

8564

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



8564

P6 - 8564

Экз. чит. зала

К.Андерт, Р.Арльт, М.Гонусек, Х.-У.Зиберт,  
А.И.Калинин, С.В.Медведь, Г.Музиоль, Х.-Г.Ортлепп,  
А.Н.Синаев, В.Хабенихт, Х.Штрусный

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС  
ДЛЯ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЯДЕР,  
УДАЛЕННЫХ ОТ ПОЛОСЫ БЕТА-СТАБИЛЬНОСТИ

1975

Р6 - 8564

К.Андерт, Р.Арльт, М.Гонусек, Х.-У.Зиберт,  
А.И.Калинин, С.В.Медведь, Г.Музиоль, Х.-Г.Ортлепп,  
А.Н.Синаев, В.Хабенихт, Х.Штрусный

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС  
ДЛЯ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЯДЕР,  
УДАЛЕННЫХ ОТ ПОЛОСЫ БЕТА-СТАБИЛЬНОСТИ**

**Научно-техническая  
библиотека  
ОИЯИ**

Андерт К. и др.

P6 - 8564

Измерительный комплекс для спектроскопических исследований ядер, удаленных от полосы бета-стабильности

Описываются принципы устройства и характеристики ряда спектрометров, предназначенных для измерения  $\gamma$ -,  $\beta$ - и  $e^-$ -излучений, которые возникают при распаде короткоживущих изотопов, получаемых с помощью синхроциклотрона. Для регистрации излучений используются полупроводниковые и сцинтилляционные детекторы, а измерение спектров производится как в одномерном, так и в многомерных режимах. Разработанная система программ позволяет проводить экспрессную предварительную обработку информации и оптимизацию эксперимента в режиме непосредственной связи экспериментальных установок с малой ЭВМ.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований  
Дубна 1975

Andert K. et al.

P6 - 8564

A Measurement System for Spectroscopic Investigations of Nuclei Far from the  $\beta$ -Stability Line

The construction principles and characteristics are given for a number of spectrometers intended for measurements of  $\gamma$ -,  $\beta$ - and  $e^-$ -radiation arising at the decay of short-lived isotopes produced using the synchrocyclotron. Semiconductor and scintillation detectors are used to detect the radiation. The spectra are measured both in one dimensional and in multidimensional modes. The developed system of programs allows the rapid preliminary data processing and the optimization of the experimental setup on-line with a small computer.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research  
Dubna 1975

## 1. Введение

Изучение структуры атомного ядра идет по двум направлениям: первое - все более детальное исследование характеристик основных и возбужденных состояний ядер вблизи полосы бета-стабильности; второе - исследование свойств ядер, находящихся далеко от полосы бета-стабильности и в области сверхтяжелых элементов.

На установке ЯСНАПП-1<sup>/1/</sup>, работающей на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ с энергией протонов выведенного пучка 660 МэВ, ведутся исследования, посвященные изучению свойств ядер, удаленных от полосы бета-стабильности. Для получения из облученных мишеней высокоактивных препаратов короткоживущих изотопов, образующихся в реакции глубокого расщепления, были разработаны специальные экспрессные методы отделения микроколичества продуктов реакций от макроколичества вещества мишени, методы разделения химически различающихся продуктов реакций<sup>/2/</sup> и методы их масс-сепарации<sup>/3/</sup>.

В настоящей работе описывается комплекс аппаратуры для проведения прецизионных измерений излучений ядер, удаленных от полосы бета-стабильности, и для обработки экспериментальных данных при помощи ЭВМ. Описываемый комплекс создан на основе центра накопления и обработки информации Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ<sup>/4/</sup> и является усовершенствованным вариантом установки, описанной в<sup>/5/</sup>.

В табл. 1 перечислены виды и основные свойства излучений, подвергающихся спектрометрированию, а также измеряемые и вычисляемые величины.

Таблица I

№ пп	Вид излучения	Диапазон энергий	Измеряемые величины	Вычисляемые величины
1.	Гамма-излучение	20 + 3500 кэВ	$E_{\gamma}$ ; $I_{\gamma}$ ; $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений $I_{\chi} = f(t)$ Время жизни уровней	Энергия уровней Баланс интенсивностей Схема уровней Период полураспада Факторы ускорения или запрета переходов
2.	Рентгеновское излучение	10 + 100 кэВ	$E_{KX}$ $I_{KX}$ $I_{KX} = f(t)$	Заряд ядра Отношение $\epsilon/\beta^+$
3.	Электронная внутренняя конверсия	50 + 1500 кэВ	$E_e^-$ ; $I_{e^-}$ $\alpha_K$ ; $\alpha_L$ ; $\alpha_M$ $I_{e^-} = f(t)$	Мультипольность гамма-переходов
4.	Бета-излучение	500 + 5000 кэВ	$E_{\beta^+}$ ; $I_{\beta^+}$ $\beta^+$ - $\chi$ -совпадений $I_{\beta^+} = f(t)$	Разность масс ядер

Исследуемые радиоактивные препараты имеют активность от 10 до 100 микроюри и период полураспада от 1 мин до нескольких дней. В экспериментах измерялось до 10 препаратов в час.

Спектрометрия излучения ядер, находящихся далеко от полосы бета-стабильности, имеет ряд особенностей. К ним относятся, в первую очередь, относительно малое сечение образования этих ядер и большая энергия распада. Последнее приводит к малым значениям периода полураспада и к возможности заселения высокоэнергетических состояний, расположенных в области большой плотности уровней. Вследствие этих особенностей необходимо выполнение ряда требований к комплексу аппаратуры, в том числе:

- применение полупроводниковых детекторов, обладающих высокой эффективностью регистрации и большим значением разрешающей способности как по энергии, так и по времени;
- комбинация полупроводниковых и сцинтилляционных детекторов для измерения совпадений с большой эффективностью;
- высокая стабильность электронной аппаратуры как во времени, так и при сильно меняющейся нагрузке каналов вследствие малого периода полураспада исследуемых ядер;
- необходимость накопления большого количества экспериментальных данных путем целого ряда измерений на препаратах одного и того же изотопа, изготавливаемых последовательно во времени;
- возможность проведения многомерных измерений как с предварительным отбором регистрируемой информации, так и без него;
- применение ЭВМ для экспрессной предварительной обработки спектров во время эксперимента с целью его контроля и оптимизации.

## 2. Измерение спектров гамма- и рентгеновского излучений

Прецизионные измерения амплитудных спектров гамма- и рентгеновского излучений являются основным ме-

тодом для идентификации новых радиоактивных изотопов и исследования их основных параметров. Эти измерения дают также возможность для детального изучения схем распада уже известных изотопов. Наиболее подходящими приборами в настоящее время являются спектрометры с Ge(Li) - детекторами, обладающие хорошей разрешающей способностью и высокой эффективностью. Для перекрытия диапазона от мягких рентгеновских лучей до жестких гамма-квантов требуется целый набор детекторов.

Данные о применяемых в настоящее время Ge(Li) - детекторах гамма- и рентгеновского излучения приведены в табл. 2.

Регистрация амплитудных спектров гамма- и рентгеновского излучения с достаточно большой статистической точностью достигается путем последовательного измерения от 5 до 50 препаратов /в зависимости от интенсивности переходов/. Для каждого из этих препаратов может измеряться ряд спектров в определенной временной последовательности. Измеренные спектры от-

дельных препаратов сначала должны храниться отдельно; суммирование спектров можно производить только после их предварительной проверки экспериментатором на чистоту препарата.

Из-за малого значения периода полураспада изотопов загрузка в спектрометрическом тракте будет сильно изменяться в течение короткого времени. Спектры должны регистрироваться не менее чем в 4000 каналах.

Калибровка спектров по энергии и интенсивности проводилась в энергетическом диапазоне от 25 до 3500 кэВ с помощью набора абсолютно калиброванных источников, содержащих изотопы  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{152}\text{E}$ ,  $^{182}\text{Ta}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ .

Подгонка функции эффективности  $\epsilon = f(E)$  проводилась на ЭВМ БЭСМ-6 по формуле

$$\epsilon(E) = A_1 E^{-A_2} - A_3 e^{-A_4 E} - A_5 e^{-A_6 E},$$

содержащей параметры  $A_1 \div A_6$ . Полученная точность функции эффективности, например для Ge(Li) - детектора с объемом  $41 \text{ см}^3$ , составляет  $2 \div 3\%$  в диапазоне  $200 \div 2000 / \text{кэВ}$ .

### 3. Измерение спектров конверсионных электронов

Измерение свойств конверсионных электронов является важным методом для определения мультипольностей  $\gamma$ -переходов между уровнями ядер, что позволяет установить спин и четность уровней. Определение этих квантовых характеристик для короткоживущих изотопов наиболее эффективно проводится в настоящее время с помощью кремниевых детекторов. В экспериментах использовались Si(Li) - детекторы с рабочей площадью от 0,5 до  $1,5 \text{ см}^2$  и толщиной чувствительного слоя от 1,5 до  $3,3 \text{ мм}^{1/6}$ . Вывод исследуемого радиоактивного препарата из коллекторной камеры масс-сепаратора производится или с помощью движущейся ленты /7/, или через специальный шлюз. Детектор и полевой транзистор охлаждаются

Таблица 2

Тип детектора	Объем	Энергетическое разрешение спектрометра
1. Коаксиальный с одним открытым концом	$38,5 \text{ см}^3$	3 кэВ при 1,33 МэВ
2. Коаксиальный с двумя открытыми концами	$27 \text{ см}^3$	3 кэВ при 1,33 МэВ
3. Коаксиальный с двумя открытыми концами	$41 \text{ см}^3$	2,5 кэВ при 1,33 МэВ
4. Коаксиальный с двумя открытыми концами	$47 \text{ см}^3$	2,8 кэВ при 1,33 МэВ
5. Планарный	$300\text{мм}^2 \times 10 \text{ мм}$	850 эВ при 122 кэВ

до температуры жидкого азота. Калибровка детектора по энергии и эффективности выполняется с помощью источников  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{160}\text{Er}$  и  $^{207}\text{Bi}$ .

Определение коэффициентов внутренней конверсии производится посредством одновременного измерения независимых амплитудных спектров гамма-излучения с помощью  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора и конверсионных электронов - с помощью  $\text{Si}(\text{Li})$ -детектора. Привязка достигается по переходу с известной мультипольностью, например  $\text{M1}$ -переходу ядра  $^{139}\text{Ce}$  с энергией  $165,8 \text{ кэВ}^{/8/}$ . Мертвое время учитывается с помощью генераторных импульсов, регистрируемых одновременно в обоих каналах. Имеется также возможность измерения различных совпадений. При обработке результатов необходимо учитывать влияние телесного угла на отношение интенсивностей конверсионных линий  $\text{K/LMN}$ , которое может заметно искажаться за счет совпадений между  $\text{K}$ -электронами и  $\text{K}$ -рентгеновскими лучами  $^{/9/}$ . Применение спектрометра ограничено в случае очень интенсивных  $\beta$ -переходов из-за большого  $\beta$ -фона, а в диапазоне энергий  $\leq 50 \text{ кэВ}$  также из-за большого  $\gamma$ -фона. На данном спектрометре были изучены спектры конверсионных электронов ряда изотопов  $^{/10/}$ . На рис. 1 изображен спектр электронов внутренней конверсии изомеров  $^{153}\text{Ho}$  /  $T_{1/2} = 9,3 \text{ мин}$  и  $T_{1/2} = 2,0 \text{ мин}$ .

#### 4. Измерение спектров гамма-гамма-совпадений

Для изучения схемы уровней ядра, заселяемых при бета-распаде, необходимо знание имеющихся в каскаде переходов. Они определяются с помощью измерения амплитудных спектров гамма-гамма-совпадений. Из-за сложности гамма-спектра, который может содержать до 100 линий, и большого энергетического диапазона - от  $20 \text{ кэВ}$  до  $3 \text{ МэВ}$  - следует применять  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторы большого объема, обладающие высокой разрешающей способностью.

Важным вопросом является уменьшение статистической погрешности в пиках совпадений. Эта проблема возникает в связи с тем, что эффективность регистрации

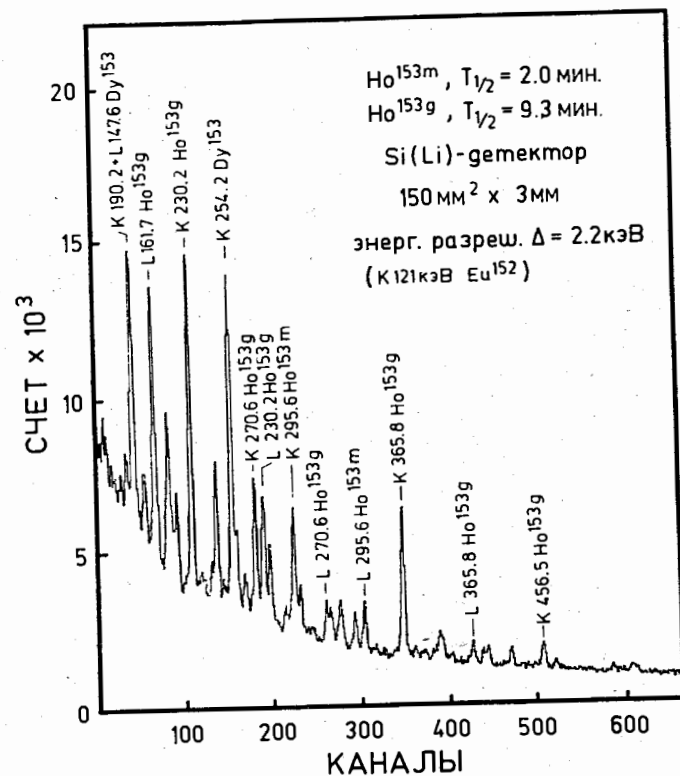


Рис. 1. Спектр электронов внутренней конверсии короткоживущих изомеров  $^{153}\text{Ho}$  / энергетическое разрешение  $\Delta = 2,2 \text{ кэВ}$  на  $\text{K}$ -линии  $121 \text{ кэВ } ^{152}\text{Eu}$  /.

спектров совпадений на несколько порядков меньше, чем одиночных спектров. Кроме того, короткоживущие нейтрондефицитные изотопы являются обычно интенсивными  $\beta^+$ -излучателями, и, чтобы уменьшить фон от совпадений аннигиляционных квантов с энергией  $511 \text{ кэВ}$ , детекторы приходится устанавливать под углом  $90^\circ$  друг к другу; а это ведет к дальнейшему уменьшению эффективности регистрации примерно на порядок. Нужно учитывать также, что время измерения короткоживущих изотопов ограничено. Поэтому следует применять высокоактивные препараты и регистрировать всю матрицу совпадений одновременно. Чтобы уменьшить число случайных совпа-

дений при высокой скорости счета, необходимо иметь малое разрешающее время регистрации совпадений. Предельная скорость счета ограничивается загрузочной способностью спектрометрических трактов.

Созданный спектрометр регистрирует двухмерные амплитудные спектры 4096 x 4096 каналов. Объем Ge(Li) - детекторов составляет 41 см<sup>3</sup> и 27 см<sup>3</sup>; их энергетическое разрешение указано в табл.2. Использование быстрого временного тракта позволяет работать с разрешающим временем 50 нс во всем энергетическом диапазоне. Вся регистрируемая информация записывается на магнитную ленту ЭВМ. Обработка ведется после эксперимента путем выбора участков в одном спектре или по методу суммарных энергий /11/.

### 5. Определение разности масс ядер

Наилучшим методом определения разности масс бета-активных ядер является измерение спектров бета-частиц в совпадении с гамма-переходами, разряжающими состояния дочернего изобара, схема уровней которого должна быть изучена в низкоэнергетической области. Нецелесообразным из-за сложности необходимой аппаратуры является одновременное применение сцинтилляционных и полупроводниковых детекторов в режиме взаимно корректирующих счетчиков, которые исправляют во время измерения искажения бета-спектров, вызванные апертурными эффектами, обратным рассеянием и т.д. /12,13/. Поэтому в настоящей работе применялся Q-метр, не обладающий указанными недостатками. При его построении использовалась следующая методика:

- применение толстослойного Si(Li) - детектора, позволяющего измерять энергии высокоэнергетических β-частиц без взаимно корректирующих счетчиков;
- измерение β-γ - совпадений;
- исправление искажений β-спектров после их измерения с помощью ЭВМ.

Для регистрации β-частиц применяется Si(Li) - детектор с толщиной чувствительного слоя 15 мм и пло-

щадью 100 мм<sup>2</sup>, работающий в вакуумной системе при температуре жидкого азота. Для регистрации γ-квантов в совпадении с β-частицами применяются NaJ(Tl) - детекторы размером /φ 4 x 4/ см<sup>3</sup> и /φ 8 x 8/ см<sup>3</sup> с энергетическим разрешением 9% и 10,5% при энергии 662 кэВ соответственно. Используются электронные схемы, которые не отличаются от применяемых для измерения спектров γγ-совпадений. Ширина окна во временном тракте выбирается равной 50 нс при полуширине кривой совпадений 15 нс. Полученные β-спектры обрабатываются на ЭВМ HP-2116С с помощью системы программ "БЕТА"/14/ по методу графика Ферми-Кюри для того, чтобы определить граничную энергию β-спектра. Для коррекции искажений графика Ферми-Кюри в предположении, что главным искажающим эффектом является обратное рассеяние β-частиц, применяется метод, который основан на сравнении измеряемого спектра со стандартным спектром β-частиц однокомпонентного β-перехода с известной граничной энергией /15/. В каждом случае измеряемый спектр M(W) /где M(W) - число событий при энергии W/ и истинный спектр N(W) различаются фактором a(W). Граничная энергия W<sub>0</sub> находится из выражения

$$W_0 - W = (W_{0\text{CT}} - W) \sqrt{\frac{N(W) F_{\text{CT}}(W, Z) k_{\text{CT}}(W)}{N_{\text{CT}}(W) F(W, Z) k(W)}}$$

где k(W) - формфактор β-распада, F(W, Z) - функция Ферми, а индекс СТ указывает на стандартный β-переход. Подгонка к графику Ферми-Кюри производится в области энергий, где выполняется условие a(W) / a<sub>СТ</sub>(W) = const при k(W) = const. Метод применим как при W<sub>0 СТ</sub> > W<sub>0</sub>, так и при W<sub>0 СТ</sub> < W<sub>0</sub>. В последнем случае анализируется не весь спектр, а только участок, где W < W<sub>0 СТ</sub>. На рис. 2 приведены два графика Ферми-Кюри: для распада <sup>140</sup>P<sub>r</sub> → <sup>140</sup>Ce /W<sub>0</sub> = (2366 ± 6) кэВ /16/ и распада <sup>138</sup>P<sub>r</sub> → <sup>138</sup>Ce /W<sub>0</sub> = (3415 ± 10) кэВ /17/. В качестве стандартного спектра применялся спектр <sup>140</sup>P<sub>r</sub> - для коррекции искажений графика Ферми-Кюри распада <sup>138</sup>P<sub>r</sub> (W<sub>0 СТ</sub> < W<sub>0</sub>) и <sup>138</sup>P<sub>r</sub> - для коррекции искажений графика Ферми-Кюри распада <sup>140</sup>P<sub>r</sub> (W<sub>0 СТ</sub> > W<sub>0</sub>).

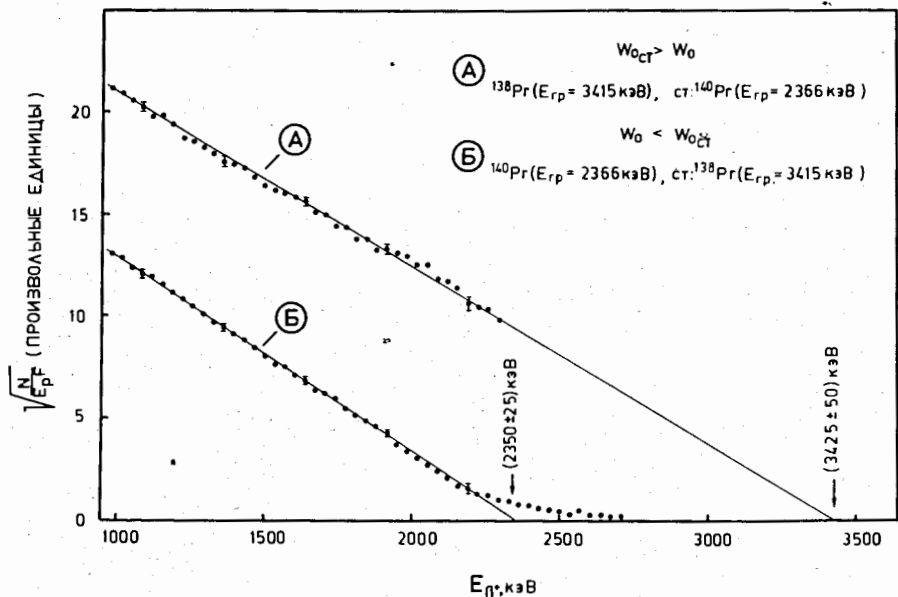


Рис. 2. Графики Ферми-Кюри для бета-спектров, образующихся при распаде изотопов  $^{138}\text{Pr}$  и  $^{140}\text{Pr}$ , с соответствующей коррекцией искажений.

Калибровка  $Q$ -метра по энергии встречается ряд трудностей, связанных с высоким значением граничной энергии  $\beta$ -спектров короткоживущих изотопов и отсутствием калибровочных источников конверсионных электронов в области энергий больше 2 МэВ. Поэтому для энергий меньше 2 МэВ используется источник конверсионных электронов  $^{207}\text{Bi}$ , для энергий выше 2 МэВ -  $\beta$ -источники  $^{140}\text{Pr}$ ,  $^{138}\text{Pr}$ ,  $^{144}\text{Ce}$  и  $^{106}\text{Rh}$ , граничная энергия которых известна. Линейность  $Q$ -метра измерялась, таким образом, до 3,5 МэВ.  $Q$ -метр был применен для определения энергий распада короткоживущих изотопов  $\text{Tm}$  и  $\text{Yb}$  /18, 19/. Полученные значения хорошо согласуются с расчетными данными Валстра и Гове /20/.

## 6. Измерение времени жизни возбужденных состояний ядер

Важную информацию о природе возбужденных состояний /уровней/ ядер дают факторы ускорения или запрета гамма-переходов. Для определения этих факторов необходимо знание времени жизни уровней.

Разработанная установка позволяет определять время жизни уровней ядер в диапазоне от 1 нс до 10 мкс. Принцип измерения основан на использовании методики задержанных  $\beta\gamma$ -,  $\gamma\gamma$ -,  $\beta e^-$ - и  $\gamma e^-$ -совпадений. Но для короткоживущих изотопов эта методика имеет две особенности. Во-первых, из-за малого эффекта исключается одноканальный режим измерения совпадений. Во-вторых, спектры гамма-излучения и конверсионных электронов обычно весьма сложны, а схемы распада мало изучены. Поэтому желательно выбирать переходы, заселяющие и разряжающие исследуемые состояния, что требует применения двух- или трехмерного анализа, т.е. совмещения анализа по времени с анализом по энергии одной или обеих частиц.

Можно, например, набирать энергетические спектры совпадений для одного из параметров при различных интервалах времени или временные спектры для разных комбинаций обоих энергетических параметров. Система должна обеспечить хорошее разрешение как по амплитуде /энергии/, так и по времени, в том числе и для низкоэнергетических переходов.

В измерениях применяются детекторы следующих типов:

- $\text{Ge}(\text{Li})$  -детекторы, обладающие способностью производить четкий энергетический выбор переходов;
- пластические сцинтилляторы, имеющие высокое временное разрешение и возможность имплантации источника для регистрации низкоэнергетических электронов конверсии /21/;
- $\text{NaJ}(\text{Tl})$  -сцинтилляторы - в тех случаях, когда необходима высокая эффективность регистрации гамма-квантов и менее важно высокое энергетическое разрешение.



Таблица 3

Детектор	Энергетический диапазон	Полуширина временного пика	Ширина при I/10 максимума
Ge(Li) 27 см <sup>3</sup>	100 кэВ- 1 МэВ	3,6 нс	8 нс
Ge(Li) 27 см <sup>3</sup>	30 кэВ-50 кэВ	18 нс	38 нс
Ge(Li) 27 см <sup>3</sup>	1,325 МэВ- 1,340 МэВ	1,9 нс	4 нс
Ge(Li) $\phi$ 20 x 10 мм <sup>3</sup>	10 кэВ-100 кэВ	8,5 нс	19 нс
NaI(Tl) $\phi$ 40x40+ФЭУ-36	100 кэВ- 1 МэВ	1,8 нс	3 нс
NE 102 $\phi$ 34x20+ФЭУ-36	100 кэВ- 1 МэВ	0,5 нс	1,1 нс

В табл. 3 дано временное разрешение для ряда детекторов. Во всех случаях источником являлся <sup>60</sup>Со, а сигнал пуска поступал от детектора, состоящего из пластического сцинтиллятора и ФЭУ ХР-1021.

### 7. Электронная аппаратура

Электронная аппаратура, применяемая в описанных выше установках, носит в значительной степени универсальный характер. Ниже приводятся ее краткие характеристики.

#### А/ Амплитудный тракт

Амплитудный тракт состоит из предусилителя, основного усилителя и преобразователя амплитуда-код. Для получения высокого энергетического разрешения при большой и быстроизменяющейся нагрузке в амплитудной спектрометрической аппаратуре использованы следующие методы:

1. Выполнение междускадных связей по постоянному току.

2. Введение компенсации полюсов нулями.

3. Применение квазигауссовского формирования в основном усилителе.

4. Стабилизация пьедестала и крутизны преобразования с помощью эталонных импульсов.

Маломощный предусилитель<sup>/22/</sup> имеет собственное разрешение в германиевом эквиваленте  $0,9 \text{ кэВ} + 0,04 \text{ кэВ/нф} \cdot \text{С}$  при  $\tau_{\text{диф}} = \tau_{\text{инт}} = 1 \text{ мкс}$ , определяемое в основном входным полевым транзистором. Стабильность параметров предусилителя обеспечивается высоким коэффициентом усиления с разомкнутой обратной связью /К - 20000/. Максимальная выходная амплитуда  $\pm 10 \text{ В}$ .

Спектрометрический усилитель<sup>/23/</sup> имеет регулируемый коэффициент усиления от 2 до 2000; высокую температурную стабильность коэффициента усиления /не хуже  $5 \cdot 10^{-3} \text{ \%}/^\circ \text{С}$ /; формирование импульсов, эквивалентное однократному RC-дифференцированию и 6-кратному RC-интегрированию; восстановитель нулевой линии на выходе. Максимальная выходная амплитуда составляет  $\pm 12 \text{ В}$ .

Преобразователь амплитуда-код имеет 4096 каналов; частота преобразования равна 20 МГц.

Максимальная скорость счета в амплитудном спектрометрическом тракте при регистрации одномерных спектров может составлять  $10^4 \text{ имп/с}$ . Она ограничивается временем, необходимым для преобразования амплитуды импульса в код и его регистрации в накопительном устройстве. При измерении двухмерных спектров, когда регистрируются только совпадающие события, число которых на два порядка меньше, чем поступающих, ограничения на скорость счета будут накладываться загрузочная способность усилительных блоков. Так, при нагрузке более  $4 \cdot 10^4 \text{ имп/с}$  ухудшается энергетическое разрешение, а также становятся заметными потери из-за наложения импульсов. Зависимость некоторых параметров амплитудного спектрометрического тракта от скорости счета приведена на рис. 3.

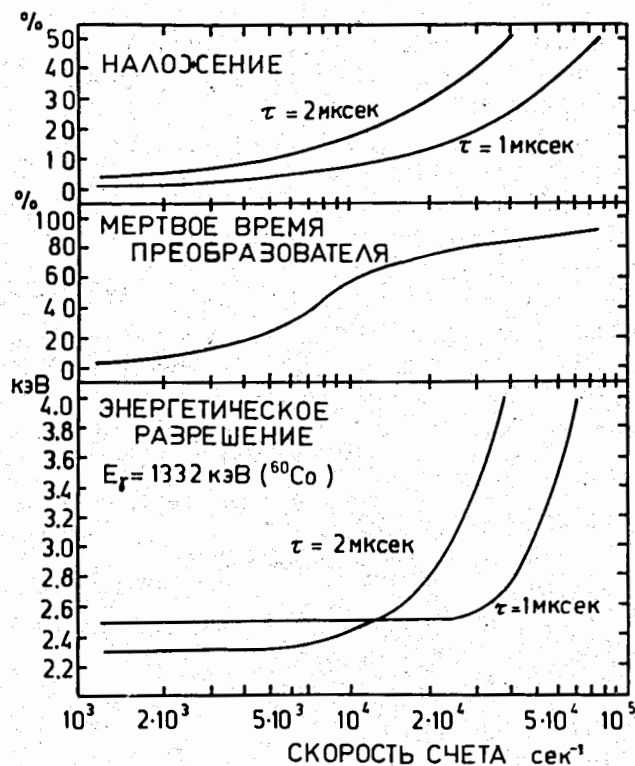


Рис. 3. Зависимость некоторых характеристик амплитудного спектрометрического тракта от скорости счета при использовании  $\text{Ge(Li)}$ -детектора с объемом  $41 \text{ см}^3$ . /  $\tau$  - постоянная времени формирования импульса в усилителе/.

### Б/ Временной тракт

В многомерных измерениях, кроме амплитудной информации, как правило, необходимо получать и временную информацию. Временной тракт состоит из предусилителя, быстрого усилителя, формирователя временной привязки и дискриминатора длительности<sup>/22/</sup>.

Для получения точной временной привязки при работе с  $\text{Ge(Li)}$ -детекторами в широком диапазоне энергий, начиная с  $E_\gamma \approx 20 \text{ кэВ}$ , были использованы следующие методы:

1. Разделение сигнала на два канала: медленный зарядочувствительный для амплитудных измерений и быстрый для временных измерений.

2. Компенсация разбросов по амплитуде и форме импульсов методом следящего порога.

3. Дискриминация импульсов по длительности для отбрасывания коротких шумовых импульсов.

Малозумящий предусилитель имеет дополнительный выход для временных измерений со временем нарастания  $2,5 \text{ нс}$ . Малая длительность импульса на этом выходе /около  $100 \text{ нс}$ / практически устраняет эффект наложения импульсов друг на друга при высокой скорости счета.

Быстрый усилитель имеет коэффициент усиления до 1500 и время нарастания  $3,5 \text{ нс}$ .

Формирователь временной привязки выполнен на интегральных схемах, что позволило получить высокую стабильность и низкий уровень порога срабатывания /около  $10 \text{ мВ}$ /.

Дискриминатор длительности пропускает импульсы, имеющие длительность более величины, определяемой внешней линией задержки /порядка  $100 \text{ нс}$ /.

### В/ Аппаратура для накопления и первичной обработки спектров

Накопление одномерных спектров, занимающих до 4096 каналов, производится в установках АИ-4096, которые входят в состав центра накопления и обработки информации<sup>/4/</sup>. После окончания установленной экспозиции спектры через буферное накопительное устройство могут быть автоматически переданы для хранения и обработки в ЭВМ НР-2116С<sup>/24,25/</sup>. Эта ЭВМ имеет оперативную память  $32\text{К}$  16-разрядных слов, накопители на диске и магнитной ленте и широкий набор устройств ввода-вывода информации. Результаты обработки спектров могут быть представлены на дисплее, выведены на

графопостроитель или отпечатаны на телетайпе. Работа ЭВМ осуществлялась в дисковой операционной системе.

Для накопления двух- и трехмерных спектров использовались два метода: предварительный отбор информации с помощью цифровых дискриминаторов и запись всей поступающей информации на магнитную ленту без сортировки по каналам.

Метод предварительного отбора информации применим в тех случаях, когда перед экспериментом известны участки многомерного массива, содержащие наиболее важную информацию /например, при измерении времени жизни/. Установка с цифровыми дискриминаторами содержит 16 12-разрядных дискриминаторов, с помощью которых выбираются регистрируемые участки спектра. Сортировку по каналам можно производить или в установке АИ-4096 или в ЭВМ НР-2116С.

В первом случае /<sup>26</sup>/ выходной код от установки с цифровыми дискриминаторами должен содержать не более 12 разрядов. Например, при двухмерном анализе можно регистрировать 512-канальные спектры в 8 участках, определяемых вторым параметром. Тогда номер канала передается по 9 младшим разрядам, а номер участка /цифрового окна/ - по трем старшим. Обработка зарегистрированных спектров производится в ЭВМ НР-2116С, как и при одномерном анализе.

В случае сортировки спектров непосредственно в ЭВМ НР-2116С /<sup>27</sup>/ выходной код установки с цифровыми дискриминаторами может содержать до 16 разрядов. Он, помимо номера канала и номера цифрового дискриминатора /или двух дискриминаторов при трехмерном анализе/, может включать также и номер какого-либо внешнего признака. Этот код без сортировки записывается в последовательные ячейки запоминающего устройства АИ-4096, а при его заполнении автоматически передается в ЭВМ НР-2116С. В оперативной памяти ЭВМ производится сортировка принятых кодов по каналам многомерных спектров, которые накапливаются на диске. Для контроля за ходом эксперимента любая часть накапливаемого многомерного спектра может выводиться на дисплей, что осуществляется без прерывания регистрации поступающей информации. В таком режиме можно регистрировать до

16 спектров, занимающих по 4096 каналов каждый. Максимальная скорость регистрации составляет 2400 событий в секунду.

При записи всей поступающей информации на магнитную ленту практически не имеется ограничений на число одновременно регистрируемых спектров. Например, может регистрироваться двухмерный спектр, содержащий 4096 x 4096 каналов. При этом код события состоит из двух машинных слов. Для регистрации кодов в оперативной памяти ЭВМ отводятся два буфера по 1700 слов каждый. После заполнения одного буфера коды начинают поступать во второй, а содержимое первого переписывается на магнитную ленту. В то же время производится накопление на диске интегральных спектров совпадений по каждому параметру. Максимальная скорость регистрации в таком режиме составляет 1200 событий в секунду. Сортировка событий по каналам и отбор участков спектра осуществляется после окончания эксперимента на основе зарегистрированных интегральных спектров совпадений. При одном проходе магнитной ленты отбирается до 80 участков, спектры из которых накапливаются на дисках.

На рис. 4 в качестве примера приведена блок-схема электронной аппаратуры, применяемой для измерения времени жизни возбужденных состояний ядер методом задержанных гамма-гамма-совпадений. Один из гамма-квантов регистрируется  $\text{NaI}(\text{Tl})$  -сцинтилляционным счетчиком, а другой -  $\text{Ge}(\text{Li})$  -детектором. Импульсы от каждого кванта разделяются соответственно в ФЭУ и предусилителе ПУ на два тракта - амплитудный и временной. В амплитудных трактах импульсы поступают на спектрометрические усилители СУ. Во временных трактах они проходят через быстрый усилитель БУ, формирователь Ф и дискриминатор длительности ДД. К соответствующим блокам подключены линии задержки ЛЗ. Время-амплитудный конвертор ТА запускается импульсом, поступающим от сцинтилляционного счетчика, и останавливается импульсом, поступающим от  $\text{Ge}(\text{Li})$  -детектора. На выходе конвертора появляется управляющий сигнал, если интервал времени между входящими импульсами не превышает установленного в нем диапазона.

БЛОК-СХЕМА УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ  
ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ

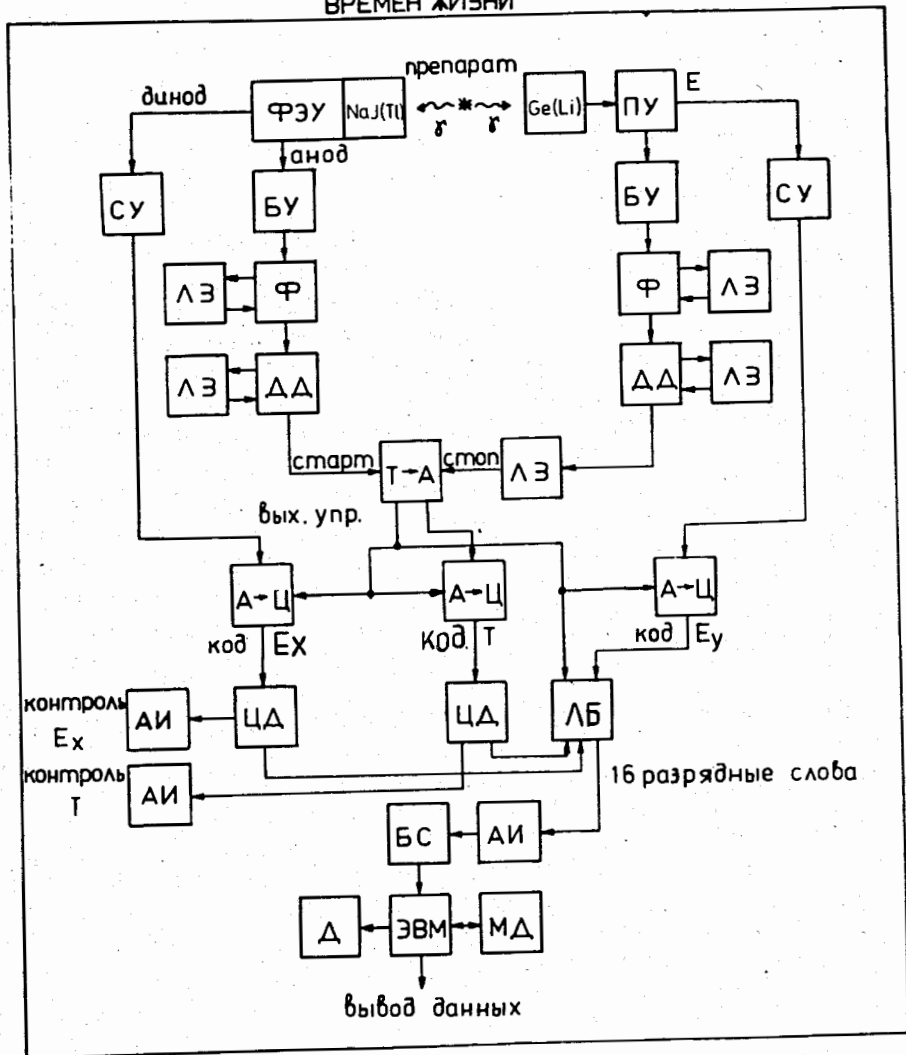


Рис. 4. Блок-схема электронной аппаратуры, применяемой для измерения времени жизни возбужденных состояний ядер методом задержанных  $\gamma\gamma$ -совпадений.

При наличии управляющего сигнала с помощью амплитудно-цифровых преобразователей АЦ измеряются амплитуды импульсов, приходящих от спектрометрических усилителей и время-амплитудного конвертора. Цифровые дискриминаторы ЦД производят предварительный отбор информации, поступающей с амплитудно-цифровых преобразователей, связанных со сцинтилляционным счетчиком и время-амплитудным конвертором. Для каждого из этих преобразователей отводится группа из 8 дискриминаторов. Сигнал, появляющийся на выходе каждой группы дискриминаторов, означает, что поступивший код находится в одном из заранее установленных участков спектра. При наличии таких сигналов с обеих групп дискриминаторов в логическом блоке ЛБ формируется 16-разрядное слово, в котором 12 разрядов отводится для кодов, поступающих от амплитудно-цифрового преобразователя, связанного с  $\text{Ge(Li)}$ -детектором, и 4 разряда - для выбранных комбинаций цифровых дискриминаторов обеих групп. Эти коды записываются в накопительное устройство АИ, играющее роль буфера, и затем через блок связи БС передаются в ЭВМ НР-2116С. В ЭВМ производится сортировка спектров по каналам и их запись на диски МД. Любой участок спектра может быть выведен на дисплей Д.

Спектры, которые измеряются амплитудно-цифровыми преобразователями, связанными с цифровыми дискриминаторами, можно наблюдать с помощью двух контрольных анализаторов АИ.

#### 8. Система программ для предварительной обработки информации

Оптимальным вариантом обработки информации в настоящее время является проведение ее в два этапа.

Первый этап - подготовка эксперимента и предварительная обработка; на этом этапе целесообразно предоставить экспериментатору возможность быстрой наладки измерительной аппаратуры и контроля всей информации, получаемой непосредственно в процессе эксперимента, с целью его оптимизации.

Второй этап - окончательная обработка спектров, которая позволяет получать наиболее точные значения основных величин, необходимых для физической интерпретации результатов /14/.

С помощью разработанной системы программ ЭПОС достигается автоматизация предварительной обработки гамма-спектров, полученных при использовании описанного комплекса аппаратуры. Система содержит ряд быстродействующих программ, позволяющих определить разрешающую способность детектора, оценить положение, энергию и высоту пиков, вывести энергетические спектры на графопостроитель, провести подгонку изолированных и слабонакрываемых пиков с помощью статистической методики /28/.

Большое внимание при разработке системы программ было уделено вопросам обеспечения диалога между экспериментатором и ЭВМ с помощью дисплея. Система ЭПОС по сравнению с другими существующими программами позволяет увеличить скорость обработки спектров на порядок и не требует большого объема памяти ЭВМ. Поэтому ее применение особенно эффективно на малых ЭВМ, имеющих объем оперативной памяти 16К 16-разрядных слов /29/.

Схема организации работы системы программ ЭПОС приведена на рис. 5. В состав системы входят следующие программы:

MONIR, осуществляющая организацию обмена данными между всеми внешними накопителями и всеми устройствами ввода-вывода. Программа предназначена для конкретного оборудования центра накопления и обработки информации. Время работы - 5 с;

EPOS1, состоящая из нескольких частей, которые имеют следующий порядок и назначение:

- а/ идентификация и определение положений пиков;
- б/ нахождение средней полуширины пиков и разделение спектра на интервалы;
- в/ определение фоновой кривой и вычисление высоты пиков;
- г/ автоматическая установка соответствия между калибровочными энергиями и пиками в спектре; опреде-

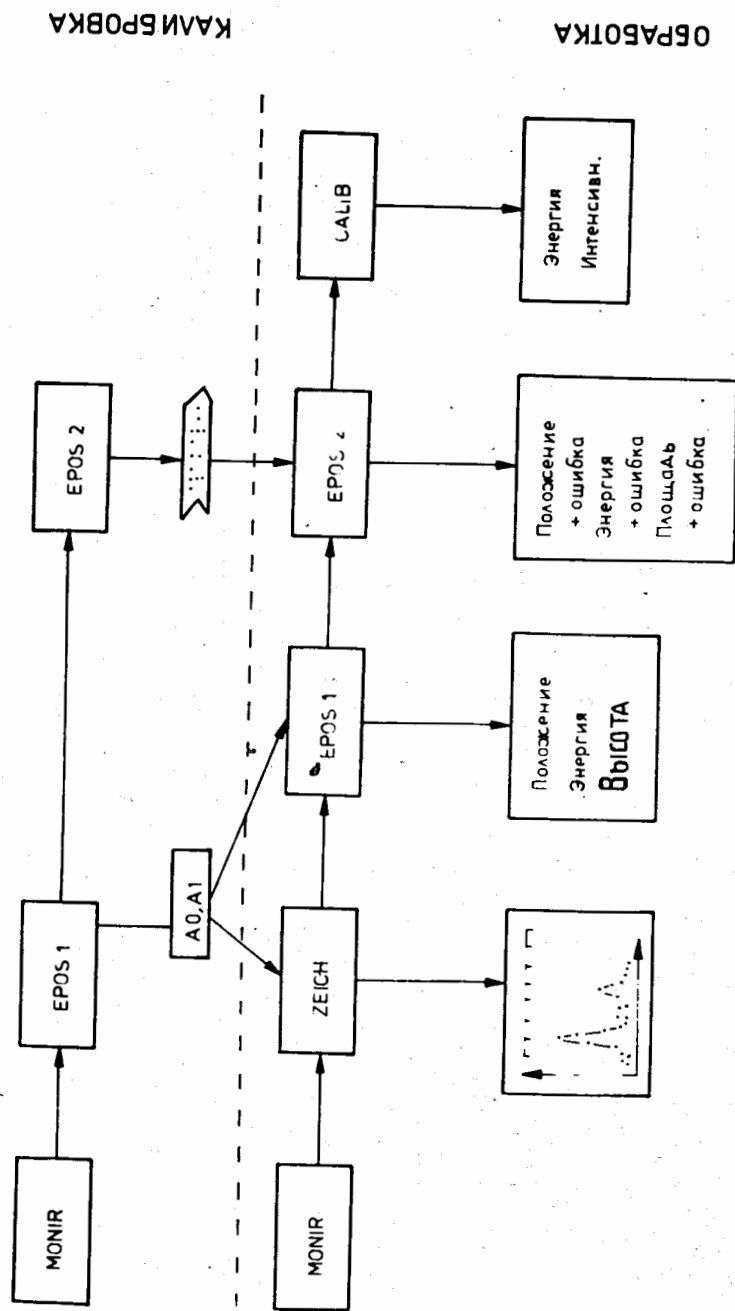


Рис. 5. Блок-схема системы программ ЭПОС для быстрой предварительной обработки спектров.

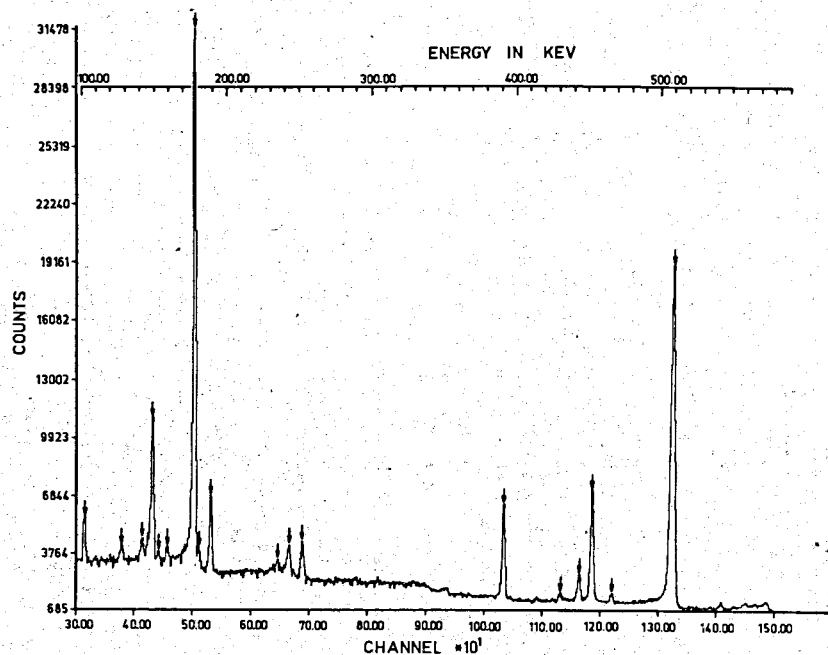


Рис. 6. Гамма-спектр изотопа  $^{77}\text{Rb}$ , обработанный с помощью программы EPOS1 и выведенный на графопостроитель.

ление параметров энергетической калибровки  $A_0$ ,  $A_1$ ; д/ выдача результатов.

EPOS2, являющаяся вариантом программы обработки гамма-спектров, который позволяет провести подгонку изолированных и слабоперекрывающихся пиков, найденных EPOS1. Время работы - около 10 мин для 20-30 пиков в спектре.

CALIB - производящая определение энергий пиков по методу интерполяции третьей степени между калибровочными линиями, а также интенсивности линий с учетом калибровки по эффективности детектора. Время работы - 2,5 мин.

ZEICH, осуществляющая вывод спектра с энергетической шкалой на графопостроитель. Время работы - 1-10 мин.

Для подготовки спектрометров к опыту имеется программа SOBAL, выполняющая определение разрешающей способности спектрометра с использованием светового карандаша для разметки пиков. На рисунке она не показана.

На рис. 6 приведена часть гамма-спектра изотопа  $^{77}\text{Rb}$  /  $T_{1/2} = 3,9$  мин/. Спектр обработан по программе EPOS1 и выведен на графопостроитель. Стрелками отмечены пики, найденные программой. Энергетическая шкала, изображенная на чертеже, также вычислена программой.

#### Литература

1. Г.Музиоль, В.И.Райко, Х.Тыррофф. ОИЯИ, Р6-4487, Дубна, 1969.
2. G.J.Beyer, H.Grosse-Ruyken, V.A.Khalkin, G.Pfrepfer. J.Inorg. Nucl. Chem., 31, p. 2135 (1969).
3. G.J.Beyer, E.Herrmann, A.Piotrowski, V.I.Raiko, H.Tyrroff. Nucl. Instr. and Meth., 96, p. 437 (1971).
4. С.В.Медведь, В.В.Моисеева, А.Н.Синаев, Г.-Ю.Цахер, Н.А.Чистов. ОИЯИ, 10-3836, Дубна, 1968; ПТЭ, № 4, 109 /1970/.
5. Р.Арльт, С.Кадыкова, А.Калинин, В.Моисеева, Г.Музиоль, М.Омельяненко, Ю.Прокофьев, Б.Семенов, А.Синаев, Н.Чистов, Х.Штрусный, Г.Эльснер. ОИЯИ, Р6-3773, Дубна, 1968.
6. Л.П.Бабенко, Б.М.Головин, Ван Чжень-ва, И.И.Иглицин, Б.П.Осипенко, А.И.Сидоров. ОИЯИ, Р6-796, Дубна, 1961.
7. А.Т.Василенко, И.Махунка, З.Матэ, Й.Надь, В.М.Сороко, Н.С.Станчева, С.М.Станчев, В.А.Уткин, Г.Фенеш. ОИЯИ, Р6-5888, Дубна, 1971.
8. J.Legrand, M.Blondel, P.Magnier. Nucl. Instr. and Meth., 112, p. 101 (1973).
9. В.Planskoy. Nucl. Instr. and Meth., 73, p. 205 (1969).
10. Я.Зубер, К.Зубер, А.Ляпушински, Х.-Г.Ортлепп, И.Пенев, А.В.Потемпа. XXIV Совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Харьков, 1974. Изд. "Наука", Ленинград, 1974, стр. 111.
11. J.Kantele, P.Suominen. Nucl. Instr. and Meth., 86, p. 65 (1970).
12. E.Beck. CERN Report 70-30, Vol. 1, p. 353 (1970).
13. G.Rudstam, E.Lund, L.Westgaard, W.Grappengiesser. CERN Report 70-30, Vol. 1, p. 341 (1970).

14. Р.Арльт, Г.Винтер, С.В.Медведь, Г.Музиоль, А.Н.Синаев, З.А.Усманова, Д.Фромм, Н.А.Чистов, Х.Штрусный. ПТЭ, № 6, 71 /1972/.
15. P. Charoenkwan. Nucl. Instr. and Meth., 34, p. 93 (1965).
16. Г.-Ю.Байер, В.С.Бутцев, К.Я.Громов, В.Г.Калинников, К.О.Мортенсон, Г.Л.Нильссен, Н.А.Тихонов. ОИЯИ, Р6-6002, Дубна, 1971.
17. В.П.Афанасьев, В.С.Бутцев, И.И.Громова, В.Г.Калинников, Н.А.Тихонов. ОИЯИ, Р6-5674, Дубна, 1971.
18. A.A.Abdurazakov, G.Beyer, K.Ya.Gromov, E.Herrmann, T.A.Islamov, M.Jachim, F.Molnar, G.Musiol, H.-U.Siebert, H.Strusny, H.Tyrroff, S.A.Uzmanova. JINR, E6-8008, Dubna, 1974.
19. И.Адам, М.Гонусек, К.Я.Громов, Х.-У.Зиберт, В.В.Кузнецов, Х.-Г.Ортлепп, А.Ш.Хамидов, Х.Штрусный, М.Яхим. XXV совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, изд. "Наука", Ленинград, 1975.
20. A.H.Wapstra, N.V.Gove. Nuclear Data Tables, 9, 267 (1971).
21. Х.-Г.Ортлепп, Х.Хаупт, А.Ясински, М.Яхим. Тезисы XXIV совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Харьков, 1974, стр. 86.
22. Yu.K.Akimov, A.I.Kalinin, K.Andert, H.-G.Ortlepp. Nucl. Instr. and Meth., 104, p. 581 (1972).
23. К.Андерт, Ф.Габриэль, А.И.Калинин. ОИЯИ, 13-7125, Дубна, 1973.
24. С.В.Медведь, А.Н.Синаев, Г.-Ю.Цахер, Н.А.Чистов. ОИЯИ, 10-6883, Дубна, 1973.
25. О.Н.Казаченко, С.В.Медведь, А.Н.Синаев, Б.Хан, Н.А.Чистов. ОИЯИ, 10-7123, Дубна, 1973.
26. С.В.Медведь, А.Н.Синаев, Х.Хаупт, Г.-Ю.Цахер, Л.П.Челноков. ОИЯИ, 10-6884, Дубна, 1973; ПТЭ, № 1, 68 /1974/.
27. Р.Арльт, С.В.Медведь, А.Н.Синаев, Б.Хан, Х.Хаупт. ОИЯИ, Р10-7723, Дубна, 1974.
28. Г.Элер, ОИЯИ, Р11-6816, Дубна, 1972.
29. В.Хабенихт, Б.Хан, Г.Элер, П.М.Гопыч, Г.Винель, Л.А.Вылова. ОИЯИ, Р10-7614, Дубна, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 января 1975 года.