

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Ионизационные излучения различного происхождения невидимы и неосязаемые. Для их обнаружения, идентификации и определения их параметров существуют приборы, установки, методики, которые носят название радиометрические.

Измерение параметров ядерных излучений основано на преобразовании их в другие виды энергии, поддающиеся регистрации. В большинстве типов детекторов под воздействием ядерных излучений формируются электрические сигналы по количеству, форме и амплитуде которых можно судить о характере, интенсивности и энергии исследуемого излучения. Детекторы ядерных излучений в сочетании с элементами радиотехнических устройств, соединёнными по определённым электрическим схемам, составляют большой класс разнообразных радиометрических приборов.

**Ядерная электроника** - совокупность электронных устройств для получения, преобразования и обработки информации в ядерных экспериментах.

В современной радиометрии широко используются электронные методы и электронные приборы. Они применяются для решения большого круга вопросов, начиная от усиления сигналов детекторов излучений и кончая детальным анализом различных событий и процессов.

**Ядерная радиоэлектроника** - совокупность методов ядерной физики, в которых используются электронные приборы для получения, преобразования и обработки информации, поступающей от детекторов ядерных излучений. Эти методы применяются помимо ядерной физики и физики элементарных частиц всюду, где приходится иметь дело с ионизирующим излучением (радиохимия химия, дозиметрия, медицина, космические исследования и т. д.). Малая длительность процессов и, как правило, высокая их частота, а также наличие фона требуют от приборов ядерной электроники высокого временного разрешения ( $\sim 10^{-9}$  сек). Необходимость одновременного измерения большого числа параметров (амплитуды сигнала, времени его прихода, координаты точки его детектирования и др.) привела к тому, что именно в ядерной электронике впервые были разработаны схемы аналого-цифрового преобразования, применены цифровые методы накопления информации, многоканальный и многомерный анализ и использованы ЭВМ

При регистрации частиц (или квантов) задача ядерной электронике сводится к счёту импульсов от детектора; при идентификации типа излучения или при исследовании его спектра анализируется форма импульса, его амплитуда или относительная задержка между импульсами. В случае исследования пространственного распределения излучения регистрируются номера «сработавших» детекторов или непосредственно определяется координата точки детектирования.

Главными элементами устройств ядерной электроники являются: схемы совпадений и антисовпадений, амплитудные дискриминаторы, линейные схемы пропускания и сумматоры, многоканальные временные и амплитудные анализаторы, различные устройства для съёма информации с координатных детекторов и пропорциональных камер) и т. д.

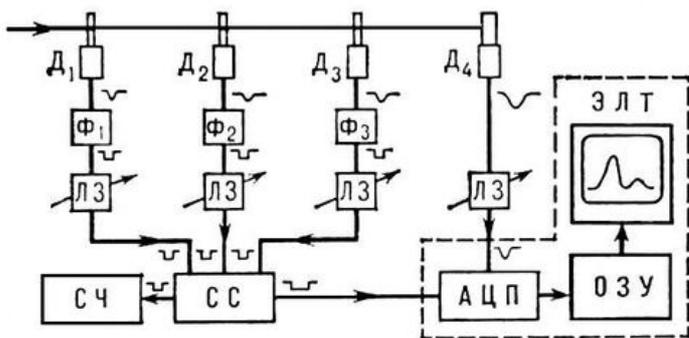


Рис. 1. Схема спектрометра заряженных частиц

Устройство для регистрации частиц содержит детектор, усилитель, преобразователь сигнала и регистрирующее устройство. Преобразователь переводит сигнал детектора в стандартный импульс или преобразует амплитуду или время прихода сигнала

в цифровой код. Для регистрации результатов измерения применяются счётчики импульсов, запоминающие устройства или компьютеры, реже самопишущие приборы или фотоаппаратура.

На Рис. 1 изображена упрощённая система для исследования спектров излучения. Заряженная частица пересекает детекторы  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  и останавливается в детекторе  $D_4$ . Сигналы с  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  через формирователи  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ,  $\Phi_3$  поступают на схему совпадений СС, которая отбирает события, при которых сигналы на её входы приходят одновременно. Одновременность прихода импульсов обеспечивается согласующимися линиями задержки ЛЗ. Схема совпадения вырабатывает сигнал, который «разрешает» преобразование исследуемого импульса от детектора  $D_4$ . Результат преобразования из аналого-цифрового преобразователя АЦП в виде цифрового кода заносится в оперативное запоминающее устройство или ЭВМ. Измеренный амплитудный спектр выводится на экран электроннолучевой трубки ЭЛТ. Эта часть системы, ограниченная пунктиром, представляет собой многоканальный амплитудный анализатор. Скорость счёта на выходе схемы совпадений, фиксируемая счётчиком СЧ, показывает число зарегистрированных событий. Временной отбор сигналов осуществляется схемами совпадений, которые срабатывают от импульсов с определённой длительностью и амплитудой. Схемы совпадения реализуют логическую функцию «И» (логическое умножение), т. е. на её выходе сигнал появляется лишь тогда, когда импульсы на всех входах имеют определённый уровень,

называются «единичным». Если на один из входов схемы совпадения подать сигнал с инвертированной полярностью, она превращается в схему антисовпадений. В современных схемах совпадений и антисовпадений используются стандартные интегральные схемы (Рис. 2).

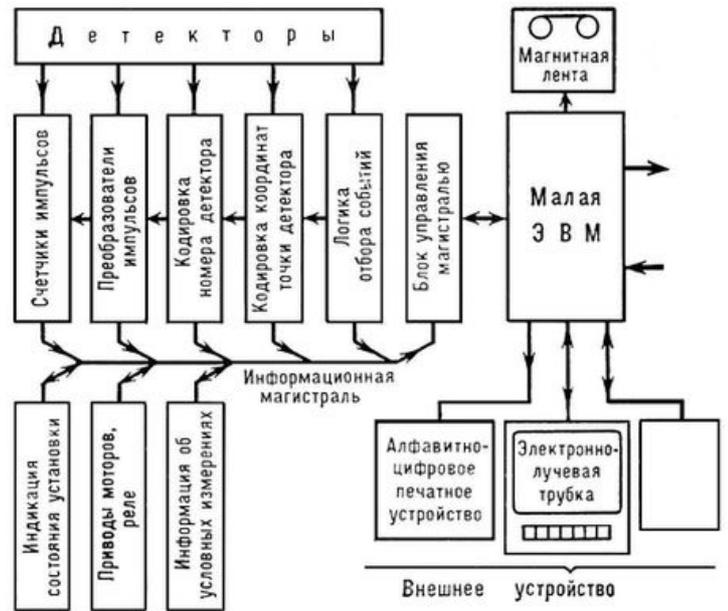


Рис.2. Схема совпадений

Амплитудный отбор осуществляется дискриминаторами, которые выполняются по схеме триггера Шмидта или на туннельных диодах (ТД) и формируют стандартный выходной импульс лишь в

случае, если напряжение (или ток) на входе превысит заданный порог. Для амплитудной дискриминации часто используются схемы сравнения (компараторы). Эволюция схем совпадений и амплитудных дискриминаторов типична и для других приборов ядерной электроники. Вместо блоков, реализующих одну логическую функцию («И», «ИЛИ» и т. д.), разрабатываются универсальные многофункциональные устройства, логическую функцию которых можно задавать извне. Этому способствовало внедрение ЭВМ в ядерную электронику. Вычислительная техника позволила создать автоматизированную аппаратуру с программно регулируемыми параметрами: ЭВМ управляет порогами срабатывания схем, временным разрешением, задержкой сигналов, логикой отбора событий, режимом работы измерительные системы и т. д. Внедряются в практику физического эксперимента также микропроцессоры и специализированные процессоры для распознавания образов, для накопления и предварит, обработки результатов измерений (Рис. 3). Накопление экспериментальных данных происходит в ЭВМ. Результаты предварительной обработки выводятся на экран электроннолучевой трубки, что позволяет оператору вмешиваться в ход измерений. Компьютер управляет различными исполнительными устройствами: моторами, перемещающими детекторы или мишени, реле, коммутаторами сигналов и т. д.

Рис.3. Система накопления и обработки информации в ядерно-физическом эксперименте.



Современная радиоэлектронная система в ядерной физике обычно имеет модульную структуру, т.е. состоит из модулей, каждый из которых выполняет определенную задачу. Механические и электрические параметры модулей стандартизованы. Таким образом, собирая измерительную систему из модулей одного стандарта, можно быть уверенным, что они будут хорошо сочетаться друг с другом, а при изменении требований эксперимента установку можно легко перестроить, добавив и/или заменив модули.

Различают два основных варианта исполнения радиометрических приборов: токовый (интегральный) и импульсный (дифференциальный). В первом случае измеряется средняя величина электрического тока, получаемого от детектора, а во втором – регистрируются отдельные электрические сигналы (импульсы).

В радиохимических лабораториях широко применяют две разновидности радиометрических приборов: - **радиометры** – приборы для измерения интенсивности ядерного излучения, попавшего в объём их детекторов;

- **спектрометры** – приборы для измерения энергии ядерных излучений.

Любой радиометрический прибор характеризуется параметрами:

**Чувствительность** радиометрического прибора определяется значением наименьшей энергией регистрируемого ядерного излучения, начиная с которой прибор пригоден для проведения измерений. Чувствительность прибора характеризуется минимальными значениями амплитуды и длительности электрического сигнала, полученного после детектирования ядерного излучения, при которых весь прибор в целом ещё устойчиво работает и даёт воспроизводимые показания.

**Разрешающее время** прибора. В большинстве случаев определяется минимальным интервалом времени между двумя последовательными попаданиями ядерных частиц или квантов регистрируемого излучения в рабочий объём детектора, которые прибор регистрирует ещё раздельно.

**Разрешающая способность прибора по энергии** (для спектрометров) – величина, определяемая разностью энергий двух соседних линий спектра ядерного излучения, которые ещё могут быть разделены

данным прибором. Пределом разрешения двух линий считают величину их сдвига на ширину одного пика, взятую на его полувысоте.

Существуют и другие параметры и характеристики радиометрических приборов, зависящие от специфики и назначения, как например: температурная, электрическая, механическая и влагоустойчивость, допустимый уровень шумов и др.

*Основной или полезный сигнал* подводится от детектора ядерных излучений и является результатом детектирования ядерных излучений и является результатом детектирования частиц или квантов, связанных с изучаемым физическим явлением.

Контрольный сигнал генерируется в электрической схеме прибора или подводится от внешнего источника и служит для проверки работы электронной схемы.

Вспомогательный сигнал генерируется также в электрической схеме прибора или подводится от внешнего источника и служит в качестве синхронизирующего, опорного, запирающего или спускового импульса.

Случайные сигналы возникают при детектировании частиц или квантов, случайно попавших в детектор и не связанных с изучаемым объектом или явлением. К случайным сигналам относятся также электрические флуктуации, вызванные некоторыми физическими процессами, происходящими в детекторах (при отсутствии ядерных излучений) или в других элементах схемы.

Полезные электрические сигналы, приходящие от детектора, и случайные сигналы, вызванные разными факторами, часто имеют различные параметры, по которым они частично или полностью могут быть «рассортированы» электронной схемой прибора.

Наличие посторонних электромагнитных полей и их взаимодействие с деталями детектора и электрической схемы также может быть причиной появления на выходе радиометрического прибора электрических импульсов, не связанных с проводимым исследованием. Для устранения причин, вызывающих появление случайных импульсов на входе прибора, принимают меры, направленные на полную ликвидацию случайных сигналов или на значительное уменьшение их амплитуд по сравнению с амплитудой полезного регистрирующего сигнала. Основной мерой является надёжная экранировка детектора и входных устройств прибора от электромагнитных полей и посторонних источников излучений.

При решении любой радиометрической задачи одновременно с определением метода измерения излучения выбирают необходимую измерительную аппаратуру, от правильного подбора и эксплуатации которой зависит конечный результат измерений.