

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
Дубна

926/84

13/11-84

13-83-747

В.Б.Бруданин, Ц.Вылов, Н.И.Журавлев,  
А.И.Иванов,<sup>1</sup> В.Н.Покровский, Н.И.Рухадзе,<sup>1</sup>  
А.В.Саламатин,<sup>2</sup> В.Г.Сандуковский, В.Т.Сидоров,  
А.Н.Синаев

СПЕКТРОМЕТР  
ДЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ АМПЛИТУДНО-ВРЕМЕННЫХ  
ИЗМЕРЕНИЙ

<sup>1</sup> НПО ВНИИМ им.Д.И.Менделеева, Ленинград

<sup>2</sup> ИЯФ АН УзССР, Ташкент

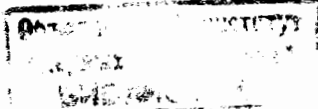
Для исследования распадов радиоактивных нуклидов в Лаборатории ядерных проблем создана трехуровневая система регистрации, обработки и анализа спектрометрической информации/1/. В настоящей работе описывается спектрометр для трехмерных амплитудно-временных измерений, входящий в состав нижнего уровня этой системы.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Процедура построения сложных схем распада радионуклидов является, как правило, циклическим процессом. Эксперименты начинаются с измерения энергий и интенсивностей дискретных излучений/2/. Затем на основе совокупности полученных данных строятся различные варианты схем распада, достоверность которых проверяется и уточняется с помощью амплитудно-временных измерений. Результаты исследований на данном этапе позволяют приписать квантовые характеристики /спин и четность/ наиболее сильно заселенным состояниям и планировать проведение более сложных экспериментов /измерение времени жизни возбужденных состояний, анализ углового распределения излучений, определение энергии распада, расчет вероятности распада, анализ величин  $lg ft$ , систематика возбужденных состояний соседних нуклидов и т.д./ . Нередко результаты амплитудно-временных измерений приводят к необходимости уточнения данных об энергиях и интенсивностях дискретных излучений, для чего иногда требуется проведение новых измерений этих величин.

Таким образом, схему распада радионуклида нужно рассматривать как гипотезу, которая наилучшим образом удовлетворяет имеющейся в данный момент совокупности экспериментальных данных. В этих условиях, наряду с высокими требованиями к ППД, большое значение приобретает разработка последовательной методики измерения и анализа данных, которая позволила бы значительно сократить число циклов уточнений схемы распада /в настоящее время такой средний цикл составляет около 3 лет/. Первый этап - измерение энергий и интенсивностей дискретных излучений с помощью ППД практически решен: измерения в ведущих лабораториях не требуют повторения. Однако второй этап - амплитудно-временные измерения с помощью ППД - требует дальнейшего совершенствования.

Одной из основных характеристик современного эксперимента является его эффективность, что означает получение максимальной информации от одного источника. Это требование связано с тем,



что наибольший интерес сегодня представляет исследование распада удаленных от полосы бета-стабильности нуклидов, которые имеют малый период полураспада и получение которых сопряжено со значительными техническими трудностями. Отсюда ясно, что в идеальном случае эксперимент должен быть организован таким образом, чтобы одновременно зарегистрировать как можно больше информации о распаде, т.е. спектры излучений, совпадений между ними и их угловое распределение. Отвлекаясь от технических трудностей такой организации, заметим, что даже только для амплитудно-временных измерений при использовании ППД с высоким разрешением требуется объем кубической матрицы  $4096 \times 4096 \times 4096$  каналов /64.10<sup>9</sup>/. Ясно, что реализация такой матрицы практически невозможна и поэтому необходимо перейти к регистрации данных на внешних носителях/3/.

В настоящей работе описывается спектрометр для проведения амплитудно-временных измерений с использованием двух Ge(Li)-или HPGe-детекторов. Задача накопления информации реализована с помощью блоков и микро-ЭВМ в стандарте КАМАК. Имеется также возможность одновременной записи и двух амплитудных спектров от ППД с помощью автономных анализаторов в стандарте КАМАК/4/.

## 2. ДЕТЕКТОРЫ

Общий вид спектрометра с двумя Ge(Li)-детекторами показан на рис.1. Детекторы /чувствительный объем ~50 см<sup>3</sup>/ размещены в прямоугольном криостате из нержавеющей стали, в основании которого находится медный хладопровод, опускаемый в дьюар с жидким азотом. К хладопроводу прикреплена толстая /11 мм/ медная пластина, края которой, согнутые под углом 45° к основанию, служат основой для крепления дюралевых оправок с детекторами. На крышке криостата сделано V-образное углубление для крепления входных окон детекторов. Входные окна изготовлены из нержавеющей стали толщиной ~200 мкм и установлены на вакуумном уплотнении под углом 90° друг к другу. Для подавления фона от  $\gamma$ -квантов, рассеянных в другом детекторе, между входными окнами на крышке криостата и между детекторами внутри криостата размещен вольфрамовый экран толщиной 25 мм. Радиоактивный источник расположен на специальном держателе из оргстекла в точке пересечения перпендикуляров, восстановленных из центров детекторов.

Общий вид спектрометра с двумя HPGe-детекторами показан на рис.2. Главной особенностью конструкции является размещение не только детекторов, но и радиоактивного источника в одном криостате, что обеспечивает возможность исследования  $e\text{-}\gamma$ -,  $X\text{-}X$ -,  $X\text{-}\gamma$ - и  $e\text{-}e$ -совпадений. К сожалению, конструкция не позволяет производить замену источника без нарушения вакуума в системе. Криостат имеет цилиндрическую форму, и в его основании находится толстый /~30 мм/ медный хладопровод. Держатель детекторов изго-

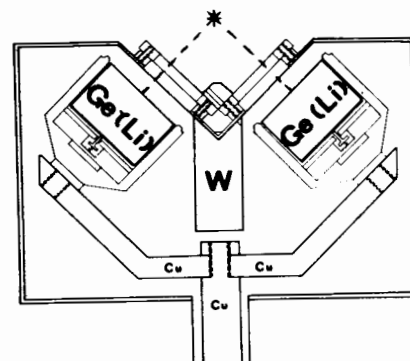


Рис.1. Общий вид спектрометра с двумя Ge(Li)-детекторами.

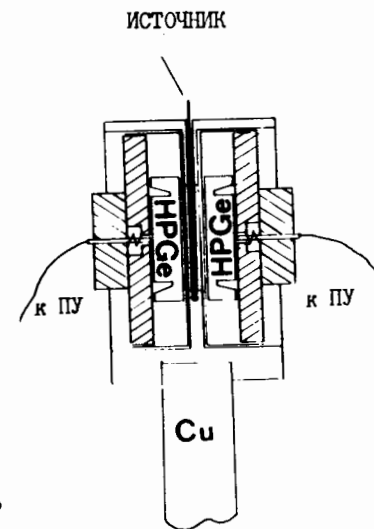


Рис.2. Общий вид спектрометра с двумя HPGe-детекторами.

товлен из цельного куска меди и имеет форму прямоугольного параллелепипеда со сквозным отверстием по диаметру входных окон ППД и круглыми углублениями для оправок с детекторами. В верхней части держателя параллельно входным окнам сделана вертикальная щель, предназначенная для установки радиоактивного источника в центр сквозного отверстия. Детекторы с чувствительным объемом 250 мм<sup>2</sup>х6 мм располагаются под углом 180° друг к другу по обе стороны источника.

## 3. ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА

Импульсы с полупроводниковых детекторов поступают на малошумящие зарядочувствительные предусилители ORTEC-120-3F с двумя независимыми выходами для энергетического и временного каналов /рис.3/. В амплитудных трактах использованы усилители ORTEC-572, которые наряду с высоким энергетическим разрешением обладают хорошими нагрузочными характеристиками и стабильностью: при изменении скорости счета от 0 до 10<sup>5</sup> имп.с<sup>-1</sup> энергетическое разрешение  $\gamma$ -квантов 1332 кэВ /<sup>60</sup>Co/ ухудшается не более чем на 16% /при  $\tau = 2$  мкс/, а относительный сдвиг максимума пика не превышает 0,024%. Слабая зависимость энергетического разрешения от загрузки спектрометра имеет большое значение, так как загрузка в процессе измерения может меняться в несколько раз.

Импульсы с временных выходов предусилителей поступают на входы быстрых усилителей POLON-1501, а затем, для временной привязки к импульсам ППД, - на дискриминаторы со следящим порогом.

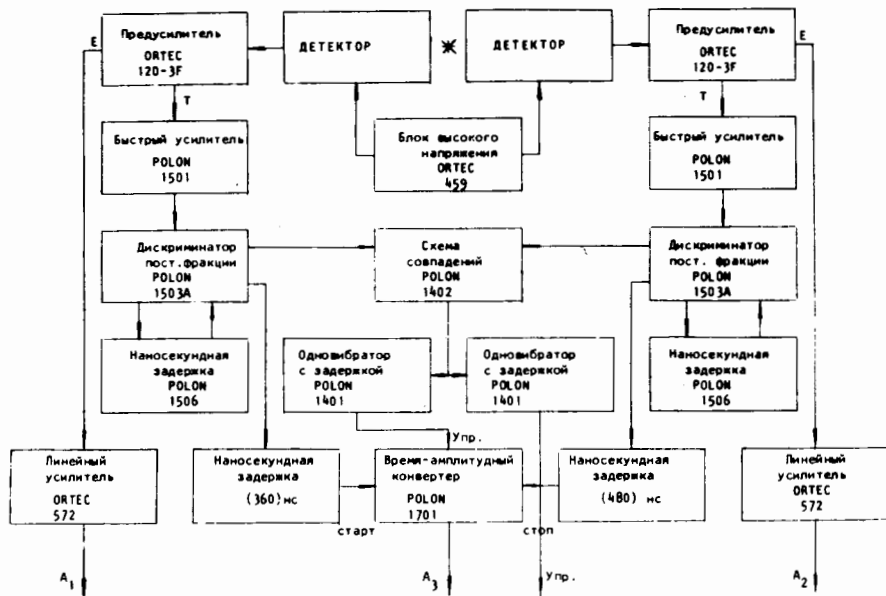


Рис.3. Блок-схема аналоговой части спектрометра.

С целью уменьшения мертвого времени спектрометра в схеме предусмотрена разгрузка время-амплитудного конвертора POLON-1701 от одиночных стартов, для чего управление его работой осуществляется одновибратором POLON-1401, дающим импульсы при срабатывании схемы совпадений POLON-1402, на которую поступают сигналы от обоих дискриминаторов. Временной диапазон работы схемы совпадений устанавливается равным диапазону конвертора. Поскольку управляющий сигнал от одновибратора должен поступать на конвертор с некоторым опережением стартового импульса, в каналы "Старт" и "Стоп" вводится задержка, равная 360 и 480 нс соответственно. Сигнал в канале "Стоп" задержан относительно стартового на величину, равную половине временного диапазона конвертора, который при работе спектрометра в режиме амплитудно-временных совпадений равен 0,25 мкс.

В режиме трехмерного анализа сигналы  $A_1A_2A_3$  поступают на три аналого-цифровых преобразователя /АЦП/ КА 007/5/ - рис.4, управление которыми осуществляется сигналом одновибратора POLON-1401 при срабатывании схемы совпадений POLON-1402 - см. рис.3. Считывание информации с АЦП производится последовательно тройками 16-разрядных чисел  $A_1$ ,  $A_2$  и  $t \rightarrow A_3$ . В каждом числе 12 разрядов отводятся для кода АЦП и 4 разряда - для признаков принадлежности кода данному тракту. Блок управления накоплением КЛ 102 заносит информацию с АЦП в один из двух буферных накопителей КЛ 006/5/ на 1024 16-разрядных слова /341 тройка чисел,

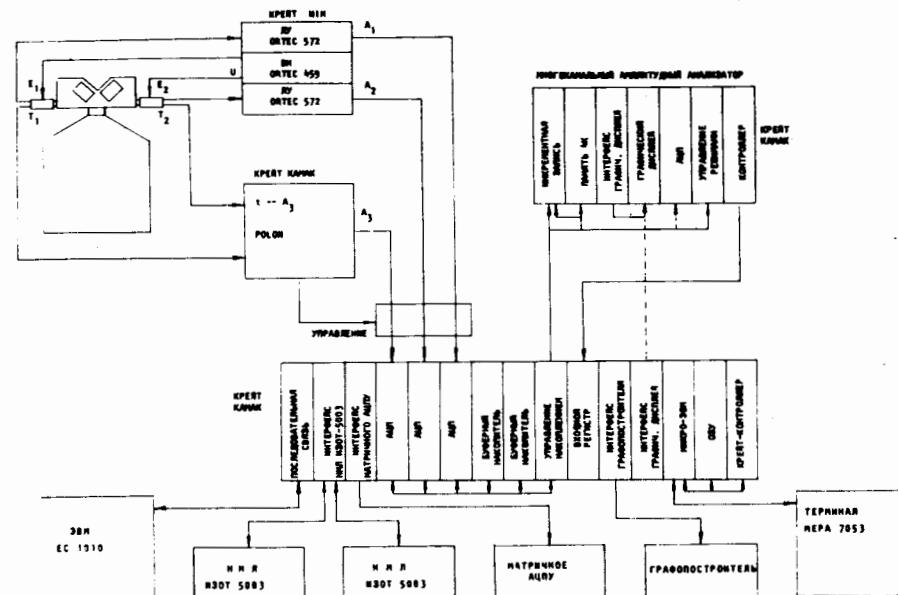


Рис.4. Организация работы спектрометра в режиме трехмерного анализа.

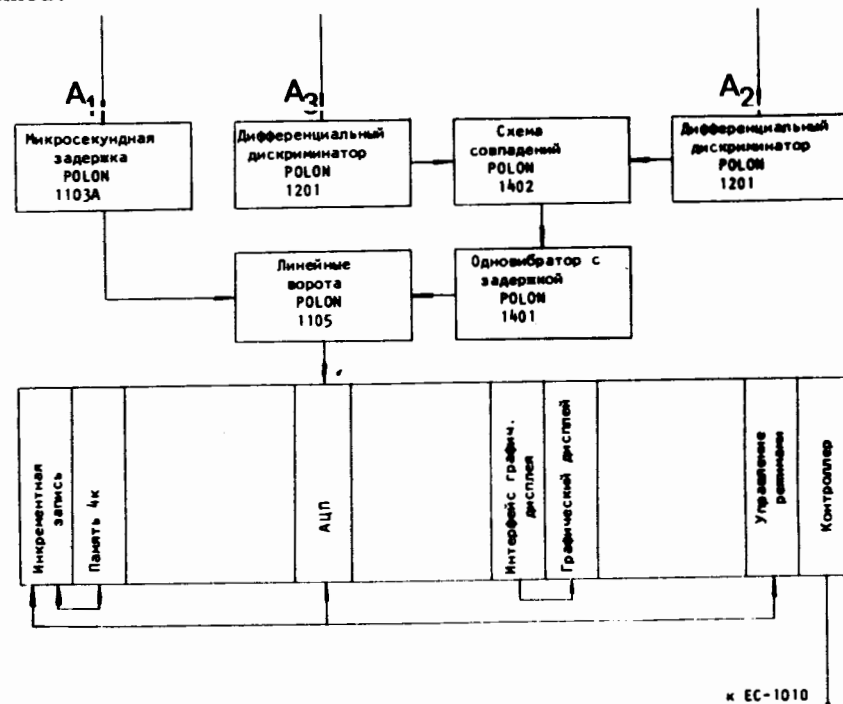


Рис.5. Организация работы спектрометра в режиме совпадений.

первое слово не используется/. После заполнения одного буферного накопителя микро-ЭВМ КМ 001/6/ через интерфейс КИ 031/7/ переносит массив на магнитную ленту НМЛ ИЗ0Т-5003. В это время запись информации с АЦП происходит в другой буферный накопитель, КЛ 006. Спектрометр может регистрировать до ~1000 событий в секунду.

Для управления ходом эксперимента и контроля предусмотрено накопление интегрального спектра любого из трех трактов в многоканальном амплитудном анализаторе в стандарте КАМАК/4/. После окончания эксперимента этот спектр также переписывается на магнитную ленту НМЛ ИЗ0Т-5003 и может быть использован при последующей обработке.

Предварительная разметка указанного спектра может проводиться на микро-ЭВМ КМ 001, в память которой он вводится через входной регистр КР 007/8/. Спектр и результаты его разметки для дальнейшей обработки передаются через блок последовательной связи КИ 021/9/ на мини-ЭВМ /ЕС-1010, СМ-4/ или выводятся через интерфейс КИ 027/5/ на графопостроитель и через интерфейс КИ 023/9/ - на матричное АЦПУ DZM-180.

Сортировка и обработка накопленных на магнитной ленте экспериментальных данных проводится на ЭВМ ЕС-1010, СМ-4 и ЕС-1040.

Для выполнения различных методических измерений создан и простой режим совпадений, в котором два параметра могут быть выбраны с помощью дифференциальных дискриминаторов. В этом случае накопление информации осуществляется с помощью многоканального анализатора в стандарте КАМАК.

Рассмотрим организацию режима совпадений на конкретном примере /рис.5/. Пусть требуется измерить спектр  $\gamma$ -лучей /канал А<sub>1</sub>/ в совпадении с  $\gamma$ -переходом Е<sub>2</sub> /канал А<sub>2</sub>/ в пределах разрешающего времени  $t_3$  /канал А<sub>3</sub>/. Для этой цели сигналы А<sub>2</sub> и А<sub>3</sub> подаются на дифференциальные дискриминаторы POLON-1201. С дискриминаторов сигналы поступают на схему совпадений POLON-1402, при срабатывании которой одновибратор POLON-1401 вырабатывает разрешающий импульс заданной длительности для управления линейными воротами POLON-1105 и импульс А<sub>1</sub> пропускается в многоканальный амплитудный анализатор в стандарте КАМАК/4/. Для временного согласования в канал А<sub>1</sub> введена микросекундная задержка POLON-1103А.

#### 4. ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЕКТРОМЕТРОВ

Одной из основных характеристик спектрометра совпадений является абсолютная эффективность детекторов, т.е. отношение числа импульсов, зарегистрированных в пике полного поглощения, к полному числу частиц или квантов моноэнергетического излучения, испускаемых источником. Знание этой характеристики обязательно при количественном анализе данных/10/. Зависимость

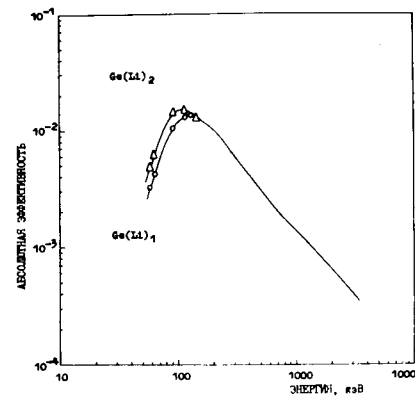
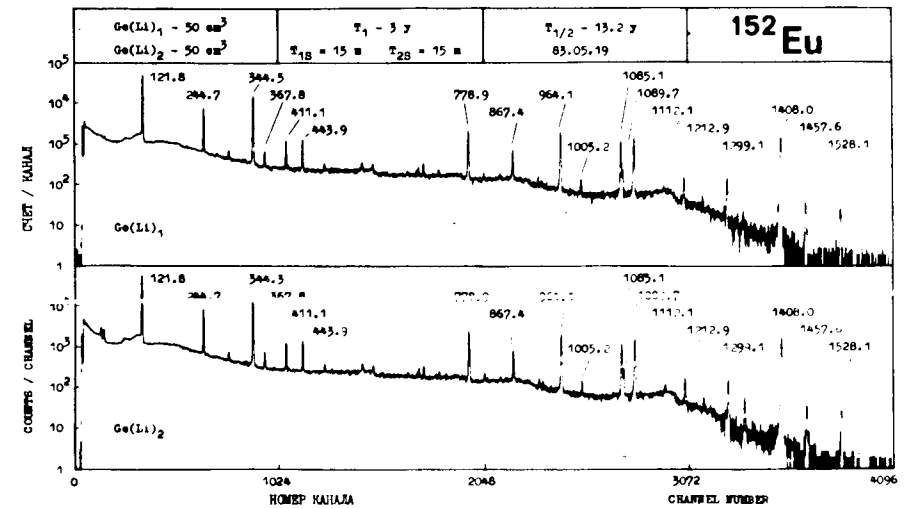


Рис.6. Кривые абсолютной эффективности Ge(Li)-детекторов.

Рис.7. Одиночные спектры <sup>152</sup>Eu, полученные на Ge(Li)-детекторах.



абсолютной эффективности от энергии для обоих Ge(Li)-детекторов определялась по методике/11/ и показана на рис.6. Приведенные кривые проиллюстрированы на рис.7 аппаратными спектрами  $\gamma$ -лучей <sup>152</sup>Eu, измеренными за одинаковый промежуток времени; верхняя часть рисунка представляет спектр, полученный на первом детекторе, а нижняя - полученный на втором детекторе. Здесь и далее приняты следующие обозначения: T<sub>1</sub> - время, прошедшее с момента получения источника; T<sub>2s</sub> - время измерения одиночного спектра; T<sub>2c</sub> - время измерения спектра совпадений. Поскольку оба Ge(Li)-детектора имеют практически идентичную эффективность в широком диапазоне энергий и одинаковое энергетическое разрешение / $\Delta E = 2,3$  кэВ при E<sub>γ</sub> = 1332 кэВ - <sup>60</sup>Co/, то их деление на первый и второй является условным. Временное разрешение спектрометра определено из измерения временного распределения

$\gamma$ -лучей  $^{60}\text{Co}$  и составляет  $2\tau_0 = 16$  нс для диапазона  $E_\gamma \geq 50$  кэВ /рис.8/.

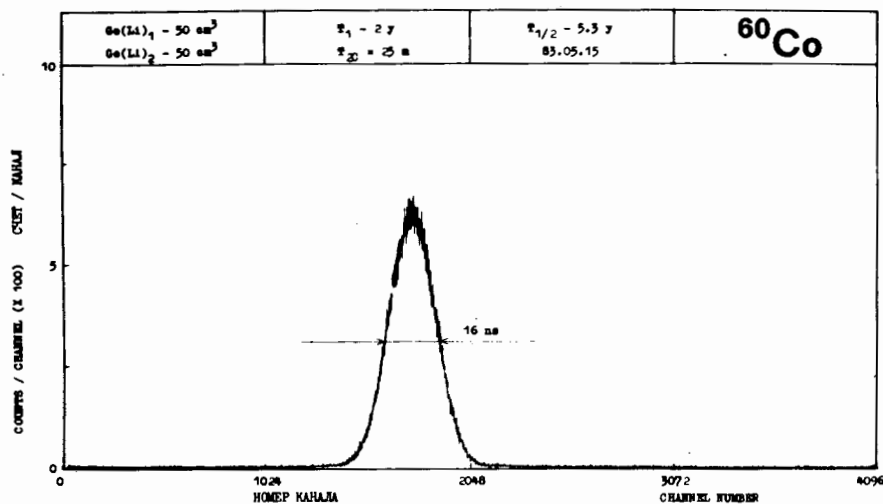


Рис.8. Временное распределение  $\gamma$ -квантов при распаде  $^{60}\text{Co}$ .

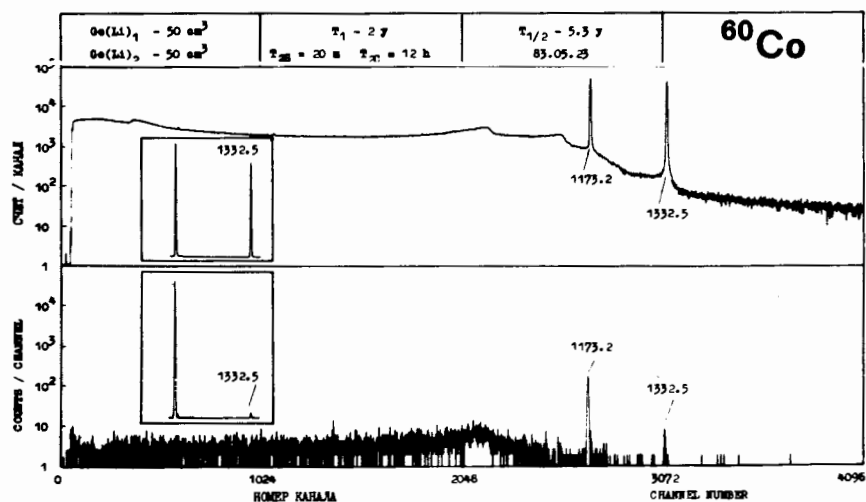


Рис.9. Одиночный спектр и спектр совпадений с  $\gamma$ -квантами 1332 кэВ при распаде  $^{60}\text{Co}$ .

Возможности спектрометра с двумя Ge(Li)-детекторами можно рассмотреть на примере исследования спектров совпадений  $\gamma$ -лучей  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{75}\text{Se}$  и  $^{152}\text{Eu}$ . На рис.9 показан одиночный спектр  $\gamma$ -лучей

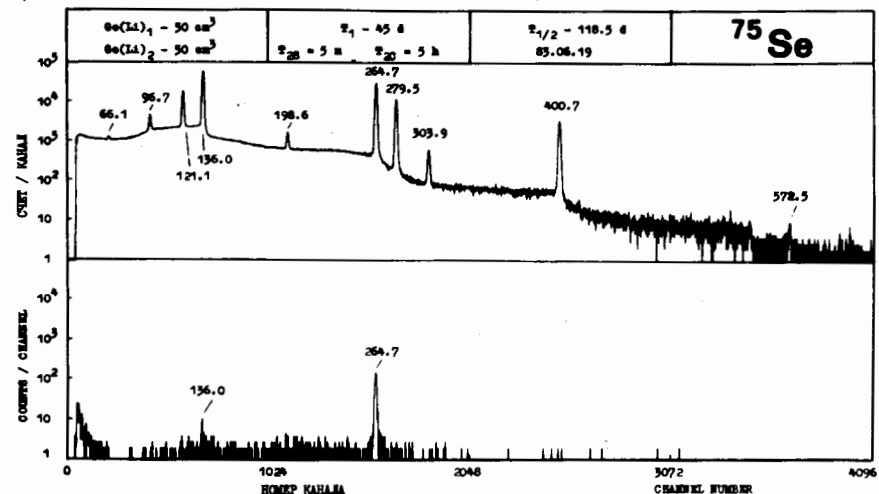


Рис.10. Одиночный спектр и спектр совпадений с  $\gamma$ -квантами 136,0 кэВ при распаде  $^{75}\text{Se}$ .

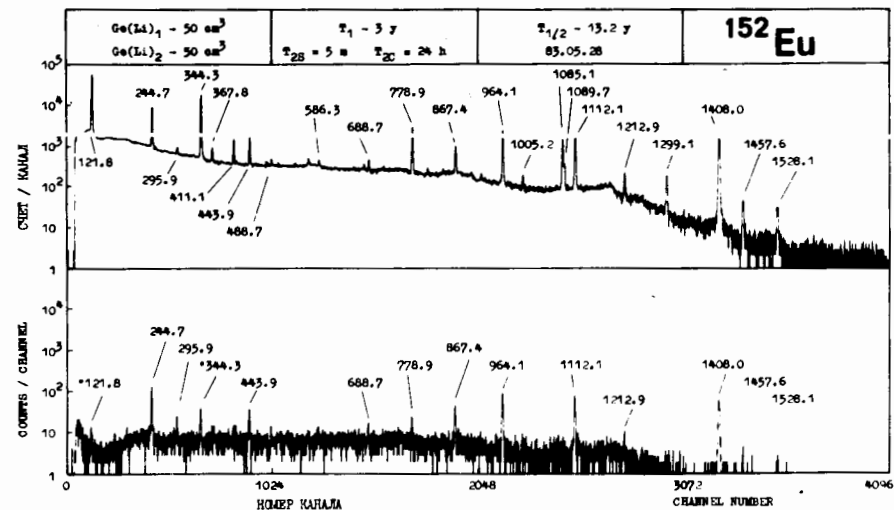


Рис.11. Одиночный спектр и спектр совпадений с  $\gamma$ -квантами 121,8 кэВ при распаде  $^{152}\text{Eu}$ .

$^{60}\text{Co}$  /верхняя часть/ и спектр совпадений с  $\gamma$ -квантами 1332 кэВ /нижняя часть/. Для большей наглядности подавления пика 1332 кэВ в ответном спектре фрагменты участка спектра 1173 и 1332 кэВ приведены в линейном масштабе. На рис.10 продемонстрированы возможности спектрометра в области низких энергий. На верхней

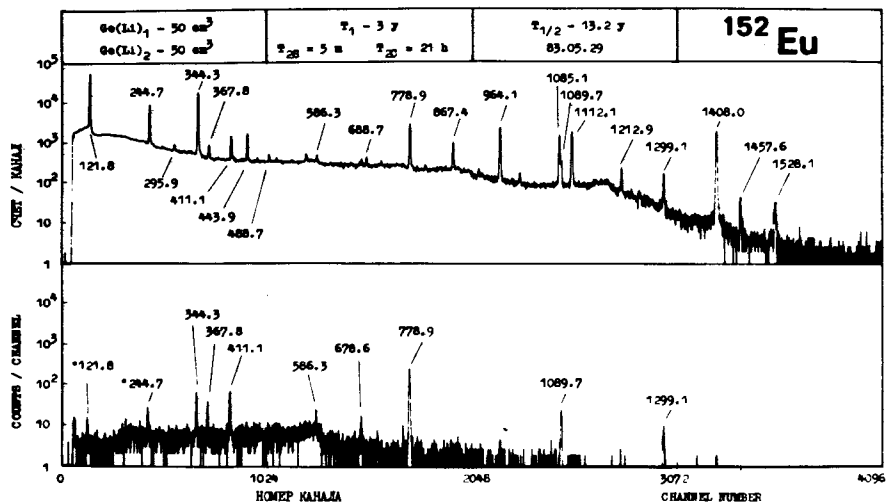


Рис.12. Одиночный спектр и спектр совпадений с  $\gamma$ -квантами 344,3 кэВ при распаде  $^{152}\text{Eu}$ .

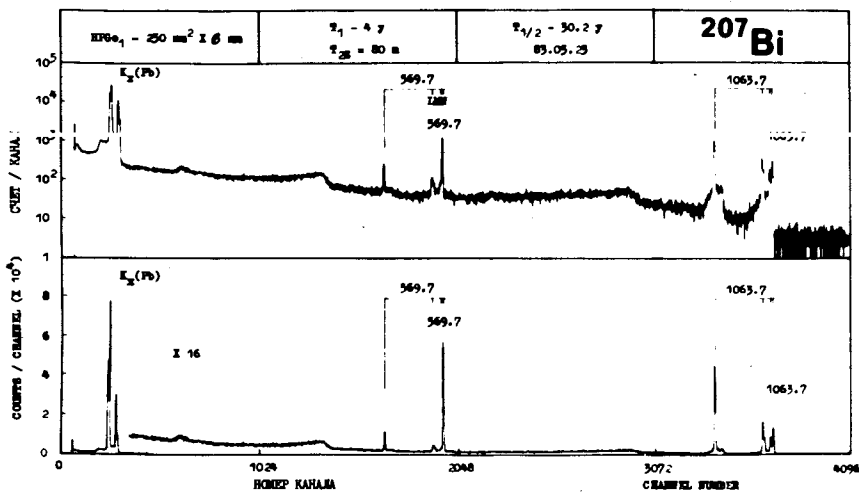


Рис.13. Одиночный спектр  $^{207}\text{Bi}$  в линейном и логарифмическом масштабе, полученный на первом HPGe-детекторе.

части рисунка показан одиночный спектр  $^{75}\text{Se}$ , на нижней - спектр совпадений с  $\gamma$ -квантами энергии 136,0 кэВ. На рис.11 и 12 представлены спектры совпадений при распаде  $^{152}\text{Eu}$ , имеющего две различные ветви распада:  $^{152}\text{Eu} \rightarrow ^{152}\text{Sm}$  и  $^{152}\text{Eu} \rightarrow ^{152}\text{Gd}$ . Путем измерения совпадений с наиболее интенсивными  $\gamma$ -переходами обеих ветвей распада /121,8 кэВ - рис.11; 344,3 кэВ - рис.12/ по-

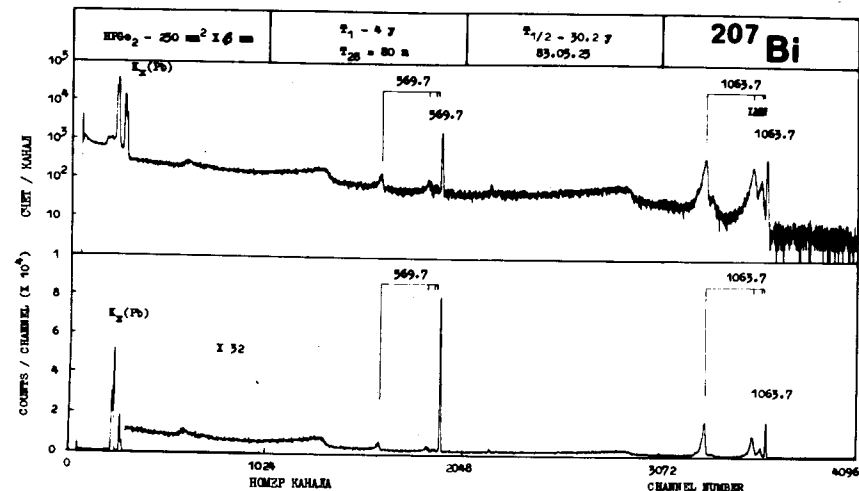


Рис.14. Одиночный спектр  $^{207}\text{Bi}$  в линейном и логарифмическом масштабах, полученный на втором HPGe-детекторе.

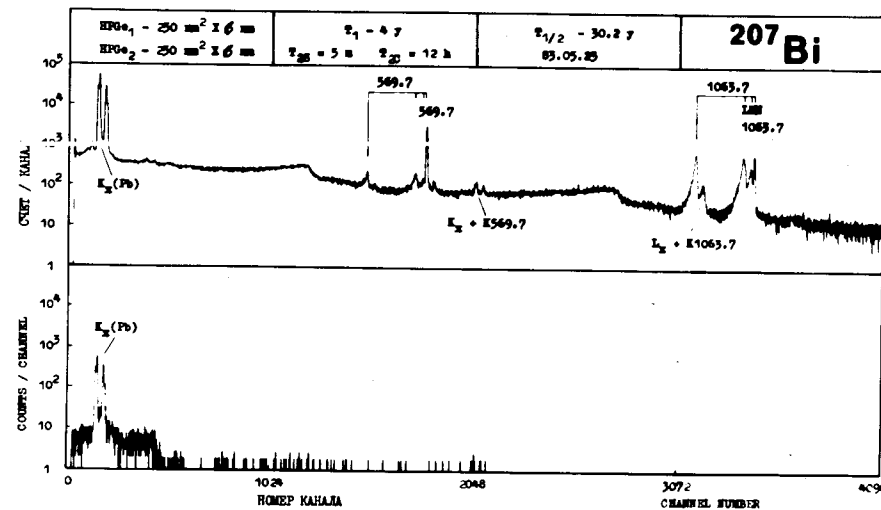


Рис.15. Одиночный спектр и спектр совпадений с ЭВК K1063,6 кэВ при распаде  $^{207}\text{Bi}$ .

лучены аппаратные спектры, содержащие переходы только одной из ветвей. В верхних частях обоих рисунков показаны одиночные спектры  $\gamma$ -лучей  $^{152}\text{Eu}$ . В спектрах совпадений звездочками помечены переходы, регистрация которых осуществлена за счет случайных совпадений.

Возможности спектрометра с двумя HPGe-детекторами можно рассмотреть на примере исследования распада  $^{207}\text{Bi}$ : на рис.13 и 14 приведены спектры излучений, полученные на каждом из детекторов. Разрешение второго HPGe<sub>2</sub>-детектора при регистрации электронов /см. рис.14/ несколько хуже, что связано с влиянием подложки источника - он изготовлен испарением  $^{207}\text{Bi}$  на майларовой подложке (900 мкг/см<sup>2</sup>) и размещен лицом к детектору HPGe<sub>1</sub>. Пики суммирования импульсов /например,  $K_{\alpha} + K569,7$ ;  $L_{\alpha} + K1063,7$ / связаны с малым расстоянием /<2 мм/ источник-детектор. Спектр совпадений излучений с электронами внутренней конверсии K1063,6 кэВ приведен на рис.15.

Авторы благодарят проф. К.Я.Громова, В.Г.Чумина и И.Ф.Учеваткина за интерес к данной работе; Б.П.Осипенко, Я.Юрковского и Ю.Б.Гурова за изготовление ППД; В.А.Антюхова и А.В.Стахина за участие в разработке регистрирующей части спектрометра; С.Н.Яшина за разработку программ сортировки спектров, а также сотрудников механических мастерских Лаборатории ядерных проблем за изготовление специальных криостатов и держателей ППД.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бруданин В.В. и др. ОИЯИ, 6-82-23, Дубна, 1982.
2. Вылов Ц. и др. ЭЧАЯ, 1978, т.9, вып.6.
3. Гонусек М. и др. ОИЯИ, 13-12422, Дубна, 1979.
4. Антюхов В.А., Журавлев Н.И., Синаев А.Н. ОИЯИ, P10-80-312, Дубна, 1980.
5. Антюхов В.А. и др. ОИЯИ, 10-80-650, Дубна, 1980.
6. Сидоров В.Т., Синаев А.Н., Чуринов И.Н. ОИЯИ, P10-12481, Дубна, 1979.
7. Вьонг Дао Ви и др. ОИЯИ, 10-81-755, Дубна, 1981.
8. Журавлев Н.И. и др. ОИЯИ, 10-9479, Дубна, 1976.
9. Антюхов В.А. и др. ОИЯИ, 10-12912, Дубна, 1979.
10. Митчелл А. и др. Методы исследования схем распада. В кн.: Альфа-, бета- и гамма-спектроскопия. Атомиздат, М., 1968, вып.1.
11. Вылов Ц. и др. Спектры излучения радиоактивных нуклидов. ФАН, Ташкент, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 октября 1983 года.

Бруданин В.В. и др.

13-83-747

Спектрометр для трехмерных амплитудно-временных измерений

Описывается спектрометр для трехмерных амплитудно-временных измерений излучений радионуклидов, созданный на базе двух Ge(Li)- или HPGe-детекторов, размещенных в одном криостате. Аналоговая часть спектрометра собрана из блоков фирм ORTEC и POLON, цифровая - из блоков в стандарте CAMAC. В состав блоков входят многоканальный анализатор и микро-ЭВМ. Система обеспечивает запись в буферном накопителе 12-разрядных кодов информации с трех АЦП /A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, t/ и 4-разрядных признаков принадлежности кода данному тракту. После заполнения буферов информация переписывается на магнитную ленту. Спектрометр может регистрировать до 1000 событий в секунду. Дальнейшая обработка информации проводится на ЭВМ ЕС-1010, СМ-4, ЕС-1040.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Brudanin V.V. et al.

13-83-747

Spectrometer for Three-Dimensional Amplitude-Time Measurements

A spectrometer for three-dimensional amplitude-time measurements of nuclide radiation created on the base of two Ge(Li) or HPGe-detectors, placed in one cryostat is described. The analog part of the spectrometer is made of ORTEC and POLON electronic circuits, the digital part, including a multichannel analyser and a microcomputer is made of electronic circuits in CAMAC standard. The system provides for recording of twelve-bit code of information from three analog-to-digital converters /A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, t/ and four-bit tags of three codes in a buffer storage. When a buffer is filled up, information is tape-recorded. The spectrometer provides up to 1000 events per second registration. Further data processing is made using the EC-1010, SM-4, EC-1040 computers.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой