

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



19/12-74

P13 - 10911

A-50

5066/2-74

Б.А.Аликов, Я.Ваврышук, Г.И.Лизурей, К.М.Муминов,  
Т.М.Муминов, У.С.Салихбаев, Р.Р.Усманов

КОМПЛЕКС УСТАНОВОК

ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ВРЕМЕН ЖИЗНИ

ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ ЯДЕР

В ДИАПАЗОНЕ  $10^{-10} \div 10^{-6}$  с

**1977**

P13 - 10911

Б.А.Аликов,<sup>1</sup> Я.Ваврыщук,<sup>2</sup> Г.И.Лизурей, К.М.Муминов,<sup>1</sup>  
Т.М.Муминов,<sup>1</sup> У.С.Салихбаев,<sup>1</sup> Р.Р.Усманов<sup>1</sup>

КОМПЛЕКС УСТАНОВОК  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ВРЕМЕН ЖИЗНИ  
ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ ЯДЕР  
В ДИАПАЗОНЕ  $10^{-10} \div 10^{-6}$  с

*Направлено в "Nukleonika"*

- 
- 1 Самаркандский государственный университет.  
2 Университет им. М.Кюри-Склодовской, Люблин,  
ПНР.



Аликов Б.А. и др.

P13 - 10911

Комплекс установок для измерений времен жизни возбужденных состояний ядер в диапазоне  $10^{-10}$  -  $10^{-6}$  с

В работе описан комплекс временных спектрометров, предназначенных для измерений времен жизни возбужденных ядерных состояний в диапазоне  $10^{-10}$  -  $10^{-6}$  с. В установках использовались магнитно-линзовый  $\beta$ -спектрометр, сцинтилляционные и полупроводниковые детекторы.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Alikov B.A. et al.

P13 - 10911

A System of Time Spectrometers for Measuring the lifetimes of Excited Nuclear States at  $10^{-10}$  -  $10^{-6}$  s

A system of time spectrometers for measuring the lifetimes of excited nuclear states within the range of  $10^{-10}$  -  $10^{-6}$  s is described. The devices are mounted on a) a magnetic-lens  $\beta$ -spectrometer and a scintillation detector, b) a  $\text{Ge(Li)}$  and a scintillation detector, d) one scintillation detector. Plastic scintillators of NE104 and NE111 types as well as  $\text{NaI(Tl)}$  crystals were used in scintillation detectors. Time characteristics have been investigated.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

### Введение

Для измерения времен жизни возбужденных состояний ядер методом задержанных совпадений в зависимости от характера задачи, а именно: энергий и мультипольностей электромагнитных переходов, возбуждающих и разряжающих данное состояние, его времени жизни, сложности схемы уровней, периода полураспада материнского изотопа, активности радиоактивного источника и т.д., в экспериментальных установках используют различные типы детекторов излучений.

В настоящей работе описаны многоканальные временные анализаторы, предназначенные для измерений времен жизни низковозбужденных состояний ядер в диапазоне  $10^{-10}$  -  $10^{-6}$  с, собранные на базе: магнитно-линзового  $\beta$ -спектрометра и сцинтилляционного детектора, двух сцинтилляционных,  $\text{Si(Li)}$  и сцинтилляционного,  $\text{Ge(Li)}$  и сцинтилляционного детекторов, а также одного сцинтилляционного детектора.

**Блоки электроники.** В установках использовались блоки быстрой и спектрометрической электроники, разработанные в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ<sup>1-5</sup> формирователи - для сцинтилляционных детекторов; предусилители, быстрые усилители и формирователи - для полупроводниковых детекторов; линейные усилители, дифференциальные и интегральные дискриминаторы, схемы совпадений и антисовпадений, время-амплитудные преобразователи, одновибраторы, нано- и микросекундные задержки, система стабилизации усиления фотоумножителей.

Временной спектрометр на базе магнитно-линзового  $\beta$ -спектрометра и сцинтилляционного детектора позволяет четко выделить конверсионные электроны одного из переходов, заселяющего или разряжающего исследуемый уровень, и при этом обеспечивает достаточно хорошее временное разрешение.

Блок-схема этой установки приведена на рис. 1.

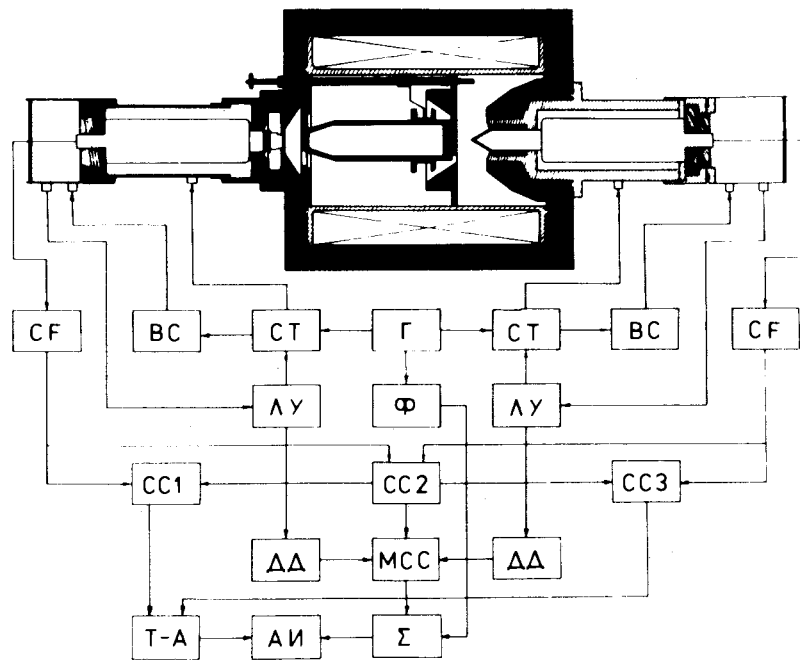


Рис. 1. Блок-схема установки  $e-\gamma$ -задержанных совпадений. CF - формирователи со "следящим порогом"; BC - высоковольтный стабилизированный выпрямитель для питания ФЭУ; СТ - блок управления усилением ФЭУ; Г - генератор наносекундных импульсов для питания светодиодов; СС1, СС2, СС3 - схемы совпадений; ЛУ - линейный усилитель; ДД - дифференциальный дискриминатор; МСС - медленная схема совпадений; Ф - формирователь микросекундных импульсов;  $\Sigma$  - сумматор; Т-А - время-амплитудный преобразователь; АИ - многоканальный анализатор.

Магнитно-линзовый  $\beta$ -спектрометр изготовлен по аналогии со спектрометрами, описанными в работах <sup>/6,7/</sup>. Обмотка спектрометра состоит из 1600 витков медного провода ПБД 2,5. Ее сопротивление  $r = 4,54 \text{ Ом}$ . Питание обмоток осуществляется управляемым стабилизатором тока <sup>/8/</sup>. Энергетический диапазон спектрометра  $\sim 2 \div 600 \text{ кэВ}$  разделен на 1000 каналов с импульсной ценой канала  $3,2 \text{ Гс.см/канал}$ . Процесс регистрации спектров электронов внутренней конверсии автоматизирован <sup>/8/</sup>. Светосила - Т и импульсное разрешение - R спектрометра в зависимости от ширины щели между выходными диафрагмами для источника  $\Phi = 2 \text{ мм}$  меняются от  $R \approx 1\%$  при  $T \approx 1\%$  до  $R \approx 4\%$  при  $T \approx 5\%$ .

Детектирующая система спектрометра состоит из пластического сцинтиллятора типа NE104 конической формы /полый конус с толщиной стенок 2 мм и внешними размерами  $\Phi = 25 \text{ мм}$ ,  $h = 25 \text{ мм}$ /, световода /плексиглас  $\Phi 25 \times 60 \text{ мм}$ / и фотоумножителя типа XP1020.

Конструкция спектрометра позволяет установить второй сцинтилляционный детектор в вакуумную систему на расстоянии  $\geq 10 \text{ мм}$  от радиоактивного источника, что обеспечивает возможность регистрации с его помощью не только  $\gamma$ -квантов, но и электронов. Для регистрации излучений в этом детекторе использовались пластические сцинтилляторы типа NE111 или NE104 толщиной от 0,05 до 25 мм и диаметром от 10 до 25 мм в сочетании с фотоумножителями типа XP1020.

Для формирования временных сигналов в обоих каналах применялись формирователи, работающие в режиме "следящего порога" (CF). Временной отбор совпадающих импульсов и задание временного диапазона установки осуществлялось мониторинной схемой совпадений /СС 2/ и двумя схемами пропускания /СС 1 и СС 3/, включенными в "стартовый" и "стоповый" каналы конвертора (Т-А).

Энергетический отбор излучений производился обычным образом с помощью линейных усилителей /ЛУ/, дифференциальных дискриминаторов /ДД/ и медленной схемы совпадений /МСС/.

В необходимых случаях в установку может быть включена система стабилизации усиления фотоумножителей,

которая включает в себя: светодиоды, генератор /Г/ и блок стабилизации /СТ/. Она подробно описана в работах /5,7/. Система стабилизации позволяет свести аппаратные сдвиги временных спектров к величине, не превышающей  $\pm 10$  нс /7/, и тем самым обеспечивает возможность измерения времен жизни вплоть до  $10^{-10}$  с.

На рис. 2 приведены значения полуширин /временного разрешения установки/  $2\tau_0$  и сдвиги центров тяжести временных распределений мгновенных совпадений в зависимости от энергии совпадающих электронов и комптоновского распределения  $\gamma$ -излучения  $^{60}\text{Co}$ .

Как видно из этого рисунка, при изменении энергий выделяемых электронов от  $E_e = 20$  кэВ / $2\tau_0 = 1,5$  нс/ до  $E_e = 250$  кэВ / $2\tau_0 = 0,4$  нс/ временное разрешение установки уменьшается пропорционально значению  $1/\sqrt{E_e}$ , а сдвиги центров тяжести временных кривых практически обусловлены только временем пролета электронов в спектрометре /длина траектории электронов в спектрометре, определенная из этой зависимости, соответствует расчетной средней длине траектории  $l = 29$  см<sup>3</sup>/. Изменение же этих величин в зависимости от энергий выделяемых участков комптоновского распределения слабое. Это свидетельствует, с одной стороны, об оптимальных режимах работы установки, с другой - указывает на то, что основной вклад в ограничение ее временного разрешения вносит магнитный спектрометрический детектирующая система.

Для иллюстрации на рис. 3 приведены измеренные при распаде  $^{169}\text{Yb} \rightarrow ^{169}\text{Tm}$  временные распределения задержанных совпадений 1177 кэВ -  $\gamma/60$  - 130 / кэВ, характеризующих время жизни уровня  $^{169}\text{Tm}$  с энергией 239 кэВ, и  $\gamma \geq 60$  кэВ - M 8,4 кэВ и K109 кэВ -  $e^-$  /-5 /10/ кэВ, характеризующих время жизни уровня 8,4 кэВ.

Эти и все приведенные в настоящей работе временные спектры обрабатывались по программам LFTIM и GEXFIT /11/.

Временной спектрометр на базе двух сцинтилляционных детекторов собран по такой же блок-схеме, как и установка, описанная в предыдущем пункте.

В установке использовались фотоумножители XP1021

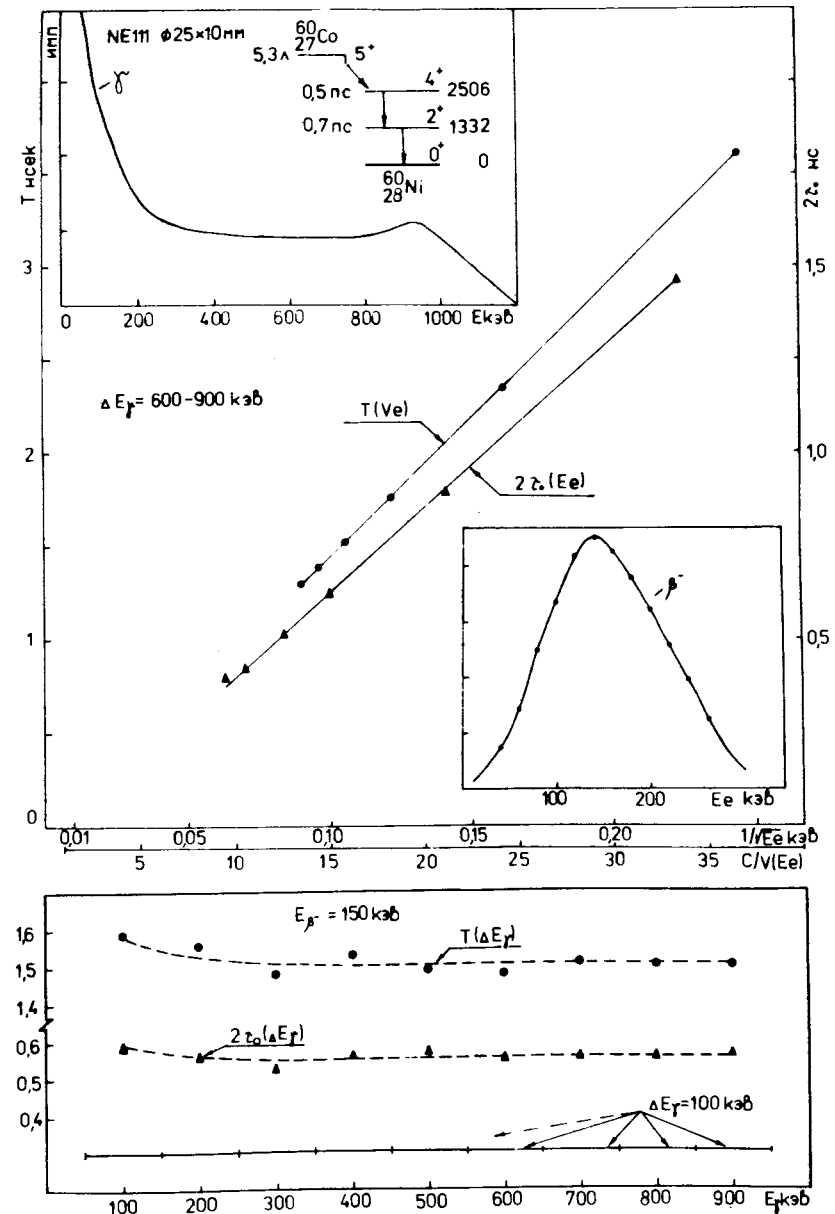


Рис. 2. Временные характеристики установки  $e-\gamma$  задержанных совпадений.

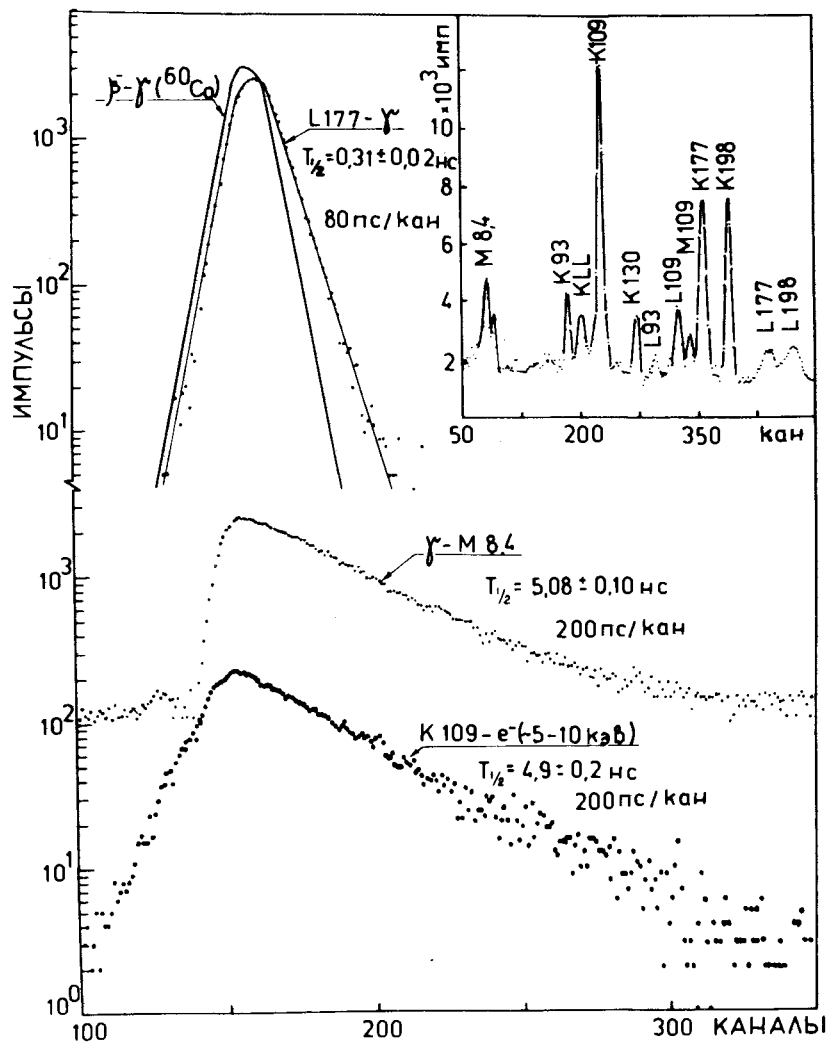


Рис. 3. Временные распределения  $e-\gamma$ -задержанных совпадений, измеренные при распаде  $^{169}\text{Yb}$ . Для получения временного спектра K109 -  $e^-$  / -5-10 кэВ/ в  $\beta$ -спектрометре /канал "Старт"/ выделялись конверсионные электроны K109, а в сцинтилляционном спектрометре с использованием пластического сцинтиллятора NE104  $\varnothing 10 \times 0,1$  мм /канал "Стоп"/ - участок спектра в диапазоне 5-10 кэВ.

и в зависимости от характера задачи - пластические сцинтилляторы NE111 или NE104 различных размеров  $\varnothing = 5-25$  мм, толщиной  $l = 0,05-25$  мм или кристаллы NaJ(Tl) размерами  $\varnothing 40 \times 40$  мм.

Временные распределения мгновенных совпадений различных энергетических интервалов комптоновского распределения  $\gamma$ -лучей  $^{60}\text{Co}$ , измеренные с использованием двух сцинтилляторов типа NE104/ $\varnothing 25 \times 25$  мм/, приведены на рис. 4.

Для повышения эффективности регистрации совпадений низкоэнергетических излучений короткоживущих изотопов со слабой активностью целесообразно использовать пленочные сцинтилляторы / $l = 0,05-0,5$  мм/ с внедренными в них на электромагнитном масс-сепараторе радиоактивными источниками. Представление о временном разрешении установки при использовании таких сцинтилляторов дает рис. 5, на котором приведены временные распределения совпадений  $\gamma$ -лучей с двумя интервалами спектра низкоэнергетических излучений  $^{169}\text{Yb}$ . Кривая  $\gamma-e^- (\Delta E_1)$  определяет время жизни уровня  $^{169}\text{Tm}$  с энергией 8,4 кэВ, а  $\gamma-e^- (\Delta E_2)$  - аппаратное временное разрешение. Амплитудное распределение импульсов от низкоэнергетических излучений  $^{169}\text{Yb}$  /с вычетом шумовых и фоновых импульсов/ приведено на вставке к рис. 5.

Временные спектрометры на базе полупроводниковых Si(Li), Ge(Li) и сцинтилляционных детекторов применялись в тех случаях, когда для измерений времен жизни возбужденных ядерных состояний /с  $T_{1/2} = 1-10^3$  нс/ требовалось высокое энергетическое разрешение в одном из каналов установки. Блок-схемы установок идентичны и приведены на рис. 6.

На рис. 7 приведены временные спектры, измеренные при распаде  $^{57}\text{Co}$  с использованием поверхностно-барьерного Si(Li) -детектора / $\Delta E_\gamma = 0,4$  кэВ на  $E_\gamma = 122$  кэВ/ и сцинтилляционного детектора с пластическим сцинтиллятором NE104  $\varnothing 25 \times 25$  мм и фотомножителем XP1021. Эти кривые измерены в совпадениях фотоиков  $\gamma$ -перехода 14,4 кэВ и КХ-лучей, сопровождающих  $\epsilon$ -захват  $^{57}\text{Co}$  - КХ( $\epsilon$ ) и К-конвер-

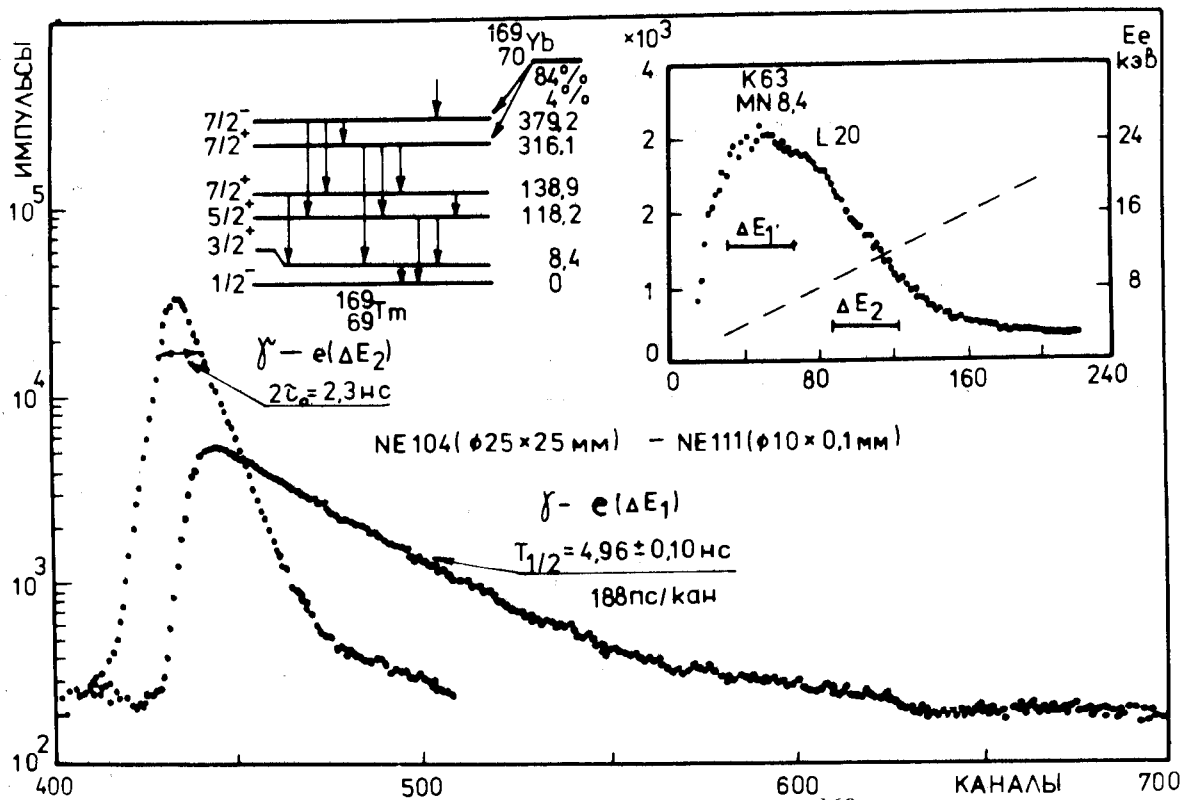
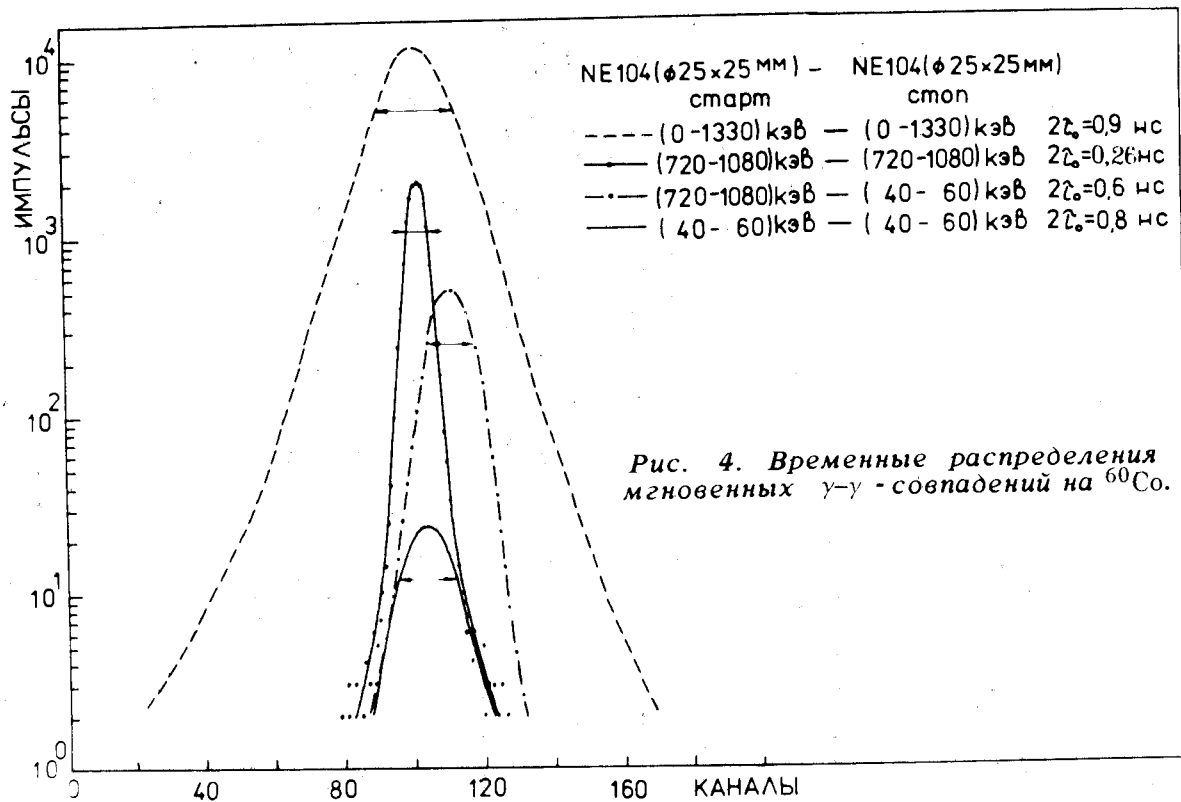


Рис. 5. Кривая распада уровня 8,4 кэВ в  $^{169}\text{Tm}$ . Амплитудное распределение низкоэнергетических излучений  $^{169}\text{Yb}$  /с вычетом шумов фотоумножителя/.

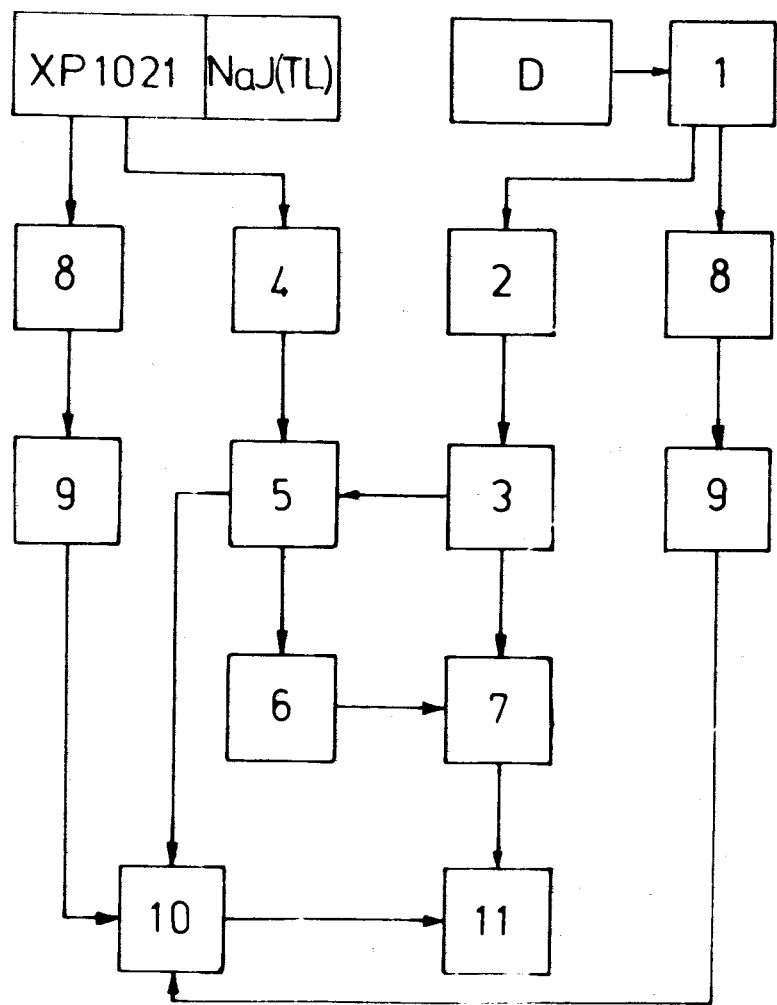


Рис. 6. Блок-схема установки с полупроводниковым и сцинтилляционным детекторами. D - Si(Li) или Ge(Li), 1 - предусилитель; 2 - быстрый усилитель; 3 - формирователь импульса с ППД; 4 - формирователь; 5 - схема совпадений; 6 - задержка; 7 - время-амплитудный преобразователь; 8 - линейный усилитель; 9 - дифференциальный дискриминатор; 10 - медленная схема совпадений; 11 - анализатор импульсов.

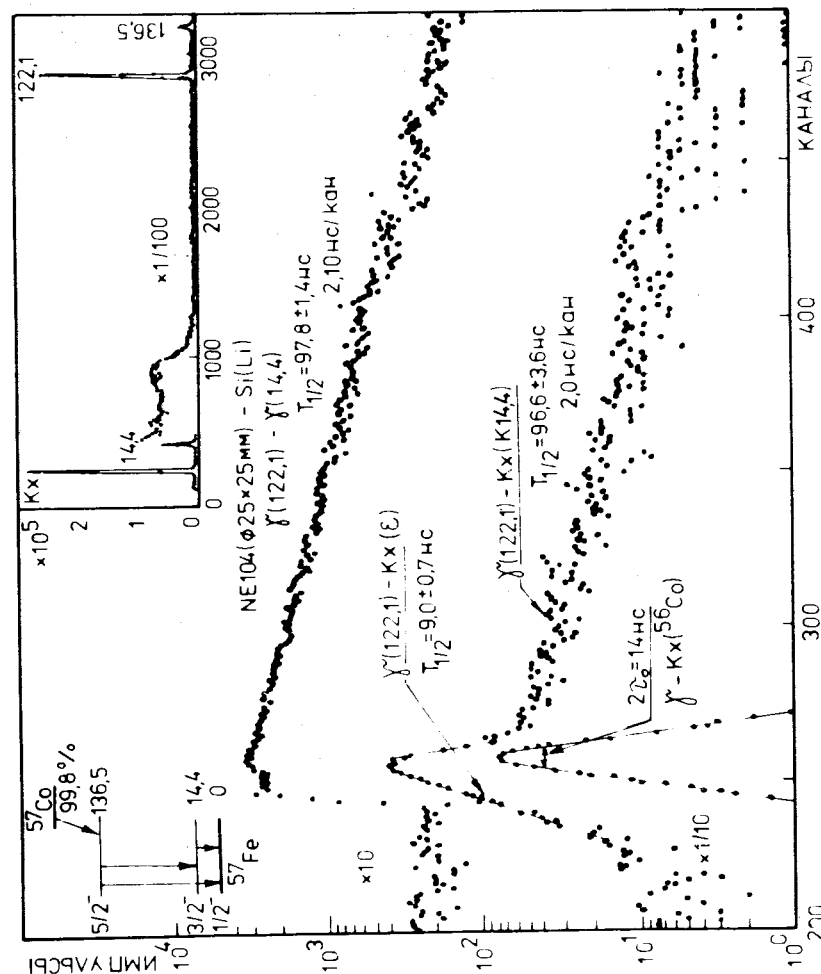


Рис. 7. Временные распределения совпадений, измеренные при распаде  $^{57}\text{Co}$  с использованием Si(Li) и сцинтилляционного детекторов.



сию перехода  $14,4 \text{ кэВ} - \text{КХ} / \text{К} 14,4 \text{ кэВ} /$  - выделяемых в тракте  $\text{Si(Li)}$  - детектора, с комптоновским распределением  $\gamma$  - перехода  $122 \text{ кэВ}$ , выделяемым в сцинтиляционном тракте.

В совпадениях  $\gamma / 122 \text{ кэВ} / - \gamma / 14,4 \text{ кэВ} /$  и  $\gamma / 122 \text{ кэВ} / - \text{КХ} / \text{К} 14,4 \text{ кэВ} /$  проявляется время жизни уровня  $14,4 \text{ кэВ}$ , а в совпадениях  $\gamma / 122 \text{ кэВ} / - \text{КХ} (\epsilon) -$  время жизни уровня  $136,5 \text{ кэВ}$ . Нижняя кривая, измеренная в совпадениях  $\gamma - \text{КХ} (^{56}\text{Co})$ , характеризует временное разрешение аппаратуры в этих условиях.

На рис. 8 приведены временные распределения совпадений  $\gamma / 738 \text{ кэВ} / - \gamma / 982 \text{ кэВ} /$  и  $\gamma / 708 \text{ кэВ} / - \gamma / 511 \text{ кэВ} /$ , измеренные при распаде  $^{139}\text{Nd}$  с использованием  $\text{Ge(Li)}$ -детектора  $V = 40 \text{ см}^3$ ,  $\Delta E_\gamma = 3 \text{ кэВ}$  на  $E_\gamma = 1332 \text{ кэВ} /$  и сцинтиляционного детектора с кристаллом  $\text{NaI(Tl)}$   $\varnothing 40 \times 40 \text{ мм}$  и фотоумножителем ХР1021. Эти кривые характеризуют времена жизни уровней  $^{139}\text{Pr}$  с энергиями  $822$  и  $852 \text{ кэВ}$ .

**Однокристалльный сцинтиляционный временной спектрометр.** Определяющим фактором успешного проведения исследований слабых активностей короткоживущих изотопов является обеспечение максимальной эффективности регистрации ядерных излучений. Максимальная эффективность регистрации совпадений может быть достигнута при использовании в установке одного детектора<sup>/9/</sup>, при этом минимальное измеримое время жизни будет определяться временными характеристиками. Для сцинтиляционных детекторов оно будет определяться временем высвечивания сцинтиллятора.

В работе<sup>/9/</sup> показано, что при использовании сцинтиляционного детектора с пластическим сцинтиллятором нижний предел измеряемых этим методом времен жизни составляет  $T_{1/2} \approx 10 \text{ нс}$ . Однако плохое энергетическое разрешение пластических сцинтилляторов затрудняет установление энергетических положений изомеров в схеме уровней. Это затруднение для изомеров с  $T_{1/2} \geq 0,5 \text{ мкс}$  можно преодолеть при использовании вместо пластического сцинтиллятора кристалл  $\text{NaI(Tl)}$ .

Блок-схема установки приведена на вставке к рис. 9. Выделение амплитудных интервалов осуществляется в

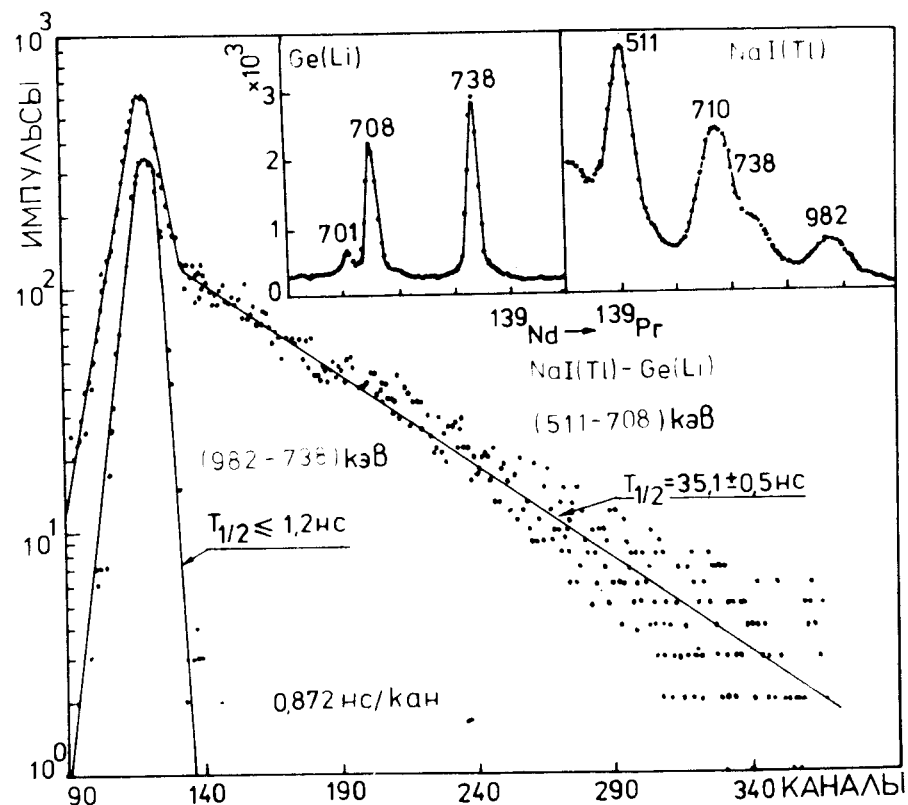


Рис. 8. Временные распределения совпадений, измеренные при распаде  $^{139}\text{Nd}$  с использованием  $\text{Ge(Li)}$  и сцинтиляционного детекторов.

каждом канале с помощью двух интегральных дискриминаторов и схемы антисовпадений. В "стартовом" канале конвертора импульсы блокируются на время, задаваемое длительностью выходных импульсов одновибратора.

На рис. 9 приведены временные распределения совпадений двух участков спектра  $^{169}\text{Yb}$ , регистрируемого сцинтиляционным детектором с кристаллом  $\text{NaI(Tl)}$ . Эта кривая  $\gamma 63$ ,  $\text{КХ} - \gamma 177,198 \text{ кэВ} /$  характеризует суммарное время жизни уровней  $316 \text{ кэВ} / T_{1/2} = 640 \pm 14 \text{ нс} /$  и  $379 \text{ кэВ} / T_{1/2} = 53,5 \pm 1,5 \text{ нс} /$ ;  $\sum T_{1/2} = 720 \pm 15 \text{ нс}$ .

### Заключение

Описанный выше комплекс временных спектрометров позволяет решать широкий круг задач, связанных с измерением времен жизни возбужденных состояний ядер в диапазоне  $10^{-10}$ - $10^{-6}$ с, и на протяжении ряда лет успешно эксплуатируется в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Авторы глубоко благодарны проф. К.Я.Громову за поддержку и постоянный интерес к работе.

### Литература

1. Балдин Б.Ю., Крумпштейн З.В., Ронжин А.И. ОИЯИ, 13-9850, Дубна, 1976.
2. Akimov Yu.K. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1972, 104, p. 581.
3. Аликов Б.А., Орманджиев С.И. ОИЯИ, 13-9135, Дубна, 1975.
4. Борейко В.Ф. и др. ОИЯИ, 13-6396, Дубна, 1972.
5. Орманджиев С.И., Усманов Р.Р. ОИЯИ, 13-8630, Дубна, 1975.
6. Морозов В.А., Муминов Т.М. ОИЯИ, P13-3437, Дубна, 1967.
7. Аликов Б.А. и др. ОИЯИ, P13-9516, Дубна, 1976.
8. Аликов Б.А. и др. ОИЯИ, 13-9844, Дубна, 1976.
9. Морозов В.А., Муминов Т.М. ПТЭ, 1973, 1, с.79.
10. Аликов Б.А. и др. ОИЯИ, 6-10028, Дубна, 1976.
11. Аликов Б.А. и др. ЭЧАЯ, 1976, том 7, вып. 2, с.419.

Рукопись поступила в издательский отдел  
5 августа 1977 года.

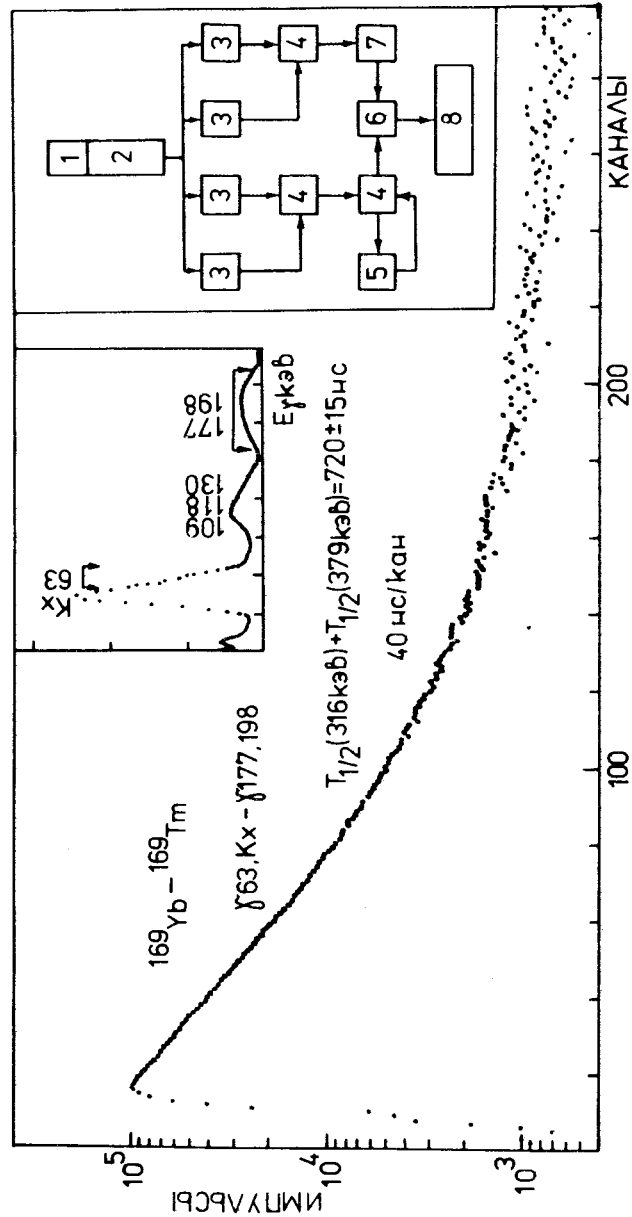


Рис. 9. Блок-схема временного однокристалльного сцинтилляционного спектрометра. 1 - кристалл NaJ(Tl) 2 - дискриминатор; 3 - интегральный дискриминатор; 4 - схема амплитудной; 5 - осциллограф; 6 - конвертор; 7 - задержка; 8 - анализатор импульсов; временные распределения совпадений, измеренные при распаде  $^{169}\text{Yb}$  с использованием однокристалльного спектрометра.