

С 341.1Г

Д - 81

116/2-74

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



14/Г-74

P12 - 7447

И. Дуда

ЭКСПРЕССНОЕ
ИНСТРУМЕНТАЛЬНО-АКТИВАЦИОННОЕ
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЛОИДОВ И РТУТИ
ПО ИЗОМЕРУ Hg^{199m}

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

P12 - 7447

И. Дуда

ЭКСПРЕССНОЕ
ИНСТРУМЕНТАЛЬНО-АКТИВАЦИОННОЕ
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЛОИДОВ И РТУТИ
ПО ИЗОМЕРУ Hg^{199m}

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

S u m m a r y

For excitation of the ^{199m}Hg isomeric state ($T_{1/2} = 43$ min) there were used the (n, n') and $(n, 2n)$ reactions of fast neutrons ($E_n = 14$ MeV) of the neutron generator NG-200 when bombarding ^{199}Hg and ^{200}Hg nuclei with the neutron fluxes of the order of $2-6 \cdot 10^8$ n/cm².sec. Haloids were determined on the $^{19}\text{F}(n, p) ^{19}\text{O}$, $^{35}\text{Cl}(n, 2n) ^{34m}\text{Cl}$, $^{79}\text{Br}(n, 2n) ^{78}\text{Br}$ and $^{127}\text{J}(n, 2n) ^{126}\text{J}$ reactions. With the exception of iodine, the limits of the detection of these elements, when determining them simultaneously on 0.1 - 0.2 g samples, are in the range of 1 - $7 \cdot 10^{-4}$ g. For 300 - 15 - 300 sec regime the determination sensitivity is of 139 cpm/mg (chlorine), 351cpm/mg (mercury), 375 cpm/mg (bromine) and 398 cpm/mg (fluorine). The determination duration, without taking into account the sample preparation, is 15 min.

Введение

Соединениям ртути и ртутьсодержащим веществам принадлежит видное место в фармацевтическом производстве, органическом синтезе, катализе, в производствах фунгицидов, гербицидов и в ряде других прикладных и научных областях применения. Классический анализ многих ртутьсодержащих веществ является трудоемким и требующим затраты значительного количества времени. Для аналитика эти работы всегда сопряжены с некоторым элементом риска, особенно тогда, когда он имеет дело с летучими, сильнотоксичными соединениями ртути, а также в тех случаях, когда определение ртути проводится только после минерализации образца.

Определению ртути в различных объектах путем деструктивного и бездеструктивного вариантов активационного анализа посвящен ряд работ ^{/1/}. Внимание к данной проблематике объясняется многими ценными свойствами этого металла, высокой токсичностью ртути и большинства ее соединений, а также ростом ртутной контаминации жизненной среды. По перечисленным причинам большинство этих работ представляют собой методики и результаты определения микро- и ультрамикроколичеств ртути в макронавесках изучаемых веществ. Для активации, как правило, используется интенсивный поток тепловых нейтронов реактора.

В библиографии ^{/2/}, посвященной работам в области активационного анализа с использованием генератора быстрых нейтронов / $E = 14$ Мэв/, ссылок на определение

ртути нет. Кюйпер в работе ^{/3/} указывает на возможность такого определения для нейтронного тока $2 \times 10^8 \text{ н/см}^2 \text{ сек}$ и двух больших сцинтилляционных кристаллов $\text{NaJ/Tl} / \phi = 100 \times 100 \text{ мм}$, обеспечивающих высокую эффективность регистрации гамма-квантов. Фуйи и др. ^{/4/}, работая с полупроводниковым детектором Ge/Li с чувствительным объемом 22 см^3 , не делают заключения о возможности определения ртути, хотя приводят результаты для более чем 60 элементов.

При изучении аналитических возможностей аппаратуры, состоящей из нейтронного генератора, полупроводниковых Ge/Li -детекторов с чувствительными объемами от $1,5$ до 40 см^3 и многоканального анализатора импульсов, сопряженного с малым компьютером ТРА, мы пришли к заключению, что использование большого Ge/Li -детектора $/40 \text{ см}^3/$ обеспечивает в случае определения ртути получение результатов, сравнимых с результатами классического анализа. При этом для проведения анализа требуется существенно меньше времени, и методика практически исключает некоторый элемент риска. Высокая разрешающая способность детекторов, вдобавок к этому, делает возможным одновременное безинтерференционное определение некоторых других микроэлементов исследуемого вещества.

В настоящей работе описана методика определения ртути и одновременного определения ртути и галоидов в одной навеске.

Экспериментальная часть

Использованный источник нейтронов - нейтронный генератор НГ-200, 128-канальный гамма-спектрометр со сцинтилляционным кристаллом $\text{NaJ/Tl} \phi 40 \times 40 \text{ мм}$ и гамма-спектрометр с 4096-канальным анализатором импульсов и полупроводниковым Ge/Li -детектором описаны в ранних работах ^{/5,6/}. Там же описаны и два независимых метода мониторинга нейтронных потоков, использованных и в настоящей работе.

Конфигурация мишень - облучаемый объект - мониторы при всех измерениях строго соблюдалась.

Из рис. 1 видно хорошее согласие данных абсолютного и относительного методов мониторинга нейтронного потока. Значения $58860 \text{ имп /ПТС-100/}$ и $1650 \text{ имп /}^{62}\text{Cu}$ соответствуют потоку $5 \times 10^8 \text{ н/см}^2 \text{ сек}$, на который были нормированы результаты всех измерений.

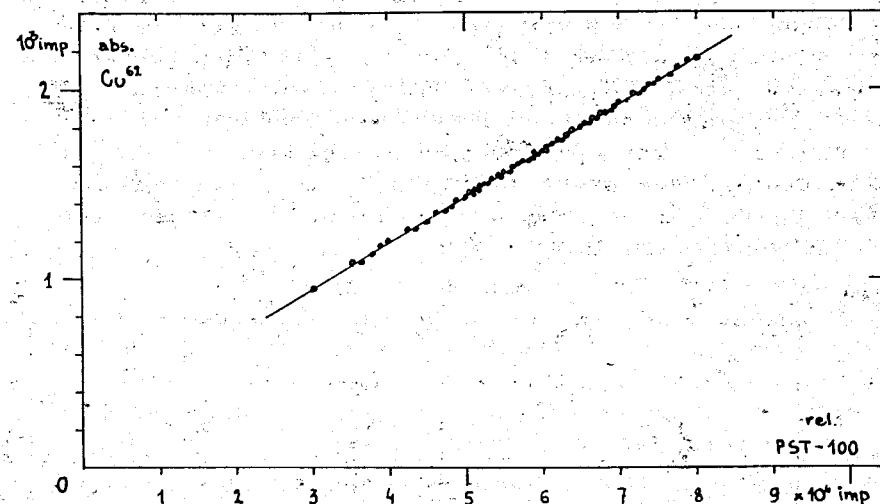


Рис. 1. Мониторинг нейтронного потока.

Для работы мы располагали несколькими Ge/Li полупроводниковыми детекторами. Была проведена энергетическая калибровка этих детекторов и сняты кривые зависимости абсолютной эффективности регистрации гамма-квантов от их энергий. Эффективность определяли по фотопикам стандартных спектрометрических гамма-излучателей ^{241}Am , ^{57}Co , ^{22}Na , ^{137}Cs , ^{54}Mn и ^{65}Zn , для которых количество гамма-квантов каждого перехода определено с точностью, лучшей, чем 10%. Кроме этих излучателей, был использован также абсолютно прокалиброванный источник ^{226}Ra , находящийся в равновесии со своими дочерними продуктами распада. Как известно,

относительные интенсивности гамма-переходов ^{226}Ra измерены разными методами ¹⁷ /наиболее новые данные получены при помощи Ge/Li - детектора ¹⁸ / с относительно высокой точностью, лучшей, чем 5-6% для наиболее интенсивных линий. Сам источник ^{226}Ra прокалиброван с точностью до 10%.

После измерений и усреднения полученных экспериментальных значений интенсивностей каждого фотопика была определена абсолютная эффективность детекторов с точностью, лучшей чем 10% /относительных/ для энергетического интервала 50 кэв - 2 Мэв. Кривые зависимости эффективности регистрации гамма-квантов для всех 4 полупроводниковых детекторов приведены на рис. 2 в работе ¹⁶ / . Для сравнения приведена кривая $\epsilon = f(E_\gamma)$ и для сцинтилляционного кристалла NaJ/Tl ϕ 40x40 мм. Там же находится таблица с данными по разрешающим способностям этих детекторов.

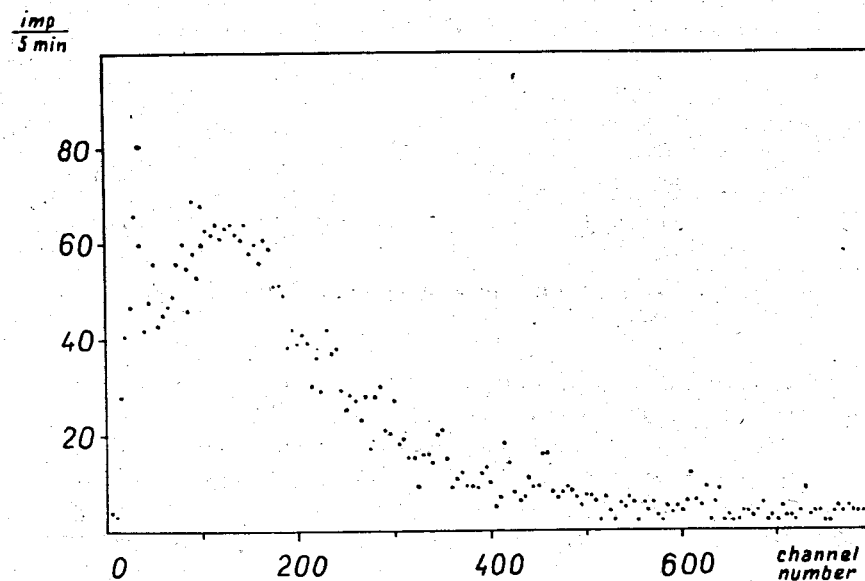


Рис. 2. Гамма-спектр /0 - 650 кэв/ тройной упаковки, облученной потоком $4,2 \times 10^8$ н/см²сек. Ge/Li детектор 40 см³, режим 300 - 15 - 300 сек.

Относительно хорошая разрешающая способность Ge/Li детекторов 30 и 40 см³ делает возможным надежно различить энергетически близкие гамма-переходы и определить их энергию с относительно высокой точностью, которая для интенсивных линий достигала значений 1,0 - 1,5 кэв.

В табл. 1 приведены аналитические ¹⁴ / и некоторые другие ядерные реакции, которые могут быть использованы в настоящей работе ^{13,9} /

При коротком облучении ядер Hg возникает по реакциям $^{199}\text{Hg}(n, n')$ и $^{200}\text{Hg}(n, 2n)$ изомер ^{199m}Hg , выход которого значительно превышает выход других радиоизотопов.

Исзуемые объекты облучались в запаянных тройных полиэтиленовых пакетах 1x1 см, изготовленных из пленки толщиной 0,06 мм обычного промышленного качества. На рис. 2 - часть "гамма-спектра" этой упаковки, облученной и измеренной в том же режиме, в котором проводились определения. Результаты, полученные при облучении 10 упаковок, были практически идентичны и близки к собственному фону спектрометрической аппаратуры. Типичный спектр был записан в память аппаратуры и после окончания измерения объекта автоматически вычитался. Практическое значение этот спектр имел для расчета предела обнаружения отдельных элементов, так как отдельные его части считались фоном N при расчете пределов по критерию $3\sqrt{N}$.

Из рис. 3 и подписи к нему становится ясным, что фотопик аннигиляционного гамма-излучения $^{13}\text{N}/T_{1/2} = 10$ мин/, возникающего в результате вторичных реакций протонов и дейтронов отдачи, генерируемых при упругом рассеянии быстрых нейтронов на ядрах ^1H и ^2H , с ядрами ^{12}C и ^{13}C полиэтилена, в спектре появляется только при длительном облучении значительно большей навески полиэтилена. То же самое можно сказать и о части ^{13}N , возникающей в результате ядерных реакций (p, α) и $(n, 2n)$ на ядрах ^{16}O и ^{14}N содержащихся в изучаемых объектах, а также в объеме воздуха, запаянного с образцами в упаковках.

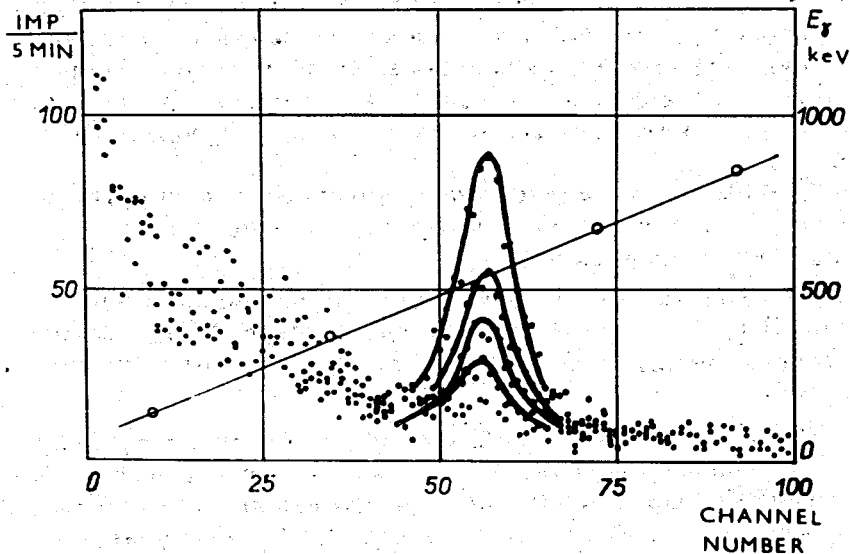


Рис. 3. Гамма-спектр /0 - 900 кэв/ пяти тройных упаковок, облученных 60 мин потоком $2,3 \times 10^8$ н/см²·сек. NaI/Tl детектор $\phi 40 \times 40$ мм, кривые 1 - 5 сняты через 2, 11, 21, 34 и 43 мин после конца облучения.

В табл. 2 приведены значения чувствительностей определения и пределов обнаружения для ртути и галогенов, достигнутые в данных экспериментальных условиях, в режиме 300 - 15 - 300 сек и пересчитанные на нейтронный поток 5×10^8 н/см²·сек.

В табл. 3 и 4 - результаты одновременного определения Hg+Cl и Hg+F+Br. Приведенные значения являются средними из трех определений, проведенных с интервалом в 4 дня, достаточным полного распада всех наведенных активностей. Спектрометрическая аппаратура работала стабильно и практически с нулевым сдвигом своих параметров как в течение серии измерений, так и при новых включениях.

Гамма-спектр синтетического образца Hg+F+Br приведен на рис. 4. В этом случае была взята относительно малая навеска HgO, а вместо LiF и C₆H₄Br₂ были использованы NH₄F и NH₄Br для имитирования ситуации,

Таблица 1.

(*)
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	198/97, 1360/55/
	n, α	20	N ¹⁶	7,3 сек	6140/69/, 7110/6/ит.д.
Cl ³⁵ 75,5	(+) n, 2n	8	Cl ^{34m}	32,4 мин	2130/62/, 145/27/м т.д.
Cl ³⁷ 24,5	n, p	30	S ³⁷	5,1 мин	3090/90/
Br ⁷⁹ 50,5	(+) n, 2n	850	Br ⁷⁸	6,5 мин	613/14/ +аннги.
	n, p	10	Se ^{79m}	3,9 мин	964/
Br ⁸¹ 49,5	n, 2n	650	Br ^{80m}	4,4 час	36/6/
	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	1,6 час	615/42/, 695/16/м т.д.
	(+) n, 2n	1200	J ¹²⁶	13,1 дн	386/34/, 650/33/ +аннги.
Hg ¹⁹⁹ 16,8	(+) n, p	20	Te ¹²⁷	9,4 час	418/1/
	n, α	5	St ^{124m}	21 мин	18/??
Hg ²⁰⁰ 23,1	(+) n, n'		Hg ^{199m}	42 мин	Hg γ-лучи, 158/75, 368/36/
	(+) n, 2n		Hg ^{199m}	42 мин	Hg γ-лучи, 158/75, 368/36/
Hg ²⁰¹ 13,2	n, p	3,5	Au ²⁰⁰	48,4 мин	370/29, 2, 1220/23, 4/
	n, α	2,0	Pt ¹⁹⁷	18 час	77/7, 5, 191/0, 4, 279/7, 7/
	n, p	2,0	Au ²⁰¹	26 мин	650/5/
Hg ²⁰² 29,8	n, α	2,0	Pt ¹⁹⁹	30 мин	74, 197, 246, 318, 540

Таблица 2.

чувствительности и пределы обнаружения: F, Cl, Br, J и Hg.

элемент	хим. форма	вес элемента /мг/	аналит. фотоцик /кэв/	площадь фотоцикла /ммп/	чувствит. определ. /ммп/мг/	фон S/N ² /ммп/	предел обнаружения /мг/
F	LiF	111,0	198	44198	398	74	0,19
Cl	LiCl	128,7	145	17881	139	94	0,73
Br	C ₆ H ₄ Br ₂	76,4	515	28229	375	33	0,08
J	KJ	169,8	386	2718	16	42	2,68
Hg	HgO	152,3	72	53503	351	127	0,56
			158, 374	34899, 14308	229, 94	84, 40	0,38

Таблица 3.

Одновременное определение ртути и хлора
в синтетических смесях.

образец	навеска мг	расчетное количество элемента, %	n	\bar{x}	S_x	\bar{S}_x	$ \mu - \bar{x} $	$\bar{x} \pm t \cdot \bar{S}_x$
1	162,3	Cl 5,21	3	5,38	0,38	0,22	0,17	5,38 ± 0,24
		Hg 52,90	3	52,01	0,24	0,14	0,11	52,01 ± 0,60
2	148,8	Cl 9,66	3	9,50	0,25	0,15	0,16	9,50 ± 0,64
		Hg 39,46	3	39,30	0,18	0,11	0,16	39,30 ± 0,47
3	153,5	Cl 15,08	3	15,15	0,34	0,20	0,07	15,15 ± 0,86
		Hg 33,24	3	33,20	0,30	0,18	0,04	33,20 ± 0,77
4	159,2	Cl 18,83	3	18,92	0,19	0,11	0,09	18,92 ± 0,60
		Hg 21,00	3	21,31	0,35	0,21	0,31	21,31 ± 0,90
5	160,7	Cl 28,75	3	28,70	0,22	0,13	0,05	28,70 ± 0,56
		Hg 10,33	3	10,54	0,41	0,24	0,21	10,54 ± 1,03

Таблица 4.

Одновременное определение ртути, фтора и брома
в синтетических смесях.

образец	навеска мг	расчетное количество элемента, %	n	\bar{x}	S_x	\bar{S}_x	$ \mu - \bar{x} $	$\bar{x} \pm t \cdot \bar{S}_x$
1	166,9	F 8,63	3	8,51	0,33	0,19	0,12	8,51 ± 0,82
		Br 4,22	3	4,02	0,23	0,14	0,20	4,02 ± 0,60
		Hg 31,18	3	31,07	0,20	0,12	0,11	31,07 ± 0,52
2	154,4	F 13,34	3	13,41	0,20	0,12	0,07	13,41 ± 0,52
		Br 14,99	3	15,15	0,32	0,19	0,16	15,15 ± 0,81
		Hg 22,07	3	21,96	0,23	0,14	0,11	21,96 ± 0,60
3	182,3	F 19,61	3	19,70	0,19	0,11	0,09	19,70 ± 0,47
		Br 25,13	3	25,35	0,40	0,24	0,22	25,35 ± 1,01
		Hg 9,55	3	9,60	0,15	0,09	0,05	9,60 ± 0,39

при которой анализируемый объект содержит в качестве одного из основных макрокомпонентов азот, по реакции $^{14}\text{N}(n, 2n)^{13}\text{N}$ дающий изотоп ^{13}N с интенсивным аннигиляционным фотопиком. Аналитические фотопики Hg и F размещены в области комптоновского распределения фотопика 511 кэв, вклад в который вносят также ^{18}F , ^{78}Br и ^{80}Br . При сравнении этого спектра со спектрами смесей с более низким содержанием азота и со спектром образца, в котором фтор и бром взяты в форме LiF и $\text{C}_6\text{H}_4\text{Br}_2$ и, соответственно, имеется более низкое комптоновское распределение/, было найдено, что с ростом содержания азота происходит постепенное занижение найденных содержаний Hg и F против истинных. Занижение на 10% /относительных/ было найдено при общем содержании азота $\approx 15\%$ /по весу/, занижение на 5% - при общем содержании азота $\approx 10\%$ в навесках 150 - 200 мг. Для реальных содержаний азота в органических соединениях ртути и ртутьсодержащих веществах $N_2 \leq 5\%$ этот эффект не наблюдался.

Влияние интенсивности фотопика 511 кэв на определение брома по аналитическому фотопику 615 кэв найдено не было.

В табл. 5 приведены результаты определения ртути и галоидов, при работе в режиме 300 - 15 - 300 сек. Для определения в этом режиме использовался калибровочный график /рис. 5/, построенный по результатам работы с синтетическими образцами.

6-кратное увеличение времени облучения приводит к повышению чувствительности определения Hg, Br и Cl. Насыщенная активность $^{19}\text{O} / T_{1/2} = 29 \text{ сек/}$, по которому

производится определение фтора, возникает уже при 300-секундном облучении, и дальнейшее увеличение времени облучения не приводит к получению добавочного полезного аналитического эффекта. Наоборот, определенный полезный аналитический эффект наблюдается в случае определения иода /аналитический фотопик 380 кэв/, однако даже добавочный эффект не позволяет получить при определении этого элемента активацией быстрыми нейтронами НГ-200 результатов, сравнимых с результатами классических методов химического анализа.

Таблица 5.

Одновременное определение ртути и галомдов.

образец №	навеска мг	расчетное количество элемента, %	n	\bar{x}	S_x	\bar{S}_x	$ \mu - \bar{x} $	$\bar{x} \pm t \cdot \bar{S}_x$
1	175,1	Hg 61,85	3	62,03	0,22	0,13	0,18	62,03 ± 0,56
		Cl 15,13	3	15,00	0,21	0,13	0,13	15,00 ± 0,52
2	150,3	Hg 52,33	3	52,08	0,18	0,11	0,25	52,08 ± 0,47
		F 18,80	3	19,02	0,33	0,19	0,22	19,02 ± 0,82
3	181,4	Hg 35,15	3	35,28	0,21	0,12	0,13	35,28 ± 0,52
		Br 26,39	3	26,33	0,25	0,15	0,06	26,33 ± 0,65
4	168,0	Hg 29,66	3	29,51	0,39	0,23	0,15	29,51 ± 0,99
		F 12,55	3	12,40	0,18	0,11	0,15	12,40 ± 0,47
5	192,7	Cl 18,42	3	18,66	0,26	0,15	0,24	18,66 ± 0,64
		Hg 35,74	3	35,92	0,15	0,25	0,09	35,92 ± 0,08
6	155,5	F 9,37	3	9,51	0,53	0,31	0,14	9,51 ± 1,30
		Br 30,02	3	29,80	0,19	0,11	0,22	29,80 ± 0,47
7	193,2	Cl 21,50	3	21,23	0,42	0,25	0,27	21,23 ± 1,08
		Hg 12,98	3	13,15	0,26	0,16	0,17	13,15 ± 0,64
		Br 19,56	3	20,11	0,24	0,14	0,15	20,11 ± 0,60
		Hg 25,91	3	26,06	0,31	0,18	0,14	26,05 ± 0,82
7	193,2	F 6,69	3	6,41	0,65	0,38	0,28	6,41 ± 1,63
		Cl 10,07	3	9,92	0,29	0,17	0,15	9,92 ± 0,73
		Br 11,18	3	10,93	0,27	0,16	0,25	10,93 ± 0,69

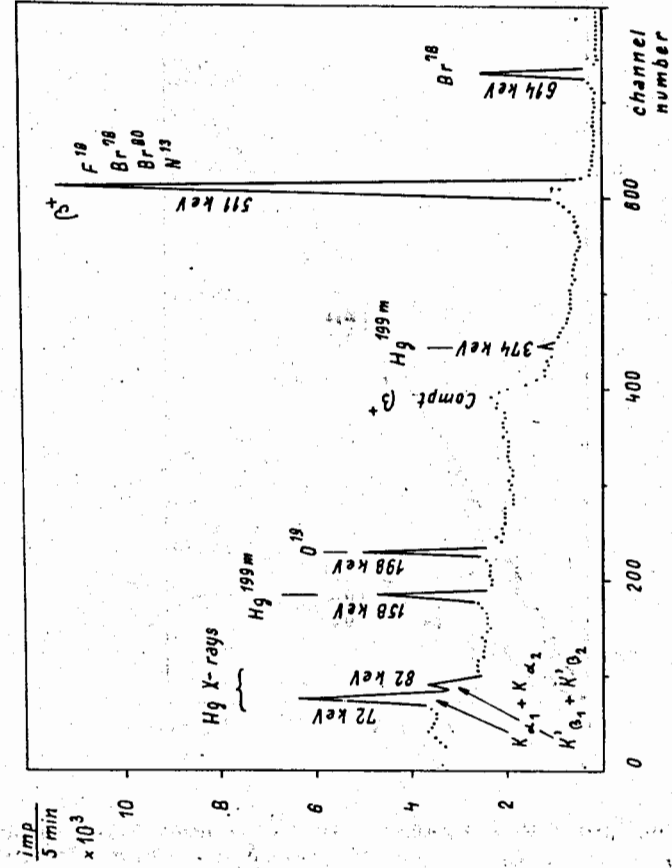


Рис. 4. Мягкая область /50 - 650 кэв/ гамма-спектров соединений, содержащих ртуть, фтор и бром.

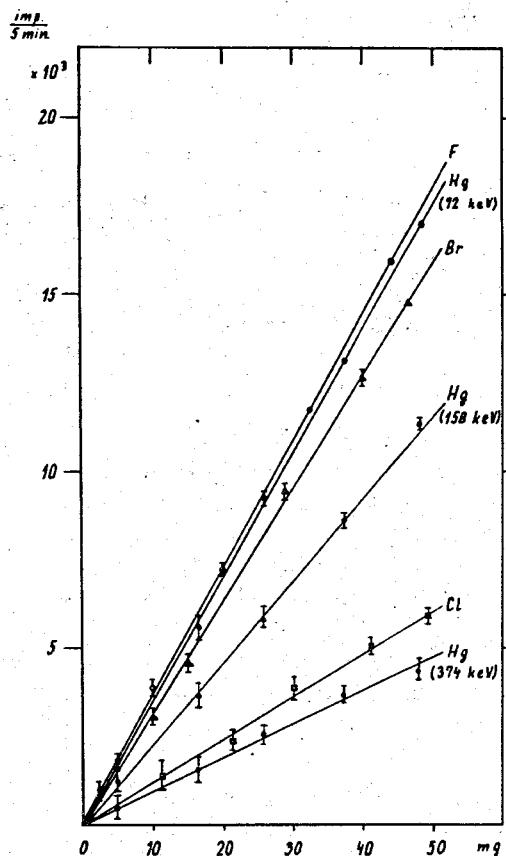


Рис. 5. Калибровочный график для одновременного определения Hg, F, Cl и Br в одной навеске. Режим 300 - 15 - 300 сек.

Калибровочный график для режима 1800 - 15 - 300 сек приведен на рис. 6. Стандартное отклонение рассчитывалось для $n = 3$, $|1 - \alpha| = 0,95$. Исключение ошибочных результатов производилось в соответствии с критериями Дина и Диксона [10].

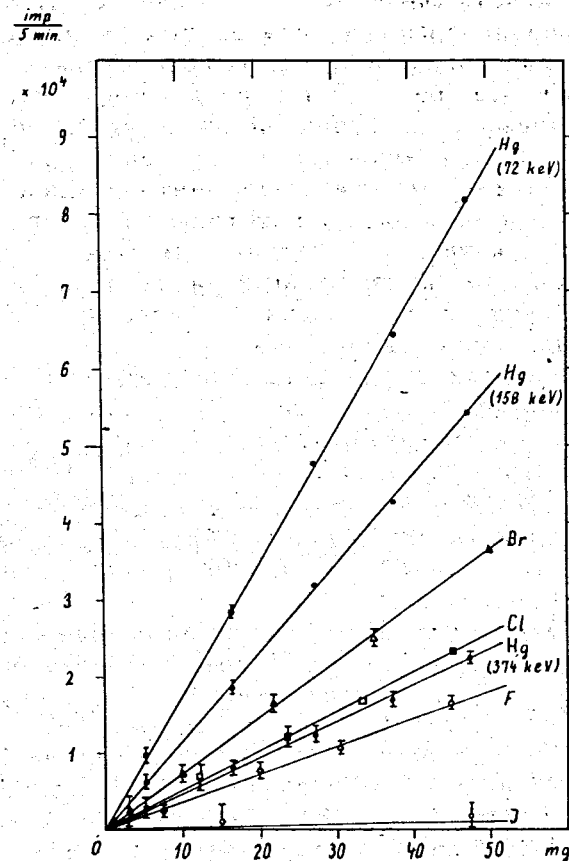


Рис. 6. Калибровочный график для одновременного определения Hg, F, Cl, Br и J в одной навеске. Режим 1800 - 15 - 300 сек.

Обсуждение результатов

Гамма-спектрометр с описанным коаксиальным Ge/Li -детектором с чувствительным объемом 40 см^3 , достигающим в максимуме абсолютной эффективности регистрации гамма-излучения значения $5,3\%$, способен конкурировать с гамма-спектрометрами со сцинтилляционными кристаллами NaJ/Tl средних размеров, даже при измерении невысоких наведенных активностей, полученных при помощи нейтронных генераторов.

Достигнутые результаты свидетельствуют о том, что нейтронные генераторы могут быть с успехом использованы и для анализов в перспективной и быстро развивающейся области химии элементоорганических соединений, при определении некоторых макроэлементов и хорошо активирующих гетероэлементов - металлов. Особое значение активационный анализ приобретает при анализе летучих и токсических соединений As , Cd , Hg , Bi , Pb и ряда других элементов.

В тех случаях, когда для анализа имеются в наличии только небольшие количества этих веществ, можно применить кратковременную активацию тепловыми нейтронами реактора с использованием комбинированной /полиэтилен + тефлон/ упаковки, описанной в /11/, позволяющей проводить чисто инструментальное определение ряда элементов и исключаяющей потери как галоидов /12/, так и других элементов.

При работе с ртутьорганическими соединениями происходит и активация их органической части быстрыми нейтронами. Речь идет прежде всего о реакциях $^{12}C(n,p)^{12}B$, $^{16}O(n,p)^{16}N$ и $^{18}O(n,\alpha)^{15}C$, так как взаимодействие быстрых нейтронов с ядрами водорода приводит только к термализации нейтронов и образованию протонов и дейтронов отдачи, вторичные реакции которых характеризуются очень низкими эффективными сечениями. Ядра ^{12}B и ^{15}C имеют очень короткие периоды полураспада / $0,02$ и $2,5 \text{ сек}$ / и при 15-секундном охлаждении практически полностью распадаются. Радиоизотоп ^{16}N имеет $T_{1/2} = 7,3 \text{ сек}$, но у него интенсивные гамма-переходы только в области высоких энергий / $7,11 \text{ Мэв}$ -

5% ; $6,14 \text{ Мэв}$ - $68,8\%$; $2,75 \text{ Мэв}$ - $0,8\%$ /. В мягкой области гамма-спектра при данном режиме влияние кислорода не проявлялось ни в работах с конкретными соединениями /содержание кислорода $5 - 10\%$ /, ни в работах с синтетическими смесями, в которых органическая часть вещества имитировалась глюкозой $C_6H_{12}O_6$, гидрохиноном $C_6H_6O_2$ или лимонной кислотой $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$ и в которых содержание кислорода находилось в диапазоне $8 - 50\%$.

Полученные результаты определения галоидов хорошо согласуются с результатами, полученными по аммиачному методу определения галоидов в элементоорганических /13/ или органических соединениях /14, 15/. Этот метод основан на нагревании и разложении образца в токе аммиака при $850^\circ C$ и потенциометрическом титровании смеси галогенидов аммония азотнокислым серебром, растворенным в водной смеси уксусной кислоты и ацетона. Метод является трудоемким и длительным и дает, по сравнению с предлагаемой экспрессной методикой, лучшие результаты только для иода, проблемы определения которого настоящей методикой рассматриваются в другой нашей работе /6/.

Ядерные варианты элементного анализа вещества из-за своей экспрессности все чаще применяются и в органическом элементном анализе /16/.

Заключение

Для возбуждения изомерного состояния ^{199m}Hg / $T_{1/2} = 43 \text{ мин}$ / использовались (n,n') и $(n,2n)$ реакции быстрых нейтронов / $E = 14 \text{ Мэв}$ / нейтронного генератора НГ-200 с ядрами ^{199}Hg и ^{200}Hg при их коротком облучении потоками $2 - 6 \times 10^8 \text{ н/см}^2 \cdot \text{сек}$. Гамма-кванты, испускаемые при распаде ^{199m}Hg , регистрировались гамма-спектрометрической аппаратурой с Ge/Li -детектором с чувствительным объемом 40 см^3 и разрешающей способностью $3,8 \text{ кэв}$ по линии 1330 кэв / ^{60}Co /. Определение содержания ртути в образцах проводилось сравнительным методом по площадям фотопиков 72 кэв Hg X-лучей

$/K_{a_1} + K_{a_2}/$, фотопиков 158 или 374 кэв изомера ^{199}Tl в спектрах эталонов и образцов. Обработка спектров производилась вручную или с помощью малого компьютера ТПА /работа "on-line"/.

Одновременно с ртутью можно определять ряд других элементов, дающих при коротком облучении короткоживущие радиоизотопы с фотопиками в мягкой области гамма-спектров, где для Ge/Li - детекторов наблюдается максимум абсолютной эффективности. На примере режимов 300 - 15 - 300 и 1800 - 15 - 300 сек показано влияние 6-кратного увеличения времени облучения образца, содержащего ртуть и галоиды, на чувствительность их определения.

Предлагаемая методика пригодна для экспрессного /15 минут без подготовки образца/ определения ртути и галоидов в элементоорганических соединениях, в смесях, амальгамах и других технических продуктах.

Литература

1. *Activation Analysis: A bibliography. NBS Technical Note 467 (1968). Addendum I. to NBS TN 467 (1968). NBS TN 428, 458, 508, 519, 524, 548 (Nov. 1967 - Dec. 1970).*
2. *R. van Grieken, J. Hoste. Annotated bibliography on 14 MeV Neutron Activation Analysis. Bureau Eurisotop - Information and Documentation Section, Euratom 1972.*
3. *M. Cuypers, J. Cuypers, J. Radioanal. Chem., 1, 3, 243 (May 1968).*
4. *I. Fujii, T. Inouye, H. Muto, K. Onodera. Analyst. 94, 189 (March 1969).*
5. *И. Дуда, С. И. Обтемперанская, И. Дудова. Ж. аналит. хим., 27, 155 /1972/.*
6. *И. Дуда. Сообщение ОИЯИ Р12-7446, Дубна, 1973.*
7. *C. M. Lederer, J. M. Hollander, I. Perlman. Table of Isotopes, Sixth Edition, J. Willey Sons, New York, London, Sydney, 1967.*
8. *Б. М. Сабиров, И. Урбанец, К. Я. Громов. Сообщение ОИЯИ 6-4372, Дубна, 1969.*
9. *И. В. Меднис. Справочные таблицы для нейтронно-активационного анализа. Изд-во "Зинатне", Рига, 1969.*
10. *K. Echsclager. Chyby chemických rozborů. SNTL Praha 1961.*
11. *И. Дуда, И. Дудова. Сообщение ОИЯИ 12-6220, Дубна, 1972.*
12. *H. R. Lukens, F. M. Graber, D. M. Settle. Trans. An. Nucl. Soc., 9, No. 1, 88 (1966).*

13. *М. П. Струкова, И. И. Каширичева. Ж. аналит. хим., 24, 1244 /1969/.*
14. *М. А. Володина, Н. С. Мороз., там же, 26, 187 /1971/.*
15. *М. А. Володина, Н. С. Мороз, В. И. Киселева. Там же, 27, 1639 /1972/.*
16. *T. S. Ma, M. Gutterson. Anal. Chem., 44, 5, 445 (April 1972).*

Рукопись поступила в издательский отдел
7 сентября 1973 года.