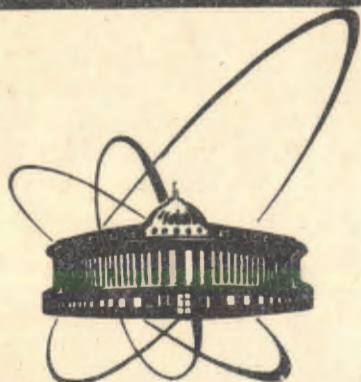


90-231



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

A-168

P6-90-231

В.Н.Абросимов, А.Т.Василенко, В.Г.Калинников,
Э.Крупа, В.А.Морозов, В.О.Сидорова, К.Пышняк,
Э.Н.Худайбердиев*, П.Чалоун

**УСТАНОВКА e - γ -СОВПАДЕНИЙ
ДЛЯ ON-LINE ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

* Самаркандский филиал Научно-исследовательского
института прикладной физики ТашГУ

1990

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе дается описание установки ($e-\gamma$)-совпадений, созданной на базе модернизированного магнитно-линзового спектрометра (МЛС), прототипом которого является β -спектрометр типа Герхольма^{1/1}. Установка работает в линию с масс-сепаратором экспериментального комплекса ЯСНАПП-2 и предназначена для определения времен жизни возбужденных состояний ядер, удаленных от полосы бета-стабильности. Изохронность траекторий электронов, при сравнительно высокой светосиле и разрешении по энергии, позволяет успешно использовать спектрометры Герхольма в установках ($e-\gamma$)-совпадений для исследований короткоживущих изотопов (IZOCELE^{2/1}, UNISOR^{3/1}).

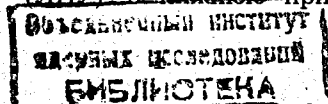
2. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ МЛС

2.1. Конструкция

Общий вид установки представлен на рис.1. Основным узлом является β -спектрометр (рис.2), который состоит из железного цилиндрического кожуха, катушки, вакуумной камеры с системой диафрагм и сцинтилляционного детектора. Специальная форма железного ярма обеспечивает создание треугольного магнитного поля с нулевым значением поля в точке расположения источника и с максимальным значением поля у γ -детектора. Такая форма позволяет получить хорошую дисперсию и фокусировку электронов, вылетающих из радиоактивного источника в широком диапазоне углов ($20^\circ \div 40^\circ$).

Основные узлы установки приведены на рис.3. Имплантирование ионов с масс-сепаратора производится на майларовую ленту шириной 12 мм, непосредственно в то место ленты, где должен быть размещен радиоактивный источник. По окончании цикла измерения лента перемещается, удаляя распавшийся источник, а его место занимает чистый участок ленты.

Имплантирование ионов происходит в камере источника, в которую входят: каналы для пропускания ленты из верхней камеры лентопротяжного устройства (ЛПУ) в нижнюю приемную камеру; канал



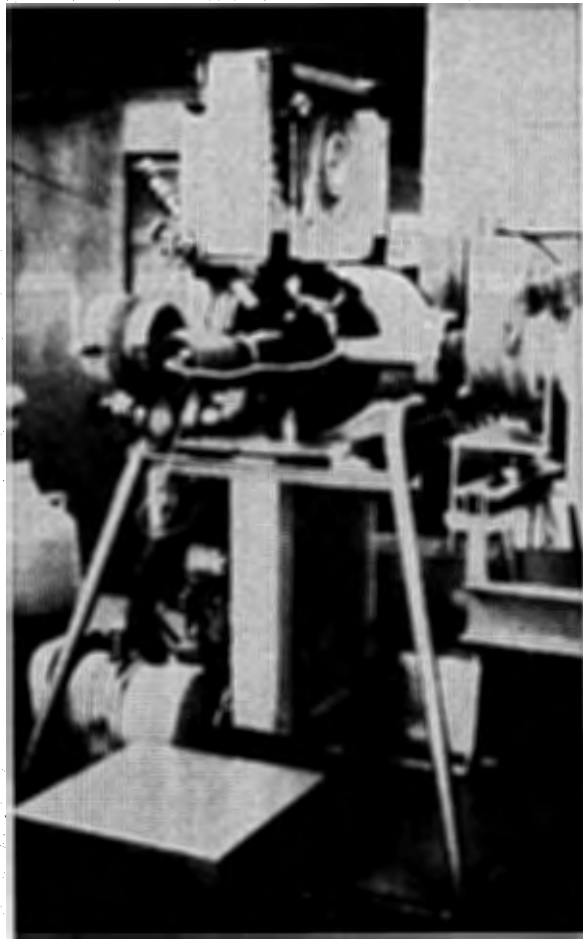


Рис.1. Общий вид установки.

ионопровода: канал вакуумной откачки, шлюз для ввода градуировочных радиоактивных источников без нарушения вакуума. В камере имеется механизм отвода ленты, который используется для пропускания пучка ионов на другую установку или для ввода градуировочного источника. На крышке камеры крепится γ -детектор и свинцовая защита.

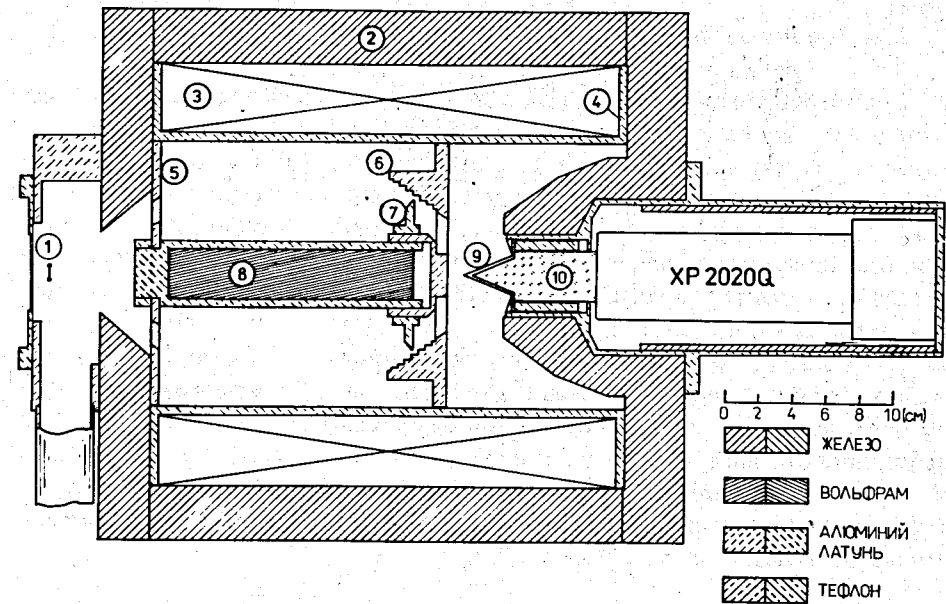


Рис.2. Сечение β -спектрометра: 1 — источник, 2 — железный кожух, 3 — обмотка, 4 — алюминиевый каркас, 5 — входная диафрагма, 6 и 7 — внешняя и внутренняя выходные диафрагмы, 8 — вольфрамовая защита, 9 — пластиковый сцинтиллятор, 10 — световод.

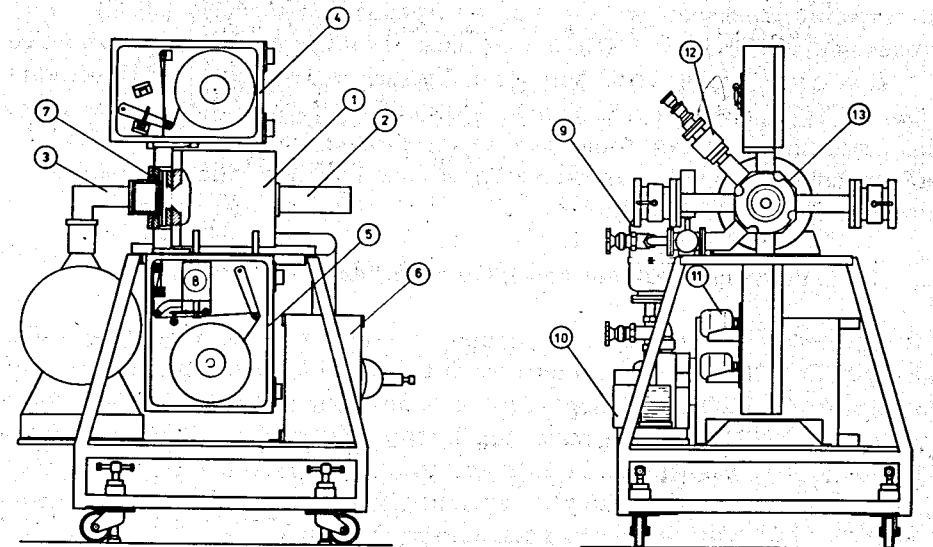


Рис.3. Конструкция и основные узлы установки: 1 — кожух β -спектрометра, 2 — детектор β -излучения, 3 — детектор γ -излучения, 4 и 5 — верхняя и нижняя камеры ЛПУ, 6 — высоковакуумный насос, 7 — майларовая лента, 8 — электромагнит ЛПУ, 9 — азотная ловушка, 10 — форнасос, 11 — двигатели ЛПУ, 12 — шлюз, 13 — измерительная камера.

2.2. Лентопротяжное устройство

Основные узлы ЛПУ представлены на рис.3. Лента-носитель активности расположена под углом 45° к направлению пучка ионов. Для передвижения ленты использованы два асинхронных двигателя и электромагнит, прижимающий ролик к ведущему валу электродвигателя. Натяжение ленты осуществляется электромагнитным тормозом верхней катушки, пружинящими рычагами, тормозом ленты и подматывающим двигателем нижней катушки. Управление исполнительными электромагнитами осуществляется датчиками на магнитоуправляемых контактах (герконах), срабатывающих от постоянных магнитов, установленных на рычаге в верхней камере. Рычажный механизм верхней камеры образует из ленты петлю, которая сбрасывается при подаче на ЛПУ управляющего импульса, включающего электромагнит, прижимающий ленту к валу двигателя. ЛПУ отводит радиоактивный источник от места накопления (измерения) на расстояние 200 мм за время 0,1 с. Время цикла смены источника составляет 1 с.

2.3. Электронная аппаратура

Комплекс электронной аппаратуры (рис.4) предназначен для регистрации спектров электронов внутренней конверсии (ЭВК), $(e-\gamma)$ -совпадений, $(e-\gamma-t)$ -совпадений при измерениях времен жизни уровней.

Для регистрации электронов используются пластиковые сцинтилляторы NE104, а для регистрации γ -излучения могут применяться как пластиковые сцинтилляторы, так и неорганические кристаллы — NaJ(Tl), BaF₂ в сочетании с фотоумножителями XP2020Q, а также полупроводниковые Ge(Li)- и HPCGe-детекторы.

2.3.1. Режим измерения $(e-\gamma-t)$ -совпадений

Временные сигналы с детекторов подаются через быстрые усилители ORTEC-579 на дискриминаторы ORTEC-584 и на времяамплитудный конвертер ORTEC-467. Энергетические сигналы подаются на линейные усилители КА234¹⁴. Сигналы с линейных усилителей (А1, А2) и с времяамплитудного конвертера (А3) поступают на три аналого-цифровых преобразователя КА007¹⁵. Сигнал для управления АЦП вырабатывает одноканальный амплитудный анализатор в блоке ORTEC-467.

На установке организован трехмерный амплитудно-временной режим измерения $(e-\gamma-t)$ -совпадений. Считывание информации из АЦП производится последовательно тройками 16-разрядных слов А1, А2, А3. В каждом слове 12 разрядов используются для передачи данных и 3 раз-

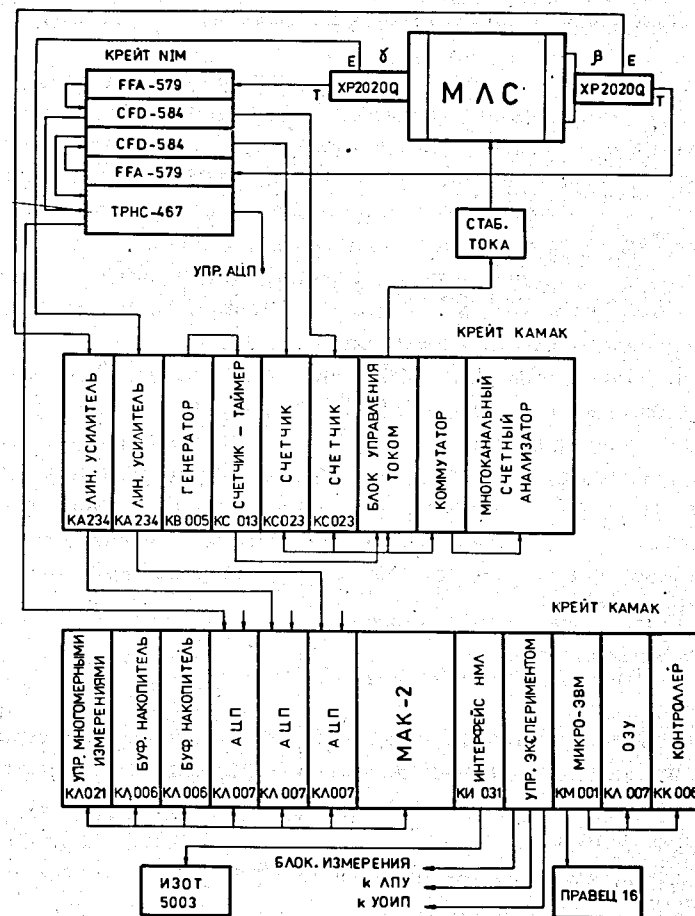


Рис.4. Блок-схема электронной аппаратуры.

ряда — для признаков. Управление режимом накопления информации осуществляется блоком КЛ021¹⁶, который заносит информацию из АЦП в один из буферных накопителей КЛ006¹⁵, емкость которого 1024 16-разрядных слов. После заполнения буфера микроЭВМ КМ001¹⁷ переносит его содержимое в память, а затем через интерфейс КИ031¹⁸ магнитофона ИЗОТ5300 — на магнитную ленту. Одновременно во второй буфер идет запись информации из АЦП. Параллельно с записью данных на магнитофон можно контролировать накопление интегрального спектра одного из трактов в анализатор МАК-2¹⁹.

2.3.2. Режим измерения спектров ЭВК

Для регистрации спектров ЭВК используется анализатор, работающий в мультисекундном режиме ¹¹⁰, позволяющий производить регистрацию числа импульсов в последовательные интервалы времени. Коммутатор, входящий в состав анализатора, разделяет его память на два участка, что позволяет использовать два независимых счетных канала. Один из каналов служит для регистрации спектров ЭВК, а второй — для регистрации γ -активности источника. Такой режим необходим для нормировки спектров ЭВК по счету в γ -канале, а также для контроля работы масс-сепаратора во время экспериментов.

Для питания обмотки МЛС использован стабилизатор тока ¹⁷ и блок управления током К1084. Максимальный ток спектрометра 8,6 А. Шаг изменения тока $8,6 \cdot 10^{-3}$ А, нестабильность блока не превышает 0,01%. С блоком управления током можно задавать число шагов изменения тока от 1 до 999, устанавливать начальный ток, задавать число циклов (1 ÷ 9) при последовательном суммировании спектров ЭВК. В момент переключения тока предусмотрена блокировка входных сигналов на счетчики.

2.3.3. Блок управления экспериментом

Блок вырабатывает сигналы для управления ЛПУ, устройства отклонения пучка ионов масс-сепаратора, блокировки измерения и задает:

- время накопления активности $0,1 \text{ с} \div 100 \text{ мин}$
- время измерения $1 \text{ с} \div 100 \text{ мин}$
- время задержки начала измерения после конца накопления $0,1 \text{ с} \div 100 \text{ мин}$.

2.4. Вакуумная система

Вакуумная система включает в себя ротационный насос типа VL30P, магниторазрядный насос НОРД-250, азотную ловушку и позволяет получить в камере вакуум $1 \cdot 10^{-5}$ Торр.

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЕКТРОМЕТРА

3.1. Электронная оптика

Расположение источника на расстоянии 3 см от плоскости фланца спектрометра потребовало нового определения траекторий в спектро-

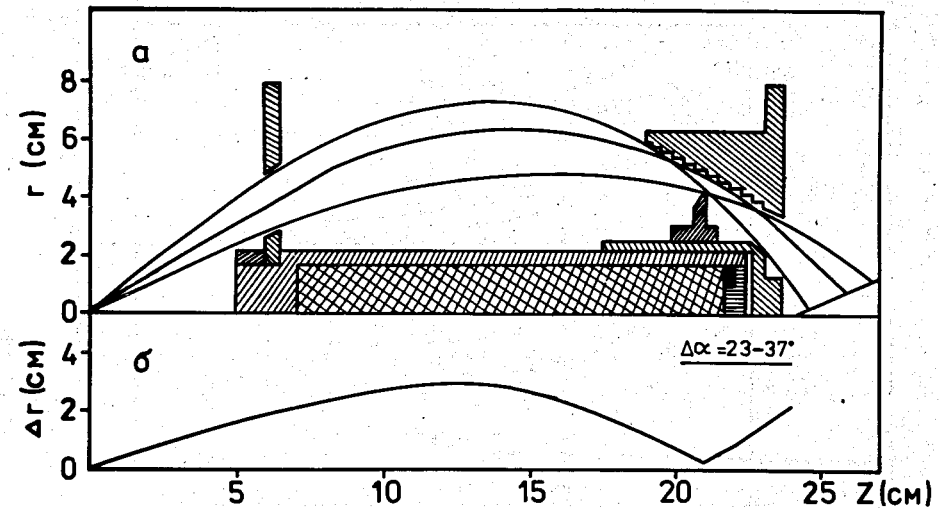


Рис.5. Траектории движения электронов (а) и ширина электронного пучка в β -спектрометре (б) для точечного источника.

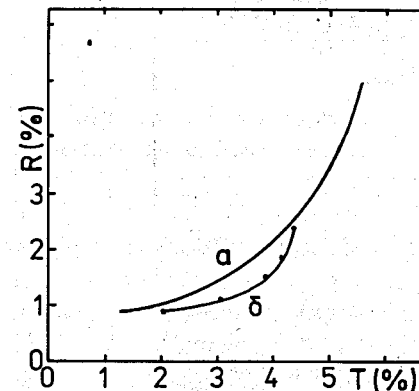


Рис.6. Электронно-оптические характеристики β -спектрометра до модернизации (а) и после (б).

метре с целью оптимизации параметров выделяющих диафрагм и расчета винтовых диафрагм для сепарации электронов и позитронов. Электронно-оптические характеристики спектрометра подробно описаны в работе ¹¹². На рис.5 показаны огибающие траекторий электронов (а) и изменение ширины электронного пучка, испущенного точечным источником по длине спектрометра. Оптимальное расстояние выходной диафрагмы от источника — 22 см. Исследование влияния угла захвата входной диафрагмы на разрешение спектрометра, при одинаковой щели выходной диафрагмы (3 мм), но при разном аксептансе входной диафрагмы ($25^\circ - 35^\circ$ и $23^\circ - 37^\circ$), показало, что при незначительной потере в светосиле спектрометра получено улучшение его разрешающей способности. На рис.6 приведена экспериментальная зависимость разрешения спектро-

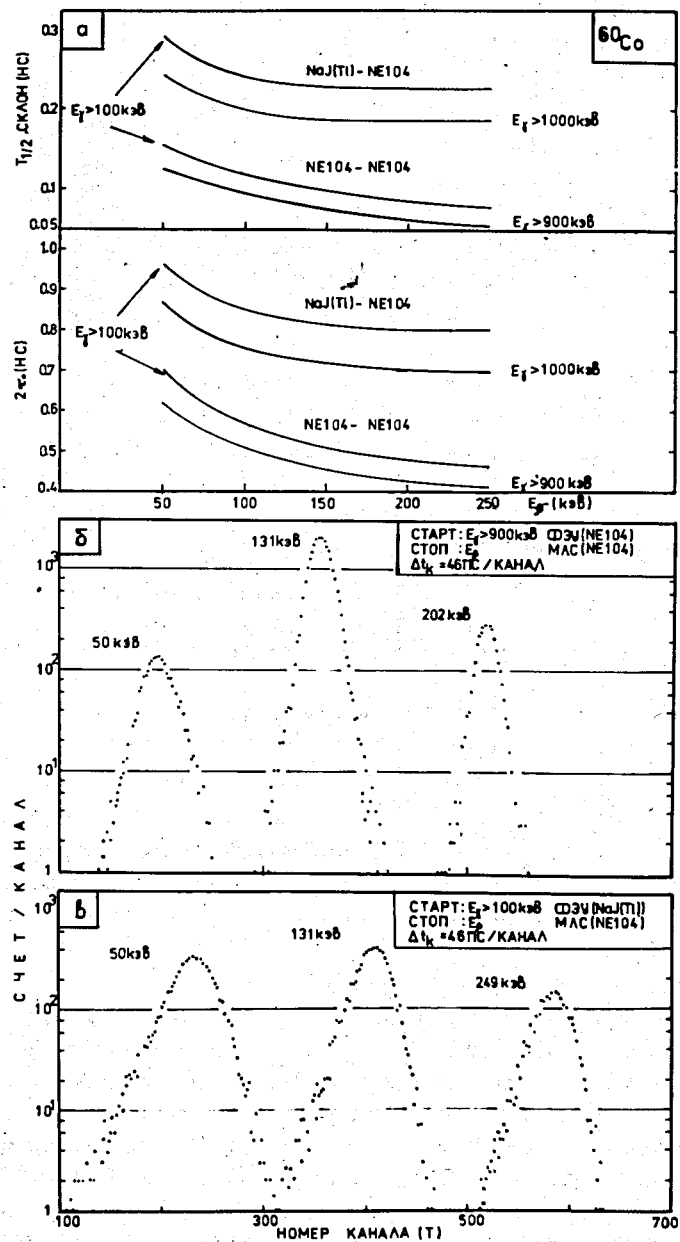


Рис.7. Временные характеристики установки (а) и кривые мгновенных совпадений (б, в).

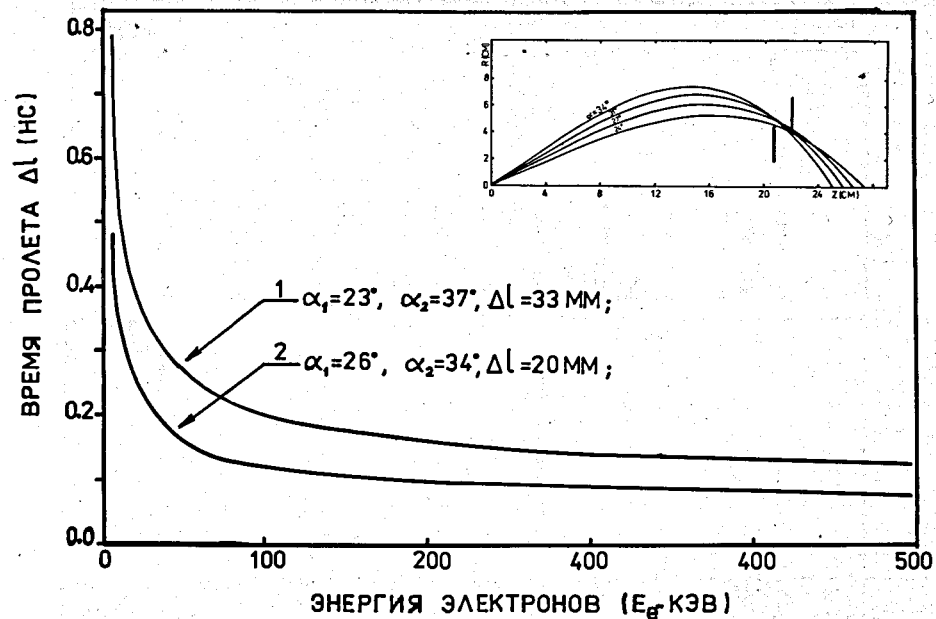


Рис.8. Зависимость неизохронности траекторий электронов от энергии электронов и от акцептанса входных диафрагм.

метра от светосилы как до модернизации (кривая а), так и после (кривая б). Как видно из рис.6, оптимизация положения фокусирующих диафрагм позволила улучшить светосилу, не ухудшив при этом разрешения спектрометра. Изготовленные винтовые диафрагмы обладают высокой трансмиссией и обеспечивают надежную сепарацию частиц разного знака.

3.2. Временные характеристики

Спектрометр совпадений характеризуется следующими данными¹³. На источнике ^{60}Co было получено разрешение $2\tau_0 = 410$ пс при использовании в γ -спектрометре пластического сцинтиллятора NE104 и выборе энергического порога $E_\gamma > 900$ кэВ и $E_\beta = 250$ кэВ. Крутизна склона кривой мгновенных совпадений $T_{1/2} = 50$ пс. Зависимость временного разрешения и форма временных кривых приведены на рис.7. Оценка вклада в разрешающее время спектрометра неизохронности траекторий электронов (рис.8) при различных углах захвата показала, что разность длин траекторий при их регистрации вершиной или осно-

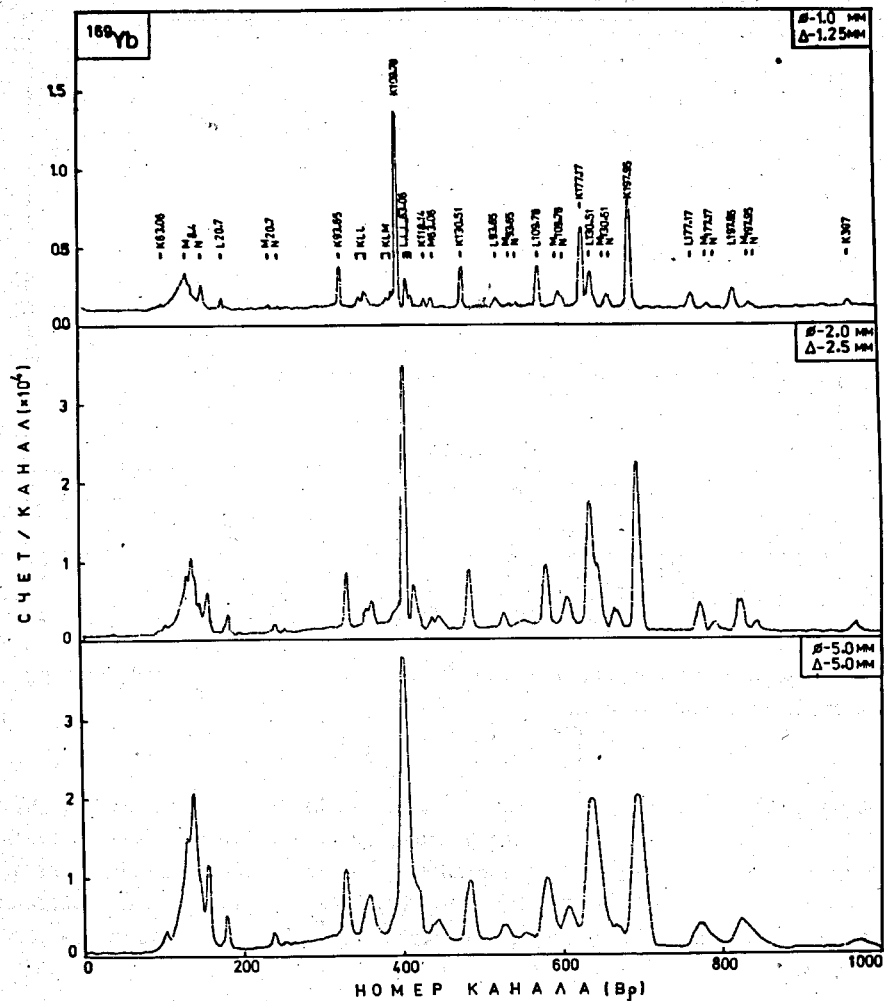


Рис.9. Спектр ЭВК ^{169}Yb при различных размерах источника и щели выходной диафрагмы.

ванием конуса при энергиях электронов меньше 100 кэВ становится существенной (кривая 1). Уменьшение этого вклада осуществляется применением входной диафрагмы с меньшим аксептансом (кривая 2).

3.3. Энергетические характеристики

На МЛС может быть достигнуто разрешение $\Delta V_p/V_p = 0,4\%$ при источнике ϕ 1 мм и величине щели выходной диафрагмы 1,25 мм (рис.9).

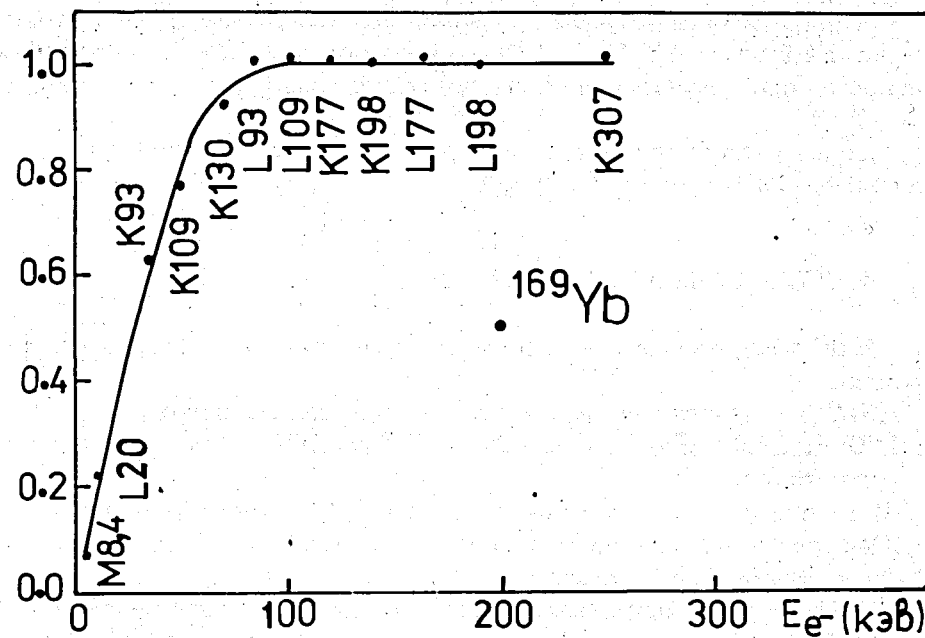


Рис.10. Кривая эффективности при регистрации конверсионных электронов.

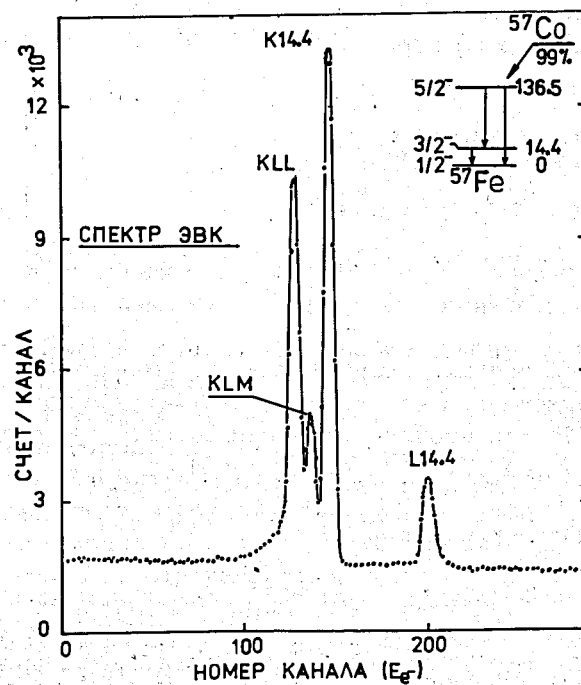


Рис.11. Спектр конверсионных электронов ^{57}Co .

Светосила в этом случае равна $T = 0,6\%$. При источнике $\phi 2$ мм и величине щели 2,5 мм — $\Delta V_p/V_p = 0,8\%$, а светосила равна 2%. Кривая эффективности при регистрации конверсионных электронов приведена на рис.10.

Порог регистрации электронов не превышает $4 \div 6$ кэВ, что видно на примере KKL — $14,4$ ^{57}Co (рис.11).

4. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Для обслуживания эксперимента используются следующие программы:

- ANAL — программа пересылки данных из анализатора в KM001,
 - LPU — программа управления ЛПУ, управление ионным пучком, режимом измерений,
 - CI — программа измерения спектров А-А-Т, управление НМЛ^{14/},
 - KM-PC — программа обмена данными KM001 и ПЭВМ "Правец-16"^{15/}.
- Программы обработки спектров:
- SPRINT — предварительная обработка интегральных спектров^{15/},
 - SORT — сортировка и формирование спектров совпадений^{15/},
 - КАТОК — обработка γ -спектров и спектров ЭВК^{16/},
 - POSITRONFIT — обработка временных спектров^{17/},
 - UPEAK — обработка временных спектров^{18/}.

5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

5.1. Измерения (e- γ)-совпадений

Работа спектрометра в режиме (e- γ)-совпадений показана на примере исследования спектра совпадений электронов с энергией 109 кэВ при распаде ^{169}Yb (рис.12).

Для регистрации γ -лучей использовался Ge(Li)-детектор объемом 100 см³. При обработке одиночного спектра совпадений был определен фактор ветвления $f = 0,35(3)$ для уровня с энергией 138 кэВ, что подтверждают данные, приведенные в обзоре^{19/}, где $f = 0,318$.

5.2. ON-LINE эксперименты

В экспериментах были измерены спектры ЭВК изобарных цепочек с $A = 151$ по $A = 160$. Измерения проводились в режиме непрерывного накопления активности на ленте в месте измерения. Время экспозиции

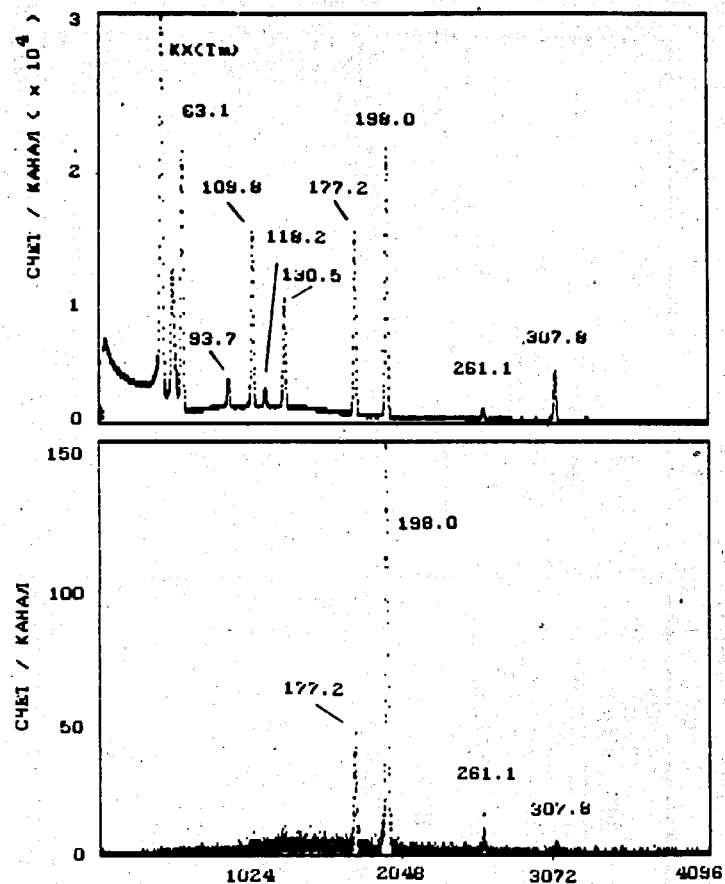


Рис.12. Одиночный спектр и спектр (e- γ)-совпадений ^{169}Yb .

на каждой точке составляло 2 с. Ток пучка протонов был равен 0,8 мкА. Для идентификации изотопов изобарной цепочки, после окончания набора спектра ЭВК, через время ΔT измерялся спектр ЭВК на остаточной активности.

На рис.13, 14 приведены спектры ЭВК для $A = 155, 158$. Определение принадлежности линий ЭВК к распаду определенного радиоактивного нуклида осуществлялось по энергии конверсионных линий и по спаду их интенсивностей.

На рис.15 представлен временной спектр уровня 39 кэВ ^{155}Dy , возбуждающегося при распаде ^{155}Ho . Полученное значение $T_{1/2} = 3,34(3)$ нс хорошо согласуется с известными данными. Получен верх-

СЧЕТ КАНАЛ ($\times 10^3$)

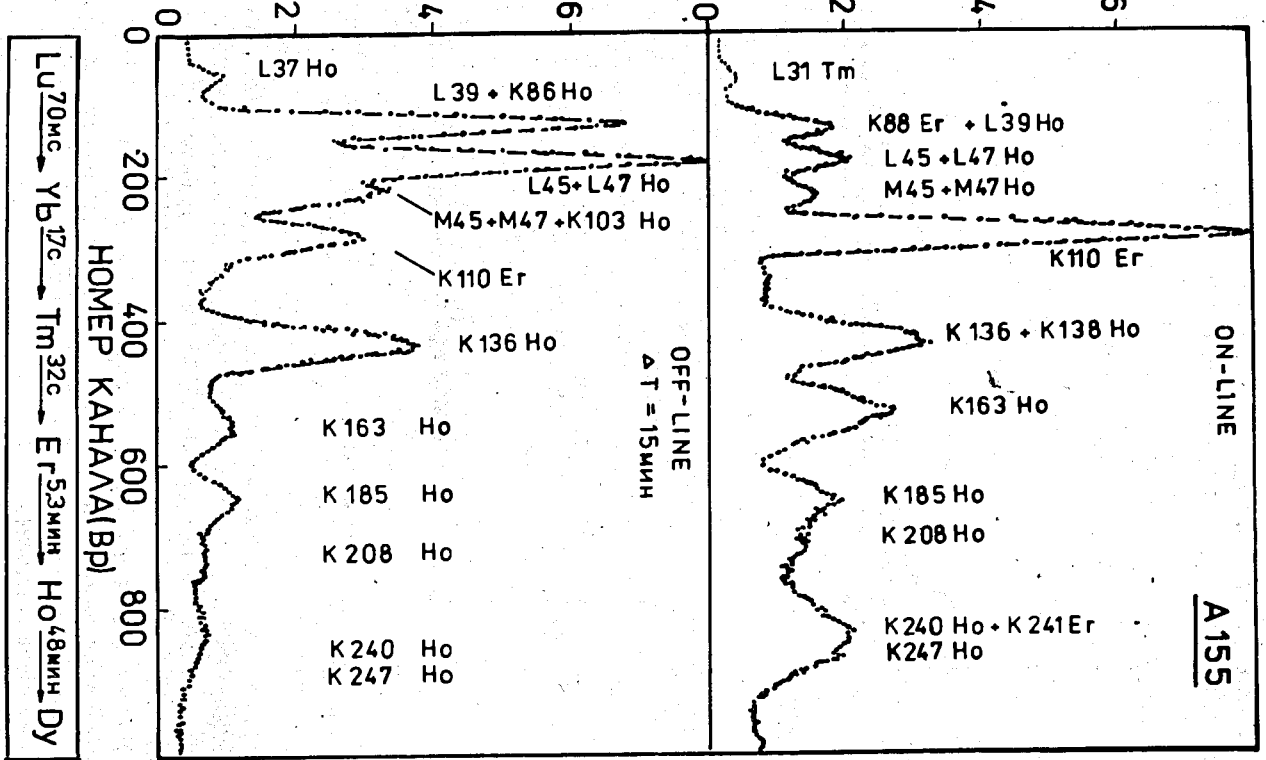


Рис.13. Спектр ЭВК для A = 155.

СЧЕТ/КАНАЛ ($\times 10^3$)

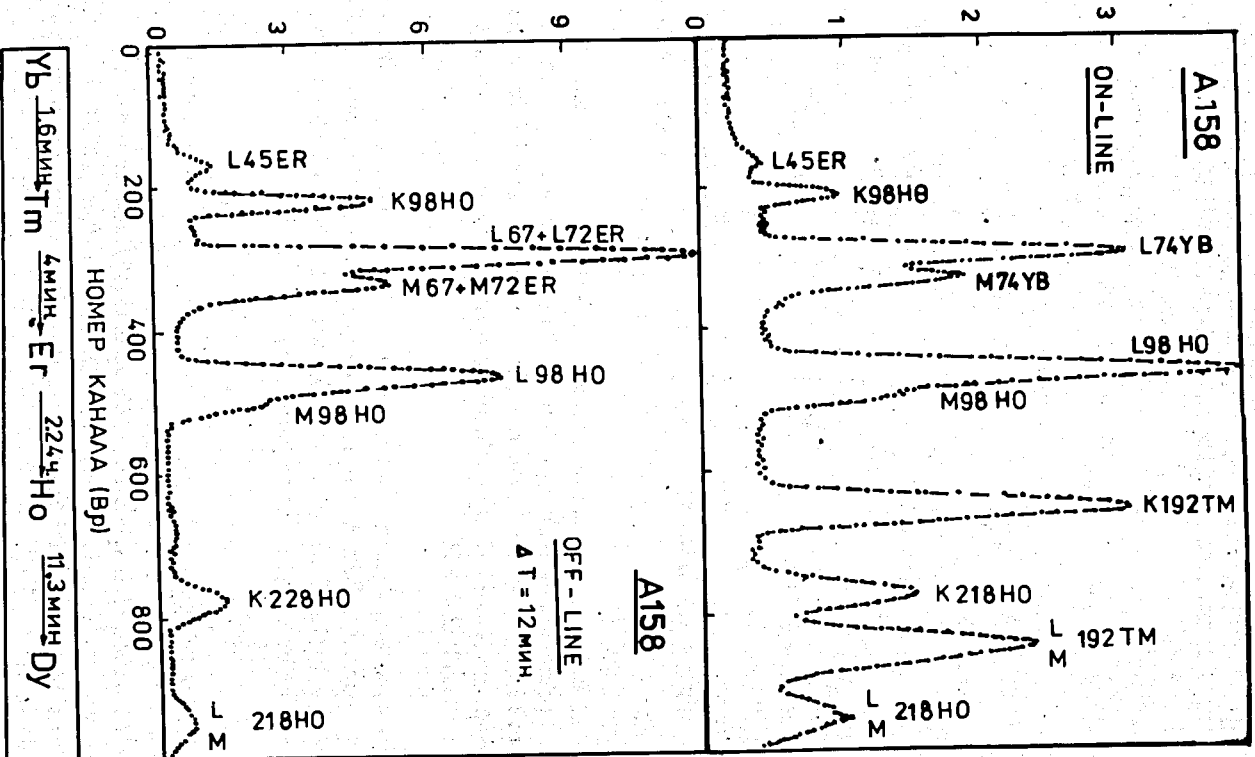


Рис.14. Спектр ЭВК для A = 158.

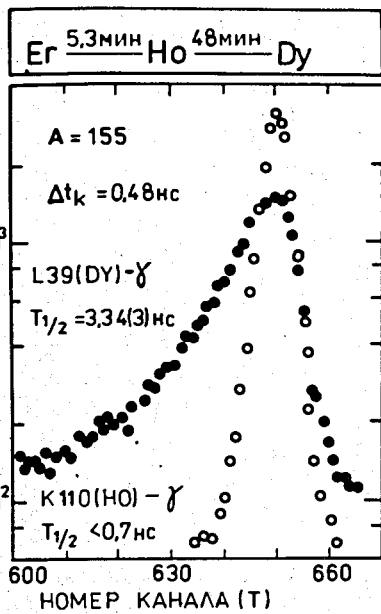
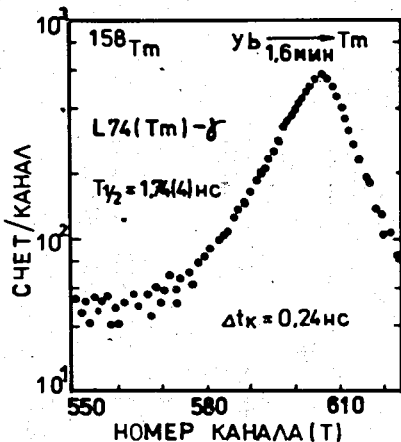


Рис.15. Спектры задержанных совпадений при распаде уровней 39 кэВ в ^{155}Dy и 110 кэВ в ^{155}Ho .

Рис.16. Кривая распада 74 кэВ уровня ^{158}Ho .



ний предел времени жизни состояния 110 кэВ в ^{155}Ho . $T_{1/2} < 0,7$ нс. Кривая распада 74 кэВ уровня ^{158}Tm приведена на рис.16. Приведенная ошибка в экспериментальных данных является статистической ошибкой, полученной при обработке временных распределений по программе POSITRONFIT¹⁷.

Авторы выражают благодарность К.Я.Громову и Ц.Вылову за поддержку работы, В.М.Абазову, Э.Аугустыняку, Н.А.Бонч-Осмоловской, Д.Еленкову, Н.А.Лебедеву, А.Ф.Новгородову, В.Г.Сазонову, А.В.Саламатину за помощь на отдельных этапах работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морозов В.А., Муминов Т.М. — ОИЯИ, P13-3437, Дубна, 1967.
2. Berg V. — These pour obtenir de docteur essciences. Orsay, 1976.
3. Nettles W.G. et al. — In: Future direc. in Study Nucl. far from Stability, ed.J.Hamilton, 1980, p.77.
4. Акимов Ю.К., Динь Ши Хьен, Калинин А.И. — ПТЭ, 1985, № 3, с.131.
5. Антюхов В.А. и др. — ОИЯИ, 10-80-650, Дубна, 1980.
6. Василев Д. и др. — ОИЯИ, P10-84-860, Дубна, 1984.

7. Сидоров В.Т., Синаев А.Н., Чуринов И.Н. — ОИЯИ, P10-12481, Дубна, 1979.
8. Ле Зон Пхир, Сидоров В.Т. — ОИЯИ, 10-81-517, Дубна, 1981.
9. Георгиев А. и др. — В сб.: Труды XII Межд. симпозиума по ядерной электронике. ОИЯИ, Д13-85-793, Дубна, 1985, с.218.
10. Журавлев Н.И., Саламатин А.В., Синаев А.Н. — ОИЯИ, P10-86-716, Дубна, 1986.
11. Аликов Б.А. и др. — ОИЯИ, 13-9844, Дубна, 1976.
12. Абазов В.М. и др. — ОИЯИ, P6-85-238, Дубна, 1985.
13. Абросимов В.Н. и др. — ОИЯИ, P6-86-675, Дубна, 1986.
14. Гонс Э. — ОИЯИ, 10-86-221, Дубна, 1986.
15. Аугустыняк Э. и др. — ОИЯИ, P13-86-160, Дубна, 1986.
16. Гаджоков В.И. — ОИЯИ, 5035, Дубна, 1970.
17. Kirkegaard P., Eldrup M. — Comp.Phys.Comm., 1972, v.3, p.240.
18. Zlokazov V.B. — Comp.Phys.Comm., 1978, v.13, p.389.
19. Sherley V.S. — Nucl.Data Sheets, 1982, v.36, p.443.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 марта 1990 года.