



Рис. 3. Влияние объема анодного раствора на показания нитратного дозиметра. Состав раствора $5 \cdot 10^{-3}$ M NaNO_3 в 0,1 M K_2SO_4 ; объем раствора в порах сетки (анода): 1 — 0,13 мл, 2 — 0,74 мл.

электрохимического и радиационного процессов. Полученные экспериментальные данные показывают, что дозиметры на основе 0,2 M H_2SO_4 и $2,5 \cdot 10^{-2}$ M UO_2SO_4 1 M H_2SO_4 могут использоваться для измерения мощ-

ности дозы γ -излучения не менее 1000 p/сек. Для раствора $5 \cdot 10^{-3}$ M NaNO_3 в 0,1 M K_2SO_4 линейность зависимости I от P проверена до 3000 p/сек. Указанные значения мощности дозы не являются пределом работы дозиметра, а обусловлены возможностями использованных источников γ -излучения. При расчете пределов работы электрохимического дозиметра по мощности дозы была получена величина $P_{\text{макс}}$ для $5 \cdot 10^{-3}$ н. раствора NaNO_3 порядка $5 \cdot 10^3$ p/сек, а для 0,1—1 н. растворов H_2SO_4 — порядка $5 \cdot 10^4$ p/сек.

При работе электрохимического дозиметра происходят необратимые процессы (подкисление раствора в анодном пространстве в результате реакций на электроде, расходования воды и др.), которые могут привести к нарушению постоянства радиационнохимических выходов и, в конечном итоге, к ограничению срока службы дозиметра. Опыты по длительному облучению показали, что поглощенная доза 20 Mr не оказывает влияния на показания дозиметра, содержащего $2,5 \cdot 10^{-2}$ M UO_2SO_4 . Под действием γ -излучения с $P = 10^3$ p/сек на дозиметр, содержащий $5 \cdot 10^{-2}$ M NaNO_3 , найдено, что после поглощения 100 Mr сила тока составляет 92% исходного значения.

Поступило в Редакцию 19/VI 1968 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. З. Гочалнев, Ц. И. Залкинд. В кн. «Труды II Всесоюзного совещания по радиационной химии». М., Изд-во АН СССР, 1962, стр. 741.
2. I. Draganic. Nucleonics, 21, No. 2, 33 (1963).
3. В. П. Трусова и др. В кн. «Дозиметрия больших доз». Труды Второго координационного совещания по дозиметрии больших доз (1965 г., Ташкент). Ташкент «Фанлар», 1966, стр. 75.
4. Г. З. Гочалнев. Диссертация, М., 1963.
5. К. И. Розенталь, В. И. Веселовский. «Ж. физ. хим.», 32, 1341 (1958).

Гамма-излучение из Li-, C-, Al-, Ni-, Cu-, Nb-, Cd-, Ta- и Rb-мишеней, бомбардируемых протонами с энергией 21 Мэв

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

УДК 539.122

Трудности вычисления доз вторичного γ -излучения за защитами от протонов обусловлены в основном недостатком данных о дифференциальных сечениях образования γ -квантов в реакциях протонов с ядрами.

В ближайшее время трудно надеяться на получение таких данных в полном объеме, поэтому представляется целесообразным измерение некоторых интегральных характеристик вторичного γ -излучения, таких, как поглощенная доза за защитой, толщина которой больше ионизационного пробега протона в ней.

В этих измерениях происходит усреднение по энергии протона от начальной до нулевой. В работе [1] проанализирована роль таких изменений для расчета защиты от протонов и показано, что дозы γ -квантов целесообразно измерять при начальных энергиях протонов 7; 13; 18 и 25 Мэв. В работе [2] получены данные о дозах вторичного излучения при начальной энергии протонов 10,5 Мэв.

В данной работе, выполненной на циклотроне Физико-энергетического института (г. Обнинск), были измерены дозы γ -квантов из мишеней толщиной около 1 г/см^2 и диаметром 30 мм, облучаемых протонами с энергией 21 Мэв.

Регистрацию γ -излучения производили сцинтилляционным детектором с кристаллом стибьбена размером $30 \times 20 \text{ мм}$. Детектор располагали под углами 0° , 45° и 90° к пучку протонов при работе с Li-, C-, Cu-, Ta- и Rb-мишенями и под углом 0° при работе с Al-, Ni-, Nb- и Cd-мишенями. Электронная схема детектора позволяла производить измерения доз γ -квантов в присутствии нейтронного фона [3].

Дозу определяли по выражению

$$D = k \left[\int_0^{E_{\text{пор}}} EN(E) dE + \int_{E_{\text{пор}}}^{E_{\text{макс}}} EN(E) dE \right], \quad (1)$$

Дозы γ -излучения

Таблица 1

| Мишень | Угол | Доза, $\times 10^{-17}$ рад \cdot м ² /протон |
|--------|------|---|
| Li | 0° | 5,3±0,8 |
| | 45° | 5,8±0,9 |
| | 90° | 5,0±0,7 |
| C | 0° | 9,3±1,5 |
| | 45° | 10,0±1,5 |
| | 90° | 8,0±1,2 |
| Al | 0° | 7,4±1,0 |
| Ni | 0° | 4,2±0,6 |
| Cu | 0° | 6,6±0,7 |
| | 45° | 6,7±0,7 |
| | 90° | 6,6±0,7 |
| Nb | 0° | 4,3±0,6 |
| Cd | 0° | 4,2±0,5 |
| Ta | 0° | 3,2±0,5 |
| | 45° | 3,3±0,5 |
| | 90° | 3,3±0,5 |
| Pb | 0° | 1,9±0,3 |
| | 45° | 1,9±0,3 |
| | 90° | 1,8±0,3 |

где k — переходный коэффициент от поглощенной энергии к дозе; E — энергия электрона отдачи; $N(E)$ — спектр электронов отдачи в кристалле; $E_{\text{пор}}$ — минимальная энергия электрона, регистрируемая электронной схемой.

Вклад первого интеграла в полную дозу, определявшийся экстраполяцией, не превышал 10%. В табл. 1 приведены дозы γ -излучения из Li-, C-, Al-, Ni-, Cu-, Nb-, Cd-, Ta-, Pb-мишеней, бомбардируемых протонами с энергией 21 Мэв. Доза γ -излучения под углом 0° при увеличении атомного номера падает, что в первую очередь связано с уменьшением вероятности ядерного взаимодействия протонов с ядрами мишени.

Зная величины доз D , можно приближенно оценить среднюю энергию (ϵ), уносимую всеми γ -квантами при неупругом ядерном взаимодействии протона в мишени. Если предположить, что угловое распределение γ -квантов из всех мишеней изотропно, то энергию (ϵ) можно найти так же, как это сделано в работе [2], из выражения

$$\langle \epsilon \rangle = \frac{D4\pi F^2}{k\Sigma_a W}, \quad (2)$$

где W — вероятность ядерного взаимодействия протона в мишени; Σ_a — среднее сечение поглощения энергии γ -кванта в кристалле.

Значения средней энергии, уносимой γ -квантами

Таблица 2

| Мишень | $\epsilon_p = 21$ Мэв | $\epsilon_p = 10,5$ Мэв [2] |
|--------|-----------------------|--------------------------------|
| Al | ~ 2,8 | ~ 2,5 |
| Ti | — | ~ 3,5 |
| Ni | ~ 2,0 | — |
| Cu | ~ 3,5 | — |
| Nb | ~ 3,1 | ~ 5 |
| Cd | ~ 2,9 | — |
| Ta | ~ 3,7 | — |
| Pb | ~ 3,0 | — |
| U | — | ~ 3,5 |

Значения ϵ приведены в табл. 2. Там же указаны ϵ , полученные в работе [2] для начальной энергии протонов 10,5 Мэв. Видно, что средняя энергия, уносимая всеми γ -квантами при одном неупругом взаимодействии протона в мишени, в первом приближении не зависит ни от атомного номера мишени, ни от начальной энергии протона. Этот факт дает возможность оценивать дозы вторичного излучения за тонкими протонными защитами из материалов со средним и большим атомным номером, вычисляя лишь вероятность неупругого ядерного взаимодействия протона в защите, т. е. если имеются лишь данные о полном сечении неупругого взаимодействия, которые для средних и тяжелых ядер известны [4]. Оценки доз по такой методике, по-видимому, не будут отличаться от истинных значений доз больше чем в два раза, что во многих случаях, когда доза вторичных γ -квантов составляет лишь малую часть дозы вторичного излучения за защитами [5], может оказаться достаточной.

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

Поступило в Редакцию 15/VIII 1968 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. А. Казанский, Е. С. Матусевич. Бюллетень Информационного центра по ядерным данным. Вып. 4. М., Атомиздат, 1967.
2. В. К. Даруга и др. «Атомная энергия», 26, 80 (1969).
3. F. Brooks. Nucl. Instr. Meth., No. 4, 240 (1959); В. А. Дулин, Ю. А. Казанский, И. В. Шугар. «Атомная энергия», 14, 488 (1963).
4. D. Beard, A. McLellan. Phys. Rev., 140, B. 888 (1965).
5. Е. С. Матусевич. «Атомная энергия», 20, 51 (1966).