

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



А-50

2528/2-76

5/vii-78

P13 - 9607

Б.А.Аликов, М.Будзынски, Я.Ваврышук, В.Жук,
Р.Ион-Михай, Э.Крупа, Г.И.Лизурей, М.М.Маликов,
Т.М.Муминов, Я.Сажински, В.И.Стегайлов,
М.Суботович, В.Таньска-Крупа,
В.И.Фоминых, И.Холбаев

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ
КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР
С $\text{Ge}(\text{Li})$ И ДВУМЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫМИ
ДЕТЕКТОРАМИ

1976

P13 - 9607

Б.А.Аликов,¹ М.Будзынски,² Я.Ваврыщук,² В.Жук,²
Р.Ион-Михай,³ Э.Крупа,² Г.И.Лизурей, М.М.Маликов,⁴
Т.М.Муминов,¹ Я.Сажински,² В.И.Стегайлов,
М.Суботович,² В.Таньска-Крупа,²
В.И.Фоминых, И.Холбаев¹

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ
КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР
С Ge(Li) И ДВУМЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫМИ
ДЕТЕКТОРАМИ

Направлено в сб. "Прикладная ядерная спектроскопия"

¹ Самаркандский государственный университет
им. А.Навои.

² Университет им. М.Кюри-Склодовской.

³ Бухарестский университет.

⁴ Институт ядерной физики АН УзССР.

В работе описывается установка с Ge(Li) - и двумя сцинтилляционными детекторами, предназначенная для измерения невозмущенных и возмущенных угловых корреляций гамма-лучей, испускаемых при радиоактивном распаде ядер. Для регистрации спектров совпадений используются многоканальный анализатор импульсов или ЭВМ "Минск-2", работающая в режиме двухмерного анализа с цифровыми окнами¹. Процесс измерения полностью автоматизирован. Общая блок-схема установки, где применяется в качестве накопителя информации многоканальный анализатор импульсов, приведена на рис. 1. Принцип действия и основные характеристики отдельных узлов описаны ниже.

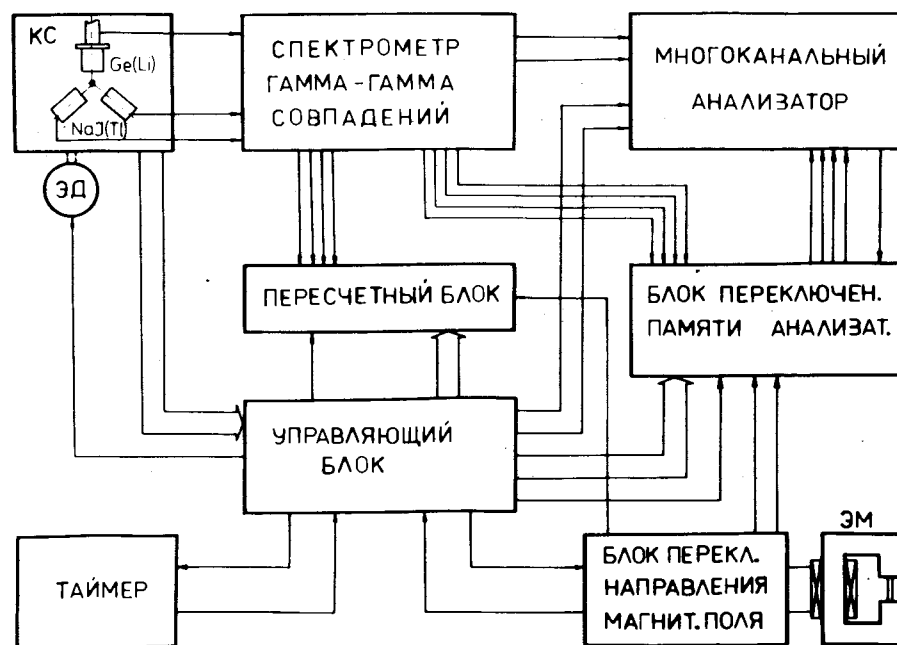


Рис. 1. Блок-схема установки.

1. Корреляционный стол

Корреляционный стол /КС/ установки состоит из двух платформ: неподвижной, являющейся основанием стола, и подвижной, в форме сектора, вращающегося на вертикальной оси, жестко связанной с первой платформой. Поворот осуществляется с помощью реверсивного электродвигателя /ЭД/ постоянного тока и фрикционной передачи. Общий вид стола представлен на *рис. 2*.

На подвижной платформе закреплены /под углом 90° / два сцинтилляционных детектора с конусообразными коллиматорами и магнитными экранами фотоумножителей. $Ge(Li)$ -детектор устанавливается на отдельной подставке.

Угловые позиции детекторов определяются электрическими контактами блока автоматики, установленными на неподвижной платформе. Точность автоматической остановки движущейся платформы на заданном угле, при частоте вращения $0,05 \text{ с}^{-1}$, не хуже $\pm 0,5^\circ$.

Радиоактивный источник помещается в точке пересечения осей детекторов на плексигласовый стержень источникодержателя, который позволяет плавно перемещать источник по трем взаимно перпендикулярным направлениям. Для измерения возмущенных угловых корреляций /ВУК/ на источникодержателе устанавливается электромагнит.

2. Спектрометр совпадений

Спектрометрическая часть установки собрана по принципу быстро-медленной схемы совпадений, с использованием $Ge(Li)$ - и двух $NaJ(Tl)$ -детекторов. Спектры совпадений регистрируются с помощью 1024-канального анализатора типа NTA-512B.

Блок-схема спектрометра приведена на *рис. 3*.

Применяемая нами система автоматического выбора участков памяти многоканального анализатора позволяет параллельно измерять 4 спектра совпадений γ -лучей, регистрируемых $Ge(Li)$ -детектором, с γ -лучами,

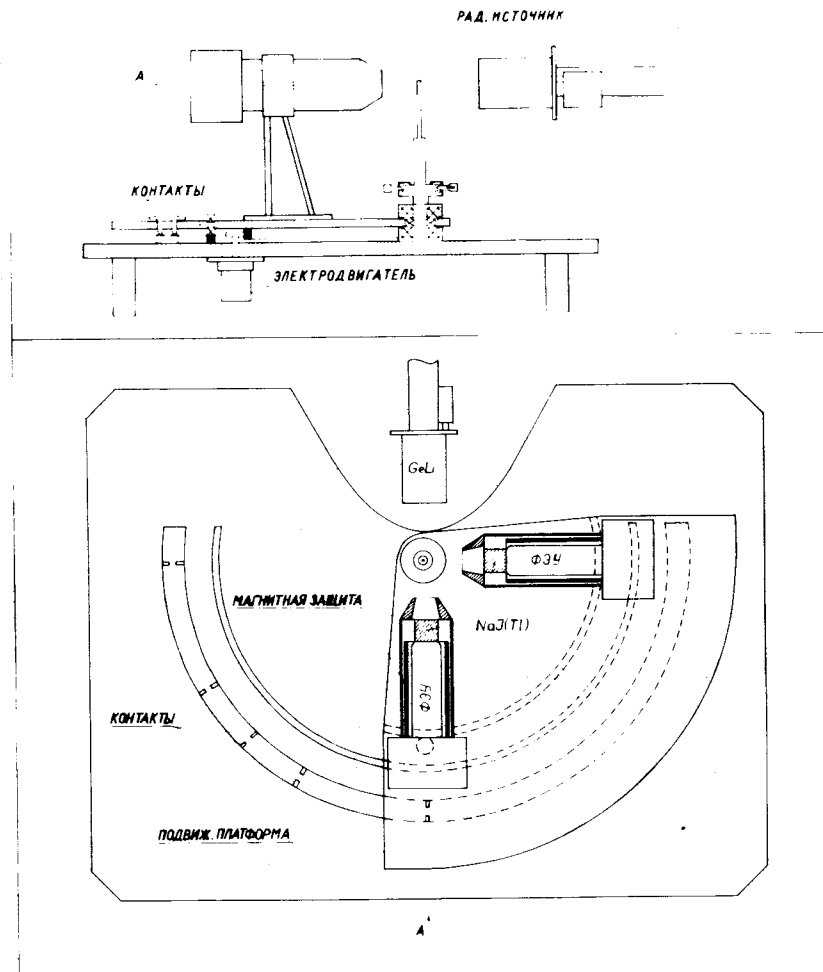


Рис. 2. Корреляционный стол.

отобранными с помощью четырех дифференциальных дискриминаторов в сцинтилляционных трактах. Импульсы с дифференциальных дискриминаторов /ДД/ и быстрых схем совпадений /БСС/ через блоки задержки /БЗ/ поступают на медленные схемы совпадений /МСС/, выходные импульсы которых с одной стороны логически

суммируются /ЛС/, а с другой поступают на блок управления памятью анализатора /БУП/. Таким образом, получаются две группы сигналов, которые:

а/ управляют линейными воротами многоканального анализатора;

б/ вместе с сигналами, кодирующими позиции детекторов, указывают, в каком участке памяти анализатора должен регистрироваться данный случай совпадения.

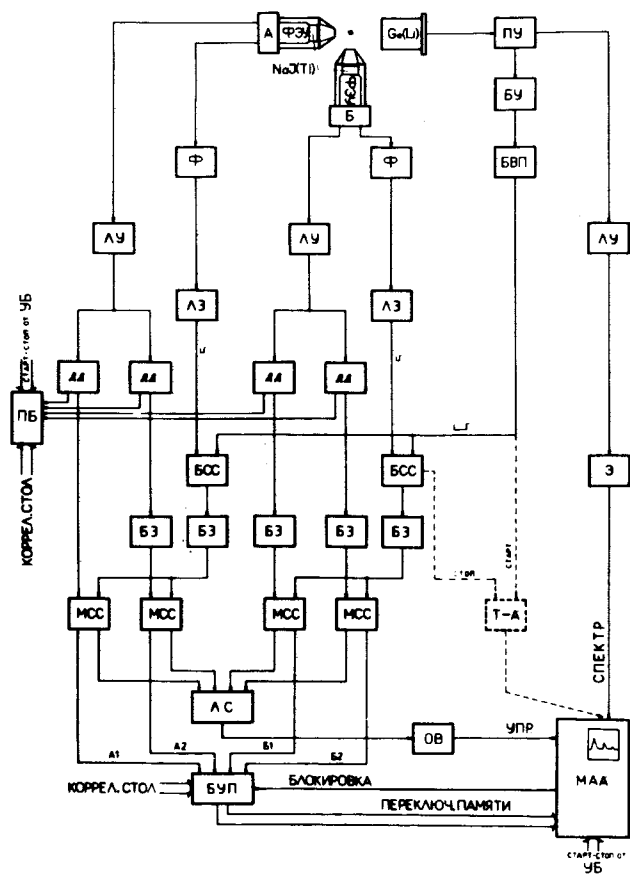


Рис. 3. Блок-схема спектрометра γ - γ -совпадений.

Временное разрешение спектрометра определяется длительностью импульсов, поступающих на входы быстрых схем совпадений со стороны Ge(Li) - детектора. Для формирования этих импульсов применяется быстрый усилитель /БУ/ и формирователь с временной привязкой /БВП/, разработанные в ЛЯП ОИЯИ /2/.

Временные импульсы сцинтилляционных детекторов длительностью ~ 10 нс, сформированные с помощью формирователей /Ф/, описанных в работе /3/, сдвигаются по времени так, чтобы в случае мгновенных совпадений они попадали в середину временных импульсов Ge(Li) - детектора.

Временное согласование и выбор необходимого временного разрешения спектрометра производится перед экспериментом с помощью конвертора Т-А, отдельно для каждой пары каналов.

На рис. 4 представлены временные кривые мгновен-

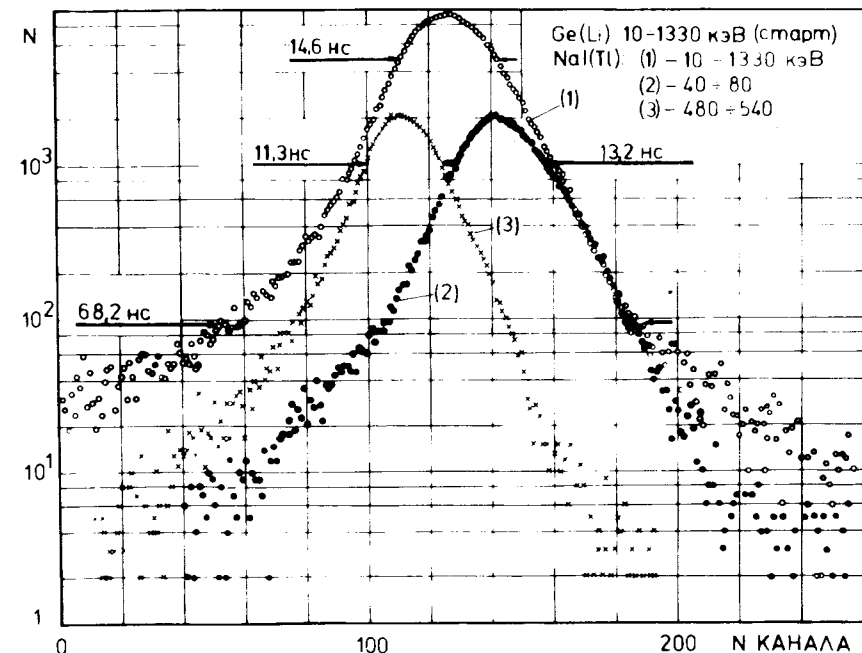


Рис. 4. Временные спектры мгновенных совпадений.

ных совпадений, измеренные с источником ^{60}Co при использовании $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора /рабочий объем 45 см^3 , энергетическое разрешение $3,5 \text{ кэВ}$ на линии ^{60}Co 1332 кэВ / и сцинтилляционного счетчика с кристаллом $\text{NaJ}(\text{Tl})$ размером $\phi 40 \times 40 \text{ мм}$ и фотоумножителем ФЭУ-93. При регистрации полного γ -спектра ^{60}Co на обоих трактах / $E \geq 10 \text{ кэВ}$ / временное разрешение спектрометра составляло $2\tau_0 = 14,6 \text{ нс}$, а ширина временной кривой на $0,01$ высоте - $68,2 \text{ нс}$.

В амплитудном тракте $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора применяются зарядочувствительный предусилитель /ПУ/, линейный усилитель /ЛУ/ и пороговый усилитель /Э/ производства фирмы SAJP. Линейность всего тракта, вместе с анализатором NTA-512B, около $0,2\%$. Стабильность положения пика в течение 12 ч работы лучше $0,2\%$.

Линейные усилители в сцинтилляционных трактах собраны по схеме, опубликованной в работе ⁴. Дифференциальные дискриминаторы с мертвым временем $\sim 0,5 \text{ мкс}$ разработаны авторами. Стабильность во времени сцинтилляционных трактов /ФЭУ, ЛУ, ДД/ проверялась путем регистрации импульсов от узкого окна, установленного на правом склоне фотопика ^{137}Cs . В течение 10 ч работы положение окна относительно спектра менялось не больше, чем на $\pm 0,25\%$ в канале А и на $\pm 0,15\%$ - в канале Б /рис. 5/.

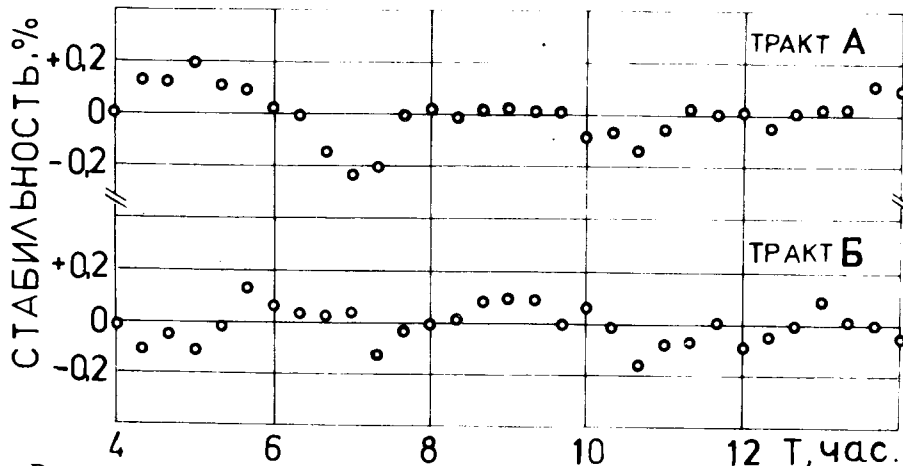


Рис. 5. Сдвиг энергетических окон относительно спектра в зависимости от времени.

Приведенные характеристики спектрометра определялись при постоянных нагрузках детекторов $\sim 10^4 \text{ имп/с}$. Заметное ухудшение характеристик начинается при повышении нагрузок $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора до $\sim 1,5 \cdot 10^4 \text{ имп/с}$, а сцинтилляционных детекторов - до $\sim 4 \cdot 10^4 \text{ имп/с}$ /рис. 6/.

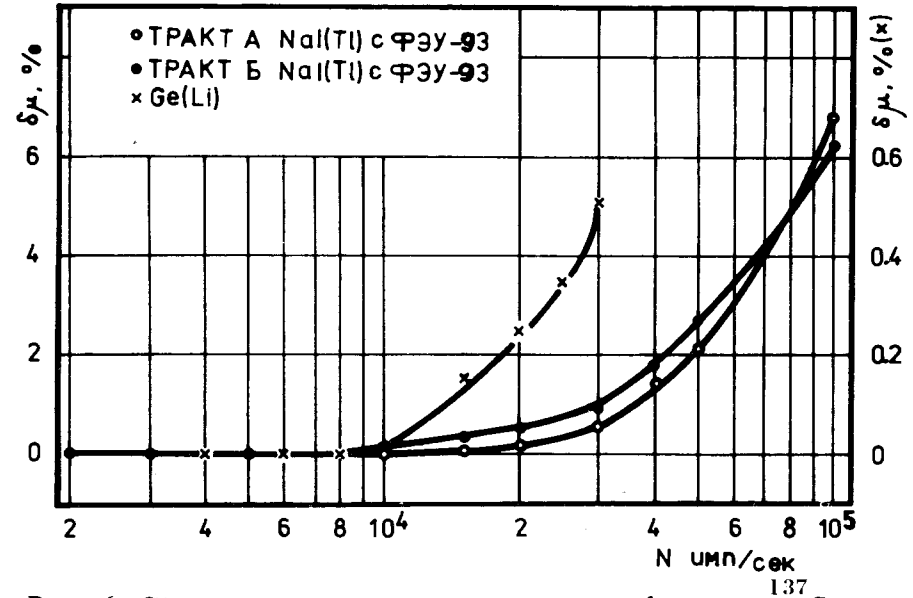


Рис. 6. Сдвиг положения центра тяжести фотопика ^{137}Cs в зависимости от загрузки детекторов.

3. БЛОКИ АВТОМАТИКИ

К ним относятся: управляющий блок /УБ/, блок переключения направления магнитного поля /БМП/, пересчетный блок /БП/ и блок управления памятью /БУП/ многоканального анализатора /МАО/, которые обеспечивают автоматический режим работы установки как с многоканальным анализатором типа NTA-512B так и с ЭВМ "Минск-2".

Измерительный цикл начинается с крайнего положения подвижной платформы корреляционного стола. По

истечении установленного на таймере времени экспозиции прекращается регистрация совпадений в многоканальном анализаторе, блокируется пересчетный блок, затем включается электродвигатель, меняющий угловое положение детекторов. Замыкание контактов на следующей угловой позиции является сигналом выключения электродвигателя, переключения участков памяти анализатора и каналов пересчетного блока, соответствующих новому положению детекторов. После ~0,5 с запускаются одновременно таймер, МАА и ПБ - начинается очередная экспозиция.

В крайних угловых положениях детекторов реализуются дополнительно две команды: удваивается время экспозиции и меняется направление движения электродвигателя.

Во избежание инерционного движения платформы выключение электродвигателя осуществляется путем переключения его на короткое время в режим генератора тока с короткозамкнутыми обмотками ротора.

При измерениях возмущенных угловых корреляций блоки автоматики обеспечивают также переключение направления тока в электромагните.

3.1. Управляющий блок

Управляющий блок является центральным блоком автоматики установки, с помощью которого выбираются необходимые угловые позиции детекторов и управляются: таймер, электродвигатель, многоканальный анализатор и остальные блоки автоматики.

Блок рассчитан на работу с многоканальным анализатором типа NTA-512В и таймером пересчета РТ-72. Может использоваться также таймер анализатора NTA - 512В /для этого необходимо вывести сигнал конца экспозиции из его блока NZ 298 - плата СС41/.

Принципиальная схема блока приведена на рис. 7.

С приходом от таймера сигнала "Конец экспозиции" мультивибратор ОВ2 вырабатывает импульс /длительностью около 1 с/, который передним фронтом сбрасывает триггер Тр2 - на выходах блока, появляются команды "Стоп МАА" и "Стоп ПБ". Задним фронтом, в зависимости от состояния триггера Тр4, перебрасывается либо триг-

гер Тр1 в состояние с $Q_{Тр1} = 1$, что приводит к включению электродвигателя, либо /когда $Q_{Тр4} = 0$ - крайние позиции детекторов/ перебрасываются Тр2 в исходное состояние с $Q_{Тр2} = 1$ - вырабатываются сигналы "Старт таймера", "Старт ПБ" и "Старт МАА", и триггер Тр3 переключает реле Р1. Затем, после небольшой задержки /RC ~ 20 мкс/, триггер Тр4 возвращается в состояние $Q_{Тр4} = 1$.

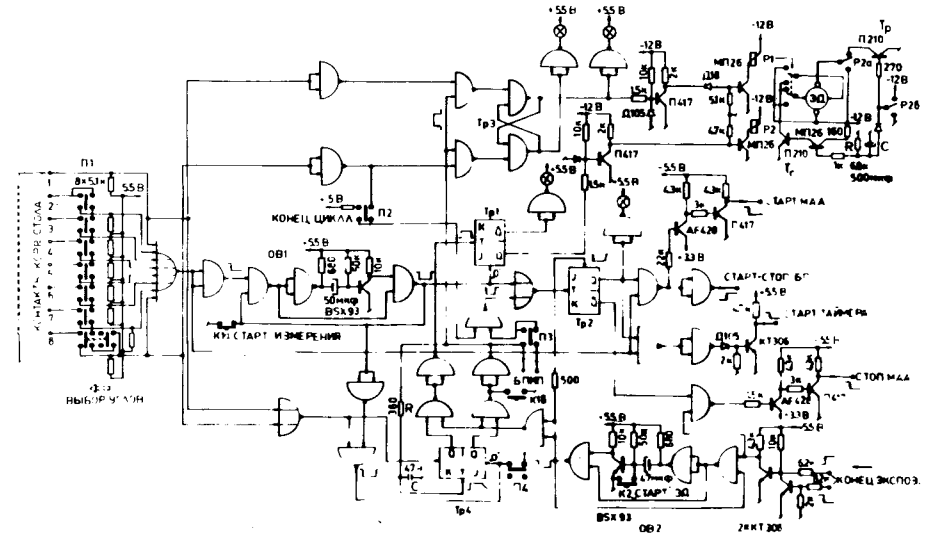


Рис. 7. Принципиальная схема управляющего блока.

В момент замыкания произвольного контакта на корреляционном столе на выходе мультивибратора ОВ1 появляется импульс, который сбрасывает Тр1, при этом выключается ЭД, а затем задним фронтом /задержка ~0,5 с/ меняется состояние триггера Тр2, который запускает таймер, ПБ и МАА. В случае замыкания крайних контактов /контакт 1 и другой, выбранный с помощью переключателя П1/ импульсом ОВ1 переключается также триггер Тр4 в состояние $Q_{Тр4} = 0$.

Выключение тока ЭД производится закрыванием транзисторов Тр и Тс независимо в его роторной и статорной

обмотках. Транзистор Тр с помощью реле Р2 закрывается в момент переброса Тр1 в состояние с $Q_{Тр1} = 0$. Транзистор Тс из-за большой постоянной RC /в базе управляющего транзистора/ закрывается на ~ 3 с позже. В течение этого времени ЭД работает как генератор тока с короткозамкнутой обмоткой ротора.

Измерение начинается в одной из крайних угловых позиций детекторов нажатием кнопки К1, а прекращается переключателем П2.

Связь УБ с блоком, переключающим направление магнитного поля при измерениях ВУК, осуществляется через переключатель П3. С УБ передается команда переключения поля /в крайних положениях детекторов или в случае замкнутого ключа П4 после окончания каждой экспозиции/, а принимается команда начала очередной экспозиции.

3.2. Блок управления памятью анализатора

В спектрометре совпадений, в котором использован многоканальный анализатор импульсов с одним амплитудно-цифровым преобразователем, можно осуществить параллельную регистрацию совпадений с несколькими энергетическими окнами, путем записи информации в отдельные участки памяти, переключаемые с помощью импульсов окон.

В анализаторе NTA-512B предусмотрена возможность разделения памяти на 2, 4, 8 и 16 участков. Выбор отдельных участков можно производить посредством подачи /на время записи информации/ внешних сигналов на входы В20, В21, В22 и В23. При этом:

а/ если память разделена на 2 или 4 участка, то выбор осуществляется подачей сигнала только по одному из входов /каждому входу соответствует отдельный участок памяти/;

б/ если память разделена на 8 и 16 участков, то сигнал управления должен подаваться в виде четырехразрядного слова.

В соответствии с этим нами была принята система

кодирования управляющих сигналов, связанных с четырьмя контактами корреляционного стола, четырьмя энергетическими окнами и двумя направлениями магнитного поля /в измерениях ВУК/. Для оптимального использования памяти предусмотрено 10 режимов управления. Их коды перечислены в таблице, где "а" является признаком детектора /логический "0" соответствует детектору А, "1" - детектору Б/, "б" - признаком общего номера энергетических окон обоих сцинтилляционных трактов /"0" соответствует ΔE_1^A или ΔE_1^B , "1" - ΔE_2^A или ΔE_2^B /, К1, К2, К3, К4 - признаки углов, Н - признак направления магнитного поля.

В режимах 1-3 и 4 память переключается только по признакам угловых позиций и окон - спектры совпадений для обоих детекторов А и Б суммируются в общих участках памяти. Позиции К1 и К3 соответствуют при этом углам 90° и 180° , а К2 и К4 - углам 135° и 225° соответственно.

В режимах 5, 6 и 7 выбор участков памяти производится также по признаку детектора. В результате спектры совпадений, управляемые окнами А- и Б-трактов, регистрируются отдельно.

Последние три режима предназначены для измерений ВУК:

- в режиме 8 каждая из 1/16 части памяти выбирается по признакам направления магнитного поля, детектора и четырех углов /одно энергетическое окно в каждом тракте/;

- в режимах 9 и 10 в управляющих сигналах отсутствуют признаки углов. Память разделяется только по признакам направления поля и окон, независимо для А- и Б-детекторов /режим для измерения параметра

$$R(135^\circ) = \frac{N_{\text{совп}}^* - N_{\text{совп}}}{N_{\text{совп}}^* + N_{\text{совп}}}$$

Коды всех режимов вырабатываются блоком, схема которого представлена на рис. 8.

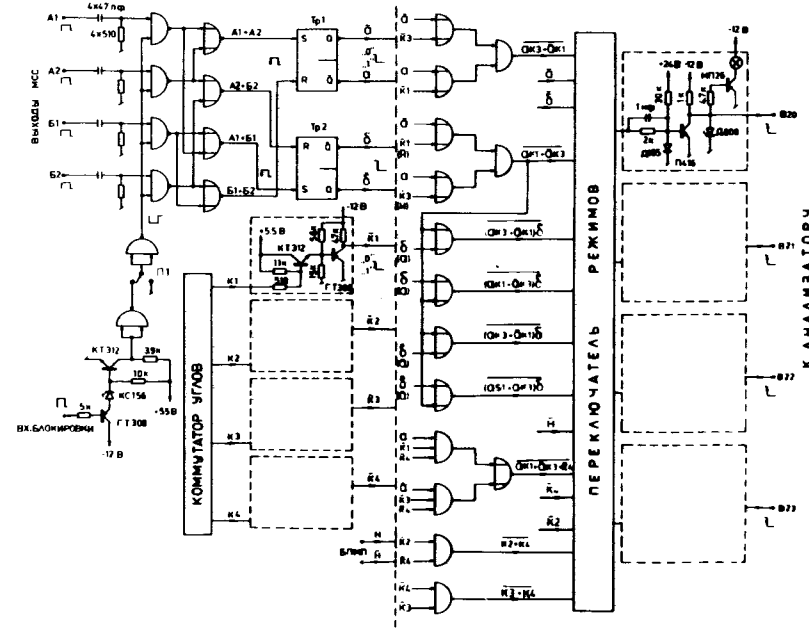
Импульсы с МСС через схемы пропускания поступают на логические схемы "ИЛИ" и определяют состояния триггеров Тр1 и Тр2. Сигналы а, \bar{a} , б, \bar{b} , снимаемые

Таблица
Режимы работы блока, управляющего памятью анализатора *

Режимы	V20	V21	V22	V23	Разбие- ние па- мяти на участки	Кол-во углов окоп в каждом тракте
1.	$a \cdot k3 + \bar{a} \cdot k1$	$a \cdot k1 + \bar{a} \cdot k3$	-	-	2	2
2.	$a \cdot k3 + \bar{a} \cdot k1$	$k2$	$a \cdot k1 + \bar{a} \cdot k3$	$k4$	4	4
3.	b	$a \cdot k1 + \bar{a} \cdot k3 + k4$	$k2 + k4$	-	8	4
4.	$(a \cdot k3 + \bar{a} \cdot k1) \cdot \bar{b}$	$(a \cdot k1 + \bar{a} \cdot k3) \cdot \bar{b}$	$(a \cdot k3 + \bar{a} \cdot k1) \cdot b$	$(a \cdot k1 + \bar{a} \cdot k3) \cdot b$	4	2
5.	a	b	$a \cdot k1 + \bar{a} \cdot k3$	-	8	2
6.	$(a \cdot k3 + \bar{a} \cdot k1) \cdot a$	$(a \cdot k1 + \bar{a} \cdot k3) \cdot \bar{a}$	$(a \cdot k3 + \bar{a} \cdot k1) \cdot a$	$(a \cdot k1 + \bar{a} \cdot k3) \cdot a$	4	2
7.	a	$a \cdot k1 + \bar{a} \cdot k3 + k4$	$k2 + k4$	-	8	4
8.	"	"	"	H	16	4
9.	a	b	$a \cdot n + \bar{a} \cdot n$	-	8	2
10.	$\bar{a} \cdot n$	$\bar{a} \cdot \bar{n}$	$a \cdot \bar{n}$	$a \cdot n$	4	1

* Память ЭВМ "Минск-2" управляется кодами: K2 + K4 и K3 + K4.

Рис. 8. Принципиальная схема блока переключения памяти анализатора NTA-512B и ЭВМ Минск-2.



Входы K1, K2, K3 и K4 через коммутатор углов соединяются с контактами корреляционного стола. Закрытие выбранного контакта приводит к появлению на выходе соответствующего инвертора отрицательного уровня /признак угловой позиции детекторов/.

Полученные таким образом признаки \bar{a} (\bar{a}), \bar{b} (\bar{b}), $\bar{K1}$, $\bar{K2}$, $\bar{K3}$, $\bar{K4}$ поступают на диодно-транзисторный шифратор, с помощью которого реализуются все логические функции, указанные в таблице. Признак H(H) подается на шифратор с БМП.

Выбор режима работы блока производится переключателем режимов - выходы V20, V21, V22, V23 /через инверторы/ соединяются с соответствующими выходами шифратора.

При больших частотах импульсов с МСС за счет мертвого времени анализатора выбор участков памяти может оказаться ложным. Для устранения этого эффекта импульсом "Вх.блок" блокируются все схемы пропуска-ния импульсов с МСС на время регистрации каждого импульса анализатором.

Когда в качестве накопителя информации используется ЭВМ "Минск-2", ее память разделяется на 2 или 4 участка, только по признакам угловых позиций одного подвижного детектора. Выбор участков производится подачей управляющих сигналов в виде двухразрядного слова.

3.3. Блок переключения направления магнитного поля

Схема БПМП приведена на рис. 9.

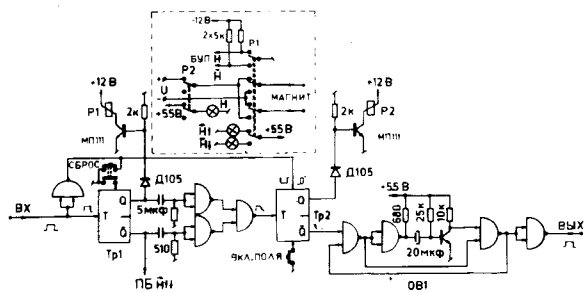


Рис. 9. Принципиальная схема блока переключения направления магнитного поля.

Командой переключения магнитного поля является импульс конца цикла, поступающий на вход БПМП из УБ в обоих крайних положениях детекторов. Передним фронтом этого импульса сбрасывается триггер Тр2 и посредством реле 2 выключается ток в электромагните. Задним фронтом меняется состояние триггера Тр1. В результате переключается реле Р1, с помощью которого задается направление тока в электромагните и

вырабатываются сигналы "Н" и "Н̄" для переключения памяти МАА.

После каждого переброса триггера Тр1 формируется импульс для переброса триггера Тр2 в состояние, в котором реле Р2 вновь включает ток в электромагните. Одновременно одновибратор ОВ1 вырабатывает импульс, поступающий на УБ /сигнал начала измерения/.

3.4. Пересчетный блок /ПБ/

Для контроля стабильности энергетических окон и для оценки поправки на центровку источника необходимо в течение всего эксперимента считать импульсы с каждого дифференциального дискриминатора для каждой угловой позиции детектора отдельно. Используемая нами система считывания представлена на рис. 10. Она позволяет считать импульсы с 4 дифференциальных дискриминаторов для 4 угловых позиций скинтилляционных детекторов. Так как скорость считывания применяемых

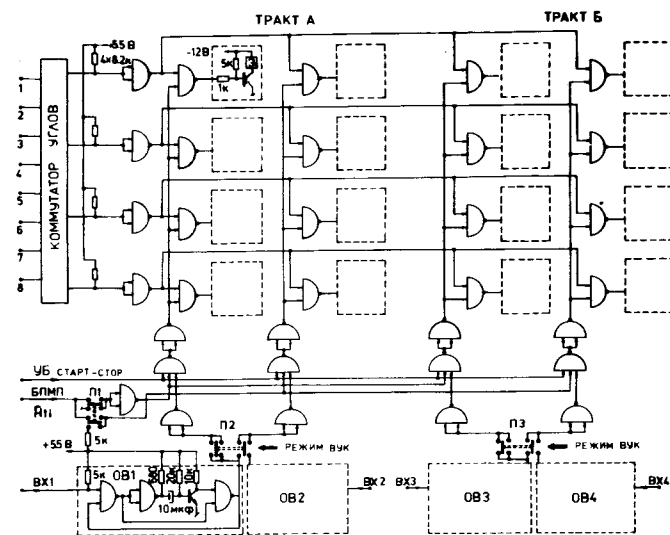


Рис. 10. Принципиальная схема пересчетного блока.

электромеханических счетчиков /Э/ относительно небольшая /~5 имп/с/, то импульсы с ДД сначала пересчитываются быстрыми электронными пересчетками РТ-72. На пересчетный блок /Вх 1÷4/ поступает один импульс через каждые 10^n ($n = 1 \div 5$) входных импульсов / n выбирается в зависимости от скорости счета/.

При измерениях возмущенных угловых корреляций импульсы считываются только с двух ДД отдельно для каждого направления магнитного поля. Выбор режима считываний производится переключателями П1, П2 и П3.

Описанная установка успешно эксплуатируется в ОЯС и РХ ЛЯП ОИЯИ уже несколько лет, при изучении свойств возбужденных состояний ряда ядер Gd, Tb, Eu, Er и др.

Авторы глубоко благодарны за постоянную поддержку и помощь при запуске и эксплуатации установки К.Я. Грому, В.А. Морозову и В.М. Цупко-Ситникову.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.С. Александров, Ф. Дуда и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 34, 69 /1970/.
2. Yu. K. Akimov et al. Nucl. Instr. and Meth., 104, 581 (1972).
3. В.Ф. Борейко, Ю.Г. Будяшов и др. Препринт ОИЯИ, 13-6396, Дубна, 1972.
4. Т. Валчак, Г. Запальский. Материалы V Международного симпозиума по ядерной электронике. Алушта, 1968, Изд. ОИЯИ, 13-4161, Дубна, 1968, стр. 134.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 марта 1976 года.