

УДК 621.039.84

О числовых факторах накопления и средней энергии гамма-спектра за рассеивающими средами

ГУСЕВ А. А.

Как известно, при прохождении через вещество дискретный спектр первичных γ -квантов преобразуется в непрерывный. В нем представлены все энергии от минимальной E_K (отсечки) до начальной E_0 . Роль рассеянных фотонов учитывают факторами накопления. Имеется много данных по энергетическим B_E , дозовым B_D факторам и факторам накопления поглощенной энергии B_N [1—4]. В то же время информация о факторах накопления числа квантов B_N невелика. Она практически исчерпывается несколькими графиками [5] и косвенно рядом таблиц [2].

Каждый непрерывный спектр может быть охарактеризован средней энергией $\bar{E}$. Она определяется на основе выявления спектральных распределений, что весьма сложно. Отдельные значения $\bar{E}$ можно найти и из распределений, приводимых в работах [1—3] и др. Их число, однако, не охватывает многих встречающихся сочетаний E_0 , μx и геометрии (μ , ρ и x — массовый коэффициент ослабления, плотность и толщина среды).

Знание B_N и $\bar{E}$ необходимо, в частности, для расчета приборов, действующих по принципу просвечивания сред широким пучком γ -излучения: уровнемеры, измерители плотности, толщины и т. п.

Автором с сотрудниками разработан способ определения $\bar{E}$ без нахождения спектральных распределений γ -квантов [6]. За основу принято то, что в некотором

диапазоне энергии фотонов отношение эффективностей газоразрядных счетчиков с катодами из веществ, отличающихся по атомному номеру, есть однозначная функция E . Например, для пары вольфрам — графит $E = 0,08 \div 1,5$ МэВ. Корректность способа подтверждена опытами с монохроматическими излучателями (^{141}Ce , ^{203}Hg , ^{137}Cs , ^{85}Kr), спектрометрическими экспериментами и расчетами по методу Монте-Карло. Этот способ, значительно упрощая измерение $\bar{E}$ и B_N , может применяться в исследованиях γ -поля в барьерной геометрии, когда $\mu x < 3,5 - 4$. Именно такие условия отвечают большинству применений аппаратуры, использующей просвечивание сред γ -излучением.

Данным способом, а также с помощью сцинтилляционной спектроскопии и расчетов по методу Монте-Карло были измерены $\bar{E}$ и B_N для часто встречающихся на практике случаев геометрии ограниченных барьеров и исследована их зависимость от определяющих параметров.

При изучавшейся толщине ($\mu x < 4,5$) для $L = 10-90$ см и $l = 5-45$ см не обнаружено существенного влияния L и l на $\bar{E}$ и B_N (L — расстояние от источника до детектора, l — от источника до барьера). Мало влияет и коллимация источника, если угол раствора пучка квантов больше $37-40^\circ$ С. С увеличением коллимации $\bar{E}$ стремится к E_0 , а B_N — к единице, что объясняется снижением доли попадающих в детектор рассеянных фотонов. Таким образом, можно считать, что при указанных условиях $\bar{E}$ и B_N — практически лишь функции поверхностной плотности среды, ее атомного номера Z и энергии E_0 . Это позволило усреднить B_N и $\bar{E}$, отвечающие данным условиям.

Установленную зависимость $\bar{E} = E(\mu x)$ иллюстрирует рис. 1. Экспериментальные точки достаточно хорошо ложатся на кривую, описываемую уравнением

$$\bar{E} = E_0 \exp^*(- \lambda \mu x), \quad (1)$$

где λ — функция E_0 и Z (см. таблицу).

На рис. 2 дан пример зависимости $B_N = B(\mu x)$. Последнюю можно аппроксимировать выражением Бергера — Чилтона [4]

$$B_N = 1 + a \mu x \exp(b \mu x), \quad (2)$$

где a и b — функции E_0 и Z (см. таблицу).

На рис. 1 и 2 указаны и данные для плоскопараллельного пучка квантов в [5]. По крайней мере до $\mu x = 3 \div 3,5$ они вполне согласуются с установленными автором для точечного источника. Это согласуется

Примеры значений λ , a и b

E_0 , МэВ	Вещество	μx	λ	a	b
0,66	Железо	$< 4,5$	0,28	0,76	0,07
	Мрамор	< 4	0,23	0,57	0,36
	Легкие среды *	< 4	0,23	0,86	0,42
1,25	Железо	$< 4,5$	0,46	0,90	0,13
	Алюминий	< 3	0,37	1,90	0,018
	Легкие среды	< 3	0,37	1,1	0,26

* Вода, древесно-волоконистая плита (ДВП), сухая штукатурка (СШ) и т. п.

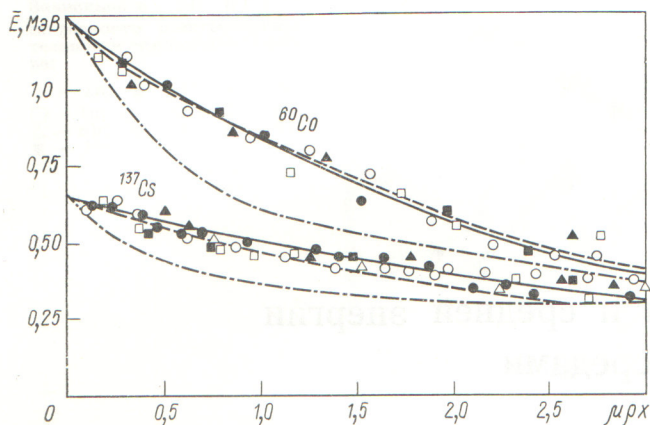


Рис. 1. Зависимость $\bar{E} = E / (\mu \rho x)$ для воды (○), ДВП (●), алюминия (□), СШ (■), мрамора (▲) и СВАМа (△): — — эксперимент; — — — расчетный график [5]; — · — — расчетная кривая [2]

с выводом [7] о правомерности описания B_N точечного источника графиками [5]. Здесь же приведены данные, найденные из спектральных распределений для бесконечной среды [2]. Известно, что $B_N < B_\infty$, а $\bar{E} > E_\infty$. Такой вывод следует и из рис. 1 и 2. Все это служит критерием справедливости обсуждаемых данных.

Для гетерогенных систем из j слоев $\bar{B}_N$ и $\bar{E}$ можно описать следующими формулами, если применить принцип, напоминающий «аналитическое продолжение», реализуемое в расчетах защиты [4]:

$$\bar{B}_N = \prod_{i=1}^j B_{Ni}(\mu_i \rho_i x'_i); \quad \bar{E}_j = E_0 \exp \left(- \sum_{i=1}^j \lambda_i \mu_i \rho_i x'_i \right), \quad (3)$$

где

$$x'_i = x_i \exp \left[- \sum_{k=1}^{i-1} (1 + \lambda_k) \mu_k \rho_k x_k \right]. \quad (4)$$

Формулы справедливы для систем, суммарная толщина которых 3—3,5 свободных пробега γ -квантов, когда завершает систему тяжелая среда (счет слоев ведется от источника). При этом расчетные и экспери-

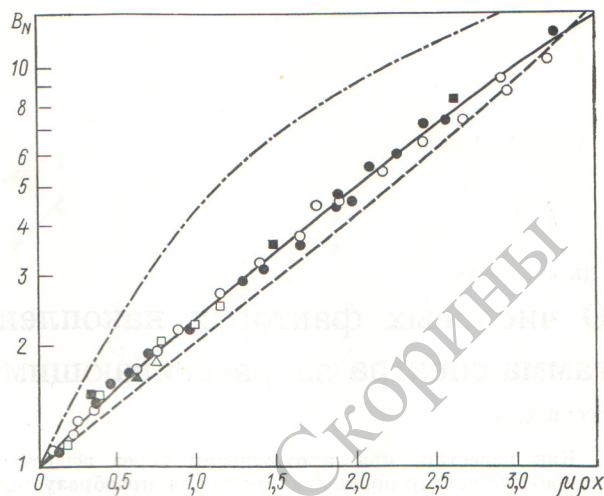


Рис. 2. Зависимость $B_N = B / (\mu \rho x)$. Обозначения те же, что на рис. 1

ментальные значения $\bar{E}$ и $\bar{B}_N$ обычно согласуются в пределах точности опыта.

Поступило в Редакцию 19/XI 1974 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лейпунский О. И. и др. Распространение гамма-квантов в веществе. М., Физматгиз, 1960.
2. Гольдштейн Г., Уилкинс Дж. В сб.: Защита транспортных установок с ядерным двигателем. М., Изд-во иностр. лит., 1961, с. 212.
3. Гусев Н. Г. и др. Защита от ионизирующих излучений. Т. 1. М., Атомиздат, 1969.
4. Руководство по радиационной защите для инженеров. Т. 1. М., Атомиздат, 1972.
5. Peebles G. «J. Appl. Phys.», 1953, т. 24, N 10, p. 1272.
6. Гусев А. А. и др. В сб.: Физика. Докл. XXVIII научной конференции ЛИСИ. Л., изд. ЛИСИ, 1970, с. 26.
7. Effe K. Die Bestimmung des Raumgewichtes von Böden und Gesteinen durch Gamma-Strahlen. Freiburger Forschungshefte. Berlin, Akademie Verlag, 1959, N C61.

УДК 550.835.553.064

Количественные соотношения тантала, радиоактивных элементов и циркония в редкометалльных рудах

КОТЕЛЬНИКОВ Г. Н.

При мелкомасштабном картировании и поисках обнаруживается большое число радиоактивных участков с комплексной уран-ториевой природой радиоактивности. Аномалии в гранитоидах и кислых ортогнейсах с невысокой интенсивностью γ -излучения и преобладанием тория ($\text{Th} : \text{U} > 1$) обычно классифицируются как породные и отбраковываются еще на стадии поисков.

Среди таких аномалий выявлено несколько перспективных редкометалльных рудопроявлений, локализуемых в эндо-экзоконтактах девонских гранитоидных интрузий, прорывающих метаморфические сланцы протерозоя — нижнего палеозоя. Визуальная диагностика редкометального оруденения вследствие малых размеров кристаллов колумбита-танталита и пироклора (0,08—0,1 мм) затруднена [1], но при изучении рудо-