

С413Г
Д-81

24/41-73

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



4672/2-73

P12 - 7446

И. Дуда

ЭКСПРЕССНОЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ГЕРМАНИЯ И НЕКОТОРЫХ ГАЛОИДОВ
АКТИВАЦИОННЫМ МЕТОДОМ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА
И ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ С
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ Ge(Li) -ДЕТЕКТОРОМ

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

P12 - 7446

И. Дуда

ЭКСПРЕССНОЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ГЕРМАНИЯ И НЕКОТОРЫХ ГАЛОИДОВ
АКТИВАЦИОННЫМ МЕТОДОМ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА
И ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ С
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ Ge(Li) -ДЕТЕКТОРОМ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

S u m m a r y

Germanium and haloids were determined over the analytical photopeaks of isomers and isotopes ^{75m}Ge , ^{34m}Cl , ^{19}O , ^{126}I and ^{78}Br , produced in the reactions $(n,2n)$ or (n,p) when irradiating with fast 14 MeV neutrons. Use of Ge(Li) detector ($v = 40 \text{ cm}^3$) of high resolution and efficiency made it possible to determine simultaneously several elements in one sample of the substance under analysis. The detection limits for the present conditions are from $2.3 \times 10^{-3} \text{ g}$ (iodine) to $1.8 \times 10^{-4} \text{ g}$ (germanium). The method is suitable for express determination of the mentioned elements as microcomponents in the samples of 0.1-0.2 g. The determination duration is about 15 min.

Введение

Применение первых Ge(Li) -детекторов означало новый этап в развитии гамма-спектрометрии и значительное расширение возможностей инструментальных методов активационного анализа. Приблизительно 15-30-кратное повышение разрешающей способности современных Ge(Li) -детекторов по сравнению с лучшими спектрометрическими сцинтилляционными кристаллами NaJ(Tl) /1,8 - 3,5 кэв против 8%, т.е. 53 кэв для линии 662 кэв Cs^{137} / позволило идентифицировать в спектрах значительно большее количество разрешенных гамма-линий, по которым можно производить элементный анализ веществ.

Первые типы Ge(Li) -детекторов обладали малым чувствительным объемом и низкой эффективностью регистрации гамма-квантов. Для получения фотопиков с количеством импульсов, достаточным для решения конкретной задачи, было необходимо измерять объекты с высоким уровнем наведенной активности или значительно увеличивать время измерения по сравнению с измерением на сцинтилляционном детекторе. Поэтому Ge(Li) -детекторы можно было использовать для целей активационного анализа только при активации с помощью интенсивных потоков активирующих частиц, например, с помощью тепловых нейтронов реактора $\Phi = 10^{11} - 10^{14} \text{ н/см}^2 \cdot \text{сек}$ и для определения по радиоизотомам с большими периодами полураспада /дни, часы/.

Улучшение технологии производства $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторов, увеличение их чувствительных объемов и повышение эффективности регистрации позднее позволило использовать эти детекторы и при работе со слабыми потоками, например, с пучком быстрых нейтронов нейтронных генераторов $\Phi = 10^7 - 10^{10}$ н/см².сек/, т.е. с низкими наведенными активностями и с короткоживущими изотопами и изомерами, удобными для разработки экспрессных методов элементного анализа веществ. Несмотря на это, число аналитических работ, проведенных на нейтронном генераторе с использованием $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторов, составляет всего около 10, при общем числе работ по активационному анализу с использованием нейтронного генератора, приближающемся уже к 1000^{/1/}. Подобное состояние при современном росте параметров генераторов и детекторов явно не соответствует возможностям данного варианта активационного анализа, как в области исследовательской, так и промышленно-прикладной.

$\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторы изготавливаются из германия полупроводниковой чистоты, для производства которого во многих случаях применяются германий-органические соединения, обладающие, кроме того, рядом других ценных свойств^{/2/}. Ежегодно синтезируются и изучаются сотни и тысячи германий-органических соединений. Первой фазой в их исследовании обычно является качественный и количественный химический анализ, классические методы которого приводят к довольно хорошим результатам, но они длительны и трудоемки, прежде всего вследствие необходимости предварительной минерализации образца^{/3/}. Именно процесс предварительной минерализации является чаще всего источником ошибок при анализе таких образцов.

Предложенный нами метод инструментального определения германия в германий-органических соединениях с помощью тепловых нейтронов реактора^{/4/} и метод экспрессного определения германия с помощью быстрых нейтронов генератора^{/5/} позволяют производить определение без предварительной минерализации образца.

Работа^{/5/} была проведена с помощью сцинтилляционного детектора $\text{NaI}(\text{Tl})$ ϕ 40x40 мм, так как, соглас-

но работе^{/6/}, первое использование $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора с чувствительным объемом 22 см³ для активационного определения германия с использованием генератора нейтронов с энергией 14 Мэв не привело к положительным результатам. Наша более поздняя работа^{/7/}, однако, показала, что использование $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора большего объема /40 см³/ дает хорошие результаты и при экспрессном методе определения этого элемента с использованием изомера $\text{Ge}^{75\text{m}}$.

Применение больших $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторов позволяет, кроме того, одновременное экспрессное определение германия и галоида из одной навески.

Экспериментальная часть

Определение проводилось с помощью быстрых нейтронов $E = 14$ Мэв/ нейтронного генератора НГ-200 с током на образце в пределах $2 - 6 \times 10^8$ н/см².сек и гамма-спектрометрической аппаратуры, состоящей из коаксиального $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора с чувствительным объемом 40 см³, производства ОИЯИ Дубна, предусилителя и двух усилителей, блока интегрального и дифференциального формирования импульсов, 4096-канального амплитудного конвертора СА 13 В, блока памяти ВМ 26 и быстрого магнетрона RG 23 для вывода информации в течение эксперимента /100 каналов в сек/, производства фирмы Intertechnique.

Аппаратурное оформление не включало пневматическую почту, но после некоторых изменений позволило начинать измерения в течение 10 - 15 секунд после облучения. Режим работы /время облучения, охлаждения и измерения образца/ был равен 300 - 15 - 300 сек соответственно. Часть результатов измерения рассчитывалась с помощью малого счетного устройства ТПА венгерского производства. Упаковка образцов, геометрия одновременного облучения образца и медного монитора, а также независимый счетчик нейтронов были такими же, как в работе^{/5/}.

Определение германия можно производить по фотопикам целого ряда его изотопов и изомеров. На *рис. 1* нашей работы ^{5/} показаны фотопики или неразрешенные суперпозиции короткоживущих изотопов или изомеров Ge^{75m} , Ge^{75g} , Ga^{73} , Zn^{71} и Ga^{74} , возникающих при облучении германия, а также фотопик N^{13} , возникающий по первичным и вторичным реакциям $N^{14}(n,2n)$; $C^{13}(p,n)$; $O^{16}(p,\alpha)$ быстрых нейтронов с ядрами неопределяемых элементов, находящихся в полиэтиленовой упаковке, в соединениях германия и в воздухе, заключенном в полиэтиленовых упаковках. На *рис. 2* той же работы ^{5/} - распад аналитического фотопика 139 Мэв изомера Ge^{75m} , выбранного для экспрессного определения германия. Ge^{75m} образуется по реакции $Ge^{76}(n,2n)Ge^{75m}$. Определения можно выполнять и по долгоживущим изотопам Ga^{72} и Ge^{69} , суперпозиции фотопиков которых приведены на *рис. 1* данной работы. Из *рис. 1* работы ^{5/} и *рис. 1* настоящей работы очевидно, что сцинтилляционный детектор и 128-канальный анализатор не дают возможности определять одновременно с германием другие элементы по их фотопикам в области гамма-спектра $E_{\gamma} < 1 \text{ Мэв}$.

На *рис. 2* и в *табл. 1* представлены экспериментальные данные для четырех полупроводниковых $Ge(Li)$ -детекторов, использованных в нашей работе, и произведено сравнение их параметров со сцинтилляционным детектором, использованным нами в работе ^{5/}. Измерение кривых абсолютной эффективности, которое подробно описано в работе, посвященной определению ртути ^{8/}, показало, что с ростом эффективного объема детектора растет и абсолютная эффективность регистрации гамма-квантов, и что наибольший из использованных детекторов 40 см^3 в мягкой области гамма-энергий обладает эффективностью, сравнимой с кристаллом $NaJ(Tl) \phi 40 \times 40 \text{ мм}$ и в 30 раз большей разрешающей способностью.

Из *рис. 3* видно, что в мягкой области спектра облученного германия, измеренного с помощью гамма-спектрометрической аппаратуры, включающей $Ge(Li)$ -детектор и 4096-канальный анализатор импульсов, наблюдаются целые области энергий, где могут без интерференции разместиться фотопики других изотопов. В *табл. 2*

приведен ряд некоторых ядерных реакций, инициированных нейтронами с энергией 14 Мэв, которые можно использовать при одновременном определении германия и галогидов. Звездочкой помечены аналитические реакции, использованные в данной работе. Выбор производился эмпирически, облучением соответствующих соединений в стандартных условиях, вследствие значительных разногласий в литературных данных о сечениях этих реакций ^{9,10/}. Для расчетов безинтерференционных чувствительностей определения и пределов обнаружения было проведено 10 облучений стандартных упаковок в одинаковом режиме $300 - 15 - 300 \text{ сек}$. Сумма импульсов при измерении облученной упаковки в области энергий аналитического фотопика определяемых изотопов принималась за фон. Результаты определения F, Cl, Br, J и Ge по соответствующим аналитическим фотопикам представлены в *табл. 3*. Все определения нормированы на нейтронный поток $5 \times 10^8 \text{ н/см}^2 \cdot \text{сек}$.

Из *табл. 2* и *3* вытекает, что по чувствительности определений, выраженной в *имп/мг*, определяемые элементы располагаются в ряд $Ge > F > Br > Cl > J$. По пределам обнаружения / в *мг*/ расположение иное - $Br > F > Ge > Cl > J$, что связано с распределением фоновых импульсов по энергиям.

Определение изучаемых элементов индивидуально или в нескольких комбинациях производилось на искусственных смесях, для приготовления которых использовались те же химические соединения, которые применялись и для определения чувствительности и пределов обнаружения. Различные весовые количества исследуемых веществ смешивались с органической матрицей - гидрохиноном, глюкозой или лимонной кислотой. Общая величина навески - 150 - 200 мг. На *рис. 4* приведена низкоэнергетичная область спектров смесей и конкретных соединений, содержащих Ge и F, на *рис. 5* - тоже для более сложных смесей, содержащих Ge, F и Br. Результаты определения Ge, F и Br в этих смесях представлены в *табл. 4*. Расчет стандартных отклонений производился для $n=3$ и $|1-a|=0,95$. Исключение грубых ошибок производилось согласно критерию Дина и Диксона ^{11/}.

На рис. 6 приведены калибровочные кривые для определения всех пяти элементов в режиме 300 - 15 - 300 сек, при использовании описанной аппаратуры и нормировании площадей фотопиков на поток 5×10^8 н/см².сек.

Обсуждение результатов

Малые различия в толщине облучаемых образцов, хорошо воспроизводимое минимальное расстояние между образцом и мишенью нейтронного генератора, а также фиксированная геометрия измерения наведенной активности позволяют избежать поправок для отдельных образцов на ослабление интенсивности потока быстрых нейтронов и на поглощение гамма-излучения в объеме образца, обусловленных чисто геометрическим фактором. Хорошее согласие полученных результатов с результатами классических методов /12/ позволяет пренебречь также такими факторами, как снижение энергии малой части бомбардирующих нейтронов до значений ниже пороговых энергий аналитических реакций /термализация, рассеяние/ /13,14/. Вследствие тех же причин не производилась поправка на мертвое время при измерении короткоживущих изотопов /15/ в изученных интервалах концентраций /0 - 50 мг элемента в навеске 150 - 200 мг/ при данных экспериментальных условиях /интеграл за 300 сек, описанная аппаратура/.

По сравнению с работой /7/ чувствительность определения германия в данном эксперименте на ~20% выше /420 имп/мг по сравнению с 357 имп/мг. Основной причиной является более высокое среднее значение нейтронного потока, что позволило нормировать результаты на обычно доступную величину 5×10^8 н/см².сек. Кроме того, время охлаждения образца было сокращено с 60 до 15 сек. Такое изменение рабочего режима не привело практически к каким-либо изменениям в области возможных интерференций, подробно обсуждаемых в работе /7/. F, Cl, Br и J можно определять также по аннигиляционному фотопику 511 кэв (F¹⁸, Cl^{34m}, Br⁷⁸, J¹²⁶). Его использование для аналитических целей является

возможным и желательным особенно для Cl и J, так как позволяет повысить чувствительность определения. Условием использования фотопика 511 кэв, однако, является предварительное знание элементного состава образца и оценка возможных вкладов в этот фотопик. Использование аннигиляционного фотопика, как правило, весьма интенсивного, оправдывает себя в тех случаях, когда имеются один или два позитронных излучателя, обладающих и другими гамма-линиями, для которых хорошо известно соотношение их интенсивностей. Используемое экспериментальное оборудование поэтому должно иметь точно измеренную зависимость абсолютной эффективности регистрации гамма-квантов от энергии гамма-излучения.

Хлор можно с успехом определять по фотопику 145 кэв изомера Cl^{34m}, не перекрывающемуся с фотопиком 139 кэв Ge^{75m} по аннигиляционному фотопику или по радиоизотопу S³⁷. Определение иода более затруднительно, так как продукты реакций быстрых нейтронов с единственным стабильным изотопом этого элемента имеют неблагоприятные для данной работы ядерные характеристики: для J¹²⁶ T_{1/2} = 13,1 дня, интенсивность единственной гамма-линии /418 кэв/ J¹²⁷ составляет всего 1%, а изотоп Sb^{124m2}, возникающий в реакции (n, α), имеет одну мягкую линию /18 кэв/, измерение которой на данной аппаратуре невозможно. Лучших результатов для иода можно было бы достичь при активации тепловыми нейтронами, так как, несмотря на снижение интенсивности потока нейтронов приблизительно на 2 порядка после их термализации, активация по реакции (n, γ) происходит с сечением в пять раз большим /5,2 барн/. При 5-минутной экспозиции должно возникнуть ~13% от насыщенной активности изотопа J¹²⁸ / T_{1/2} = 25 мин/, что почти на 3 порядка больше, чем для J¹²⁷ T_{1/2} = 13,1 дня/. Результирующий эффект для линии 455 кэв /17,4%/ изотопа J¹²⁸ был бы приблизительно в 25 раз большим, т.е. около 450 имп/мг иода. Лучших результатов по сравнению с нейтронами 14 Мэв можно ожидать также при облучении с помощью нейтронов 2,8 Мэв, получаемых по реакции (d, d) /16/.

Ввиду ограниченного времени рабочих циклов тритиевых мишеней нейтронных генераторов, а также необходимости соблюдения требований экспрессности определения, возникает потребность использования короткоживущих изотопов и изомерных состояний, подбора рабочего режима, введения в аппаратную схему стабилизаторов мертвого времени и т.д. Каждая конкретная работа для получения оптимальных результатов требует индивидуальной оценки аппаратного оформления и выбора режима работы. Для этих целей может оказаться полезным графическое изображение зависимости от времени возникновения и распада наведенной активности для данного времени облучения. Подобная зависимость для системы пяти изученных элементов при времени облучения 5 мин приведена на рис. 7

Аналитический фотопик 139 кэв можно использовать и для определения мышьяка по реакции $As^{75}(n,p)Ge^{75m}$. Однако сечение этой реакции, а тем самым и чувствительность определения, приблизительно в 100 раз меньше, чем в случае определения германия по реакции $Ge^{76}(n,2n)Ge^{75m}$. Практически это означает, что 0,1 мг Ge имитируется весовым количеством 10 мг As, т.е. при анализе германий-органических соединений, мышьяк в которых практически вообще отсутствует, мешающее влияние As имеет чисто теоретический аспект.

К настоящему времени синтезированы германий-органические соединения, содержащие кроме германия и галоидов от одного до трех других гетероэлементов. Анализ таких образцов очень сложен, так как в роли дополнительных гетероатомов выступают более 40 элементов периодической системы. Использование быстрых нейтронов генератора в комбинации с $Ge(Li)$ -детекторами для анализа таких соединений особенно перспективно в случае определения Na, Al, P, Sc, V, Ni, Cu, Zn, Ga, Se, Rb, Zr, Mo, Ru, Ag, Cd, In, Sb, Ba, Ce, Pr, Nd, Hf и некоторых других элементов, кратковременное облучение которых приводит к возникновению изотопов и изомеров с короткими периодами полураспада и фотопиками в мягкой области энергий, где $Ge(Li)$ -детекторы обладают максимальной эффективностью регистрации

гамма-квантов, а их высокая разрешающая способность позволяет безинтерференционное измерение площадей фотопиков, по которым производится определение.

Заключение

Разработанные методики пригодны для экспрессного /15 минут без подготовки образца/ определения Ge, F, Cl, Br и J в элементоорганических соединениях, а также в технических продуктах, в которых эти элементы находятся в виде макрокомпонента и анализ которых классическими методами органического анализа требует длительного времени. Дальнейшее усовершенствование методики должно идти по пути использования пневмопочты и обработки гамма-спектров на ЭВМ, в программы которых должны быть включены коррекции на флюктуацию нейтронного тока, фон, навески и т.д., что позволило бы в дальнейшем при работе с большими сериями образцов перейти к полностью автоматизированному процессу с программным управлением.

Автор выражает признательность А.М.Кучеру и Б.Бочеву за помощь в работе.

Литература

1. R. van Grieken, J. Hoste. Annotated bibliography on 14 MeV Neutron Activation Analysis. Bureau Eurisotop-Information and Documentation Section, Euratom, 1972.
2. В.Ф. Миронов, Т.К. Гар. Органические соединения германия. Изд-во "Наука", Москва, 1967.
3. M. Večeřa. Organická elementární analýza. SNTL Praha 1967.
4. И. Дуда, С.И. Обтемперанская, И. Дудова. Ж. аналит. хим., 27, 373 /1972/.
5. И. Дуда, С.И. Обтемперанская, И. Дудова. Ж. аналит. хим., 27, 155 /1972/.
6. I. Fujii, T. Inouye, H. Muto, K. Onodera. Analyst 94, 189 (1969).
7. И. Дуда, И. Дудова. Сообщение ОИЯИ, 12-6221, Дубна, 1972.
8. И. Дуда. Сообщение ОИЯИ, P12-7447, Дубна, 1973.

9. M. Cuypers, J. Cuypers. *J. Radioanal. Chem.*, 1, 3, 243 (1968).
10. И. В. Меднис. *Справочные таблицы для нейтронно-активационного анализа*. Изд-во "Зинатне", Рига, 1969.
11. K. Eckschlanger. *Chyby chemických rozborů*. SNTL Praha 1961.
12. С. И. Обтемперанская, И. Дудова. *Ж. аналит. хим.*, 24, 1241 /1969/.
13. E. Ricci, J. Inorg. Chem., 27, 44 (1969).
14. D. Brune, K. Jirlov. *J. Radioanal. Chem.*, 2, 49 (1969).
15. J. Bartosek, G. Windels, J. Hoste. *Nucl. Instr. Methods.*, 103, 43 (1972).
16. E. P. Przybylowicz, G. W. Smith, J. E. Suddueth, S. S. Nargolwalla. *NBS Special Publication 312 (Proc. of the 1968 International Conference on Modern Trends in Activation Analysis)*, p. 888.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 сентября 1973 года.

Таблица 1.
Разрешающие способности
использованных детекторов гамма-излучения.

№ детектора	тип детектора	чувствительный объем/размеры/	энергетическое разрешение для линий Ra^{226} , Cs^{137} или Co^{60}	
			кэВ	%
1	полупроводник. Ge/Li	1,5 см ³	8,0	1,27/609/
2	полупроводник. Ge/Li	10 см ³	4,0	0,65/662/
3	полупроводник. Ge/Li	30 см ³	3,8	0,57/609/
4	полупроводник. Ge/Li	40 см ³	3,8	0,32/1330/
5	сцинтилляц. NaI/Tl	40x40 мм	74,2	11,2 /662/

Таблица 2.

Аналитические ^{+/} и некоторые другие ядерные реакции,
которые могут быть использованы для данной работы.

стаб. изотоп и содержание в ест. смеси	ядерная реакция	сечение реакции /мб/	продукт реакции	T _{1/2}	энергия /кэВ/ и выход/% гамма-излучения
F ¹⁹ 100 %	n,2n	50	F ¹⁸	118 мин	511/200/
	(+) n,p	20	O ¹⁹	29 сек	197/97,1360/55/
	n,α	20	N ¹⁶	7,3 сек	6140/69,7110/5/ и т.д.
Cl ³⁵ 75,5	(+) n,2n	8	Cl ^{34m}	32,4 мин	2130/62,145/27/ и т.д.
	n,p	30	S ³⁷	5,1 мин	3090/90/
Cl ³⁷ 24,5	(+) n,2n	800	Cl ^{36m}	49 сек	137/37/
	n,p	30	S ³⁷	5,1 мин	3090/90/
Ge ⁷⁶ 7,76	(+) n,2n	850	Ge ^{75m}	49 сек	137/37/
	n,p	10	Br ⁷⁸	6,5 мин	613/14/ + аннигл.
	n,α	10	Se ^{79m}	3,9 мин	96/4/
Br ⁷⁹ 50,5	n,2n	650	Br ^{80m}	4,4 час	36/5/
	n,p	15	Se ^{81m}	1,0 час	103/13/
	n,p	16	Se ⁸¹	18,6 мин	275/3,480/2,170/1/
	n,α	30	As ⁷⁸	1,5 час	615/42,695/16,4/ и т.д.
J ¹²⁷ 100	(+) n,2n	1200	J ¹²⁶	13,1 дн	386/34,650/33/ + аннигл.
	n,p	20	Te ¹²⁷	9,4 час	418/1/
	n,α	5	St ^{124m}	21 мин	18/7/

Таблица 3.

Безинтерференционные чувствительности и пределы обнаружения F, Cl, Ge, Br и J.

элемент	хим. форма	вес элемента/мг/	аналит. фотопик /кэв/	площадь фотопика /имп/	чувствит. определения/имп/мг/	фон \sqrt{N} /имп/	предел обнаружения /мг/
F	LiF	98,2	198	39585	403	74	0,18
Cl	LiCl	117,5	145	23806	136	94	0,71
Ge	Ge, GeO ₂	152,3	139	71083	467	121	0,26
Br	C ₆ H ₅ Br	80,1	614	28581	369	33	0,09
J	KJ	187,5	386	3380	18	42	2,34

Таблица 4.

расчетное весовое кол-во элемента /мг/			найденное кол-во элемента /среднее 3-х определений /мг/			абсолютная ошибка определения элемента /мг/		
Ge	F	Br	Ge	F	Br	Ge	F	Br
6,41	38,29	14,33	6,49	38,50	13,95	+0,08	+0,21	-0,38
6,41	19,15	30,28	6,02	18,99	30,19	-0,39	-0,16	-0,09
6,41	9,57	55,70	6,81	8,50	56,22	+0,40	-1,07	+0,55
23,76	27,62	7,02	24,10	28,10	6,52	+0,34	+0,48	-0,50
23,76	17,70	22,44	23,93	17,19	22,22	+0,17	-0,51	-0,22
23,76	7,35	56,11	23,08	8,01	55,70	-0,68	+0,66	-0,41
42,82	5,12	33,16	43,01	4,88	33,16	+0,19	-0,40	0,00
42,82	11,83	20,82	42,60	12,17	21,05	-0,22	+0,34	+0,23
42,82	19,06	6,54	42,82	18,17	6,09	0,00	+0,11	-0,45

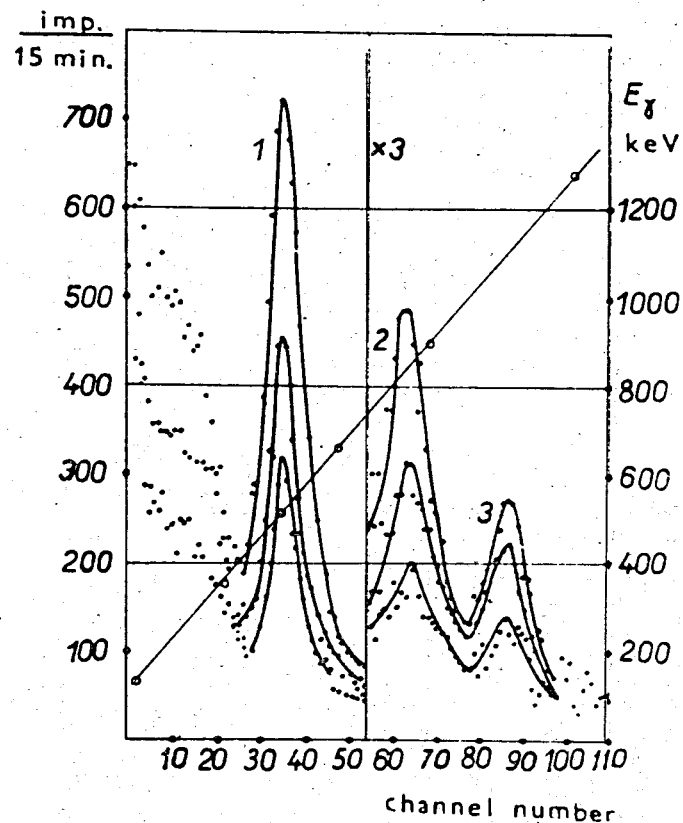


Рис. 1. Часть гамма-спектра германия /78,2 мг/, снятого сцинтилляционным спектрометром с кристаллом NaJ (Tl) ϕ 40x40 мм через 19, 42,5 и 77 час после 5-минутного облучения потоком $1,9 \times 10^8$ н/см²сек. 1,2,3 - суперпозиции неразрешенных фотопиков Ga⁷² и Ge⁶⁹ /T_{1/2} = 14,8 и 37 час/. 511 + 573 + 601 + 630 кэв; 835 + 872 + 894 кэв и 1050 + 1107 кэв.

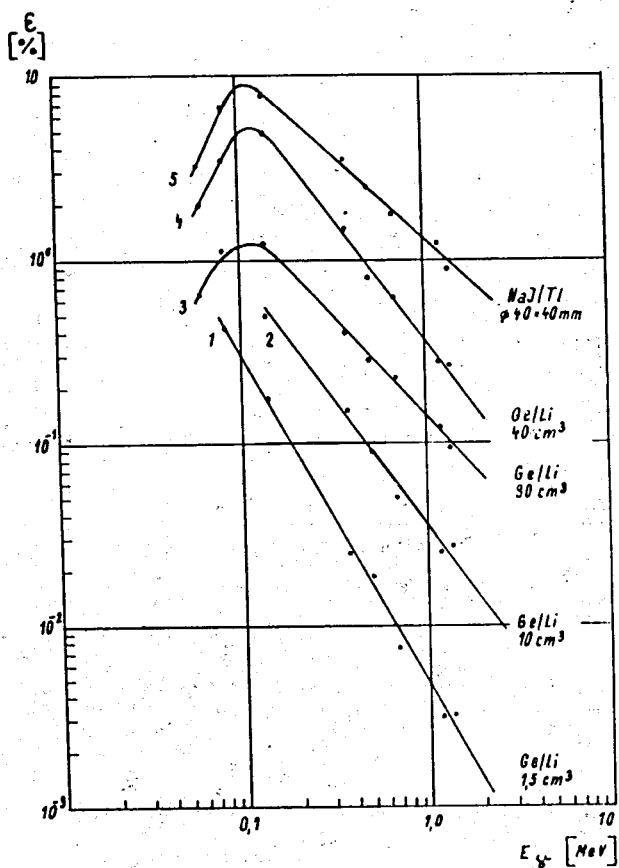


Рис. 2. Кривые абсолютных эффективностей регистрации гамма-квантов использованными детекторами.

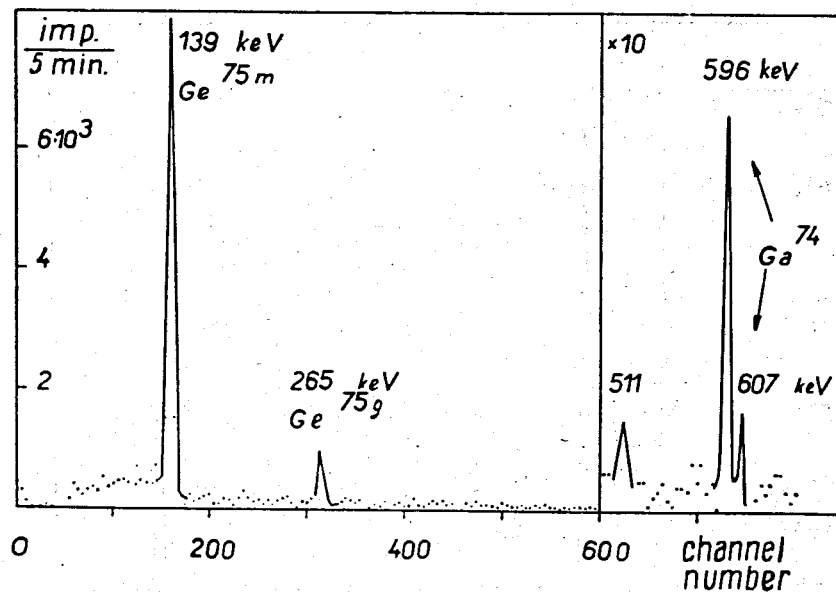


Рис. 3. Часть гамма-спектра 240,9 мг германия, снятого через 15 сек после 5-минутного облучения потоком $4,9 \times 10^8$ н/см².сек с помощью Ge(Li)-детектора /40 см³ / и 4096-канального анализатора импульсов.

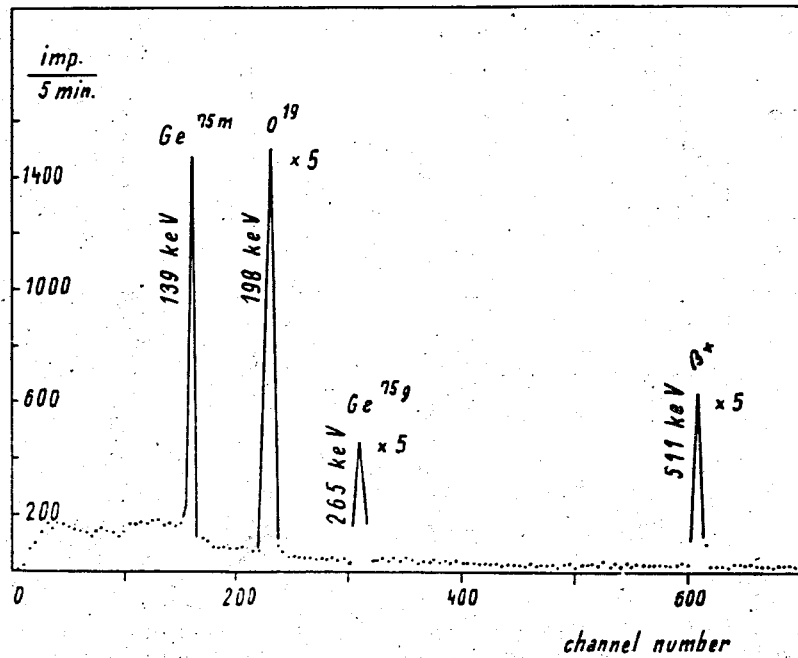


Рис. 4. Мягкая область /0 - 550 кэв/ гамма-спектров соединений, содержащих германий и фтор.

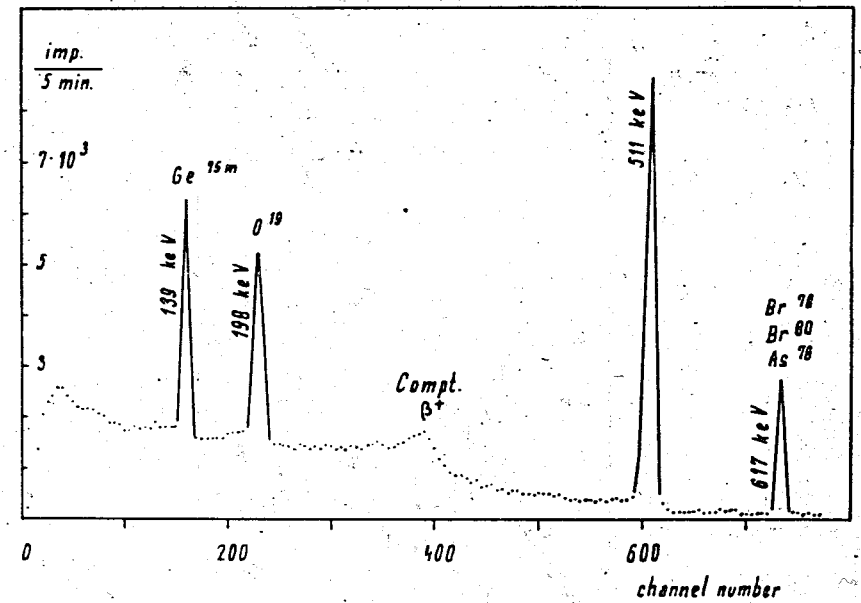


Рис. 5. Мягкая область /0 - 700 кэв/ гамма-спектров соединений, содержащих германий, фтор и бром.

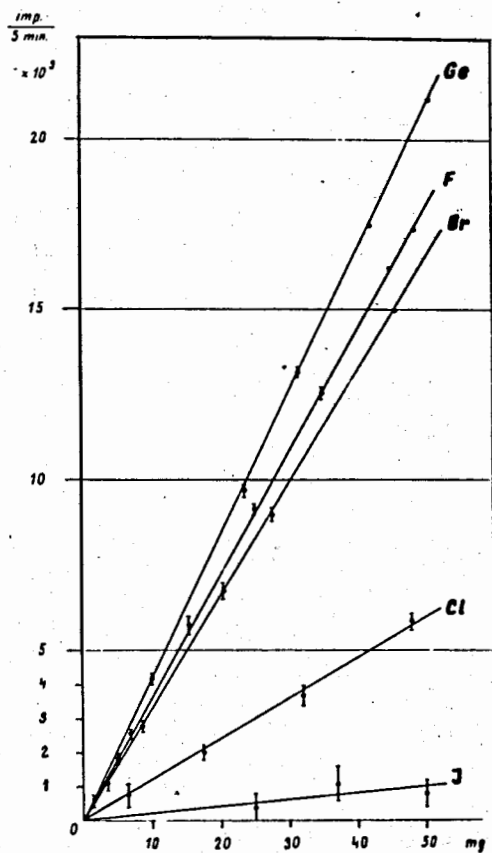


Рис. 6. Калибровочный график для одновременного определения германия, фтора, хлора, брома и иода в режиме 300 - 15 - 300 сек.

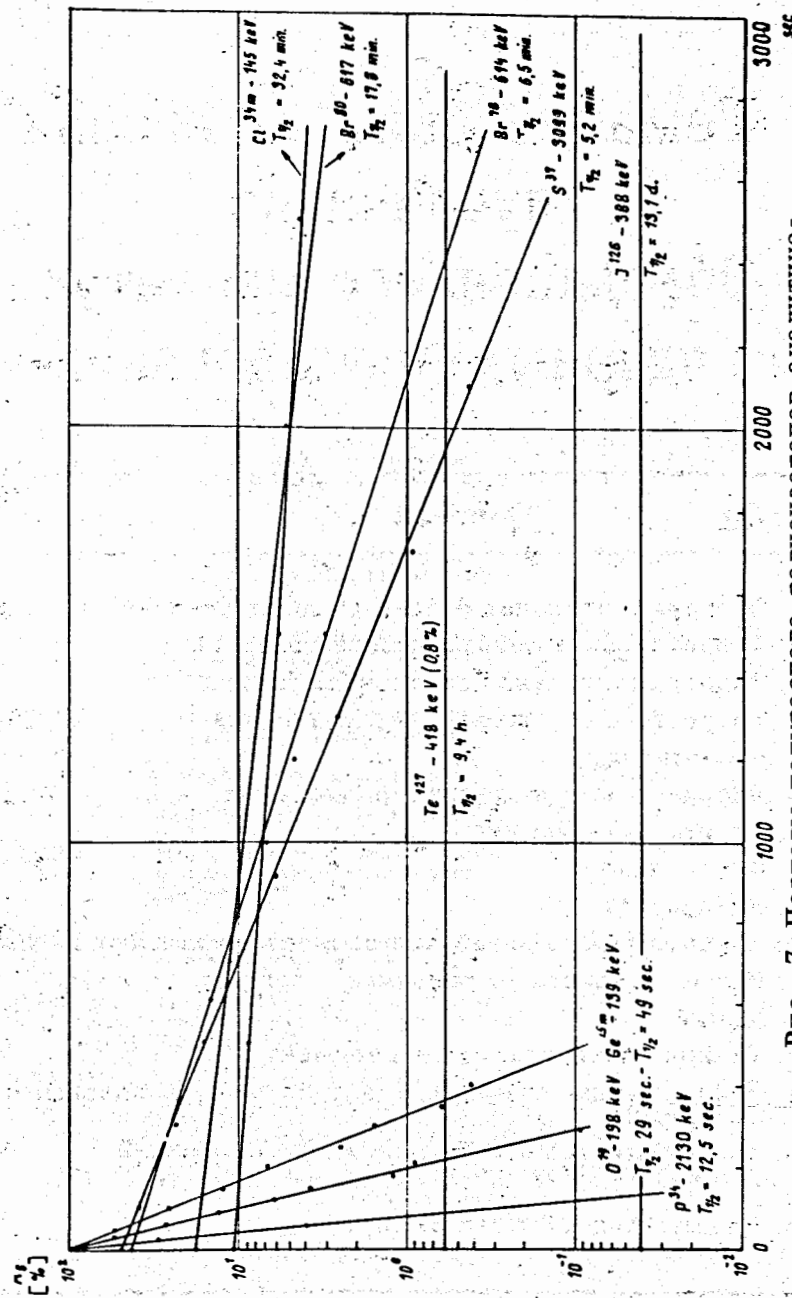


Рис. 7. Периоды полураспада радиоизотопов аналитических и тех, по которым возможно определение при изменении рабочего режима.