

С 344.3

Г-626

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

И.А. Голутвин

2403

НЕКОТОРЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЧАСТИЦ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
ЭЛЕКТРОННЫМИ МЕТОДАМИ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научные руководители

Кандидат технических наук

Ю.А. Каржавин

Кандидат физико-математических
наук

В.С. Ставинский

Дубна 1965

И.А.Голутвин

2403

НЕКОТОРЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЧАСТИЦ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
ЭЛЕКТРОННЫМИ МЕТОДАМИ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научные руководители

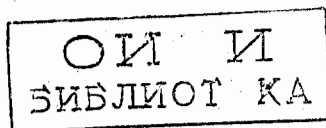
Кандидат технических наук

Ю.А.Каржавия

Кандидат физико-математических
наук

В.С.Ставинский

Дубна 1985



В современной экспериментальной ядерной физике широко используются электронные методы исследования свойств частиц и свойств реакций с их участием. Особенно большое распространение электронные методы получили при проведении опытов на ускорителях, когда необходимо выделять и измерять частицы исследуемой реакции в условиях очень большого фона различных излучений от ускорителя и сопутствующих процессов. К числу основных приборов, используемых в электронной методике и позволяющих получать высокое временное и пространственное разрешение, относятся схемы совпадений импульсов со сцинтилляционными и черенковскими счетчиками и искровые камеры. Возможности методики неразрывно связаны с успехами в разработке этих приборов.

До последнего времени регистрация искр в искровых камерах производилась, как правило, путем фотографирования рабочего объема камер. При исследовании редких событий, когда общее количество снимков не превышает нескольких десятков тысяч, обработка полученных в эксперименте фотографий не вызывает больших затруднений, и искровые камеры с фотографированием являются удобным прибором для проведения опытов на ускорителях. Однако имеется ряд физических проблем, для решения которых необходимо получать большой статистический материал, исчисляемый миллионами и десятками миллионов событий. В этом случае получение экспериментальных данных в виде фотографий искр связано с большими трудностями, так как, во-первых, применение фотоаппарата существенно ограничивает скорость набора статистического материала; во-вторых, полную обработку такого количества фотографий можно производить лишь при высоком уровне автоматизации всех этапов обработки; в-третьих, чрезмерно велики затраты на пленку.

В связи с этим в последние годы в ведущих физических лабораториях мира широкое распространение получили бесфильмовые методы съема информации с искровых камер.

Реферируемая диссертация посвящена вопросам разработки и применения схем совпадений наносекундного диапазона и искровых камер для экспериментов на синхро-

фазотроне Объединенного института ядерных исследований. В диссертации изложены результаты работ, выполненных в 1961-1965 годах в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ при участии автора.

Диссертация состоит из четырех глав. В первой главе сформулированы общие требования, которым должны удовлетворять схемы совпадений, предназначенные для экспериментов на ускорителе ^{1/1}:

1. Необходимость получения "разрешающих" времен порядка единиц наносекунд.
2. Малый временной разброс (единицы наносекунд) после схемы совпадений, что важно при последовательном включении нескольких схем.
3. Малое "мертвое" время (порядка десятка наносекунд).
4. Способность работать в условиях, когда загрузки каналов могут достигать $10^5 - 10^6$ импульсов за пикл ускорителя.
5. Универсальность. Желательно, чтобы схемы допускали возможность их каскадирования в различных комбинациях.

На основе этих требований были разработаны система наносекундных модулей для сцинтилляционных счетчиков ^{2/2} и схема совпадений с формирователями ^{3/3}.

Система наносекундных модулей состоит из четырех схем:

- 1) Первый формирователь. Основное назначение - стандартизация импульсов с выхода сцинтилляционного счетчика. Выходной сигнал схемы - положительный или отрицательный импульс длительностью 8 нсек, амплитудой 0,4 в. "Мертвое" время ~ 30 нсек.
- 2) Четырехканальная схема совпадений или антисовпадений.
- 3) Второй формирователь. Основное назначение - дискриминирование совпадающих импульсов. Выходной сигнал схемы - отрицательный импульс длительностью 10 нсек, амплитудой 0,7 в. "Мертвое" время - 50-60 нсек. Выходное сопротивление 50 ом.
- 4) Широкополосный усилитель. Коэффициент усиления - 7, время нарастания импульса - несколько наносекунд, выходное сопротивление 50 ом. Схемы построены в виде плоскостных модулей (размер платы 34×82 мм²), которые можно соединять в различной последовательности либо непосредственно, либо при помощи 50-омного кабеля. Схемы выполнены на транзисторах П-417 и туннельных диодах.

В главе дано описание этих схем и изложены результаты их испытаний на пучках синхрофазотрона ОИЯИ ^{4/4}. Временные характеристики исследовались с пластинками $30 \times 20 \times 20$ мм³ при непосредственном контакте с ФЭУ-36. Полуширина кривых задержанных совпадений первичных и вторичных схем изменялась от 4 до 8 нсек без

уменьшения эффективности в зависимости от порога дискриминатора. Загрузки в каналах, при которых схема начинает "просчитывать" 1% импульсов, составляют $1,5 \times 10^7$ имп/сек.

При постановке физических экспериментов на ускорителях часто бывает необходимо сигналы с фотоумножителей передавать по длинным кабелям. Это приводит, вследствие частотных искажений в кабеле и большого амплитудного разброса импульсов с ФЭУ, к значительным потерям временной информации. В этом случае создание регистрирующей аппаратуры с малыми "разрешающими" временами приводит к значительному усложнению схем. От этого недостатка свободна схема, в которой сравнительно простой входной формирователь, выполненный на туннельных диодах и высокочастотном транзисторе, устанавливается в непосредственной близости от формирователя. Сигнал, стандартизованный по длительности и амплитуде, может передаваться по длинным кабелям без риска большой потери временной информации. Испытания схемы проводились от Co^{60} и на пучке заряженных частиц. Временные характеристики измерялись с теми же счетчиками, что и при испытании модульных схем. Формирователи на ФЭУ соединялись со схемой совпадений двухсотметровыми кабелями. Полуширина кривой задержанных совпадений на уровне 0,5 от максимального счета равна 1,5 нсек, а на уровне 0,1 - 3,1 нсек.

Вторая глава диссертации посвящена вопросам работы трековых камер в "следящем" режиме, когда изображение трека получается в виде одной искры, направление которой совпадает с направлением траектории частицы. В § 1 качественно рассмотрены условия получения этого режима.

В § 2 описан генератор импульсов высокого напряжения для питания искровых камер, работающих в "следящем" режиме. Обычно для этой цели используются генераторы, собираемые по схеме Аркальева-Маркса. Однако в некоторых случаях это оказывается неудобным, например, когда искровые камеры должны быть по условиям опыта разнесены друг от друга или от генератора на большие расстояния. Передача высоковольтных импульсов при этом осуществляется по кабелям, а подобные генераторы плохо приспособлены для работы на кабель с малым волновым сопротивлением. В разработанном здесь генераторе импульсы высокого напряжения вырабатываются в схеме умножения напряжения, выполненной на коаксиальных кабелях. Эти же кабели используются для передачи высоковольтного импульса к искровым камерам. При использовании такого генератора в схеме импульсного питания четырех искровых камер с междуэлектронным расстоянием 10 см и площадью пластин по 2500 см² при напряжении источника питания $U = 50$ кВ получены следующие параметры импульсов:

- амплитуда - 100 кВ,
- длительность - 60 нсек (на полувысоте),
- длительность переднего фронта - 5 нсек.

При этом эффективность регистрации частиц в "следящем" режиме не ниже 95% для углов между траекторией частицы и направлением электрического поля $0-45^\circ$ при наполнении искровых камер чистым неоном или неоном с примесью насыщенных паров воды /5/.

Третья и четвертая главы реферлируемой диссертации посвящены бесфильмовым методам измерения координат и углов траекторий заряженных частиц с помощью проволочных искровых камер.

Одним из перспективных методов съема информации с искровых камер является метод, основанный на применении магнитоотрижционных линий /6,7/. Его описание дано в § 1 главы III.

В § 2 приводятся результаты экспериментального исследования выходного сигнала с магнитоотрижционной линии. В § 3 этой главы описан действующий бесфильмовый прибор для измерения координат и углов траекторий заряженной частицы, основанный на магнитоотрижционном способе съема информации с искровых камер /8/. Прибор состоит из двух искровых камер с рабочей площадью электродов 500×500 мм, располагаемых на некотором расстоянии параллельно друг другу. Это расстояние может изменяться в широких пределах и в каждом конкретном случае определяется требуемой угловой точностью. Измерение координат X и Y искры в каждой искровой камере производится путем измерения временных интервалов между запускающим импульсом и появлением сигналов на выходах соответствующих магнитоотрижционных линий.

В § 4 главы III обсуждаются результаты испытаний этого прибора. Для измерения точности одновременно с записью показаний регистрирующей схемы, производилось фотографирование рабочего объема искровой камеры через проволочный электрод. Координата изображения искры измерялась на измерительном проекторе с ценой отсчета 0,4 мм (в объеме камеры). Среднеквадратичное значение отклонений измеренных точек ($\sigma_{\text{общ}}$) от прямой линии, вычисленное по методу наименьших квадратов, составляет 0,63 мм

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sigma_{\text{фот}}^2 + \sigma_{\text{стр}}^2}}{\text{фот стр}} = 0,63 \text{ мм,}$$

где $\sigma_{\text{фот}}$ - среднеквадратичная ошибка измерений по фотографиям, $\sigma_{\text{стр}}$ - среднеквадратичная ошибка магнитоотрижционного способа измерений.

Разработанные искровые камеры имеют очень малое количество вещества по пучку ($- 2 \times 10^{-3}$ т - единиц), поэтому они позволяют получать высокую точность измерения углов. Так, для частиц с импульсом $p = 4$ Гэв/с точность измерения угла равна $- 0,25$ мрад при расстоянии между искровыми камерами $- 2$ м, а для частиц с импульсом $p = 10$ Гэв/с $- 0,1$ мрад при расстоянии между камерами $- 5$ м.

В четвертой главе диссертации описана бесфильмовая экспериментальная установка с четырьмя проволочными искровыми камерами для измерения проекции на горизонтальную плоскость угла отклонения траектории частицы от прямой линии /8/. В этом приборе для съема информации с искровых камер используются две матрицы из ферритовых колец. Каждая матрица подсоединяется к двум искровым камерам таким образом, что при пробое искр в камерах через обмотку записи матрицы протекает импульс тока, который переключает ферритовые кольца из одного состояния намагниченности в другое. Число перемагниченных колец при этом пропорционально разности координат искр в камерах, которая при малых углах пропорциональна проекции угла между траекторией частицы и нормалью к камерам. Это число колец, в свою очередь, пропорционально амплитуде импульса, появляющегося на сигнальной обмотке матрицы в момент переключения. Это позволяет проводить обработку информации с искровых камер аналогичным путем. Аналоговый метод дает возможность, во-первых, сократить объем выводимой информации и, во-вторых, в ряде случаев производить анализ данных за сравнительно небольшое время (меньше микросекунды).

Сигналы с каждой пары камер вычитаются, амплитуда результирующего импульса пропорциональна второй разности координат искр в четырех камерах или (при малых углах) проекции угла отклонения траектории частицы от прямой линии. С целью получения высокой точности измерения углов в приборе применен специальный режим импульсного питания искровых камер, при котором пробой искры осуществляется импульсом напряжения с крутым передним фронтом, а "запись" в ферритовую матрицу - импульсом меньшего напряжения с пологим передним фронтом. В этой же главе изложены результаты испытаний прибора на пучке π^- -мезонов со средним импульсом 4 Гэв/с. Описанный прибор имеет следующие характеристики:

1. Чувствительная площадь электродов камер 410×420 мм².
2. Количество вещества по пучку в одной камере $- 2 \times 10^{-3}$ т - единиц.
3. Расстояние между ферритовыми кольцами $- 2,4$ мм.
4. Расстояние между камерами, имеющими общую ферритовую матрицу, 100 см.
5. "Плато" по напряжению на камерах $- 4,25 - 5,5$ кв.
6. Эффективность на "плато" $> 99\%$.
7. Среднеквадратичная ошибка в измерении второй разности координат $- 2$ мм (соответствует 1 мм для одной камеры)
8. Среднеквадратичная ошибка в измерении проекции угла отклонения (при базовом расстоянии 100 см) $- 2$ мрад.

Основные результаты работы

1. Разработан ряд приборов для исследования электронными методами взаимодействий элементарных частиц высоких энергий с веществом.

а) Разработана система наносекундных модулей для сцинтилляционных счетчиков. Схемы совпадений, составленные из этих модулей, позволяют получать "разрешающие" времена 4-5 нсек без потери эффективности. "Мертвые" времена схем 30 нсек. Все модули выполнены на транзисторах и туннельных диодах. Эти схемы широко используются в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ с 1963 года. На них было собрано большинство экспериментальных установок ЛВЭ.

б) Разработана и испытана на пучке синхрофазотрона ОИЯИ схема совпадений с использованием формирующих устройств, устанавливаемых на фотоумножителях. Схема выполнена на транзисторах и туннельных диодах. "Мертвое" время по двойным импульсам ~ 10 нсек, "разрешающее" время 1,5 нсек.

в) Разработана и испытана система импульсного питания искровых камер с междуподносным расстоянием 10 см. Система позволяет получать "следающий" режим регистрации частиц до углов 45° с эффективностью выше 95%.

2. Проведено исследование возможности применения методики бесфильмовых искровых камер. Разработаны два варианта камер со съемом информации на магнестрикссионные линии и на ферритовые кольца. С использованием этих камер разработаны методы измерения координат и углов траекторий частиц и импульсов частиц. На основе этого созданы две установки для экспериментов на ускорителе.

а) Прибор для измерения координат и углов частиц при помощи искровых камер с магнестрикссионным методом съема данных.

б) Прибор для измерения импульсов частиц при помощи искровых камер с выводом данных на ферритовые кольца.

Основные результаты работ, изложенных в диссертации, опубликованы в статьях /2-5/, /8,9/.

Л и т е р а т у р а

1. И.А. Голутвин, Ю.В. Заневский. Препринт ОИЯИ № 1558, Дубна 1964.
2. И.А. Голутвин, Ю.В. Заневский. ПТЭ № 5, 114 (1964).
3. И.А. Голутвин, Ю.В. Заневский. ПТЭ № 1, 86 (1965).
4. И.А. Голутвин, Ю.В. Заневский, Б.А. Кулаков, В.С. Пантуев, М.Н. Хачатурян, М.С. Хвастунов, Э.Н. Цыганов. Препринт ОИЯИ № 1636, Дубна 1964.

5. И.А. Голутвин, Ю.В. Заневский, Ю.Р. Лукстиньш, Э.О. Оконов, Г.Г. Тахтамышев, В.И. Устинов, М.В.М. Шешунов. Препринт ОИЯИ № 1819, Дубна 1964.
6. Proceedings of the Informal Meeting on Film-less Spark Chamber Techniques and Associated Computer Use. CERN, 64-30
7. V. Perez-Mendez and J.M. Pfab. Nuclear Instr. and Meth., 33, 141 (1965).
8. А.С. Гаврилов, И.А. Голутвин, Ю.В. Заневский, С.С. Кирилов, Б.А. Кулаков, Л.Г. Макаров, Э.Н. Цыганов. Препринт ОИЯИ № 2398, Дубна 1965.
9. I.A. Golutvin, Yu. V. Zanevsky, B.A. Kulakov, E.N. Tsyganov. Препринт ОИЯИ Е-2366, Дубна 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 октября 1965 г.