

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ГАММА-АКТИВАЦИОННОГО МЕТОДА
АНАЛИЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА
ИЗЛУЧЕНИЯ СИЛЬНОТОЧНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ****Р. П. МЕЩЕРЯКОВ, Б. М. ЯКОВЛЕВ**

В последние годы широкое практическое применение получили разнообразные методы элементного и изотопного анализа вещества, основанные на анализе β - или γ -излучений, образующихся при распаде наведенной активности в исследуемых образцах, облучаемых потоками нейтронов, заряженных частиц или фотонов высокой энергии. К этим методам прежде всего относятся: а) нейтронно-активационный метод (тепловые и быстрые нейтроны от генераторов нейтронов, ядерных реакторов, $Po - Be$ и других источников нейтронов); б) радиоактивационные методы, основанные на применении заряженных частиц: протонов, нейтронов, тритонов, He^3 и He^4 , получаемых с помощью циклотронов и других ускорителей тяжелых частиц; в) гамма-активационный метод. Следует отметить, что этот последний метод определения вещественного состава с использованием в качестве источника гамма-излучения радиоактивных изотопов получил развитие еще в довоенный период [1] и особенно в послевоенные годы как в Советском Союзе, так и в ряде зарубежных стран. В качестве источника гамма-излучения для целей активационного анализа наибольшее применение среди других изотопов находит радиоактивный изотоп сурьмы Sb^{124} , испускающий гамма-кванты с энергией 2,09 Мэв и обладающий периодом полураспада 60,1 дня. Необходимо особо отметить, что радиоактивные источники гамма-излучения обладают низкой энергией и сравнительно невысокой интенсивностью, поэтому их применение для активационного анализа весьма ограничено. Практически их можно использовать лишь для фотонейтронного определения дейтерия и бериллия, пороги (γ, n) — реакций на которых равны 2,23 и 1,667 Мэв соответственно, а также для возбуждения изомерных уровней ряда элементов.

Создание новых мощных источников гамма-излучения (бетатрон, линейный ускоритель электронов, микротрон), а также современной аппаратуры для регистрации излучения значительно расширило возможности этого метода анализа и позволило определять с высокой точностью и чувствительностью содержание микропримесей различных элементов в многокомпонентных составах в жидкой или твердой фазах.

В наших работах в качестве источника тормозного излучения высокой энергии был использован сильноточный бетатрон НИИЯФ при ТПИ с максимальной энергией излучения 25 Мэв. Ускоритель обладает высоким выходом тормозного излучения: при энергии 25 Мэв мощность

дозы излучения равна не менее 1500—1700 р/мин. м. Ускорительная установка снабжена схемой контроля за максимальной энергией тормозного излучения [2], с помощью которой можно поддерживать требуемую при проведении экспериментов энергию излучения с точностью не менее 0,1%, и устройством для измерения дозы излучения, позволяющим изменять постоянную времени RC-цепи так, чтобы исключить колебания наведенной активности, вызванные нестабильностью интенсивности излучения во времени.

Следует отметить, что увеличение мощности дозы тормозного излучения бетатрона одновременно с повышением абсолютной чувствительности гамма-активационного метода ведет к резкому увеличению потока быстрых и тепловых нейтронов в пучке излучения, падающих на образец, что может привести к существенному уменьшению чувствительности при малых содержаниях исследуемых элементов в пробе за счет интерферирующих активностей. Так как нами обычно использовалась (γ, n) — реакция, которая приводит к образованию β^+ -радиоактивного ядра, то для уменьшения фона при измерениях наведенной активности при идентификации изотопов использовалась схема γ — γ -совпадений на базе кристаллов NaI (Tl), размером 70×70 мм и ФЭУ-52, аналогично описанной ранее в работе [3] и отличающейся лишь шириной канала в схеме амплитудной селекции.

Абсолютная чувствительность определялась путем доведения активности образца до насыщения, и измерения проводились в диапазоне времени, для которого соотношение «сигнал-фон» было оптимальным. Так как за предел чувствительности взято количество вещества, активность которого равна трем статистическим ошибкам отсчета фона, то величина этого предела зависит, хотя и слабо, от параметров счетной установки. Поэтому чувствительность определялась как для счетной установки, упомянутой выше, так и для сцинтилляционного спектрометра с кристаллом NaI (Tl), размером 40×40 мм, разрешением 7,5% по линии цезия-137, и методом абсолютного счета бета-активности.

Хотя минимальное расстояние от мишени до облучаемого объекта в наших экспериментах могло быть взято равным приблизительно 40 см, приводимые ниже цифры характеризуют абсолютную чувствительность на расстоянии 50 см от мишени. Учитывая, что в дальнейшем предполагается осуществить вывод пучка электронов из камеры бетатрона, минимальное количество вещества, которое можно обнаружить гамма-активационным методом, используя данную ускорительную установку, должно быть уменьшено в 50—100 раз по сравнению с приведенной в табл. 1.

Таблица 1

№ № п/п	Детектор	Чувствительность				Примечание
		O	N	C	F	
1	2-х кристалльный спектрометр	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	
2	Одноканальный сцинтилляционный спектрометр	$3 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$8,5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	Чувствительность может быть увеличена в 1,5—2 раза
3	Абсолютный счет β -активности	$5 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-6}$	

В качестве облучаемых образцов при анализе на кислород использовался Al_2O_3 марки ХЧ, при анализе на азот — $Ca(NO_3)_2$ марки ХЧ, на углерод — образцы, изготовленные из полистирола и на фтор — образцы, изготовленные из тефлона.

Определение содержания кислорода, азота, углерода и фтора нами проводилось в сложных смесевых составах при концентрации указанных элементов в пределах от 0,1 до 25—30%. Измерения концентрации элементов проводились по двум методикам.

По первой методике исследуемые образцы и стандарты сравнения весом 100—200 мг облучались в течение 30 минут в пучке тормозного излучения бетатрона при максимальной энергии. Измерения спада активности, наведенных в образце и стандарте, проводились в течение 4-х периодов полураспада наиболее долгоживущего изотопа, образующегося в данной смеси; в нашем случае таким долгоживущим изотопом оказался изотоп хлора Cl^{34} с периодом полураспада 32,5 мин.

Активности образующихся радиоактивных изотопов в первоначальный момент времени t_0 могут быть вычислены путем решения системы уравнений методом наименьших квадратов с использованием электронной вычислительной машины типа М-20.

Для проверки точности измерений одновременно с содержанием данного элемента определялась (также методом наименьших квадратов) ошибка измерения и сравнивалась с отклонениями, полученными при анализе стандартной смеси известного состава.

При концентрации элементов в пределах от 5 до 30% точность измерений была лучше 3%, относительных, а при концентрации от 0,1 до 5% — лучше 5%. Подобные результаты были получены и при использовании для целей анализа другой методики, по которой при определении азота и фтора облучение образцов проводилось тормозным излучением с энергией меньшей энергии порога (γ, n) — реакции на изотопе кислорода O^{16} ($E_{\gamma n} = 15,67$ Мэв). При определении содержания углерода и кислорода в исследуемых образцах энергия тормозного излучения бетатрона была равна 25 Мэв, но время облучения изменялось от 2 мин. до 30 мин. для кислорода O^{16} и углерода C^{12} соответственно.

Аналогичная методика применялась нами при определении содержания азота и кислорода в нефти [4]. Нефть представляет собой — в случае отсутствия в ней механических примесей — идеальный по элементному составу объект для проведения подобных исследований. Нами анализировались образцы первой сибирской нефти, для которой характерна малая концентрация эмульсированной воды, слабая засоленность последней и почти полное отсутствие механических примесей. Точность однократного определения содержания азота в нефти составляет примерно 3—4% относительных, что в 3 раза выше точности, получаемой наиболее совершенными химическими методами, при сравнительно стоимости этих анализов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. С. Айдаркин, Г. В. Горшков, А. Г. Граммаков, В. С. Жардин, А. Г. Колчина. К методике определения бериллия в рудах по фотонейтронам. Труды Радиового института АН СССР, 1957, 5, вып. 2, 89.
2. Р. П. Мещеряков, Ю. А. Панов, Г. А. Цыба, Б. М. Яковлев. Схема контроля за максимальной энергией тормозного излучения бетатрона. Удостоверение о регистрации № 46435 от 27 июня 1964 г.
3. Р. П. Мещеряков и др. Активационный анализ на дейтронах. Сб. «Труды у республиканской конференции по ядерной физике и физике элементарных частиц», Ужгород, 1967 (в печати).
4. Р. П. Мещеряков, Б. М. Яковлев, Г. И. Троинов. Определение содержания азота в нефти с помощью гамма-активационного метода. См. настоящий сборник, стр. 25.