

# Гамма-излучение из Li-, C-, Mg-, Al-, Ni-, Zn-, Zr-, Ag-, Ta-, Au- и Pb-мишеней, бомбардируемых $\alpha$ -частицами с энергией 42 Мэв

С. С. ОМАРОВ, В. К. ДАРУГА, Е. С. МАТУСЕВИЧ,  
С. С. ПРОХОРОВ

УДК 539.122

Данная работа является продолжением работ [1, 2], в которых с целью оценки роли вторичного излучения за радиационными защитами от тяжелых заряженных частиц были измерены дозы  $\gamma$ -излучения при бомбардировке мишеней протонами с энергиями 10,5 и 21 Мэв. Методика измерений и обработка результатов аналогичны описанным в работах [1, 2]. Измерения проводились на циклотроне Физико-энергетического института (г. Обнинск). Использовался сцинтилляционный детектор с кристаллом стибьбена и дискриминацией нейтронов по времени высвечивания. Мишени имели диаметр 30 мм и толщину около 1,5 пробегов  $\alpha$ -частицы с энергией 42 Мэв в материале мишени. Результаты измерений дозы вторичного  $\gamma$ -излучения, испускаемого под углами 0°, 45°, 90° к падающему пучку  $\alpha$ -частиц, представлены в таблице.

Дозы  $\gamma$ -квантов и их средняя энергия

Мишень	Доза, $\times 10^{-17}$ рад·м <sup>2</sup> / $\alpha$ -частица			Средняя энергия $\langle \epsilon \rangle$ , Мэв
	0°	45°	90°	
Li	(3,2±0,8)	—	—	—
C	(4,8±1,2)	(6,5±1,6)	(4,7±0,9)	—
Mg	(4,1±1,0)	—	(3,9±1,0)	~ 2,3
Al	(3,8±0,9)	—	—	~ 2,3
Ni	(2,5±0,6)	—	(2,6±0,6)	~ 2,0
Zn	(2,2±0,5)	—	—	~ 2,0
Zr	(1,7±0,4)	—	—	~ 2,0
Ag	(1,3±0,3)	—	(1,3±0,3)	~ 2,4
Ta	(1,2±0,3)	—	(1,2±0,3)	~ 2,5
Au	(1,0±0,2)	(1,1±0,2)	(1,0±0,2)	~ 2,7
Pb	(0,75±0,19)	(0,8±0,2)	(0,7±0,2)	~ 2,9

Так же как и при облучении протонами [2], доза вторичного  $\gamma$ -излучения в пределах ошибок измерения не зависит от угла между направлением пучка  $\alpha$ -частиц и направлением на детектор. В таблице приведены также оценочные значения средней энергии  $\langle \epsilon \rangle$ , уносимой  $\gamma$ -квантами при одном неупругом взаимодействии  $\alpha$ -частицы в мишени. Вероятность ядерного взаимодействия  $\alpha$ -частицы вычисляется по результатам расчетов сечения неупругого взаимодействия с привлечением оптической модели [3] и по данным экспериментальных работ [4-6].

Сравнение с оценками  $\epsilon$ , полученными в работах [1, 2], показывает, что средняя энергия, уносимая всеми вторичными  $\gamma$ -квантами, нормированная на одно неупругое взаимодействие заряженной частицы в мишени с точностью до коэффициента ~1,5-2,0, не зависит ни от типа частицы, ни от ее энергии, по крайней мере для протонов с энергией 10-20 Мэв и  $\alpha$ -частиц с энергией 42 Мэв. Следует заметить, что точность оценки не превышает 50%.

Авторы выражают благодарность В. Г. Двухшерстнову, В. А. Дулину, В. И. Регушевскому за помощь в работе и обсуждение, Н. Н. Краснову за обеспечение благоприятных условий работы на циклотроне.

Поступило в Редакцию 15/X 1968 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. К. Даруга и др. «Атомная энергия», 26, 80 (1969).
2. С. С. Омаров и др. «Атомная энергия», 26, 388 (1969).
3. J. H u i z e n g a, G. I g o. Nucl. Phys., 29, 462 (1962).
4. W. J o h n. Phys. Rev., 103, No. 3, 704 (1956).
5. V. V i o l a et al. Phys. Rev., 128, No. 2, 762 (1962).
6. D. V i n c i g u e r r a. Nucl. Phys., 77, No. 2, 337 (1966).

# Адсорбция паров радиоактивного иода из воздуха

И. Е. НАХУТИН, Н. М. СМЕРНОВА, Г. А. ЛАУШКИНА,  
Г. А. ЛОШАКОВ

УДК 541.183.55

Огромные коэффициенты адсорбции иода на активированном угле на первый взгляд должны бы привести к весьма эффективному поглощению его в тонких слоях шихты. Однако опыты по динамической сорбции иода показали, что в адсорбционной угольной колонне только в начальной части происходит резкое снижение концентрации иода, а в остальных частях колонны поглощение иода менее эффективно. Для анализа этих явлений использован режим «вечной» адсорбционной колонны, подробная теория которой приведена в работе [1].

Распределение концентраций по длине колонны для шаровидных гранул имеет вид:

$$c(x) = c_0 \exp \left\{ -\frac{\lambda}{v} \left[ \frac{3\Gamma\beta E}{3\beta + \lambda\Gamma r_0 E} \right] x \right\}. \quad (1)$$

Здесь  $x$  — координата вдоль оси колонны;  $c(x)$  и  $c_0$  — концентрации радиоактивного вещества в газовой фазе в колонне на расстоянии  $x$  и на входе в колонну соответственно;  $\Gamma$  — коэффициент адсорбции, отнесенный к насыпному объему сорбента;  $\beta$  — коэффициент массопередачи от газа к зерну сорбента;  $v$  — скорость газового потока;  $\lambda$  — константа радиоактивного распада;

$$E = \frac{3}{r_0 \sqrt{\lambda/D}} \left[ \operatorname{cth} r_0 \sqrt{\lambda/D} - \frac{\lambda}{r_0 \sqrt{\lambda/D}} \right], \quad (2)$$

где  $r_0$  — радиус зерна сорбента;  $D$  — эффективный коэффициент диффузии в зерне сорбента.

Уравнение (1) относится к стационарному состоянию, которое наступает в колонне через некоторое

время после начала работы. Из уравнения (1) следует, что распределение в координатах  $\lg c = f(x)$  характеризуется прямой линией. Это дает возможность анализировать распределение концентраций по наклонам прямых в полудогарифмических координатах. В дальнейшем для характеристики наклонов используется величина  $\alpha = \frac{\Delta \lg c}{\Delta x}$ .

Ниже излагаются результаты опытов по динамической адсорбции иода из воздуха в адсорбционных угольных колонках при  $20^\circ\text{C}$ , парциальном давлении иода  $10^{-8}$ – $10^{-9}$  торр и линейной скорости газового потока 30–50 см/сек. Скорость в опытах могла несколько изменяться, но в пределах одного опыта оставалась постоянной. Иод вводили в смесь путем пропускания воздуха над зеркалом раствора  $\text{NaI}^{131}$ . В раствор добавляли серную кислоту и бихромат калия.

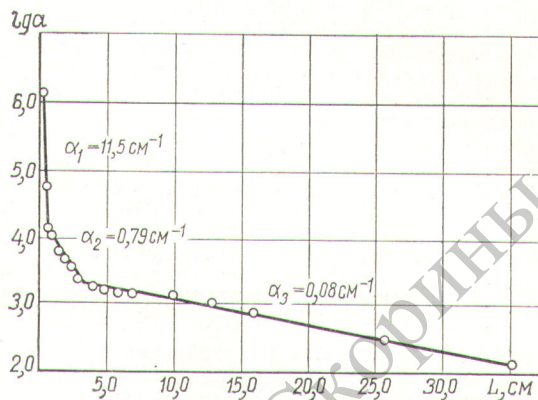
На рисунке приведено распределение активности  $\text{I}^{131}$  вдоль колонны в процессе динамической сорбции его из влажного воздуха. По оси абсцисс отложено расстояние от входа в колонну (в сантиметрах), по оси ординат — логарифм удельной активности сорбента (в произвольных единицах). На рисунке отчетливо видны три прямых отрезка с различными углами наклона. В соответствии с уравнением (1) это можно объяснить наличием в газовой смеси трех иодсодержащих компонентов с резко различающимися физико-химическими характеристиками ( $\Gamma$ ,  $\beta$ ,  $D$ ). Весьма возможно, что каждый компонент представляет собой смесь соединений, сходных по сорбционным свойствам.

Наклоны отрезков не являются строго постоянными и колеблются от опыта к опыту. Это может быть связано с колебаниями в составе компонентов, колебаниями влажности и т. п. Поэтому характерным для компонентов является только порядок величины  $\alpha$ .

Первый компонент обладает наиболее крутым наклоном —  $\alpha = 9 \div 15 \text{ см}^{-1}$ . Несомненно, в его состав входит молекулярный иод, коэффициент адсорбции которого очень велик и который составляет основную часть иода в газовой фазе. Сюда, по-видимому, может входить и иодистый водород, если он присутствует в смеси. Измерения динамической адсорбции  $\text{HI}^{131}$  показали, что для больших концентраций иодистого водорода  $\alpha$  в тех же условиях равна  $6,6 \text{ см}^{-1}$ . При малых концентрациях  $\alpha$  может быть больше.

Характерное свойство второго компонента — способность разрушаться в присутствии кислорода на окисном катализаторе при  $750^\circ\text{C}$  с образованием молекулярного иода. Кроме того, второй компонент в противоположность молекулярному иоду не взаимодействует с нагретым серебром. Предполагается, что второй компонент составляют гидрированные углеводороды. В воздухе всегда содержатся в малых концентрациях углеводороды, которые могут реагировать с иодом. В работе [2], где иод получался высокотемпературным окислением  $\text{NaI}^{131}$  или окислением облученного урана, обнаружен метилендид. Возможно, что и в наших условиях происходит образование алкилгалогенидов.

Для третьего компонента  $\alpha = 0,08 \div 0,3$ . Этот компонент обнаруживается только при высокой влажности воздуха. После разбавления смеси воздуха до относительной влажности 30% или при снижении относи-



Распределение  $\text{I}^{131}$  в угольной колонке после пропускания под-воздушной смеси при температуре  $20^\circ\text{C}$  и линейной скорости 30 см/сек.

тельной влажности путем подогрева третий компонент исчезает. Он исчезает также после удаления второго компонента на окисном катализаторе. Удаление первого компонента при помощи серебра не сказывается на присутствии третьего компонента.

Могло возникнуть предположение, что третий компонент связан с присутствием в газе аэрозолей, например, аэрозолей конденсационного типа, возникающих при незначительных колебаниях давления и температуры во влажном газе. Поэтому смесь перед сорбционной колонной фильтровалась на высокоэффективном аэрозольном фильтре, предварительно проверенном радиоактивными аэрозолями солей  $\text{Ca}^{45}$ . Для проверки отсутствия аэрозольных частиц влажную иодсодержащую смесь (немногой менее 100% относительной влажности) дополнительно пропускали через колонку, содержащую слой угля длиной 5 см, слой стеклянных шариков длиной 90 см и угольный слой длиной 70 см. Если бы третий компонент содержал аэрозоль, он осаждался бы на стеклянных шариках так же как и на гранулах угля. Между тем третий компонент поглощался в угольной шихте до и после стеклянных шариков, но на стеклянных шариках иод в заметных количествах не был обнаружен. Таким образом, предположение об аэрозольной природе третьего компонента не подтвердилось.

Имеющиеся сведения о свойствах третьего компонента пока недостаточны для каких-либо утверждений относительно его природы.

Поступило в Редакцию 8/IX 1966 г.  
В окончательной редакции 28/X 1968 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

- И. Нахутин, Д. Очгин. «Инж.-физ. ж.», IX, 112 (1965).
- D. Atkins, A. Eglerton. AERE, M-1211, 1963.