

путем измерения тока на образце или с помощью регистрации рассеянных α -частиц.

Содержание легких элементов определяли методом сравнения:

$$m_x = m_0 \frac{M_0}{Y_0} \cdot \frac{Y_x}{M_x},$$

где m_x , m_0 , M_x , M_0 и Y_x , Y_0 — соответственно количество ядер, показания монитора пучка α -частиц и число импульсов в пике для анализируемого элемента в исследуемом образце и эталоне. Эталонем служила пленка из лавсана или нитрона.

На рис. 1 приведен амплитудный спектр рассеянных α -частиц с $E_0 = 18,3$ Мэв от толстого образца ниобия, на поверхность которого после химического травления была нанесена углеродная пленка толщиной 100 Å. В спектре на слабом фоне импульсов, соответствующих рассеянным α -частицам от матрицы, видны два пика: один соответствует α -частицам, рассеянным на углероде, другой — на кислороде. Последний присутствует благодаря образованию окисной пленки после травления. Если химический состав этой пленки Nb_2O_5 и она однородна по составу, то ее толщина будет равна 40 Å. Число импульсов в углеродном пике соответствует углеродной пленке толщиной 100 Å. На рис. 1 показан также спектр импульсов, соответствующий рассеянию α -частиц с $E_0 = 21,4$ Мэв в образце германия, на поверхность которого нанесены пленки SiO_2 (80 Å) и Si_3N_4 (1160 Å). Оцененная толщина этих пленок по числу импульсов в пиках совпадает с толщинами, измеренными другими методами. Интересно отметить, что в спектре наблюдается пик, соответствующий рассеянию α -частиц от натрия, который, по-видимому, появляется в результате химической обработки поверхности.

Аналогично измеряли дифференциальное распределение кислорода в поверхностном слое образца

ниобия. На рис. 2 приведен аппаратный спектр рассеянных α -частиц $A(N)$ и кривая распределения кислорода по глубине образца $P(x)$. Видно, что основная доля примесных ядер кислорода находится на поверхности образца и резко спадает с увеличением глубины.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Метод обратного рассеяния α -частиц высоких энергий существенно дополняет метод кулоновского рассеяния. Он позволяет с высокой чувствительностью исследовать микросодержание легких элементов в поверхностном слое практически любых материалов.

2. Метод является неразрушающим, его можно использовать для исследования распределения кислорода, углерода и азота (или их соединений) как по поверхности образца, так и по глубине.

3. С помощью этого метода можно исследовать динамику изменения содержания легких примесей в приповерхностном слое различных материалов в условиях воздействия агрессивных сред, тепловых и радиационных потоков.

В заключение авторы благодарят группы обслуживания циклотрона за бесперебойную работу ускорителя и С. В. Покровскую за ценные советы и предоставленные германиевые образцы.

Поступило в Редакцию 21/V 1973 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скакун П. А., Харьков О. Н. «Атомная энергия», 1969, т. 27, с. 351.
2. Боуэн Г., Киббонс Д. Радиоактивационный анализ. М., Атомиздат, 1968.
3. Turos A., Wilhelmi Z. Nucleonika, 1968, v. 13, p. 975.
4. Morgan J., Hobbie R. Phys. Rev., C. Nucl. Phys., 1970, v. 1, p. 155.
5. Кузнецов Б. П., Овсянникова Р. Е., Чернов И. П. «Ядерная физика», 1972, т. 15, с. 681.

Определение количества трития в органических материалах по тормозному излучению

БЕЛОВОДСКИЙ Л. Ф., ГАЕВОЙ В. К., ГРИШМАНОВСКИЙ В. И.

УДК 620.1.019.39:546.11.02.3

Исследование закономерностей поглощения и десорбции трития и его оксид (НТО) некоторыми пленочными материалами, изучение растворимости трития и НТО в материалах, а также введение изотопной метки связано с необходимостью определения количества трития в материалах.

Известные методы определения трития и НТО основаны на химическом растворении или термическом разложении образцов материалов с последующим измерением трития или НТО в растворе или выделяющихся газах [1, 2]; количество трития в материалах можно определять автордиографическим методом [3]. Основной недостаток этих методов — продолжительность анализа (несколько часов или суток), кроме того, первые два метода приводят к разрушению исследуемых образцов.

Рассматриваемый метод лишен указанных недостатков, при этом методе количество трития определяется по скорости счета тормозного излучения, обус-

ловленного β -частицами распада трития в некоторых органических пленочных материалах.

Тормозное излучение β -частиц трития детектируется гейгеровскими счетчиками с толщиной окна 3—5 мк/см² или сцинтилляторами (NaI, CsI) толщиной ~1 мк [4, 5]. Интенсивность тормозного излучения пропорциональна количеству трития в образце материала [4, 6]:

$$Q = kN, \quad (1)$$

где Q — количество трития в образце, кюри; N — скорость счета тормозного излучения, имп/мин; k — коэффициент пропорциональности для данного материала. В общем случае k зависит от атомного номера материала Z , чувствительности регистрирующей аппаратуры к тормозному излучению, геометрии измерения, толщины материала и равномерности распределения трития по толщине. Следовательно, задача измерения трития по тормозному излучению сводится к определению значения k для исследуемых материалов.

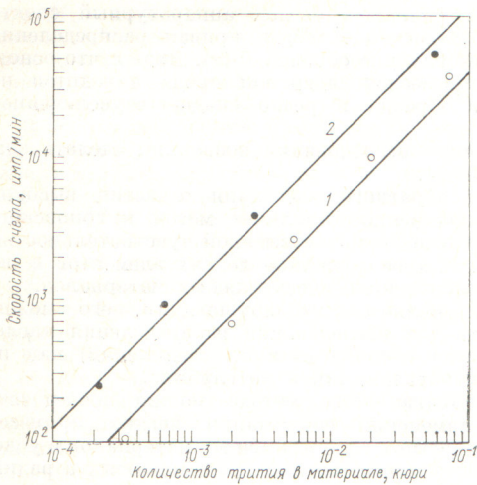


Рис. 1. Зависимость скорости счета тормозного излучения от количества трития в наиритовом латексе Л-7(1) и перфоле ПК-4(2).

С целью определения k для некоторых пленочных материалов (см. таблицу) была изучена зависимость N от Q . Образцы исследованных материалов диаметром 3 см^2 выдерживались 24—48 ч в атмосфере паров НТО, концентрация трития в парах составляла 10^{-1} кюри/л. После экспозиции регистрировали тормозное излучение образцов на установке Б-2 с торцовым счетчиком СИ-2Б, помещенным в свинцовый домик ДС-000. Затем образцы помещали в пробирки с фиксированным объемом дистиллированной воды, где они «вымачивались» от 0,5 ч до 6 суток. После вымачивания образцы сушили фильтровальной бумагой, вновь измеряли их тормозное излучение и помещали в другие пробирки с водой. Эти операции продолжались до тех пор, пока скорость счета тормозного излучения образцов становилась $\sim 3 \sqrt{N_{\text{ф}}}$, где $N_{\text{ф}}$ — фон установки, имп/мин. Для определения остаточной активности трития в образцах

Характеристики исследованных материалов

Материал	d , см	ρ , г/см ³	μ , см ⁻¹	$k_{\text{э}}$	Относительная погрешность в определении $k_{\text{э}}$, %	$k'_{\text{э}}$	$k''_{\text{э}}$	
							T — Ti	Sr — Y
Резина перчаток «каландр» (ТУ № ЯН-251—61)	$1,1 \cdot 10^{-1}$	1,15	21,7	$3,1 \cdot 10^{-6}$	9	$1,1 \cdot 10^{-6}$	21,2	$2,6 \cdot 10^5$
Наиритовый латекс Л-7 (ВТУ № В-53—61)	$5,4 \cdot 10^{-2}$	1,28	24,2	$2,5 \cdot 10^{-6}$	11	$1,3 \cdot 10^{-6}$	25,2	$3,1 \cdot 10^5$
Резина хирургических перчаток (ГОСТ-3—53)	$2,0 \cdot 10^{-2}$	0,90	17,5	$8,5 \cdot 10^{-7}$	12	$7,2 \cdot 10^{-7}$	13,9	$1,7 \cdot 10^5$
Поливинилхлорид рецептуры 80/277	$2,5 \cdot 10^{-2}$	1,21	22,8	$1,7 \cdot 10^{-6}$	16	$1,2 \cdot 10^{-6}$	23,2	$2,9 \cdot 10^5$
Поливинилхлорид рецептуры 80 АМ	$3,0 \cdot 10^{-2}$	1,23	23,2	$1,7 \cdot 10^{-6}$	23	$1,2 \cdot 10^{-6}$	23,2	$2,9 \cdot 10^5$
Фторопласт-26	$2,2 \cdot 10^{-2}$	1,81	34,2	$7,0 \cdot 10^{-7}$	20	$5,0 \cdot 10^{-7}$	9,6	$1,2 \cdot 10^5$
Перфоль ПК-4	$6,0 \cdot 10^{-3}$	1,15	—	$8,7 \cdot 10^{-7}$	25	$8,7 \cdot 10^{-7}$	16,8	$2,0 \cdot 10^5$
Терилен (полиэтилен-терефталат)	$7,5 \cdot 10^{-3}$	—	—	$7,1 \cdot 10^{-7}$	21	$7,1 \cdot 10^{-7}$	13,8	$1,7 \cdot 10^5$

Примечание. Поправка на поглощение для перфоля и терилена не вводилась ввиду незначительной толщины этих материалов.

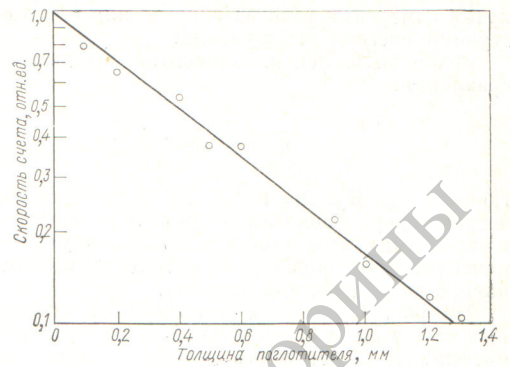


Рис. 2. Зависимость скорости счета тормозного излучения от толщины поглотителя.

их сжигали в вакууме, после чего вымораживали выделившуюся НТО.

Воду, оставшуюся после вымачивания и сжигания образцов, анализировали на установке УРБ-1, которая градуировалась эталонной НТО с погрешностью $\pm 10\%$. Количество трития, выделившегося из образца, определяли по его концентрации в воде; оно соответствовало уменьшению скорости счета между двумя вымачиваниями образца. Суммарному количеству трития соответствовала начальная скорость счета, определяемая после экспозиции. Экспериментальная зависимость $N = f(Q)$ для некоторых материалов приведена на рис. 1.

В экспериментах значения Q изменялись от 10^{-5} до 10^{-1} кюри, а N — от 20 до $7 \cdot 10^4$ имп/мин, при этом величину N измеряли на различных расстояниях от окна счетчика (10—100 мм), а затем значения приводились к расстоянию 15 мм с учетом поправки на мертвое время. Одновременно исследовали четыре — восемь образцов из одного и того же материала, для

каждого материала определяли 8—26 значений Q_i и N_i .

Из отношений Q_i/N_i найдены экспериментальные коэффициенты пропорциональности k_a для исследованных материалов, среднеарифметические значения которых представлены в таблице. Значения k_a лежат в пределах от $7,0 \cdot 10^{-7}$ (фторопласт-26) до $3,1 \cdot 10^{-6}$ («каландр»). Среднеквадратичная ошибка в определении k_a составляет 9—25%.

Так как k в соотношении (1) зависит от нескольких факторов (см. выше), поэтому полученные значения k_a справедливы только для конкретных условий измерения (в этом случае $k = k_a$). Однако в k_a учтена зависимость от Z , который определяет интенсивность тормозного излучения.

Если предположить, что тритий распределен равномерно по толщине материала, то N в зависимости от толщины можно определить соотношением [7]

$$N = \frac{N_0}{\mu d} (1 - e^{-\mu d}), \quad (2)$$

где N_0 — скорость счета без учета поглощения в материале (для бесконечно тонкого слоя); d — толщина материала; μ — коэффициент поглощения. Поскольку $N = Q/k_a$, то $N_0 = Q/k_a$, где k_a — коэффициент пропорциональности без поглощения. Подставив в (2) значения N и N_0 , получим выражение для k_a :

$$k_a = \frac{k_a}{\mu d} (1 - e^{-\mu d}). \quad (3)$$

Нахождение k_a связано с определением μ для исследованных материалов. Для этого измеряли кривую поглощения тормозного излучения. В качестве поглопителя использовали полиэтиленовую пленку площадью $\rho = 0,92 \text{ г/см}^3$ и толщиной 0,1 мм. Кривая поглощения представлена на рис. 2. Слой половинного ослабления $\Delta_{1/2}$ равен 0,04 см, тогда для полиэтилена $\mu = \frac{\ln 2}{\Delta_{1/2}} = 17,5 \text{ см}^{-1}$. Для материалов, незначительно

отличающихся по Z , отношение μ/ρ можно считать постоянным. На основании этого отношения [оно равно $19 \text{ см}^2/\text{г}$ (полиэтилен)] и известной плотности материалов были вычислены значения μ , которые применены для определения k_a . Полученные величины μ и k_a представлены в таблице.

Влияние на k_a геометрии измерения и чувствительности аппаратуры учитывается путем нормирования значений k_a по эталону. Для нормирования k_a измерение образцов исследуемых материалов и эталонов проводили в идентичной геометрии. При этом использовали два эталона: тритий — титан с активностью $2,16 \cdot 10^{-5}$ кюри по тритию и стронций — иттрий активностью $8,45 \cdot 10^{-8}$ кюри по иттрию. Точность эталонов по паспортным данным $\pm 10\%$. Для нормирования

использовали соотношение

$$k_a'' = \frac{k_a' N_{\text{эт}}}{Q_{\text{эт}}}, \quad (4)$$

где k_a'' — нормированное значение k_a' (значения k_a' приведены в таблице). Видно, что активность эталона тритий — титан на несколько порядков выше по сравнению с активностью стронция — иттрия, однако в первом случае значения k_a'' на четыре порядка ниже по сравнению со вторым эталоном. Это объясняется низким выходом и малой эффективностью регистрации ($\sim 1\%$) тормозного излучения β -частиц трития.

Полученные значения k_a'' могут быть использованы для измерения количества трития не только в исследованных материалах, но и для других пленочных материалов с близкими значениями Z . При этом можно применять любые приборы, чувствительные к тормозному излучению, вызванному тритием. Количество трития в материалах определяется соотношением (1), в котором

$$k = \frac{k_a'' \mu d}{(1 - e^{-\mu d})} \cdot \frac{Q_{\text{эт}}}{N_{\text{эт}}}.$$

Чувствительность метода со счетчиком СИ-2Б при $N_{\text{ф}} = 60 \text{ и.т./мин}$, $N = 3 \sqrt{N_{\text{ф}}}$ и $d \approx 0,05 \text{ мм}$ в случае измерения поверхности, равной площади окна счетчика (12 см^2), находится в диапазоне от $1,2 \cdot 10^{-5}$ (фторопласт-26) до $3 \cdot 10^{-5}$ кюри (напритовый латекс-7). Приведенная к единице площади чувствительность составляет $(1,0 - 2,5) \cdot 10^{-6}$ кюри/см². Чувствительность может быть повышена за счет уменьшения фона и применения детекторов, имеющих большую эффективность регистрации низкоэнергетических излучений.

Авторы выражают благодарность В. Н. Деменюк, В. В. Мигунову, Л. И. Ромашовой за помощь в работе.

Поступило в Редакцию 8/VI 1973 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Balkwell W., Kubose D. Determination of the Tritium Activity Adsorbed on the Surface of Various Metals. USNRDL—TR—890, 1965.
2. Hutchinson W., Eakins I. The Radiobiological Harard from Tritium Sorbed on Metal Surfaces. AERE-5689, 1968.
3. Эванс Э. Тритий и его соединения. М., Атомиздат, 1970.
4. Westermarck T. e.a. Nucl. Instrum. and Methods, 1960, v. 9, p. 141.
5. Лобов С. И., Цукерман В. А. «Приборы и техника эксперимента», 1963, № 4, с. 164.
6. Машкович В. П., Цыпин С. Г. «Атомная энергия», 1961, т. 11, с. 251.
7. Баранов В. И. и др. Лабораторные работы и задачи по радиометрии. М., Атомиздат, 1964.