

3-276



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

13 8757

ЗАНЕВСКИЙ
Юрий Вацлавович

МНОГОПРОВОЛОЧНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ
ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ЛИНИИ С ЭВМ
ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
В ФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Специальность 05.12.08 - электронная техника
и приборы

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени доктора физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1975

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор	Т.Л. Асатиани
доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник	И.А. Радкевич
доктор технических наук, старший научный сотрудник	А.И. Филиппов

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Физический институт АН СССР им. П.Н. Лебедева, г. Москва

Автореферат разослан " " 1975 года
Защита диссертации состоится " " 1975 года
в час. на заседании Ученого совета Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской
области, Лаборатория высоких энергий ОИЯИ, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

М.Ф. Лихачев М.Ф. Лихачев

13 8757

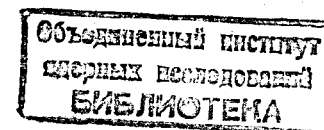
ЗАНЕВСКИЙ
Юрий Вацлавович

МНОГОПРОВОЛОЧНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ
ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ЛИНИИ С ЭВМ
ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
В ФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Специальность 05.12.08 - электронная техника
и приборы

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени доктора физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



Многопроволочные камеры (искровые, пропорциональные и дрейфовые) в последние годы получили широкое применение в экспериментальной физике высоких энергий^{/1/}. Даже в тех случаях, когда, казалось бы, можно было обойтись обычными детекторами, видна отчетливая тенденция к замене их проволочными камерами.

Основные достоинства проволочных камер можно сформулировать следующим образом:

- высокое временное и пространственное разрешение, т.е. способность локализовать момент прохождения частицы и её положение в пространстве с большой степенью точности;

- высокое быстродействие, определяемое сравнительно небольшим мёртвым временем детектора, что позволяет обеспечить высокий темп набора информации;

- представление информации в цифровом виде, удобном для передачи в ЭВМ и последующего быстрого анализа;

- возможность предварительного отбора информации с помощью специализированных цифровых и аналоговых систем;

- возможность использования широкого набора различных детекторов совместно с проволочными камерами;

В таблице I приведены наиболее важные характеристики проволочных камер.

Использование широких возможностей ЭВМ, работающих на линии с экспериментальными установками с проволочными камерами, обеспечивает эффективный контроль выполнения эксперимента в реальном масштабе времени и значительно увеличивает скорость набора данных.

В Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований был выполнен большой цикл методических работ по разработкам, исследованию и внедрению в практику физического эксперимента многопроволочных детекторов на линии с ЭВМ^{/16-50/}. На основе этих

ТАБЛИЦА I

	Проволочные искровые камеры	Пропорциональ- ные камеры	Дрейфовые камеры
Временное разрешение	10^{-6} сек	$5 \cdot 10^{-8}$ сек	$0,5 \cdot 10^{-6}$ сек*
Простр. разрешение	$\pm 0,25$ мм	$\pm 0,6$ мм **	$\pm 0,1$ мм
Мёртвое время	10^{-3} сек	10^{-6} сек	10^{-6} сек
Возможность работы в магн. поле	имеется	имеется	имеется
Возможность предварительного отбора информации	проблема-точно	имеется	имеется
Возможность измерения ионизации	-	имеется	имеется

работ был создан ряд крупных бесфильмовых спектрометров, с помощью которых на синхрофазотроне ОИЯИ и серпуховском ускорителе выполнены и проводятся несколько важных физических экспериментов^{/24, 29, 51-54/}. Разработка и методические исследования проволочных камер, а также создание экспериментальных установок на их основе положены в основу настоящей диссертации.

* Временное разрешение определяется дрейфовым промежутком и скоростью дрейфа электронов.

** Для камер с аналоговым съёмом информации пространственное разрешение может быть значительно лучше.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения.

В первой главе рассмотрены основные параметры проволочных искровых, пропорциональных и дрейфовых камер и особенности их применения в экспериментальной физике высоких энергий.

Проволочные искровые камеры использовались во многих экспериментах и в последние годы на их основе был создан целый ряд крупных экспериментальных установок^{/2-5, 7/}. Наибольшее распространение получили проволочные искровые камеры со считыванием при помощи магнитострикционных линий и ферритовых колец. В системах искровых камер больших размеров главным образом применяют магнитострикционный метод съёма информации^{/1/}. Очень важным является возможность использования проволочных детекторов, в частности, проволочных искровых камер, в магнитных полях. В случае применения магнитострикционных линий ϕ 0,2 мм из материала 65% Fe и 35% Co, магнитострикционные камеры могут использоваться в однородных магнитных полях до 1,5 тл без ухудшения пространственного разрешения^{/17/}.

Для съёма информации с проволочных камер в неоднородных магнитных полях могут быть использованы емкостное запоминание^{/9/}, метод, основанный на регистрации ультразвуковых колебаний в звукопроводе, возникающих в результате взаимодействия тока искры в камере с внешним магнитным полем^{/10/}, или способ, описанный в работе^{/15/}.

Магнитострикционные камеры широко применяются в экспериментальных установках Лаборатории высоких энергий. Разработаны камеры размером до $2 \times 1 \text{ м}^2$ и исследованы их характеристики^{/43, 44/}. Проведены исследования по выбору оптимальных параметров датчиков, электроники съёма информации, высоковольтного питания, которые позволяют при интенсивности фона заряженных частиц до $3 + 5 \times 10^6 \frac{1}{\text{сек}}$ получить эффективность магнитострикционной камеры не хуже 95%^{/25/}. Результаты этой работы были использованы при создании нескольких эксперимен-

тальных установок/28,35,49/. Предложен и исследован метод статического запоминания информации на магнестрикционных линиях, позволяющий значительно сократить объем электронной регистрирующей аппаратуры/19/ и примененный в экспериментах на ускорителе Аргоннской лаборатории/11/.

Многопроволочная пропорциональная камера обладает значительно более высоким, по сравнению с искровой камерой, временным разрешением и быстродействием. Применение пропорциональных камер в экспериментальных установках позволило значительно увеличить скорость набора информации/8/.

В Лаборатории высоких энергий разработаны и используются в экспериментах пропорциональные камеры различных размеров (до $900 \times 300 \text{ мм}^2$)/40,48/. Изучены в лабораторных условиях и на ускорителе характеристики камер с шагом намотки сигнальных нитей 2 и 3 мм диаметром 20 и 50 микрон при использовании различных газовых смесей/30,32,34,39,48/. Впервые в СССР пропорциональные камеры на линии с ЭВМ были исследованы на синхрофазотроне ОИЯИ/30/ и в дальнейшем включены в состав магнитного искрового спектрометра для экспериментов по изучению упругого $\text{P}e$ -рассеяния и упругого $\text{P}r$ -рассеяния на ускорителе ИФВЭ/34,45/. Предложена методика применения пропорциональных камер для компенсации влияния геометрических размеров сцинтилляционных счетчиков во время-пролётной технике/31/. В эксперименте по изучению упругого $\text{P}r$ -рассеяния при энергиях 40 и 50 Гэв использовалась система отбора на основе шести пропорциональных камер для запуска искровых камер/45/. Показана возможность применения пропорциональных камер для контроля за профилем пучка заряженных частиц с выводом информации на амплитудный анализатор/37/.

Возможность определения координаты ионизирующей частицы по времени дрейфа электронов позволяет значительно увеличить шаг намотки сигнальных нитей, уменьшая, во-первых, общее количество каналов

регистрации в экспериментальной установке, во-вторых, ослабляя электростатические силы, действующие на сигнальные нити камеры, что несколько упрощает создание камер больших размеров. Высокое пространственное разрешение дрейфовых камер, возможность работы в магнитных полях, относительно невысокая стоимость - всё это указывает на перспективность детекторов данного вида.

Проведены исследования характеристик нескольких модификаций дрейфовых камер размером до $1,5 \times 1 \text{ м}^2$ с шагом намотки сигнальных нитей до 100 мм при наполнении различными газовыми смесями (аргон-метан; аргон-изобутан, аргон- CO_2)/47,50/. Высокая линейность зависимости времени дрейфа от его пути при шаге намотки сигнальных нитей до 100 мм, как показано на рис. 1, дает возможность получить пространственное разрешение $\sim 0,1 \text{ мм}$.

Во второй главе сформулированы основные принципы построения регистрирующей электронной аппаратуры для многопроволочных детекторов.

При создании регистрирующих систем для магнестрикционных проволочных искровых камер могут быть реализованы два варианта (по способу запоминания информации):

- 1) системы параллельного типа;
- 2) системы последовательного или последовательно-параллельного типа.

Для систем параллельного типа запоминание всей информации, поступающей с датчиков искровых камер, осуществляется на двоичных счетчиках. Количество счетчиков определяется числом искр, регистрируемых на одно событие

$$n = m \times k, \text{ где}$$

n - число датчиков, k - число искр на датчик.

Регистрирующие системы параллельного типа отличаются высоким быстродействием, простотой организации и управления. Однако, если

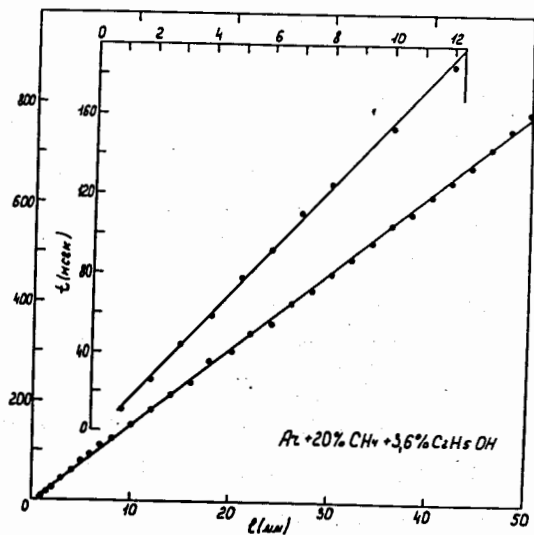


Рис. 1 Зависимость времени дрейфа от его пути. Часть зависимости представлена в увеличенном масштабе.

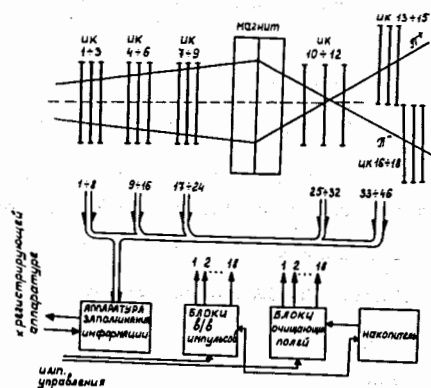


Рис. 2 Схема расположения искровых камер на ускорителе ИФВЭ и функциональная схема системы.

суммарное число искр, регистрируемых в камерах, на одно событие достаточно велико, общая стоимость регистрирующей аппаратуры становится выше аналогичных систем последовательного (последовательно-параллельного) типа.

Для последовательных (последовательно-параллельных) систем запоминание информации осуществляется на магнестрикционных линиях задержки, в которых информация, поступающая одновременно со всех датчиков, преобразуется в последовательную.

В установках Лаборатории высоких энергий для экспериментов по изучению регенерации K^0 -мезонов^{/27/} и определения средне-квадратичного радиуса пиона^{/35/} были разработаны последовательно-параллельные системы регистрации информации с магнестрикционных искровых камер. Проведен анализ методов предварительной обработки и дискриминации сигналов с магнестрикционных искровых камер^{/22/}. Рассмотрены достоинства и недостатки различных методов и оценены общие тенденции в построении трактов регистрации магнестрикционных сигналов. Разработана система электронных блоков "РЕПЕР"^{/36/} для построения различных регистрирующих систем в экспериментальных установках с магнестрикционными камерами. Большая часть элементов выполнена в стандарте КАМАК и построена, в основном, на интегральных схемах ТТЛ. На основе аппаратуры "РЕПЕР" создана последовательно-параллельная система регистрации информации с магнестрикционных искровых камер для черенковского масс-спектрометра "ФОТОН"^{/49/}. Максимальное число искр, регистрируемых системой за один запуск установки, составляет 640. Для универсального многоцелевого спектрометра "АДРОН"^{/55/} создается регистрирующая электронная система, построенная на базе элементов "РЕПЕР".

Организация систем регистрации и считывания информации с пропорциональных камер определяется условиями конкретного физического

эксперимента – интенсивностью пучка, скоростью вывода информации, необходимостью создания выборочного запуска и т.д.

В диссертации рассмотрены регистрирующие системы для пропорциональных камер, которые можно разделить на 2 основные группы.

1) Системы параллельного типа.

В таких системах каждый канал камеры включает усилитель-формирователь, элемент задержки (электронной или кабельной) и элемент памяти.

2) Системы аналогового типа, в которых координата регистрируемой частицы определяется по времени задержки электрического сигнала относительно момента прохождения "запускающей" частицы^{/12,13/} по методу разделения токов^{/14/} и т.д.

Параллельные системы значительно дороже, но их универсальность и возможность использования в высокоинтенсивных пучках играют определяющую роль при создании крупных многоцелевых экспериментальных установок.

В Лаборатории высоких энергий разработан широкий набор элементов для съема и регистрации информации с пропорциональных камер^{/38, 56/}, главным образом для систем параллельного типа.

Для дрейфовых камер требуется очень быстрая электроника, когда необходимо использовать все оптимальные свойства этого детектора. Если, например, время дрейфа электронов в камере 20 нсек/мм, то для получения пространственного разрешения $\sim 0,1$ мм и высокого быстродействия системы нужно использовать регистрирующую электронику с частотой счета ~ 500 мГц. Стоимость такой электроники достаточно высока, однако число сигнальных нитей на единицу площади камеры невелико.

Электронную аппаратуру для дрейфовых камер можно разделить на 3 основных группы.

1) Цифровые системы, основанные на измерении временных интервалов с помощью быстрых счетчиков "прямого заполнения".

2) Аналоговые системы, в которых с помощью время – амплитудных конверторов временной интервал преобразуется в амплитуду.

3) Система с расширением временных интервалов, в которых сравнительно простые элементы используются для расширения временного интервала в фиксированное число раз и измеряемого относительно медленной электроникой.

В диссертации проведен анализ и даны оценки регистрирующих систем для дрейфовых камер.

В третьей главе рассматривается система многотрековых магнитострикционных искровых камер для экспериментов по изучению регенерации K^0 -мезонов при высоких энергиях^{/26/}. Система функционирует на линии с ЭВМ.

При разработке и наладке экспериментальной установки наибольшая трудность заключалась в том, что система предназначалась для работы в условиях большого фона заряженных частиц и требовалась высокая эффективность регистрации событий. Для выполнения этих требований использовались результаты, изложенные в работе^{/25/}.

Разработанный и отлаженный на пучке комплекс аппаратуры состоит из следующих элементов:

- 1) двухкоординатные проволочные искровые камеры с магнитострикционным считыванием;
- 2) система съема и запоминания информации с камер;
- 3) система высоковольтного питания искровых камер.

Схема расположения искровых камер на канале в ИФЭЗ и функциональная схема установки показаны на рис. 2. Используются 18 двухкоординатных магнитострикционных искровых камер, которые объединены по три в шесть секций. Камеры обладают высокой эффективностью

регистрации многотрековых событий ($\sim 95\%$)/28/.

Информация с камер считывается по 46 датчикам, т.е. кроме 36 основных используются 10 дополнительных. На обоих электродах искровых камер установлены съёмные узлы считывания информации, в которых находятся магнестрикционная линия, 50-витковая катушка и предусилитель. Система запоминания информации магнестрикционных камер состоит из 46 усилителей-дискриминаторов и такого же числа линий задержек/27/. Динамическое запоминание информации с магнестрикционных камер осуществляется с помощью 46 линий задержек. Все 46 линий объединены в 2 канала (24 и 22 линии). Временное разрешение каждого канала - 1 мксек. Полное время, необходимое для регистрации информации с камер, составляет $\sim 8,2$ мсек.

Высоковольтное питание искровых камер состоит из:

а) 10 двухканальных блоков высоковольтных импульсов, выполненных на тиратронах ТТИ-I-I30/10, которые обладают высокой надежностью, не требуют сложных систем запуска и коммутируют токи, достаточные для используемых искровых камер;

б) блока постоянного и импульсного очищающих полей;

в) накопителя, используемого для стабилизации амплитуды высоковольтных импульсов при многократном запуске камер за цикл ускорителя.

В таблице 2 приведены характеристики основных элементов системы.

Четвертая глава посвящена системе проволочных искровых и пропорциональных камер экспериментальной установки для исследования электромагнитных распадов резонансов.

Черенковский масс-спектрометр "ФОТОН" является крупнейшей экспериментальной установкой, предназначенной для выполнения широкой программы исследований на различных ускорителях.

ТАБЛИЦА 2

Характеристики системы искровых камер для экспериментов

по изучению регенерации K^0 мезонов

Искровые камеры

1. Размеры	- 600x420x8 мм ³ .
2. Газовая смесь	- He + 1,5% C ₂ H ₅ OH + 8 · 10 ⁻³ % CCl ₂ F ₂ .
3. Временное разрешение	- 1,6 мксек.
4. Пространственное разрешение	- $\pm 0,25$ мм.
5. Количество пробоев по старому треку	- 10%.
6. Количество вещества в одной камере	- медь - 13 мг/см ² ; - лавсан - 24 мг/см ² .
7. Временной интервал между запусками камер	- 10 мсек.

Аппаратура съема и запоминания информации с камер

1. Коэффициент усиления предусилителя	- 40.
2. Коэффициент усиления усилителя	- 250.
3. Время задержки одной линии в системе запоминания информации	- 340 \pm 0,5 мксек.
4. Время регистрации информации, определяемое 24 линиями задержки	- 8,2 мсек.
5. Разрешение канала из 24 линий задержки	- 1 мксек.

Высоковольтное питание

1. Коммутатор высоковольтных импульсов	- тиратрон ТТИ-I-I30/10.
2. Форма высоковольтного импульса	- экспоненциальная.
3. Амплитуда высоковольтного импульса	- 5 кв.
4. Фронт нарастания на камере	- 25 нсек.
5. Максимально-допустимая частота запусков блоков высоковольтных импульсов	- 1 кгц.
6. Амплитуда импульса очищающего поля	- 1 кв.
7. Длительность импульса очищающего поля	- 5 мсек.
8. Величина постоянного очищающего поля	- 50 в.

Типичными процессами, которые могут изучаться с помощью этой установки, являются поиски новых резонансов и изучение их свойств в системах, состоящих из электрона и позитрона, гамма-квантов, пи-ноль мезона и гамма-кванта и т.д.

Важное место в экспериментальной установке "ФОТОН" занимает система проволочных искровых и пропорциональных камер, работающих на линии с ЭВМ/46,49/.

Функциональная схема системы, установленной на синхрофазотроне ОИЯИ, показана на рис. 3. Шесть пропорциональных камер размером $150 \times 150 \text{ мм}^2$ предназначены для определения параметров траекторий П-мезонов, падающих на водородную мишень. Камеры продуваются газовой смесью $\text{Ar} + 20\% \text{CO}_2 + 3\% \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. Усилители для каждой сигнальной нити расположены непосредственно на пропорциональных камерах. Общее число параллельных каналов - 300.

Тридцать две магнитострикционные искровые камеры размером $1 \times 1 \text{ м}^2$ сгруппированы по шестнадцать в два блока и служат для определения траекторий частиц, вылетающих из водородной мишени. Восемь камер в каждом блоке развернуты на угол $\sim 17^\circ$ для устранения неопределенности при регистрации в камерах нескольких искр. Общий вид искровых камер представлен на рис. 4.

Съем информации в каждой искровой камере осуществляется с двух ортогональных плоскостей с помощью съёмных магнитострикционных датчиков. Информация с датчиков поступает в систему запоминания информации, построенной на линиях задержки и содержащей два идентичных регистрирующих канала, работающих параллельно.

Каждый канал позволяет регистрировать координаты искр с 32 датчиков. Максимальное число искр, регистрируемых одним датчиком, - 10, а всей системой - 640. Регистрирующая электронная аппаратура для съёма запоминания, преобразования и передачи в ЭВМ инфор-

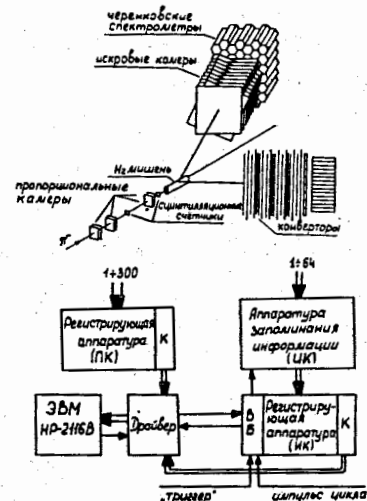


Рис. 3 Схема расположения искровых и пропорциональных камер черенковского масс-спектрометра "ФОТОН" на синхрофазотроне ОИЯИ и функциональная схема аппаратуры. ПК - пропорциональные камеры, ИК - искровые камеры, ВБ - временной блок, К - контроллер.

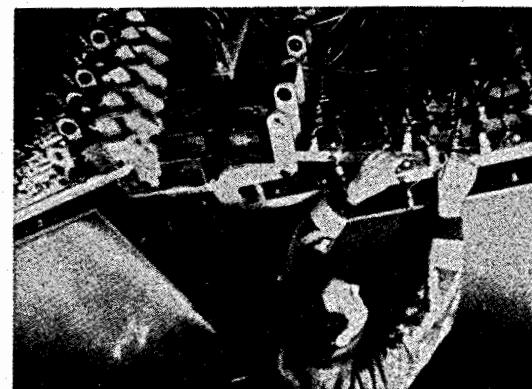


Рис. 4 Общий вид искровых камер установки "ФОТОН".

мации с искровых камер выполнена на основе элементов "РЕПЕР".

В процессе наладки на пучке и эксплуатации системы в эксперименте ЭВМ HP-2116В осуществляет прием и контроль информации, поступающей с искровых и пропорциональных камер; производит обработку данных - определяет точность и эффективность камер; контролирует работу датчиков и электронной аппаратуры, представляет данные на дисплей и цифропечать. На рис. 5 показано событие, зарегистрированное системой и представленное на дисплее.

В процессе комплексной наладки на пучке исследовались основные параметры искровых и пропорциональных камер. На рис. 6 приведены данные, характеризующие эффективность пропорциональных камер. Временное разрешение таких камер составляет 80 нсек, пространственное разрешение ± 1 мм. Многотрековая эффективность искровых камер, необходимая для регистрации ливней, не хуже 95% при наличии в камере 6 искр (рис. 7). Пространственное разрешение искровых камер составляет $\pm 0,3$ и $\pm 0,45$ мм для заземленного и высоковольтного электродов соответственно. Сводные характеристики системы показаны в таблице 3.

В пятой главе диссертации представлено описание и приведены характеристики системы диагностики пучка с помощью пропорциональных камер /41/.

Для контроля параметров сепарированного пучка антипротонов, которым облучается жидководородная камера "Людмила", в короткие сроки разработана и введена в эксплуатацию система диагностики на основе пропорциональных камер. Основная особенность заключалась в том, что длительность сброса пучка на камеру составляет 10^{-8} сек и поэтому обычная счетная электроника здесь не могла применяться. В созданной системе применены пропорциональные камеры для измерения ионизации и многоканальная спектрометрическая электроника.

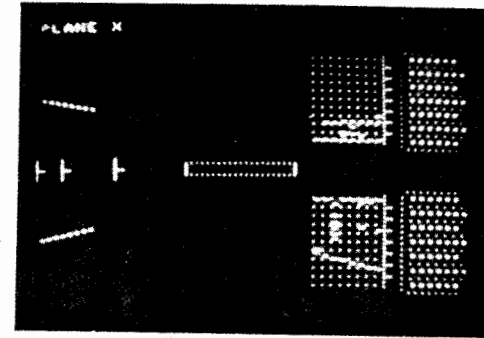


Рис. 5 Событие, зарегистрированное системой проволочных камер установки "ФОТОН" (X - проекция; снимок с дисплея) слева - 3 пропорциональных камер; справа - 2 блока по 8 искровых камер (не развернутых).

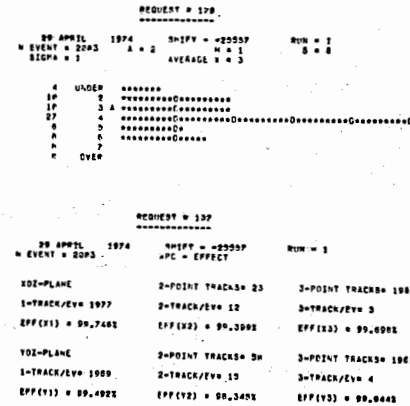


Рис. 6 а) N. 129 - количество отказов по каждой пропорциональной камере
б) N. 132 - оценка эффективности пропорциональных камер, полученная посредством восстановления "трека".

ТАБЛИЦА 3

Характеристики системы искровых и пропорциональных камер установки "ФОТОН"

1. Пропорциональные камеры

Количество камер	- 6
Размеры камер	- 150x150x8 мм ³
Диаметр сигнальных нитей	- 20 микрон
Шаг намотки сигнальных нитей	- 3 мм
Пространственное разрешение	- ± 1 мм
Временное разрешение	- 80 нсек
Эффективность	- 99%

2. Искровые камеры

Количество камер	- 32
Размеры камер	- 100x100x1 см ³
Шаг намотки нитей	- 1 мм
Пространственное разрешение	- 0,3 + 0,45 мм
Временное разрешение	- 2,5 мксек
Эффективность (при наличии в камере 6 искр)	- 95%

3. Регистрирующая электронная аппаратура

Количество каналов пропорциональных камер	- 300
Количество датчиков искровых камер	- 64
Максимальное число искр, регистрируемых системой магнитострикционных камер	- 640
"Мёртвое" время	- 11 мсек
Максимальное число событий, регистрируемых за цикл ускорителя	- 24

Общая функциональная схема системы представлена на рис. 8.

Пропорциональные камеры с расстоянием между сигнальными нитями 1,5 мм во время работы на ускорителе дистанционно поворачивались на угол 90°, что позволяло использовать каждую камеру для измерений параметров пучка по двум координатам. Разброс коэффициентов газового усиления по всем нитям камеры составляет не более ± 3%. На рис. 9 показан амплитудный спектр, полученный с по-

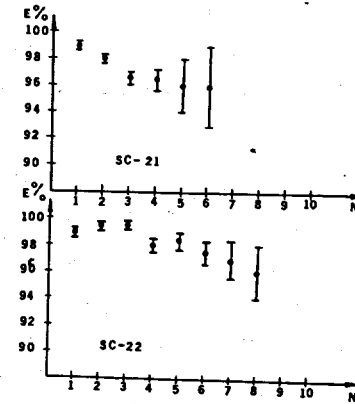


Рис. 7 Эффективность регистрации "рабочего трека" в зависимости от количества искр в камере.

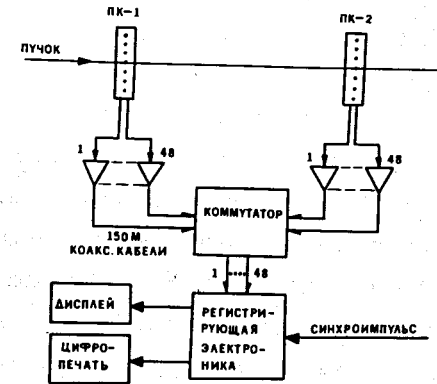


Рис. 8 Функциональная схема системы диагностики пучка для жидководородной камеры "Людмила".

мощью источника ^{55}Fe , откуда видно, что энергетическое разрешение камер не хуже $\pm 12\%$. На камерах установлены 96 спектрометрических усилителей, нелинейность коэффициента усиления которых меньше 1%. Коммутатор осуществляет выбор камеры. Амплитуда сигналов с камер измеряется с помощью 48 аналого-цифровых преобразователей с динамическим диапазоном ~ 100 . Нелинейность преобразования меньше 1%. Информация представляется на дисплей и цифровая печать. На рис. 10 показана проекция профиля пучка (снимок с дисплея).

Вся электронная аппаратура (кроме усилителей) выполнена в стандарте КАМАК и с помощью несложного контроллера может быть включена в линию с ЭВМ. Разработанная система диагностики пучка с 1973 года успешно используется на канале №9 ИФВЭ/42/ и обеспечивает постоянный контроль параметров пучка с высокой точностью.

В Заключении приведены основные выводы диссертации.

1. Проведены разработки магнитострикционных искровых камер размером до $2 \times 1 \text{ м}^2$ и исследованы их характеристики – временное и пространственное разрешение, многотрековая эффективность. Предложена методика испытаний проволочных искровых камер в лабораторных условиях, обеспечивающая исследования необходимых для экспериментов параметров камер. Рекомендованы оптимальные характеристики датчиков и электронной аппаратуры, обеспечивающие высокую многотрековую эффективность камер ($\sim 95\%$). Исследован новый метод съема информации с проволочных искровых камер, использующий статическую память на магнитострикционных линиях.

Разработаны и исследованы пропорциональные камеры размером до $900 \times 300 \text{ мм}^2$ и дрейфовые камеры с рабочей площадью до $1,5 \times 1 \text{ м}^2$ с различным шагом намотки и диаметром сигнальных нитей. Изучено влияние различных газовых смесей на основные характеристики камер. Созданные многопроволочные камеры и методика исследований их ха-

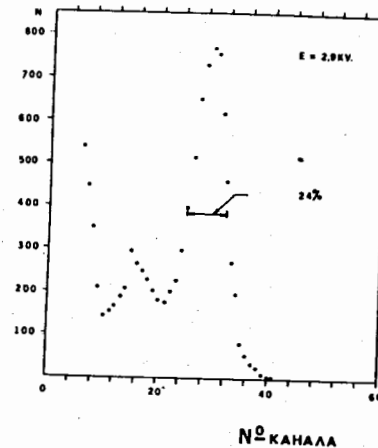


Рис. 9 Амплитудный спектр, полученный с пропорциональной камерой, при использовании ^{55}Fe .

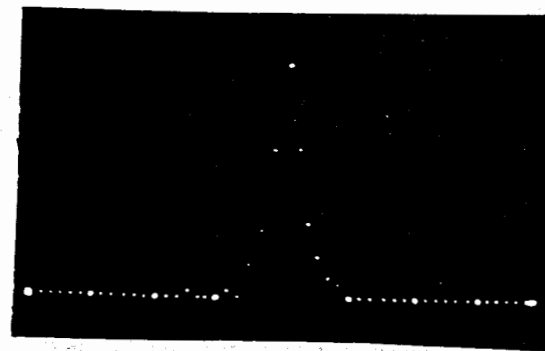


Рис. 10 Проекция профиля пучка (снимок с дисплея). Расстояние между точками соответствует 1,5 мм.

характеристик применяются в различных экспериментальных установках.

2. Создана и исследована на синхрофазотроне ОИЯИ система пропорциональных камер на линии с ЭВМ, которая впервые в СССР использовалась в экспериментах по определению зарядового радиуса Π^- -мезона и изучению Π^- -рассеяния при энергиях 40 и 50 Гэв.

3. Предложен и исследован на пучке метод компенсации влияния геометрии сцинтилляционных счетчиков больших размеров с помощью пропорциональных камер во время-пролетной методике. Данный метод позволяет практически полностью скомпенсировать эффект длины сцинтилляторов во временном разрешении спектрометров.

4. Проведен анализ электронных систем съема и регистрации информации с многопроволочных камер. Разработана система регистрирующей электроники "РЕПЕР" для магнитострикционных искровых камер, включающая аппаратуру съема, запоминания информации и блоки управления. Аппаратура "РЕПЕР" используется в нескольких лабораториях СССР.

5. Создана и исследована на ускорителе система магнитострикционных искровых камер для бесфильмового искрового спектрометра. Система состоит из двухкоординатных искровых камер, аппаратуры съема и запоминания информации и высоковольтного питания и работает на линии с ЭВМ. Она обладает высоким быстродействием, хорошим временным и пространственным разрешением и имеет высокую многотрековую эффективность. Это первая в СССР универсальная система на основе магнитострикционных камер, которая по своим параметрам к моменту начала проведения эксперимента принадлежала к разряду лучших установок мира. С 1970 г. система успешно используется в серии физических экспериментов на ускорителе ИФВЭ.

6. Для многоцелевого черенковского масс-спектрометра "ФОТОН" создана и исследована на пучке система проволочных искровых и

пропорциональных камер, в состав которой входят 32 многотрековых магнитострикционных камеры, шесть пропорциональных камер и регистрирующая электронная аппаратура. По своим параметрам данная система принадлежит к лучшим экспериментальным установкам этого класса.

7. Впервые в СССР создана и исследована система диагностики сепарированного пучка антипротонов на основе пропорциональных камер для жидководородной камеры "ЛЮДИЛА". Система обладает высокой линейностью и хорошим пространственным разрешением.

В основу диссертации положены результаты, опубликованные в работах /19, 21-23, 25-27, 30-32, 36, 37, 39-41, 43, 44, 46-48, 50/, которые неоднократно обсуждались на международных совещаниях и используются при постановке экспериментов на ускорителях.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. A. Michelini, Intern. Conf. on Instrum. for High Energy Physics, Frascati, 633 (1973).
2. K.J. Foley et al. Nucl. Instr. and Meth. 108, 33-60 (1973).
3. G. Grayer et al. Nucl. Instr. and Meth. 99, 579 (1973).
4. D.S. Ayres, Intern. Conf. on Instrum. for High Energy Physics, Frascati, 665, (1973).
5. E.D. Platner et al. Intern. Conf. on Instrum. for High Energy Physics, Frascati, 672 (1973).
6. G. Charpak, Intern. Conf. on Instrum. for High Energy Physics, Frascati, 246 (1973).
7. I.V. Chuvilo et al, Proc. 1966 Intern. Conf. on High Energy Physics, Stanford, 579-583 (1966).
8. R. Bouolier et al. Intern. Conf. on Instrum. for High Energy Physios, Frascati, 280 (1973).
9. K. Springer et al. Nucl. Instr. and Meth. 69, 240 (1969).
10. И.Я. Корольков и др. Препринт ИТЭФ, УДК-539I, Москва (1965).
11. M. Longo et al. UM-HE-7I-5, University of Michigan (1971).
12. L. Grove et al., UCRL-20255, Berkeley (1971).
13. D.M. Lee et al. Nucl. Instr. and Meth, 109, 421 (1973).
14. В.А. Биржков и др. ОИЯИ, Р13-4627 (1969).
15. Р.И. Джелидин и др. Препринт ИТЭФ, УДК-539I05 (1971).
16. Т.В. Беспалова и др. ОИЯИ, I3-3656, Дубна (1968).
17. I.A. Golutvin et al., Nucl. Instr. and Meth, 67, 257-260 (1969).
18. Ю.В. Заневский, ОИЯИ, I3-382I, Дубна (1968).
19. Т.В. Беспалова и др. ОИЯИ, I3-4020, Дубна (1968).
20. I.A. Golutvin et al., Report N95 6A, XIV Intern. Conf. on High Energy Physics, Vienna (1968).
21. И.А. Голутвин, Ю.В. Заневский. Труды Международной школы по проблемам обработки экспериментальных данных с помощью ЭВМ, Алшшта, (1968), ОИЯИ IO-4229, Дубна (1968).
22. И.А. Голутвин и др. Труды международного совещания по бесфильтровым искровым и стримерным камерам, стр. 22I-226, ОИЯИ I3-4527 Дубна (1969).

23. Ю.В. Заневский. Труды международного семинара по ядерной электронике, стр. 37I-384, Варна (1968), ОИЯИ, I3-4720, Дубна (1969).
24. Г.Г. Воробьев и др. ОИЯИ, РI-4445, Дубна (1969).
25. Т.С. Григалашвили и др. ОИЯИ, I3-5273, Дубна, 1970; ИТЭ, №2 (1971).
26. Т.С. Григалашвили и др. ОИЯИ, Р3-5324, Дубна (1970).
27. Ю.В. Заневский и др. ОИЯИ, I3-5323, Дубна (1970).
28. С.Г. Басиладзе и др. ОИЯИ, РI-536I, Дубна (1970).
29. I.M. Ivanchenco et al., Report N4II on the Lund Intern. Conf. on Element. Part. (1969).
30. Yu.V. Zanevsky et al. Nucl. Instr. and Meth. 94, 233-235 (1971).
31. Z. Cisek et al. Nucl. Instr. and Meth. 93, 493-494 (1971).
32. V.D. Peshechonov, Yu. V. Zanevsky. Nucl. Instr. and Meth., IOO 505-508 (1972).
33. Z. Guzik et al. Nucl. Instr. and Meth., IO4, 337-34I (1972).
34. Yu.V. Zanevsky et al. Nucl. Instr. and Meth., IOO, 48I-484 (1972).
35. G.T. Adylov et al. JINR, B13-6658, Dubna (1972).
36. Т.В. Беспалова и др. ОИЯИ, I3-6304, Дубна (1972).
37. Ю.В. Заневский и др. ОИЯИ, I3-6758, Дубна (1972).
38. Ю.В. Заневский и др. ОИЯИ, I3-72I8, Дубна (1973).
39. В.К. Бирулев и др. Труды Рабочего совещания по методике пропорциональных камер, стр. 58-59, ОИЯИ I3-7I54, Дубна (1973).
40. Ю.В. Заневский и др. Труды Рабочего совещания по методике пропорциональных камер, стр. 37-47, ОИЯИ I3-7I54, Дубна (1973).
41. Ю.В. Заневский и др. Труды Рабочего совещания по методике пропорциональных камер, стр. 150-162, ОИЯИ I3-7I54, Дубна (1973).
42. К.И. Губриенко и др. Препринт ИФВЭ, СЭФ 74-II3, Серпухов (1974).
43. Ю.В. Заневский и др. ОИЯИ, I3-7265, Дубна (1973).
44. А. Двуразны и др. ОИЯИ, I3-7266, Дубна (1973).
45. G.T. Adylov et al. JINR, NBI-7934, Dubna (1974).
46. Ю.В. Заневский и др. ОИЯИ, РI3-8283, Дубна (1974).

47. Ю.В.Заневский и др. ОИЯИ, I3-7678, Дубна (1974).
48. Р.А.Астабатьян и др. ОИЯИ, P13-8188, Дубна (1974).
49. Ю.В.Заневский и др. ОИЯИ, P13-8668, Дубна (1975).
50. Р.А.Астабатьян и др. ОИЯИ, P13-8383, Дубна (1974).
51. V.K.Birulev et al. Physics Letters 38B, 452 (1972).
52. K.F.Albrecht et al. JINR E1-7353, Dubna (1973).
53. G.T.Adylov et al. Phys. Lett., 51B, 402 (1974).
54. В.Д.Апокин и др. ИФВЭ, СЭФ 74-II3, Серпухов (1974).
55. Б.М.Абрамов и др.Препринт ИТЭФ-68, Москва (1974).
56. С.Г.Басиладзе и др. ОИЯИ, I3-7613, Дубна (1973).

Рукопись поступила в издательский отдел
2 апреля 1975 года.