

УДК 539.1.07

© В. Г. Деменков, Б. В. Журавлев, П. В. Деменков, А. А. Лычагин

МНОГОДЕТЕКТОРНАЯ СТРУКТУРА ВРЕМЯПРОЛЕТНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ

Представлен вариант многодетекторного анализа, используемый при времяпролетной спектрометрии быстрых нейтронов. Его своеобразие состоит в одновременном использовании двух сигналов. Один связан с временной отметкой, а другой идентифицируется с видом излучения. Обсуждаются проблемы организации таких измерений. Рассмотрена специфика структуры электронных средств, применяемых в получении нейтронных данных, реализуемых во всем многообразии направлений ядерной физики.

Кл. сл.: времяпролетная спектрометрия, быстрые нейтроны, многодетекторный анализ, нейтронные данные, использование нейтронных данных

ВВЕДЕНИЕ

К экспериментальным данным по дифференциальным сечениям эмиссии нейтронов в реакциях (p, n) , (d, n) , (α, n) и т. д. целый ряд направлений науки и техники проявляют закономерный интерес. С одной стороны, он обусловлен теоретическими аспектами ядерной физики, а с другой стороны, его связывают с решением практических задач по реализации ядерных технологий. Первое из направлений ассоциируется с целенаправленным теоретическим обоснованием механизма ядерных реакций, характеристик возбуждения ядер, их модельного представления и т. п. Другое из них имеет дело с практикой космических исследований, с решением вопросов термоядерного синтеза, также с общими проблемами ядерной энергетики, включая решение задач по обеспечению их ядерными данными.

Решение проблем получения ядерных и нейтронных данных, равно как и повышение точности ядерных микроконстант, имеет существенную экономическую составляющую. При создании энергетических установок, как уже признано специалистами, повышение точности используемых ядерных данных с 20 до 6 % гарантируется экономия средств почти 10 миллионов долларов на реактор. Более того, по оценкам, которые были выполнены западными экспертами, при мировом уровне мощности атомных электростанций около 400 ГВт экономия за счет снижения погрешностей ядерных данных может достигать почти до 3 миллиардов долларов в год [1].

МНОГОДЕТЕКТОРНЫЙ ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ И ВАРИАНТ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

Ядерно-физические исследования представляют собой целенаправленный поиск и выявление закономерностей в строении вещества. Их своеобразие состоит в том, что устанавливаются микроскопические свойства материалов на ядерном уровне. Ключевым звеном в получении информации нового уровня и формата служит эксперимент. Полученные данные используются при уточнении теории или для выявления ее новых положений, а также расширяют и уточняют сферы исследований. В таком случае создаются условия дальнейшего продвижения и совершенствования техники научных исследований, планирования и организации эксперимента, включая поиск и применение новых методик измерений. При этом большие надежды возлагаются на многодетекторные системы сбора экспериментальных данных.

Такие системы регистрации ядерно-физических данных привлекают внимание и создают возможность сократить время проведения эксперимента и, кроме того, получить сведения о процессах, происходящих одновременно, путем проведения корреляционных измерений в одном и том же временном интервале. В ядерной физике это могут быть измерения угловых распределений частиц или корреляционные измерения спектров различных частиц, испускаемых в результате какой-либо ядерной реакции [2]. Однако при использовании многодетекторных систем возникает проблема идентичности параметров системы регистрации

для различных каналов. Основным способом решения последней проблемы является использование одной и той же системы регистрации для различных каналов.

В большинстве случаев в основу многодетекторного временного анализа (МДВА) положена идея измерения параметров распределений интервалов одним временным АЦП (ВАЦП) сразу от нескольких детекторов [3]. Получаемая выгода от такого анализа будет зависеть от соотношения интенсивности поступающих n событий и времени t_m . Это время отбора и измерения поступившей длительности, а также фиксации ее результата в системе накопления и обработки данных (СНОД), т. е. "мертвое" времени регистрации.

Критерием эффективности МДВА при наличии m входов с интенсивностью событий n_i ($i=1, 2, \dots, m$) по каждому из них может служить время измерения $T_{изм}$. Оно определяется временем накопления N событий по входу с минимальной интенсивностью n_{min} и будет равно $T_{изм} = N \left(1 + t_m \sum_{i=1}^m n_i \right) / n_{min}$.

Соотношение показывает, что время измерения практически не меняется с числом детекторных устройств m , если $t_m \sum_{i=1}^m n_i \ll 1$. Однако оно растет пропорционально числу детекторов m , если $t_m \sum_{i=1}^m n_i \gg 1$. В таком случае на передний план выходит проблема минимизации "мертвого" времени регистрации в целом, т. е. ВАЦП и СНОД.

Для реализации МДВА крайне важным остается определение скорости регистрации n_j^* по входу j при интенсивности поступления событий n_i по каждому из i входов. Эта зависимость определяет

ся соотношением $\sum_{i=1}^m n_i t + n_j^* = n_j$. В таком случае будем иметь $n_j^* = n_j / \left(1 + t \sum_{i=1}^m n_i \right)$. Из последнего выражения видно, что для нахождения соотношения скорости регистрации n_j^* и интенсивности событий n_j по j -му входу, нужно знать лишь суммарную загрузку $\sum_{i=1}^m n_i$ по всем входам и "мертвое" время ВАЦП.

БАЗОВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА ОРГАНИЗАЦИИ МДВА

Структурная схема этого анализа в рамках времяугловых измерений представлена на рис. 1. Сигналы с детекторов $D_1 \div D_n$ через формирователи временной отметки (ФВО) поступают на кодировщик номера детектора (КНД). Устройство выдает код детектора для СНОД и сигнал СТАРТ для ВАЦП. Сигналы СТОП получают с пикап-электрода ускорителя, работающего в импульсном режиме. Измеритель фиксирует код временного интервала, заключенного между этими сигналами, и передает его в СНОД. В зависимости от номера детектора поступления сигнала, т. е. кода схемы КНД, информация о величине измеренного интервала времени фиксируется в разных группах памяти СНОД.

Наиболее острой проблемой регистрации нейтронов остается проблема фонового γ -излучения, которую решают различными схемами n - γ разделения. В них идентификация вида излучения

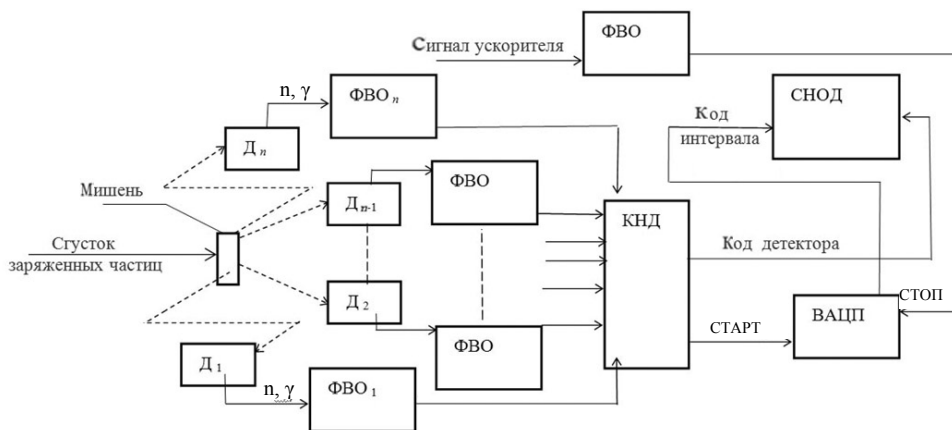


Рис. 1. Структурная схема многодетекторного временного анализа. ВАЦП — временной аналого-цифровой преобразователь; D_1 – D_n — детекторы; КНД — кодировщик номера детектора; СНОД — система накопления и обработки данных; ФВО — формирователь временной отметки

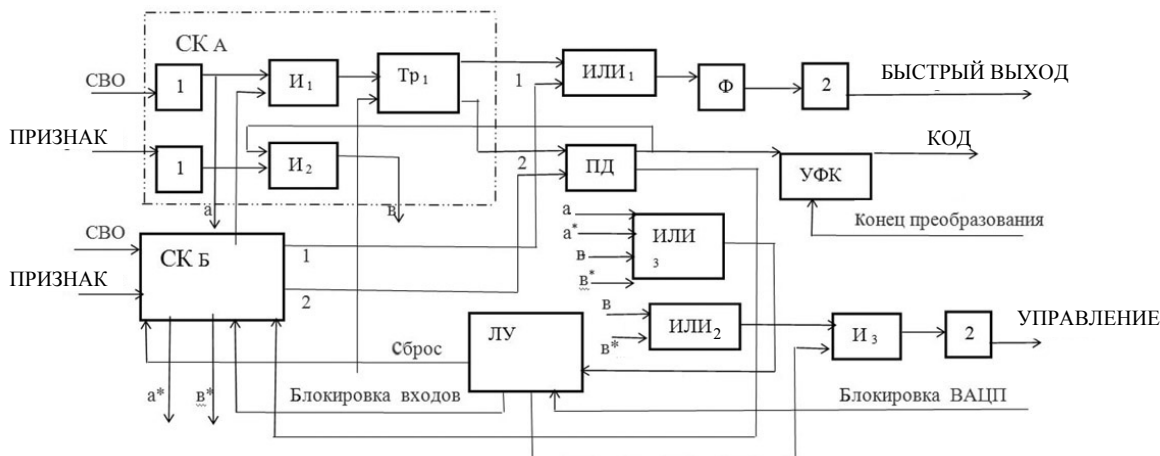


Рис. 2. Функциональная схема кодировщика номера детектора (КНД).

И, ИЛИ — логические элементы; ЛУ — логическое устройство; ПД — приоритетный дискриминатор; СК — селектор канала; Тр — триггер; УФК — устройство формирования кода; Ф — формирователь; 1 — схема согласования уровней (ССУ) NIM-ЭСЛ; 2 — ССУ ЭСЛ-NIM

фиксируется сигналом ПРИЗНАК, подтверждающий регистрацию выбранного типа частицы. Схема четырехвходовой версии КНД, где учитывается данный аспект, приведена на рис. 2. Устройство содержит два идентичных канала селекции А и Б, т. е. SK А и SK Б. На каждый из них поступают сигналы временной отметки (СВО) и ПРИЗНАК одного из детекторов. Оба сигнала через преобразователи уровня (ПУ) 1 (NIM-ЭСЛ) проходят на схемы пропуска И1 и И2. Первая из них И1 открыта, а другая И2 закрыта и СВО взводит триггер Тр1. Аналогичную структуру имеет селектор канала Б, где запускается другой триггер. Их уровни через схему ИЛИ1 формируются в сигнал БЫСТРЫЙ ВЫХОД, служащий сигналом СТАРТ для ВАЦП. Его параметры (длительность, полярность, амплитуда) определяет формирователь Ф и преобразователь (ПУ) 2 (ЭСЛ-NIM).

Случайный характер входных сигналов обоих каналов ведет к неоднозначности определения их принадлежности каналу, вызывая перераспределение информации. Применение приоритетного дискриминатора (ПД) с высоким временным разрешением (< 20 пс) [4], определяющего порядок поступления сигналов по каналам А и Б, позволило практически исключить искажения регистрируемых спектров обоих детекторов. Логические схемы И3 и ИЛИ2 совместно с ПУ 2 выделяют сигнал УПРАВЛЕНИЕ для ВАЦП. Логическое устройство (ЛУ) задает время открытия схемы пропуска И3. Это время с учетом условий эксперимента может регулироваться в пределах от 0.3 до 1.2 мкс. Схема ЛУ, формируя заданную последовательность сигналов, обеспечивает взаимодействие ЛУ с ВАЦП и СНОД. В зависимости от со-

стояния схемы ПД устройство формирования кода (УФК) выдает код регистрации спектров в разных группах памяти СНОД.

СТРУКТУРА СНОД И ЕЕ ОСОБЕННОСТИ

Рассмотрим своеобразие структуры СНОД, реализованной в стандарте САМАС, которая приведена на рис. 3. Она содержит два канала регистрации, связанные с основным и контрольным детектором. Основной нейтронный детектор (ОНД) (стильбен $\text{Ø}4 \times 4$ см) — ФЭУ-143, окруженный слоем свинца толщиной 10 см и помещенный в защиту из смеси парафина и гидрита лития. С него формирователем временной отметки (ФВО1) выделяют быстрый сигнал, а схема n-γ разделения выдает сигнал ПРИЗНАК. Они поступают на соответствующие входы схемы КНД. Сигналы со счетных выходов этих и других схем (1, 2, 3, 4, 5 на рис. 3) подаются на многоканальный счетчик (МКС) с 8 входами.

Контрольный детектор (КД), имея аналогичную защиту, направлен на дно цилиндра Фарадея. Он регистрирует γ-кванты и состоит из быстрого пластического сцинтиллятора БП-20 и ФЭУ-87. В детекторе нет схемы n-γ разделения, а схема ФВО2 выделяет лишь СВО. С помощью линии задержки ЛЗ для схемы КНД организован виртуальный сигнал ПРИЗНАК. Схема КНД выдает сигналы СТАРТ, УПРАВЛЕНИЕ и КОД для ВАЦП. Сигналы СТОП для ВАЦП получают с пикап-электрода ускорителя, используя быстрый предусилитель (БПУ) и схему ФВО3. Эти же сигналы, частота которых понижена делителем частоты ДЧ,

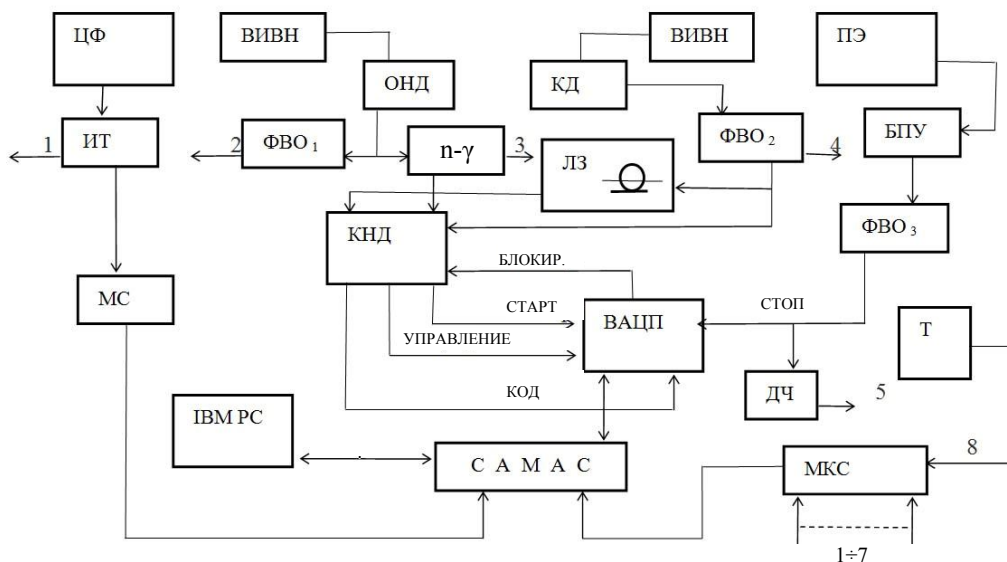


Рис. 3. Структура системы накопления и обработки данных (СНОД).

БПУ — быстрый предусилитель; ВАЦП — временной аналого-цифровой преобразователь; ВИВН — высокостабильный источник высокого напряжения; ДЧ — делитель частоты; ИТ — интегратор тока; КД — контрольный детектор; КНД — кодировщик номера детектора; ЛЗ — линия задержки; МКС — многоканальный счетчик; МС — мониторный счетчик; ОНД — основной нейтронный детектор; ПЭ — пикап-электрод; Т — таймер; ФВО — формирователь временной отметки; ЦФ — цилиндр Фарадея; САМАС — система накопления и хранения данных; ИВМ РС — персональный компьютер; $n-\gamma$ — схема (n, γ) разделения; 1, 2, 3, 4, 5 — выходные сигналы в уровнях ТТЛ (подаются на МКС)

фиксируются схемой МКС. Спектр, регистрируемый контрольным детектором в виде гамма пика и его параметров (разрешение, положение, форма и т. д.), служит критерием эффективной работы ускорителя и спектрометра в целом.

Заряд, приносимый пучком протонов ускорителя на дно цилиндра Фарадея, измеряется интегратором тока (ИТ). Его сигналы, фиксируемые мониторным счетчиком (МС), служат основным монитором в СНОД. Задавая параметры измерений, устройство МС устанавливает общую продолжительность регистрации, включая длительность цикла измерений и их число для каждого из направлений вылета нейтронов. Шестипозиционный мишенедержатель позволял без остановки ускорителя провести измерения сразу на пяти образцах. Более того зафиксировать фоновую составляющую, поскольку одну из его позиций просто оставляют без образца, т. е. свободной.

Полное временное разрешение в разных циклах измерений изменялось от 0.5 до 0.8 нс/м. Диапазон изменения углов регистрации составлял от 15 до 145°, пролетная база — 259 см. Измерения велись на двух перезарядных электростатических ускорителях: ЭПП-10М и ЭПП-15. На первом измерения

осуществлялись при энергии протонов 6.94, 8.11, 8.73, 9.165 и 9.59 МэВ, а на втором 10.24, 10.77 и 11.20 МэВ. Кроме того, на последнем ускорителе проведены измерения с энергиями протонов, близкими к первому ускорителю, а именно 8.11, 8.79, 9.18 МэВ. Полученные спектры нейтронов, рассеянные на образцах из ^{116}Sn , при энергии $E_p = 8.11$ МэВ на этих ускорителях с образцами разной толщины дали достаточно хорошее согласие данных в обоих измерениях, которые были выполнены с разницей времени проведения почти в десять месяцев [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлена и обсуждается методика многодетекторных измерений в виде варианта временного анализа наносекундного диапазона. Рассмотрена и отмечена ее особенность, которая заключается в одновременном использовании двух сигналов с каждого из детекторов, а именно основного и контрольного. В обоих случаях один из них является сигналом временной отметки, а другой связан с видом излучения. Обсуждается

структура электронных средств, которая использовалась в решении широкого круга задач времяпролетной спектрометрии быстрых нейтронов [5–8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьминов Б.Д. Роль комплекса ускорителей ГНЦ РФ ФЭИ в обеспечении ядерных технологий ядерными данными // Сб. труд. XIII Междунар. конф. по электростат. ускор. Обнинск: ГНЦ РФ ФЭИ, 2000. С. 5–12.
2. Физика быстрых нейтронов / Под ред. В.И. Стрижака. М.: Атомиздат, 1977. 288 с.
3. Миронов А.Н., Нестеренко В.С. Устройства для многодетекторного и многомерного анализа. Препринт ФЭИ-945. Обнинск, 1979. 14 с.
4. Коростик К.Н. Метод приоритетной временной дискриминации в физическом эксперименте (Обзор) // ПТЭ. 1995. № 3. С. 7–24.
5. Лычагин А.А., Журавлев Б.В., Деменков В.Г. и др. Дифференциальные сечения реакций (р, n) на изотопах Sn, Pb и Bi // Науч. тех. сборн. "Вопросы атомной науки и техники". Серия "Ядерные константы". 2004. Вып. 1. С. 3–30.
6. Журавлев Б.В., Лычагин А.А., Титаренко Н.Н. и др. Плотности ядерных уровней ^{208}Bi и ^{209}Po из нейтронных спектров в (р,п)-реакции на ядрах ^{208}Pb и ^{209}Bi // Ядерная физика. 2010. Т. 73, № 7. С. 1150–1154.

7. Журавлев Б.В., Лычагин А.А., Титаренко Н.Н. и др. Плотности ядерных уровней ^{47}V ; ^{48}V ; ^{49}V ; ^{53}Mn ; ^{54}Mn из нейтронных испарительных спектров // Ядерная физика. 2011. Т. 74, № 3. С. 355–360.
8. Журавлев Б.В., Лычагин А.А., Титаренко Н.Н. и др. Статистические свойства возбужденных ядер в массовом диапазоне $47 \leq A \leq 59$ // Ядерная физика. 2012. Т. 75, № 9. С. 1099–1104.

Обнинский институт атомной энергетики, филиал НИЯУ МИФИ (Деменков В.Г.)

ГНЦ РФ Физико-энергетический институт, Обнинск, Калужская область (Журавлев Б.В., Деменков П.В.)

Медицинский радиологический центр РАМН, Обнинск, Калужская область (Лычагин А.А.)

Контакты: Деменков Василий Георгиевич,
dem1@mail.ru

Материал поступил в редакцию: 6.07.2015

A MULTIDETECTOR STRUCTURE OF THE TIME-OF-FLIGHT SPECTROMETRY OF FAST NEUTRONS

V. G. Demenkov¹, B. V. Zhuravlev², P. V. Demenkov², A. A. Lychagin³

¹State Institute of Nuclear Power Engineering of National Nuclear Scientific University "MIFI", RF

²State Scientific Center of Russian Federation "Institute for Physics and Power Engineering, named after A.I. Leyppunskiy", Obninsk, RF

³Medical Radiological Scientific Center, Russian Academy Medical Sciences, Obninsk, RF

A time-of-flight spectrometer of fast neutrons was designed to measure spectra of neutrons generated in (p-n), (d-n) and (α -n) reactions. The version of the multidetector analysis fast neutrons is presented. Its originality consists in single use of two signals. One of them is connected with a temporary mark, and another is identified with a tape of radiation. Problems of the organization of such measurements are discussed. A block diagram of the multiple time analyzer is given. Signals from the pick-up electrode are amplified by a fast preamplifier, are normalized by time shaper and are used as STOP pulses. A START pulses are get from fast output unit of multidetector time analysis. Specifics of structure of the electronic means applied in obtaining the neutron data realized in all variety of the directions of nuclear physics are considered. The block and schematic diagrams of a multidetector structure of the time-of-flight spectrometer are given and application it are discussed.

Keywords: time-of-flight spectrometry, fast neutrons, multidetector analysis, organization of measurements, structure of setup, neutron date

REFERENCES

1. Kuz'minov B.D. [Role of a complex of FEI GNTs Russian Federation accelerators in ensuring nuclear technologies with nuclear data]. *Sb. trud. XIII Mezhdunar. konf. po elektrostat. uskor.* [Proc. of XIII Int. conferences on electrostatic accelerators], Obninsk, GNZ RF FEI, 2000, pp. 5–12. (In Russ.).
2. Ed. V.I. Strizhak. *Fizika bystrych neytronov* [Physics of fast neutrons]. Moscow, Atomizdat Publ., 1977. 288 p. (In Russ.).
3. Mironov A.N., Nesterenko V.S. *Ustroystva dlya mnogo-detektornogo i mnogomernogo analiza* [Devices for the multidetector and multidimensional analysis]. Preprint FEI-945, Obninsk, 1979. 14 p. (In Russ.).
4. Korostik K.N. [Method of priority temporary discrimination in physical experiment (Review)]. *PTE* [Devices and technology of experiment], 1995, no. 3, pp. 7–24. (In Russ.).
5. Lychagin A.A., Zhuravlev B.V., Demenkov V.G. et al. [Differential sections of reactions (p, n) on isotopes Sn, Pb, Bi]. *Voprosy atomnoy nauki i tehniki. Seriya "Yadernye konstanty"* [Questions of nuclear science and equipment. Ser. Nuclear Constants], 2004, iss. 1, pp. 3–30. (In Russ.).
6. Zhuravlev B.V., Lychagin A.A., Titarenko N.N. et al. [Density of nuclear levels of ²⁰⁸Bi, ²⁰⁹Po from neutron ranges in (p, n)-reactions on kernels ²⁰⁸Pb and ²⁰⁹Bi]. *Yadernaya fizika* [Nuclear physics], 2010, vol. 73, no. 7, pp. 1150–1154. (In Russ.).
7. Zhuravlev B.V., Lychagin A.A., Titarenko N.N., et al. [Density of nuclear levels ⁴⁷V, ⁴⁸V, ⁴⁹V, ⁵³Mn, ⁵⁴Mn from neutron vaporizing specters]. *Yadernaya fizika* [Nuclear physics], 2011, vol. 74, no. 3, pp. 355–360. (In Russ.).
8. Zhuravlev B.V., Lychagin A.A., Titarenko N.N. et al. [Statistical properties of the excited kernels in the mass range $47 \leq A \leq 59$]. *Yadernaya fizika* [Nuclear physics], 2012, vol. 75, no. 9, pp. 1099–1104. (In Russ.).

Contacts: Demenkov Vasilij Georgievich,
dem1@mail.ru

Article received in edition: 6.07.2015