1985 г.г. предполагается создание установки с 8-ми метровой стримерной камерой (СКМ-8) с бесфильмовым съемом информации на линии с мощной ЭВМ. Для стримерной камеры должен быть сооружен сверхпроводящий магнит и система триггера с быстрой предварительной обработкой характеристик регистрируемого события.

II. ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОМОЩЬЮ УСТАНОВКИ СКМ-200

Первый этап исследований на установке СКМ-200 начался в 1974 году её облучением в пучке α -частиц с импульсом 17 ГэВ/с и обработкой более 80 тыс. полученных стереофотографий с целью изучения общего характера взаимодействия α -частиц с веществом и кумулятивных эффектов в рождении адронов (в рамках проекта, утверждённого XIX сессией Ученого совета по физике высоких энергий ОИЯИ от 26-28/ХІ-1974 г.).

В настоящее время на установку СКМ-200, размещённую в измерительном павильоне синхрофазотрона, выведены (см. рис. 4):

а) пучки вторичных частиц, генерированных в мишени F_2 - каонов (K_L^0 , K^\pm) и пионов (π^\pm) с импульсом $P=0.3+3$ ГэВ/с (канал № 22);

б) пучки протонов с $P \leq 10$ ГэВ/с и релятивистских ядер с импульсом $P \leq 5$ ГэВ/с на нуклон (канал № 26).

Помимо пучков ядер непосредственно ускоренных на синхрофазотроне в этом канале можно получить и вывести на установку пучки релятивистских ядер - изотопов, более легких, чем ускоренные (включая радиоактивные ядра с периодом полураспада $T \geq 10^{-9}$ сек)^{В1}

Для этого нужно пучок ускоренных и выведенных из ускорителя ядер основного изотопа пропустить через мишень, поставленную в начале канала № 26, а образовавшие в результате реакции срыва (стриппинга) изотопы выделить и сформировать магнитными элементами канала.

Как правило, релятивистское ядро, оставшееся после срыва одного или нескольких нуклонов в результате реакции стриппинга, практически сохраняет направление движения и скорость первичного ядра. Так, средний поперечный импульс остаточного ядра углерода после срыва составляет $P \approx 140$ МэВ/с^{14/}, что при начальном импульсе первичного ядра $P \approx 25+60$ ГэВ/с приводит к изменению упомянутых характеристик на десятые доли процента.

Импульс ядра (P), оставшегося после реакции срыва, определяется его массой (т.е. его атомным номером A): $P \approx A \cdot P_H$, где P_H - импульс, приходящийся на нуклон в первичном ускоренном ядре.

Траектория такого остаточного ядра в поперечном магнитном поле H имеет радиус кривизны

$$R \sim \frac{P}{H \cdot Z} \sim \frac{A}{Z} \cdot \frac{P_H}{H}$$

В результате ядра с различным A/Z с помощью магнитного поля разделяются пространственно и могут быть сформированы обычными методами магнитной оптики в пучки, пригодные для дальнейших исследований. В сформированных пучках ядра с определенным Z можно выделить по ионизации, с помощью соответствующих детекторов $\frac{dE}{dx}$

Дополнительно к упомянутым выше пучкам (а) и (б) при размещении установки СКМ-200 в корпусе № 205 планируется сформировать и вывести на установку пучок вторичных K^- , π^- - мезонов с импульсом до 8 Гэв/с. При перемещении установки СКМ-200 в корпус № 205 предусматривается также реконструировать требующий ремонта магнит СП-4I с целью увеличения создаваемого им магнитного поля.

Очевидно, что возможности создания новых пучков и улучшения их параметров будут значительно расширяться в процессе дальнейшей реконструкции синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ (ускорение более тяжёлых ионов, увеличение интенсивности ускоренных частиц, сооружение нового измерительного павильона - корпуса 205 и т.д.). Совершенствование ускорителя и самой установки СКМ-200 создадут необходимые предпосылки для широкого перспективного развития физических исследований. Однако на каждом этапе, при разработке конкретной экспериментальной программы, из большого числа возможных физических задач необходимо выбрать наиболее важные проблемы, которые могут быть решены с помощью используемой методики оптимальным образом (по времени получения и полноте получаемой информации). Иными словами экспериментальную программу для СКМ-200 следует разрабатывать с таким расчётом, чтобы она не перекрывала эксперименты осуществимые с помощью имеющихся электронных и камерных установок, а развивала те направления исследования, в которых максимально используются особенности стримерной методики.

В отличие от чисто электронных установок, установка СКМ-200 является трековым детектором, способным, практически, в геометрии 4π регистрировать сложные по конфигурации многочастичные процессы, происходящие в рабочем объеме стримерной камеры.

С другой стороны от пузырьковых камер стримерную камеру отличают её управляемость и малое время памяти (до 1 мкс), что даёт возможность пропускать через неё до 10^6 заряженных частиц за цикл ускорителя^{ж)} и фотографировать отобранные триггером редкие события. Это обстоятельство, (очень важное при изучении редких распадов), при не слишком малой эффективности триггера ($\epsilon > 10^{-3}$) позволяет также с успехом использовать стримерную камеру как детектор редких взаимодействий с различными мишенями, помещенными в рабочий объем камеры.

Очень привлекательным представляется регистрировать взаимодействия в газе-наполнителе камеры или в специальной газовой мишени,-детекторе (см. раздел X-2), что даёт возможность наблюдать и идентифицировать по пробегу короткопробежные продукты взаимодействия.

При выборе для установки СКМ-200 перспективных направлений исследований надо иметь также в виду, что благодаря малым эффектам многократного рассеяния в стримерной камере могут быть обеспечены в принципе более высокие, чем в пузырьковых камерах, точности измерения углов (θ) и импульсов (p) в области $p \leq 10$ Гэв/с (см. рис. 1 и 2) ^{разу} особенно при измерении треков многозарядных частиц^{ж)}.

С учётом основных особенностей установки СКМ-200 и планов её дальнейшего развития рассмотрены наиболее перспективные направления исследований в области релятивистской ядерной и гиперядерной физике и в области физики каонов.

=====

ж) Этот предел, очевидно, зависит от растяжки пучка (например, для проектируемого нуклотрона он может достигать 10^7). Загрузку установки СКМ-200 можно увеличить, по-видимому, \sim в 10 раз, если вершину взаимодействия восстанавливать по его продуктам.

ж) Это естественно повышает требования к другим факторам, ^{определению точности измерения величин θ и p} (стабильность режима работы камеры, качество стереофотоаппарата и фотопленки, тщательность определения оптических поправок, точность измерения магнитного поля и т.д.).

А. ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ЯДЕРНОЙ И ГИПЕРЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

Г. Изучение многонуклонных взаимодействий при центральных столкновениях релятивистского ядра с ядром *)

Можно без преувеличения считать центральные столкновения ядра с ядром одной из важнейших проблем релятивистской ядерной физики. В такого рода взаимодействиях реализуются необычные условия, при которых значительная энергия выделяется в малом объеме. Критичность этих условий, и в то же время знание (по крайней мере в нерелятивистском приближении) структуры сталкивающихся ядер дают редкую возможность проверки: партонной (кварковой) модели, используемых в теории элементарных частиц, справедливости статистического (термодинамического) списания исследуемых процессов, а также других теоретических подходов, связанных, например, с идеями об "ударной волне". Изучение центральных столкновений релятивистского ядра с ядром позволяют осуществить более широкие исследования кумулятивных процессов, изученных пока в инклюзивной постановке эксперимента /5/. Здесь значительный интерес могут представлять различные проявления кумулятивных эффектов во множественном рождении частиц, кумулятивное рождение адронных и барионных резонансов и т.д. Наконец, при больших плотностях ядерного вещества возникающих при лобовых соударениях, массивных ядер следует ожидать проявлений различных аномальных эффектов (в том числе и таких экзотических, как "пионный конденсат" /6/, "адронные сверхкластеры" /7/), исследование которых может дать важную информацию для понимания структуры ядерной материи.

=====

ж) Эти исследования (п А-1) являются естественным продолжением экспериментальной программы, проводимой сейчас на СКМ-200, поэтому они рассмотрены более подробно, чем последующие физические задачи.

Использование установки СКМ-200 для изучения центральных столкновений представляется перспективным методическим подходом к этой проблеме. Действительно, сложность, многообразие проявления многонуклонных взаимодействий требует регистрации (желательно документальной) полной картины процесса в 4π -геометрии. С другой стороны центральные столкновения - очень редкий процесс. Причем, чем больше нуклонов участвует во взаимодействии, тем меньше его относительная вероятность (и тем интереснее могут оказаться проявляющиеся в нём эффекты!). Поэтому здесь нельзя рассчитывать получить статистически обеспеченные результаты с помощью неуправляемых трековых детекторов. В то же время применение стримерной камеры с избирательным запуском может дать значительную по объёму и важности экспериментальную информацию.

Для изучения центральных столкновений на установке СКМ-200 предлагается разработать систему триггера, отбирающую взаимодействия, в которых участвовали бы практически все нуклоны налетающего релятивистского ядра.

При этом имеется в виду использовать то обстоятельство, что нуклоны - спектаторы летят в довольно узком угловом конусе и имеют очень близкие по величине импульсы. Траектории других заряженных фрагментов - продуктов стриппинга также не очень сильно отличаются друг от друга, так как их кривизна в магнитном поле определяется отношением A/Z .

На рис. 3а изображены полученные на СКМ-200 распределения горизонтальных проекций треков фрагментов α -частиц при выходе их из камеры.

Из распределения видно, что около 90% заряженных фрагментов лежит в пределах ~ 10 см. На вертикальные размеры этого "пучка" магнитное поле не влияет, поэтому они ещё меньше. Размеры пучка нейтронов - спектаторов также определяются угловыми распределениями продуктов стриппинга ($\bar{\theta} \sim 30_{\text{м.рад}}$). Предполагаемая схема триггера, отбирающего центральные взаимодействия, изображена на рис. 3б. Первая часть детекторов триггера, расположенных перед камерой, идентифицирует по заряду и отбирает релятивистские

===== будет
 ж) Рабочая схема триггера разработана после завершения анализа результатов "невыборочного" облучения, соответствующих расчётов и моделирования.

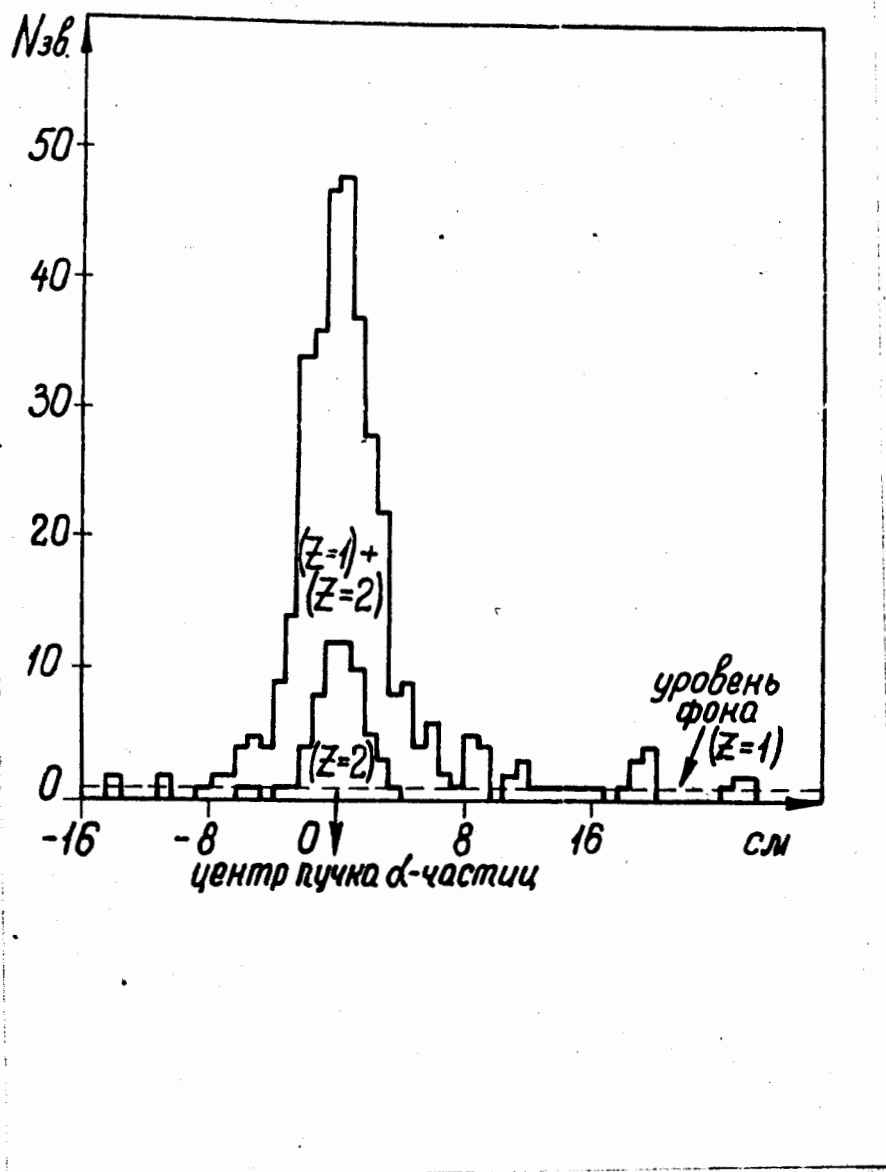
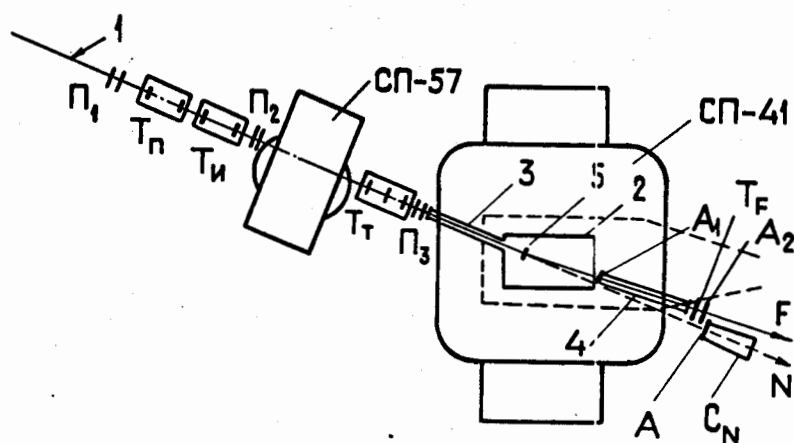


Рис.3а. Распределение горизонтальных проекций треков продуктов фрагментации релятивистских α - частиц (с $p=17\text{ГэВ}/c$) на выходе из стримерной камеры.



$$\text{Запуск} = T_{\text{п}} \times T_{\text{и}} \times T_{\text{т}} \times [T_{\text{ф}} + (\bar{A}_{\text{н}} \times C_{\text{н}})]$$

Рис.3. Схема расположения счётчиков триггера для отбора центральных взаимодействий.

- I - пучок релятивистских ядер (α - частиц);
 2 - рабочий объем камеры; 3,4 - ионопроводы;
 5 - мишень; $T_{\text{п}}$, $T_{\text{и}}$, $T_{\text{т}}$ - пучковые телескопы;
 П_1 , П_2 , П_3 - пучковые пропорциональные камеры;
 F - направление вылета заряженных фрагментов-спектрометров, $T_{\text{ф}}$ - регистрирующий их телескоп (со счётчиками A_1 и A_2); N - направление вылета нейтрон-спектрометров, $C_{\text{н}}$ - регистрирующий их счётчик с анти-совпадательным счётчиком А .

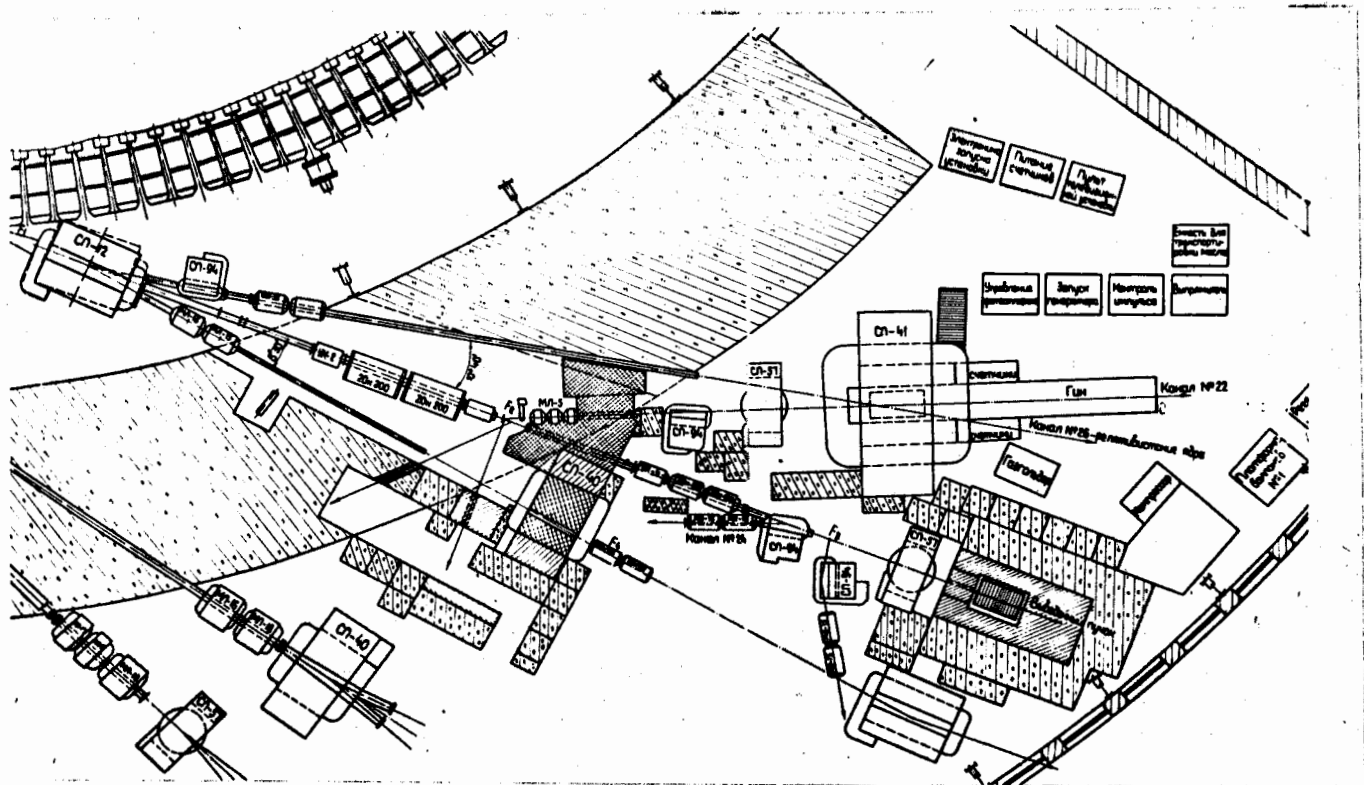


Рис.4. Схема каналов и установка СКМ-200. Стримерная камера размещена в магните СП-41. Пучок в канале № 26 формируется поворотными магнитами СП-12 и СП-94 и двумя линзами МЛ-15. По этому каналу в стримерную камеру выводится пучок ускоренных частиц ($p, d, \alpha \dots$). Если выводить пучок на мишень F_2 , то на камеру выводится пучок вторичных частиц (Π или K -мезоны), формируемые тремя линзами МЛ-5 и магнитами СП-94 и СП-57.

ядра (1), входящие по ионопроводу (3) в рабочий объём камеры (2) в пределах телесного угла, захватывающего мишень (4). Для этой цели может быть использована аппаратура, входящая в состав имеющегося на установке СКМ-200 триггера /9/: телескоп T_n - выделяющую рабочую часть пучка, телескоп T_m - отбирающий пучковые ядра по заряду, и телескоп счётчиков T_r с тонкими сцинтилляторами, для уменьшения вклада "фоновых" взаимодействий. Пучковая триггерная аппаратура должна быть дополнена системой идентификации пучка (с пропорциональными камерами) и более совершенной системой анализа ядер по заряду (см. раздел развития триггера). Образовавшиеся в результате взаимодействия пучка релятивистских ядер с мишенью (1) пучки заряженных фрагментов - спектаторов F регистрируются телескопом T_F , а стрипинговые нейтроны (N) - счётчиком C_N .

Импульсы с телескопа T_F и счётчика C_N суммируются и подаются на антисовпадения с пучковыми телескопами T_n, T_m, T_r . Вероятность случайного попадания других продуктов взаимодействия в телесный угол ($\sim 10^{-2}$ стерадиан), занимаемый телескопом T_F и счётчиком C_N , сравнительно мала^{ж)}).

Дополнительное подавление этого эффекта может дать антисовпадательный счётчик в A_N , расположенный перед C_N (δ - конвертором, если δ - фон окажется значительным), а также периферийное магнитное поле между счётчиками A_1 и A_2 (в телескопе T_F). Отбор регистрируемых событий осуществляется следующей логикой запуска

$$\text{Запуск} = T_n \times T_m \times T_r \times [T_F + \overline{A_N} \times C_N]$$

Примерная оценка эффективности работы описанного триггера может быть сделана на основании предварительного анализа экспериментальных данных относительно αLi - взаимодействий, полученных на установке СКМ-200. Используя оценку относительной вероятности взаимодействий α -частиц, сопровождающихся заряженными

=====

ж) Как показывает предварительный анализ, 90% взаимодействий с участием 2-х и более нуклонов, при которых в зону стрипинга попадает отрицательная частица с $P > 3$ Гэв/с, составляет $\sim 2 \cdot 10^{-3}$.

фрагментами - спектраторами ($0,80 \pm 0,04$), можно грубо оценить долю взаимодействий с участием всех четырёх нуклонов налетающего ядра ${}^4\text{He}$: $0,02 \pm 0,04$ от всех неупругих взаимодействий, сечение которых на ${}^6\text{Li}$ оказалось равным $\sigma_{in} = 320 \pm 15 \text{ мб}$. С учётом этих данных можно ожидать нескольких рабочих триггеров за цикл ускорителя при интенсивности $I \geq 10^5$, толщине мишени $d \geq 0,3 \text{ /см}^2$, если обеспечена общая геометрическая и аппаратурная эффективность регистрации всех 4-х стриппинговых нуклонов $\xi > 0,5$. Очевидно, что обеспечение высокой аппаратурной эффективности нейтронного счётчика является довольно сложной задачей. При достаточной длине нейтронного счётчика ($l > 1\text{м}$) можно получить

$\epsilon_{сч} > 0,8$, что даёт примесь регистрируемых 3-х нуклонных взаимодействий $< 0,2$. По-видимому наибольшую проблему в данном случае представляют фоновые запуски, обусловленные в основном следующими факторами: аппаратурной неэффективностью телескопа к регистрации пучковых α -частиц и "паразитными" взаимодействиями в веществе между телескопом T_T и счётчиком A_2 (телескопа T_F). Первый фактор можно уменьшить до $0,01 \pm 0,02$. Что же касается второго фактора, то он определяется в первую очередь толщиной "паразитного" вещества (в ионопроводах (3) (4), в окнах и газе-наполнителе камеры*) и пр.) по сравнению с толщиной мишени.

С использованием ионопровода, общая толщина которых $t \leq 0,2 \text{ /см}^2$ при толщинах мишеней $d \geq 0,3 \text{ /см}^2$ можно рассчитывать получить относительный выход полезных триггеров не хуже $0,2$. Таким образом при облучении продолжительностью ~ 400 часов, примерно, на 10^5 полученных стереофотографий можно зарегистрировать не менее $2 \cdot 10^4$ взаимодействий с участием всех 4-х нуклонов налетающего ядра ${}^4\text{He}$.

===== Взаимодействия

ж) Строго говоря в газе-наполнителе нельзя считать паразитными, так как они дают дополнительную ценную информацию о взаимодействии на ядрах неона (гелия).

Обработка и анализ этих событий позволит исследовать:

а) аномальные особенности центральных взаимодействий, проявляющиеся в таких общих характеристиках, как множественность всех заряженных частиц и π^- -мезонов, коэффициент неупругости, распределение рожденных частиц по p_{\perp} и др. (на статистике $\sim 2 \cdot 10^4$ событий);

б) дифференциальные сечения кумулятивно рожденных π^- -мезонов, их энергетические и угловые распределения (на статистике $\sim 10^4$ событий)*);

в) кумулятивные эффекты в рождении других адронов, распадающихся на заряженные частицы* (на статистике от 100+1000 событий - в зависимости от сечения рождения) / Следует подчеркнуть, что описанный триггер будет отбирать также взаимодействия α -частиц с большим переданным импульсом (см. п. А-2), обработка которых дает возможность исследовать;

г) особенности и общие характеристики взаимодействия α -частиц с переданным импульсом $p_{\perp} > 0,5$ Гэв/с. (на статистике $\sim 10^3$ событий);

д) характеристик процесса генерации π^- -мезонов, рожденных в таких взаимодействиях, их импульсные и угловые распределения, зависимость множественности от переданного импульса при $p_{\perp} > 0,5$ Гэв/с (на статистике около 10^3 событий);

е) сечения выхода когерентного рождения других адронов (на статистике несколько сот событий);

ж) выход релятивистских гиперядер ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ ${}^5_{\Lambda}\text{He}$ (см. п. А-3) (на статистике около 100 событий);

з) возможность существования многобарионных резонансов (см. п. А-2-2) (в системе $\alpha \pi^{\pm}$ - на статистике $\sim 10^3$ событий).

=====

ж) Здесь надо иметь в виду, что при малых углах рождения (< 30 мрад) и больших импульсах рожденных частиц (> 5 Гэв/с) триггер может вносить некоторые искажения (особенно для положительных частиц).

Очень важным представляется изучение зависимости перечисленных эффектов, проявляющихся в центральных соударениях, от атомного номера ядра-мишени (на статистике по 2+4 тысячи взаимодействий на 4+5 ядрах).

Конкретные условия проведения облучений с разными мишенями можно будет сформулировать после предварительного анализа экспериментальных данных ближайшей экспозиции СКМ-200, а также после рабочих испытаний камерных ионопроводов и газонаполненных мишеней (с H_2 , D_2 , He , A - и др. под давлением).

Экспериментальная программа по исследованию многонуклонных взаимодействий может быть начата на I этапе развития установки СКМ-200 1976+77 гг. (см. приложение I); основные, необходимые для этого ресурсы приведены в соответствующих разделах проекта.

Минимальные ресурсы, обеспечивающие начало облучений в IV квартале 1976 года по этой программе: затраты - 220 тыс. рублей; КБ - 2000 часов; ЭММ - 5000 нормо-часов. Очень интригующие перспективы в исследовании центральных взаимодействий связаны с использованием пучков более тяжелых релятивистских ядер. Развитие экспериментальной программы в этом направлении будет определяться прогрессом в ускорении и формировании выведенных пучков релятивистских ядер с $A > 4$, а также успешным решением ряда методических задач на установке СКМ-200.

Необходимым условием облучений в таких пучках является создание на установке СКМ-200 аппаратуры контроля за составом и структурой пучка ядер с $Z > 2$, включающей пучковые пропорциональные камеры (см. раздел У).

2. Исследование когерентных взаимодействий релятивистских ядер^{ж)}

В перспективных планах развития экспериментальных исследований на СКМ-200 когерентного взаимодействия α -частиц^{ж)} также представляется одной из ближайших проблем, в изучении которой могут быть с успехом использованы особенности методики стримерных камер.

=====

ж) Когерентным взаимодействием (здесь и далее) мы условно называем все взаимодействия релятивистских ядер без последующего их развала.

Это относится в первую очередь к когерентному рождению адронов, которое представляет собой довольно сложный и редкий процесс.

Как уже упоминалось в п.1, система отбора центральных столкновений позволяет одновременно регистрировать случаи взаимодействия α -частиц с $p_{\perp} > 0,5$ Гэв/с, без последующего их "развала". Однако для целенаправленного исследования этих проблем представляется более рациональным (по скорости набора статистики и объёму получаемой информации) использовать триггер, регистрирующий α -частицу после взаимодействия. Для этой цели может служить телескопическая система со сцинтилляционными счётчиками^{ж)}, которая выделяет 2-х зарядные частицы, вылетающие вперёд в сравнительно малом телесном угле. Предварительный анализ горизонтальных проекций точек вылета 2-х зарядных частиц после взаимодействия α -частиц на ядре ${}^6\text{Li}$ показывает, что в пределах проекции угла вылета $\bar{\theta} < 50$ мрад (от оси α -пучка) лежит более 98% всех двухзарядных частиц. Подавляющее число из них это фрагменты-спектаторы ${}^3\text{He}$, лежащие в области $\bar{\theta} < 20$ мрад (см. рис.3а), которые должны быть дискриминированы (так же как и пучковые α -частицы). Эта область должна быть перекрыта антисовпадательными счётчиками, или сама система детекторов, предназначенная для отбора провзаимодействовавших α -частиц, должна быть нечувствительной в этой области (например, содержать полость).

Таким образом, рассмотренная система может отбирать взаимодействия α -частиц с поперечным импульсом $p_{\perp} > 0,3$. Верхний предел регистрируемых $p_{\perp}(\alpha)$ зависит от размеров используемой системы детекторов, которые могут быть выбраны после полного анализа имеющихся экспериментальных данных с учётом конструктивных особенностей стримерной камеры. По предварительным оценкам примерно $0,6 \div 0,7$ от всех 2-х зарядных продуктов $\alpha \text{ Li}$ -взаимодействия, лежащих за пределами области стриппинга имеют $\bar{\theta} < 50$ мрад, что соответствует $0,3 \text{ Гэв/с} < p_{\perp} < 0,8 \text{ Гэв/с}$.

=====
ж) Использование для этой цели системы пропорциональных камер, предусмотренное настоящим проектом, даёт ряд серьёзных преимуществ и существенно расширяет экспериментальные возможности установки (см. разд. V).

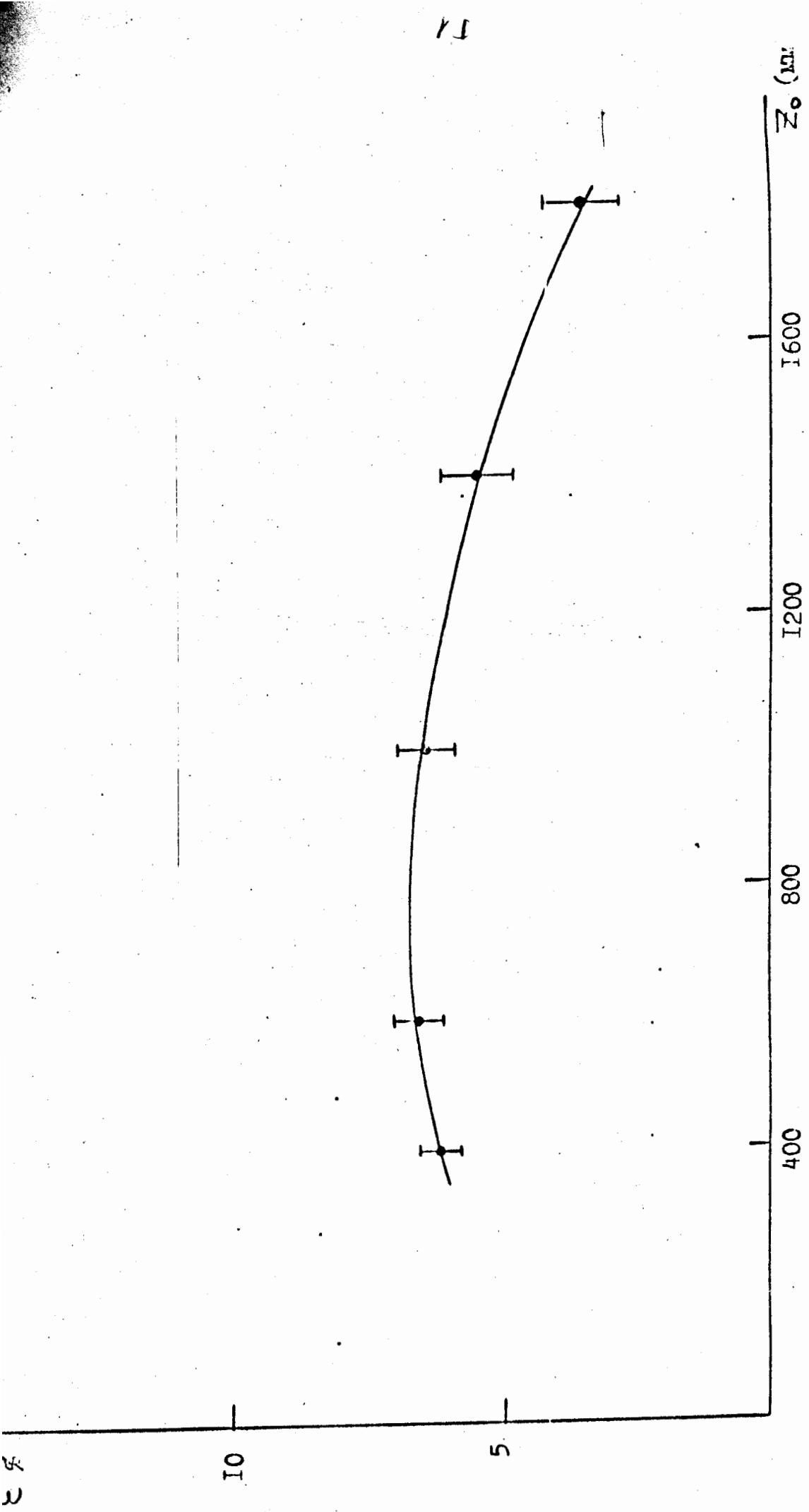


Рис. 5 Зависимость эффективности СММ-200 от положения счётчиков по Z_0 для реакции $\alpha + He^4 \rightarrow He^3 + He^3$ при $P_{He} = 5$ Гэв/с, $H = 6.0$ кгаусс.

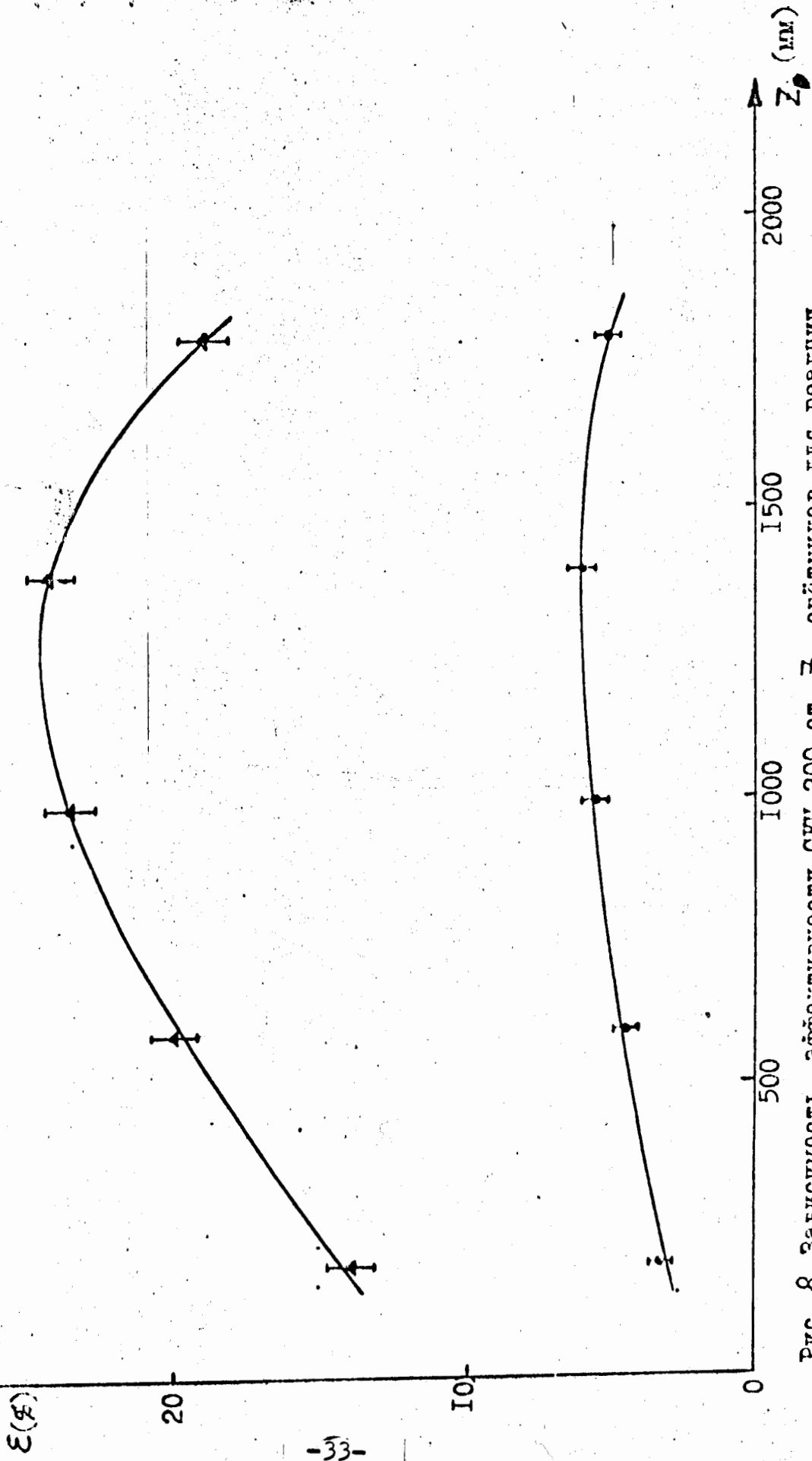


Рис. 8 Зависимость эффективности СММ-200 от Z_0 счётчиков для реакции

$$\alpha + He_4 \rightarrow \alpha + \alpha + K^0 + \pi + \pi^-$$

при $P_\alpha = 20$ Гэв/с, $H = 8$ кгаусс ($\alpha_\lambda + \pi^- p He_3$)

▲ - запуск по двухкратным совпадениям ● - запуск по трехкратным совпадениям.

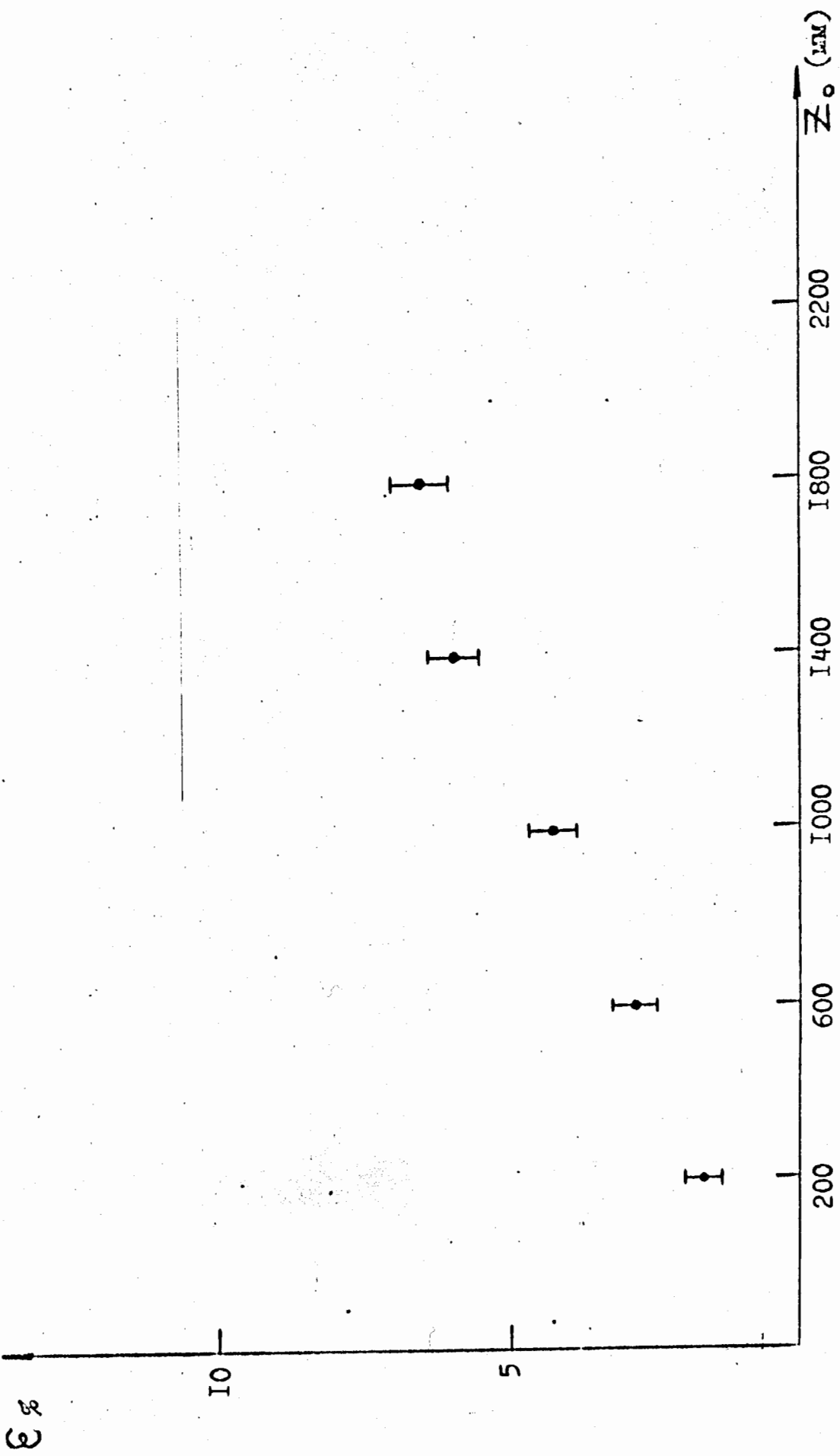
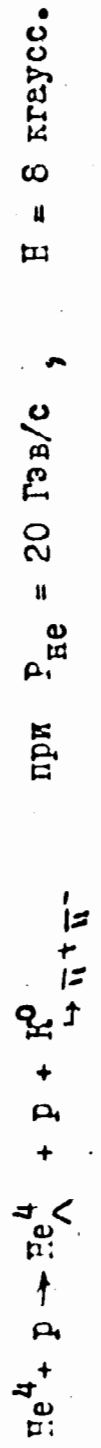


Рис. 7 Зависимость эффективности СМ-200 от положения счётчиков по Z_0 для реакции



ε_φ

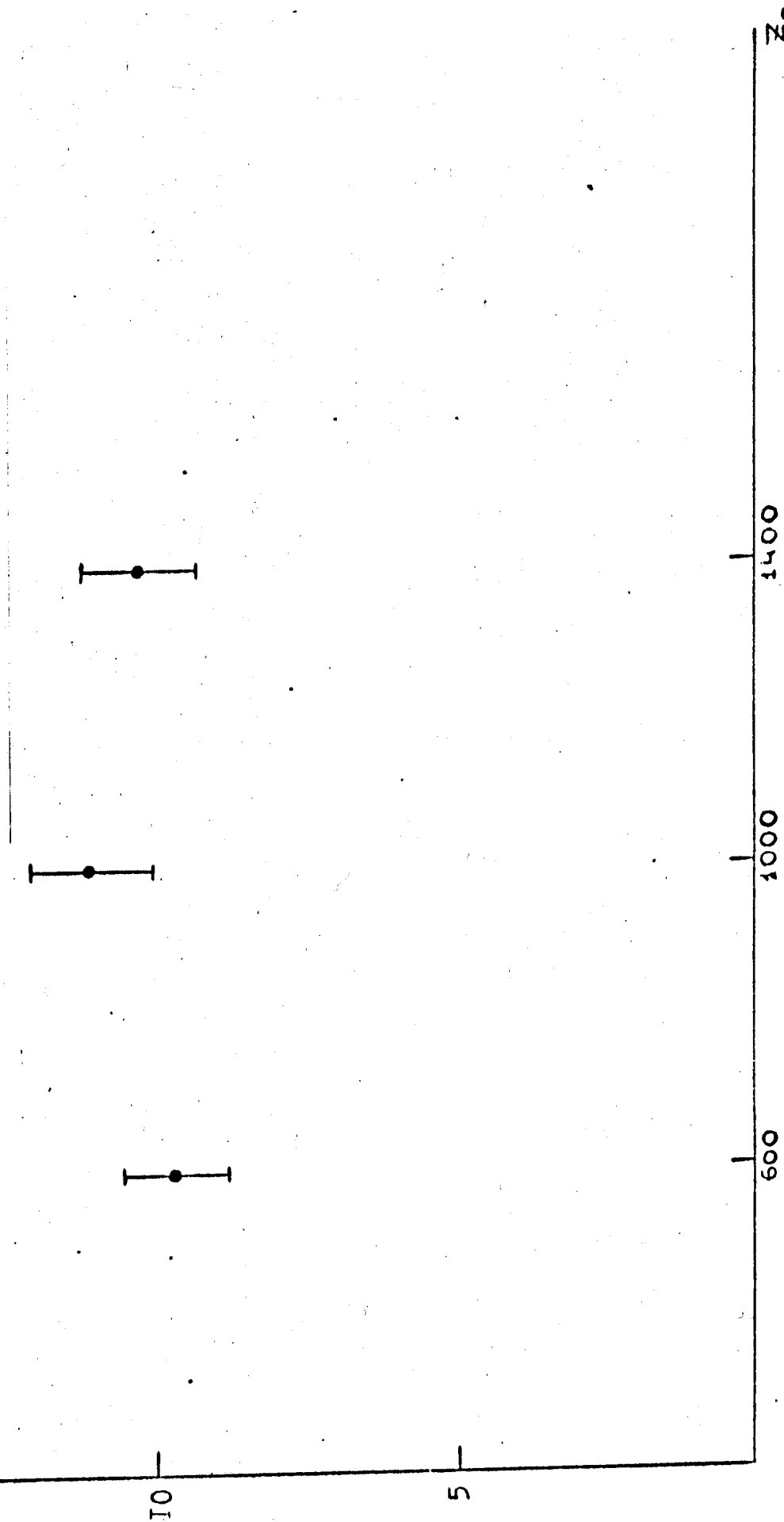


Рис. 6 Зависимость эффективности СЖМ-200 от положения счётчиков по Z₀ для реакции $He^4 + He^4 \rightarrow He^4 + He^4 + \omega + \pi^+\pi^-$ при P_{He} = 20 Гэв/с, H = 8 кгаусс.

При отборе по ионизации α -частиц будет зарегистрирована некоторая примесь провзаимодействовавших фрагментов ${}^3\text{He}$. Такие события можно существенно подавить (или замаркировать), регистрируя нейтрон-спектатор с помощью нейтронного счётчика (см. п. А-1). Окончательная идентификация может быть проведена в результате кинематического анализа зарегистрированных взаимодействий.

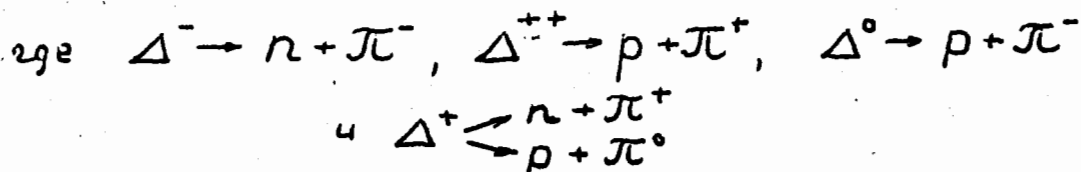
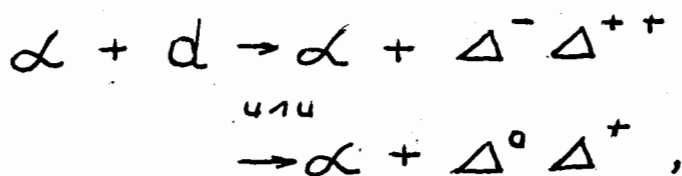
При изучении когерентного рождения адронов в триггере можно использовать также годоскопическую систему сцинтилляционных счётчиков (пропкамёр), расположенных по обе стороны от стримерной камеры, которые регистрировали бы продукты взаимодействия

α -частиц и продукты распада рожденных адронов. На рис. 4+8 приведены результаты расчётов^{ж)} эффективности регистрации различных процессов рождения с помощью такого триггера, включающего 8 счётчиков размером $170 \times 15 \text{ см}^2$ (по 4 с каждой стороны).

Ниже перечислен ряд физических проблем, связанных с исследованием взаимодействий α -частиц на легких ядрах.

а) Процесс рождения различных резонансов в $\alpha\alpha$ - и αd -взаимодействиях, практически совершенно не изученный, имеет ряд интересных особенностей. Основное из них заключается в отсутствии изобоспина у сталкивающихся α и d -частиц, что позволяет осуществлять изотопически выделенные реакции рождения и может служить проверкой изотопического состояния новых и малоизученных резонансов.

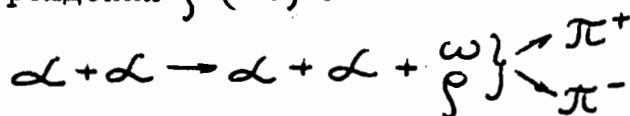
Отмеченное обстоятельство может оказаться весьма благоприятным при изучении $(\Delta \Delta)$ -структуры дейтона ${}^{10}\text{O}$ в реакции:



=====
ж) Эти расчёты проведены на ЭВМ методом моделирования под руководством Э.И. Мальцева.

б) Изучение упругого $\alpha\alpha$ -и αd - взаимодействий в 2-х метровой стримерной камере, наполненной гелием расширяет эту традиционную для ЛВЭ область исследований. Как уже упоминалось возможность наблюдения в стримерной камере α - частиц с малым переданным импульсом ($t \sim 10^{-3}$ (Гэв/с)²) позволяет успешно исследовать наиболее интересную область - область интерференции ядерной и кулоновской амплитуд. Благоприятным обстоятельством в интерпретации $\alpha\alpha$ - рассеяния является отсутствие у взаимодействующих частиц спина (отсутствие поправок на спин-орбитальное взаимодействие)

б) Проверка изотопинвариантности при взаимодействии релятивистского ядра с ядром, представляющая значительный интерес, может быть осуществлена с помощью СКМ-200 в результате исследования асимметрии в продуктах реакции ${}^4\text{He} + {}^2\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + {}^3\text{H}$ ///. При этом в триггере может быть использована кинематическая особенность этой 2-х частичной реакции (компланарность). Другим эффективным методом проверки изотопинвариантности является изучение процесса рождения $\rho(\omega)$:



Здесь нарушение изотопинвариантности может быть обнаружена по anomalously большому выходу ρ или по асимметрии в Π^+ и Π^- - мезонах, возникшей за счёт интерференции, которая в такой постановке эксперимента должна иметь ярко выраженный характер.

2) Данные о многобарионных резонансах немногочисленны, зачастую малодостоверны и относятся в основном к 2-х барионным системам. Ускорение α - частиц на синхрофазотроне открывает новое перспективное направление в поисках многобарионных резонансных систем, в частности системы $(\pi\alpha)$, которую, как показывают оценки, можно исследовать с помощью СКМ-200 на уровне сечения ~ 10 мкбн. В результате усовершенствования этой установки к 1976+1977 году её чувствительность к многобарионным резонансам может быть увеличена по крайней мере на порядок.

3) Исследование релятивистских гиперядер.

Возможность получать в пучках ускоренных ядер релятивистские гиперфрагменты открывает по существу новую область исследований. Как известно основные экспериментальные трудности при исследовании гиперядер связаны с их малыми распадными пробегами, которые делают практически невозможным наблюдение тяжелых гиперфрагментов, рождающихся, как обычно при K^- -захвате.

Использование реакции типа $A + p \rightarrow \Lambda A + p + K_I^0$ позволяет получать и кинематически выделять различные гиперядра, в том числе и тяжелые, обладающие значительными пробегами. На рис. 10

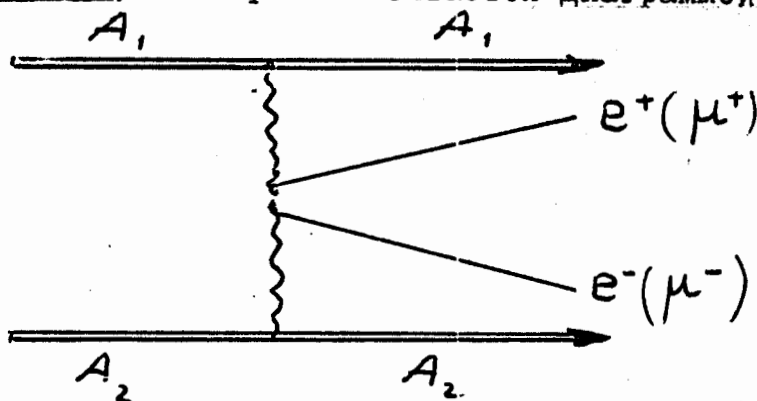
приведены полученные моделированием на ЭВМ ожидаемые распределения по пробегам (импульсам) гиперядер k_N , регистрируемых в 2-х метровой стримерной камере при наличии триггера на распад $K_I^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$, сопровождающий реакцию указанного выше типа.

Из приведенного распределения видно, что значительные пробеги релятивистских гиперядер позволяют измерять времена жизни гиперонов, связанных в ядрах с различным Z , что является одной из узловых проблем гиперядерной физики. При этом появляется также уникальная возможность исследовать взаимодействие релятивистских ядер с веществом. Другой важной также практически неисследованной областью гиперядерной физики является гиперядерная спектроскопия. Наблюдение (после σ -конвертора) корреляции жесткого σ -кванта и релятивистского гиперядра может явиться новым эффективным подходом в изучении возбужденных (изомерных) состояний. Не менее интересны поиски и исследования короткоживущих резонансных состояний, распадающихся с испусканием гиперядер.

Фундаментальное значение имеют исследования гиперядер со странностью $S \geq 2$, которые могут быть получены на синхрофазот-

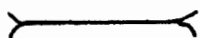
роне (нуклотроне)*). Такие ядра имеют в своем составе помимо нейтронов и протонов несколько гиперонов. Имеются серьезные теоретические основания /12/ предполагать, что ⁹¹⁹ таких ядер полная энергия связи будет значительно большей, чем у обычных ядер, поэтому многие виды распадов будут "заморожены", и время жизни может оказаться существенно больше, чем время жизни свободных гиперонов и обычных гиперфрагментов с $S = I$. Таким образом, речь идёт по сути дела о новой форме ядерной материи, более компактной, чем обычная. Изучение такой метастабильной ядерной материи имеет принципиальный интерес и может пролить свет на космогонические проблемы эволюции звёздного вещества. В этой связи следует упомянуть теорию, выдвинутую советскими астрофизиками /13/, согласно которой на определенной стадии сжатия нейтронные звёзды постепенно превращаются в гиперонные, при этом "гиперенное" вещество находится в устойчивом состоянии.

- 4) Изучение процесса рождения e^+e^- - пары за счёт 2-х фотонного обмена между релятивистского ядра с ядром, /14/ который описывается диаграммой:



- ж) Энергетические возможности синхрофазотрона позволяют в принципе получать гиперядра, с числом связанных в ядре гиперонов $3+4$, а с запуском нуклотрона это число увеличится примерно вдвое. Ещё большие возможности в этом направлении открываются при использовании кумулятивно рожденных Π и K^- -мезонов.

наиболее эффективно можно осуществить с помощью установки СКМ-200. Благодаря большому пробегу электронов и позитронов в рабочем газе стримерной камеры при соответствующем уменьшении магнитного поля можно включать в триггер "мягкие" электронно-позитронные пары, регистрируемые боковыми счётчиками. Зависимость эффективности такого триггера от величины магнитного поля приведено на рис. 9. (результат моделирования). Высокая эффективность такого триггера позволяет вести исследование рассмотренного процесса в СКМ-200 на уровне сечения $\sim 10^{-29} \text{ см}^2$ (теория предсказывает $\sim 10^{-26} \text{ см}^2$).



Рассмотренный перечень проблем релятивистской ядерной физики, которые могли бы быть исследованы с помощью установки СКМ-200, не претендует на исчерпывающую полноту. Вполне естественно, что эта экспериментальная программа будет расширяться и уточняться по мере осуществления ускорения более тяжелых ядер, получения новых результатов и развития теоретических идей. Не были рассмотрены здесь и так называемые "побочные" исследования, которые не требуют специальных ослучений установки СКМ-200 и могут быть проведены на основании дополнительного анализа материала, полученного по основной экспериментальной программе. Из такого рода исследований следует упомянуть изучение фрагментации ядер и их кластерной структуры /23/, спектроскопические исследования экзотических короткоживущих ядер / 3,24,25/ поиски проявлений протонной и 2-х протонной радиоактивности /26,27,3/.

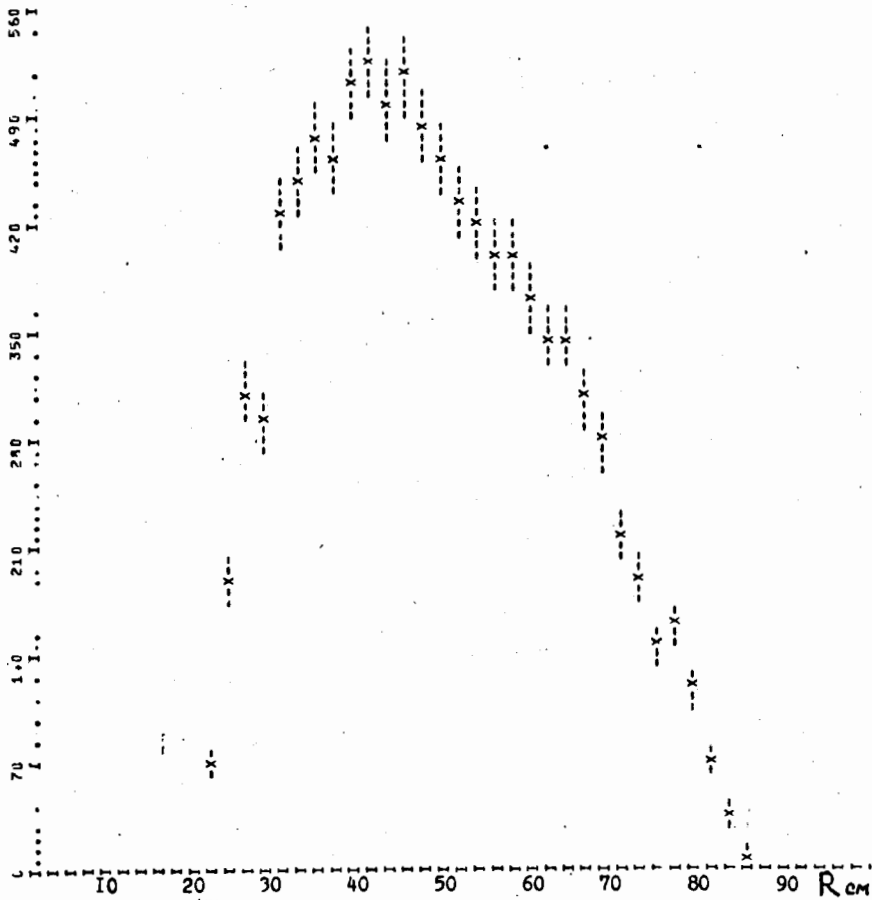


Рисунок
 Ожидаемые распределения по пробегам (R) гипер-
 ядер ${}^{13}_{\Lambda}N_7$, рожденных в реакции ${}^{12}C_6 + p \rightarrow {}^{13}_{\Lambda}N_7 + K_1^0$
 при $P_c = 20$ ГэВ/нуклон в установке СКМ-200 (результат
 моделирования).

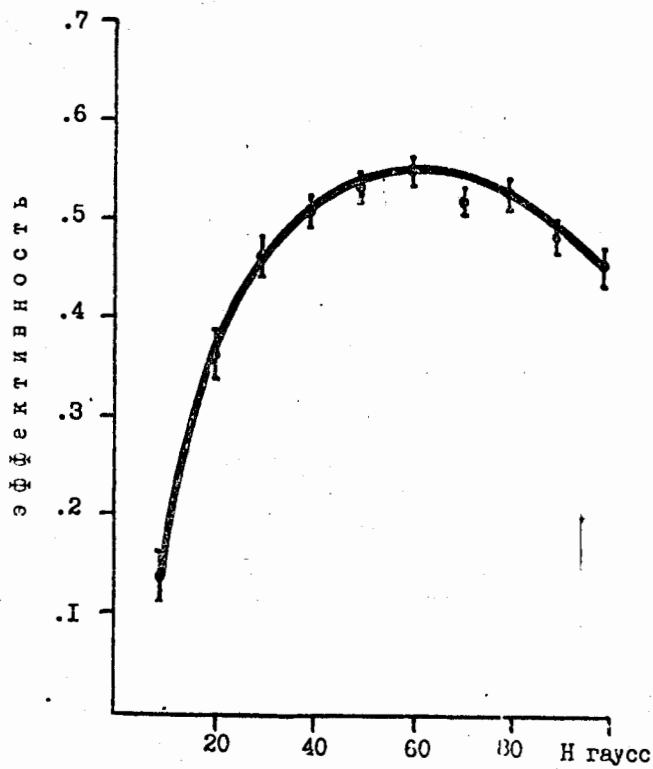


Рис. 6. Приближенный расчёт эффективности SKM-200 к реакции $\alpha + \text{He} \rightarrow d + \text{He} + e\bar{e}$ при $E_\alpha = 20$ ГэВ/с в зависимости от величины магнитного поля H.

ВОЗ

реляти
зовани
нов. I
на ни
стрипи
лучени
бирати
ном уд
длинок
интенс
Г
тельно
нейтра
тиц ст
знать
выше.

П
вуд оч
действ
устано
исходи
зовани
рическ

Среди возможных прикладных исследований необходимо выделить изучение распределений по энергии, углам и заряду продуктов взаимодействия релятивистских ядер с веществом с целью оценки их биологического воздействия ^{ж)}. Важность этой проблемы связано с тем, что высокоэнергичные ядра галактического космического излучения представляют, по-видимому, наибольшую опасность для экипажей кораблей при длительных космических полетах /28/.

Б. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ К-МЕЗОНОВ. (на ускорителях Серпухова и Дубны)

После завершения работ по реконструкции, синхрофазотрон ЛВЭ становится наряду с серпуховским ускорителем одним из наиболее интенсивных источников каонов сравнительно небольших энергий (\sim до 1,5 Гэв/с), обладающих значительным распадным фактором. Это обстоятельство позволит вывести на новый качественный уровень исследования распадных свойств K^0 -мезонов, ведущиеся сейчас на синхрофазотроне. Как известно изучение свойств К-мезонов, для которых четко формулируются правила отбора, дает фундаментальную по своему характеру информацию о наиболее общих свойствах симметрии элементарных частиц. Существенное увеличение интенсивности пучков каонов, улучшение геометрических условий размещения экспериментальной аппаратуры в результате вывода ускоренных протонов - все это открывает широкие возможности исследование распадных процессов с очень малой относительной

ж) Эти исследования уже начаты сотрудниками Института медико-биологических проблем на экспериментальном материале, полученном на установке СКМ-200.

вероятностью (от 10^{-6} до 10^{-8} по мере развития установки СКМ-200).

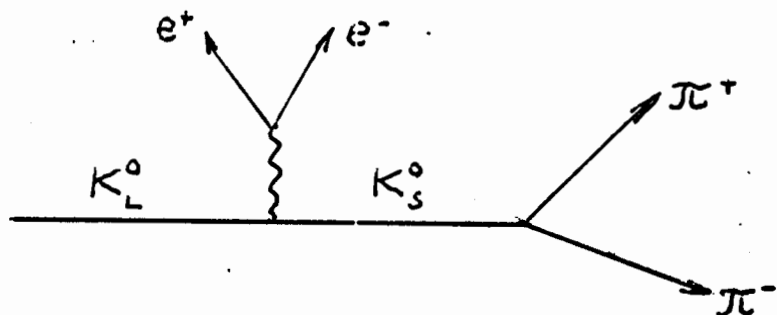
I) Исследование слабоэлектромагнитных взаимодействий каонов.

Среди редких распадов каона особое место занимают специфические процессы (до сих пор практически не изученные), которые обусловлены двумя типами взаимодействия - слабым и электромагнитным. Интерес к такому в некотором смысле новому типу взаимодействий последнее время резко усилился в связи с успешными попытками теоретиков создать унифицированную теорию слабоэлектромагнитного взаимодействия. Существуют модели, согласно которым именно слабоэлектромагнитное взаимодействие ответственно за нарушение CP-инвариантности. С помощью 2-х метровой стримерной камеры с \mathcal{D} - конвертэрами внутри рабочего объема планируются поиски и исследование эффектов CP-нарушения, которые в соответствии с существующими моделями, могут иметь значительную величину:

- а) интерференция в распадах $K_L^0 \rightarrow 2\mathcal{D}$ и $K_S^0 \rightarrow 2\mathcal{D}$;
- б) интерференция в распадах $K_L^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\mathcal{D}$ и $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\mathcal{D}$;
- в) исследование корреляций плоскостей распада $\pi^+\pi^-$ и e^+e^- в процессе $K_L^0 \rightarrow \pi^+\pi^-e^+e^-$;
- г) поиски распада $K_L^0 \rightarrow \pi^0 e^+e^-$ запрещенного CP-инвариантностью;
- д) сравнение вероятностей распадов $K_L^0 \rightarrow \mu^+\mu^-\mathcal{D}$ ($K_L^0 \rightarrow e^+e^-\mathcal{D}$).

Изучение слабоэлектромагнитных распадов, большинство которых до сих пор не обнаружено, представляется очень важным и

безотносительно к проблеме CP-инвариантности. Как известно, испускание γ - квантов при распаде каонов может возникнуть за счет тривального тормозного излучения. И хотя тормозное излучение хорошо описывается электродинамикой, здесь могут возникнуть интересные проблемы. Например, в распаде $K^+ \rightarrow e^+ \gamma \gamma$, сильно подавленном в рамках универсального V - A - взаимодействия, это подавление снимается испусканием γ - кванта, что делает реальным наблюдение и исследование процесса $K^+ \rightarrow e^+ \gamma \gamma$, который может дать ценную информацию о структуре взаимодействия. Однако наибольший интерес представляет совместное изучение тормозного и прямого (структурного) излучений (особенно в области их интерференции). Весьма привлекательным объектом исследований здесь является процесс $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$. Тормозное излучение в этом процессе сильно подавлено CP-инвариантностью, что создает благоприятные возможности для наблюдения структурной эмиссии и её интерференции с тормозным излучением. Различные модели предсказывают для относительной вероятности $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$ величину от $5 \cdot 10^{-6}$ до $6 \cdot 10^{-4}$ //5/ экспериментальная оценка верхней границы ($4,2 \cdot 10^{-4}$) //6/ не дает пока возможности проверить все эти модели. Планируемое на СКМ-200 в 1977-1978г.г. увеличение "чувствительности" к этому процессу по крайней мере на 2 порядка, дает основание рассчитывать на важные сведения об электромагнитной структуре нейтральных каонов. Подавление распада $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$ создает благоприятные условия для наблюдения вклада полюсной диаграммы



которая определяется фактором нейтрального каона во времени - подобной области ^{/17/}. Лучшая и пока единственная оценка верхнего предела для этого процесса ($\leq 3 \cdot 10^{-5}$) была сделана недавно на синхротроне ЛЭ ^{/18/}. В дальнейших экспериментах на СКМ-200 предполагается вести поиски и изучение распада $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- e^+ e^-$ на уровне относительной вероятности $10^{-7} + 10^{-6}$. Дальнейшее развитие исследований электромагнитной структуры каонов, которые являются органической частью традиционной для ЛЭ экспериментальной программы, стимулируется также следующим интригующим обстоятельством: в отличие от ситуации с пионами, нейтральные каоны тяжелее заряженных, что можно было бы объяснить их сложной электромагнитной структурой. ^(Будут исследованы также) распады $K_L^0 \rightarrow \mu^+ \mu^- \gamma$ ($K_L^0 \rightarrow e^+ e^- \gamma$) (уже упоминавшиеся в связи с проблемой CP-инвариантности), которые могут дать ценную информацию о таких фундаментальных вопросах, как (μe) - универсальность, пределы "обрезания" слабых взаимодействий (Λ - параметр) и т.д.

2) Поиски других редких распадов K^0 -мезонов

а) Фундаментальное значение для проверки универсальности слабого взаимодействия имеет наблюдение и оценка относительной вероятности распада $K_L^0 \rightarrow K^{\pm} e^{\mp} \gamma$ с последующим сравнением её с относительной вероятностью β - распада π -мезона. Ожидаемая величина относительной вероятности распада $K_L^0 \rightarrow K^{\pm} e^{\mp} \gamma$ очень мала. Однако планируемое увеличение интенсивности пучков K_L^0 -мезонов и совершенствование установки СКМ-200 позволяют рассчитывать на успех. При этом имеется в виду в триггере установки использовать характерные кинематические особенности

распада $K_L^0 \rightarrow K^\pm e^\pm \nu$.

б) В распадах $K_L^0 \rightarrow \pi^\pm \mu^\mp \nu$ и $K_L^0 \rightarrow \pi^\mp e^\pm \nu$ реализуются редкие условия, в которых можно наблюдать связанные состояния $(\pi^\mp \mu^\pm)$ и $(\pi^\mp e^\pm)$.

В отличие от известных в физике "атомных" состояний вещества в $(\pi\mu)$ и в (πe) - "атомах" мюон (электрон) оказывается связанным с сильно взаимодействующей частицей, не обладающей барионным зарядом. Наблюдение и изучение этой новой формы существования метастабильного вещества представляет значительный интерес.

Ожидаемая вероятность образования $(\pi\mu)$ и (πe) - атомов очень невелика ($\sim 10^{-7}$) /19/. Тем не менее специфические свойства этого связанного состояния, позволяют в принципе выделить его среди значительного числа фоновых событий. Имеется в виду, во-первых, характерные особенности 2-х частичного распада $K_L^0 \rightarrow A_{\pi\mu} + \nu$, во-вторых, малая энергия связи в $\pi\mu$ и πe атомах, благодаря чему они "разваливаются" при прохождении очень тонких мишеней (0,5 мм Al).

Проведенные расчёты и моделирование показали, что наблюдение $(\pi\mu)$ и (πe) - "атомов" лежит на пределе теперешних экспериментальных возможностей установки СКМ-200. Однако планируемое развитие установки, предусматривающее включение в её триггер пропорциональных камер, делает поиск этих "экзотических" связанных состояний вполне реальным.

3. Корреляционные опыты с K^0 - мезонами.

Открывающиеся после реконструкции синхрофазотрона (и особенно после сооружения нуклотрона) возможности создания

высоко интенсивного пучка антипротонов малых энергий (с $I \approx 10^4 \div 10^5$ \bar{p} /цикл) позволяют осуществить уникальные эксперименты, в которых можно изучать K_S^0 - мезоны практически в "чистом" виде. В обычных условиях при рождении K^0 или \bar{K}^0 - мезона короткоживущая K_S^0 - компонента выступает в момент рождения в равной смеси с K_L^0 - компонентой. Со временем K_S^0 - компонента быстро убывает и нейтральные каоны превращаются в чистые K_L^0 - мезоны. Однако, если использовать реакцию захвата $\bar{p} + p \rightarrow K_S^0 K_L^0$ и регистрировать вылетевшие в одном из направлений K_L^0 - мезоны, то в противоположном направлении мы будем иметь дело с K_S^0 - мезонами, в которых примесь K^0 - мезонов подавлена по крайней мере до $5 \cdot 10^{-3}$ [22]. Осуществление таких корреляционных опытов позволяет вести эффективные поиски CP-нарушения в распаде $K_S^0 \rightarrow 3\pi$ [20]. При этом произвольно могут быть выбраны такие условия эксперимента, когда интерференция распадов $K_S^0 \rightarrow 3\pi$ и $K_L^0 \rightarrow 3\pi$ будет иметь ярко выраженный характер. В этой связи следует подчеркнуть, что нарушение CP-инвариантности было зарегистрировано до сих пор только в распадах K_L^0 - мезонов. Поэтому наблюдение эффектов CP-нарушения в распадах других частиц имеет принципиальное значение.

Эксперименты с "чистыми" K_S^0 - мезонами дают редкую возможность проверить одно из следствий CPT - инвариантности, которая требует равенство амплитуд регенерации $K_L^0 \rightarrow K_S^0$ и $K_S^0 \rightarrow K_L^0$. Для проверки фундаментальной CPT - теоремы можно использовать также реакцию $\bar{p} + p \rightarrow K_S^0 + K_{S,L}^0 + (\pi^0)$ [21]. Для осуществления рассмотренных корреляционных экспериментов может быть с успехом использована 2-х метровая стримерная камера с γ - конверторами и с жидководородной мишенью, расположенной внутри её рабочего объема.

Л И Т Е Р А Т У Р А (к разделам I-II)

- I. В.П.Алексеев, А.М.Балдин, Ю.Д.Безногих и др. Сообщение ОИЯИ 9-7148, Дубна (1973).
- Ia. Э.О.Оконов. Сообщение ОИЯИ, 8309, Дубна (стр.104) (1974).
(Возможные исследования на нуклотроне с помощью установки СКМ)
2. Б.П.Банник, Ю.Лукстиньш, Э.И.Мальцев и др. ОИЯИ Б-2-1-7119(1973).
3. Э.О.Оконов. Сообщение ОИЯИ I-8578, Дубна (1975).
4. H.Neckman. Preprint LBL-2052 (1973).
5. А.М.Балдин. ДАН СССР 222 № 5 1064 (1975).
6. А.Б.Мигдал. Препринт ИТФ АН СССР (1974).
7. Б.Н.Калинкин, В.Л.Шмонин. Сообщение ОИЯИ 8309 (стр.24) Дубна (1974).
8. М.Х.Аникина, А.М.Балдин, Б.П.Банник и др. Сообщение ОИЯИ I-9280 (~~в печати~~) Дубна (1975).
9. М.Х.Аникина, Б.П.Банник, С.Г.Басиладзе и др. Сообщение ОИЯИ I3-9030, Дубна (1975).
10. L.S.Kisslinger. Phys.Lett. 48B, 410 (1974)
11. G.Barshay, G.Temmer. Phys.Rev.Lett. 12 728 (1964)
12. В.Огиевецкий, Сян Дин-чан. Препринт ОИЯИ P-I583 (1964)
13. Г.С.Саакян. Природа II, I4(1960 г.).
14. В.Буднев, И.Гинзбург, Г.Меледин, В.Сербо ЭЧАЯ 4, 239 (1973)
15. S.Oneda, J.Latn. Phys.Rev.155 1621(1967)
C.Lai, B.Young. Nouv.Cim. 52 83 (1967)
S.Pepper, Y.Uede. Nuov.Cim.33 1614 (1964)
- 16 R.Tacher et al. Phys.Rev. 174 1674 (1968)

17. Л.Кондратюк и др. Препринт ИТЭФ № 626 (1968), ЯФ 8 983 (1968)
18. М.Аникина, Б.Банник, Г.Варденга и др. Сообщение ОИЯИ Р-1-7539, Дубна (1973).
19. Л.Неменов. Препринт ОИЯИ Р-2-6159, Дубна (1971).
20. Д.Лукстиньш, Э.Оконов. Препринт ОИЯИ Р-2850 (1966).
21. В.Любошиц, Э.Оконов, М.Подгорецкий. Препринт ОИЯИ Р-2-3310 (1967); ЯФ 6 1248 (1967)
22. R.Armenteros et al. 1962. Inter. Conf. on High Energy Physics. CERN p. 351; C.Baltay et al. PRL 15 532 (1965).

23. А.И.Титов. Сообщение ОИЯИ 8309 стр.42 Дубна (1976).
24. В.Д.Тонеев. Сообщение ОИЯИ 8309 (стр.40) Дубна (1974).
25. П.Зелински. Сообщение ОИЯИ 8309 (стр.65) Дубна (1974).
26. Б.С.Джелепов. Изв. АН СССР 15 498 (1951)
27. В.И.Гольданский. ЖЭТФ 39 497 (1960)
28. Н.И.Рыжов, Б.С.Федоренко. Сообщение ОИЯИ 8309 стр.201, Дубна (1974)

III. СИСТЕМА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИМПУЛЬСНОГО ПИТАНИЯ (С В И П)

Важнейшей задачей развития установки СКМ-200 является повышение её эффективности. Одним из основных параметров, влияющих на эффективность, является количество фотографий, полученных за единицу времени в эксперименте. Увеличение быстродействия установки существенно снижает затраты, при решении задач, связанных с набором большой статистики.

В качестве примера можно привести число возможного количества снимков событий, которые могут быть получены при разных режимах установки. При срабатывании один раз в цикл ускорителя можно получить следующее количество фотографий за время:

ускоритель	час	сутки	15 суток
У-10	400	8000	120000
У-70	400	8000	120000

если коэффициент использования времени ускорителя 0,80. При срабатывании установки с частотой $f = 10$ гц, учитывая растяжку пучка, можно получить следующее количество фотографий:

ускоритель	час	сутки	15 суток	растяжка
У-10	около 1000	20.000	300.000	300 мс
У-70	18000	40000	600000	1,5 с

таким образом, используя установку, рассчитанную на многократное срабатывание в цикл ускорителя, во многих задачах можно существенно сократить время набора статистики.

Увеличение быстродействия установки и возрастание объема служебной информации требует повышения технического уровня вывода информации, для чего необходимо использовать ЭВМ. В дальнейшем, на основе этой информации, можно будет иметь возможность автоматического регулирования параметров высоковольтного импульса с помощью ЭВМ.

Стримерная камера установки СКМ-200 может регистрировать несколько десятков событий за цикл ускорителя, но регистрирует только одно событие, т.к. система высоковольтного импульсного питания и система фоторегистрации срабатывают один раз за цикл ускорителя /1/.

В настоящем проекте рассматривается возможность увеличения быстродействия 3-х электродной стримерной камеры установки СКМ-200 ОИЯИ, а именно увеличение быстродействия системы высоковольтного импульсного питания (СВИП) СКМ-200 и создание СВИП для установки "Адрон-44" ИФВЭ АН Каз.ССР.

1. 3-х электродная стримерная камера.

Время восстановления стримерной камеры специально не измерялось, но предполагается, что оно находится в пределах 1 нс ^{/2/}. Увеличение быстродействия СВИП позволит уточнить время восстановления, при этом целесообразно использовать небольшие экспериментальные стримерные камеры с меньшими зазорами, т.е. на меньшее напряжение.

В настоящее время быстродействие СВИП зависит в значительной мере от быстродействия фоторегистрирующей аппаратуры, откуда определяется минимальный цикл восстановления СВИП - равный $0,1 \text{ с}$ для СКМ-200. и $\sim 1 \text{ с}$ для установки "Адрон-44", которая работает на космических лучах.

Стримерная камера установки СКМ-200 и искровая трековая камера установки "Адрон-44", для которых разрабатывается одна СВИП, имеют неоновое или гелиевое наполнение. У инертных газов время жизни свободных электронов велико ($100 \div 1000 \text{ нс}$) и для развития разряда требуется наименьшая, по сравнению с другими газами, напряженность электрического поля. Так для пробоя Ne статическим напряжением требуется поле порядка $1,5 \frac{\text{кВ}}{\text{см}}$, а для воздуха - $30 \frac{\text{кВ}}{\text{см}}$.

При постоянном количественном и качественном составе, газового наполнения камеры и фиксированной величине задержки высоковольтного импульса характеристики стримерного и искрового следа существенно зависят от параметров импульса: амплитуды, длительности, крутизны нарастания и спада, стабильности.

Для более эффективного использования времени на ускорителе во время эксперимента является важной возможностью быстрой смены вышедших из строя узлов, т.е. повышение ремонтпригодности, СВИП.

Как следует из работы ^{/3/}, длина стримеров примерно одинакова при $E^2 t_u = \text{const}$, причем $E^2 t_u \sim \text{const}$ в достаточно широкой области изменения E и t_u . В работе ^{/4/} показано, что для наиболее

употребительных систем формирования форма их высоковольтного импульса может быть приведена к прямоугольному эквивалентному импульсу с $E_э$ и $t_э$. Очевидно, что эквивалентный импульс будет единственным для каждого реального, естественно, что лучшее качество треков обеспечит импульс с большой амплитудой $E_э$ и меньшей длительностью $t_э$. При этом длительность импульса должна быть в пределах 10÷15 нс, напряженность поля в камере 15÷30 $\frac{\text{кВ}}{\text{см}}$.

Стримерная камера имеет низкоомный электрический импеданс (38 ом), поэтому формирование на ней электрического импульса представляется трудной задачей. Двойная формирующая линия типа "Blumlein" является в настоящее время надежной системой при формировании высоковольтных импульсов малой длительности на низкоомной нагрузке.

2. Основные характеристики СВИП-10.

Разрабатываемая СВИП должна иметь следующие основные электрические параметры табл. I.

Таблица I

№ п/п	Параметр	Обозначение	СКМ-200	Адрон-44	
1.	Волновое сопротивление	Z_b	ом	40	12
2.	Амплитуда выходного импульса	$U_{\text{вых.}}$	кВ	600	400
3.	Длительность выходного импульса	t_u	нс	10÷15	20÷25
4.	Стабильность амплитуды		%	2	2
5.	Время задержки выходного импульса	$t_э$	нс	400	400
6.	Запуск СВИП производится импульсом	U	В	30	30
		t	нс	100	100
7.	Время восстановления СВИП				
	а) 3-х электродная стримерная камера	T_u	с	0,1	-
	б) искровая трековая камера	T_u	с	-	1
	в) экспериментальные стримерные камеры	T_u	с	$\leq 0,1$	-

При этом к СВИП предъявляются основные технические требования:

1. СВИП предназначается для работы на ускорителе и в условиях высокогорной космической станции.
2. Аппаратура СВИП должна работать в условиях длительной, непрерывной эксплуатации.
3. СВИП должна удовлетворять требованиям **ТБ** и противопожарной безопасности.
4. СВИП и контрольно-управляющий комплекс (КУК) должны проектироваться по единому техническому требованию к конструкции.

В настоящее время не существует достаточно мощных источников постоянного высокого напряжения соответствующих габаритов, при выходном напряжении несколько сот кВ, поэтому в СВИП-10 будет применяться импульсный заряд ДФЛ генератором импульсного заряда (ГИЗ).

Для получения высоковольтных импульсов была выбрана схема ВВГНИ, состоящая из 3-х основных узлов:

1. ДФЛ
2. ГИЗ ДФЛ
3. ИВПН

и соответствующего вспомогательного оборудования. Электрическая схема ВВГНИ СВИП-10 для 3-х электродной стримерной камеры СКМ-200 изображена на рис. СВ-1.

Двойная формирующая линия.

Как выше упоминалось, двойная формирующая линия (ДФЛ) предназначается для формирования ВВ импульса амплитудой ~ 600 кВ, длительность $10 \div 15$ нс и ~ 400 кВ при длительности импульса $20 \div 25$ нс, причем длительность импульса можно регулировать путем замены внутреннего электрода ДФЛ. Изменение его геометрической длины приводит к изменению длительности импульса. В качестве диэлектрика, заполняющего объем ДФЛ между электродами, используется трансформаторное масло с $\epsilon = 2,2$, которое упрощает выполнение электрической изоляции.

Основным узлом ДФЛ является искровой разрядник (ИР), коммутирующий электроды ДФЛ. Индуктивность и сопротивление искры разрядника формируют фронт импульса, причем $t_p \sim \frac{L}{R}$, и важнейшей задачей при разработке разрядника является уменьшение индуктив-

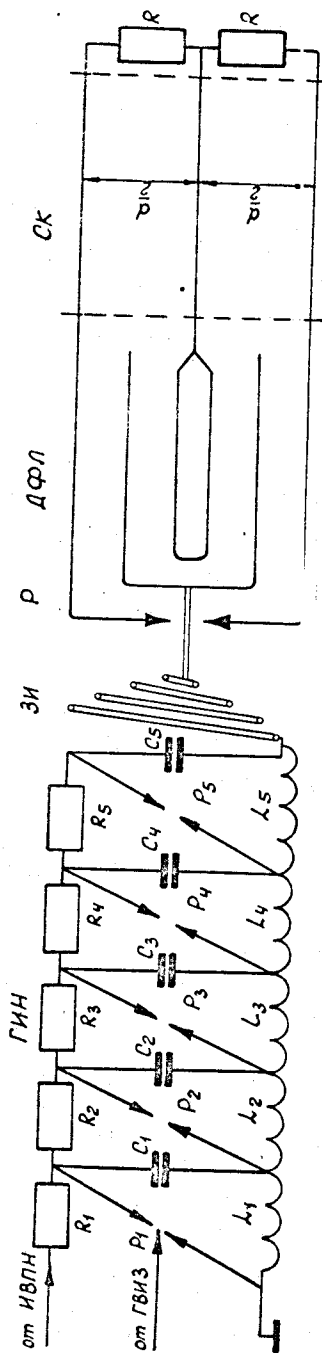


Рис. СР-1 Электронная схема ВЧМ СМР-10

ности искры.

Существующий разрядник имеет достаточно высокую стабильность срабатывания, но требуется разработка разрядника, который позволил бы получать импульсы с минимальными фронтами.

Генератор импульсного заряда двойной формирующей линии

Генератор импульсного заряда ДФЛ состоит из генератора импульсных напряжений (ГИН) и зарядной индуктивности. ДФЛ является емкостной нагрузкой для ГИН, поэтому через индуктивность происходит резонансный заряд ДФЛ.

Применение керамических конденсаторов в качестве емкостных накопителей позволило бы упростить конструкцию ГИНа, но, как показывает практика, такие конденсаторы работают надежно при заряде их до 30-50% зарядного напряжения.

В проектируемом ГИНе будут использоваться бумажно-масленные конденсаторы промышленного ГИН-500 Серпуховского завода "Конденсатор", помещенные в бакелитовый цилиндр с трансформаторным маслом.

ГИН имеет 5 ступеней на зарядное напряжение 100 кВ, емкость каждой ступени - 20000 пФ.

Для защиты конденсаторов от перенапряжений и улучшения теплоотвода от зарядных и разрядных цепей, одна из зарядных ветвей заменяется защитной спиралью, окружающей ГИН по всей его длине. Зарядная индуктивность (ЗИ), изготавливается в виде полусферической катушки, сопряженной с защитным соленоидом, и выполняет также функции экрана, что позволит упростить конструкцию ВВГНИ. В целом конструкция ВВГНИ предусматривает как быструю замену ГИЗ резервным (РГ), так и отдельных его узлов, т.е. обладает высокой ремонтопригодностью. Резервный ГИЗ и ЗИП к ВВГНИ размещаются на технологической тележке (ТТ). В ГИН, в качестве высоковольтной изоляции, используется азот под давлением 5 атм., поэтому, при наполнении ГИНа или замене его, требуется большой объем газа, кроме того азот применяется в системе пожаротушения (в случае возгорания трансформаторного масла ДФЛ), поэтому азотные баллоны необходимо монтировать на отдельной технологической тележке (ТАБ), на которую проведены магистрали от ГИНа и системы пожаротушения.

Источник высокого постоянного напряжения.

В проектируемой СВИП-10 предполагается увеличить частоту в 10 раз, т.е. довести число срабатываний, за время предполагаемой растяжки пучка - I в до 10 раз, т.е. фактическое увеличение частоты импульсов будет не на один, а на $6^{\text{ва}}$ порядка, т.е. в 100 раз, а также в 100 раз должна увеличиться и мощность источника, при одинаковых значениях $U_{\text{зар}}$ и C_r . Увеличение частоты посылки импульсов ВВГНИ усложняет задачу по выбору ИВПН, т.к. в данном случае требуется источник достаточно мощный, способный обеспечить импульсный ток при заряде ГИНа до 2А. В качестве ИВПН для СВИП-10 предполагается использовать источник АТФ-400, имеющий выходное напряжение 80 кВ, при зарядном постоянном токе 400 мА. Можно надеяться, что этот источник сможет развить требуемый зарядный импульсный ток до $I,5 \div 2$ А. ГИН заряжается от источника высокого напряжения через зарядные сопротивления (БЗС), при этом на них теряется 50% энергии заряда. Энергия запасаемая в ГИНе, за один заряд равна 500 дж, столько же теряется и на зарядных сопротивлениях. При частоте 10 срабатываний за цикл, на зарядных сопротивлениях выделится 5 кдж, поэтому сопротивления были выделены в отдельный блок зарядных сопротивлений (БЗС), размещенный на одной тележке с ИВПН. Были рассмотрены и другие схемы заряда ГИН, но они не дали хорошего результата или по электрическим параметрам или конструктивным. Временная диаграмма работы СВИП дана на рис. СВ-2.

Система вывода информации СВИП.

Для вывода информации СВИП предполагается использовать ЭВМ ТРА-1001. Информация будет выводиться на дисплей и АЦПУ, что позволит оператору контролировать работу ВВГНИ визуально в процессе эксперимента, а нужную, математически обработанную информацию об электрических параметрах распечатать на АЦПУ.

Будет выводиться следующая информация:

1. Выходное напряжение источника постоянного высокого напряжения.
2. Выходное напряжение ГИН

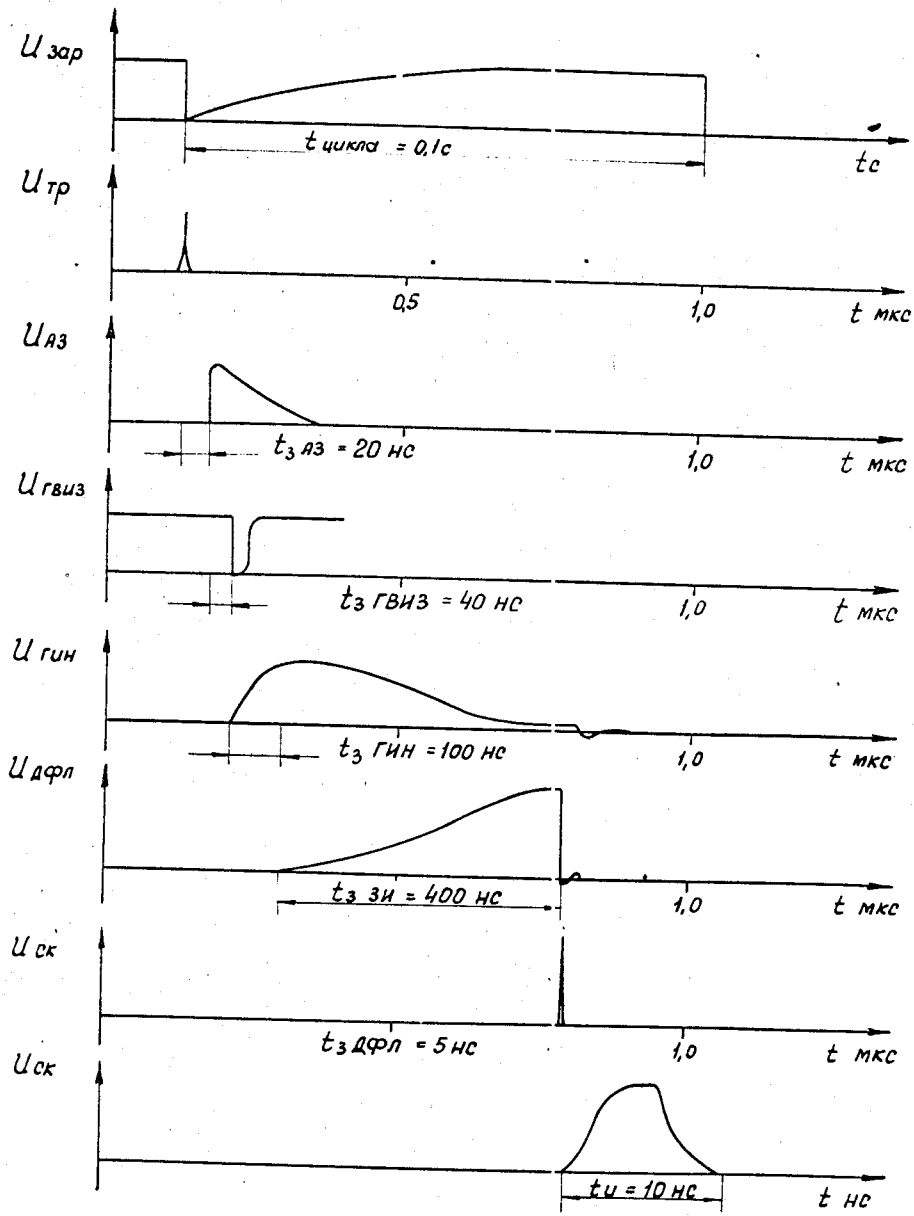


Рис.СВ-2 Временная диаграмма работы СВЧ-10

3. Разрядный ток ГИН.
4. Напряжение на СК.
5. Задержка ВВ импульса.
6. Давление в разряднике ДФЛ.
7. Давление в ГИН.

СВИП стримерной камеры совместно с системой вывода контроля и системой управления приведена на следующей структурной схеме рис. СВ-3.

В настоящее время в КБ ЛВТА заканчивается выпуск технической документации на конструкцию и компоновку СВИП-10, которая разрабатывалась совместно с ЛВЭ и ИФВЭ АН Каз.ССР (для установки "Адрон-44".)

При проектировании СВИП-10 совместно с контрольно управляющим комплексом требуется единое техническое решение на компоновку и размещение всей системы и её технологического и ремонтно-наладочного оборудования, которое является необходимым, как в процессе эксперимента, так и во время отладки установки.

В процессе развития системы требуется время в КБ и ЭММ ЛВТА для разработки и изготовления новых узлов СВИП.

При сборке СВИП и доведения её до рабочего состояния, для проведения высоковольтных испытаний ВВГНИ, а также отдельных его узлов требуется помещение для испытательного стенда согласно ПТБ. Ориентировочно площадь высоковольтного испытательного стенда стримерной камеры должна быть равна 120м^2 . Размещение основных узлов СВИП и контрольно-управляющего комплекса (КУК), необходимых при проведении стендовых испытаний, приведено на рис. СВ-4.

Состав СВИП.

1. Испытательная стримерная камера.
2. Экспериментальные стримерные камеры.
3. Двойная формирующая линия.
4. Разрядник ДФЛ.
5. Индуктивность.
6. Генератор импульсных напряжений.
7. Источник высокого постоянного напряжения.
8. Блок зарядных сопротивлений.

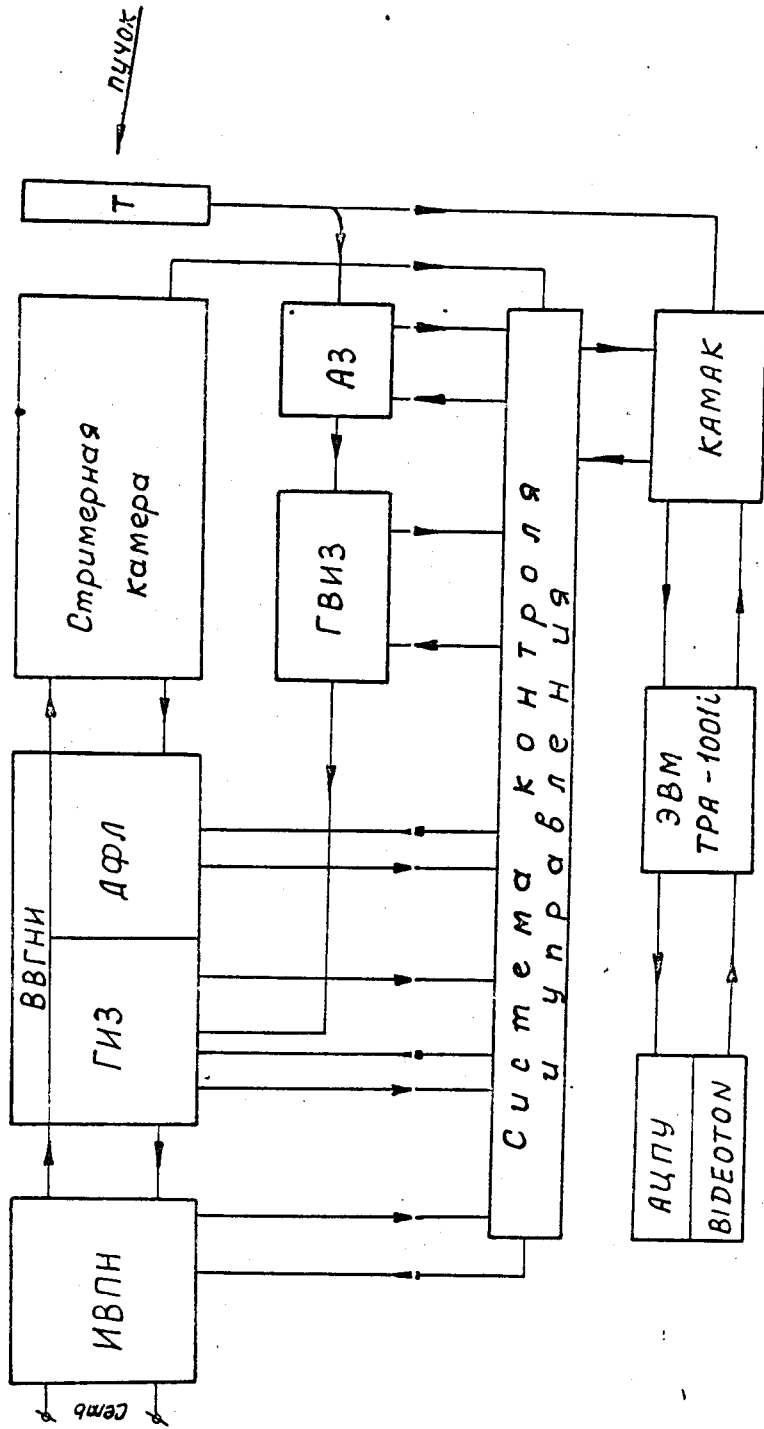


Рис. СВ-3 Структурная схема СВМ с системой контроля и управления.

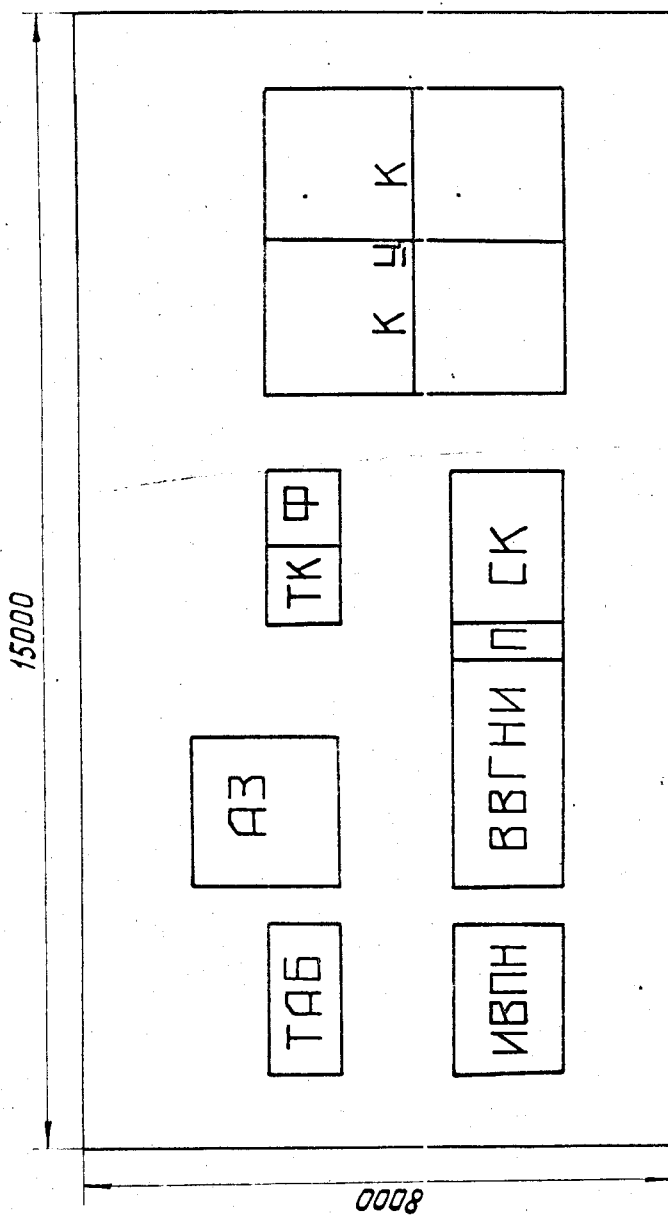


Рис. СВ-4
 Размещение высоковольтного испытательного стенда
 струйной камеры.

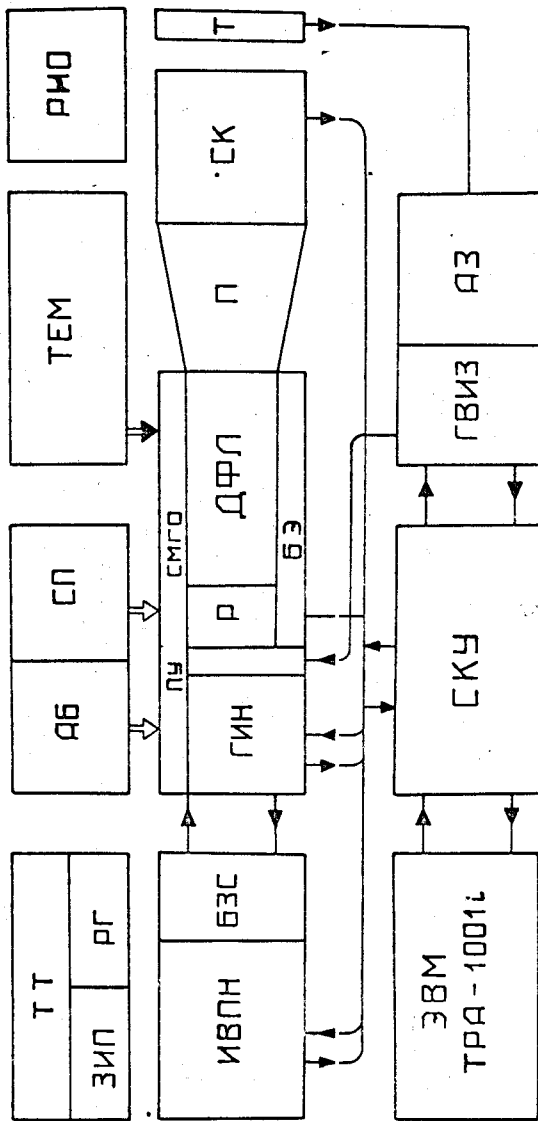


Рис. СР-5 Структурный охват СМЛП-10

9. Система газообеспечения ГИН и разрядника ДФЛ.
10. Аппаратура запуска.
11. Технологическая емкость.
12. Технологическая тележка с резервным ГИН и ЗИП.
13. Технологическая тележка с азотными баллонами.
14. Баллоны с азотом и элегазом.

Структурная схема СВИП и ее технологического оборудования представлена на рис. СВ-5.

Преимущество проектируемой СВИП- отражается в том, что сама СВИП и ее технологическое оборудование единые как при работе с 3-х электродной стримерной камерой, так и с искровой трековой камерой. Отличие заключается только в длине формирующей линии и переходе от ДФЛ к камере.

Как выше упоминалось, с помощью ЭВМ ТРА-1001 и других исполнительных механизмов в дальнейшем будет осуществляться автоматическое регулирование электрических параметров, в соответствии с поставленной задачей на эксперименте. Регулирование электрических параметров СВИП можно осуществить путем изменения:

1. Давления в разрядниках ГИН
2. Давление в разряднике ДФЛ
3. Выходного напряжения ИВПН

Регулирование будет проводиться автоматически ЭВМ по заданной программе или вручную оператором с пульта управления.

Дальнейшее развитие СВИП.

При проектировании СВИП-10 большое внимание уделяется надежности работы ВВГНИ и простоте его конструкции. Было рассмотрено несколько вариантов схем ВВГНИ и выбран вариант, который удовлетворяя заданным требованиям, может быть выполнен в короткие сроки. Другие варианты, изменения касаются отдельных узлов ВВГНИ, требуют проведения большой НИР и времени КБ и ЭММ. При получении положительных результатов, СВИП в целом может быть значительно упрощена, а уровень технических и электрических параметров повысится. Вопросы, которые нужно решить по отдельным узлам СВИП-10 следующие:

1. Стримерная камера

Стримерная камера имеет относительно небольшое время восстановления. Уменьшение его может быть достигнуто путем уменьшения общего числа ионизационных процессов в объеме камеры. Это может быть достигнуто, если процесс образования стримеров обрывать в самом начале, т.е. вести фотографирование трека, образованного лавинами. Однако свечение такого трека очень мало. Применение светоусилителей очевидно позволит решить эту проблему, тем самым повысится локализация трека и уменьшится мертвое время камеры, т.е. увеличится число событий, которые можно зарегистрировать в камере.

2. ДФЛ

Применение трансформаторного масла в качестве изоляционного материала приводит к увеличению числа вспомогательного оборудования, а также к созданию системы пожаротушения. Упрощение конструкции СВИП в целом можно добиться, используя газ под давлением в ДФЛ в качестве электроизоляционного материала. Однако, применение газа связано с большими трудностями из-за его небольшой электрической прочности.

Улучшение параметров импульса можно добиться, используя "конический *Vluchtsein*", который выдает на низкоомной нагрузке (25 Ом) импульс с фронтом $\approx 0,4$ нс /5/. Такие фронты получают при коммутации аксиально-рационального разрядника ДФЛ. Применение такой сис-

темы формирования импульсов в СВЧ в настоящее время не представляется возможным, т.к. её проектирование и настройка требует проведения НИР, как и в случае газового наполнения ДФЛ.

3. ГИЗ и ИВЧН.

Импульсный разряд ДФЛ объясняется с одной стороны отсутствием источника высокого постоянного напряжения с $U_{зар} > 500$ кВ и достаточно мощного, с другой стороны нет экспериментальных данных о характере электрической прочности ДФЛ на высоком статическом напряжении и обеспечит ли разрядник ДФЛ на этом напряжении высокую стабильность амплитуды и задержки. Решение этих вопросов требует проведения НИР. НИР требуется и для разработки более надежной и простой конструкции ГИЗ, которая является достаточно сложной и имеющей проблемы, связанные с электрической прочностью отдельных её узлов.

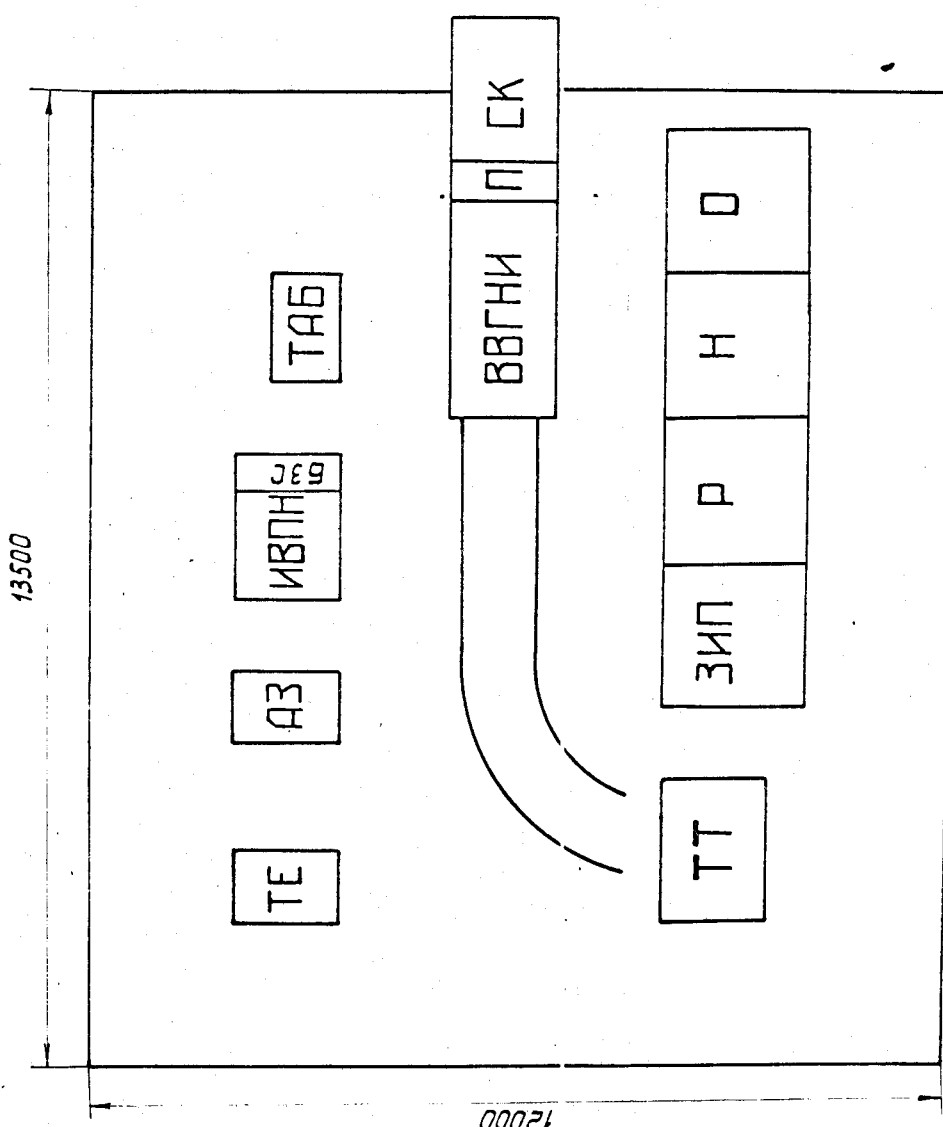


Рис. СВ. Размещение СВВП на синхроразотроне (ориентировочно).

ЛИТЕРАТУРА :

1. Н.С.Глаголева и др. Препринт ОИЯИ
РІЗ-7792, Дубна, 1974..
2. Дайон. Искровые камеры.
3. Рознбак. *Phys. Rev.* 83.374 (1951)
4. Н.С.Глаголева и др. Препринт ОИЯИ
РІЗ-7792, Дубна, 1974.
5. F. Roznback. *Multiple firing of a streamer
chamber conical Blumlein line
Frascati (Italia).*
6. Г.А. Месяц
Генерирование мощных наносекундных импульсов.
М. 1974г.

IV СИСТЕМА ФОТОГРАФИРОВАНИЯ

Для фотографирования стримерной камеры в режиме многократного срабатывания установки разработаны лентопротяжные механизмы, время протяжки в которых заведомо меньше времени зарядки генератора. Известно, что в настоящее время именно время протяжки пленки (100 мсек) и высвечивания реперных меток (30 мсек) ограничивало частоту работы стримерной камеры /1/.

Целью разработки является уменьшение времени протяжки до 50 мсек и времени высвечивания меток - до 5 мсек. Система фотографирования включает также юстировочный стенд, информационное табло и систему фотографирования табло.

Оптическая система.

Предполагается использовать трехобъективную стереоголовку с объективами ОСК5-56-1. Объективы расположены на вершинах равно-стороннего треугольника на расстоянии 400 мм друг от друга. Высота фотографирования в зависимости от конструкции и габаритов стримерной камеры может быть в пределах 2300-2400 мм.

Фокусное расстояние объективов 56,4 мм; средний масштаб изображения 1:42. Светосила объективов 1:2,5; коэффициент светопропускания $\tau = 89\%$, коэффициент светорассеяния $S = 2,4\%$. Фотографирующая разрешающая сила $R_c = 70$ л/мм в центре и $R_{20} = 40$ л/мм (в 20 мм от центра). Освещение на краю кадра $J_{20} = 60\%$. Приведенные данные можно сравнивать с объективами ОСК1-56-1, которые используются на СКМ-200 в настоящее время:

Светосила: 1:3,4

$$\tau = 78\%$$

$$S = 3,6\%$$

$$R_c = 67 \text{ л/мм}$$

$$R_{20} = 37 \text{ л/мм}$$

Освещение на краю кадра 6,0%. Предполагается, что контрастность изображения для ОСК5-56 существенно выше.

Схема фотографирования показана на рис.1. Информационное табло фотографируется составным объективом (И-5I, И-6I) в масштабе 1:12. Конструкция табло, разрешение ламп ИИ-8 и марок соответствуют требованиям измерений на автоматических устройствах.

Луч после объектива с полупрозрачными зеркальными линзами разделяется на три луча и соответствующие поворотные призмы передают изображение в кадр.

Для определения оптических констант стереофотограмметрической головки предполагается фотографировать тест-объект с 297 крестами (размеры плиты $2400 \times 1100 \text{ мм}^2$) на специальном юстировочном стенде. Возможно фотографирование с разных высот в пределах 1,5-3,0 м при перемещении стереоголовки параллельность тест-объекта и плоскости прижимных стекол стереоголовки сохраняется в пределах $\sim 1^\circ$. Боковые смещения стереоголовки при этом $\leq 0,2-0,3 \text{ мм}$. Фотографированием объективов в жидком зеркале такой сдвиг, если он имеется, можно учесть. Расстояния между крестами на тест-объекте измерены с точностью 20-30 мкм, отклонение от плоскости для крестов порядка 0,2-0,3 мм.

Лентопротяжные механизмы

В разработанных лентопротяжных механизмах для быстрой смены кадров используется пневматический переброс пленки. Прижим пленки к стеклу в момент срабатывания стримерной камеры тоже пневматический. Схема лентопротяжного механизма показана на рис.2. Процесс протяжки разделен на два цикла, различающихся по временным характеристикам - это работа механизма быстрого переброса серии кадров (фотографирование) и работа механизма подготовки. При фотографировании стримерной камеры срабатывает система подсветки реперных меток и информационного табло. После подсветки управляющий импульс открывает соответствующие электропневмоклапана, струя воздуха отрывает пленку от прижимного стекла, а другая струя затягивает пленку в приемный карман. Пленка при этом вытягивается из петли запаса, поэтому нет нужды преодолевать инерционное сопротивление всего рулона пленки. После следующего срабатывания стримерной камеры опять высвечиваются реперные метки, срабатывает клапан, создающий "воздушную подушку" для пленки, а

пленка при срабатывании соответствующего клапана перебрасывается во второй приемный карман. Глубина этого кармана выбрана такой, чтобы выбрать всю пленку из первого кармана и вытянуть из петли запаса еще столько, сколько требуется для второго кадра. Четыре приемных полости - "Кармана", заполняемые в соответствующей последовательности, могут обеспечить фотографирование и быструю протяжку до 16 кадров.

После фотографирования стримерной камеры осуществляется медленный цикл - (подготовка) - заполнение петли запаса, перемотка отснятой пленки из приемных "карманов" в приемную катушку кассеты. Для этой процедуры не требуется большой скорости работы механизмов, поэтому управляет всеми механизмами один общий клапан.

Очевидно, что быстродействие лентопротяжного механизма зависит от длины протяжки, быстродействия клапанов, от расхода воздуха (давление \times сечение клапана). Для уменьшения длины протяжки и экономии пленки кадр размещен так, что продольная ось стримерной камеры перпендикулярна направлению протяжки, а длина протяжки равна ширине изображения стримерной камеры. Это расстояние в три раза меньше той длины, которую занимает информационный кадр. Поэтому предусмотрена возможность печатать один общий информационный кадр для трех фотографий стримерной камеры.

Результаты испытаний

Чтобы получить удовлетворительное быстродействие механизма, разработаны специальные клапаны, с импульсным режимом питания. На клапаны питание (напряжение) и давление подаются только во время работы стримерной камеры (≤ 1 сек), во время паузы между циклами ускорителя (8-10 сек) давление и ток питания отключаются. Такой импульсный форсированный режим работы обеспечивает хорошее быстродействие без дополнительных мер по охлаждению клапанов (мощность клапана в импульсе 15 ватт при напряжении питания 30в)

На специальном стенде, имитирующем часть лентопротяжного механизма, были опробованы различные конструкции клапанов и получены следующие характеристики для выбранного рабочего варианта: время открывания 3-4 мсек, время закрывания клапана 7 мсек, повторное срабатывание клапана возможно через 15-20 мсек от момента

подачи первого импульса (см. рис.3), где показано, как меняется давление в приемном кармане лентопротяжного механизма при одном срабатывании клапана, на рис.4 показано повторное срабатывание клапана с частотой 60 Hz). Эти результаты получены при давлении 7 атмосфер, напряжение питания - 32 вольта. Время заброса пленки в малый "карман" 10 мсек, время заброса в самый большой "карман" 30 мсек. Это получено для клапанов с диаметром отверстия 5 мм. Ожидается, что в случае необходимости при постановке клапанов с отверстием 6 мм для больших карманов можно будет уменьшить время заброса пленки до 20 мсек.

При конструировании крепления для стереоголовки предусмотрена возможность постановки дополнительных объективов и лентопротяжных механизмов для фотографирования треков в крупном масштабе, что необходимо для измерения ионизации релятивистских треков. При этом обязательно применение усилителей яркости. Это повлечет за собой некоторые изменения конструкции лентопротяжных механизмов. Однако, изменения эти ^{не} носят принципиальный характер. Проблема усилителей яркости подробно рассмотрена в главе "Четырехэлектродная камера".

Для управления лентопротяжными механизмами, подсветкой реперови табло предполагается разработать контроллер, размещающийся в крейте, который служит для связи измерительной аппаратуры, ЭВМ и табло. Исполняющая электроника (ключи) будет размещена в непосредственной близости от фотоаппарата.

Литература:

- I. R. E. Fuga, J. W. Dawson. Nucl. Instr. Meth. v. 100, p. 329-331 (1972)

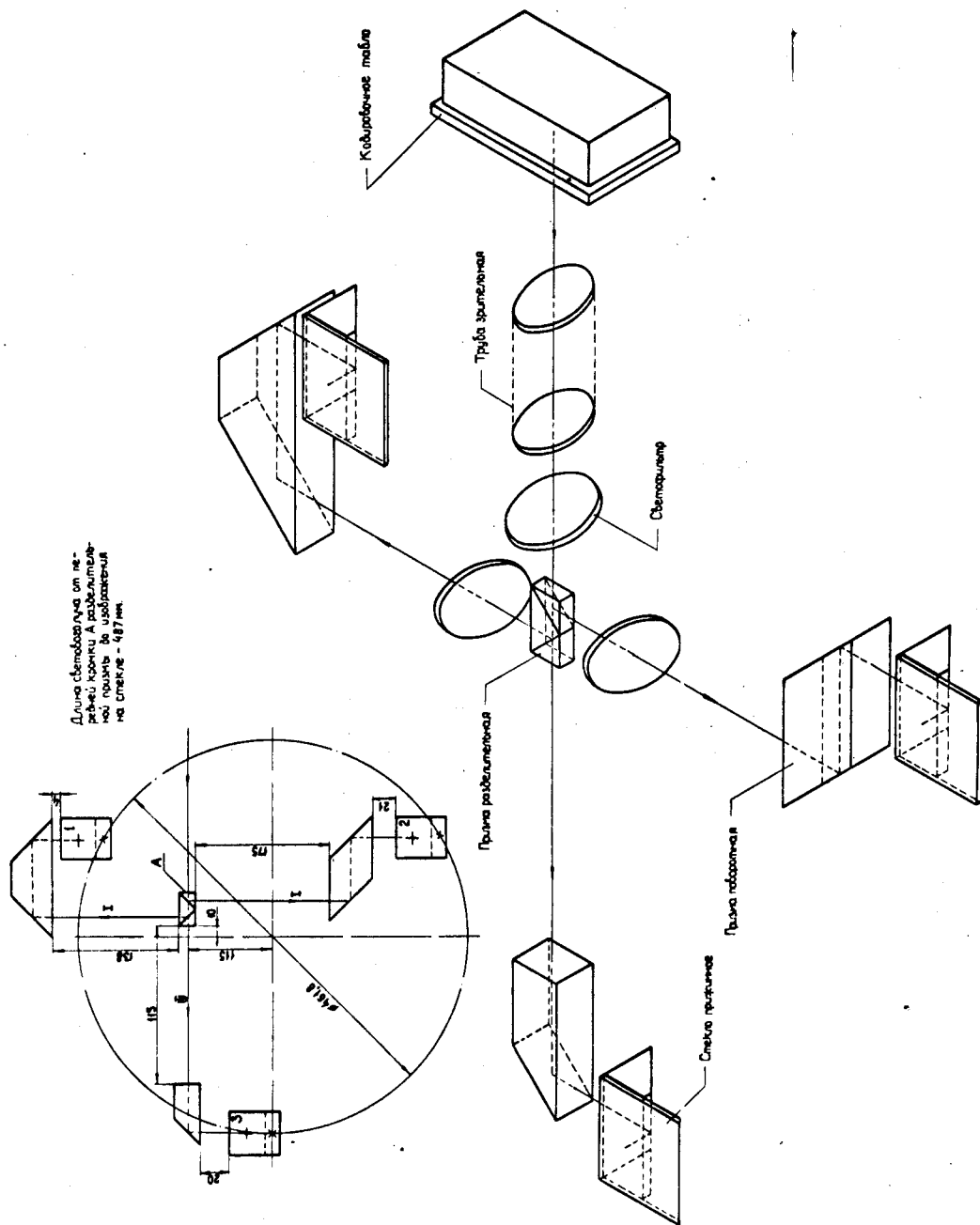
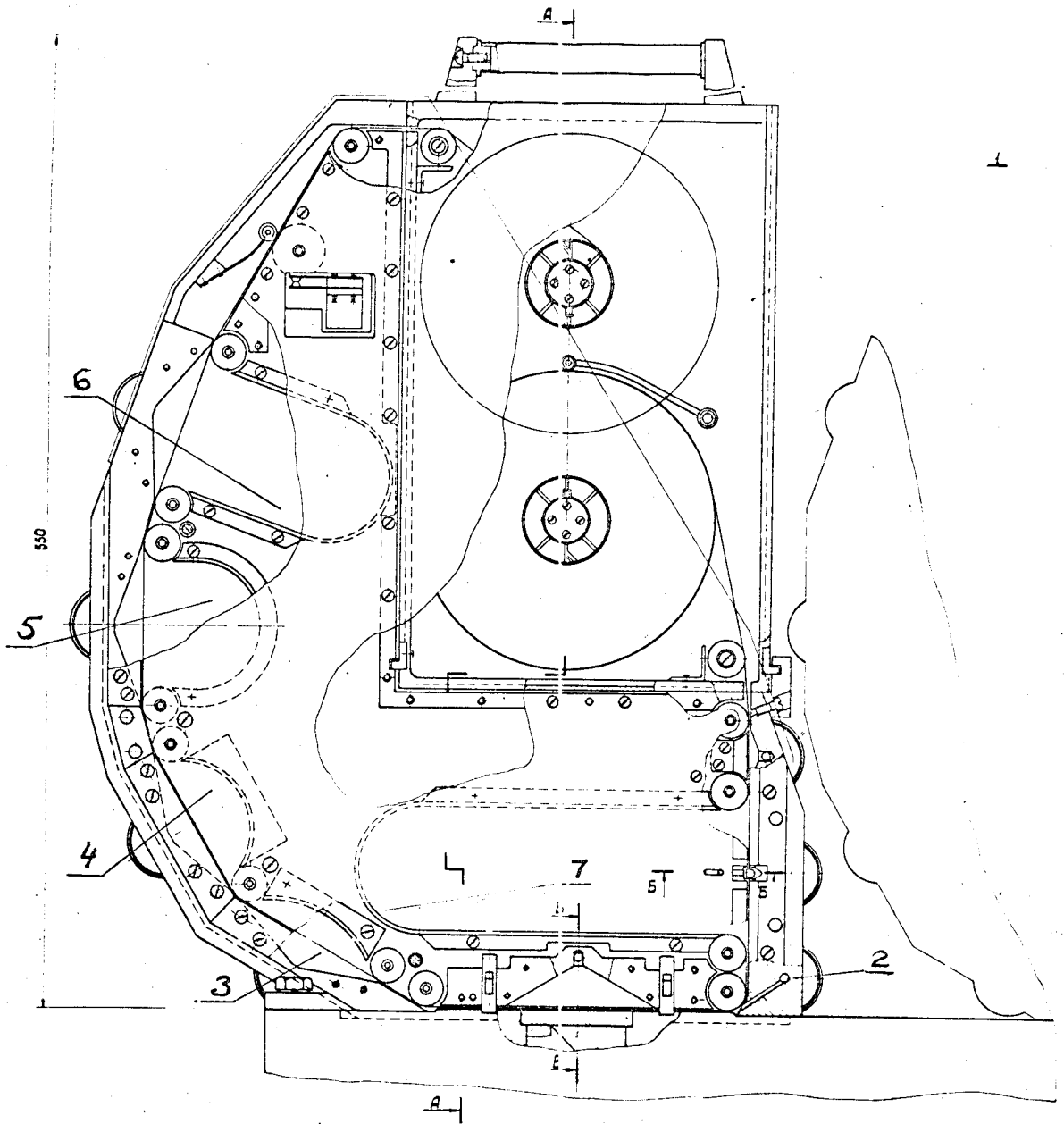


Рис.1. Схема расположения объективов и призм на стереоголовке. Основные объективы ОКС5-56 размещены на окружности $\varnothing 461,8$ мм (стереобаза 400 мм соответственно) под прижимными стёклами (1,2,3). Зрительную трубу образуют объективы И-61 и И-51. Светофильтры предусмотрены для выравнивания яркости изображения табло.



Р и с . 2 .

С х е м а л е н т о п р о т я ж н о г о м е х а н и з м а .

- 1 - кассета, 2 - клапан "воздушной подушки",
 3,4,5,6 - клапаны и приемные полосы - карманы быстрого механизма,
 7 - полость - карман для петли занеса.

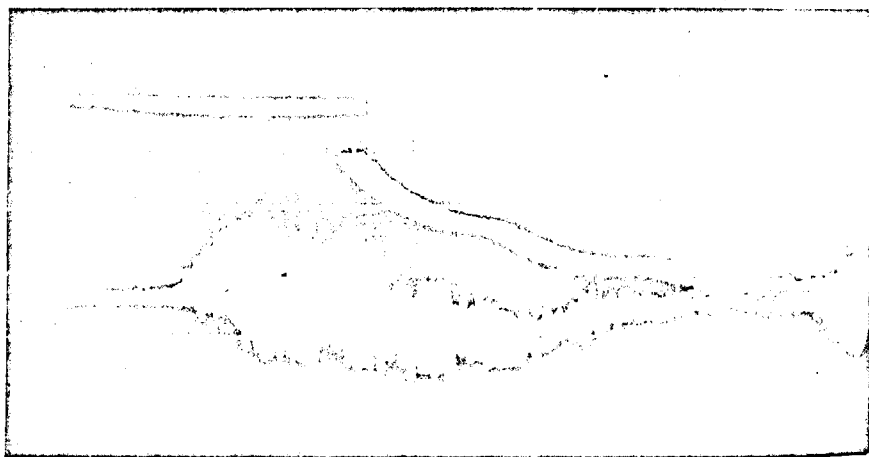


Рис. 3.

О с ц и л л о г р а м м а р а б о т ы к л а п а н а .

Верхний луч - ток через обмотку,
нижний луч - изменение давления в приемной полости.
1 деление = 2,5 мсек.

Клапан открывается на 3-4 мсек./скачок по давлению/.

Клапан закрывается на 14 мсек.-излом на осциллограмме соответствует сильному изменению индуктивности в момент закрывания.

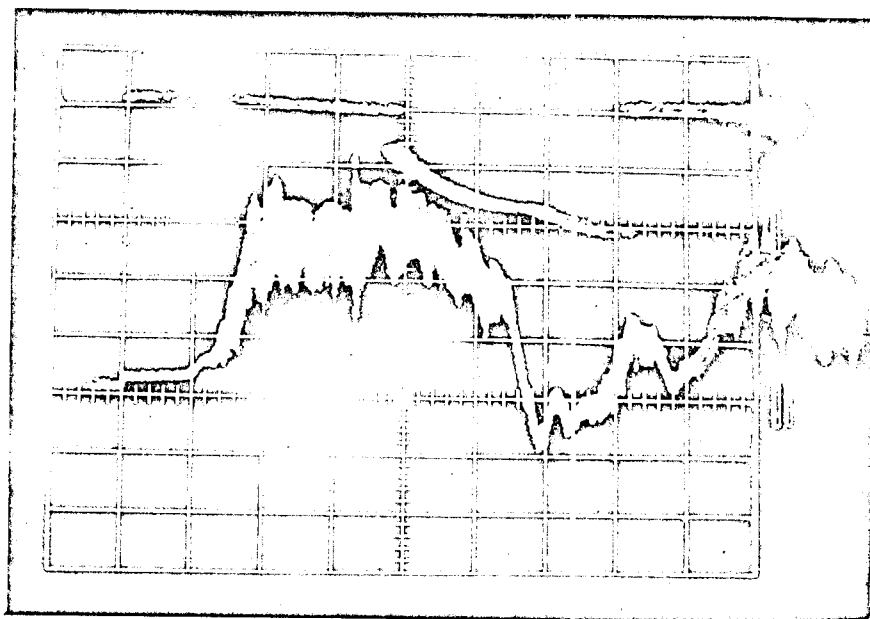


Рис. 4.

П о с л е д о в а т е л ь н ы е с р а б а т ы в а н и я
к л а п а н а .

Тоновые импульсы 10 мсек., интервал 7,5 мсек.

V-СИСТЕМА ТРИГГЕРА

Как известно, стримерная камера обладает всеми свойствами трекового детектора, каким является пузырьковые камеры: много-трековость, способность регистрировать (практически в геометрии 4π) всю картину взаимодействия, документальность получаемой экспериментальной информации.

В то же время в отличие от пузырьковых камер стримерная камера является управляемым прибором с относительно малым временем памяти (до 1 мксек), что позволяет пропускать через нее до $10^5 \div 10^6$ частиц (за один "растянутый" импульс на У-10 и У-70^ж) и отбирать системой триггера нужные (редкие) события.

В триггер установки СКМ-200 могут быть включены любые электронные детекторы или системы детекторов, способные выработать запускающий импульс в пределах 1-5 мксек: системы сцинтилляционных, черенковских счётчиков, пропорциональных (дрейфовых) камер, полупроводниковых спектрометрических детекторов, блоки быстрой электронной логики (быстрых процессоров), проверяющие соответствие сигналов детекторов нужному событию. Эти детекторы могут регистрировать и отбирать события по геометрическим особенностям взаимодействия по заряду, импульсу и энергии участвующих в нем частиц. Дополнительная количественная информация с этих детекторов (если получение её требует более 5 мксек) выводится на ЭВМ для последующего её сопоставления с фильмовой информацией или на фотографируемое табло (в кадр). Решение определенной физи-

ж) При нуклотронной растяжке (до 10 сек) эта загрузка может быть увеличена до 10^7 за цикл.

ческой задачи требует как правило специальной адекватной этой задаче системы отбора событий. Часто требования к новой системе триггера могут быть конкретно сформулированы только на основании результатов предыдущих экспериментов (особенно в таких новых областях исследований как, например, релятивистская ядерная физика). Однако, несмотря на невозможность долгосрочного планирования конкретной программы развития триггера для СКМ-200, настоящий проект включает в себя создание узлов и систем, достаточно общих и универсальных для того, чтобы быть использованными для большинства возможных систем запуска. Такой универсальной системой является большой двухкоординатный сцинтилляционный годоскоп (700 каналов) окружающий боковые и заднюю стенки камеры двумя плоскостями, между которыми может быть вставлен поглотитель. Годоскоп позволит использовать различные алгоритмы отбора многотрековых событий, связанные с количеством вторичных частиц, их угловым и импульсным распределением, знаком заряда и проникающей способностью. Для выбора определенной логики, соответствующей поставленной задаче, предусматривается создание специальных быстрых процессоров, реализующий эту логику. Весьма перспективным представляется включение в систему запуска установки СКМ-200 пропорциональных камер. Правда по разрешающей способности (50÷80 нсек) пропорциональные камеры уступают сцинтилляционным счётчикам (~5 нсек). Однако, ряд других особенностей пропорциональных камер делает многообещающим включение их в триггер при решении широкого круга экспериментальных проблем с помощью установки СКМ-200. Каковы же эти особенности ?

а) Малая чувствительность пропкам к магнитному полю, поз-

воляющая располагать их рядом со стримерной камерой прямо в анализирующем магните. Это обстоятельство, а также относительная прозрачность пропкамер дают возможность "окружить" ими стримерную камеру со всех сторон. (в том числе и сверху) и обеспечить таким образом близкую к 4П геометрию для регистрации триггером энергичных частиц, вылетающих из рабочего объема установки.

б) Небольшая (по количеству вещества) толщина пропкамер ($\sim 0,1 \text{ г/см}^2$), что позволяет включать в триггер проходящие частицы с малой проникающей способностью.

в) Возможность произвольно задавать конфигурацию и размеры секций годоскопа из пропкамер, путем объединения каналов.

Возможность

г) Выделять многозарядные частицы или частицы с большой ионизацией.

На первых этапах планируется создание пучковых пропорциональных камер (таких, как в системе " Репер" /1,2/ - по три двухкоординатные камеры $200 \times 200 \text{ мм}^2$ соответственно в каналах № 22 и № 26 до стримерной камеры и 4 двухкоординатные камеры размером $1000 \times 500 \text{ мм}^2$ после стримерной камеры. Эксплуатация таких систем потребует разработку быстрых процессоров. Такая система позволит отбирать события с испусканием энергичных частиц вперед под небольшим углом к пучку (например, при исследовании кумулятивного рождения адронов, упругие и когерентные взаимодействия релятивистских ядер с относительно малым переданным импульсом, реакции в сопровождении определенных стриппинговых фрагментов (либо без них - в логике антисовпадений) образование и распад релятивистских гиперядер и т.д. Для ряда экспериментальных задач не-

обходимо с очень высокой точностью измерять энергию продуктов взаимодействия (например, при изучении возбужденных состояний гиперядер по импульсу Π^- -мезона в реакции $K^- + A \rightarrow A + \Pi^-$). В этом случае в триггер можно включить магнитный спектрометр с пропкамерами (см. схему на рис. 1), который с хорошей точностью измеряет импульсы, попадающих в него частиц. Эта информация сопоставляется потом с фильмовой информацией о процессе взаимодействия.

На завершающих этапах пятилетнего плана развития установки СКМ-200 предполагается проектирование годоскопической системы из больших пропорциональных камер (на 1000+2000 каналов), окружающих со всех сторон стримерную камеру и обеспечивающих 4 Π - геометрию для энергичных частиц, вылетающих из её рабочего объема. При этом достигается близкая к 100% геометрическая эффективность регистрации таких частиц, что очень важно для отбора и исследования процессов с большой множественностью.

Проектирование такой системы и конкретное её воплощение будет определяться требованиями эксперимента и прогрессом в области создания больших пропорциональных камер *). Для выработки триггерного импульса с помощью годоскопа из пропкамер с успехом может быть использована ЭВМ ТРА1, если осуществить в высоковольтном питании стримерной камеры так называемый режим "запоминания" (см. раздел XII). При таком режиме "мягкий"

*) Здесь одной из методических проблем, требующих преодоления, является ухудшение параметров импульса при выводе сигнала с нескольких проволок на один усилитель.

триггер вырабатывает предимпульс, не дающий видимых стриметров. После чего в течение 1-2 мс можно провести грубый анализ на ЭВМ кинематической и геометрической конфигураций события, зарегистрированного годоскопом из пропкамер. Если этот анализ выявит особенности нужного события, по сигналу с ЭВМ подается основной высоковольтный импульс, который делает видимыми треки частиц, и производится их фотографирование.

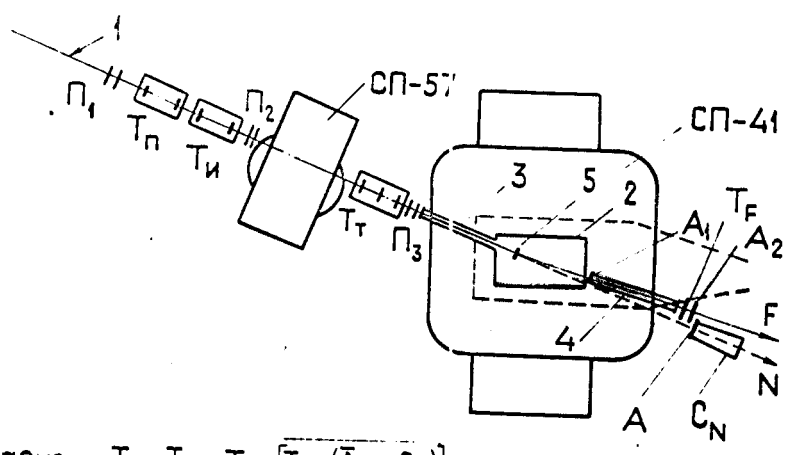
Настоящим проектом планируется также изучение возможности включения в триггер установки СКМ-200 дрейфовых камер. Помимо создания больших триггерных систем для перспективных будущих исследований, будут осуществляться усовершенствование и развитие пучкового триггера для ближайших облучений установки СКМ-200 в пучке релятивистских ядер. Эти планы предусматривают: создание системы идентификации по заряду пучковых ядер тяжелее ${}^4\text{He}$, а также продуктов реакции стриппинга; разработку высокоэффективных счётчиков для регистрации стриппинговых нейтронов, осуществление режимов, запрещающих запуск при одновременном (в пределах 0-5 мксек) появлении двух и более пучковых частиц. С развитием систем триггера тесно увязаны планы совершенствования систем контроля за параметрами пучка и за рабочими характеристиками самого триггера, которые являются существенной и важной частью общего контрольно-управляющего комплекса (см. раздел КУК). Этими планами предусмотрен в первую очередь включение ЭВМ ТРА-I в существующую систему контроля с целью обработки и получения интегральных характеристик об интенсивности, составе и растяжке пучка, а также о стабильности этих параметров во времени. Одновременно с помощью ЭВМ будут контролироваться детекторы триггера: эффективность и стабильность их

работы*) . Более подробные требования к программному обеспечению контроля за пучком и триггером изложены в Приложении I. Для эффективного контроля за пространственным распределением частиц в пучке будет использована система индикации пучка, разработанная в ЛВЭ /3/, включающая 6 пропорциональных камер размером $200 \times 200 \text{ мм}^2$ и соответствующую аппаратуру. Эта система явится частью общей системы контроля за выводом ускоренного пучка из ускорителя и будет передавать информацию на ЭВМ ТРА-I (на СКМ-200) и ЭВМ ЕС1010, управляющую выводом пучка из синхрофазотрона. Дальнейший этап развития систем контроля предусматривает осуществление обратной связи для автоматической подстройки режимов и поддержанием контролируемых параметров в заданных пределах. На этом этапе, по-видимому, потребуется осуществление активной связи ЭВМ ТРА-I на СКМ-200 с ЭВМ на пультах управления ускорителем и системой вывода. Осуществление такого комплекса выходит за рамки настоящего проекта, соответствующее техническое задание будет проработано совместно с заинтересованными сотрудниками ОСФ и ОННР ЛВЭ.

Литература:

1. Заневский Ю.В. и др. ОИЯИ I3-70I4, Дубна, 1973.
2. Заневский и др. ОИЯИ I3-72I8, Дубна, 1973.
3. В.И.Волков и др. ОИЯИ, 9-89I0, Дубна, 1975.

*) Следует подчеркнуть, что в большинстве случаев при облучении установки СКМ-200 с избирательным запуском контроль (с записью на ЭВМ) за эффективностью триггера является необходимым условием получения правильного физического результата.



$$\text{Запуск} = T_{\text{п}} \times T_{\text{и}} \times T_{\text{т}} \times [T_{\text{ф}} + (\bar{A}_{\text{н}} \times C_{\text{н}})]$$

Рис.1. Схема расположения счётчиков триггера для отбора центральных взаимодействий.

I - пучок релятивистских ядер (α - частиц); 2 - рабочий объем камеры; 3, 4 - ионпроводы; 5 - мишень; $T_{\text{п}}, T_{\text{и}}, T_{\text{т}}$ - пучковые телескопы; $\text{П}_1, \text{П}_2, \text{П}_3$ - пучковые пропорциональные камеры; F - направление вылета заряженных фрагментов-спектрометров, $T_{\text{ф}}$ - регистрирующий их телескоп (со счётчиками A_1 и A_2); N - направление вылета нейтронов-спектрометров, $C_{\text{н}}$ - регистрирующий их счётчик с антисовпадательным счётчиком $A_{\text{н}}$.

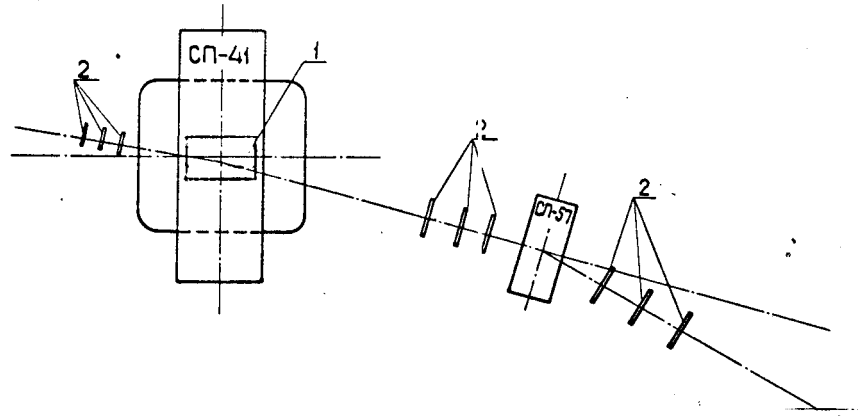


Рис.2. Схема триггера для стримерной камеры (1) с использованием магнитного спектрометра на пропорциональных камерах (2).

Приложение к разделу V

З А Д А Н И Е
НА РАЗРАБОТКУ ПРОГРАММ КОНТРОЛЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
УСТАНОВКИ СКМ-200

I. ВВЕДЕНИЕ

В установке СКМ-200 контролируются:

1. Стабильность работы ускорителя на мишень,
2. Системы высоковольтного импульсного питания и газообеспечения,
3. Положение пучка по данным счетчиков годоскопа или пропорциональных камер.

Для автоматического контроля параметров этих систем от датчиков в вычислительную машину поступают следующие данные:

1. Число циклов ускорителя - С
2. Суммарная интенсивность по монитору - М
3. Общее число запусков (триггеров) камеры - Т
4. Общее число фотографий (кадров) - К
5. Общее число срабатываний телескопов - N_1, N_2, N_3
6. Напряженность электрического поля в камере - Е
7. Задержка (*delay*) высоковольтного импульса - T_p
8. Уровень зарядного напряжения ГИН - U_G
9. Напряженность магнитного поля - Н
10. Чистота ГАЗА - Q

II. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОГРАММ КОНТРОЛЯ

По функциональному назначению все программы контроля можно разделить на следующие виды:

1. Контроль стабильности пучка.
2. Вычисление эффективности работы ускорителя на мишень.
3. Контроль параметров системы формирования высоковольтных импульсов и системы газообеспечения.
4. Контроль эффективности срабатывания счетчиков годоскопа или каналов пропорциональных камер для определения положения пучка.

5. Контроль параметров магнитного поля.

Контроль стабильности пучка предусматривает регистрацию следующих данных:

- а) счета мониторного канала за цикл ускорителя - M_c
- б) суммарного счета мониторного канала - M
- в) счета телескопов за цикл ускорителя N_1, N_2, N_3 .
- г) общего счета телескопов $N = \sum N_i$
- д) счетчика числа запусков (триггеров) камеры - T
- е) счета числа циклов ускорителя - C
- ж) счета числа фотографий (кадров) - K
- з) распределения интенсивности в течение растяжки.

Программы контроля стабильности пучка должны:

1. Определять нерабочие циклы ускорителя (нерабочими циклами ускорителя называются циклы с интенсивностью, выходящей за пределы заданного интервала).

$C = \sum C_{раб.}$ соответствующих $M_{раб.}$ в пределах

$$M_{min} \leq M_{раб.} \leq M_{max}$$

где M - счет мониторного канала за цикл. Значения M_{min} и M_{max} могут задаваться оператором.

2. Определять отношение $\frac{C_{раб.}}{C}$. Если это отношение меньше допустимого или заданного оператором, то должна срабатывать аварийная сигнализация.

3. Регистрация распределения $\frac{\Delta M}{\Delta T}$ интенсивности пучка (монитора) по циклам с градацией 32 или 64.

4. Регистрировать распределение $\frac{\Delta T}{\Delta C}$ числа запусков камеры по рабочим циклам с градацией 32 или 64.

5. Вычислять коэффициенты эффективности работы:

а) по монитору за цикл $M^* = \frac{M}{C}$. Значение ϵ задается

оператором или заранее

б) среднее количество триггеров (запусков) за цикл $T^* = \frac{T}{C}$

в) средние значения счета телескопов

$$N^* = \frac{N_i}{C}, \text{ где } i = 1, 2, 3$$

г) среднее число фотографий за заданное значение циклов С.

Значение $c \approx 300$.

$$K^* = \frac{K}{C}$$

д) среднее значение триггеров относительно счета мониторного канала

$$T^{**} = \frac{\sum N_i}{M}, \text{ где } i = 1, 2, 3.$$

е) общий коэффициент интенсивности телескопов

8. В программе предусмотреть возможность оперативного изменения величины С.

9. Вычислить распределение $\frac{\Delta M}{\Delta t}$ общего счета мониторных каналов по заданным интервалам времени ΔT . $\Delta T = 5, 10, 20$ мсек.

Данные представить в виде графика $\frac{\Delta M}{\Delta t} = f(\Delta T_i)$, $i = 1, 2, 3 \dots n$,

$$n_{\max} = 100.$$

10. Зарегистрировать и представить на дисплее или бумажной ленте распределение $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ числа запусков Т по интервалам времени $\Delta T = 5, 10, 20$ мсек, $i = 1, 2, 3 \dots n$, $n_{\max} = 100$.

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = f(\Delta T_i)$$

Программы контроля параметров установки

Математическая обработка параметров K, T_D, U_C, H, Q заключается в вычислении отклонений текущих значений от заданных и нахождении средне-квадратичного отклонения за определенное число срабатываний.

Диапазоны изменения параметров показаны в таблице I.

Параметр	Диапазон изменения /в/	Число градаций	"Вес" градации /вольт/
E	$600 \cdot 10^3 / 10^4$	+ 32	0,2 - 0,3
UG	$80 \cdot 10^3 / 10^4$	32	0,2 - 0,3
T _з	0,3 1,0 мксек	32	0,5 - 1
G	-	32	0,2 - 0,3
H	80	32	

Условия ввода в ЭВМ контролируемых параметров.

1. Измерения параметров производятся с каждым запуском камеры. (с интервалом менее 10 сек.)

2. За один цикл ускорителя ~~(менее 10 сек)~~ возможен (в будущем) многократный запуск камеры (до 10 раз за 400 мсек).

3. В программах должен быть предусмотрен оперативный ввод заданных значений параметров (по желанию оператора).

4. Примерно через 1 час (с 300 циклов) желательно вычислять:

а) величины $M^*, T^*, N^*, K^*, T^{**}, N^{**}$

б) средние значения параметров P^* пункта а

$$P^* = \frac{\sum_{i=1}^N P_i}{N}, \quad \text{где } N - \text{ количество измерений параметра.}$$

в) определять разность

$$P^* - P = \Delta P, \quad \text{где } P \text{ заданное значение параметра.}$$

г) вывести значения ΔP на печать или дисплей.

Вычислять и вывести на печать значения ΔP и $\frac{\Delta P}{P^*}$.

5. Последовательность (приоритетность) операций произвести в порядке следования пунктов данного задания..

6. Регистрация счета в каналах К, С, Т производится с по-

мощью счетчиков $Z_{сг1}$ имеющих по два двоичных счетных канала емкостью 2^{16} каждый. Их субадресами соответственно являются A_0 и A_1 .

7. Регистрация счета в каналах M и $N_{1,2,3}$ производится двоичнодесятичными счетчиками типа 42I с общей емкостью 10^8 или соответственно 2^{32} с выходом на *шины* Камака по двум субадресам A_0 и A_1 емкостью 2^{16} двоично десятичных разрядов каждый из них. Счетчики по субадресам A_0 и A_1 могут быть подключены автономно и последовательно. Данные пунктов 6 и 7 могут быть дополнены по требованию.

Задание по контролю за параметрами E , T_D , U_G , H и Q составлено отдельно. Задание по параметру H будет уточнено в дальнейшем.

Рук. сектора № 3 ЛВЭ

Рук. сектора № 3 ЛВТА

Осипов
Матюшин

14/11-73

Э.О.Оконов

А.Т.Матюшин

VI СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЖИМА КАМЕРЫ. (С К Э Р К)

Стримерный след в камере можно характеризовать геометрическими размерами: длиной, диаметром стримеров, яркостью, а также стабильностью этих величин. При постоянном качественном и количественном составе газового наполнения стримерной камеры и фиксированной величине задержки высоковольтного импульса эти характеристики следа существенно зависят от параметров последнего: амплитуды, длительности, крутизны нарастания и спада, стабильности^{/1/}. При исследовании режимов работы стримерной камеры и проведении физических экспериментов с камерой^{/2/} на ускорителе необходим непрерывный контроль за амплитудой, длительностью, задержкой высоковольтного импульса на её электродах. Так как длительность импульса Блюмляйн - генератора постоянна, то задача контрольной аппаратуры сводится к измерению амплитуды однократных импульсов длительностью ~ 10 нс в диапазоне напряжений до 1 мВ, а также временных задержек в тракте формирования импульса в диапазоне 100-1000 нс. Для этих целей была разработана и в экспериментах на ускорителе успешно применена аппаратура контроля режима работы камеры, базирующаяся на использовании цифровых вольтметров и схем расширения наносекундных импульсов^{/3/}. Вывод данных об измерении амплитуды и задержки импульса при этом производится на ЦМ.

Однако, в связи с необходимостью повышения эффективности работы установки, требующей сокращения рабочего цикла камеры и, соответственно системы высоковольтного импульсного питания СВМП, с 10 до 0,1 сек предъявляются новые требования к системе контроля электрического режима камеры. В этом случае задачей контрольной аппаратуры, отличительной особенностью работы которой является то, что на вход её подаётся не один, как раньше, а серия импульсов с периодом $T = 0,1$ сек и необходимо измерять амплитуду и задержку каждого импульса в отдельности.

В этом случае при выводе данных на ЦПМ практически невозможно обеспечить оперативный контроль во время эксперимента из-за большого объема информации. Кроме того для 4-х электродной камеры с "двойным Бломляйном" требуется контролировать, в отличие от обычной, два разнополярных импульса той же длительности, а также два разнополярных импульса заряда формирующей линии - ДФЛ СВИП длительностью ~ 500 нсек (косинусоидальной формы) при соответствующем контроле напряжения заряда генератора импульсных напряжений - ГИН СВИП по обоим каналам одновременно. Кроме того для методических исследований рабочих характеристик камеры желательно повысить точность измерения абсолютного значения напряженности поля в камере. В дальнейшем, при автоматизации установки и создании контрольно-управляющего комплекса - КУК стримерной камеры, а также разработке соответствующей аппаратуры и программного обеспечения процесс регулировки напряжения заряда, величины задержки высоковольтного импульса, изменения давления газа в разрядниках ГИНа и ДФЛ СВИП необходимо осуществлять с пульта КУК.

Одним из методов решения этой задачи является создание новой системы контроля электрического режима камеры на базе цифровых вольтметров на линии с ЭВМ - ТЦА 1001 и программного обеспечения с выводом данных на экране дисплея (дисплейный кадр) и АЦПУ (по требованию оператора и общей программе эксперимента). В качестве таких вольтметров могут быть использованы промышленные цифровые импульсные вольтметры типа В4-17А. Однако для повышения точности измерения абсолютного значения напряженности поля в камере с учётом работы установки с частотой $f = 10$ гц необходимо разработать расширители, которые должны обеспечивать на выходе импульсы, длительности которых не менее времени измерения цифровых вольтметров. Амплитуда выходных импульсов с высокой точностью должна соответствовать пиковому значению входного. С этой целью было проведено макетирование схем расширителей, получены обнадеживающие результаты. На одну из проверенных схем подана заявка на изобретение.

В дальнейшем, используя, например, мановакуметры показывающие с электрической дистанционной передачей, для измерения давления газов, которые выдают электрические сигналы, пропорциональные

измеряемому давлению; и регулирующим органом, воздействующим на процесс в соответствии с получаемой командой информацией при разработке соответствующей аппаратуры связи с ЭВМ возможна автоматизация регулировки давления в разрядниках ДФЛ и ГИН СВИПа.

При проведении физических экспериментов на ускорители, как показал опыт эксплуатации, целесообразно выполнять систему электрического контроля режима камеры в виде функционально-замкнутой системы крейтов КАМАК, электронных стоек и приборов, располагающихся на модернизированной подвижной платформе, из которых составляется передвижной домик.

Состав СКЭРК.

В состав СКЭРК входят (см. структурную схему рис. эк. I):

1. Импульсные делители напряжения D_1, D_4-D_{10} .
2. Делители постоянного напряжения - D_2, D_3 .
3. Расширители импульсов - P_1+P_4
4. Цифровые вольтметры - $ЦВ_1+ЦВ_4$
5. Импульсные цифровые вольтметры - $ИЦВ_1, ИЦВ_2$.
6. Измеритель временных интервалов - ИВИ
7. Блок задержки - БЗ
8. Блоки связи - $БС_1+БС_8$
9. Пересчетное устройство - ПС.
10. Регуляторы давления разрядников ГИН и ДФЛ СВИП соответственно - $РД_1$ и $РД_2$.
11. Крейт КАМАК
12. Контроллер - К

Уровень зарядного напряжения $+U_3$ должен контролироваться цифровым вольтметром $ЦВ_1$, включенным через делитель постоянного напряжения D_2 . Контроль импульсов ГИН СВИП должен осуществляться через D_4 и P_1 цифровым вольтметром $ЦВ_3$. Контроль импульсов от стримерной камеры СК должен осуществляться через D_8 и P_3 импульсным цифровым вольтметром $ИЦВ_1$. Измерение задержки в тракте формирования высоковольтного импульса осуществляется с помощью ИВИ по сигналам "старт" от СВИП и "стоп" от стримерной камеры СК. Форма выходных импульсов контролируется осциллографом. При использовании системы "двойной Блюмлайн" для формирования высоко-

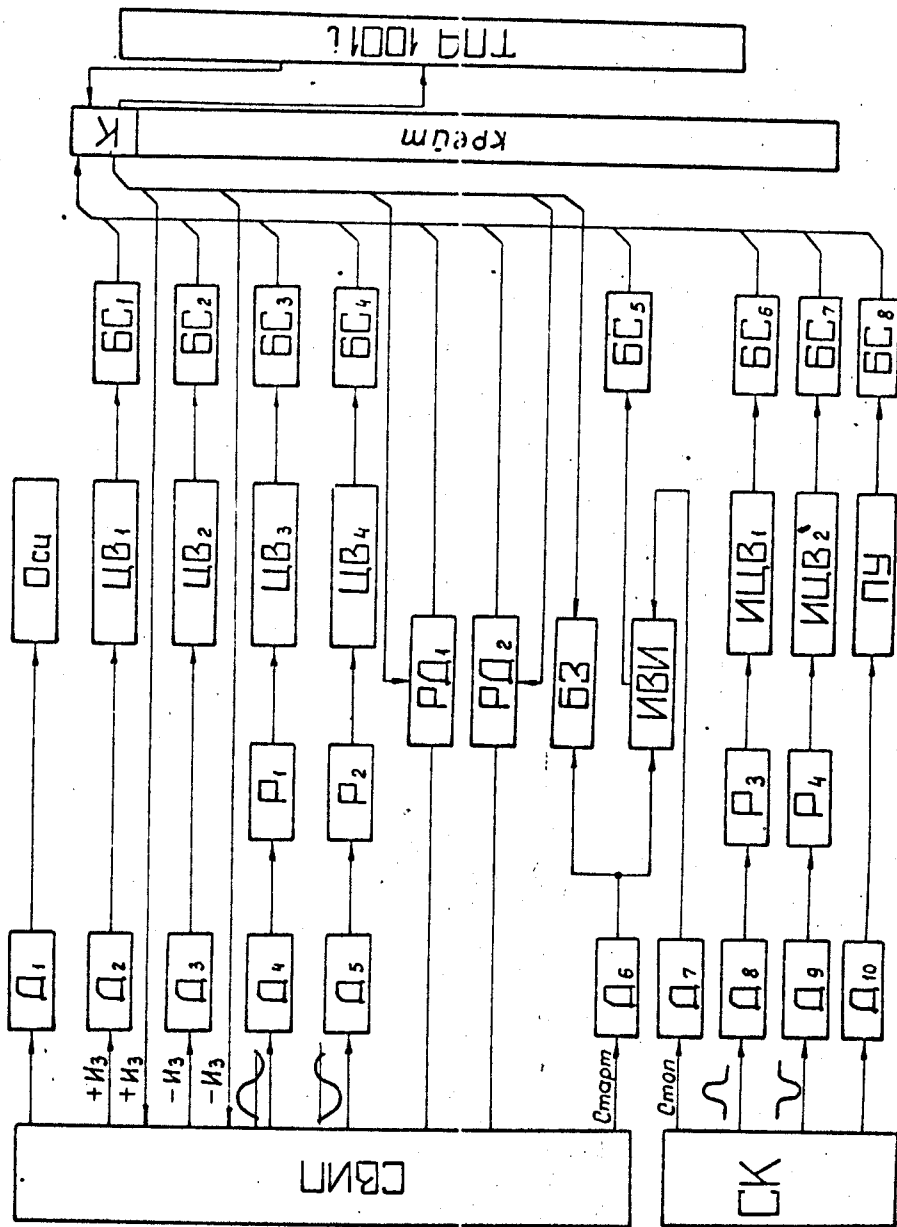


Рис. эк1. Структурная схема СКЭРК

Т
 вольного импульса контроль вышеописанных параметров должен осуществляться по двум каналам одновременно с выводом данных на дисплей и АЦПУ ТПА-1001 i . С помощью регуляторов давления РД₁ и РД₂ определенными сигналами с КУК должна обеспечиваться необходимая регулировка давления соответственно в ГИНе и в ДФЛ. СВИП. Пересчетное устройство ПУ предназначено для счета числа срабатываний камеры. Временные диаграммы работы системы контроля режима камеры, функционирующей с периодом $T=0,1$ сек во ^{время} "растяжки" пучка ускорителя для 3-х и для 4-х электродной камеры приведены соответственно на рис.эк.2 и рис.эк.3.

Общий вид дисплейного кадра приведен на рис.эк.4. Кадр содержит 180 строк по вертикали и 240 строк по горизонтали. По вертикали для графиков отведено 128 строк, для служебной информации - 52 строки, из них 16 строк сверху, что соответствует 2 знакам, 36 строк снизу, т.е. 4 знака; по горизонтали можно разместить 40 знаков, включая пробелы. На каждом кадре под надписями F должна быть изображена одна из соответствующих функций в зависимости от времени, например, $\pm U_{СК} = f(t)$ - двухполярные импульсы стримерной камеры, $\pm U_{ГИН} = f(t)$ - двухполярные импульсы СВИП, $\pm U_{зар} = f(t)$ - зарядное напряжение положительной и отрицательной полярности, $T_3 = f(t)$ - время задержки в подаче выходного импульса на электроды камеры, или, соответственно, одна из вышеперечисленных гистограмм стабильной работы устройств. Под функцией или гистограммой должно быть напечатано соответственно среднее F_{cp} , минимальное F_{min} , максимальное F_{max} значение измеряемой величины, а также среднеквадратичное отклонение $F_{cp.kv}$ от измеряемой величины. Описанные график или гистограмма будут характеризовать работу определенного устройства, полученную при определенных условиях эксперимента; предположительно, напечатанных на кадре слева (триггер Т, наполнение камеры $У$, мишень М, пучек П) и при определенных значениях величины: магнитного поля Н, интенсивности цикла ускорителя I, номера кадра N_k , номера пленки $N_{пл}$, изображенных на кадре внизу справа. На кадре вверху слева должно быть напечатано место, год, число, часы проведения эксперимента, наверху на кадре изображено: название установки СКМ-200 и номер эксперимента $N_{э}$.

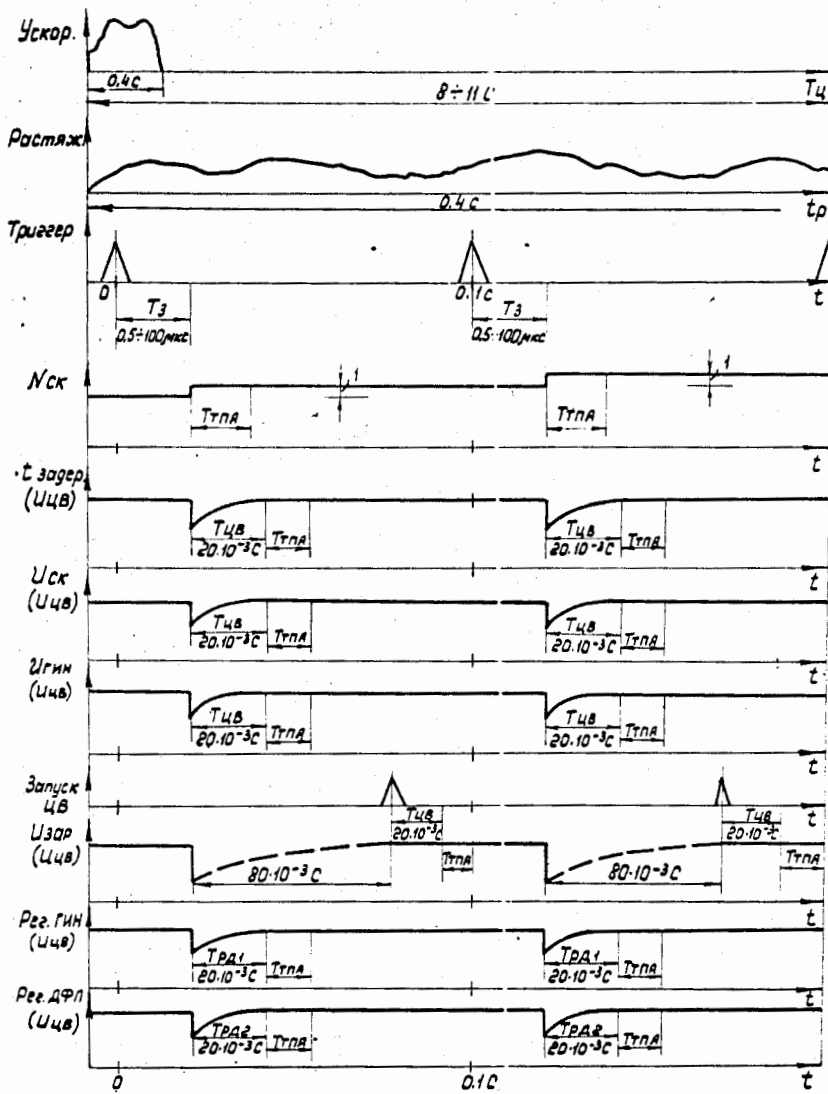


Рис. ЭК2. Временная диаграмма работы СКЭРК 3^я электродной камеры.

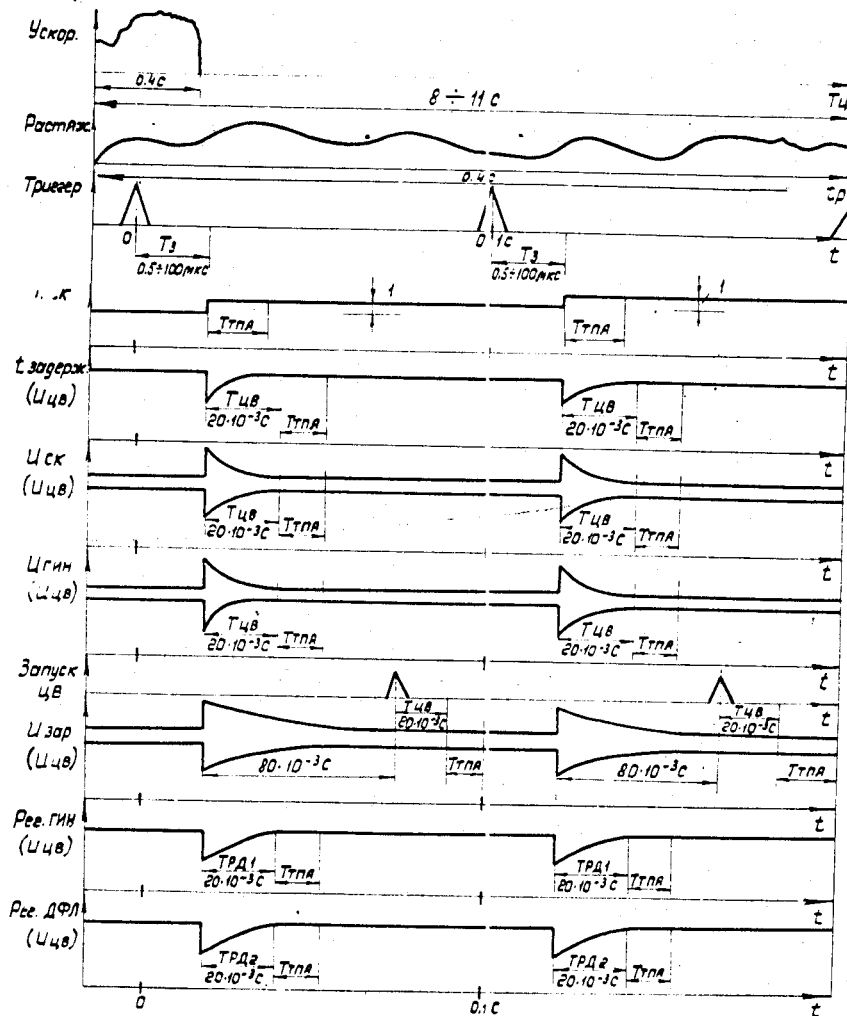


Рис.3 экз. Временная диаграмма работы КЭРК 4-х электродной камеры.

$(Z) f = G$
 $(Z) f = d \cdot G / P$
 $(Z) f = m \cdot f \cdot Z$
 $(Z) f = f \cdot Z$
 $(Z) f = f \cdot Z$

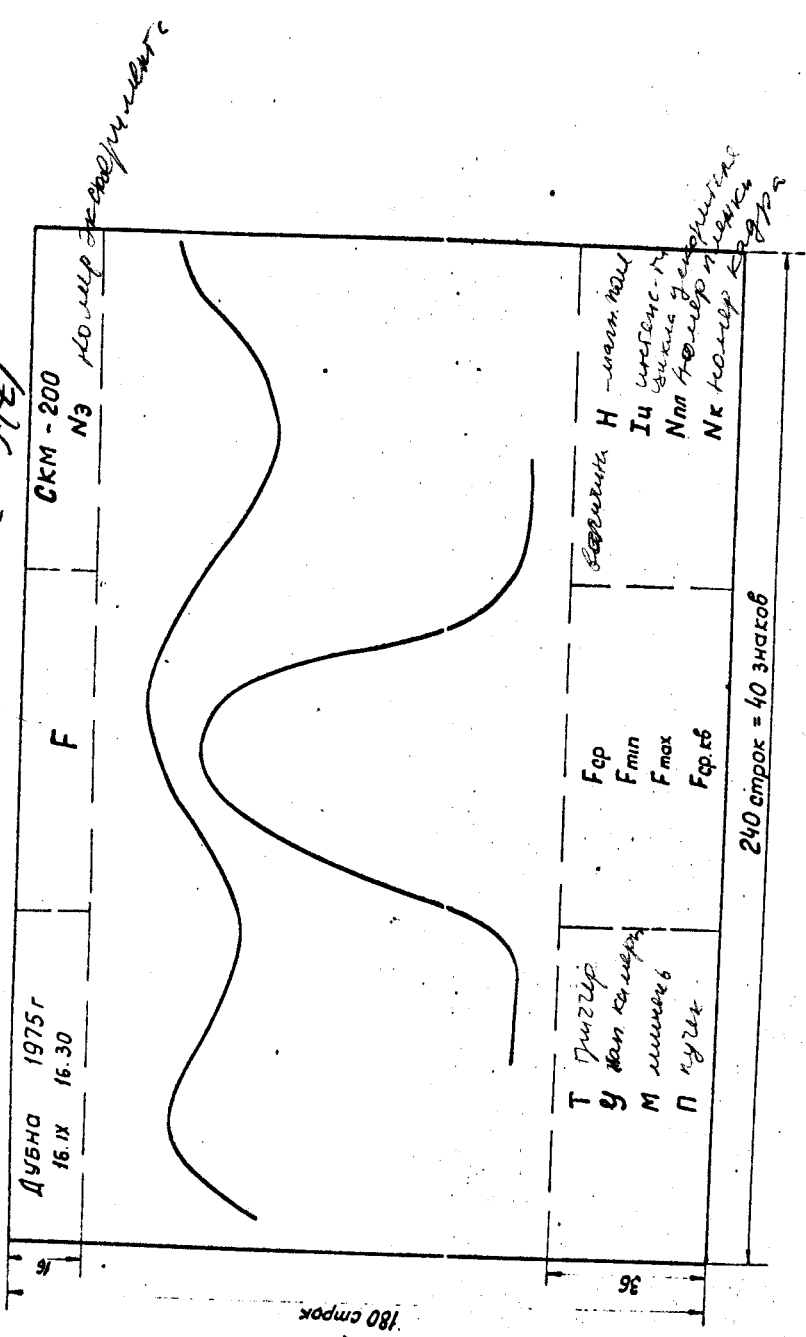


Рис.эк 4. Дисплейный кадр СКЗРК

ЛИТЕРАТУРА :

1. Н.С.Глаголева, Ю.Р.Лукстиньш, А.Т.Матюшин, В.Т.Матюшин.
Препринт ОИЯИ, Р13-779I, 1974г.
2. *У.А. Vardenga, V. D Volodin et al. International
Conference on Instrumentation for High Energy
Physics Frascati (Italy), 8-12 May, 1973.*
3. В.Д.Володин, Н.С.Глаголева, П.С.Кузнецов, А.Т.Матюшин,
В.Т.Матюшин и др.
Препринт ОИЯИ, Р13-78II, 1974г.

VII СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ГАЗОВОГО РЕЖИМА КАМЕРЫ

С К Г Р К

При работе камеры в интенсивных пучках необходимо снижать её время чувствительности – время "памяти", которое для чистых благородных газов доходит до нескольких сотен микросекунд. Время чувствительности камеры определяет её временное разрешение, оно должно быть достаточно малым для регистрации событий с минимальным количеством следов фоновых частиц и пучковых треков. Минимальная величина времени памяти определяется задержкой запуска, при времени памяти около 1 мксек стримерная камера может работать в пучках частиц с интенсивностью $\sim 1.0 \cdot 10^6 \text{ сек}^{-1}$. Для снижения времени памяти используются различные дозируемые добавки электроотрицательных газов к рабочему газу в камере. Поскольку камера непрерывно продувается газом и состав газа в ней изменяется, то при проведении физических экспериментов необходим непрерывный контроль, измерение и регулирование времени памяти камеры с целью поддержания его на заданном уровне. Наиболее просто регулировать время памяти камеры можно изменяя проток рабочего газа через неё, при этом электроотрицательной добавкой служит натекающий в камеру воздух.

На начальных стадиях разработки регулировка протока осуществляется вручную по данным измерений, на последующих – по мере создания соответствующей аппаратуры путём автоматического изменения протока газа через камеру по сигналам ЭВМ.

Таким образом разрабатываемая система должна обеспечить:

1. Непрерывный контроль и измерение времени памяти стримерной камеры СК во время экспозиции с выводом данных на дисплей ЭВМ и её печатающие устройства с целью получения информации для ручной регулировки времени памяти камеры.

2. Автоматическое регулирование времени памяти и поддержание его на заданном уровне, путём автоматической регулировки протока газа в камеру от ЭВМ.

В настоящее время существует несколько методов контроля состава газа, основанных на использовании ряда оптических, масс-спектрометрических, химических и звуковых явлений. Однако, все они, как правило, или инерционны и не позволяют осуществлять непрерывный контроль за изменением состава в условиях физического эксперимента. В литературе ^{/2/} описывается способ контроля состава газа, в основе которого используется эффект сильной зависимости потенциала зажигания газа от его состава, также известен и способ контроля времени памяти стримерной камеры по выходящему газу с помощью ионизационной камеры ^{/3/}. В эксперименте на установке СКМ-200 предложен и опробован более простой и эффективный способ контроля времени памяти стримерной камеры по выходящему газу с помощью искровой камеры.

Механизм работы стримерной камеры также как и искровой основан на развитии разряда от первоначальных электронов следа под действием электрического поля. Удельное число электронов на следе частицы в стримерной и искровой камере при одинаковом составе газа в них также одинаково и различие между камерами в стадии регистрации разряда — в стримерной камере регистрируются стримеры, развившиеся от оставшихся к моменту подачи импульса электронов, в искровой — искра, инициированная теми же электронами. Число зарегистрированных на следе стримеров, как и эффективность искровой камеры зависит от числа оставшихся электронов и эти величины однозначно связаны. Выбором режима работы искровой камеры можно задать определенную числовую зависимость между эффективностью регистрации искровой камеры и числом светящихся центров на следе частицы в стримерной камере. Для облегчения и упрощения процесса контроля и измерения времени памяти стримерной камеры используется дополнительная искровая камера и измеряется время памяти последней, соответствующее времени памяти стримерной камеры. Искровая камера запускается от ускоренных или космических частиц высоковольтными импульсами фиксированной амплитуды и длительности с помощью аппаратуры и счётчиков, аналогичным уже имеющимся в установках со стримерными или искровыми камерами (высоковольтное импульсное питание, сцинтилляционные счётчики, формирователи, схемы совпадения и др.). Факт образования искры в камере определяется бесфильмовым методом регистрации.

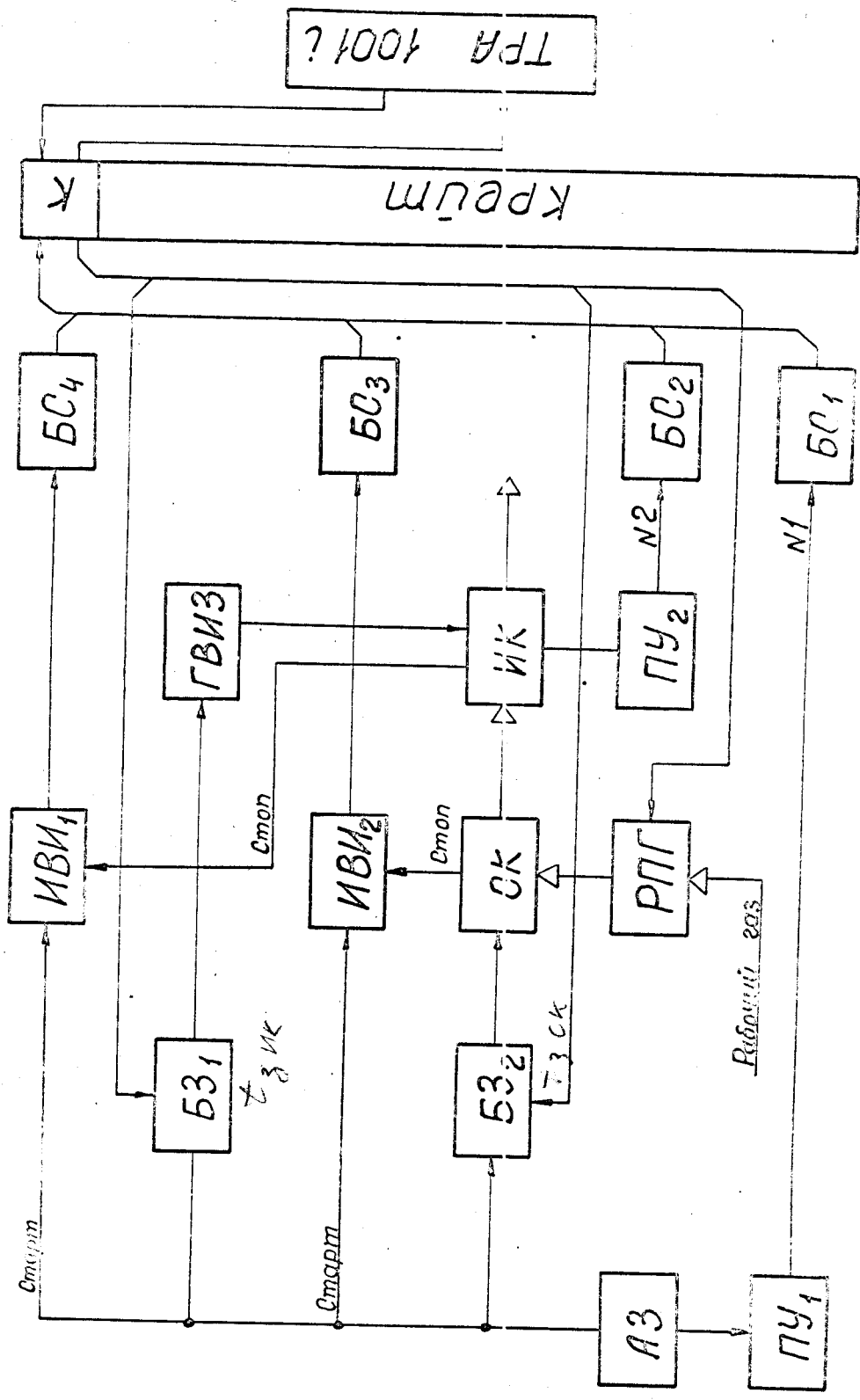


Рис 6к1 Структурная схема СКГРК

На описанный выше способ контроля времени памяти стримерной камеры подана заявка на изобретение. Способ опробован на макете в эксперименте и показал положительный результат. В настоящее время для осуществления описанного способа контроля времени памяти стримерной камеры разрабатывается необходимая аппаратура.

Аппаратура предназначена для длительной непрерывной эксплуатации на ускорителе, при этом должны быть приняты меры по повышению надежности узлов системы. Кроме того аппаратура СК ГРК должна быть размещена на подвижной платформе, причем две такие платформы образуют рабочий "домик".

Состав СКГРК.

В состав СКГРК входит (см. структурную схему Рис. гк.1)

1. Измеритель временных интервалов - ИВИ
2. Электронный ключ - ЭК
3. Блок задержки - БЗ
4. Аппаратура запуска - АЗ
5. Генератор высоковольтных импульсов запуска - ГВИЗ
6. Искровая камера - ИК
7. Пересчетные устройства - ПУ₁, ПУ₂
8. Блоки связи - БС, БС₁, БС₂
9. Регулятор протока газа - РПГ
10. Крейт КАМАК
11. Контроллер ТПА 1001 \mathcal{L} - К

Временная диаграмма работы СКГРК с периодом $T = 0.1$ сек приведена на Рис. гк.2. Здесь длительность цикла ускорителя $T_{\text{ц}} \approx 8 + 110$ время растяжки пучка $\approx 0,4$ с. Все сигналы триггера регистрирует пересчетное устройство ПУ₁. По сигналу триггера срабатывают стримерная и искровая камеры с задержкой соответственно $t_{3\text{ск}}$ и $t_{3\text{ик}}$. Пересчетное устройство ПУ₂ регистрирует число срабатываний искровой камеры ИК. Задержка $t_{3\text{ик}}$ регулируется блоком задержки БЗ и контролируется измерителем временных интервалов ИВИ, показания которого выводятся на ЭВМ, при отклонении t_3 от заданной величины сигналом соответствующей системы контрольно-управляющего комплекса

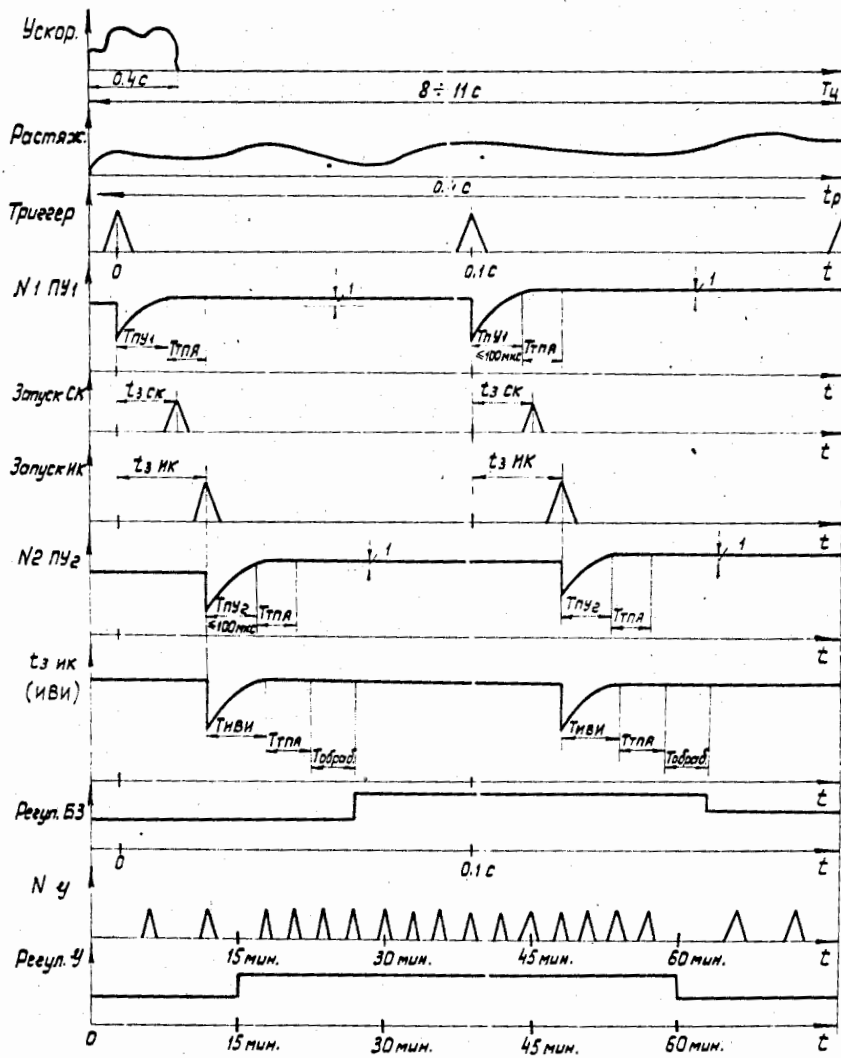


Рис. ГК2. Временная диаграмма работы СКГРК.

КВК происходит необходимая регулировка времени задержки БЗ. Проток газа искровой камеры контролируется счётчиком расхода газа ψ , показания которого вводятся в ТПА-1001 \dot{c} , ЭВМ вырабатывает сигнал необходимой регулировки протока рабочего газа через ИК.

Принцип контроля времени памяти стримерной камеры приведен на графиках Рис.гк.3. Значения эффективности ИК от задержки t_3 при определенной концентрации воздуха в камере (например 0,1%) и различных величинах напряженности поля в камере иллюстрирует Рис.гк.3а.

График Рис.гк.3б отражает изменение числа стримеров на треке определенного по фотографиям, полученным при разных значениях задержки t_3 . Здесь на уровне 50% N/N_0 находим время памяти стримерной камеры T_M ск; где N и N_0 число стримеров на треке соответственно при нулевой и данной задержке. В дальнейшем эту операцию можно автоматизировать, если счёт стримеров осуществляется с помощью телевизионной камеры. По рис.гк.3а и гк.3б при значении T_M ск = T_M ик находим соответствующее значение напряженности поля искровой камеры в рабочем режиме.

На рис.гк.3в отражен контроль текущего значения эффективности ИК в зависимости от задержки выбранной равной T_M в начале работы.

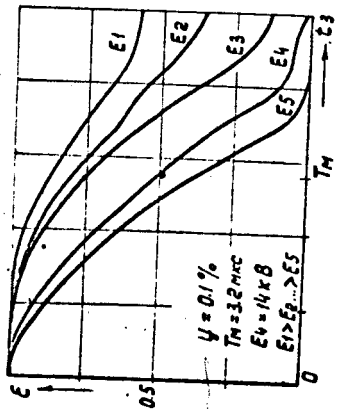
Возможности выявления влияния концентрации набегающего в стримерную камеру воздуха на эффективность регистрации искровой при выбранном значении напряженности поля в ней $E = const$ на время памяти камеры иллюстрирует Рис. гк.3г.

Система СКГРК при создании соответствующей аппаратуры связи с ЭВМ и программного обеспечения должна обеспечивать:

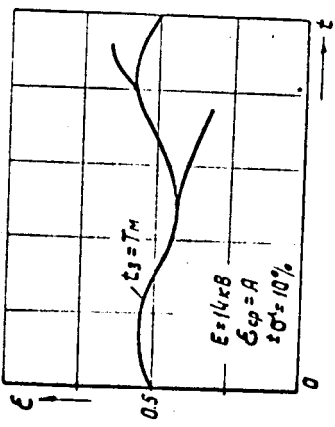
1. а) автоматическую установку заданного значения задержки в подаче высоковольтного импульса на электроды И.К. относительно сигнала АЗ (момента прохождения частицы) в заданном интервале (0+15 мксек) с шагом (0,5+1,0 мксек).

б) набор в каждой точке заданного интервала ~ 100 событий и определить соответствующее значение эффективности (ϵ) искровой камеры в выбранных точках и построение графика зависимости $\epsilon = f(t_3)$ при разных значениях E_1, E_2, E_3 (Рис.гк.3а) и U_1, U_2, U_3 (рис.гк.3г).

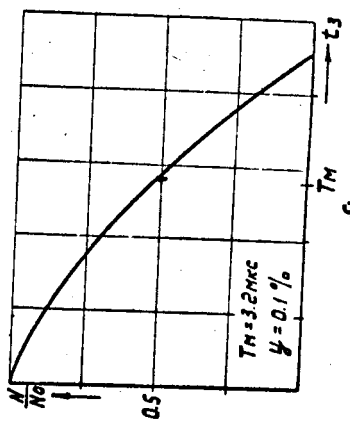
Значения σ_{sp} или σ_{sp} от σ_{sp}
 или σ_z



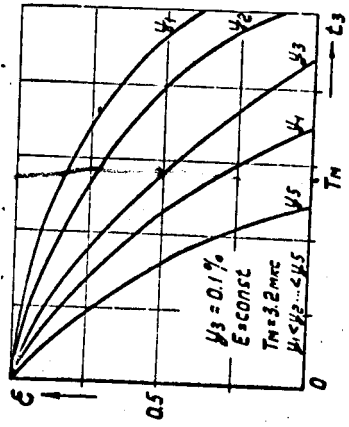
а)



б)



д)



з)

Рис. 63. Графики, поясняющие принцип работы СКГРК

в) контроль заданной величины времени памяти T_M ск = T_M ик при выбранном значении E_4 (рис. гк.3 в, г.) (1-2 раза в смену по требованию оператора и общей программе эксперимента.)

г) выдачу сигнала об отклонении заданной величины $T_M, C \approx \pm(5+10)\%$ (Рис. гк.3 в, г.)

д) вывод информации в качестве функции по вышеописанным пунктам б, в, г на дисплейный кадр в виде Рис.эк.4

II. Автоматическое регулирование времени памяти камеры на последующих этапах развития установки СКМ-200 путем изменения пролака газа через камеру.

ЛИТЕРАТУРА :

1. В.М.Белякин, С.М.Биттибаев, О.П.Мальков, Е.М.Матюшевский, А.Т.Матюшин, В.Т.Матюшин и др.
Препринт ОИЯИ ІЗ-7878, Дубна, 1974г.
2. А.Ф.Писарев, В.М.Шешунов, Препринт ОИЯИ РІЗ-4446, Дубна, 1969г.
3. „Die Zerschlagung von Teilensfurchen in einer Streamerkammer“ Volker Eckardt, Hamburg, 1971, кар 4.

УШ. СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТРЕКОВОГО РЕЖИМА КАМЕРЫ.

Повышение эффективности проведения исследований на ускорителе с помощью стримерной камеры требует наблюдения за следами в камере с целью контроля выхода событий и качества трека. Основные трудности, возникающие при реализации системы дистанционной визуализации трека, связаны в первую очередь с малой величиной световых стримера, кратковременностью его свечения и условиями эксперимента - высокий уровень электромагнитных помех от работающей камеры, сравнительно большие величины рассеянного поля, удаленность оператора от камеры (радиация).

Эти обстоятельства существенно ограничивают возможность применения для стримерной камеры телевизионных систем с электронно-лучевыми приборами в качестве датчиков видеосигнала.

В последнее время ведутся интенсивные исследования по созданию твердотельных аналогов передающих телевизионных трубок на основе полупроводниковых МОП структур зарядовой связью (ПЗС). Основной принцип работы ПЗС заключается в возможности накопления и, затем, последовательного переноса дискретных пакетов неоснованных носителей заряда потенциальными ямами посредством изменения в определенной последовательности электрических потенциалов на металлических электродах МОП структур прибора.

В устройствах для фотоэлектрического преобразования сигналов (ФЭП), построенных на ПЗС структурах, оптическое изображение при помощи набора светочувствительных элементов преобразуется в распределение зарядовых пакетов, соответствующих деталям изображения. В результате считывания, на выходе прибора создается последовательность импульсов, амплитуда которых пропорциональна световой энергии, накопленной в каждом светочувствительном элементе. На этой основе уже созданы линейные и двумерные матрицы ФЭП на ПЗС. В частности, фирма Fairchild в 1973 году известила о создании и выпуске в продажу двух типов ФЭП на ПЗС: линейной структуры, состоящей из 500 светочувствительных элементов - ССД-101 и матрицы, состоящей из 100x100 светочувствительных элементов - ССД-201.

Краткое описание матрицы ССД-201. Блок-схема ССД-201 приведена на рис.1. Светочувствительная поверхность, размером $3 \times 4 \text{ мм}^2$, состоит из 10 тысяч (100×100) светочувствительных элементов. Размер каждого элемента $20 \times 30 \text{ мкм}^2$, расстояние между центрами элементов 30 и 40 мкм соответственно. Кроме набора светочувствительных элементов в состав ССД-201 входят: 100 вертикальных 100-элементных двухтактных аналоговых сдвигающих регистров, 102-элементный горизонтальный двухтактный аналоговый сдвигающий регистр, выходной детектор-предусилитель, цепь заряда и компенсационный усилитель.

Световой поток, поступающий на входное окно матрицы, образует в светочувствительных элементах фотоэлектроны, которые накапливаются в течение времени, задаваемого управляющим потенциалом на шине Р. Количество накопленных электронов в каждом элементе является функцией освещенности и времени экспозиции (накопления). Величина выходного сигнала при этом может изменяться непрерывным образом от уровня тепловой помехи при нулевой освещенности до максимума при насыщении.

Сигналом для считывания изображения является переключение потенциала на шине Р, в результате чего накопленные заряды передаются в вертикальные сдвигающие регистры. Под действием синхроимпульсов В1 и В2 заряды из этих регистров передаются в горизонтальный сдвигающий регистр и далее, под действием синхроимпульсов Н1 и Н2, поступают на вход детектора-предусилителя, где преобразуются в выходные напряжения, поступающие на контакт А. Детектирование заряда осуществляется на предварительно разряженном диоде. Синхроимпульсы для заряда диода подаются на контакт М, возникающий при этом импульс помехи, который искажает выходной видеосигнал, выделяется на контакте с компенсационного усилителя.

Последовательность видеосигналов на контакте А соответствует телевизионной черезстрочной развертке с двумя полукадрами.

Все элементы, входящие в состав матрицы, расположены в одном пластмассовом корпусе для БИС с 24 выводами.

Основные светотехнические характеристики ССД-201

Экспозиция, соответствующая насыщению равна $N = E \times T = 0,3 \times 10^{-3}$ лксек (Е - освещенность отдельного элемента, Т - время экспозиции) при освещении матрицы светом вольфрамовой лампы накаливания с цветной температурой 2854°K , частоте тактовых импульсов сдвига вдоль

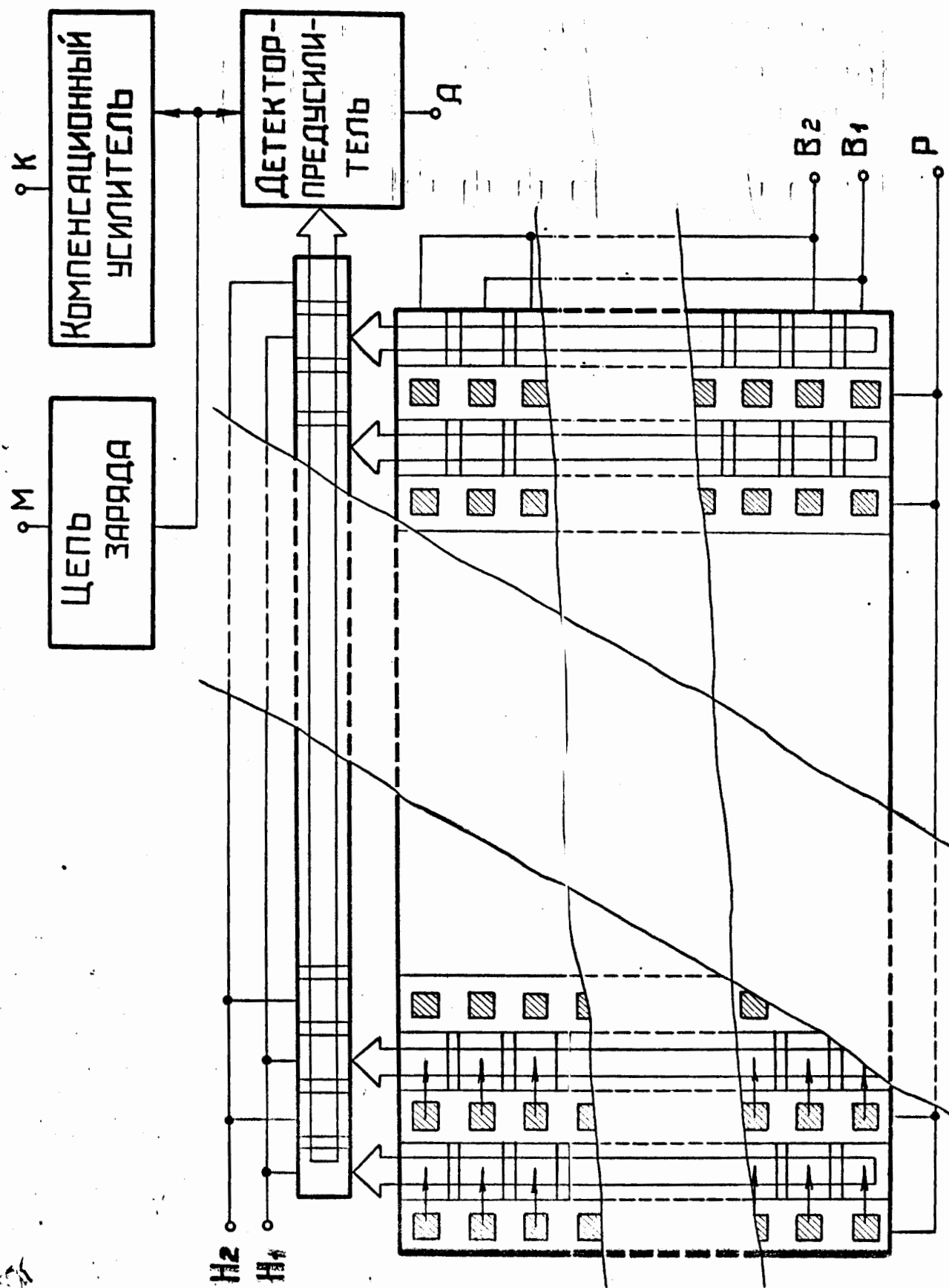


РИС.1

строки - 500 Кгц, частоте строчных импульсов - 3 Кгц, частоте кадров - 30 гц.

Динамический диапазон, равный отношению экспозиции насыщения к экспозиции, соответствующей уровню шума - 100+200.

Диапазон спектральной чувствительности - 0,48+1,1 мкм.

Диапазон значений частоты тактовых импульсов сдвига вдоль строки - от 0,1 до 4,0 Мгц.

Разброс величины чувствительности элементов по полю матрицы - $\pm 15\%$.

Наблюдение событий в стримерной камере

Возможность применения матрицы для наблюдения событий в стримерных камерах рассмотрим следующим образом. Диаметр стримера в рабочем объеме камеры 1+2 мм, его яркость равна примерно 1 Мнт (время высвечивания порядка 10^{-8} сек), этой яркости достаточно для получения нормальных почернений при регистрации событий на аэрофотоплёнке с чувствительностью $S_{0,85} = 2000$ ед. Гост, при относительных отверстиях объектива 1/2+1/5 и масштабах фотографирования 1/20+1/75 диаметр изображения стримера на плёнке при этом 150+50 мкм соответственно.

Приведенные данные означают, что величина световой энергии, поступающей на плёнку от отдельного стримера, эквивалентна экспозиции равной не менее $1+5 \times 10^{-3}$ лксек. Для получения экспозиции, соответствующей середине динамического диапазона чувствительности элемента матрицы, достаточно световой энергии эквивалентной величине экспозиции равной $0,03 \times 10^{-3}$ лксек, то есть элементы матрицы примерно на два порядка более чувствительны. Хотя точность приведенной оценки не высока, по-видимому, не лучше $\pm 10+20$ раз, можно с достаточной уверенностью заключить, что по светочувствительности матрица пригодна для наблюдения событий в стримерных камерах. Что касается разрешения, то очевидно, что 100x100 элементов достаточно только для наблюдения качественной картины событий. При проекции на матрицу уменьшенного примерно в 100 раз изображения рабочего объема камеры можно будет наблюдать часть камеры размером $300 \times 400 \text{ мм}^2$, а среднеквадратичная ошибка определения положения отдельных стримеров будет порядка 2 мм в объеме камеры.

Аппаратура контроля трекового режима

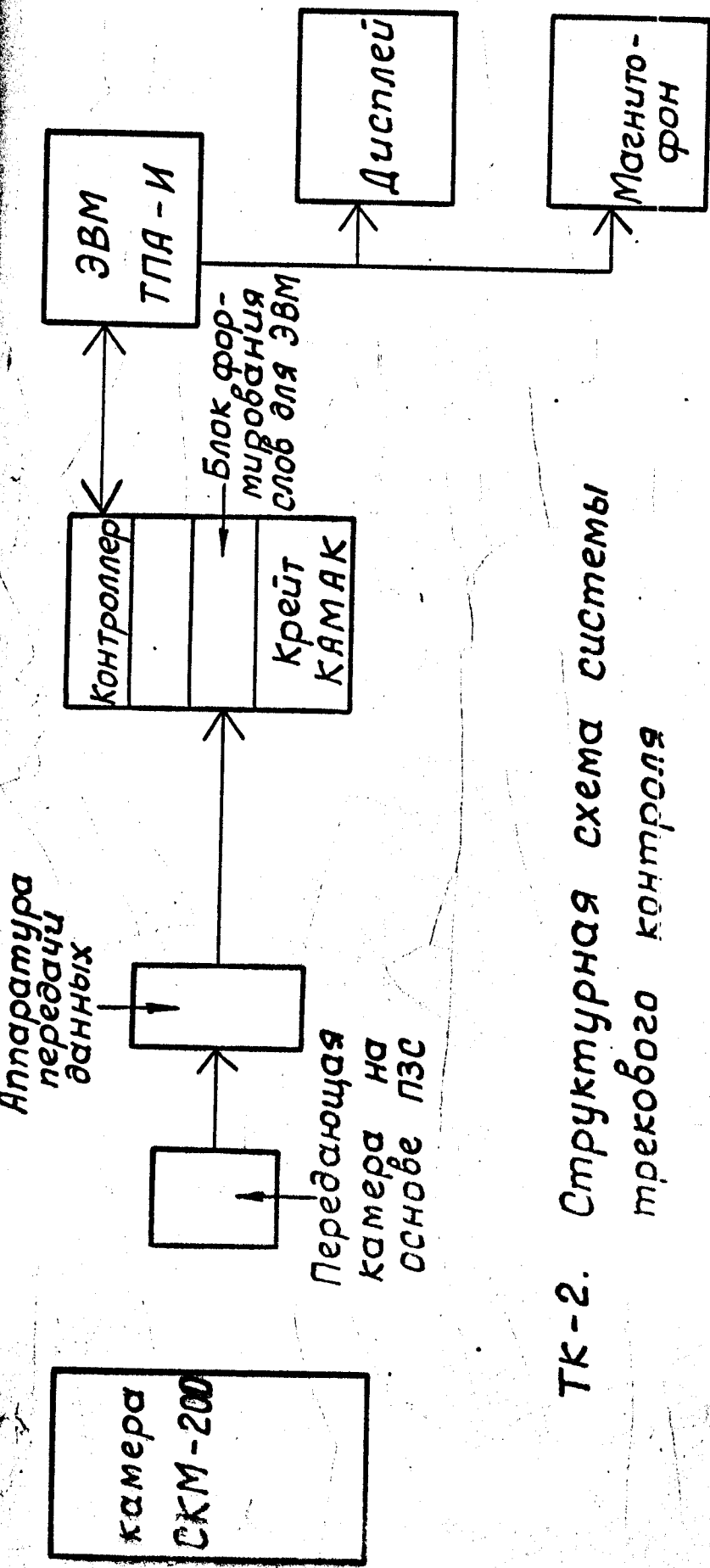
Для контроля событий в камере целесообразно использовать передающую камеру на основе ПЗС. В этом случае значительно упрощается аппаратура для считывания с запоминающей матрицы.

Аппаратура контроля трекового режима с использованием передающей камеры на основе ПЗС показана на рис. 2.

Видеосигнал передающей камеры поступает в аппаратуру передачи данных, где преобразуется в форму, удобную для передачи по линии связи передающей камеры и контрольного комплекса на основе ЭВМ. Сигналы с линии связи обрабатываются блоком формирования слов для ЭВМ. 12-разрядные слова, сформированные блоком, записываются в память ЭВМ, где каждой запоминающей ячейке передающей трубки соответствует один разряд. Таким образом, в памяти ЭВМ получается копия картины передающей камеры. Содержимое памяти машины выводится на дисплей для наблюдения оператором.

При этом оператор может отмечать интересующие его кадры и тем самым производить предварительный отбор событий.

Осуществляя запись дисплейного кадра на магнитофон можно в дальнейшем вести предварительный просмотр событий. Заманчивой выглядит система полностью бесфильмового съема и обработки информации с помощью таких матриц, однако, разрешение, обеспечиваемое одной матрицей уступает тому, что можно иметь на пленке в настоящее время. Поэтому для решения такой задачи необходимо вначале провести исследования возможностей регистрации следа в стримерной камере с помощью матрицы, хотя бы и с ограниченным числом элементов, что позволит уточнить реальные светотехнические характеристики устройства, влияние условий применения и затем уточнить возможности этого нового элемента. При положительном опыте работы матрицы возможными путями решения задачи бесфильмового съема является создание многообъективной оптической стереосистемы с матрицами элементов или заказ на разработку больших матриц. И в том и другом случае необходимы существенные финансовые вклады и коллективные усилия по разработке.



TK-2. Структурная схема системы трекового контроля

ЛИТЕРАТУРА :

1. П.Е.Кандыба и др. Приборы с зарядовой связью. Состояние и перспективы развития. МИКРОЭЛЕКТРОНИКА. Сб.статей, вып. 7, 1974, Изд. "Советское радио", М., стр. 55-78.
2. В.А.Зимогляд и др. Фотоприемное устройство на приборе с зарядовой связью. Электронная техника. Серия III, вып. 2/42/, 1973. Стр. 39-42.
3. Boyle W.S, Smith G.H. Charge Coupled Semiconductor Device. *The bell. System Technical J.* 1970. v49, n4, P587
4. Работы по созданию твердотельного видикона на структурах со скрытыми каналами. ЭЛЕКТРОНИКА. № II, 1972, стр. 15-17.
5. Реклама ССД-201. *Electronics* v46, № 22, 1973, p.44-45.
6. Проспект фирмы Fairchild - ССД-201, 1973.
7. G A Vardenga et al The SIKR 2-meter Streamer Chamber International Conference on Instrumentation for High Energy Physics, Frascati (Italy), 8-12 May 1973
8. А.Я.Астахов и др. Спиральный измеритель. Препринт ОИЯИ, Р10-4943, Дубна, 1970.
9. А.Я.Астахов и др. Универсальный просмотрно-измерительный стол БПС-3У, предназначенный для обработки снимков с трековых камер. Сообщение ОИЯИ, 10-6629, Дубна, 1972.

IX. КОНТРОЛЬНО-УПРАВЛЯЮЩИЙ КОМПЛЕКС (КУК).

При проведении обширной физической программы экспериментов с установкой СКМ-200 на современном техническом уровне, особенно, в связи с повышением быстродействия установки, предъявляются новые требования к системам по контролю за ходом эксперимента, регистрирующим информацию о каждом отдельном событии.

Для контроля эксперимента предполагается вести оперативный контроль:

- электрического режима стримерной камеры;
- газового режима стримерной камеры;
- трекового режима стримерной камеры;
- системы запуска фоторегистраторов;
- магнитного поля.

Кроме того, контроль за работой ускорителя на мишень:

- измерение интенсивности пучка;
- контроль за растяжкой и временной структурой пучка;
- контроль за направлением и профилем пучка;
- контроль за работой триггера.

Задачей контрольных систем, отличительной особенностью работы которых является то, что информация на их входы подается не один раз в цикл работы ускорителя как раньше, а с периодом $T=0.1\text{с}$ за время растяжки ускорителя, есть необходимость измерять и накапливать информацию каждого срабатывания установки каждой системой в отдельности.

В этом случае из-за большого объема информации практически невозможно обеспечить оперативный контроль во время эксперимента ручным способом.

Одним из методов решения этой задачи является создание контрольно-управляющего комплекса - КУК на базе контрольных систем на линии ЭВМ-ТПА-1001 и программного обеспечения с выводом данных на экран дисплея (дисплейный кадр, см.рис.эк.4.) и АЦПУ (по требованию оператора и общей программе эксперимента). Дисплейный кадр должен снабжаться служебной информацией - номер, место, год, число, часы проведения эксперимента, название установки и т.д.).

В качестве контрольных систем КУК предполагается использовать:
(см. структурную схему, рис. КУК I).

- а) систему контроля электрического режима камеры-СКЭРК;
- б) систему контроля газового режима камеры - СКГРК;
- в) систему контроля трекового режима камеры - СКТРК;
- г) систему контроля фоторегистрации - СКФ;
- д) систему контроля магнитного поля - СКМП;
- е) систему контроля параметров пучка - СКПП;
- ж) систему контроля счётчиков годоскопа - СКСТ;
- з) систему контроля триггера - СКГ.

Контрольные системы должны работать на линии ЭВМ-ТПА-10011, оснащенной следующими внешними устройствами: (Рис. КУК I).

1. Телетайп ДАТА DYNAMICS -390 -TTY
2. Быстрый перфторатор FACIT - PUNCH
3. Быстрочитающее устройство FS -1501 - READER,
4. Графикопостроитель CALCOMP - PLOTTER
5. Дисплей VIDEOTON 340 - DISPLAY TERMINAL
6. Дисплей ATS 51 VENUS - CIRAPHIC DISPLAY
7. Блок управления магнитофонами - MT DRIVER
8. Магнитофон EC-5012 - MTU
9. Широкая печать EC-7184 (АЦПУ) - LP
10. Диск магнитный EC-5060 - DISK UNIT.

Временная диаграмма работы КУК будет уточнена в процессе разработки.

При проведении физических экспериментов на ускорителе, как показал опыт эксплуатации, целесообразно выполнять контрольно-управляющий комплекс в виде функционально-замкнутых систем, расположенных на модернизированных платформах, из которых составляется передвижной электронный домик.

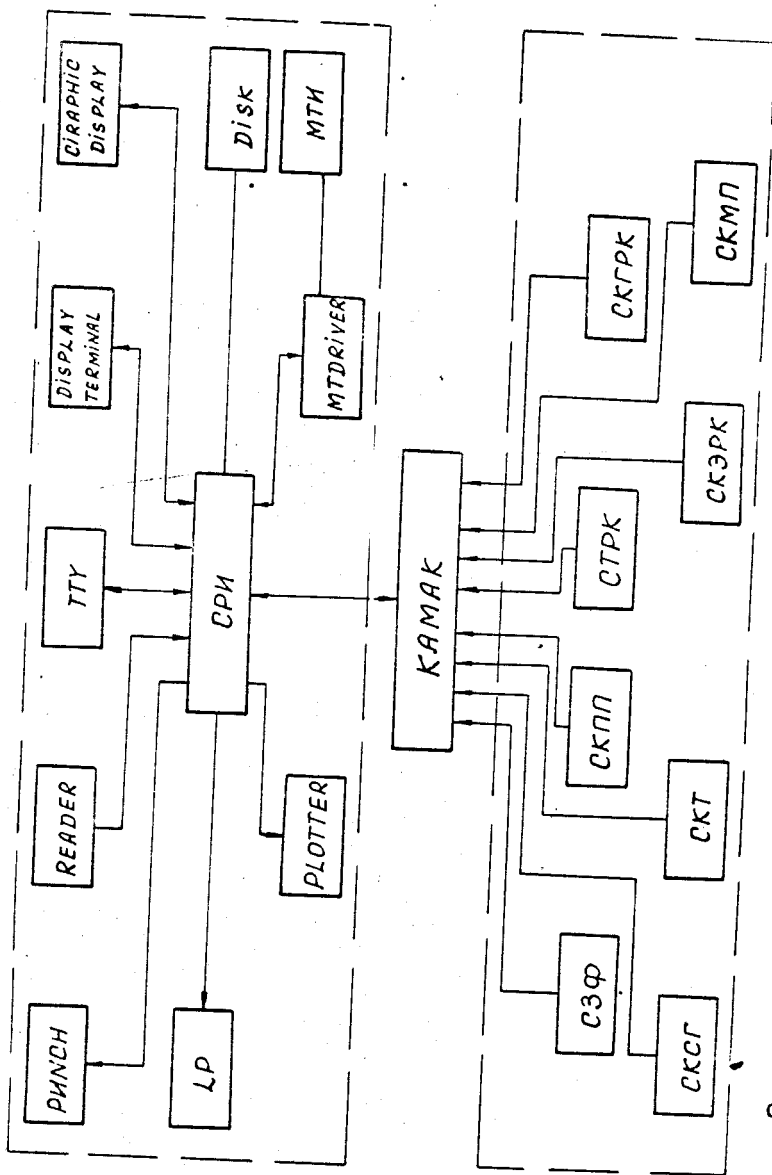


Рис. кук1 Структурная схема кук установки СКМ-200



Необходимая площадь для размещения контрольно-управляющего комплекса - КУК.

X МИШЕНИ В РАБОЧЕМ ОБЪЕМЕ СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЫ.

В облучениях установки СКВ-200 использовалась система съемных мишеней, располагаемых в рабочем объеме стримерной камеры.

В такой системе твердая мишень помещается в пенопластовый контейнер с тонкими стенками (0.1 г/см^2) и входным (выходным) лавсановым окошком (0.006 г/см^2). Внутри контейнера постоянно поддувается газ с достаточно большим потенциалом зажигания (например, азот), что позволяет избежать электрических пробоев при использовании любых твердых мишеней, в том числе и металлических.

I. Мишени с газовым наполнением.

Некоторые вещества, часто применяемые в качестве ядерных мишеней, при нормальных условиях неходятся в газообразном состоянии (водород, дейтерий, гелий и др.), что вызывает необходимость помещать в стримерную камеру ^{мишени} из газообразных и сжиженных веществ.

Очевидным недостатком газовых мишеней является малая плотность вещества, которая обуславливает относительно небольшую вероятность взаимодействия в таких мишениях.

Однако для экспериментов, в которых можно обеспечить достаточно высокие значения:

- а) интенсивности пучка ($I > 10^4 + 10^6$ частиц в импульсе) и
- б) эффективности триггера ($\mathcal{E} > 10^{-2} + 10^{-1}$), с успехом могут быть использованы газовые мишени, помещенные внутрь рабочего объема стримерной камеры.

Использование газовых мишеней с тонкими стенками имеет то преимущество, что позволяет наблюдать более медленные продукты взаимодействия, чем при использовании твердых (жидких) мишеней.

Это особенно важно в таких экспериментах как изучение развала ядра, исследование рассеяния с малой передачей импульса и др.

Кроме того в газовых мишениях легче выделить случаи со вторичными взаимодействиями в мишени уже провзаимодействовавшей частицы или продуктов её взаимодействия.

Для ряда планируемых исследований в области релятивистской ядерной физики отмеченные обстоятельства оказываются весьма важными. С другой стороны в этих исследованиях можно, как правило, обеспечить достаточно большую эффективность отбора нужных событий^{*)}.

Для установки СКМ-200 планируется разработка и создание системы газовых мишеней с различными наполнениями при разных давлениях.

Конструкции газовых мишеней, их параметры (размеры, давление газа, толщина стенок) определяются требованиями конкретных экспериментов и будут выбраны в результате методических исследований.

2. Газовая мишень-трековый детектор.

Однако в обычной газовой мишени нельзя наблюдать непосредственно область взаимодействия лежащую внутри мишени, а её восстановление по трекам частиц, выходящим из мишени, приводит к потере точности и информации при геометрической реконструкции зарегистрированного события^{**)}.

При исследовании многих ядерных событий восстановлением полной картины взаимодействия оказывается вообще невозможным как, например, при вылете ядерных частиц и фрагментов, распадающихся в объеме мишени. К числу их относятся большинство K_S^0 -мезонов, гиперонов и гиперядер с импульсами до $1+2$ Гэв/с, которые имеют распадные пробеги порядка нескольких сантиметров.

Для решения этой методической проблемы предполагается разработка такой системы, которая позволила бы осуществить стримерный (трековый) режим одновременно в самой стримерной камере и в мишени при наполнении её определенными газами при давлении отличным от атмосферного.

Известно, что при осуществлении стримерного режима справедливо приближенное соотношение: $\frac{E^2 T}{\rho} = C$, где E — напряженность электрического поля, создаваемого в стримерной камере импульсным гене-

*) Для увеличения эффективности тонких (по количеству вещества) мишеней изготавливаются вакуумные пучковые ионопроводы (из диэлектрика) на входе в стримерную камеру и после нее.

**) Это замечание в той или иной степени относится к обычным жидким и твердым мишеням.

ратором, T - длительность импульса, P - давление газа в камере, а C - константа, которая имеет разную величину для различных газов и определяется, в основном, потенциалом зажигания. Из этого соотношения видно, что при одних и тех же параметрах выскользнутого импульса (E и T) можно получить одновременно стримерный (трековый) режим в мишени, содержащей газ 1 и в основном объеме камеры, наполненном газом 2, если давление в них устанавливается в соответствии ($P_1/P_2 = C_2/C_1$). Основным объемом стримерной камеры при этом может быть заполнен как обычно неон, имеющим низкий потенциал зажигания, при нормальном давлении, а давление газа в мишени следует изменить (уменьшить) настолько, чтобы сделать наблюдаемыми (фотографируемыми) образовавшиеся в ней треки.

Очевидно, что конструктивное воплощение такой мишени-детектора будет определяться требованиями эксперимента. Можно указать, однако, общие особенности предполагаемой конструкции. Для того чтобы треки в газовой мишени можно было бы фотографировать, ее стенки следует изготовить из прозрачной диэлектрической пленки (лавсана). Наиболее разумная форма оболочки мишени - цилиндр с кольцевыми ребрами жесткости, с помощью которых осуществляется крепление (подвеска) ее внутри рабочего объема стримерной камеры, и с выводами на торцах для наполнения различными газами без разгерметизации самой камеры. Эти ребра жесткости обеспечивают также необходимую прочность при перепаде давления.

Диаметр цилиндра определяется поперечными размерами пучка взаимодействующих частиц (30-50 мм), так что внутренний объем в сотни раз меньше основного объема, заполняемого неон, который обеспечивает высокое качество стримерных треков и хорошую точность трековых измерений. Существенным является то, что благодаря прозрачным тонким стенкам, заключающим внутренний объем, оба объема представляют для фотографирования оптически однородную среду.

Из газов-наполнителей мишени, в которых в принципе может быть осуществлен стримерный (трековый) режим, можно отметить водород (может быть дейтерий), гелий, аргон, криптон, ксенон и некоторые другие газы.

Однако выяснение возможностей их использования для мишеней детекторов, а также выбор режима (давления) потребует дополнительных методических исследований.

Очень выгодным является использование разрабатываемой газовой мишени-детектора при изучении взаимодействия на ядрах редких изотопов даже тех газов (гелий, неон), которые используются для наполнения стримерных камер. Высокая стоимость изотопически чистых газов ограничивает их использование в качестве наполнителей больших стримерных камер.

Так, только при одном заполнении путем продува камеры с рабочим объемом $\sim 1 \text{ м}^3$ требуется не менее 10 м^3 газа, что, например, в случае e составляет стоимость свыше 60 тыс. рублей.

Создание большой стримерной камеры, заполняемой путем откачки, могло бы уменьшить затраты на газ, но при этом значительно усложняется конструкция такой камеры и существенно возрастает стоимость её изготовления, поскольку она должна выдерживать давление до 1 атм.

С увеличением размеров камеры эти трудности естественно усугубляются.

Таким образом наполнение разрабатываемой газовой мишени редким изотопом позволяет сократить расходы на эксплуатацию установки в десятки раз.

3. Стримерная камера с водородной трековой газовой мишенью.

Из перспективных методических разработок, необходимость которых может быть вызвана насущными требованиями эксперимента, следует выделить создание стримерной камеры с водородной газовой мишенью, в которой осуществляется стримерный (трековый) режим.

Для большинства будущих экспериментов такая установка могла бы успешно конкурировать с разрабатываемыми сейчас в ряде лабораторий водородными стримерными камерами^{*)}.

Внедрение в практику эксперимента водородных стримерных камер встречает на своем пути ряд проблем (кроме основной проблемы ГИНа, которая практически уже решена):

*) По-видимому наиболее далеко продвинулась в этом направлении группа Рорбаха, которая опубликовала недавно результаты методических исследований модели водородной стримерной камеры размером $(26 \times 21 \times 9 \text{ см}^3) / I /$

а) Для осуществления стримерного режима внутри водородной стримерной камеры необходимо создавать давление ниже атмосферного. Это обстоятельство усложняет проблему конструирования и изготовления камер большого объема требованиями необходимой жесткости и прочности. В тоже время увеличение размеров камеры необходимо для обеспечения хорошей точности трековых измерений, т.к. последняя зависит от длины трека в камере^{*)}.

б) Качество стримерных треков в водороде получается низким, что приводит к ухудшению точности измерения углов вылета и импульсов.

В предлагаемой разработке водородом при пониженном давлении наполняется лишь небольшая по объему газовая мишень, а сама стримерная камера наполняется неон-геллевой смесью (или гелием) при атмосферном давлении, что обеспечивает хорошие стримерные треки в большом объеме.

Анализ результатов работы /1/ показывает, что, например, при в/в импульсе длительностью 9 нсек, создающим поле 35 кв/см, можно получить стримерный режим одновременно в гелии при атмосферном давлении и в водороде при давлении 0,4 атм. (с небольшой примесью $\text{CH}_4 \sim 5 \cdot 10^{-3}$).

Возможно, в принципе, использование разных генераторов для получения стримерных режимов в мишени и камере. Однако такой путь существенно усложнит конструкцию установки.

*) Ошибка в измерении импульса $\frac{\Delta P}{P} \sim L^{-2.5}$, а ошибка в измерении углов $\frac{\Delta \theta}{\theta} \sim L^{-0.5}$ (см. например /2/).

3 Установка с жидководородной мишенью для стримерной камеры СКМ-200

Проектом создания установки СКМ-200 предусматривается использование внутри ее рабочего объема жидководородной мишени, что намного расширяет методические возможности установки, давая возможность изучать "элементарные" взаимодействия на протоне. Размеры вакуумного сосуда с жидким водородом: диаметр 80 мм, длина 800мм . Он располагается на расстоянии 400мм от переднего торца 2-х метровой стримерной камеры с тем, чтобы были видны треки заряженных частиц, входящих в мишень. Детали мишени, находящиеся внутри электродной системы камеры, должны быть изготовлены из диэлектрических материалов. Заполнение мишени водородом и поддержание её в рабочем состоянии осуществляется с помощью холодильной газовой машины (ХГМ), расположенной в непосредственной близости от мишени. При кратковременной работе для пополнения мишени водородом (сеанс не более 5 часов) возможно использование гелиевого реконденсатора.

Установка с жидководородной мишенью должна быть полностью автоматизирована для чего основные рабочие характеристики её работы будут выведены на ЭВМ ТРА-1. Все элементы установки располагаются ^{на} специальной ферме у магнита СП-41.

В настоящее время подобная по назначению и конструкции мишень создается для стримерной камеры "Резонанс".

По-видимому, в конструкции самой мишени целесообразно использовать некоторые элементы разработки /3/ .

ЛИТЕРАТУРА (к разделу X)

1. F.Rohrbach et al. Nucl.Inst.:Meth, v.111, 485 (1972)
2. C.M.Fisher CERN 67-26 v1, p.25 (1967)
F.Villa, Proc.Int.Conf.on Instrumentation in H.E.P.,
p.115, Frascati (1972).
3. Л.Б.Голованов, В.Л.Мазарский. ОИЯИ Р8-8602, Дубна (1975).

XI. ЧЕТЫРЕХЭЛЕКТРОДНАЯ СТРИМЕРНАЯ КАМЕРА.

При работе стримерной камеры пучок ускоренных частиц обычно пропускается вдоль её большой оси, либо вблизи неё, что весьма желательно для сохранения изотропности характеристик камеры как детектора частиц, особенно, если внутри камеры расположена мишень. В обычной трехэлектродной камере (рис. 4К) средний электрод находится как раз посередине её рабочего зазора, что существенно увеличивает содержание вещества в районе пучка и осложняет его транспортировку к мишени, которую приходится располагать в одном из отсеков камеры.

Разрабатываемая четырехэлектродная стримерная камера с двуполярным импульсным питанием свободна от этих недостатков. Камера содержит два "земляных" и два высоковольтных электрода, середина зазора между последними может быть использована для постановки мишени внутри чувствительного объёма. При наличии лавсановых окон содержание вещества по пучку можно свести к минимуму. Установка мишени в центре более благоприятна и по той причине, что электрический потенциал середины зазора близок к нулю.

Для обеспечения нормального режима работы четырёхэлектродной камеры на её высоковольтные электроды необходимо синхронно подавать равные по амплитуде и длительности высоковольтные импульсы противоположной полярности.

Формирование таких импульсов предполагается осуществить с помощью двуполярной формирующей линии (рис. 4К2): двух коаксиальных линий с общим коммутатором-разрядником (с электродами - I), расположенном в герметизированной камере (2) заполненной элегазом или его смесью с азотом под давлением до 20 атм. На средние электроды линий (5) через герметизированные разъемы (3) и зарядные сопротивления (R_3) подается высокое напряжение двух полярностей ($\pm U_H$), одинаковых по величине. Объем между внутренним электродом линий (6) и внешним (4) также герметизируется и заполняется электрически прочным диэлектриком. Заряд формирующей линии предполагается производить от двуполярного генератора импульсного заряда (ГИЗ), который необходим для повышения выходного напряжения до рабочего уровня $\pm(250-300)$ кв. В настоящее время изучается возможность использования в ГИЗ повышающего резонансного трансформатора. Учитывая то,

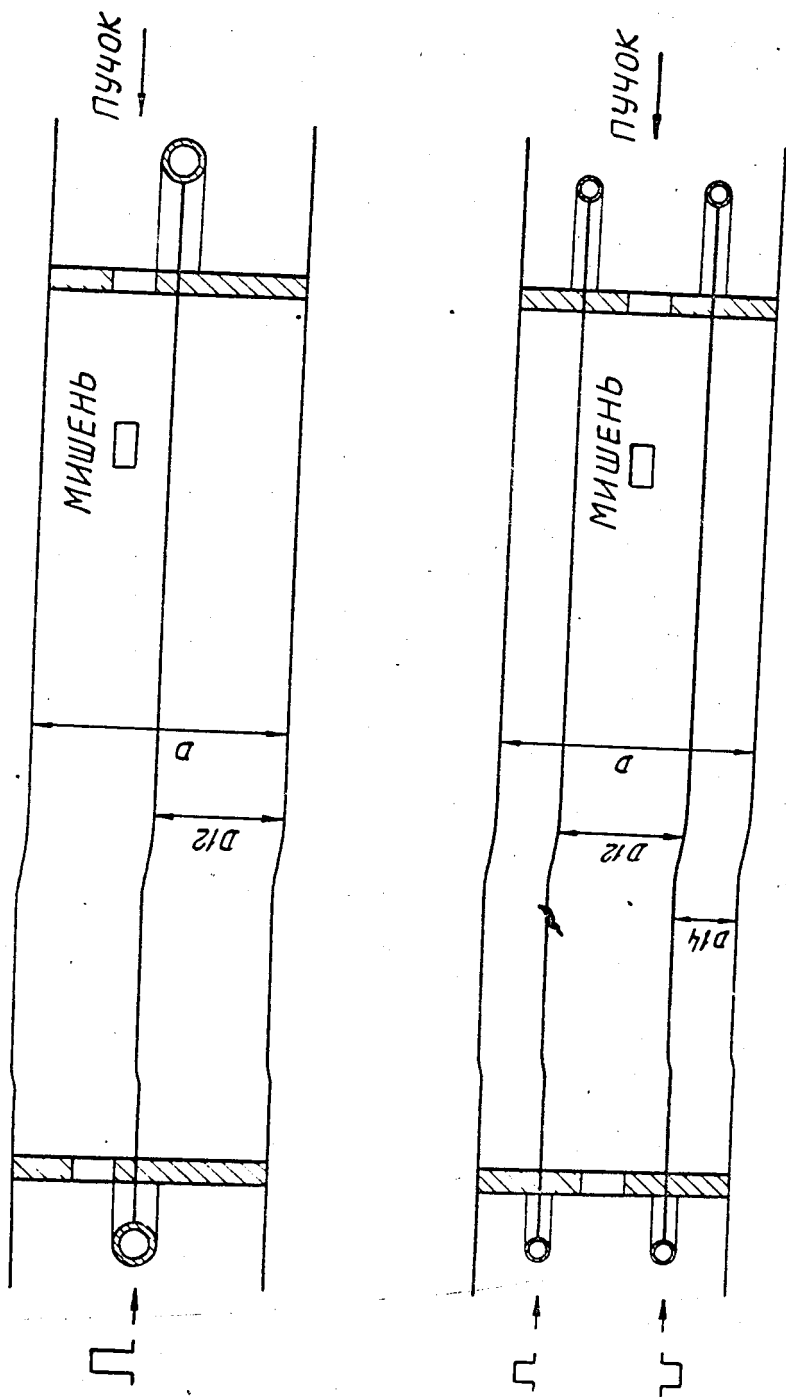


Рис. 4А-I Мишени 3-х электродной и 4-х электродной камер.

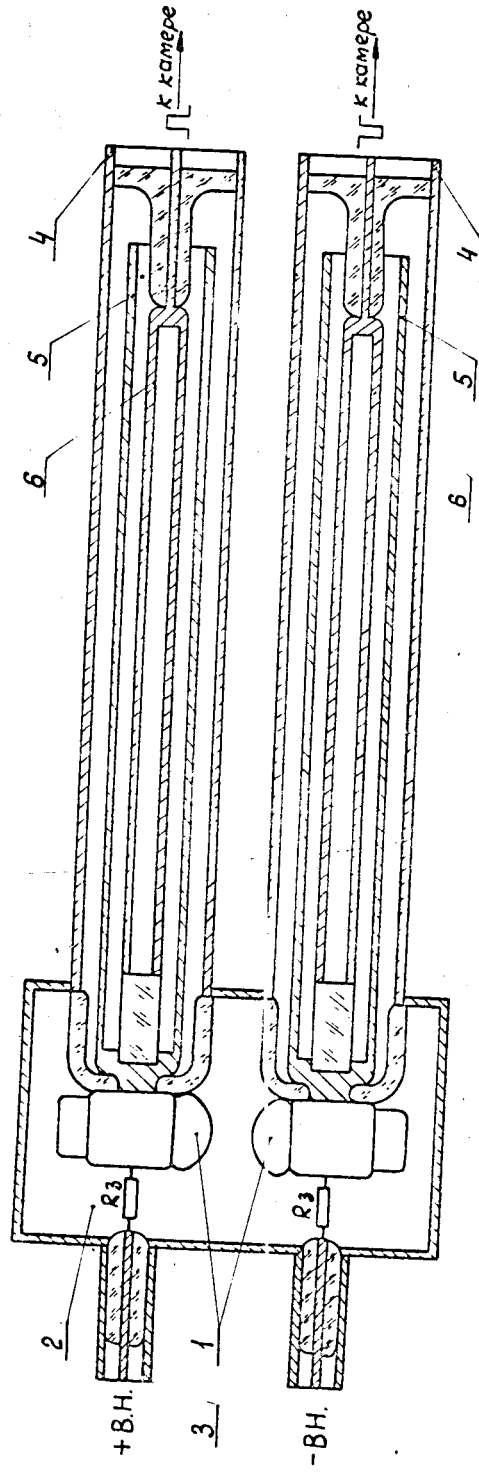


Рис. 4К-2 Элемент дуополярной формирующей линии.

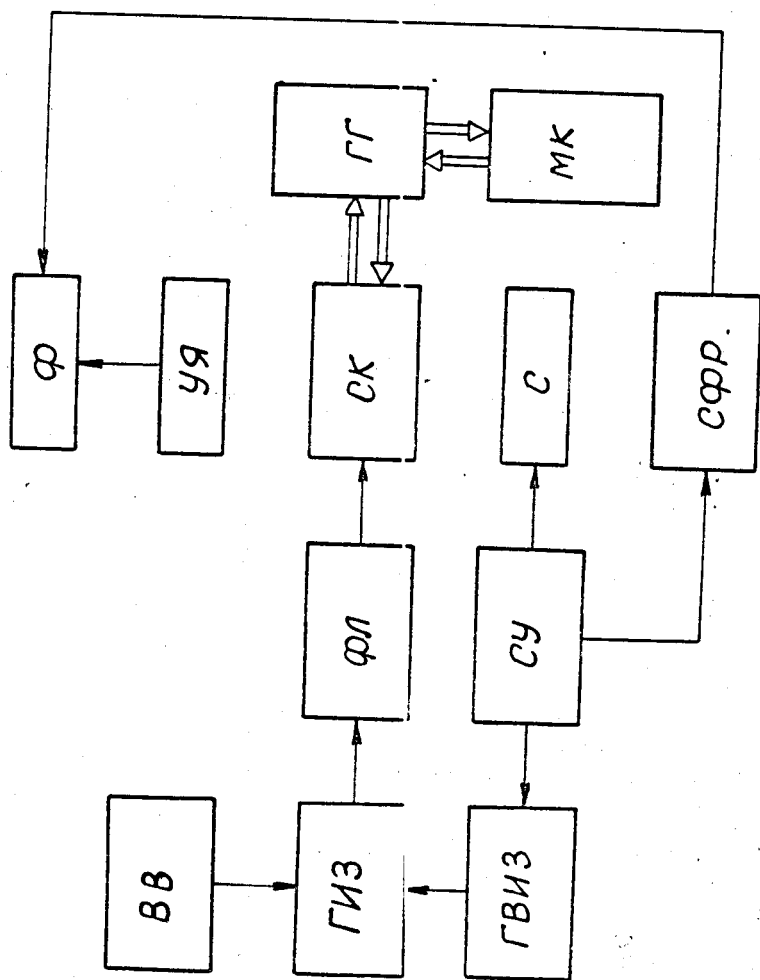


Рис. 4К-3 Структурная схема 4-х электродной камеры.

обстоятельство, что абсолютная величина амплитуды требуемого высоковольтного импульса для питания четырехэлектродной камеры в два раза меньше, чем для трехэлектродной при равных чувствительных объемах, можно рассчитывать на формирование таких импульсов с помощью формирующих линий, заряжаемых от двуполярного источника высокого напряжения постоянного тока. При этом можно ожидать, что задержка в срабатывании такого генератора будет оптимальной, а это существенно улучшит точность при проведении ионизационных измерений в камере.

В работе / 1 / было отмечено, что задержка выходного импульса формирующей линии, заряжаемой от источника постоянного напряжения до 100 кв, составляла величину 25-30 нсек. На основе изучения характеристик этой линии была разработана техническая документация и изготовлена двуполярная формирующая линия, рассчитанная на заряд от высоковольтного выпрямителя напряжением до ± 125 кв для работы с четырехэлектродной стримерной камерой. С помощью этой формирующей линии предполагается исследовать работу четырехэлектродной камеры и самой двуполярной линии с целью определения рабочего варианта камеры.

Структурная схема функционирования четырехэлектродной быстродействующей камеры приведена на рис. 4К3. Здесь СК - стримерная камера, ФЛ - двуполярная формирующая линия, ГИЗ - генератор импульса заряда, ВВ - высоковольтный источник, С - сцинтилляционный счетчик, СУ - система управления, ГВИЗ - генератор высоковольтных импульсов запуска, ГГ - газгольдер, МК - мембранный компрессор, СФР - система управления фоторегистратором - Ф.

Для улучшения пространственных характеристик стримерной камеры, повышения разрешения и точности ионизационных измерений предполагается ввести усилитель яркости изображения - УЯ, разработку которого целесообразно осуществить на базе твердотельных датчиков / 2,3 / или микроканальных умножителей / 4 /. Как следует из данных работ / 2,3 / применение УЯ с коэффициентом усиления $\sim 10^3$ позволит производить регистрацию стримеров втрое меньшего диаметра и на порядок короче.

ЛИТЕРАТУРА :

1. В.Д.Володин, Н.С.Глаголева, Ю.А.Каржавин, П.С.Кузнецов,
А.Т.Матюшин, В.Т.Матюшин.
Препринт ОИЯИ Р13-5529, Дубна, 1970.
2. Реклама ССД-201. *Electronics*, 46, № 22, р44-45, 1973.
3. Проспект фирмы *Fairchild-ССД-201*, 1973.
4. А.М.Тютиков, Г.С.Кравчук. ПТЭ, № 1, 193 (1974).

XII. РЕЖИМ ЗАПОМИНАНИЯ В СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЕ.

В.Экардтом /1/ было показано, что в стримерной камере можно запоминать треки частиц и затем фотографировать их через несколько миллисекунд. При этом обычное время памяти камеры (время чувствительности) практически не изменяется и остается равным нескольким микросекундам. Такое запоминание с помощью предимпульса позволяет провести более подробный анализ события с подключением ЭВМ и после такого анализа принимать решение о регистрации (запуске камеры). При правильно выбранной методике анализа и отбора событий система с запоминанием на предимпульсе может увеличить скорость набора статистики на порядок. Действительно, пусть максимальная скорость работы камеры равна 10 фотографий за цикл. Рассмотрим обычный режим работы камеры, когда эксперимент рассчитан на поиск редких событий (А). Тогда при "нормальном" отборе событий с помощью быстрой электроники (например, запуск от всех многочастичных распадов) подавляющее число фотографий (скажем 99%) будут от фоновых процессов (В), которые обычно так мало отличаются, что с помощью быстрой электроники их разделить невозможно. Однако в принципе возможно выбирать такие геометрические и кинематические конфигурации вторичных частиц, которые возможны, например, только для редкого процесса А. Такой анализ с предварительным определением кинематических характеристик частиц требует использования годоскопической системы на пропорциональных камерах и обработки данных на ЭВМ.

"Проект развития и автоматизации установки СКМ-200 на 1976-1980 годы" составлен (по разделам):

разделы I, II - Оконовым Э.О.;

разделы III, VI-IX, XI - Астаховым А.Я., Володиным В.Д., Глаголевой Н.С., Каминским Н.И., Матюшиным А.Т., Матюшиным В.Т., Мусульманбековым Ж.Ж., Нургожиным Н.Н. и Хорватом А.;

раздел IV - Лукстиньшем Ю.;

разделы V - Оконовым Э.О. и Хорзовым С.А.;

раздел X - Лукстиньшем Ю. и Оконовым Э.О.;

раздел XI - Лукстиньшем Ю.;

Если такая система может сработать 100 раз за цикл и отбросить 90 событий В, идентифицированных с хорошей достоверностью, то на 10 фотографий, полученных за цикл будет не "естественная" смесь $N_A + N_B$, а обогащенная нужными А событиями смесь $N_A + 0,1 N_B$.

Для перехода на режим запоминания необходимо - создать точную и автоматическую систему измерения и регулировки времени памяти камеры и дозировки примесей (см. СКГРК) - разработать быструю высоковольтную систему предимпульса (скорость 100-500 гц),
- создать систему пропорциональных камер и детекторов с идентификацией частиц (например, электронов, мюонов, П-мезонов и т.д.) способных в течение 1-2 мс выделить нужное событие.

Система газообеспечения и контроля газового режима камеры позволит регулировать подачу необходимых примесей. Создание сверхбыстрого источника предимпульса может быть связано с некоторыми техническими трудностями, хотя относительно невысокая амплитуда предимпульса упрощает проблему. Однако решение о внедрении режима запоминания на камере СКМ-200 следует принимать только в том случае, если расчеты по конкретному предложению эксперимента покажут, что возможно изготовить такой триггер и микропроцессор или программу ЭВМ, которые смогут за 1-2 мс провести предварительный анализ события.

Литература:

1. V.Eckardt. DESY 70/60, Hamburg, 1970.