

A-829

1

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P6 - 3773



Р.Арльт, С.Кадыкова, А.Калинин, В.Моисеева,
Г.Музиоль, М.Омельяненко, Ю.Прокофьев,
Б.Семенов, А.Синаев, Н.Чистов, Х.Штрусный,
Г.Эльснер

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОРОТКОЖИВУЩИХ
ИЗОТОПОВ НА ПУЧКЕ ПРОТОНОВ
СИНХРОЦИКЛОТРОНА ОИЯИ
И ИХ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

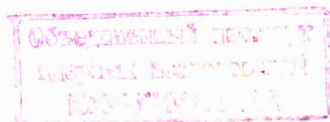
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1968

P6 - 3773

4240/3 чр.
Р.Арлт, С.Кадыкова, А.Калинин, В.Моисеева,
Г.Музиоль, М.Омельяненко, Ю.Прокофьев,
Б.Семенов, А.Синаев, Н.Чистов, Х.Штрусный,
Г.Эльснер

**УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОРОТКОЖИВУЩИХ
ИЗОТОПОВ НА ПУЧКЕ ПРОТОНОВ
СИНХРОЦИКЛОТРОНА ОИЯИ
И ИХ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**



1. В в е д е н и е

Для дальнейшего развития теории ядра необходимо накопление новых и более точных экспериментальных данных о сложных ядрах. Исследованные до сих пор ядра относятся преимущественно к полосе изотопов, расположенных около линии стабильности, т.е. к стабильным изотопам и изотопам с большим периодом полураспада. В последнее время все больший интерес физиков вызывает исследование изотопов, находящихся далеко от полосы стабильности, что позволит изучить известные в настоящее время физические эффекты и явления на более широком статистическом материале, а также может привести к открытию новых эффектов и явлений, особенно при исследовании изотопов, находящихся очень далеко от полосы стабильности^{/1,2/}. Хотя экспериментальное исследование ядер таких изотопов встречает ряд трудностей, связанных прежде всего с малыми величинами периодов полураспада и сечений образования, а также с большим значением энергии распада, обзор экспериментальных возможностей показывает, что эта задача может быть решена в настоящее время^{/3/}.

Синхроциклотрон Объединенного института ядерных исследований, ускоряющий протоны до энергии 680 Мэв, является мощным средством для получения изотопов, находящихся далеко от полосы стабильности в широком диапазоне значений Z и A ^{/4/}, как нейтронодефицитных в реакции глубокого расщепления, так и нейтроноизбыточных в реакции деления. В этой связи в настоящее время осуществляются планы создания установки для получения и спектрометрического исследования короткоживущих изотопов^{/4,5/}. Описываемая в настоящей работе установка, включающая мишень, устройство для ее транспортировки, а также методы приготовления радиоактивных препаратов, регистрации и обработки экспериментальных данных представляют собой первый шаг на пути осуществления этих планов, так как

созданная аппаратура позволяет производить исследования изотопов с периодом полураспада порядка 1 мин и больше. Эти изотопы относятся к классу изотопов, находящихся далеко от полосы стабильности.

2. Основные требования к аппаратуре

Для спектрометрического исследования короткоживущих изотопов требуется прежде всего измерение параметров спектров α , β^\pm , γ -излучений и конверсионных электронов в связи с чем к аппаратуре предъявляется ряд специфических требований.

Главным требованием при исследовании ядер изотопов, находящихся очень далеко от полосы стабильности, является такой режим работы, который обеспечивает быстрое непрерывное поступление атомов изучаемых ядер в измерительную аппаратуру^{/3/}. В нашем случае исследования ядер изотопов с периодом полураспада порядка минуты можно удовлетвориться периодическим поступлением атомов этих ядер с достаточно малым периодом повторения. При регистрации должно осуществляться суммирование получаемых спектров^{/6/}. Только таким образом возможно определить параметры изучаемых излучений с достаточной статистической точностью.

Вторым требованием является разделение продуктов реакций по Z и A . Это требование выдвигается и при изучении излучения долгоживущих изотопов; здесь же оно становится особенно важным. В связи с отсутствием в Лаборатории в настоящее время масс-сепаратора пока производится только химическое разделение (т.е. разделение по Z); опыт работы показывает, что это возможно при исследовании целого ряда изотопов с периодом полураспада, большим 1 мин^{/6,7/}. Но при этом необходимо получать изучаемый изотоп в оптимальных условиях, выбирая соответствующим образом вещество мишени, время облучения, способ и время химического выделения.

Особые требования предъявляются к детекторам излучения. Величина энергии β -распада возрастает с удалением от полосы стабильности. Для изотопов с периодом полураспада порядка 1 мин ожидаемые энергии β -распада больше 5 Мэв. Поэтому детекторы должны быть пригодны

для измерения столь высокоэнергетических β - и γ -излучений. Кроме того детекторы должны отличаться возможно большим значением светосилы при достаточно высоком значении энергетического разрешения. Последнее требование вызвано большим числом переходов и компонент, возникающих при распаде изотопов, особенно в условиях отсутствия разделения продуктов реакций по А.

Серьезные требования предъявляются и к радиоэлектронной регистрирующей аппаратуре. Вследствие быстрого распада основной части ядер короткоживущих изотопов активность будет сильно падать в течение короткого времени. Поэтому желательно использовать препараты с высокой начальной активностью, а, следовательно, спектрометрический тракт должен выдерживать большие загрузки без существенного ухудшения разрешающей способности.

Во многих опытах необходимо следить за спадом интенсивности наблюдаемых спектров в течение длительного времени с тем, чтобы оценить примеси других изотопов, определить период полураспада короткоживущих материнских изотопов по измерению сравнительно долгоживущих дочерних изотопов или исследовать короткоживущие дочерние изотопы, находящиеся в радиоактивном равновесии со сравнительно долгоживущими материнскими изотопами. Это влечёт за собой требование высокой временной стабильности спектрометрического тракта.

Измерение спада интенсивности наблюдаемых спектров требует последовательного снятия большого числа спектров практически без перерыва во времени на переход от регистрации одного спектра к другому, что приводит к требованию быстрого вывода информации из накопительных устройств или необходимости использования нескольких накопительных устройств.

Для детального спектрометрического исследования свойств ядер короткоживущих изотопов требуется большее число измеряемых спектров, чем при исследовании долгоживущих изотопов. Поэтому очень важно, чтобы обработка спектров производилась с помощью электронных вычислительных машин. Следовательно, информация из установки должна выводиться в виде, пригодном для быстрого ввода в вычислительную машину. Непосредственная связь типа "on line" установки с вычислительной машиной желательна, но не является необходимой.

Для того чтобы можно было оперативно менять условия проведения эксперимента, очень важно иметь возможность наблюдения регистрируемого спектра или отдельных его участков во время проведения опыта без прекращения регистрации поступающей информации. Обработку экспериментальных данных на вычислительной машине также целесообразно производить под непосредственным контролем экспериментатора с возможностью его вмешательства в ход обработки. Это позволяет экономно расходовать время работы вычислительной машины. Например, очень удобно применение метода "светового карандаша" при определении энергии γ -линий и их интенсивностей.

3. Блок схема установки

С учётом вышеуказанных требований была выбрана блок-схема установки, которая представлена на рис. 1. Облучаемая мишень устанавливается на внешнем протонном пучке синхроциклотрона. После облучения мишень при помощи пневмопочты быстро доставляется в специальное помещение для химического разделения элементов, а затем исследуемый препарат передается на измерение. В некоторых случаях облученная мишень сразу передается на измерение. Для регистрации излучения используются полупроводниковые, а иногда и сцинтилляционные детекторы. Импульсы с детекторов усиливаются и поступают на преобразователь амплитуды импульсов в код. Как правило, в спектрометрическом тракте применяется система стабилизации. Полученный код определяет канал в накопительном устройстве анализатора, в который должна быть записана информация. Информацию, находящуюся в накопительном устройстве, можно наблюдать на осциллографической трубке, и в случае необходимости вносить соответствующие коррективы в ход эксперимента. Из накопительного устройства анализатора информация может быть быстро передана в буферное накопительное устройство, после чего накопительное устройство анализатора сразу же можно использовать для дальнейших измерений. Буферное накопительное устройство имеет ту же структуру, что и накопительное устройство анализатора. Информация с буферного накопительного устройства может быть выведена

на цифropечатающее устройство или на магнитную ленту. При необходимости информацию на цифropечатающее устройство можно вывести и непосредственно с накопительного устройства анализатора. Магнитная лента переносится затем на другой магнитофон, и с него информация вводится в вычислительную машину. В настоящее время разрабатывается система непосредственной передачи информации из буферного накопительного устройства в вычислительную машину по кабельной линии. Обработка информации в вычислительной машине производится с помощью осциллографа со световым карандашом.

4. Изготовление и транспортировка источников

Облучение мишеней происходит на внешнем пучке протонов синхроциклотрона. В месте облучения энергия протонов составляет 660 Мэв, интенсивность пучка $\approx 4 \cdot 10^{11}$ протонов/сек. Мишень может быть в фольго- или порошкообразном виде, а также в виде раствора или суспензии, помещенных в тефлоновую ампулу с максимальным объемом 2,5 см³.

Процесс облучения мишени и ее перемещения с помощью пневмопочты контролируется электрическими сигналами на пульте управления. На транспортировку мишени от места облучения к месту химической обработки или прямо к детектору (75 м) требуется 5 сек^{/8/}. Применение пневмопочты также обеспечивает короткие интервалы между облучениями, делает возможным проведение наших опытов параллельно с другими, использующими протонный пучок, и, наконец, снимает необходимость пребывания экспериментатора в зале синхроциклотрона.

Образующиеся в широких диапазонах по Z и A продукты реакций глубокого расщепления или деления необходимо отделить от макроколичества вещества мишени и выделить отдельные элементы. Процесс химического выделения занимает время порядка минут для исследуемых нами элементов. В таблице I приводятся некоторые примеры, взятые из опыта последнего времени. Из данных таблицы видно, что разделение редкоземельных элементов требует наибольшего времени. Применение техники ДТРА — комплекса описывается в работе ^{/9/}.

После химического разделения радиоактивные вещества обычно поступают в виде раствора. Для измерения γ -спектров раствор переливается в тефлоновые сосуды объемом 3,5 см³. На эту процедуру требуется около 30 сек. Источники для измерения спектров конверсионных электронов и β^{\pm} -спектров изготавливаются при помощи испарения одной капли раствора на алюминиевые или слюдяные подложки "толщиной" 2 мг/см². Для этого необходимо около 1 мин. Транспортировка препаратов к месту измерения с помощью пневмопочты занимает около 3 сек. При измерении спектров излучения источник устанавливается на таком расстоянии от детектора, чтобы в момент начала измерения число импульсов в спектрометрическом тракте составляло максимально допустимое значение. На это требуется еще \approx 10 сек. Таким образом, время от окончания облучения до начала измерения имеет порядок 1 минуты (без учета времени, необходимого для химического разделения элементов).

5. Система детекторов и предусилителей

Детекторы выбирались, исходя из описанных выше основных требований к аппаратуре. Применение магнитных α - и β -спектрометров, рассчитанных на поканальное измерение спектров, в условиях периодического поступления в измерительную аппаратуру атомов изучаемых изотопов нецелесообразно, поскольку число необходимых облучений мишеней было бы очень большим. По этой же причине неэкономичным было бы и применение магнитных спектрографов, хотя они и являются многоканальными регистрирующими приборами.

Наиболее целесообразно ориентироваться на применение полупроводниковых и сцинтилляционных детекторов α -, β - и γ -излучения с достаточной толщиной чувствительного слоя. Наиболее широкое применение получили полупроводниковые детекторы типа Ge(Li) и Si(Li) из-за хорошего энергетического разрешения. Однако в тех случаях, когда толщина чувствительного слоя полупроводниковых детекторов оказывается недостаточной, применяются сцинтилляционные детекторы, например, при измерении малоинтенсивных высокоэнергетических переходов, при определении периодов полураспада различных изотопов по спаду интенсивности

наиболее интенсивных переходов или при определении граничной энергии β -спектров.

В таблицах 2 и 3 приведены характеристики применяемых детекторов типа $\text{Ge}(\text{Li})$ и $\text{Si}(\text{Li})$, соответственно. $\text{Ge}(\text{Li})$ детекторы сделаны в Физическом институте ядерных исследований в Ржеже (ЧССР), детекторы типа $\text{Si}(\text{Li})$ - в Центральном институте ядерных исследований в Россендорфе (ГДР) и Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Все полупроводниковые детекторы находятся в вакуумной камере и охлаждаются жидким азотом. Оптимальная температура для детекторов типа $\text{Si}(\text{Li})$ устанавливается с помощью металлических стержней различного диаметра, погружаемых одним концом в дьюар с жидким азотом. Радиоактивные препараты для измерения β -излучения и спектров конверсионных электронов вводятся в вакуумную камеру через шлюз, на что требуется около 30 секунд.

В сцинтилляционных детекторах используются кристаллы $\text{NaJ}(\text{Tl})$ размером 7,5 x 7,5 см и 8,0 x 8,0 см с энергетическим разрешением около 11% для энергии γ -линии 662 кэВ, а также кристаллы из антрацена размером 30 x 20 мм с энергетическим разрешением около 14,5% при энергии 625 кэВ.

С полупроводниковыми детекторами используются как ламповые, так и транзисторные предусилители. Ламповый предусилитель имеет емкостную обратную связь^{/10/}. Шум предусилителя при внешней емкости 24 пф составляет 3,2 кэВ при $\tau_{\text{диф}} = \tau_{\text{инт}} = 1$ мксек. Чувствительность предусилителя - 0,5 в/МэВ. В предусилителе предусмотрена возможность повышения его загрузочной способности^{/11,12/}. При скорости счёта до 5.000 импульсов в секунду разрешение спектрометрического тракта не ухудшается.

В транзисторном предусилителе^{/13/} первый каскад выполнен на полевом триоде типа 2 N3823. Шумовая характеристика этого предусилителя $\Delta_{\text{кэВ}}^{1/2} = 0,9 + 0,05 C$ (пф) при $\tau_{\text{диф.}} = \tau_{\text{инт}} = 1,5$ мксек. Входная динамическая емкость составляет 2000 пф. Чувствительность предусилителя 0,5 в/МэВ. Линейность выходной амплитуды сохраняется до 4 в.

В качестве основного усилителя с обоими предусилителями используются транзисторные усилители УСТ-1 и УСТ-2, разработанные в ОИЯИ^{/14/}.

6. Электронная регистрирующая система

Для регистрации измеряемых излучений используется электронная аппаратура центра накопления и обработки информации Лаборатории ядерных проблем^{/15,24/}, основой которого являются измерительные системы АИ-4096^{/16/} и АИ-16000^{/17/}.

При измерении спектров от сцинтилляционных детекторов применяются стандартные преобразователи амплитуды импульсов в код на 256 (или 512) каналов типа БАП-5^{-/18/}, входящие в комплект измерительных систем. Для улучшения стабильности может быть использована система стабилизации измерительной характеристики спектрометрического тракта, разработанная ранее в Лаборатории для временного спектрометра наносекундного диапазона^{/19/}. В качестве эталонных сигналов в этой системе используются световые импульсы от полупроводниковых источников света, которые подаются на фотокатод фотоумножителя. При амплитудном анализе со сравнительно небольшим числом каналов достаточно стабилизировать одну точку на измерительной характеристике, в качестве которой в данной системе выбрана верхняя граница последнего канала.

При регистрации спектров от полупроводниковых детекторов используется прецизионный преобразователь амплитуды импульсов в код на 4096 каналов, разработанный в Лаборатории. Стабилизация измерительной характеристики спектрометрического тракта осуществляется по двум точкам. Точка в начале измерительной характеристики стабилизируется в отличие от ранее известных систем путем измерения и стабилизации пьедестала в линейной схеме пропускания. Вторая точка, определяющая наклон измерительной характеристики, стабилизируется по эталонным электрическим импульсам, подаваемым на вход предусилителя. Положение этой точки на измерительной характеристике выбирается экспериментатором. Долговременная стабильность положения каналов равна 0,025%. Частота адресной серии преобразователя 20 МГц.

Накопительное устройство анализатора АИ-4096 имеет 4096 каналов с емкостью каждого 18 двоичных разрядов. Кроме обычного амплитудного анализа на 256, 512 или 4096 каналов система позволяет проводить и двухмерный амплитудный анализ с общим числом каналов до 4096 (а при использовании системы АИ-16000 - до 16000). Анализ может

автоматически прекращаться через заданный интервал времени (текущего или "живого"). Если используется преобразователь амплитуд импульсов на 256 (или 512) каналов с накопительным устройством на 4096 каналов, то можно через заданные интервалы времени (текущего или "живого") автоматически переключать группы каналов (по 256 или 512), в которые поступает информация, и, таким образом, последовательно регистрировать серию спектров. За ходом набора спектров можно наблюдать на экране электронно-лучевой трубки.

После заполнения всех 4096 каналов накопительного устройства информация из него может быть передана в буферное накопительное устройство, в качестве которого также используется накопительное устройство системы АИ-4096. Передача осуществляется по разработанной в Лаборатории программе, т.е. производится последовательный перенос информации из каждого канала накопительного устройства в соответствующий канал буферного накопительного устройства. Непосредственно для передачи информации из всех 4096 каналов требуется около 0,3 сек. Однако полное время, необходимое для осуществления этой передачи, пока составляет ≈ 10 сек из-за необходимости ручного переключения режимов работы накопительных устройств. После окончания передачи информации из накопительного устройства анализатора в него можно сразу же начинать запись нового спектра, т.е. продолжать непрерывную серию измерений.

Информация с буферного накопительного устройства может быть выведена на цифropечатающее устройство, работающее со скоростью 20 строчек (каналов) в секунду^{16/}, т.е. для вывода всей информации требуется немногим более 3 мин. На такое же цифropечатающее устройство информация может быть выведена и непосредственно из накопительного устройства анализатора.

Для вывода информации из буферного накопительного устройства, в виде, пригодном для ввода в вычислительную машину, в Лаборатории разработана система записи информации на магнитную ленту. Система использует узкую магнитную ленту (ширина 6,25 мм), лентопротяжные механизмы взяты от студийных магнитофонов МЭЗ-28А. Для записи и считывания информации используются четырехдорожечные универсальные магнитные головки.

На один из магнитофонов производится запись информации с буферного запоминающего устройства, а с другого – ввод этой информации в вычислительную машину. Для узкой четырехдорожечной ленты обеспечивается хорошая взаимозаменяемость записывающего и воспроизводящего устройств. Скорость движения ленты как при записи, так и при воспроизведении составляет 78 см/сек. По разработанной программе запись информации на ленту производится по трем дорожкам, а на четвертую записываются синхроимпульсы. Для записи информации из каждого канала отводится 7 строк. Записанные определенным образом служебные импульсы отмечают начало записи информации, окончание записи информации из каждого канала и конец всей записи. На запись информации из всех 4096 каналов требуется около 7 сек.

Ввод информации с магнитной ленты производится в вычислительную машину Минск-2. Этот ввод осуществляется через имеющийся в машине канал ввода информации с перфоленты с использованием соответствующей команды. Информация через арифметическое устройство записывается в определенные ячейки МОЗУ.

7. Обработка информации на вычислительных машинах

Обработка экспериментальных данных производится на ЭЦВМ Минск-2 и М-20 с помощью метода "светового карандаша"/20/. Набор программ/21/, имеющихся в распоряжении экспериментатора, позволяет извлечь из амплитудных спектров такие основные физические величины, как энергии α , β^{\pm} и γ -излучений и их интенсивности. В большом числе случаев "линии" разрешены друг от друга. Это облегчает определение как энергий, так и интенсивностей "линий" с помощью осциллографа со "световым карандашом". В случае неполного разрешения "линий" в спектрах применяется программа для их разложения/22/. Часто приходится тщательно следить за спадом интенсивности "линий" и компонент в спектрах. Тогда применяется программа для разложения набора величин по составляющим компонентам/23/. Приспособление этой программы для работы на ЭЦВМ

Минск-2 позволило производить разложение "линий", имеющих до 4-х составляющих.

Окончательные результаты выводятся из ЭЦВМ Минск-2 либо в виде цифр, либо в виде графиков. Для изображения графиков используется алфавитно-цифровое печатающее устройство АЦПУ-128-2. Графики изображаются на бумажной ленте шириной 420 см. Скорость вывода составляет 400 каналов в минуту. Одновременно можно выводить до четырех спектров.

На рис. 2 изображен γ -спектр распада изотопа ^{169}Yb , снятого с помощью коаксиального детектора типа $\text{Ge}(\text{Li})$ с чувствительным объемом $6,3 \text{ см}^3$, и транзисторного предусилителя. Спектр отпечатан на АЦПУ-128-2. Под каждой точкой печатается номер канала и его содержание.

В заключение авторы выражают благодарность В.А.Быстрову, А.П.Кустову и М.И.Фоминих за помощь в работе.

Л и т е р а т у р а

1. D.R.Bés. *Nucl. Instr. and Meth.*, 38, 277 (1965).
2. I.Bergstróm. *Nucl. Instr. and Meth.*, 43, 116 (1966).
3. I.Bergstróm. *Nucl. Instr. and Meth.*, 43, 128 (1966).
4. Г.Музиоль. Доклад на X совещании по ядерной спектроскопии нейтронодефицитных изотопов и теории ядра, Дубна, 27-30 июня 1967 г.
Препринт ОИЯИ Р6-3699, (1968).
5. Г.Музиоль. Доклад на XVIII ежегодном совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Рига, январь 1968 г.
6. Р.Арльт, З.Малик, Г.Музиоль, Г.Пфреппер, Х.Штрусный. Доклад на XVIII ежегодном совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Рига, январь 1968 г.
7. Р.Арльт, Г.Байер, Г.Музиоль, Л.К.Пекер, Г.Пфреппер, Х.Штрусный, Д.Христов. Препринт ОИЯИ Р6-3540, Дубна 1968.

8. Р.Арльт, В.А.Быстров, Г.Музиоль, П.Паатеро, Х.Штрусный. Доклад на XVIII ежегодном совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Рига, январь 1968 г.
9. Г.Байер, Х.Гроссе-Рюкен, В.А.Халкин. Доклад на XVIII ежегодном совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Рига, 1968 г.
10. К.Я.Громов, А.И.Калинин, В.В.Кузнецов, Н.П.Ненов, Б.П.Осипенко, В.И.Фоминных. Препринт ОИЯИ 2724, Дубна 1966.
11. С.Н. Nowlin, J. L. Blankenship. Rev. Scient. Instr., 36, 1830 (1965).
12. M. G. Stranss, I. S. Sherman, R. Bremer, R. J. Rudnick, R. N. Larsen, H. M. Mann. Rev. Scient. Instr., 38, 725 (1967).
13. Р.Арльт, Г.Музиоль, А.И.Калинин, Х.Штрусный. Доклад на XVIII ежегодном совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Рига, январь 1968 г.
14. В.Г.Субботин, Б.В.Фефилов. Препринт ОИЯИ 13-3311, Дубна 1967.
15. Е.Б.Озеров, А.Н.Синаев, Труды IV симпозиума по радиоэлектронике ОИЯИ, Прага 1966 г., стр. 43.
16. С.С.Курочкин, А.Л.Белоус, А.Ф.Белов, И.С.Крашениников, Е.И.Рехин, В.Н.Саличко. Труды 6 конференции по ядерной радиоэлектронике, т.3, ч. 1, стр. 171. Атомиздат, Москва, 1965,
17. С.С.Курочкин, А.Л.Белоус, В.Н.Саличко. Труды 6 конференции по ядерной радиоэлектронике, т.3, ч.1, стр. 137. Атомиздат, Москва, 1965.
18. С.С.Курочкин, А.Ф.Белов, А.Л.Белоус, И.С.Крашениников, В.Н.Саличко, Е.И.Рехин, В.А.Фотеев. Труды Союзного научно-исследовательского института приборостроения, вып. 1, стр. 63, Атомиздат, Москва, 1964 г.
19. В.Г.Лапшин, М.Н.Омельяненко, В.И.Рыкалин, А.Н.Синаев, В.П.Хромов, З.Цисек. Препринт ОИЯИ P13-3342, Дубна 1967 г.
20. Г.И.Забякин, И.Звольский, В.И.Приходько, Й.Томик, В.П.Трубников, В.И.Фоминных, В.М.Цупко-Ситяников, Изв. АН СССР, серия физ., 31, (1967), № 10, 1601.
21. М.И.Фоминных, В.И.Приходько, В.П.Трубников, Й.Томик. Доклад на совещании по проблемам автоматизации обработки информации с использованием электронных вычислительных машин. Дубна, 23-27 октября 1967 г.

22. И.Звольски, В.И.Приходько. Препринт Р 6-3517 ОИЯИ, Дубна, 1967.
23. K.Eskola, P.Paatero : *Arkiv i Fysik*, 36, 581 (1966).
24. С.В.Медведь, В.В.Моисеева, А.Н.Синаев, Г-Ю.Шахер, Н.А.Чистов. Доклад на совещании по проблемам автоматизации обработки информации с использованием электронных вычислительных машин. Дубна, 23-27 октября 1967 г.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 марта 1967 года.

Таблица 1

Исследуемый элемент	Время выделения	Мишень
Zr	3-4 мин.	Y_2O_3
Ce	3-4 "	Pr_2O_3
Pm	13-20 "	Gd-DTPA
Sm	15-20 "	Dy-DTPA
Gd	15-20 "	Er-DTPA
Hf	3-4 "	Ta_2O_5
Os	3-4 "	Lu

Таблица 2

	Детектор 1	Детектор 2
Чувствительный объем	10 см ³	6,3 см ³
$C_{дет} + C_{монтажа}$	≈ 25 пф	≈ 25 пф
$U_{дет}$	1200 в	1500 в
$I_{дет}$	1,5 на	< 0,5 на
Энергетическое разрешение		
для $E_\gamma = 1332$ кэв и	≈ 5 + 6 кэв	3,5 ± 0,5 кэв
$E_\gamma = 198$ кэв	≈ 4 кэв	2,5 ± 0,3 кэв

Таблица 3

	Детектор 1	Детектор 2
Площадь	50 мм ²	72 мм ²
Толщина чувствительного слоя	4 мм	1,2 мм
$U_{дет}$	225 в	50 в
$I_{дет}$	3,6 мка при 170 в и +20°C, 60 на при 225 в и -65°C	1,3 мка при +20°C 12 на при -65°C
Энергетическое разрешение	≈ 18 кэв при -65°C	≈ 9 кэв при -65°C
$E_{\beta^-} = 624$ кэв	≈ 45 кэв при 20°C	

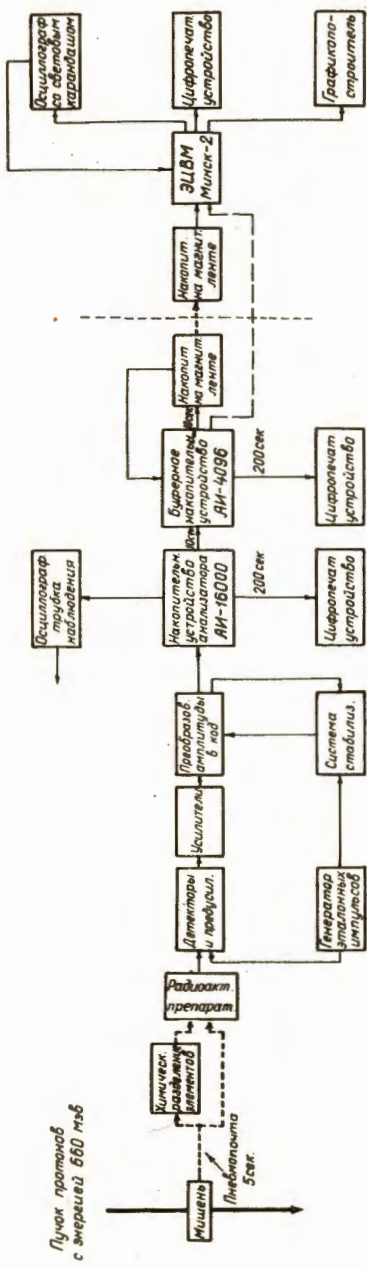


Рис. 1. Блок-схема установки.

52 кэв

^{169}Yb

63 кэв

$\text{Ge(Li)} 435\text{-}3, 6,3 \text{ см}^3$ 2 кэв

58 кэв

Рис. 2. Низкоэнергетическая часть гамма-спектра распада изотопа ^{169}Yb , снятого с помощью коаксиального детектора типа Ge(Li) с чувствительным объемом $6,3 \text{ см}^3$. Энергии линий составляют 52, 58 и 63 кэв, энергетическое разрешение для линий с энергией 52 кэв ≈ 2 кэв.