

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



7034

Эта чит. зала  
10 - 7034

Ц. Вылов, З. Зайдлер, Й. Звольски,  
Е.Т. Кондрат, В.В. Кузнецов, В.А. Морозов,  
М.И. Фоминых, В.И. Фоминых, В.М. Цупко-Ситников

МНОГОМЕРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ  
НА БАЗЕ ЭВМ "МИНСК-2"  
В ЗАДАЧАХ ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

**1973**

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

10 - 7034

Ц. Вылов, З. Зайдлер, Й. Звольски,  
Е.Т. Кондрат, В.В. Кузнецов, В.А. Морозов,  
М.И. Фоминых, В.И. Фоминых, В.М. Цупко-Ситников

**МНОГОМЕРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ  
НА БАЗЕ ЭВМ "МИНСК-2"  
В ЗАДАЧАХ ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

Направлено в Изв. АН СССР

**Научно-техническая  
библиотека  
ОИЯИ**

## 1. В в е д е н и е

Физические эксперименты последних лет в области ядерной спектроскопии характеризуются широким применением полупроводниковых детекторов с высокой разрешающей способностью, многоканальных амплитудно-цифровых преобразователей, развитием методов многопараметрового анализа, дающего более полную информацию об исследуемом объекте.

При необходимости многомерных измерений с числом каналов, значительно превышающим ёмкость оперативной памяти анализаторов или ЭВМ, регистрацию информации ведут в неинтегрирующем режиме (запись кодов всех параметров данного события без сортировки) с использованием внешних устройств ЭВМ — накопителей на магнитных лентах или дисках<sup>1,2,3/</sup>. Этот метод, позволяя решать задачи накопления многомерной информации практически без ограничений по числу каналов, имеет свои недостатки и трудности. Прежде всего — невозможность наблюдения и контроля в процессе эксперимента результатов опыта и значительные затраты времени ЭВМ на сортировку информации.

Однако анализ результатов многомерных измерений показывает, что используется далеко не вся накопленная информация. Наиболее

типичной задачей является исследование ряда отдельных областей многомерного объема. Такой постановке многомерных измерений отвечает, например, система регистрации с возможностью отбора информации по признакам, вырабатываемым системой анализа в процессе накопления данных в так называемых ассоциативных анализаторах /3,4/. Ассоциативным методам в последние годы посвящено много работ, однако в физических исследованиях чисто ассоциативные методы отбора информации не получили широкого применения, так как при формировании признаков отбора статистический характер поступающей информации может приводить к потере слабых эффектов, обнаружение которых и является подчас целью исследований. В таких случаях эффективным методом снятия информации в многомерных измерениях является применение цифровых окон и отбор заключенной в них "полезной" информации /5,6/. Реализация системы многомерного анализа с цифровыми окнами на базе ЭВМ обеспечивает гибкость в задании цифровых окон и соответствующего разбиения памяти для регистрации отбираемой информации. Наличие в системе осциллографа со световым карандашом /7/ позволяет с его помощью устанавливать цифровые окна на предварительно накопленных спектрах.

## 2. Комплекс аппаратуры для проведения многомерных измерений методом цифровых окон

На рис.1 приведена блок-схема трехмерного анализатора спектров  $\gamma - \gamma - T$  совпадений, являющегося дальнейшим развитием двухмерного анализа спектров гамма-гамма-совпадений, описанного ранее /6/. Спектрометрическая аппаратура включает два  $Ge(Li)$ -детектора с предусилителями ПУ<sub>1</sub>, ПУ<sub>2</sub> /8/, два амплитудных тракта А и Б с линейными усилителями ЛУ<sub>1</sub>, ЛУ<sub>2</sub> /9/ и генераторами точной амплитуды ГТА /10/ для стабилизации коэффициента усиления

трактов, временной тракт В, в который входят быстрые усилители БУ<sub>1</sub>, БУ<sub>2</sub> /11,12/, дискриминаторы БД<sub>1</sub>, БД<sub>2</sub> /13/, линия задержки ЛЗ, конвертор время-амплитуда К /14/, дифференциальный дискриминатор ДД с формирователем управляющих импульсов /15/, устанавливающие время совпадений, и три амплитудно-цифровых преобразователя АЦП на 4096 /16/, 512 и 256 /17/ каналов.

С целью увеличения числа каналов в спектрах совпадений Б и В информация может записываться в четыре этапа. При числе каналов для спектров А = 1024, Б = 512 и В = 256 можно за один опыт получить 32 спектра Б и 32 спектра В.

Аппаратура работает следующим образом. Во втором этапе первой половины МОЗУ I (рис.1) накапливаются интегральные спектры совпадений А и Б, формируемые АЦП-4096 и АЦП-512 и системой быстрых совпадений. На предварительно выбранных участках интегрального спектра совпадений А, с которыми предполагается измерение спектров совпадений Б, устанавливаются цифровые окна в количестве, например, 32, являющиеся первой шкалой данного эксперимента. Первая шкала с цифровыми окнами располагается в первом этапе под интегральным спектром совпадений А и определяет в дальнейшем начальные адреса для записи спектров совпадений Б (32 спектра по 512 каналов), которые занимают вторую половину МОЗУ I и первую половину МОЗУ II.

Предварительно установленная под интегральным спектром совпадений Б вторая шкала (с 16 цифровыми окнами для нашего случая) отвечает за формирование двух групп спектров совпадений В. Первая группа, состоящая из 16 спектров В по 256 каналов, содержит информацию о совпадениях интегрального спектра А в пределах первого циф-



и 2,2 кэв, соответственно. Разрешающее время 50 нсек в диапазоне энергий (25 + 300) кэв - (0,060 + 1,5) Мэв.

в). Измерение времен жизни возбужденных состояний ядерных уровней. Двухмерный анализ гамма-гамма-совпадений, режим А-Т, используются сцинтилляционные счетчики с кристаллами  $NaI(Tl)$  /19/.

г). Угловые гамма-гамма-корреляции. Трехмерный анализ, режим А-А-В /20/. Используется  $Ge(Li)$ -детектор объемом 25 см<sup>3</sup> и подвижный сцинтилляционный счетчик с кристаллом  $NaI(Tl)$ .

Все установки многомерного анализа, независимо от их спектральной части и измеряемых параметров, имеют ряд общих особенностей. Эти установки предназначены для систематических длительных исследований, поэтому особое значение приобретает стабильность спектральных трактов, стандартизация режимов измерений, повторяемость результатов через значительные промежутки времени (порядка года). Серьезную проблему по трудоемкости представляет обработка информации, получаемой, например, в гамма-гамма-совпадениях.

Опыт эксплуатации системы в течение четырех лет показал, что высокая эффективность многомерных измерений может быть достигнута лишь при серьезном подходе к методике их организации. В нашем случае наибольшее количество измерений (около 230) проведено в режиме двухмерного анализа гамма-гамма-совпадений (А-А). Ниже на примере этого режима рассматриваются некоторые методические вопросы, разработанные для повышения надежности и эффективности многомерных измерений.

3. Введение типовых режимов измерений и предварительного формирования шкалы с цифровыми окнами. Обновление шкалы.

Если успех однократного измерения спектров совпадений опреде-

ляется разрешением спектральных трактов и стабильностью работы аппаратуры\*, то при проведении большого числа измерений разных изотопов в различных энергетических диапазонах определяющую роль начинают играть такие факторы как повторяемость в результатах идентичных измерений, разделенных большими промежутками времени, обеспеченность калибровочными характеристиками, затраты времени на перестройку режимов и подготовку эксперимента и т.д.

На основе анализа используемых экспериментаторами режимов измерений были введены стандартные режимы для спектральных трактов с хорошо выверенными зависимостями энергий регистрируемых гамма-квантов от номера канала для обоих спектральных трактов и для всех 6 типовых режимов измерений. Возможность повторной установки любого из них с точностью  $\pm 0,05\%$  обеспечивается применением прецизионных гелипотов, встроенных в ГТА. Применение стандартных режимов позволяет планировать эксперимент и заканчивать все подготовительные операции до получения исследуемого радиоактивного препарата, используя метод предварительного формирования шкалы с цифровыми окнами. Для этого перед началом эксперимента выбираются гамма-переходы, с которыми предполагается измерение гамма-гамма-совпадений. По энергиям гамма-переходов определяются начальные номера каналов и ширина соответствующих цифровых окон.

Многомерный анализатор на базе ЭВМ "Минск-2" является сложным аппаратным комплексом, насчитывающим более 20 тысяч полупроводниковых элементов. Результаты анализа характера неисправностей,

\* Температурная стабильность спектральных трактов, составляющая 0,003% /1/°С, обеспечивалась применением устройств стабилизации /11/.

имевших место за последние три года, приведены в таблице I.

Таблица I

Количество измерений за период 1967-1971 г.г. (при средней продолжительности 7 час )	230
Количество измерений, проведенных удовлетворительно	180
Количество неудовлетворительных измерений	50
Из них по причинам:	
1. Слабая активность препарата или сильное загрязнение его посторонними примесями	20
2. Изменение режимов спектрометрических трактов из-за превышения допустимой нормы по активности измеряемых препаратов	5
3. Появление большого числа выбросов в спектрах совпадений	3
4. Искажения в шкале	10 (70) <sup>ж</sup>
5. Невозможна идентификация спектральных линий при данном разрешении спектрометрических трактов	12

<sup>ж</sup> В скобках указано число случаев обновления шкалы в ходе эксперимента после появления выбросов в шкале, что позволяло нормально продолжать и завершать эксперимент.

Если появление большого числа выбросов в спектрах совпадений в трех измерениях из 230 можно отнести к числу случайных или вызванных неправильными действиями экспериментатора при работе с ЭВМ и аппаратурой связи, то появление выбросов в шкале имеет иную природу. В процессе измерений (в среднем 5-10 часов) на экран ОСК по желанию экспериментатора выводится информация из какого-либо участка МОЗУ и, как правило, им является интегральный спектр совпадений с подсветкой выбранных окон. При этом, в МОЗУ периодически с тактовой частотой ЭВМ (30 кгц) опрашиваются одни и те же ячейки. Сущест-

вует вполне определенная вероятность появления сбоя в работе ЭВМ из-за резких изменений напряжений сети. Поскольку интенсивность выполнения операций записи информации о совпадениях и операций опроса части МОЗУ для вывода на ОСК находятся в соотношении 1:100, то, очевидно, более вероятно появление выбросов в тех ячейках МОЗУ, которые опрашиваются при выходе информации на изображение. Статистика показывает, что крайне редки случаи выбросов при работе в ночное время суток, а наибольшая интенсивность их появления относится к периоду 7 + 9 и 16 + 18 часов.

Помимо профилактических мер (раздельного питания ЭВМ и других мощных установок) был предложен и реализован как автоматический, так и полуавтоматический метод обновления шкалы с цифровыми окнами. В первом случае в свободную часть памяти ЭВМ (в МОЗУ или НМЛ) записываются исходные данные шкалы. ЭВМ периодически, через определенное число зарегистрированных событий совпадений (например 65536) по подпрограмме обновления шкалы, независимо от наличия или отсутствия выбросов, обновляет исходные значения шкалы. Этот способ восстановления шкалы используется при работе ЭВМ в режимах совмещения /2I/, когда экспериментатор практически не наблюдает за ходом накопления. Во втором случае исходные данные шкалы хранятся на перфоленте. При появлении выбросов режим накопления прерывается, с перфоленты вводится первоначальное значение шкалы, после чего эксперимент продолжается. Как следует из таблицы I, из 80 случаев искажений в шкале в 70 случаях удалось полностью сохранить информацию о совпадениях, применяя способ обновления шкалы.

Обеспечение требуемой надежности всего комплекса аппаратуры достигается как периодическим проведением профилактического контроля спектрометрических трактов в одномерных стандартных режимах

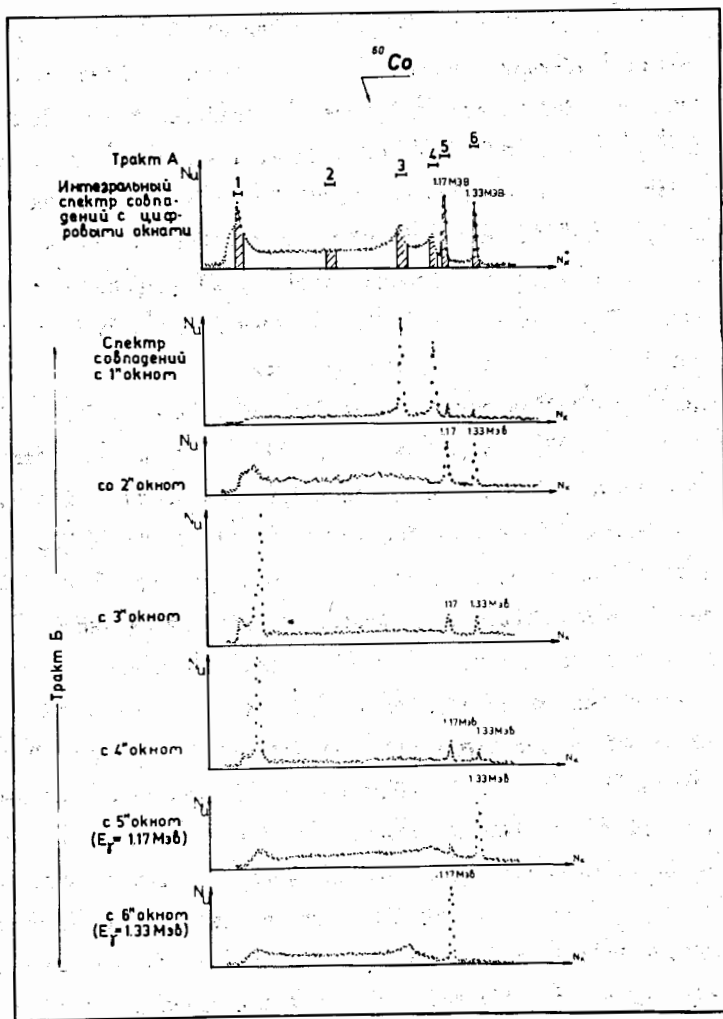


Рис.3 Спектры гамма-гамма-совпадений препарата  $^{60}\text{Co}$ , полученные методом цифровых окон.

с использованием калибровочных источников, так и проверкой правильности функционирования аппаратуры в полном объёме перед началом измерений. В последнем случае в качестве калибровочного изотопа удобно использовать  $^{60}\text{Co}$ . На спектрометрических трактах и АЦП устанавливаются соответствующие стандартные режимы и в течение 15 минут происходит накопление информации о гамма-гамма-совпадениях. После этого производится качественное, а если нужно и количественное, сравнение полученных спектров совпадений со спектрами, приведенными на рис.3.

#### 4. Факторы фона и их учёт при анализе информации о гамма-гамма-совпадениях

Анализ информации о гамма-гамма-совпадениях требует учёта вклада комптоновского рассеяния и эффектов обратного рассеяния, сопровождающих регистрацию гамма-излучения. Заметные пики в спектрах совпадений могут не иметь никакого отношения к исследуемому каскаду, находясь, в свою очередь, в каскаде с интенсивным, более высокоэнергетическим гамма-переходом, на комптоновском распределении которого находится фотопик гамма-перехода исследуемого каскада.

Положение ещё более усугубляется при установке окон на границе комптона или в диапазоне энергий  $180 \pm 250$  кэВ, где наиболее вероятно появление пиков обратного рассеяния. В качестве примера на рис.3 приведены гамма-спектры  $^{60}\text{Co}$ , содержащие всего лишь два гамма-перехода, находящихся в одном каскаде и имеющих энергии 1,17 и 1,33 МэВ, полученные в различных режимах измерений. На первый взгляд пики обратного рассеяния в спектрах совпадений с 3 и 4 цифровыми окнами и пики, соответствующие границам комптоновского рассеяния в спектрах совпадений с 1 цифровым окном, могут быть приняты за ложные гамма-переходы. С целью уменьшения вклада отражён-



ных из одного детектора гамма-квантов на другой радиоактивный препарат устанавливается с некоторым смещением от осевой линии, соединяющей центры детекторов, а пространство между детекторами перекрывается фильтром.

В большинстве случаев весьма эффективным оказалось одновременное измерение как спектра совпадений с исследуемым пиком, так и спектра совпадений с участком комптона в непосредственной близости от пика, в котором накапливалась информация о всех фоновых эффектах. Относительно большой объем памяти для записи спектров совпадений (24 тыс. каналов при 4-этажном разблении машинного слова) позволяет в большинстве случаев удовлетворять потребности экспериментаторов в количестве выбираемых окон несмотря на то, что половина используемой памяти занята информацией о фоновых эффектах.

#### 5. Специфика измерения гамма-гамма-совпадений короткоживущих изотопов

Если в случаях долгоживущих изотопов  $T_{1/2} \geq 4$  часа фактор продолжительности измерений не является определяющим, то совершенно иное положение создается при исследовании короткоживущих изотопов с  $T_{1/2} \approx 20$  мин, когда каждый образец полученного изотопа не представляется целесообразным измерять в течение  $T > 20$  мин.

В первую очередь выдвигаются требования максимального сокращения времени на подготовку аппаратуры к эксперименту, особенно при необходимости изменения режима в процессе измерений. Введение типовых режимов измерений и предварительное формирование шкалы позволило полностью исключить время на подготовку эксперимента, связанное с разметкой (40-60 мин).

Второе обстоятельство, обеспечившее успешные измерения короткоживущих изотопов, состояло в организации периодического обновления радиоактивных препаратов,готавливаемых по конвейерному принципу /22/: облучение мишени - химическое выделение - разделение по массам на масс-сепараторе - измерение гамма-гамма-совпадений в течение  $T \approx T_{1/2}$  и вновь облучение мишени и т.д. Требуемое число измеряемых препаратов в зависимости от их периода полураспада составляло от 4 до 20, при суммарной продолжительности измерений от 3 до 7 часов. Таким образом, были измерены гамма-гамма-совпадения с изотопами:  $^{158}\text{Tm}$  ( $T_{1/2} = 4,3$  мин) /23/,  $^{159}\text{Tm}$  ( $T_{1/2} = 11$  мин) /23/ и другие.

#### 6. Обработка спектров гамма-гамма-совпадений на ЭВМ "Минск-2" с помощью ОСК

Анализ спектров гамма-гамма-совпадений можно разделить на два этапа. Конечной целью первого, подготовительного, этапа является определение интенсивности гамма-переходов, сопровождающих исследуемые каскады. На втором этапе полученные результаты используются для составления, подтверждения или коррекции схемы распада исследуемого изотопа.

Большой объем вычислений, который необходимо провести на первом этапе, отодвигает начало основных исследований на полторы-две недели.

Метод обработки спектров совпадений, описанный в /25/, был положен в основу алгоритма программы полуавтоматической обработки спектров гамма-гамма-совпадений с использованием ОСК и ЭВМ.

Процесс обработки информации о совпадениях сводится к следующему. Интегральный спектр совпадений со шкалой и служебными символами, определяющими начало определенных подпрограмм, выводится на

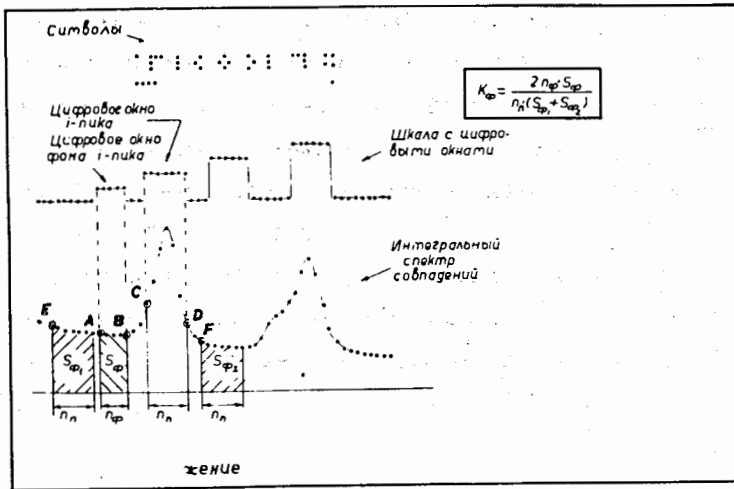


Рис.4а Пояснение процесса обработки при вычислении значения коэффициента фона  $K_{\phi i}$ .

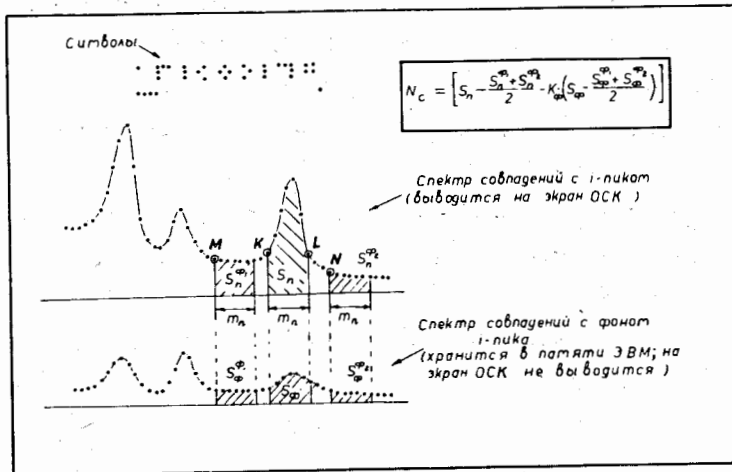


Рис.4б Пояснение процесса обработки вычислений числа событий совпадений  $N_{c ij}$ .

экран ОСК (рис.4а). При пометке на спектре границ фонового участка для  $i$ -пика (точки А,В, рис.4а) и символа (:') ЭВМ вычисляет число каналов в участке фона ( $n_{\phi i}$ ) и площадь фона  $S_{\phi i}$ . Пометкой точек С и Д и символа (:;) вычисляется число каналов пикового окна  $n_{\phi i}$ . Пометкой точек Е и F и символа (:••) определяется усредненное значение фона под  $i$ -пиком, вычисляется значение коэффициента фона ( $K_{\phi}$ ). Обращение к символу (••••) позволяет вызвать с НМД спектр совпадения с  $i$ -пиком, изображение которого выводится на экран ОСК (рис.4 б) и спектр совпадения с соответствующим этому пику фоновым окном. Пометкой границ  $j$ -пика совпадений (точки К, L) и символа (:••) вычисляется площадь  $S_{\phi j}$ -пика в спектре совпадений с  $i$ -пиком и в пределах тех же каналов - площадь в спектре совпадений с фоном для  $j$ -пика -  $S_{\phi j}$ . После пометки точек спектра до и после  $j$ -пика (М и N) и символа (:••) вычисляются площади фона и пика в обоих спектрах совпадений:  $S_{n j}^{\phi}$ ;  $S_{n j}^{\phi}$ ;  $S_{\phi j}^{\phi}$ ;  $S_{\phi j}^{\phi}$  и определяется число совпадений  $N_{c ij}$  и погрешность этой величины.

Средние затраты времени на обработку информации о совпадениях с 12 цифровыми окнами составляет полтора часа вместо полутора-двух недель при ручной обработке /26/.

Литература:

1. А.А.Жариков, Г.П.Жуков, Б.Е.Журавлев, К.Р.Константинов, В.И.Приходько и др. ОИЯИ, БЗ-13-3813, Дубна, 1968
2. А.Н.Синаев, Н.А.Стахин, Н.А.Чистов, ОИЯИ, 13-4835, Дубна, 1969
3. И.Лат, Ф.Тере, Л.Сани, Б.В.Фефилов, Л.П.Челноков ОИЯИ, 10-3632, Дубна, 1967.
4. Р.Г.Офегенден, Ф.Н.Березин, П.В.Лапнизи, А.М.Шур ПТЭ, № 3, 68, 1968.
5. С.С.Куручкин. Многомерные статистические анализаторы. Атомиздат, Москва, 1968.
6. В.С.Александров, Ф.Дуда, О.И.Елизаров, Г.П.Жуков, Г.И.Забиякин, З.Зайдлер, И.Звольски, Е.Т.Кондрат, Э.В.Лысенко, В.И.Приходько, В.Г.Тишин, В.И.Фоминных, М.И.Фоминных, В.М.Цупко-Ситников Изв.АН СССР, сер.физ. т.34, с.с.69-77, 1970.
7. Ф.Дуда, Э.Зайдлер, И.Томяк, В.Р.Трубников, Ю.В.Тутышкин, М.И.Фоминных, В.М.Цупко-Ситников. ОИЯИ, 10-4977, Дубна, 1970.
8. Ц.Вылов, И.Н.Егошин, С.Орманджиев, Б.П.Осипенко, Д.Срнка, Я.Юрковски. ОИЯИ, 13-6440, Дубна, 1970\_
9. T. Lakatos. Atomki Közl., 9, 1-2 (1967).
10. Э.Г.Ямаев, В.И.Приходько, В.Г.Тишин, Б.В.Фефилов ОИЯИ, 10-3331, Дубна, 1967
11. R.L. Chase. Rev. Sci. Instr., 9, 1317 (1968).
12. Ю.К.Акимов, К.Андерт, А.И.Калинин, И.Н.Чурин, В.Н.Шуравин ОИЯИ, P13-5708, Дубна, 1971.
13. М.Дражев, С.Паржицкий, ОИЯИ 13-4604, Дубна, 1970.
14. С.Басиладзе, ОИЯИ, 2683, Дубна, 1965.
15. Ю.Г.Будяшов, В.Г.Зинов, ОИЯИ 13-3093, Дубна, 1966.
16. В.И.Приходько, В.Г.Тишин, ОИЯИ, 2492, Дубна, 1965.
17. В.Г.Тишин, ОИЯИ, 2163, Дубна, 1965.
18. В.А.Владимиров, Ф.Дуда, Э.Зайдлер, В.И.Приходько, В.И.Талов, В.И.Фоминных, М.И.Фоминных, В.М.Цупко-Ситников, ОИЯИ, 10-4630, Дубна, 1969.
19. В.А.Морозов, В.И.Разов, В.И.Фоминных, В.М.Цупко-Ситников ПТЭ, 5, с.83-86, 1971
20. Я.Ваврыдук, В.Жук, Э.Крупа, В.И.Разов, Я.Сажински, М.Суботович, В.И.Фоминных, ОИЯИ, 13-5500, Дубна, 1970.
21. Э.Зайдлер, И.Звольски, Э.В.Лысенко, А.В.Ревенко, Н.Станчева, С.Станчев, В.И.Фоминных, М.И.Фоминных, В.М.Цупко-Ситников, ОИЯИ, 13-5044, Дубна, 1970.
22. Г.Музиоль, В.И.Райко, Х.Тыррофф, ОИЯИ, P6-4487, Дубна, 1969.
23. А.Баланда, Ц.Вылов, К.Я.Громов, Я.Зубер, К.Крумьяс, В.В.Кузнецов, А.В.Потемпа, В.И.Фоминных. В кн. "Совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Москва, 1971". Программа и тезисы докладов XXI совещания. "Изд."Наука", Л.1971, с.135.
24. А.Баланда, К.Я.Громов, К.Зубер, Я.Зубер, К.Крумьяс, В.В.Кузнецов, А.В.Потемпа, В.И.Фоминных. В кн. "Совещание по яд. спектр. и структуре ат. ядра. Москва 1971". Программа и тезисы докладов XXI совещ... "Изд."Наука", Л. 1971, с.134.
25. P. Galan, M. Kuznetsova, M. Finger, J. Jursik. Czechoslovak Journal of Physics. Vol. B19 (1968).
26. Ц.Вылов, И.И.Громова, В.В.Кузнецов, В.Г.Недовесов, В.И.Фоминных, В.В.Хольнов, Г.Е.Шукин. Изв.АН СССР, сер.физ., 1972 т.36, №4, с.718.

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 марта 1973 года.