

Ц 727
С-38



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

А.Н. Синаев

1082

ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ
МНОГОКАНАЛЬНЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ
ЯДЕРНЫХ ЧАСТИЦ
И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ
НА СИНХРОЦИКЛОТРОНЕ

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
кандидат технических наук

А.А. Марков

Дубна 1982 год

А.Н. Синаев

1082

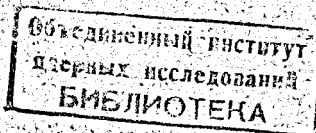
Ц 727
С-38

ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ
МНОГОКАНАЛЬНЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ
ЯДЕРНЫХ ЧАСТИЦ
И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ
НА СИНХРОЦИКЛОТРОНЕ

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
кандидат технических наук

А.А. Марков



Дубна 1962 год

Исследование энергетических спектров ядерных частиц — одна из основных задач экспериментальной ядерной физики. В последние годы для решения этой задачи все шире применяются различные многоканальные системы, которые позволяют существенно сократить время эксперимента и повысить точность измерений.

Настоящая работа состоит из двух частей. В первой части рассмотрены основные характеристики и принципы устройства электронных систем многоканальных спектрометров, применяемых в ядерной физике; делается попытка их систематизации.

Вторая часть посвящена обобщению материала по многоканальным системам, которые разработаны автором или при его участии в Лаборатории ядерных проблем в течение 1953—1961 годов и предназначены для проведения экспериментов с частицами высоких энергий на синхротроне ОИЯИ. Приводится описание разработанных систем, оценка их возможностей и сравнительные характеристики.

Часть I

1. В экспериментальной ядерной физике применяются различные типы многоканальных спектрометров в зависимости от рода ядерной частицы, диапазона измеряемых энергий, интенсивности исследуемого и постороннего излучения и т.д. Можно, однако, выделить три основных метода определения энергии: а) по измерению амплитуды импульса, возникающего в детекторе; б) по измерению интервала времени, в течение которого частица проходит определенное расстояние; в) по координатам, через которые проходит частица после её отклонения магнитным (или электрическим) полем.

Дальнейшим развитием многоканальных спектрометров являются многомерные спектрометры. В них распределение по каналам осуществляется не по одному, а по нескольким параметрам поступающих импульсов.

Электронные системы различных многоканальных спектрометров имеют сходное устройство ряда блоков. Общей задачей всех спектрометров является накопление импульсов, поступающих в каждый канал.

2. Характеристики спектрометра должны показывать как точно и быстро позволяет он производить измерение спектра. Основными характеристиками любого многоканального спектрометра являются разрешающая способность, эффективность и динамический диапазон. Исходя из требуемых для эксперимента характеристик спектрометра и технических возможностей, выбираются основные характеристики электронной системы, т.е. число каналов, ширина канала и мертвое время.

Схемное решение отдельных узлов электронных систем спектрометров весьма разнообразно, но по выполняемым функциям электронную систему можно разделить на несколько основных блоков: входной блок, блок распределения, блок накопления и выходной блок. Кроме того в некоторых спектрометрах имеется блок предварительного запоминания.

3. Во входном блоке производится отбор для анализа импульсов из числа поступивших от детекторов частиц, а также усиление и формирование отобранных импульсов перед их распределением по каналам. Отбор импульсов осуществляется при помощи ряда устройств. Управляющее устройство пропускает только те импульсы, которые представляют интерес для эксперимента (например, совпадающие во времени с импульсами, поступающими от вспомогательных детекторов). Ограничительное устройство пропускает импульсы, измеряемый параметр которых лежит в определенных пределах, охватываемых спектрометром. Блокирующее устройство препятствует подаче на следующие блоки импульсов, поступивших во время регистрации предыдущего импульса. При амплитудном анализе весь тракт прохождения регистрируемого импульса должен быть линейным.

4. В блоке распределения происходит распределение импульсов по каналам. При амплитудном и временном анализе должно производиться измерение исследуемых величин и преобразование непрерывных значений величин в дискретные. Иногда исследуемая величина сама непосредственно не измеряется, а производится её эквивалентное преобразование в другую величину, которая может быть измерена более точно или более просто.

При амплитудном анализе могут применяться схемы или с отдельными пороговыми устройствами для каждого канала, или же с общими пороговыми устройствами для всех каналов. В схемах с отдельными пороговыми устройствами (дискриминаторами напряжения) регистрируемый импульс подается на все устройства одновременно. Амплитуда импульса характеризуется номером порогового устройства, на выходе которого возникает импульс. В таких устройствах время выбора канала невелико, но возможен дрейф относительной ширины каналов; при большом числе каналов схемы становятся очень громоздкими. В большинстве схем с общими пороговыми устройствами имеется лишь одно пороговое устройство для всех каналов. В этих схемах выбор канала осуществляется или путем изменения во времени по определенному закону порога срабатывания порогового устройства при сохранении на это время амплитуды регистрируемого импульса неизменной, или же наоборот, порог срабатывания поддерживается неизменным, а амплитуда поступившего импульса искусственно меняется во времени по определенному закону. В ряде таких схем амплитуда импульса характеризуется величиной интервала времени между началом процесса измерения и срабатыванием порогового устройства, т.е. осуществляется амплитудно-временное преобразование. Время выбора канала будет зависеть

от номера канала; среднее время выбора канала обычно получается значительно большим, чем в системах с отдельными пороговыми устройствами, но схема получается сравнительно простой, и дрейф относительной ширины каналов практически отсутствует. Для уменьшения времени выбора канала можно производить не последовательный выбор в линейной системе, а поразрядный выбор, например, в десятичной или двоичной системах. При этом, если в схеме имеется одно пороговое устройство, то оно должно сработать несколько раз. Иногда число пороговых устройств делают равным числу разрядов, тогда каждое пороговое устройство будет срабатывать один раз, но может появиться дрейф относительной ширины каналов. Амплитуда измеряемого импульса характеризуется параллельным или последовательным кодом, обозначающим число в определенной системе счисления.

Измерение интервалов времени применяется как при временном анализе, так и после амплитудно-временного преобразования при амплитудном анализе. Наиболее часто для этого используются специальные счётные схемы. Если ширина канала должна составлять 10^{-7} сек или менее, то перед распределением по каналам часто производят линейное увеличение исследуемых интервалов времени (изменение масштаба времени). Иногда измеряемый интервал времени преобразуется в импульс с амплитудой, пропорциональной этому интервалу; затем полученный импульс анализируется с помощью амплитудного анализатора.

При анализе по отклонению магнитным полем в простых системах распределение по каналам производится непосредственно детекторами частиц, и блок распределения может отсутствовать. В сложных системах импульс от каждого детектора в блоке распределения преобразуется в код, обозначающий номер канала.

5. В блоке накопления производится счёт (накопление) числа импульсов, поступающих с блока распределения в каждый канал спектрометра. В спектрометрах различных типов блоки накопления могут иметь одинаковое устройство.

В простых спектрометрах счёт импульсов в каналах производится электро-механическими счётчиками. Для уменьшения мертвого времени перед ними ставят пересчётные устройства. Чем меньше мёртвое время спектрометра, тем более сложное устройство должна иметь счётная схема в каждом канале. С увеличением числа каналов блоки накопления с отдельными счётными устройствами для каждого канала становятся все более громоздкими, неудобными и ненадежными в работе.

Очень подходящими для использования в блоках накопления оказались некоторые запоминающие устройства, разработанные для цифровых вычислительных машин. Такие блоки накопления имеют ряд элементов, общих для всех каналов; число деталей в них увеличивается не пропорционально числу каналов, а гораздо

медленнее. Запоминающие устройства, применяемые в блоках накопления, могут быть разделены на циклические и нециклические. В циклическое запоминающее устройство новый импульс может быть введен только в определенный момент по отношению к его циклу, имеющему обычно длительность порядка 10^{-3} сек. В нециклическом запоминающем устройстве ввод нового импульса может начинаться непосредственно после его поступления, поэтому время регистрации импульса в канале получается сравнительно небольшим. Однако, нециклические запоминающие устройства часто получаются более сложными, чем циклические. К циклическим относятся запоминающие устройства на линиях задержки и магнитном барабане, а к нециклическим — запоминающие устройства на магнитных сердечниках с прямоугольной петлей гистерезиса. Запоминающие устройства на электронно-лучевых приборах применяются как в циклическом, так и в нециклическом режимах.

6. Выходной блок предназначается для автоматической записи числа импульсов, зарегистрированных каждым каналом спектрометра, на бумаге или другом материале в форме, наиболее удобной для дальнейшей работы. Обычно выходные блоки применяются в спектрометрах, имеющих в блоках накопления запоминающие устройства. Основной частью выходного блока является печатающее или пишущее устройство. Если требуется получить зарегистрированный спектр в виде колонок десятичных цифр, то применяются цифрпечатающие аппараты. Гистограмма спектра может быть вычерчена с помощью автоматического потенциометра. Для записи данных в форме, пригодной для ввода в цифровую вычислительную машину, обычно применяются перфораторы или другие устройства, разработанные для таких машин.

7. Блоки предварительного запоминания предназначены для согласования интервалов времени между подачей регистрируемых импульсов на блок распределения (или блок накопления) с мертвым временем спектрометра. Предварительное запоминание может производиться как на небольшое (порядка долей секунды), так и на длительное (практически неограниченное) время.

Предварительное запоминание на небольшое время применяется для уменьшения просчетов, возникающих из-за мертвого времени. В блок предварительного запоминания поступают импульсы, пришедшие в течение мертвого времени спектрометра, вызванного регистрацией предыдущего импульса. После окончания мертвого времени очередной импульс из блока предварительного запоминания передается на последующие блоки. Для импульсов, распределенных во времени по закону Пуассона, это означает упорядочивание характера их поступления. Еще более выгодно применять предварительное запоминание при работе от пульсирующего источника излучения.

Предварительное запоминание на длительное время целесообразно применять,

например, при регистрации редких явлений. Во время эксперимента, включается только входная часть спектрометра, оканчивающаяся блоком предварительного запоминания. Данные на последующие блоки передаются после окончания эксперимента за более короткое время. Такие блоки предварительного запоминания целесообразно применять и в многомерных спектрометрах с очень большим числом каналов. Их основным назначением является упрощение устройства блока накопления, который может иметь число каналов в несколько раз меньше, чем общее число каналов спектрометра. Данные на блок накопления при этом подаются после окончания эксперимента несколько раз последовательно.

Часть II

1. Электронная аппаратура, предназначенная для исследований с ядерными частицами, получаемыми на синхротронном ускорителе, должна учитывать специфические особенности его работы. Благодаря пульсирующему режиму работы синхротрона предъявляются значительно более жесткие требования к разрешающему времени регистрирующей аппаратуры по сравнению с непрерывным источником излучения той же интенсивности. Согласование работы регистрирующей аппаратуры с циклом синхротрона в ряде случаев может значительно улучшить ее возможности. Для отделения исследуемых процессов от большого фона постороннего излучения необходимо применение сложной системы селекции.

Многоканальные системы широко применяются для исследования энергетических спектров различных ядерных частиц, а также их угловых распределений, времени жизни и т.д.

2. Для исследования энергетических спектров жестких γ -квантов, возникающих при распаде π^0 -мезонов, были разработаны магнитные парные γ -спектрометры. В парном γ -спектрометре энергия кванта определяется путем измерения суммарной энергии компонент электронно-позитронной пары, образуемой γ -квантом в тонкой конверторе. Координатные детекторы многоканального спектрометра делятся на два одинаковых ряда, в одном из которых регистрируются электроны, а в другом — позитроны, отклоняемые магнитным полем в разные стороны. Пусть в каждом из рядов находятся по $\frac{K}{2}$ детекторов (координатных каналов), которые регистрируют электроны и позитроны с относительной энергией от 1 до $\frac{K}{2}$. Тогда относительная энергия γ -кванта будет определяться суммой номеров детекторов, находящихся в обоих рядах, через которые прошли соответственно электрон и позитрон. Число результирующих каналов спектрометра, т.е. каналов, регистрирующих энергию γ -квантов, будет равно $K-1$. Они регистрируют γ -кванты с относительной энергией от 2 до K . Необходимо учитывать, что γ -кванты разных энергий регистрируются с различной суммарной эффективностью. Так, γ -кванты с относительной энергией 2 или K могут регистрироваться только одной комбинацией детекторов ($1+1$ в первом случае и $\frac{K}{2} + \frac{K}{2}$ — во втором). А γ -кванты с относительной энергией $\frac{K}{2} + 1$ могут

регистриваться $\frac{K}{2}$ комбинациями детекторов (максимальная суммарная эффективность). Общее число различных комбинаций равно $(\frac{K}{2})^2$. Под числом каналов спектрометра будем понимать общее число координатных каналов. Были разработаны 12 и 24-канальные спектрометры.

В качестве детекторов излучения используются газоразрядные счётчики с большим газовым усилением, наполненные парами метилала. Для отбора нужных событий применяется система шестикратных совпадений.

В блоке распределения осуществляется выбор энергетического канала по номерам координатных каналов, от которых поступили импульсы. В 12-канальном спектрометре это осуществляется при помощи релейно-контактных схем, имеющих сравнительно простое устройство. Но число требуемых контактов реле с увеличением числа каналов быстро растёт. Оно равно $(\frac{K}{2})^2 + K$. Кроме того, такой спектрометр может регистрировать только один γ -квант за цикл излучения синхротрона. Поэтому в 24-канальном спектрометре номера каналов преобразуются в последовательный код, т.е. номер каждого координатного канала обозначается соответствующим числом импульсов. Этот код подается на блок накопления, использующий запоминающее устройство на потенциоскопе.

Схемы, разработанные для 12-канального парного спектрометра, использовались также и в ряде других электронных систем.

3. Запоминающие устройства на потенциоскопах довольно широко применяются в блоках накопления многоканальных спектрометров ядерных частиц. Одним из основных недостатков таких устройств является необходимость периодического восстановления хранящихся данных. Во время режима восстановления регистрация поступающих импульсов производиться не может, что приводит к дополнительным потерям в счёте. Необходимость режима восстановления вызывается постепенным изменением потенциала рабочих элементов мишени из-за электронного засева. Кроме того, в ряде случаев желательно иметь возможность непрерывного наблюдения за ходом накопления данных по экрану электронно-лучевой трубки, что осуществимо только в режиме восстановления. Если исходить из этого требования то процесс восстановления необходимо осуществлять не реже 5-10 раз в секунду; на это уходит до 20% рабочего времени.

Потери счёта, возникающие из-за наличия режима восстановления, в ряде случаев могут быть устранены, если для восстановления данных использовать интервалы времени между поступающими импульсами. Нами была разработана следующая программа работы запоминающего устройства. При отсутствии на входе спектрометра регистрируемого импульса всегда осуществляется режим восстановления данных, как в циклической системе. При поступлении же регистрируемого импульса сразу производится сброс вертикальной и горизонтальной разверток

потенциоскопа из любого положения, в котором они находились, и луч становится направленным в левый нижний угол мишени. Затем происходит выбор канала и прибавление единицы к числу импульсов прежде зарегистрированных в данном канале: это осуществляется так же, как и в обычно применяемых запоминающих устройствах на потенциоскопах. После окончания регистрации поступившего импульса возобновляется процесс восстановления данных со следующего рабочего элемента того же канала. С этого момента спектрометр готов к регистрации нового импульса.

Указанную программу работы запоминающего устройства особенно удобно применять при исследовании излучения от такого импульсного источника, каким является синхротрон. Если за время каждой паузы успевает происходить восстановление данных на всех рабочих элементах, то спектрометр будет надежно работать при любой форме спектра и любой интенсивности излучения. Но при этом накладывается ограничение на число каналов спектрометра. При нормальной работе синхротрона это число не должно превышать 64. Однако, если исследуемые спектры имеют характер, близкий к равномерному или, если регистрируемые импульсы возникают не в каждый период излучения, то можно допустить, чтобы в течение одной паузы происходило восстановление данных только в некоторой части каналов, что позволяет увеличить общее число каналов в несколько раз. Периодичность пауз вполне достаточна для возможности непрерывного наблюдения за ходом набора спектра.

Спектрометр с запоминающим устройством, работающим по описанной программе, может быть использован и при исследовании излучения от непрерывного источника. При интенсивности большей некоторой предельной для данной формы спектра автоматически включается устройство, блокирующее вход спектрометра на время, достаточное для восстановления данных во всех каналах. При небольшой интенсивности блокирующее устройство вообще не включается и потерь счёта из-за необходимости восстановления данных не происходит. В обоих случаях имеется возможность непрерывного наблюдения за ходом регистрации спектра.

Наблюдение за ходом регистрации спектра осуществляется при помощи электронно-лучевой трубки наблюдения. Данные на нее могут выводиться, как в двоичной системе счисления, так и в линейном масштабе. Разработан также выходной блок, с помощью которого гистограмма зарегистрированного спектра вычерчивается автопотенциометром.

4. На основе описанного в предыдущем разделе блока накопления с запоминающим устройством на потенциоскопе был разработан ряд многоканальных систем.

а) 32, 64 и 256-канальные амплитудные анализаторы. Они используются в различных экспериментах, проводимых как на синхротроне, так и с непрерывным источником излучения.

б) Регистрирующее устройство для временного анализатора. Анализатор имеет ширину канала до 10 нсек. Прибор использовался в исследованиях, проводимых на синхротронном циклотроне.

в) 256-канальный амплитудно-временной (многомерный) анализатор. Он предназначен для исследований с частицами высоких энергий на синхротронном циклотроне. Номер канала в этом анализаторе выбирается в соответствии с двумя параметрами регистрируемого импульса, а именно в соответствии с его амплитудой и временем возникновения по отношению к пусковому импульсу. Число каналов, отводимых для амплитудного и временного анализа можно менять. Выбор временного канала производится при помощи время-амплитудного преобразования; это позволило применить в блоке распределения ряд общих узлов для выбора, как амплитудного, так и временного каналов. Минимальная ширина временного канала 0,25 мксек.

г) Многоканальная счётная схема. В ряде экспериментов, проводимых на синхротронном циклотроне, применяются многоканальные системы, имеющие для каждого канала отдельный детектор излучения. В этих экспериментах счёт числа импульсов от каждого детектора должен производиться отдельной счётной схемой. При числе каналов порядка нескольких десятков становится целесообразным вместо отдельных счётных схем применять блок накопления с запоминающим устройством на потенциалоскопе.

д) 24-канальный магнитный парный γ -спектрометр. О его назначении и принципах устройства говорилось в разделе 1 части II.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах /1-9/.

Литература

1. Ю.Д. Баюков, А.Н. Синаев, А.А. Тяпкин, ЖЭТФ, 1957, 32, 667.
2. Ю.Д. Баюков, М.С. Козодаев, А.А. Марков, А.Н. Синаев, А.А. Тяпкин, ПТЭ, 1958, № 6, 23.
3. Ю.Д. Баюков, М.С. Козодаев, А.А. Марков, А.Н. Синаев, А.А. Тяпкин, ПТЭ, 1958, № 6, 30.
4. Б.Ю. Семенов, А.Н. Синаев, В.А. Яковлев, Препринт ОИЯИ, 1981, № 747, Дубна.
5. А.Н. Синаев, Препринт ОИЯИ, 1981 г., № 867, Дубна.
6. А.Н. Синаев, Nuclear Electronics (Conference Proceedings, Belgrade, May 1961) V. III, p.287 IAEA, Vienna, 1962.
7. А.Н. Синаев, Доклад на У Всесоюзной научно-технической конференции по ядерной радиоэлектронике, декабрь 1961 г., Москва.
8. А.Н. Синаев, Электронные системы многоканальных спектрометров ядерных частиц. Атомиздат, 1962 г., Москва.
9. А.Н. Синаев, ПТЭ, 1962 г. № 8; (в печати).

Рукопись поступила в издательский отдел
8 сентября 1962 г.