

94-394



объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

P13-94-394

В.И.Фоминых, Я.Ваврышук¹, Г.В.Веселов²,
К.Я.Громов, М.Левандовски¹, А.Потемпа³,
Ж.Сэрээтэр, М.Б.Юлдашев

СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ
КОРОТКОЖИВУЩИХ НУКЛИДОВ

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

¹УМКС, Люблин
²СПБУ, Санкт-Петербург
³ИЯФ, Краков

Экспериментальные исследования свойств короткоживущих нуклидов в on-line режиме требуют спектрометрических установок, обеспечивающих одновременную регистрацию всех излучений, испускаемых радиоактивным ядром, анализа их энергий, временных распределений и пространственных корреляций. Этого можно достичь применением сложных и дорогих многодетекторных систем в сочетании с многопараметрическими системами накопления и анализа экспериментальных данных. Из-за финансовых ограничений чаще всего строятся более простые установки, нацеленные на решение ограниченного круга задач.

В настоящей работе описана спектрометрическая установка для on-line измерений одномерных спектров и спектров трехмерных ЕЕ γ -совпадений α -, β - и γ -излучений короткоживущих нуклидов, получаемых на экспериментальном комплексе ЯСНАПП-2 [1]. Спектрометр создан в результате объединения и реконструкции установки ЭЛГА [2] и спектрометра УМКС [3].

Комплекс ЯСНАПП-2 работает в линию с выведенным пучком протонов с $E_p = 660$ МэВ фазотрона ОИЯИ. Облучаемая протонами вольфрамовая мишень находится в ампуле термоэмиссионного источника электромагнитного масс-сепаратора. Образующиеся в мишени, в результате реакции глубокого расщепления ядер W, продукты разделяются по массам и выводятся из масс-сепаратора по 4 ионопроводам, на которых размещаются экспериментальные установки. Описываемая установка располагается на 2-м ионопроводе (рис. 1).

Радиоактивные ионы в ее приемном устройстве внедряются и накапливаются в Al-подложках, выполненных в виде монет, которые после накопления радиоактивности транспортируются к детекторам излучений. Для этого используется устройство от установки УМКС [3], работающее по принципу монетного автомата и обеспечивающее эффективную регистрацию α -, β - и γ -излучений с использованием полупроводниковых и сцинтилляционных детекторов.

Система управления и накопления данных построена на базе ПЭВМ AT-386 DX, связанной сетью Ethernet с ЭВМ SUN по протоколу PCNFS. По предварительно введенной программе ПЭВМ обеспечивает в каждом измерительном цикле:

- включение-выключение пучка протонов фазотрона,

- управление пучком ионов масс-сепаратора,
- управление перемещением А1-подложек,
- измерение спектров излучений с использованием 5 амплитудно-цифровых преобразователей (АЦП), в том числе в режиме трехмерных EEt-совпадений.

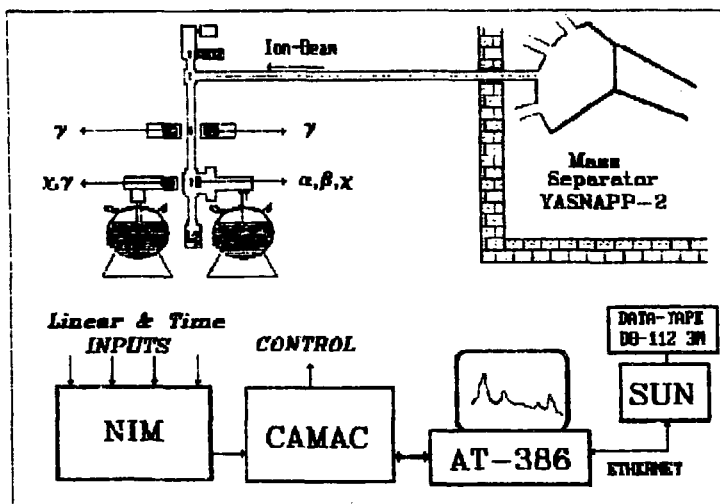


Рис. 1. Блок-схема спектрометрической установки

Для иллюстрации основных характеристик и возможностей установки приводятся примеры выполненных на ней физических измерений.

Описание спектрометрической установки и режимов работы

Устройство транспортировки активности. Эскиз конструктивного исполнения приемного устройства, обеспечивающего автоматическую подачу А1-подложек к месту внедрения радиоактивных ионов и перемещение их в измерительные позиции представлен на рис 2.

Работа транспортного устройства начинается включением мотора (М), связанного с ножом-толкателем (Р) через редуктор оборотов и устройство, преобразующее вращательное движение мотора в поступательные (вверх-вниз) движения ножа-толкателя. А1-подложки

диаметром 18 мм и толщиной 0.5 мм предварительно заправляются в магазин. Их максимальное количество — 400 шт. Нож-толкатель при движении вниз перемещает подложку, прижатую с помощью пружины к стенке транспортного канала, освобождая ее в конечной точке от давления пружины. После этого нож-толкатель возвращается в верхнее исходное положение. Введенная в канал подложка под действием силы тяжести свободно падает и останавливается введенным в канал тонким стержнем в позиции (А) внедрения радиоактивных ионов. По истечении заданного времени стержень убирается с помощью электромагнита (СР), освобождая подложке движение вниз до следующего стержня в первую измерительную позицию (В). Аналогичным образом происходит перемещение ко второй измерительной позиции (С) и по окончании измерения — ее сброс в сборник измеренных подложек (К), с защитой из РЬ для уменьшения фона. Предусмотрена возможность перемещения подложек во вторую измерительную позицию без остановки в первой, а также накопления активности на очередной подложке во время измерений предыдущей.

Верхняя (первая) измерительная позиция (В) предназначена для корреляционных измерений γ -спектров. При этом детекторы размещаются вокруг Al-трубы, диаметром 40 мм. В нижней позиции (С) имеется камера, в которой устанавливаются два детектора: один в вакууме, со стороны активной поверхности имплантированной подложки (предназначенного для регистрации α или β^+ или электронов внутренней конверсии) и другой, вне вакуума, для регистрации χ и γ -лучей. Минимальное расстояние детекторов от подложки составляет 2 и 4 мм соответственно. Время, необходимое для перемещения подложек от места имплантации до нижней измерительной позиции, — около 0.5 сек. Имеется возможность установки γ -детектора и в позиции (А).

Детекторы излучений. В зависимости от решаемой задачи в установке используются как полупроводниковые, так и сцинтилляционные детекторы ядерных излучений. Последние, в основном, при измерениях времен жизни ядерных состояний.

Измерения α -спектров проводятся с помощью поверхностно — барьерных Si(Au)-детекторов, устанавливаемых в вакуумной камере (С позиция). Имеются детекторы, изготовленные в НЭОЯС и РК ЛЯП ОИЯИ (\otimes 12-15 мм, FWHM = 18-20 кэВ на линии 5499 кэВ ^{238}Pu) и

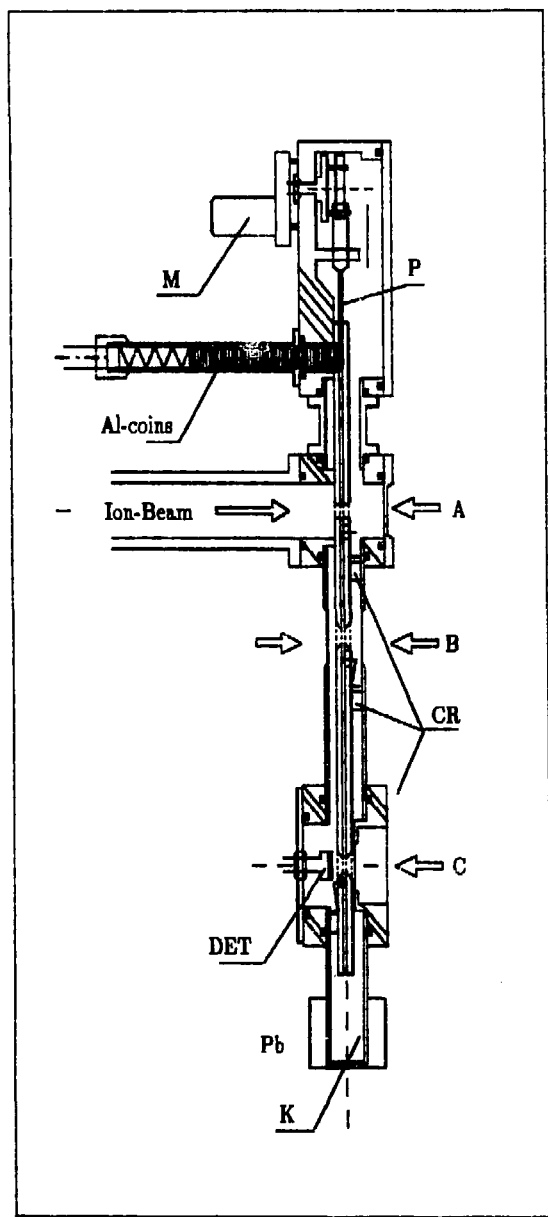


Рис. 2. Эскиз устройства транспортировки Al-подложек с имплантированной активностью.

детектор производства фирмы CANBERRA, типа PD-100-12-300-AB (FWM=12 кэВ).

Для регистрации β -частиц используется HPGe-детектор: \varnothing 16 мм, толщина 9 мм (объем 2 см³) и FWM=15 кэВ для электронов с E_{β} = 0.6 и 2 МэВ. Входное окно криостата изготовлено из Ti, толщиной 12 мг/см². При измерении времен жизни ядерных состояний методом задержанных β - γ - или e - γ -совпадений полупроводниковый детектор электронов заменяется тонким (0.2 - 4.0 мм) пластическим сцинтиллятором типа NE 111, соединенным с ФЭУ типа XP-2020Q через оптическое окно толщиной 2 мм.

Для гамма-спектрометрии используются: Ge(Li)-детектор, с чувствительным объемом 50 см³ и энергетическим разрешением 2.5 кэВ для $E=1.33$ МэВ, изготовленный в НЭОЯС и РК ЛЯП, а также HPGe фирмы CANBERRA типа GMX 2018 с чувствительным объемом 84 см³, и разрешением 1.8 кэВ. В ряде экспериментов для регистрации χ -лучей использовался указанный выше HPGe-детектор, с чувствительным объемом 2 см³, и FWM= 0.8 кэВ для квантов с $E=122$ кэВ. Имеется также рентгеновский Si(Li)-детектор с входным окном из бериллия.

При измерении времен жизни ядерных состояний методом задержанных совпадений используются сцинтилляционные головки с ФЭУ типа XP-2020Q и набором сцинтилляторов BaF₂ и NE 111 разных размеров. Упаковка кристаллов BaF₂ состоит из двух, рассеивающих свет сцинтилляции слоев пленки из молекулярного тефлона, толщиной 0.1 мм, намотанного на отполированную, чистую поверхность кристалла и 1 мм слоя обычного тефлона для крепления хрупкого кристалла в Al-оправке. В такой упаковке имевшиеся у нас кристаллы BaF₂ производства BDH Chemicals Ltd, размером \varnothing 38 x 25 мм в сочетании с ФЭУ XP 2020Q обеспечивают при регистрации гамма-квантов с $E=1.33$ МэВ энергетическое разрешение 6.8% и временное FWM < 1 нсек (с CF-формирователями типа ORTEC 473A). Нами замечено, что обмотка пластических сцинтилляторов NE 111 такой тефлоновой лентой приводит к большему увеличению амплитуды импульсов с ФЭУ при регистрации γ -квантов, чем при использовании стандартной краски.

Спектрометрическая и временная электроника. Для усиления и формирования импульсов, как правило, используются спектрометрические

и временные блоки производства фирм ORTEC и CANBERRA, в стандарте NIM. Все АШП типа КА-007 (на 4096 каналов), производства ЛЯП ОИЯИ [4] выполнены в стандарте КАМАК. При измерении β^+ -спектров используется режестор наложений импульсов типа POLON-1404.

Система управления экспериментом и накоплением данных. На рис 3 представлена блок-схема системы управления и накопления данных, выполненная на базе ПЭМ AT-386DX и включающая:

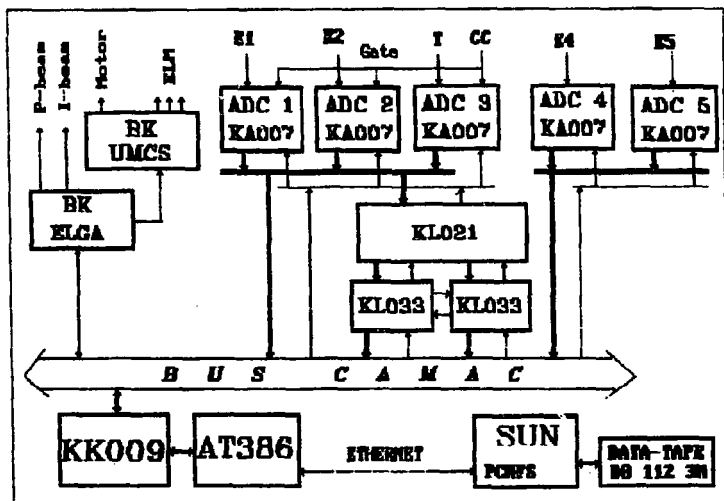


Рис. 3. Схема управления и накопления экспериментальных данных.

- ПЭМ AT 386 DX-40/387 (4 МВ, 120 МБ,), включенную в сеть ETHERNET;
- блок БК-ЭЛГА [5], для управления пучками протонов и ионов,
- блок управления перемещением А1-подложек;
- 5 АШП, для формирования амплитудных спектров;
- блок управления многомерными измерениями КЛ-021 [6];
- 2 буферных накопителя КЛ-033 [7], по 4К x 16 бит каждый.
- контроллер крейта КАМАК типа КК-009 [8] для ПЭМ.

Сеть ETHERNET используется в экспериментах, связанных с накоплением большого объема информации (≥ 3 МБ), для передачи данных со скоростью 270 кБ/сек) на ЭМ SUN, по протоколу PCNFS с

последующей их записью на магнитную ленту типа D8-112 8 мм DATA TAPE (емкость 5 Гб) по каналу EXAVUTE 8500 Helical Scan.

Каждый эксперимент начинается запуском предварительно составленной и введенной в ПЭВМ АТ-386 соответствующей программы измерения, включающей параметры:

- время облучения W-мишени протонами;
- время собирания ионов на Al-подложке;
- время измерения в первой позиции;
- время измерения во второй позиции;
- количество циклов измерений;
- коэффициенты калибровки по энергии для всех АЩП.

Кроме этого, при измерении EEt-совпадений задаются данные о расположении цифровых окон в спектрах.

Предусмотрены две основные конфигурации системы накопления данных. Первая - предназначена для параллельных, независимых друг от друга измерений от 1 до 5 одиночных спектров с разбиением времени экспозиции для каждого на заданные интервалы и записью информации на виртуальный диск (ВД) ПЭВМ, емкостью 3 МБ. Каждый АЩП передает информацию непосредственно через магистраль КАМАК и контроллер КК-009 в ПЭВМ. На виртуальном диске для каждого АЩП и каждого временного интервала зарезервированы отдельные участки памяти емкостью 8 кБ. Передача кодов производится с АЩП, выставившего сигнал LAM. При этом мертвое время каждого АЩП определяется по просчетам при регистрации - параллельно с измеряемым спектром - импульсов генератора стабильной частоты и амплитуды. Вторая конфигурация обеспечивает измерение спектров трехмерных EEt-совпадений и двух одномерных спектров в одном временном интервале. При этом первые три АЩП включены в режим совместного управления импульсами быстрых совпадений, вырабатываемыми время-амплитудным преобразователем ORTEC 467. Обычно первые два АЩП регистрируют амплитудные спектры совпадений от двух детекторов, а третий - временной спектр время-амплитудного преобразователя. С помощью 4-го и 5-го АЩП, непосредственно связанных с магистралью КАМАК, можно регистрировать одиночные энергетические спектры. Информация о совпадениях в виде кодов от трех первых АЩП, составляющих 48-битные слова, с помощью блока

КЛ-021 последовательно записывается в один из двух буферных накопителей КЛ-033 емкостью 8 кБ. После его заполнения (1365 совпадений) производится автоматическое переключение накопления во второй буферный накопитель, а информация с первого передается через магистраль КАМАК в ПЭВМ, где записывается на виртуальный диск в виде файла с очередным номером. Параллельно с этой записью предусмотрена возможность автоматической сортировки информации по цифровым окнам (до 40 в одном из энергетических спектров и 2 на временном) и формирования спектров истинных совпадений (путем вычета случайных совпадений при наличии 2-х цифровых окон во временном спектре: одно на пике истинных совпадений и другое на участке спектра случайных совпадений). Максимальное число передач информации из буферных накопителей, определяемое емкостью созданного виртуального диска, не может превышать $N=200$. Измерения прерываются или при достижении числа N или в любое другое время по желанию экспериментатора.

После окончания набора информации производится упаковка данных (коэффициент сжатия $\cong 0.6$) в отдельный файл, который записывается или на твердый диск ПЭВМ, или по сети ETHERNET в ЭВМ SUN, с возможностью ее хранения на магнитной ленте типа D8-112 DATA TAPE 3M. Сортировка полного объема накопленной информации EEt-совпадений проводится по окончании эксперимента. Регистрация трехмерных EEt-совпадений имеет высший приоритет по отношению к регистрации одномерных спектров. Мертвое время при регистрации совпадений определяется только их интенсивностью и не зависит от числа установленных цифровых окон, так как сортировка данных производится во время их накопления в другую буферную память.

В случае измерений времен жизни методом задержанных совпадений цифровые окна устанавливаются на обоих энергетических спектрах, не более 6 - в каждом.

Как в первой, так и во второй конфигурации на экран дисплея выводится информация о ходе эксперимента. Можно также проводить предварительную обработку любого измеряемого спектра.

Примеры физических измерений

Альфа-распад ^{154}Tm [9]. С целью уточнения схемы α -распада изомеров ^{154}Tm ($T_{1/2} = 8.1$ и 3.5 сек) измерялся α -спектр короткоживущих изотопов с $A=154$, получаемых на комплексе ЯСНАПП-2. Время облучения вольфрамовой мишени и накопления радиоактивных ионов с $A=154$ составляло 16 с. Измерения начинались сразу после сброса А1-подложки в нижнюю позицию и продолжались в 4 временных интервалах по 4 с каждый. Было использовано 800 А1-подложек. Одновременно измерялся спектр совпадений с γ -квантами, которые регистрировались BaF_2 -сцинтиллятором. В полученном α -спектре (рис. 4) явно проявляются интенсивные α -линии, связанные с распадом в основное состояние: двух изомеров ^{154}Tm , ^{154}Er (3 мин), ^{154}Ho (12 мин), а также изомера ^{154}Yb (0.42 с).

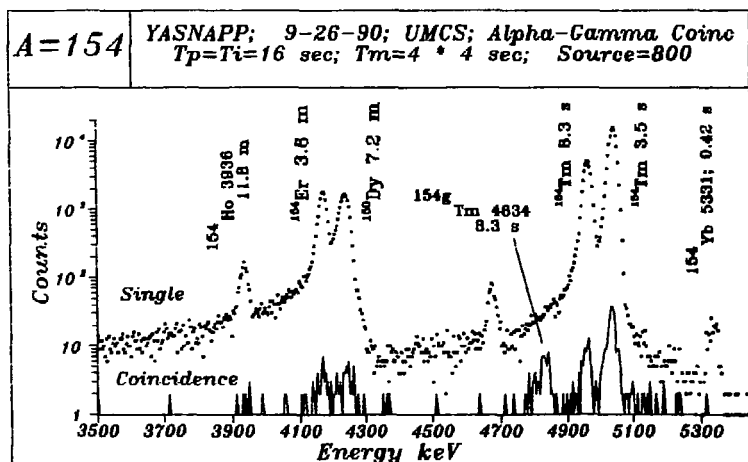


Рис 4. Одиночный альфа-спектр изотопов с $A=154$ и альфа-спектр совпадений с гамма-квантами с $E=130 \pm 30$ кэВ.

В спектре совпадений с γ -квантами ($E_\gamma = 130 \pm 30$ кэВ), рис. 4-Coincidence, обнаружена новая α -линия с $E_\alpha = 4834$ кэВ и $I_\alpha = 2.7(7) \times 10^{-3} I_\alpha(E_\alpha = 4957 \text{ кэВ})$, которую мы относим к распаду ^{154m}Tm (8.1 с) на возбужденное состояние ^{160}Ho .

Определение граничной энергии позитронного спектра ^{142}Eu
 ($T_{1/2} = 2.4$ сек) [10]. Эта задача решалась с помощью HPGe-детектора с Tl-окном. Время облучения мишени и накопления радиоактивных ионов с $A=142$ составляло 2 с. Измерения β^+ -спектров проводились в 6 временных интервалах по 2 с каждый. Было измерено 100 источников. Измеренные позитронные спектры исправляются на функцию отклика, учитывающую эффекты суммирования импульсов позитронов с импульсами от аннигиляционного излучения, обратное и боковое рассеяние позитронов в детекторе [11]. Граничная энергия определяется по графику ферми-Кюри (рис 5).

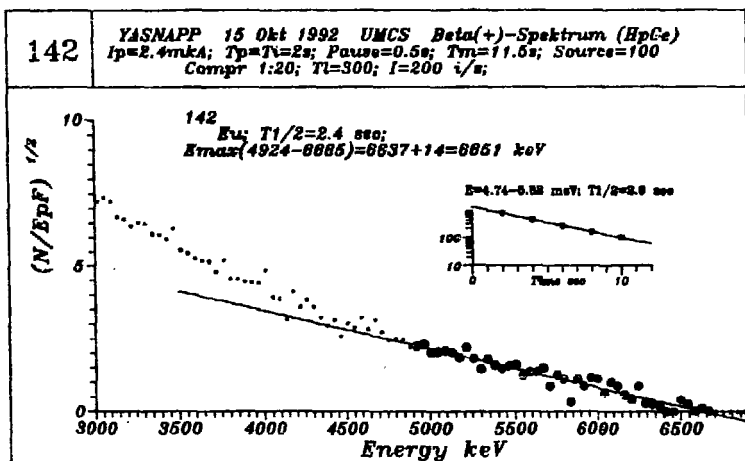


Рис 5. Участок графика ферми-Кюри изотопа ^{142}Eu , $T_{1/2} = 2.4$ сек.

Применение спектрометра в данном режиме позволило измерить граничные энергии позитронных спектров для 24 изотопов (из них 14 впервые) в диапазоне масс $A=139-164$ [10].

Исследование спектров α - γ -совпадений при распаде ^{221}Fr [12]

Альфа-гамма-совпадения при распаде ^{221}Fr (4.8 мин) изучались с использованием источника ^{225}Ac (10 дн). Для регистрации α -частиц применялся Si(Au)-детектор CANBERRA PD-100-12-300-AB, для регистрации γ -лучей - HPGe-детектор CANBERRA GMX 2018. Сортировка по цифровым окнам E_{α} , E_{γ} или t проводилась после окончания эксперимента.

На рис 6 а представлен участок интегрального спектра γ -лучей,

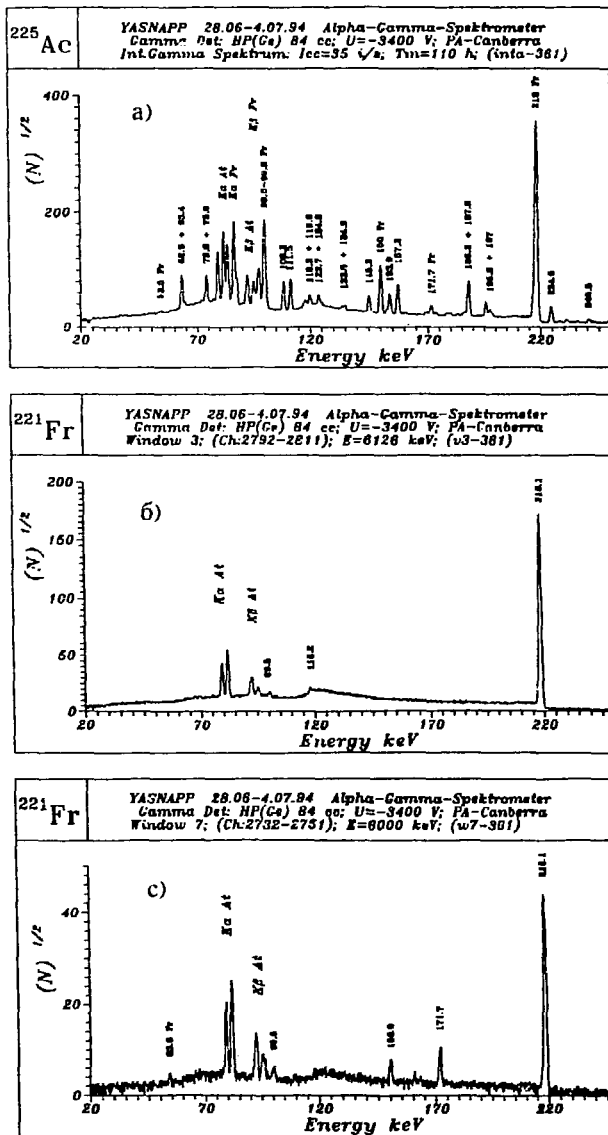


РИС 6. а) Интегральный гамма-спектр альфа-гамма-совпадений при распаде ^{225}Ac .

б) гамма-спектр совпадений с окном $E_{\alpha}=6126 \pm 20 \text{ КэВ}$.

в) гамма-спектр совпадений с окном $E_{\alpha}=6000 \pm 20 \text{ КэВ}$.

совпадающих с α -частицами цепочки ^{225}Ac . Сложный спектр обусловлен разрядкой уровней, заселяемых при распаде ^{225}Ac (10 дн) и ^{221}Fr (5 мин).

Тот же участок спектра при совпадениях в окне $\alpha_{218}^{221}\text{Fr}$ ($E_{\alpha} = 6126 \pm 20$ кэВ) показан на рис. 66. Наблюдаются интенсивные совпадения с γ -лучами 218.1 кэВ и совпадения с K_{α} и K_{β} x -лучами At, возникающими при внутренней конверсии перехода 218.1 кэВ и слабые совпадения с γ -лучами 99.5 и 118.2 кэВ (каскад с уровня 218.1 кэВ через уровень 99.5 кэВ).

На рис. 66 представлен тот же участок спектра в окне $E_{\alpha} = 6000 \pm 20$ кэВ. Пик γ -218.1 кэВ связан с совпадениями с "хвостом" интенсивной линии $\alpha_{218}^{221}\text{Fr}$ ($E_{\alpha} = 6126$ кэВ). Отчетливо проявляются совпадения с γ -лучами 171.7 и 53.5 кэВ с уровня 271 кэВ ^{217}At ($E_{\alpha} = 6075$ кэВ) и γ -лучами 150.0 и 96.1 кэВ с уровня 368 кэВ ^{217}At ($E_{\alpha} = 5980$ кэВ).

Измерения α - γ -совпадений позволяют уверенно рассортировать по уровням возникновения γ -лучи с интенсивностью до 0.01% на распад и менее.

Измерение времен жизни ядерных состояний при распаде ^{149}Tb . Приводятся результаты контрольных измерений времен жизни возбужденных состояний в ядре ^{149}Gd , образующегося при β -распаде ^{149}Tb . Измерения проводились в off-line-режиме методом задержанных γ - γ -совпадений с использованием двух BaF_2 -сцинтилляторов ($\varnothing 38 \times 25$ мм). Для уменьшения загрузки детекторов и эффектов суммирования импульсов применялись лицевые фильтры: 1 мм Cd 3 мм Pb 1 мм Gd в детекторе, регистрирующем высокоэнергетические γ -кванты и 1 мм Gd в другом детекторе. На рис. 7 а показаны интегральные энергетические спектры совпадений, с установленными цифровыми окнами и два временных спектра задержанных совпадений (рис. 7б), характеризующих распад возбужденных состояний ^{149}Gd с энергиями 165 и 352 кэВ. Вычисленные из них значения $T_{1/2}$ обоих состояний находятся в хорошем согласии с литературными данными.

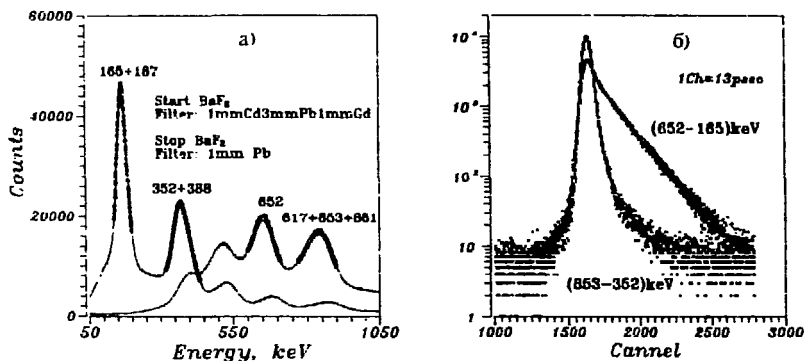


Рис 7. а) Интегральные $\gamma\gamma$ -спектры совпадений при β -распаде ^{149}Tb . (подсвечены установленные цифровые окна).

б) Временные спектры совпадений цифровых окон

(652) - (165+187) и (817+853+861)-(352+388) кэВ с γ -квантами.

Заключение

Многоцелевая направленность описанного спектрометра обеспечивается возможностью при подготовке к сеансу измерений простыми способами изменять его конфигурацию, параметры электроники и используемые детекторы ядерных излучений. Спектрометр в ходе его разработки систематически использовался в экспериментах. Полученные в on-line режимах измерений физические результаты опубликованы в работах [9-11,13-15]. Опыт проведения on-line экспериментов на комплексе ЯСНАПП-2 в 1990-94 гг. показал эффективность разработанной установки с точки зрения существенной экономии времени использования ускорителя и масс-сепаратора. В 1990-94 гг. проведен ряд off-line экспериментов. Полученные экспериментальные результаты опубликованы в [12,16,17].

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код гранта № 94-02-04828а) и Университета МКС. в Лублине (РП). Авторы выражают глубокую благодарность В.Б. Бруданину, В.М. Горожанкину, В.Г. Калининкову, О.И. Кочетову и Г.В. Савчуку за полезные обсуждения и консультации, М. Яницкому за помощь в монтаже спектрометра в комплексе ЯСНАПП-2.

Литература

1. Kalinnikov V.G., Gromov K.Ya., Yanicki M., Yushkevich Yu.V., Potempa A.V., Egorov V.G., Bystrov V.A., Kotovski N.Yu., Evtisov S.V.
Experimental complex to study nuclei far from the beta stability line-ISOL-facility YASNAPP-2. NIM B.70(1992) 62-68.
2. Арван З., Гуяш Я., Кибеди Т., Фенеш Т., Кузнецов В.В., Фоминых В.И., Лушински Р., Уткин В.А., Аликов Б.А., Махмудов И.С., Муминов Т.М.
Изменяемая установка ЭЛГА для исследования короткоживущих изотопов. Препринт ОИЯИ Р13-85-774, Дубна, 1985.
3. Левандовски М., Ваврышук Я., Говорек Т., Фоминых В.И., Гурняк В.
Многopараметрический спектрометр для on-line -измерений. Тезисы докл. 41-го Междунар. совещания по ядер. спектр. и структуре ат. ядра, Минск, С.-Пб: Изд-во СПбУ, 1991, с.426.
4. Антохов В.А., Вонг Дао Ви, Динель З., Журавлев В. Игнатъев С.В., Ле Зон Пхир, Нгуен Мань Занг, Сидоров В.Т., Синаев А.Н., Стахин А.А., Чурин И.Н.
Цифровые блоки в стандарте КАМАК (выпуск VIII).
Сообщения ОИЯИ 10-80-650, Дубна, 1980.
5. Лушински Р., Малахов Н.А., Фоминых В.И.
Микропроцессорная система управления для проведения экспериментов на установке ЭЛГА. Препринт ОИЯИ 13-85-947, Дубна, 1985.
6. Васильев Д., Ву Чунг Хьен, Журавлев Н.И., Игнатъев С.В., Саламатин А.В., Сидоров В.Т., Синаев А.Н., Стахин А.А., Чурин И.Н.
Цифровые блоки в стандарте КАМАК (выпуск XII),
Сообщения ОИЯИ Р1-84-860, Дубна, 1984.
7. Журавлев Н.И., Крайле Г., Опалек Т., Павлов А.П., Сидоров В.Т., Синаев А.Н., Стахин А.А., Чурин И.Н.
Цифровые блоки в стандарте КАМАК (выпуск XVI).
Сообщения ОИЯИ, Р10-88-937, Дубна, 1988.
8. Георгиев А., И.Н. Чурин.
Контроллер крейта КАМАК КК009 для персонального компьютера типа ПРАВЕЦ 16 и IBM PC/XT. Препринт ОИЯИ Р10-88-381, Дубна, 1988.

9. Fominich V.I., Gromov K.Ya., Yushkevich Yu.V., Kalinnikov V.G., Kuznetsov V.V., Lewandowski M., Osipenko B.P., Potempa A.W., Sereter Zh., Wawryszczuk J., Yuldashev M.B.
Alpha-Spectra of Short-lived Isotopes A=150-158.
Communication of JINR E6-92-228, Dubna, 1992
10. Веселов Г.В., Громов К.Я., Евтисов С.В., Елисеев С.С., Калинин В.Г., Кузнецов В.В., Потемпа А.В., Сэрээтэр Ж., Фоминых В.И., Юлдашев М.Б.
Определение энергий распада нейтронодефицитных ядер редкоземельных элементов в диапазоне масс A=139-164.
Сообщения ОИЯИ Р6-93-386, Дубна, 1993. Направлено в Изв. РАН, сер. физ.
11. Веселов Г.В., Громов К.Я., Потемпа А., Потемпв Я, Сергиенко В.А., Фоминых В.И., Юлдашев М.Б.
Метод определения энергии распада короткоживущих нуклидов в "on-line" экспериментах. Препринт ОИЯИ Р6-94-265, Дубна, 1994. Направлено в Изв. РАН, сер. физ.
12. Бутабаев Ю.С., Адам И., Громов К.Я., Елисеев С.С., Ниязов Р.А., Норсеев Ю.В., Фоминых В.И., Холматов А.Х., Цупко-Ситников В.В., Чумин В.Г., Юлдашев М.Б.
Исследования α - γ -совпадений при распаде ^{221}Fr . Препринт ОИЯИ Р6-94-173, Дубна, 1994. Направлено в Изв. РАН сер. физ.
13. Потемпа А.В., Афанасьев В.П., Ваврышук Я., Громов К.Я., Калинин В.Г., Котовский Н.Ю., Кузнецов В.В., Левандовски М., Сайдимов Я.А., Сэрээтэр Ж., Фоминых В.И., Чарнацки В., Шкевич Ю.В., Яницки М., Яссински А., Яхим М.
Изомерные состояния $h_{11/2}$ и $s_{1/2}$ в ^{155}Tm .
Изв. АН СССР, сер. физ. 1990, т. 54, 852-855.
14. Lewandowski M., Potempa A.W., Fominikh V.I., Gromov K.Ya., Jushkevich Ju.V., Kalinnikov V.G., Kotovskij N.Ju., Kuznetsov V.V., Raschkova N., Sajdimov Ja.A., Wawryszczuk J.
New ^{157}Lu isomer. Z.Phys. 1991, 340, 107-108 (1991).
15. Потемпа А.В., Громов К.Я., Ваврышук Я., Калинин В.Г., Кузнецов В.В., Левандовски М., Сэрээтэр Ж., Сайдимов Я.А., Фоминых В.И., Шкевич Ю.В., Юлдашев М.Б.
Исследование α -распада изомеров сферических ядер с $Z > 64$.
Изв. РАН, сер. физ., 56, № 5(1992), 39-45.

16. Ваврыщук Я., Потемпа А.В., Громов К.Я., Калинин В.Г., Мунинов Т.М., Сайдимов Я.А., Котовский Н.Ю., Сэрээтер Ж., Фоминых В.И., Юлдашев М.Б.
Бета-распад ^{147}Tb . Низкоспиновые состояния в ^{147}Gd .
Сообщения ОИЯИ Р6-93-275, Дубна, 1993.
17. Громов К.Я., Кузнецова М.Я., Норсеев Ю.В., Рухадзе Н.И., Фоминых В.И., Цупко-Ситников В.В., Чумин В.Г., Юлдашев М.Б., Бутабаев Ю.С., Ниязов Р.А.
Исследования (α - γ)-совпадений при распаде ^{225}Ac . Препринт ОИЯИ Р6-93-233, Дубна, 1993. Изв. РАН, сер. физ., т. 58, 1, с35-42, 1994

Рукопись поступила в издательский отдел
11 октября 1994 года.