

X-134

26/11-71

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

2531/2-71

P13-5801



5801

У. Хагеманн, В. Нойберт, Ф. Стари, В. Шульце

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕН ЖИЗНИ  
ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ ЯДЕР  
В НАНОСЕКУНДНОМ ДИАПАЗОНЕ  
НА ПУЧКЕ ЦИКЛОТРОНА  
ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ У-300.

I часть. Электронная аппаратура

P13-5801

**У. Хагеманн, В. Нойберт, Ф. Стари, В. Шульце**

**ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕН ЖИЗНИ  
ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ ЯДЕР  
В НАНОСЕКУНДНОМ ДИАПАЗОНЕ  
НА ПУЧКЕ ЦИКЛОТРОНА  
ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ У-300.**

**I часть. Электронная аппаратура**

Направлено в ПТЭ

СССР

## 1. В в е д е н и е

Измерение времени жизни и экспериментальное определение приведенной вероятности возбужденных уровней ядер является весьма чувствительным методом исследования структуры ядерных состояний. По мере удаления от линии стабильности период полураспада основных состояний ядер становится короче и применение классического метода запаздывающих совпадений в радиоактивном распаде в этом случае ограничено. Более эффективным методом является возбуждение ядерных состояний в ядерных реакциях и исследования временных свойств возбужденных уровней с помощью импульсного режима пучка ускорителя. Первые эксперименты по измерению времен жизни в наносекундном диапазоне были проведены Ямацаки и Ювен<sup>/1/</sup> на классическом циклотроне, ускоряющем  $\alpha$ -частицы. Благодаря группировке фаз ускоряемых ионов относительно некоторой начальной фазы возникает короткий зарядовый сгусток ионов с полушириной несколько наносекунд. Эти импульсы разделены друг от друга на  $T=1/f$ , где  $f$  — частота ускоряющего напряжения. Для циклотрона легких частиц она составляет  $\approx 10$  Мгц. Поскольку частота ускоряющего напряжения обратно пропорциональна массе ускоряемой частицы, для классического циклотрона тяжелых ионов значение  $f$  значительно меньше. В зависимости от частицы для циклотрона У-300 ОИЯИ  $f$  находится в пределах 4–5 Мгц. Таким образом, без применения электростатической системы отклонения пучка микроскопическая структура пучка позволяет проводить измерения времен жизни до 300 нсек.

## 2. Описание аппаратуры

### 2.1. Детектор и предусилитель

Как известно, реакции с тяжелыми ионами с последовательным испарением нейтронов позволяют очень селективно синтезировать нейтронодефицитные ядра. Однако по мере повышения энергии налетающих ионов заметно растет вклад других реакций. Чтобы разделить гамма-линии ожидаемого продукта от фона чужих продуктов требуется  $\text{Ge(Li)}$ -детектор с хорошей энергетической разрешающей способностью. В процессе разрядки составного ядра возникает сплошной спектр мгновенных гамма-квантов большой энергии. В связи с этим рекомендуется использовать детектор среднего объема, эффективность которого мала для высокоэнергетических гамма-квантов. Это одна из причин, почему в наших экспериментах был использован плоский детектор с объемом  $\approx 3 \text{ см}^3$ , изготовленный Б.П. Осипенко и Х. Уллрих. На рис. 1 показаны спектры рентгеновских линий от источника  $^{228}\text{Ra}$ , измеренные этим же детектором с различными предусилителями. Видно, что самый большой вклад в разрешающую способность вносит предусилитель. Для проведения измерений в наносекундном диапазоне необходим сигнал с детектора с очень коротким фронтом нарастания. Этому требованию удовлетворяет  $\text{Ge(Li)}$ -детектор плоского типа, работающий при высоком напряжении. При рабочем напряжении  $\approx 2,10^3 \text{ В}$  время нарастания фронта импульса на спектроскопическом выходе предусилителя составляло  $\approx 40 \text{ нсек}$ .

Существенная трудность при работе на пучке возникала в связи с тем, что циклотрон работает в импульсном режиме, т.е. имеется кроме микроскопической структуры токовый импульс длительностью около 1,5 - 2 мсек и перерыв 4-5 мсек между ними. Вследствие этого наблюдалось наложение импульсов во время токового импульса и перемещение базовой линии импульса на выходе предусилителя. Мы устранили

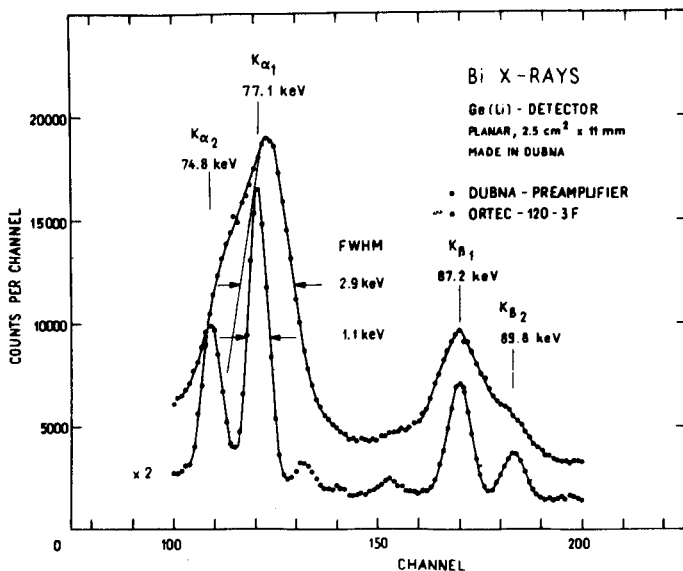


Рис. 1. Рентгеновские линии висмута (источник  $^{226}\text{Ra}$ ), измеренные плоским детектором  $2,8 \text{ см}^2 \times 1,1 \text{ см}$ , предусилителем фирмы "Ортэк" и предусилителем, разработанным авторами работы [2].

эти эффекты благодаря тому, что 1) задний фронт импульса на выходе предусилителя не превышал 40 мксек 2) был сформирован однополярный импульс методом компенсации полюса нулем (pole-zero cancellation) после зарядово-чувствительной цепи предусилителя, 3) усилители были перестроены так, что при постоянной нагрузке  $\approx 4 \cdot 10^4$  имп/сек не наблюдалось ухудшения энергетического разрешения, 4) нагрузка при работе на пучке не превышала  $4 \cdot 10^3$  имп/сек.

## 2.2. Быстродействующий канал

Спектроскопический сигнал с предусилителя подается на высокочастотный кабель РК-75 длиной  $\approx 120$  метров в измерительный центр и там разветвляется к быстродействующему усилителю и спектроскопическому усилителю.

Быстродействующий усилитель был построен на основе быстрого усилителя из схемы быстродействующего совпадения БС-8-2 (рис. 2)<sup>/6/</sup>. Если сигнал с предусилителя, поданный на вход быстродействующего усилителя, превышает 3 мв, то на выходе появляется отрицательный импульс с амплитудой 1 в и фронтом нарастания меньше 10 нсек. В первых опытах этот сигнал прямо подавался на быстродействующий дискриминатор временно-амплитудного преобразователя. Этот преобразователь  $t \rightarrow A$ , работающий по методу "старт-стоп", был разработан в Центральном институте ядерных исследований в Россендорфе (ГДР) (рис. 3). Преобразователь работает с временными базами от 20; 50; 100; 200; 500 нсек до 100 мксек. Собственное разрешающее время преобразователя составляет 0,1% данного диапазона<sup>/3/</sup>. На рис. 4 представлены характеристики по линейности преобразователя для временных баз 200 нсек и 1 мксек. Измерение проводилось с помощью калиброванных кабелей (50 ом) в схеме быстро-медленного совпадения. Для улучшения временной разрешающей способности мы использовали в отличие от прямого запуска метод двойного запуска по фронту. Метод заключается

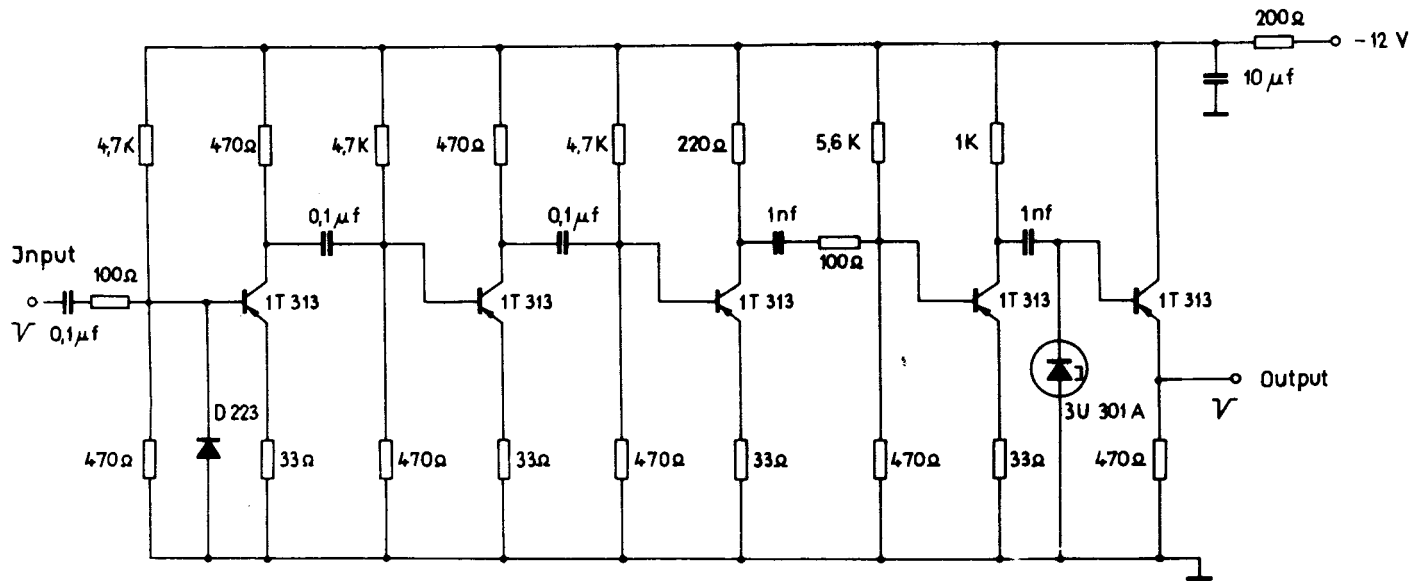


Рис. 2. Принципиальная схема быстродействующего усилителя.

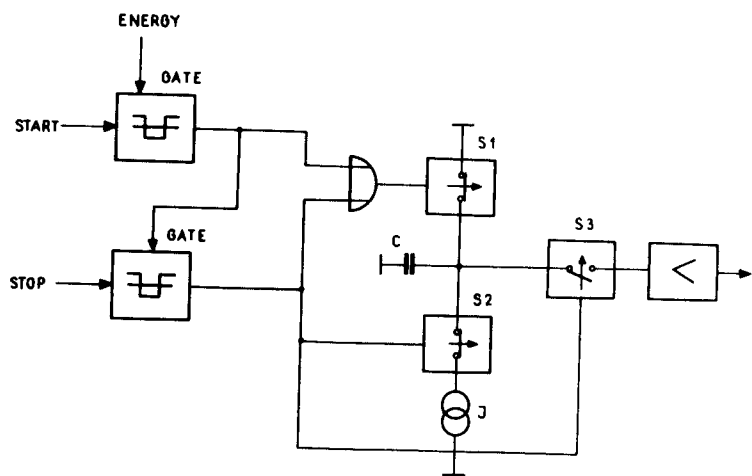


Рис. 3. Блок-схема преобразователя /3/.

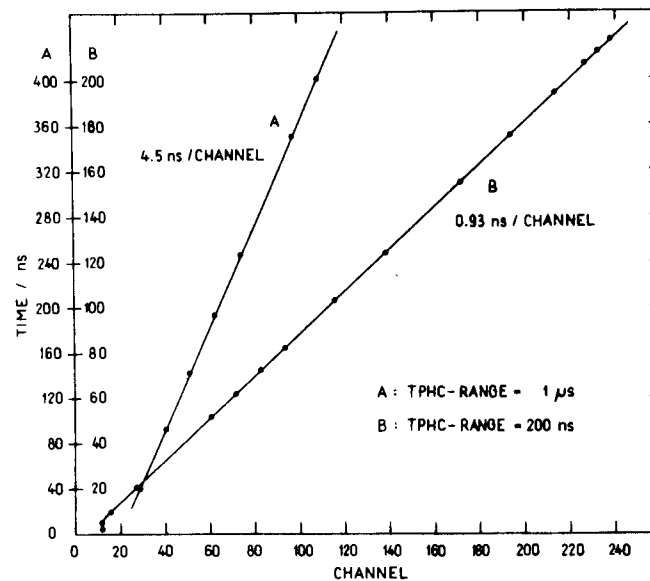


Рис. 4. Характеристики преобразователя для временных баз 200 нсек и 1 мсек.



в следующем: импульс, снятый с быстродействующего усилителя перед туннельным диодом, пропускается через быстрый эмиттерный повторитель, разветвляясь к быстродействующему дискриминатору преобразователя, и к входу другого быстродействующего дискриминатора, который выдает отрицательный импульс произвольной длины ( $\approx 100$  нсек), если выходной импульс превышает верхний порог. Порог быстродействующего дискриминатора преобразователя установлен на уровне шума, но дискриминатор запускается только тогда, когда поступает отрицательный импульс верхнего порога (рис. 3). Таким образом, импульсы от низкоэнергетических гамма-квантов, превышающие уровень шума, запускают быстродействующий дискриминатор непосредственно в момент их возникновения, а не после того, когда их амплитуда стала больше некоторого установленного порога. Сравнение рис. 5 и 6 показывает, что это действительно приводит к улучшению временной разрешающей способности.

### 2.3. Разрешающее время

В работе<sup>/4/</sup> впервые была измерена форма сгустка ионов циклотрона У-300 методом измерения сплошного спектра  $\gamma$ -квантов, возникающих при бомбардировке мишени меди ионами неона внутри камеры циклотрона. Полученная полуширина составляла 10 нсек. Чтобы интервал между зарядовыми сгустками был достигнут в физическом эксперименте, нужно, чтобы разрешающее время было меньше 10 нсек. Это являлось главным требованием, предъявленным к аппаратуре. Для определения разрешающего времени мы использовали схему запаздывающих  $\gamma$ - $\gamma$  совпадений. Гамма-кванты из источника  $^{22}\text{Na}$  регистрировались  $\text{NaJ(Tl)}$ -детектором, связанным с фотоумножителем ФЭУ-36 или ФЭУ-72 и плоским  $\text{Ge(Li)}$ -детектором (3 см<sup>3</sup>). Полученный временной спектр показан на рис. 5. Надо сказать, что указанное выше требование выполняется для энергий гамма-квантов, больших 100 кэВ и трудно выполнимо для более

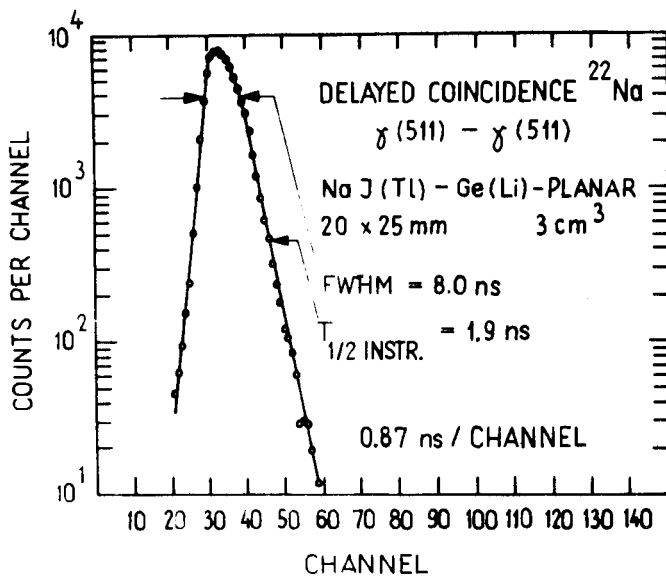


Рис. 5. Разрешающая способность аппаратуры по методу однократного запуска по фронту.

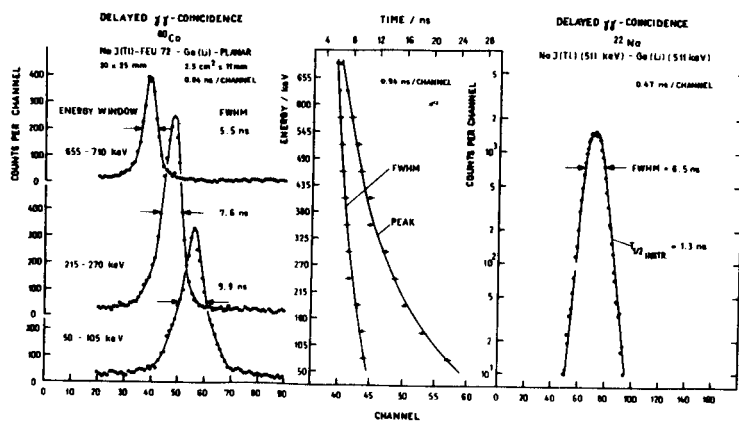


Рис. 6. Разрешающая способность аппаратуры по методу двойного запуска по фронту. Зависимость положения пика от энергии гамма-квантов. Зависимость разрешающей способности от энергии гамма-квантов.

низких энергий. Метод двойного запуска по фронту улучшает временное разрешение для низких энергий, однако положение пика временного спектра смещается в зависимости от энергии гамма-квантов (рис. 6). Использование формирователя ( *time pick-off* ) позволяет компенсировать этот эффект.

#### 2.4. Измерение времен жизни в наносекундном диапазоне на пучке

При измерении на пучке временной и энергетической тракты с германиевого детектора не отличаются от вышеописанных, только ветвь с фотоумножителем заменяется сигналом, снятым с ВЧ-напряжения. Если фазовое отношение между ускоряющим ВЧ-напряжением и зарядовым сгустком не меняется с временем, то сигнал, снятый с дуанта циклотрона, играет такую же роль как сигнал "старта" (или "стопа"), полученный со сцинтилляционного детектора. Большое внимание было уделено "чистому приводу" ВЧ-сигнала к быстродействующему дискриминатору преобразователя. В самом простом варианте уменьшенные синусоидальные импульсы ВЧ подаются прямо на быстрый дискриминатор "стоп". Обычно пропускается ВЧ-сигнал, снятый с дуанта, через схему формирователя опорных импульсов и делителя частоты перед запуском быстродействующего дискриминатора преобразователя. Если делить частоту на 2, то каждый второй ВЧ-сигнал дает импульс "стоп" и во временном спектре появляются два мгновенных пика, разделенных величиной  $T=1/f$ . Зная линейную характеристику преобразователя при данной временной базе, с помощью этого метода можно быстро проводить временную калибровку в эксперименте.

На рис. 7 приведен многоканальный временной спектр перехода энергии 443 кэв в ядре  $^{202}\text{Po}$ , измеренный на пучке аппаратурой, показанной на рис. 8. Физические результаты были подробно описаны в работе <sup>15/</sup>. Однако в физическом эксперименте часто интерес представляют не только

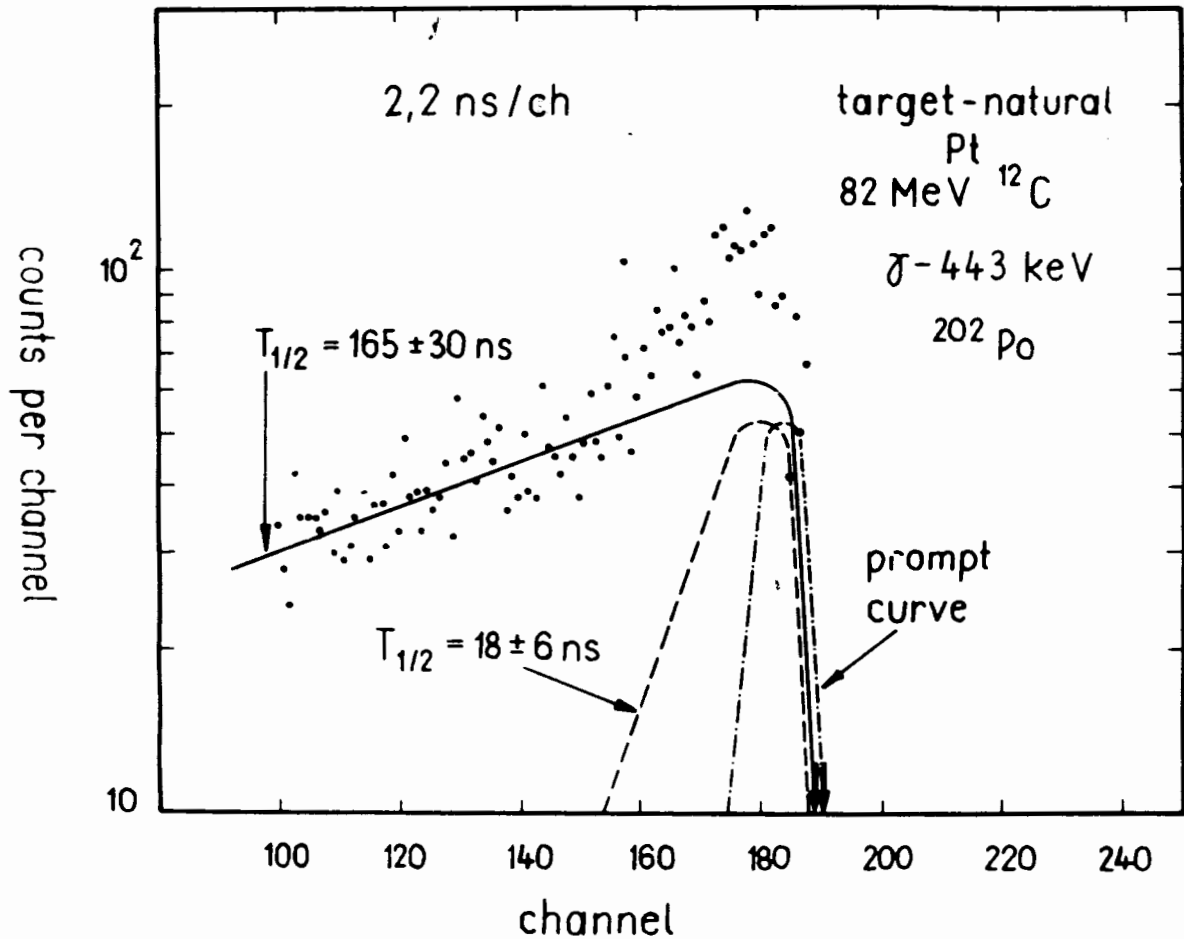


Рис. 7. Многоканальный временной спектр распада изомера ядра  $^{202}\text{Po}$ , возбужденный на пучке в реакции  $\text{Pt} + ^{12}\text{C}$ .

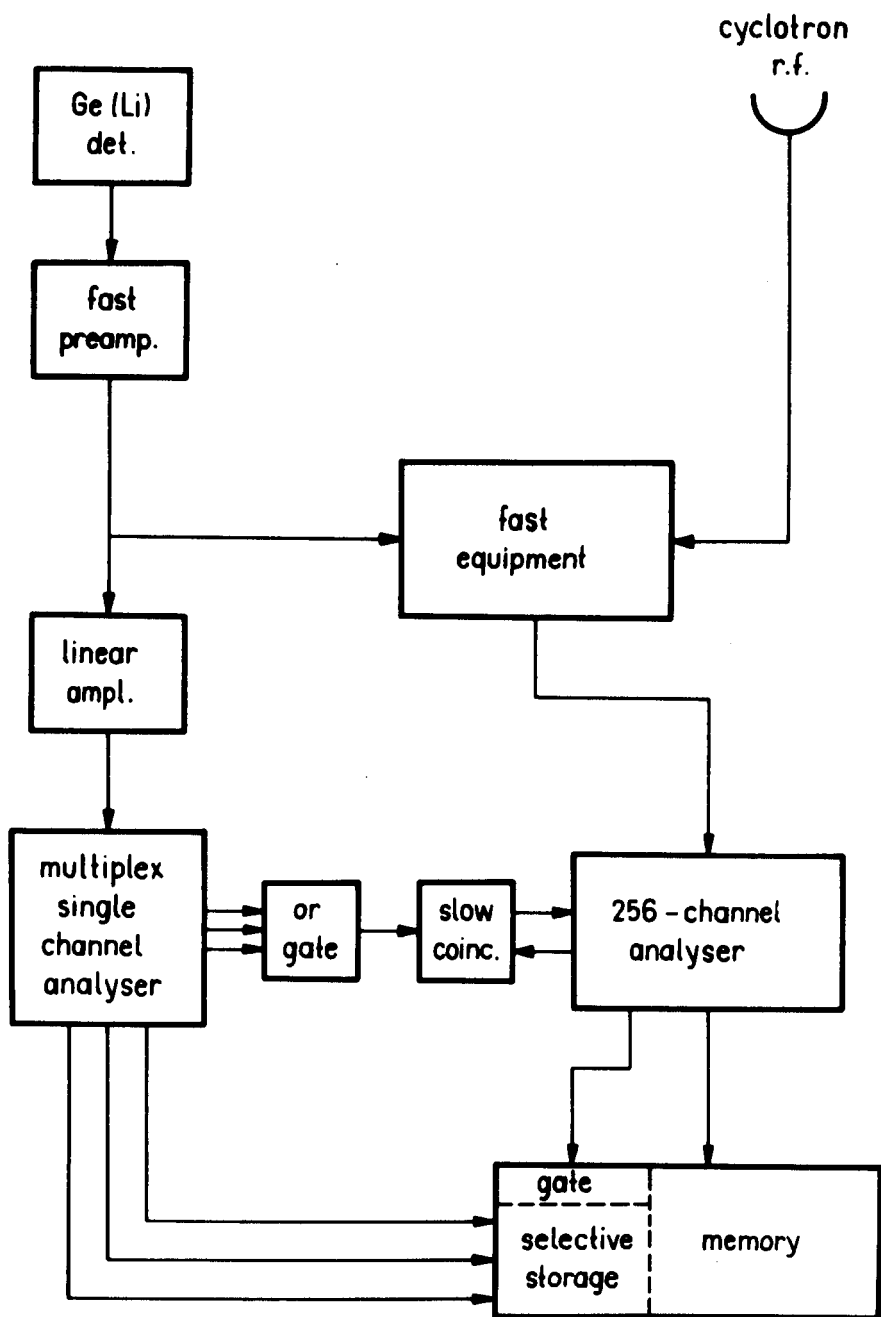


Рис. 8. Блок-схема аппаратуры для измерений времен жизни на пучке.

временные свойства определенных линий, но и энергетические спектры большого диапазона. Для этих целей мы использовали двухмерный анализ гамма-спектра по времени. Временной сигнал подается на кодировщик (8 каналов), а энергетический сигнал - на другой кодировщик по 256 каналов. Следовательно, для такого двухмерного анализа нужна память в 2048 каналов. Энергетический спектр подадим на X координату, а временной - на Y координату. Момент совпадения временного и энергетического импульсов даст +1 в памяти анализатора, т.е. будет зарегистрирован акт совпадения.

Авторы выражают глубокую благодарность академику Г.Н. Флерову за постоянный интерес к работе и поддержку и Р. Арльту - за многочисленные дискуссии.

#### Л и т е р а т у р а

1. T. Yamazaki and G.T. Ewan. Physics Letters, 24B, 278 (1967).
2. Р. Арльт, А.И. Калинин, Г. Музиоль, Х. Штрусный. Препринт ОИЯИ, 13-3769, Дубна, 1968.
3. К. Габриель. Международный семинар по ядерной электронике, Варна 1969. Препринт ОИЯИ, 13-4720, Дубна, 1969.
4. А.Ф. Линев. Препринт ОИЯИ, P-722, Дубна, 1961.
5. U. Hagemann, W. Neubert, W. Schulze. Preprint JINR, E6-5379, Dubna, 1970.
6. П.С. Чернов. В книге "Труды союзного научно-исследовательского института приборостроения". Атомиздат, 1961 г.

Рукопись поступила в издательский отдел

4 мая 1971 года.