

рия дает сравнительно простые методы расчета сечений ядерных реакций, особенно в случае вылета нейтронов. Однако хорошее согласие между опытными и расчетными величинами сечений удастся получить лишь при соответствующем выборе величины r_0 в формуле для радиуса взаимодействия дейтона с ядром:

$$R_d = (r_0 A^{1/3} + 1,2) \cdot 10^{-13} \text{ см.}$$

Расчет функции возбуждения проводился по формулам работы [9] до $E_d = 30 \text{ Мэв}$. При вычислении сечения использовалось соотношение

$$\sigma_{kn}(E_d) \approx \sigma_c(a) [P_{k-1}(y_k) - P_k(y_{k+1})].$$

При расчете сечения образования составного ядра $\sigma_c(a)$ было принято $r_0 = 1,37$. Рассчитанная функция возбуждения показана на рисунке (см. кривую 2). Из рисунка видно, что расчетная и экспериментальная функции возбуждения практически совпадают. Это позволяет построить кривую зависимости выхода Zn^{65} от энергии дейтонов для толстой мишени до $E_d = 30 \text{ Мэв}$ (см. кривую 3). До энергии 21 Мэв эта кривая совпадает (в пределах ошибок измерений) с кривой выхода, полученной графическим интегрированием экспериментальной функции возбуждения.

Как видно из рисунка, полученные в работах [1—3,5] значения выходов Zn^{65} лежат ниже кривой 3. Можно предположить, что заниженные значения выходов в этих работах объясняются в основном потерями Zn^{65} при облучении мишеней за счет диффузии и испарения цинка. Зависимость реального выхода изотопа Zn^{65} от теплового режима мишеней при облучении меди протонами исследовалась в работе [10]. При изменении теплового режима мишени выход отличался почти в два раза.

Работа проводилась на полутораметровом циклотроне в Физико-энергетическом институте. Авторы благодарят О. А. Сальникова за полезные замечания, З. П. Дмитриеву, выполнявшую расчеты, и Ю. Г. Севастьянова и Ю. П. Пенькова за радиохимическое выделение цинка и кобальта.

Поступило в Редакцию 20/II 1964 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. E. Clarke, J. Irvine. Phys. Rev., 69, 680; 70, 893 (1946); E. Clarke. J. Chem. Soc. Suppl., No. 2, 356 (1949).
2. A. A. Ten. Philos. Tech. Rev., 16, No. 1 (1954).
3. H. Mocken. Production of Radioisotopes With Charged Particles. Amsterdam, 1957.
4. П. П. Дмитриев и др. Получению изотопов. Труды конференции по применению изотопов (Москва, 1957). М., Изд-во АН СССР, 1957, стр. 26.
5. W. Carrison, I. Hamilton. Chem. Rev., 49, 237 (1951).
6. Е. Труханова, Т. Афанасьева. «Труды Ташкентской конференции по мирному использованию атомной энергии (1959 г.)». Т. 2. Ташкент, Изд-во УзССР, 1961.
7. П. Гусев, В. Машкович, Т. Обвинцев. Гамма-излучение радиоактивных изотопов и продуктов деления. М., Физматгиз, 1958.
8. М. З. Максимов. ЖЭТФ, 38, 127 (1959).
9. М. З. Максимов. ЖЭТФ, 33, 1411 (1957).
10. G. Glason. I. Gruverman, I. Need. Internat. J. of Appl. Rad. and Isotopes, 13, 223 (1962).

УДК 539.12.04

Применение водного раствора глицина для дозиметрии γ -излучения и быстрых нейтронов

А. П. Ибрагимов, А. В. Туйчиев

Химическая дозиметрия относится к наиболее распространенным и удобным методам определения поглощенной энергии в различных средах. В частности, ферросульфатный дозиметр, обеспечивающий высокую точность измерения относительно малых доз в диапазоне $1-100 \text{ рад}$, может применяться для регистрации рентгеновского, γ - и α -излучений от низких мощностей до до таких высоких, как 10^5 рад или 10^{18} эв/мл .

Для дозиметрии β - и γ -излучений используются прозрачные пластмассы и полистирен. В результате облучения их спектры поглощения в ультрафиолетовой (УФ) области смещаются в сторону более длинных волн [1, 2]. Для измерений больших доз и различных мощностей доз γ -излучения и быстрых нейтронов на ядерном реакторе применяли водные растворы углеводов [3, 4]. Твердый α -аланин успешно использовали для дозиметрии рентгеновского и γ -излучений, а также электронов и протонов при дозах до 10^{15} рад . При этом накопление радикалов, прямо пропорциональное дозе облучения, регистрировалось методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) [5].

Однако задача измерения поглощенной энергии при особо больших дозах (10^5-10^8 рад) пока не имеет удовлетворительного решения. В связи с этим нами было проведено определение выхода аммиака при радиолизе

водного раствора глицина. Следует отметить, что методика определения аммиака проста и нетрудоемка.

Многие исследователи изучали радиолиз аминокислот и белков [6—9]. В работе [8] был исследован радиолиз $1M$ водного раствора глицина под действием рентгеновского излучения в вакууме и в присутствии кислорода. При этом идентифицированы и определены количественно следующие продукты распада глицина: аммиак (радиационный выход $G \approx 4,0$ при дозе $\sim 10^{19} \text{ эв/мл}$), водород ($G \approx 2,0$), формальдегид ($G = 0,53$), уксусная кислота ($G \approx 1,2$), глиоксиловая кислота ($G = 2,10$), углекислый газ ($G \approx 0,90$) и др.

Нами установлено, что при облучении глицина и его водного раствора γ -излучением и быстрыми нейтронами накопление аммиака и оптическая плотность в ультрафиолетовой области возрастают прямо пропорционально дозе облучения [10].

Готовый препарат глицина (марки «чистый») дважды перекристаллизовывали обычным методом и проверяли его чистоту хроматографией на бумаге. Водные растворы приготавливали в бидистилляте (на дважды перегнанной воде). Затем глицин и его водные растворы (концентрацией C , равной $0,01; 0,1; 1,0; 1,5$ и $2 M$) облучали в герметичных двойных полиэтиленовых мешочках размером приблизительно $2 \times 5 \text{ см}$ и в цилиндрических кварцевых

ампулах (диаметром 1 см и длиной 4 см), содержавших по 1 мл раствора. Образцы размещали в вертикальных водозащитных каналах ядерного реактора и облучали потоком быстрых нейтронов при различных уровнях мощности (500—2000 кэВ) и температуре в канале 32—36° С. При облучении в течение 1 ч в канале реактора, работающего на мощности 2000 кэВ ($1,8 \cdot 10^{13}$ нейтр/см²·сек), сумма поглощенной энергии γ -квантов и быстрых нейтронов составляла ~ 105 Мрад с точностью $\pm 3 \div 5\%$ [3].

Чистое γ -облучение проводили с помощью препарата Со⁶⁰ при различных поглощенных дозах (10^5 — 10^8 рад) и мощностях доз облучения (17; 230 и 530 р/сек). Поглощенную дозу определяли методом ферросульфатной дозиметрии; выход Fe³⁺ составлял $15,5 \pm 0,5$ [2]. Аммиак определяли по методу, описанному в работе [11], с помощью спектрофотометра СФ-4 и фотоэлектро-

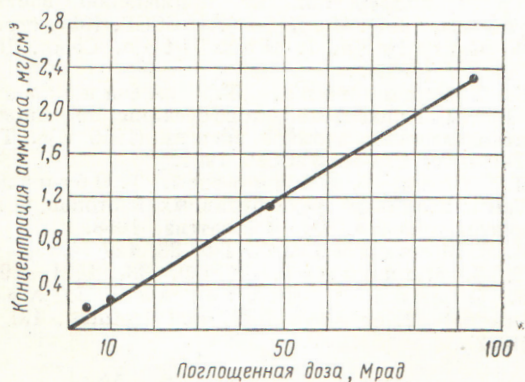


Рис. 1. Деаминирование 1 М раствора глицина, облученного γ -квантами Со⁶⁰.

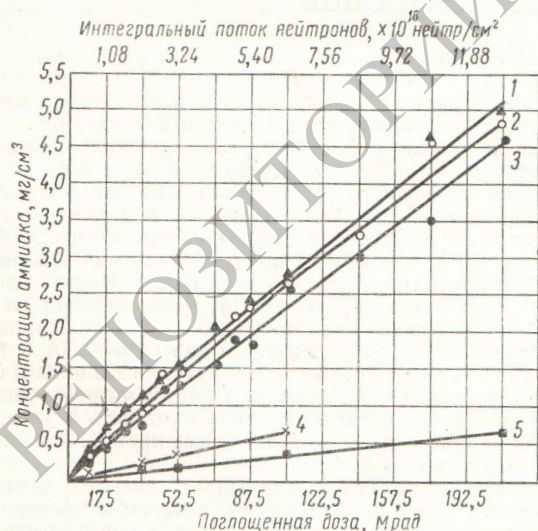


Рис. 2. Деаминирование водных растворов глицина, облученных на реакторе потоком быстрых нейтронов $1,8 \cdot 10^{13}$ нейтр/см²·сек. Концентрация растворов, М: 1 (▲) — 2; 2 (○) — 1,5; 3 (●) — 1; 4 (×) — 0,1; 5 (■) — 0,01.

колориметра ФЭК-2М, а также микродиффузионным методом [12]. Точность обоих методов составляла $\pm 2\%$.

На рис. 1 и 2 показано деаминирование водного раствора глицина, облученного γ -излучением и потоком быстрых нейтронов. Как видно, выделение аммиака прямо пропорционально поглощенной дозе γ -излучения и быстрых нейтронов. При концентрации глицина 0,1 М выход аммиака немного ниже, чем в 1—2 М рас-

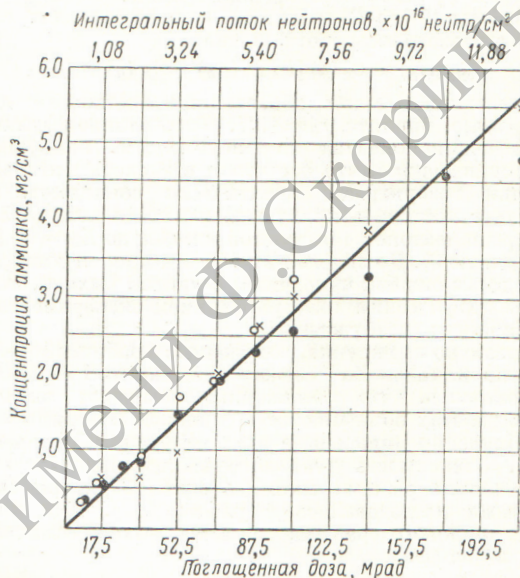


Рис. 3. Деаминирование 15 М раствора глицина, облученного γ -излучением и быстрыми нейтронами при различных мощностях доз и потоках Ф:

● — 2000 кэВ, $\Phi = 1,8 \cdot 10^{13}$ нейтр/см²·сек; ○ — 1000 кэВ, $\Phi = 0,81 \cdot 10^{13}$ нейтр/см²·сек; × — 500 кэВ, $\Phi = 0,43 \times 10^{13}$ нейтр/см²·сек.

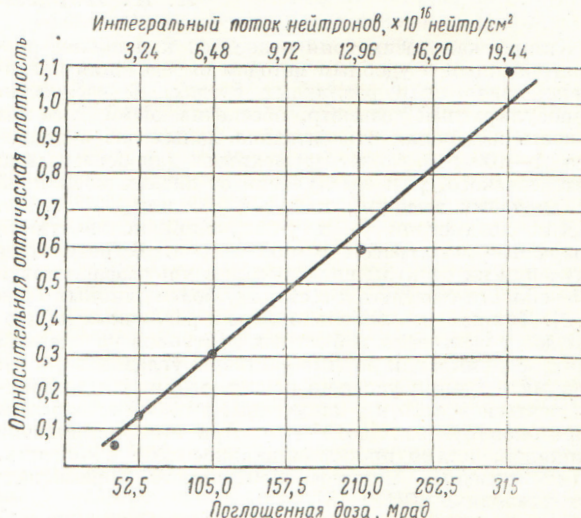


Рис. 4. Зависимость оптического поглощения глицина от поглощенной дозы и интегрального потока нейтронов при длине волны 255 мкм.

творях. Выходы аммиака из облученных на реакторе растворов глицина с концентрациями 1—2 М близки по значениям ($C_{NH_3} = 1,50 \div 1,65$); при γ -облучении раствора C_{NH_3} тоже близкие (1,48—1,60). При 18—36 °С выход аммиака не зависит от температуры. Из рис. 3 видно, что мощность дозы при концентрации раствора больше 1М не влияет на выход аммиака в широких пределах. У облученного глицина и его водных растворов поглощение в УФ-области спектра возрастает прямо пропорционально дозе облучения (рис. 4). Увеличение оптической плотности в УФ-области связано с появлением желтой окраски облученного препарата, причем чем больше поглощенная доза, тем интенсивнее окраска.

Таким образом, дезаминирование концентрированных водных растворов глицина, измеряемое выходом аммиака, может быть применено для дозиметрии γ -излучения и быстрых нейтронов в диапазоне поглощенных доз 10^5 — 10^8 рад.

Поступило в Редакцию 13/II 1964 г.
В окончательной редакции 13/IV 1964 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. К. Аглинцев. Дозиметрия ионизирующих излучений. М., Гостехтеориздат, 1957.

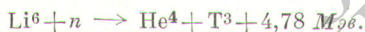
2. К. К. Аглинцев и др. Прикладная дозиметрия. М., Госатомиздат, 1962.
3. В. В. Генералова. Диссертация. Ташкент, ИЯФ АН УзССР, 1963.
4. С. В. Стародубцев, Ш. А. Абляев, В. В. Генералова. «Атомная энергия», 8, 264 (1960).
5. W. Bradshaw et al. Radiation Research, 17, 11 (1962).
6. G. Stein, J. Weiss. J. Chem. Soc., 3356 (1949).
7. W. Dale et al. Biochem. J., 45, 93 (1949).
8. Ch. Maxwell et al. Radiation Res., 1, 530 (1954).
9. М. А. Хенох, Е. М. Лепинская. В кн. «Труды Первого всесоюзного совещания по радиационной химии». М., Изд-во АН СССР, 1958, стр. 182.
10. А. П. Ибрагимов, А. В. Туйчиев. В кн. «Труды Второго всесоюзного совещания по радиационной химии». М., Изд-во АН СССР, 1962, стр. 263.
11. В. С. Асатиани. Биохимическая фотометрия. М., Изд-во АН СССР, 1957, стр. 421.
12. В. С. Асатиани. Методы биохимических исследований. М., Медгиз, 1956, стр. 149.

УДК 543.420.62+621.387.464

Световой выход и амплитудное разрешение монокристаллов

Г. В. Мирошников, А. И. Кириллов

В работах [1—3] указывалась возможность применения монокристаллов подистого лития для спектрометрии быстрых нейтронов с использованием ядерной реакции



В связи с этим представляет определенный интерес световой выход амплитудное разрешение монокристаллов LiJ(Eu).

В работе использовался фотоумножитель типа ФЭУ-С, имеющий амплитудное разрешение с кристаллом NaJ(Tl) для γ -линии Cs^{137} , равное 7%. Исследовались монокристаллы LiJ(Eu) диаметром 30 мм при толщинах: кристалл 1 10 мм (естественная смесь изотопов лития); кристаллы 2 и 3 10 и 11 мм соответственно (90%-ное обогащение смеси изотопом Li^6). Амплитудное разрешение на тепловых нейтронах с кристаллами 1, 2 и 3 составляло 6,7; 8,2 и 8,8% соответственно.

Световой выход кристаллов 1, 2 и 3 для тепловых нейтронов был равен световому выходу от β -частиц с энергиями Q_{β} , равными $2,8 \pm 0,3$; $2,4 \pm 0,1$ и $3,5 \pm 0,1$ Мэв соответственно.

Световой выход в щелочно-галогидных кристаллах при нормальной температуре сильно зависит от удельной ионизации dE/dx [4]. При энергии протонов в несколько мегаэлектронвольт световой выход достигает максимума и с дальнейшим увеличением удельной ионизации (например, для α -частиц) значительно уменьшается. Следовательно, малые значения Q_{β} для кристаллов можно объяснить слабым световым выходом от α -частиц. В частности, при регистрации тепловых нейтронов амплитудой спинтillationий от α -частиц в кристаллах 1 и 2, по-видимому, можно пренебречь.

Поэтому в связи с неоднозначным распределением энергии нейтрона между α -частицей и тритоном кристаллы с малыми Q_{β} непригодны для спектрометрии быстрых нейтронов, что хорошо подтверждается данными по амплитудному распределению импульсов от нейтронов с энергиями 2,5 и 14 Мэв для кристалла 2 (рис. 1).

Подробно исследовалось амплитудное разрешение для кристалла 3 ($Q_{\beta} = 3,5$ Мэв) на нейтронах с энергиями 0,6; 0,8; 1; 1,5; 2; 2,5; 3 и 14 Мэв, полученных по реакциям $T(p, n) He^3$ и $T(d, n) He^4$ на электростатическом генераторе. Результаты исследования представлены на рис. 1 и 2. Амплитудная разрешающая способность спектрометра примерно постоянна до энергии нейтронов 3 Мэв (27—30%) и при $E_n = 14$ Мэв составляет 19%. Некоторое отличие кривых амплитудного распределения от гауссовского, а также значительная ширина пиков от моноэнергетических нейтронов связаны с малым световым выходом кристалла для α -частиц. На рис. 3 приведены определенные по данным амплитудного распределения зависимости максимального светового выхода $U(E)$ от полной энергии, выделяемой в кристалле, а также расчетные кривые.

Максимальный световой выход наблюдается в случае вылета α -частицы в направлении, противоположном направлению движения нейтронов. Распределение энергии для данного случая между α -частицей и тритоном, рассчитанное по законам сохранения энергии и импульса, приведено в таблице. Из таблицы следует, что в интервале энергий нейтронов от тепловых до 6 Мэв энергия α -частиц изменяется незначительно, поэтому зависимость $V(E)$ в этом интервале почти линейна. При $E_n = 14$ Мэв энергия α -частицы увеличивается