

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗУУ.Зе
Б-532

19/12
13 - 7984

3693/2-74

А.И.Бескровный, О.И.Елизаров, А.А.Жаринов,
Г.П.Жуков, Ю.М.Останевич, К.Г.Родионов,
Б.Н.Соловьев, В.Г.Тишин, Хоанг Зыонг Куан

ТОКОВЫЙ СПЕКТРОМЕТР
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЯДЕРНОГО ГАММА-РЕЗОНАНСА

1974

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

13 - 7984

А.И.Бескровный, О.И.Елизаров, А.А.Жаринов,
Г.П.Жуков, Ю.М.Останевич, К.Г.Родионов,
Б.Н.Соловьев, В.Г.Тишин, Хоанг Зыонг Куан

ТОКОВЫЙ СПЕКТРОМЕТР
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЯДЕРНОГО ГАММА-РЕЗОНАНСА

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Бескровный А.И., Елизаров О.И., Жаринов А.А.,
Жуков Г.П., Останевич Ю.М., Родионов К.Г.,
Соловьев Б.Н., Тишин В.Г., Хоанг Зыонг Куан

13 - 7984

Токовый спектрометр для исследования ядерного гамма-резонанса

Описываются блоки спектрометра ядерного гамма-резонанса, работающего в токовом режиме регистрации гамма-излучения. Рассмотрены вопросы наладки и эксплуатации спектрометра.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1974

© 1974 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее распространенных методов в ядерной гамма-резонансной /ЯГР/ спектроскопии в настоящее время является метод измерения скоростных спектров с помощью временного многоканального анализатора, быстродействие которого ограничивает скорость счета величиной $10^3 \div 10^4$ имп/сек. Скорость счета может быть доведена до $10^5 \div 10^6$ имп/сек, если к содержанию выбранного канала добавляется не $+1$, а $+n$, где n - число однородных событий, подсчитанных быстрой пересчетной схемой за время, отведенное для данного канала /1,2/.

Дальнейшее повышение скорости счета возможно, если вместо подсчета отдельных событий производить измерение тока /3,4/ или заряда /5,6/, накопленного в течение времени, равного ширине временного канала.

Ниже описан спектрометр ЯГР, использующий токовый метод регистрации. Спектрометр разработан в ЛНФ ОИЯИ в 1969 году и используется на протяжении ряда лет для исследования эффекта Мессбауэра на цинке-67, где наблюдаемый эффект мал /7,8/.

2. БЛОК-СХЕМА СПЕКТРОМЕТРА

Гамма-излучение, прошедшее через фильтр /22/ от источника /21/, регистрирует ФЭУ /24/ с кристаллом NaI(Tl) /23/. Ток ФЭУ поступает на интегратор тока /2/. Вырабатываемая кварцованным генератором /1/ серия импульсов определяет продолжительность интегри-

рования и ширину временного канала спектрометра. При установлении интегратора импульсами канальной серии в нулевое состояние на его выходе появляется импульс с амплитудой, пропорциональной заряду, накопленному интегратором. Амплитудно-цифровой преобразователь /АЦП/ /3/ /9/ вырабатывает серию импульсов $f = 10 \text{ МГц}$, число которых $0 \div 127$ пропорционально амплитуде сигнала с интегратора.

В спектрометре предусмотрены два режима работы. Первый режим позволяет измерить разность интенсивностей прошедшего через фильтр излучения при скорости движения источника, равной нулю и при скорости, достаточной для полной расстройки резонанса. ($V = \infty$) /10/. В этом режиме серия импульсов с АЦП поступает на блок коммутации /11/. Блок коммутации через интервалы времени, определяемые времязадающим устройством /10/, коммутирует входы пересчетных схем /12,13/ и одновременно переключает электромагнитное реле /16/. Через контакты реле к пьезоэлектрическому вибратору /20/ в одном цикле подсоединяются генератор синусоидального напряжения /17/ с частотой $f = 100 \text{ кГц}$ ($V = \infty$), а в следующем цикле вибратор подсоединяется к "земле" ($V = 0$).

Во втором режиме проводится измерение зависимости интенсивности фильтрованного гамма-излучения от скорости движения источника. Серия импульсов АЦП регистрируется пересчетной схемой /5/ и после окончания преобразования параллельным кодом переносится в сумматор /7/ /11/. Поступившее из АЦП число сумматор складывает с содержимым выбранной ячейки магнитного запоминающего устройства /МЗУ/ /9/. В качестве МЗУ используется запоминающее устройство на 512 20-разрядных двоичных чисел /12/. Выбор ячейки МЗУ определяется адресным счетчиком /6/. Каждая ячейка МЗУ соответствует определенному интервалу скорости движения источника. Питание вибратора осуществляется звуковым генератором через повышающий трансформатор /19/. Амплитуда питающего напряжения контролируется милливольтметром. Частота питающего напряжения выбирается таким образом, чтобы период колебаний вибратора был

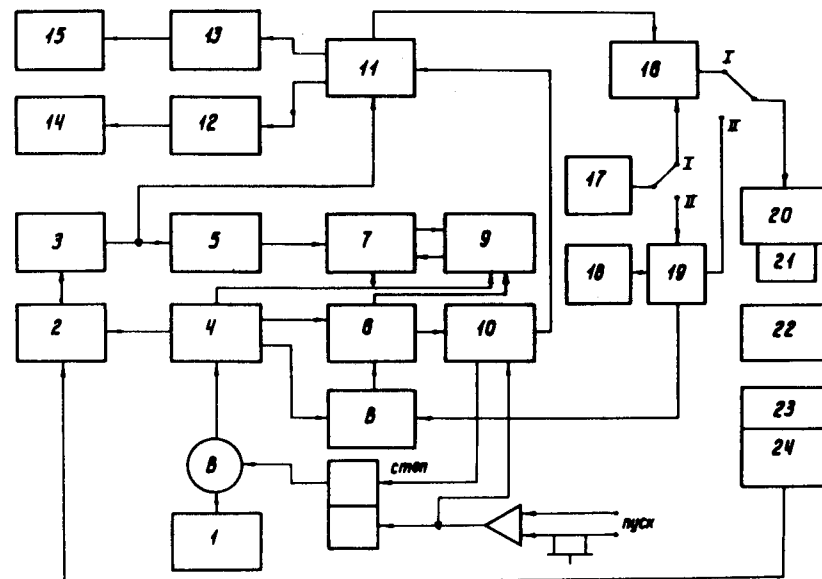


Рис. 1. Блок-схема спектрометра. 1 - генератор кварцованных импульсов, 2 - интегратор, 3 - амплитудно-цифровой преобразователь /АЦП/, 4 - блок логики, 5 - адресный счетчик АЦП, 6 - адресный счетчик МЗУ, 7 - сумматор, 8 - блок синхронизации, 9 - МЗУ, 10 - времязадающее устройство, 11 - схема коммутации, 12,13 - быстрые триггера, 14,15 - пересчетные декады, 16 - электромагнитное реле, 17 - генератор, 18 - милливольтметр, 19 - повышающий трансформатор, 20 - вибратор, 21 - источник, 22 - фильтр, 23 - кристалл NaJ(Tl) , 24 - ФЭУ, I, II - режим работы.

равен времени обхода всех каналов спектрометра. Синхронизацию временной шкалы спектрометра с колебаниями вибратора осуществляет блок синхронизации /8/.

При измерении скоростного спектра происходит многократное переполнение МЗУ. Число переполнений определяется показаниями пересчетных схем /14,15/, на вход которых поступает серия импульсов с АЦП.

Для вывода результатов информация из МЗУ параллельным кодом передается на цифропечатающее устройство и на вычислительную машину БЭСМ-4 измерительного центра Лаборатории на расстоянии примерно 500 м.

3. ДЕТЕКТОРНЫЙ ТРАКТ

Питание ФЭУ осуществляется стандартным образом /рис. 2/. К последнему диоду ФЭУ подключена интегрирующая емкость C_u , заряжающая током ФЭУ. Ток ФЭУ зависит от величины питающего напряжения и энергии и интенсивности регистрируемого гамма-излучения. Микроамперметр М1, включенный в цепь анода, позволяет осуществлять визуальный контроль и -подстройку тока ФЭУ.

Импульсы канальной серии с периодом 16 мксек после формирователя поступают на ключ /Д1, Т1/, открывают транзистор Т1, и интегрирующая емкость C_u разряжается /установка интегратора в нуль/. Длительность открытого состояния / ≈ 1 мксек/ определяется временем, необходимым для полного разряда емкости C_u . Перепад напряжения на емкости C_u , возникающий при установлении ее в нулевое состояние, подается на повторитель с большим входным сопротивлением /Т2... Т6/, дифференцируется (С1, R1) и с окончного повторителя /Т7/ поступает на вход АЦП.

Чтобы исключить потерю информации, связанную с наличием порога АЦП, емкость C_u через сопротивление R2 подзаряжается постоянным током до потенциала, превышающего порог. Число импульсов АЦП, соответствующее этой постоянной составляющей, учитывается при измерениях в первом и во втором режимах. Для этого периодически производится измерение спектра при выключенном питании ФЭУ. Введение постоянной составляющей также позволяет исключить влияние нелинейности начального участка характеристики преобразования АЦП.

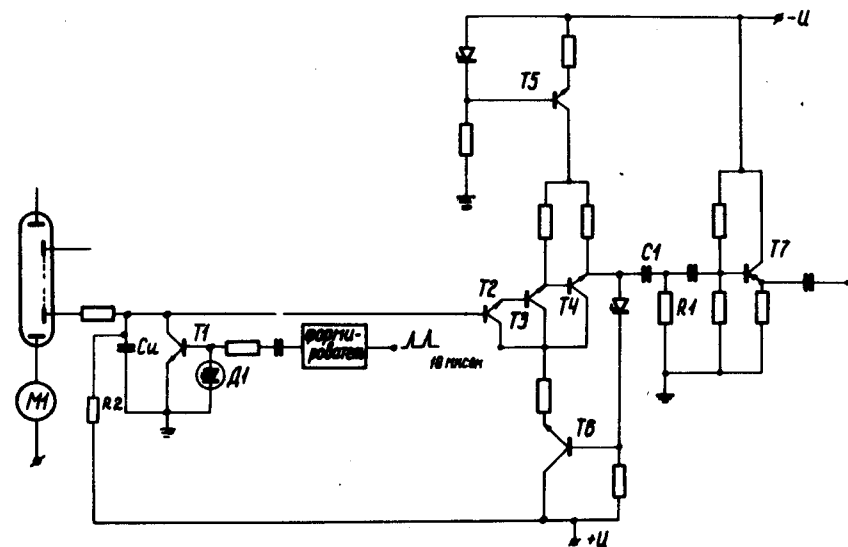


Рис. 2. Схема детекторного тракта.

4. ВРЕМЯЗАДАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

Это устройство используется в первом режиме и задает длительность одного цикла, автоматически останавливает измерение по истечении заданного числа циклов, а также позволяет прервать измерение в любой момент времени, не нарушая заданной цикличности измерений. Для повышения точности компенсации нестабильности аппаратуры и влияния распада источника, длительность первого и последнего циклов равна $T/2$, где T - длительность любого другого цикла 10 . В течение "половинных" циклов импульсы регистрируются одной и той же пересчетной схемой.

Сигналом "пуск" открываются ворота /1/, пропускающие серию импульсов переполнения адресного счетчика на формирователь длительности цикла /2/ /рис. 3,4/.

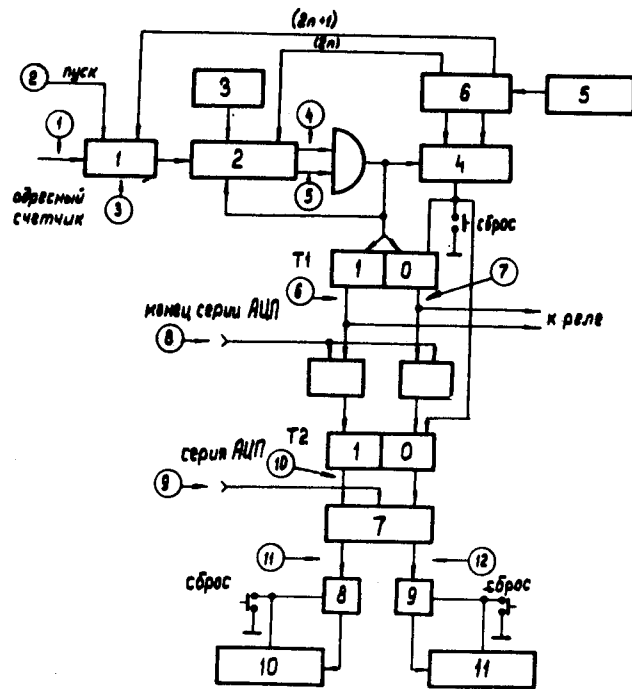


Рис. 3. Упрощенная функциональная схема времязадающего устройства. 1 - "ворота", 2 - формирователь длительности циклов, 3 - переключатель длительности цикла, 4 - счетчик циклов, 5 - переключатель числа циклов, 6 - дешифратор импульсов $(2n)$ и $(2n+1)$, 7 - схема коммутации серии АЦП, 8, 9 - быстрые пересчетные триггера, 10, 11 - пересчетные декады. T1 - триггер включения реле, T2 - триггер выборки каналов.

Длительность цикла формируется с помощью пересчетной схемы и может изменяться в диапазоне $0,5 \div 1$ сек с помощью переключателя /3/. Блоком /2/ также формируются первый и последний "половинные" циклы. Полное время измерения задается счетчиком циклов /4/ и зависит от положения переключателя числа циклов /5/. По окончании предпоследнего цикла $(2n)$ формируется импульс, который поступает на блок /2/. Он формирует последний "половинный" цикл, концу которого соответствует импульс $(2n+1)$ из схемы /6/, закрывающий ворота /1/.

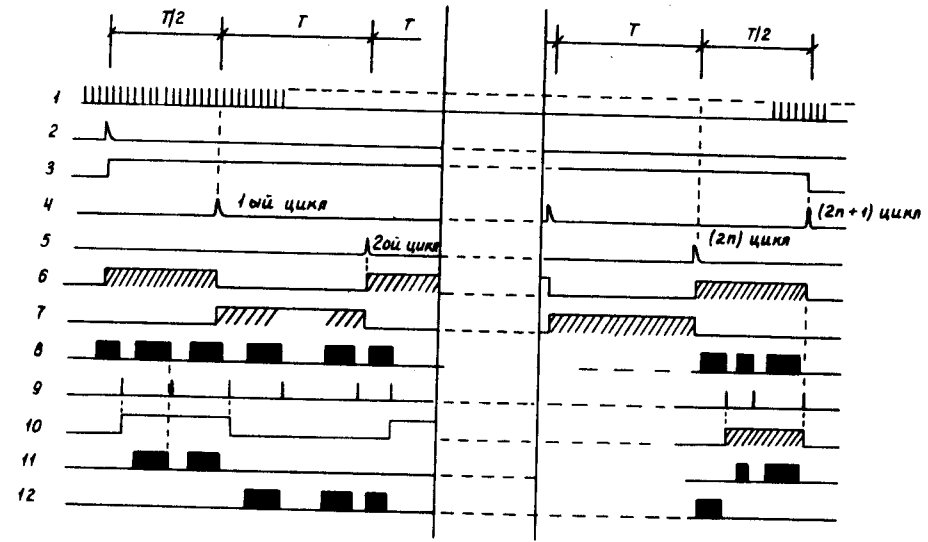


Рис. 4. Временная диаграмма работы времязадающего устройства.

Импульс конца каждого цикла поступает на счетный вход триггера T1, который управляют электромагнитным реле. Одновременно T1 через ключи и триггер T2 управляют схемой пропускания /7/. Триггер T2 переключается импульсом конца преобразования АЦП так, что всегда происходит полный досчет серии импульсов АЦП данного цикла.

5. БЛОК СИНХРОНИЗАЦИИ

С одной из вторичных обмоток повышающего трансформатора синусоидальное напряжение подается на усилитель-ограничитель /1/ /рис. 5/. Полученное напряжение прямоугольной формы дифференцируется. Эти импульсы с периодом T_s запускают одновибратор /2/, открывающий на 20 мксек ворота /3/, на вход которых поступают импульсы канальной серии. Из первого прошедшего им-

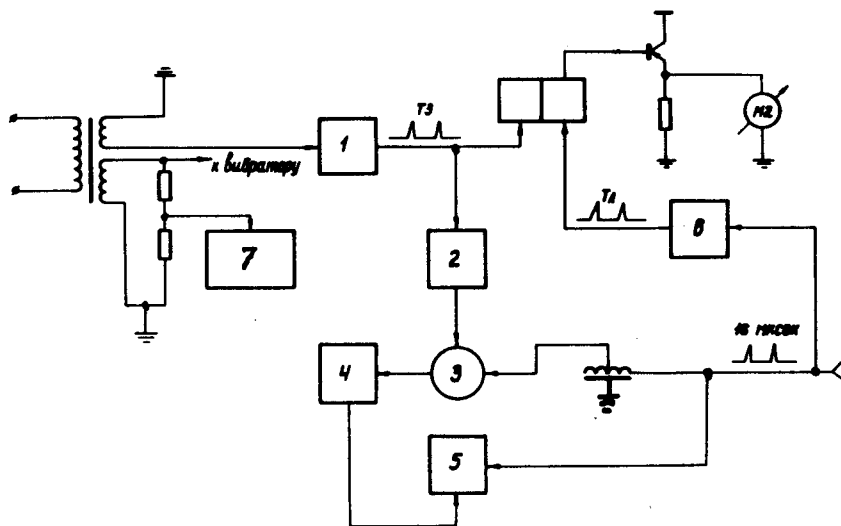


Рис. 5. Блок синхронизации. 1 - усилитель, 2 - одновибратор, 3 - "ворота", 4 - формирователь, 5 - адресный счетчик МЗУ, 6 - адресный счетчик синхронизации, 7 - милливольтметр.

пульса формируется импульс установки адресного счетчика в нулевое состояние. Таким образом, начало счета адресного счетчика с точностью до одного канала привязано к определенной фазе напряжения, питающего вибратор. Такой способ синхронизации приводит к некоторому размыванию скоростной шкалы спектрометра, равному

$$\sigma(V_i) = \frac{1}{\sqrt{12}} \frac{\pi}{256} V_m \cos\left(\frac{\pi}{256} i + \phi\right),$$

если вибратор совершает колебания по закону:

$$V_i = V_m \sin\left(\frac{\pi}{256} i + \phi\right),$$

где V_m - максимальная скорость, i - номер временного канала, ϕ - фаза питающего напряжения при $i=0$, т.е. в момент синхронизации.

Усредненное за период среднее квадратичное отклонение равно:

$$\overline{\sigma(V_i)} = \frac{1}{\sqrt{24}} \frac{\pi}{256} V_m \approx 2,4 \times 10^{-3} V_m.$$

Для визуального контроля настройки генератора на рабочую частоту используется микроамперметр М2, включенный через эмиттерный повторитель в одно плечо триггера Т. На один вход триггера Т поступают импульсы с периодом T_s , а на второй - импульсы с последнего триггера адресного счетчика /период T_A /. Если периоды T_s и T_A совпадают, то через микроамперметр М2 будет протекать установившийся ток I . При незначительной разности периодов $(T_A - T_s) = \Delta t$ ток периодически изменяется. Период изменения тока I при этом равен

$$t = T_A \frac{T_A}{\Delta t}.$$

При Δt , меньшем ширины канала /16 мксек/, полное изменение тока будет происходить за $t > 4,2$ сек. Достаточно медленное изменение тока I и является критерием правильной настройки генератора на рабочую частоту.

6. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И НАСТРОЙКИ

Синхронная работа электронных элементов спектрометра приводит к сфазированной с адресным счетчиком паразитной модуляции числа импульсов серии АЦП. Для уменьшения модуляции до $/0,5 \div 1,0/ \cdot 10^{-4}$ применено автономное питание АЦП, а детекторный импульс подается на АЦП через трансформатор, не имеющий общего заземления между детекторным трактом и АЦП.

При работе с быстрораспадающимся источником происходит уменьшение интенсивности гамма-излучения и возникает необходимость усиления детекторного импульса. Это достигается периодическим увеличением напряжения питания ФЭУ. Такая процедура, очевидно, не приводит к увеличению относительной дисперсии детекторного импульса.

Для проверки и настройки спектрометра детекторный импульс можно получить с помощью низковольтной лампы накаливания, помещенной в светонепроницаемый корпус для ФЭУ. Ток ФЭУ и дисперсия сигналов регулируются изменением напряжения, питающего лампу накаливания и ФЭУ.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На рис. 6 показан скоростной спектр с излучателем цинк-67, измеренный на токовом ЯГР спектрометре. Время измерения - 9 часов, относительная ошибка в канале - $5 \cdot 10^{-5}$.

Опыт использования описанного ЯГР спектрометра доказал его эффективность и позволяет надеяться, что такого типа спектрометр целесообразно применять не

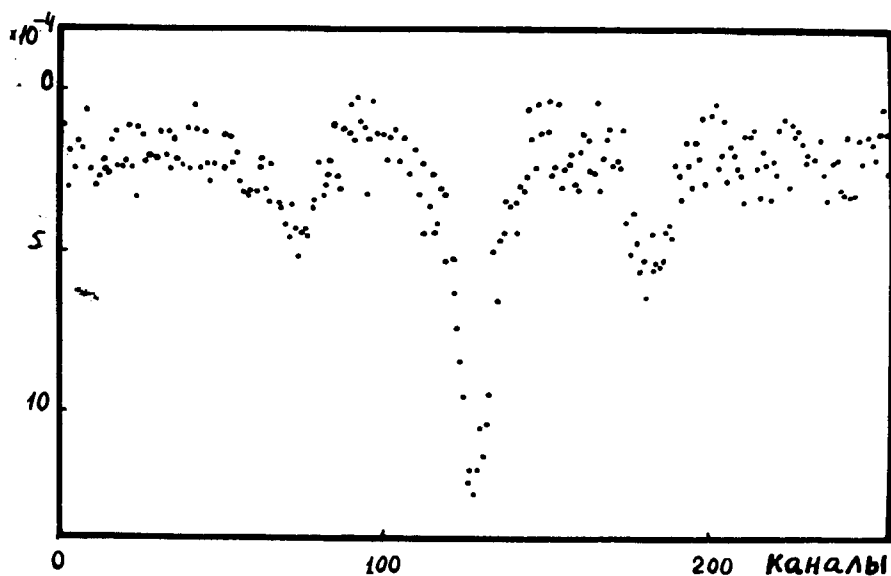


Рис. 6. Скоростной спектр $ZnO(^{67}Ga)/ZnO$.

только в опытах с цинком-67 ¹³, но и с другими мессбауэровскими ядрами, где наблюдаемый эффект мал и ограничено время измерений.

Авторы благодарны Ф.Л.Шапиро за постоянный интерес к этой работе. Большую помощь при выполнении измерений оказали Е.Я.Пикельнер и А.И.Секирин, за что авторы выражают им свою признательность.

Литература

1. В.С.Шпинель. Резонанс гамма-лучей в кристаллах. М., Наука, 1969.
2. С.М.Иркаев, Р.Н.Кузьмин, А.А.Опаленко. Ядерный гамма-резонанс. М., Изд. МГУ, 1970.
3. В.М.Лобашов, В.А.Назаренко, Л.Ф.Саенко, Л.М.Смотрицкий. Письма в ЖЭТФ, 3, 2, 76 /1966/.
4. Цв.Бончев, Кл.Бурин, Л.Бурков. ПТЭ, 5 /1967/, 148.
5. А.А.Жаринов, Г.П.Жуков, и др. Сообщение ОИЯИ, 13-4720, Дубна, 1969.
6. А.И.Бескровный, Ю.М.Останевич. ПТЭ, 5/1971/, 54.
7. В.П.Алфименков, Ю.М.Останевич, Т.Русков и др. ЖЭТФ, 42, 1029 /1962/.
8. H. de Waard, G.J.Perlow. Phys. Rev. Lett., 24, 566 (1970).
9. В.Г.Тишин. Сообщение ОИЯИ, 2163, Дубна, 1965.
10. С.И.Аксенов, В.П.Алфименков, В.И.Лущиков и др. ЖЭТФ, 40, 88 /1961/.
11. J.J.Amodei, W.F.Kosonovsky. RCA Review, Vol.22, 669, 1961.
12. Г.П.Жуков, Ш.И.Барилко, Г.И.Забиякин и др. Труды VI конференции по ядерной радиоэлектронике, III, ч. 1, 197, М., Атомиздат, 1965.
13. А.И.Бескровный, Н.А.Лебедев, Ю.М.Останевич. Сообщение ОИЯИ, P14-5958, Дубна, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 мая 1974 года.