

## Об определении пробегов протонов

И. К. ЗЫКОВ, С. Б. ВАРЮЩЕНКО, Г. Н. ДМИТРОВ

УДК 539.125.4

Для вычисления пробегов протона с энергией  $E_p$  в веществе пользуются выражением

$$R(E_p, X) = \frac{A_X}{2Z_X} R(E_p, C) k(y_X). \quad (1)$$

Здесь  $A_X$ ,  $Z_X$  — массовое число и заряд тормозящей среды;  $R(E_p, C)$  — пробег протонов с энергией  $E_p$  в углероде;  $k(y_X) = 1 + a_1 y_X + a_2 y_X^2 + a_3 y_X^3$ ;  $y_X = \lg \frac{I_X}{I_C}$ , где  $I_X$ ,  $I_C$  — потенциалы ионизации тормозящей среды и углерода.

Произведен расчет коэффициентов  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$ , зависящих от энергии  $E_p$  для диапазона энергий 10—500 Мэв. Полученные значения аппроксимировались выражениями

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= 0,635E_p^{-0,15} \\ a_2 &= 0,47E_p^{-0,31} \\ a_3 &= 0,8E_p^{-0,57} \\ a_3 &= 0,138E_p^{-0,18} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &10 \text{ Мэв} \leq E_p \leq 500 \text{ Мэв}; \\ &10 \text{ Мэв} \leq E_p \leq 100 \text{ Мэв}; \\ &100 \text{ Мэв} \leq E_p \leq 500 \text{ Мэв}. \end{aligned} \quad (2)$$

По данной методике произведен расчет пробегов протонов в диапазоне энергий 10—500 Мэв для таких материалов, как плексиглас, кварцевое стекло, сплав IMI-680, титан, гидрад лития, асботекстолит, карбид бора, абляционный материал (30% фенола + 70% SiO<sub>2</sub>),

биологическая ткань и др. Здесь же для сравнения приведены расчетные значения пробегов протонов в алюминии, меди и свинце, полученные по данной методике и определенные путем интегрирования [1]. Расхождение величин пробега составляет менее 1% во всем диапазоне энергий.

Для расчетов пробегов использовались следующие эффективные параметры: заряд  $Z_{\text{эфф}}$ , атомный вес  $A_{\text{эфф}}$ , потенциал ионизации  $I_{\text{эфф}}$ . Полученные значения пробегов представлены выражением

$$R = bE_p^c. \quad (3)$$

Значения коэффициентов  $b$  и  $c$  зависят от вида вещества и для перечисленных материалов приведены в данной работе. Точность расчетов по формуле [3] составляет 1—5%, что значительно лучше существующих аппроксимаций [2, 3], точность которых авторы оценивают для этого же диапазона энергий в 7—15%.

(№ 629/6820. Поступила в Редакцию 24/III 1972 г. Полный текст 0,45 а. л., 5 табл., 7 библиографических ссылок.)

### ЛИТЕРАТУРА

1. R. Steinhilber. Phys. Rev., **115**, 135 (1959).
2. E. Varianch. Nucl. Instrum. and Methods, **61**, 113 (1968).
3. И. К. В з о р о в. Эмпирическая зависимость пробега — энергия для протонов с энергиями 100—10 000 Мэв. Сообщение ОИЯИ, P1-4442, Дубна, 1969.

## О вычислении сечений фотоэлектрического поглощения

### γ-квантов при статистическом моделировании процессов переноса

О. С. МАРЕНКОВ

УДК 539.122.173

При численном решении задач γ-переноса в веществе методом Монте-Карло функциональную зависимость интегральных сечений элементарных процессов взаимодействия от энергии квантов  $\epsilon$  целесообразно задавать в виде формул. Для вычисления сечений фотоэлектрического поглощения γ-квантов в широком интервале энергий не существует точных теоретических или эмпирических формул. В статье рассматривается возможный вариант аналитической аппроксимации энергетической зависимости сечений фотопоглощения  $\tau(\epsilon)$  на основе табулированных расчетных данных.

В работе [1], характеризующей состояние теоретических исследований по сечениям взаимодействия γ-квантов до 1970 г., приведены сводные таблицы полных и парциальных сечений для 100 элементов в интервале энергий 0,001—100 Мэв. Ошибка в числовых значениях фотосечений в области энергий 0,006—0,2 Мэв составляет не более 3%, а вне этого интервала — до 10%.

По табличным данным [1] зависимость  $\tau = \tau(\epsilon)$  в широком диапазоне энергий  $\epsilon \geq \epsilon_K$  аппроксимируется выражением

$$\tau(\epsilon) = \sum_{i=0}^4 \tau_i \cdot \epsilon^{-i} \quad (1)$$

с ошибкой не более 3%. Коэффициенты  $\tau_i$ , вычисленные на ЭВМ методом наименьших квадратов с использованием «весовых» функций степенного типа [2], приведены в таблице для 48 элементов, наиболее часто встречающихся в задачах прикладной и технической ядерной физики.

Представляет практический интерес также аппроксимация зависимости  $\tau(\epsilon)$  в интервале  $\tau_{L1} \leq \epsilon \leq \epsilon_K$ . В этом случае  $\tau_0 = \tau_1 = 0$  и формула (1) принимает вид

$$\tau(\epsilon) = \tau_2 \epsilon^{-2} + \tau_3 \epsilon^{-3} + \tau_4 \epsilon^{-4}. \quad (2)$$

Коэффициенты  $\tau_i \geq 2$  приведены для 21 элемента. Максимальная ошибка аппроксимации составила 2,6%.

Следует отметить, что справедливость приближенной формулы (1) в области  $\varepsilon \geq \varepsilon_K$  установлена для 100 элементов, а формулы (2) в интервале  $\varepsilon_{L1} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_K$  — для 73 элементов, начиная с никеля ( $\varepsilon_{L1} = 0,001008$  Мэв).

(№ 630/6801. Поступила в Редакцию 3/III 1972 г. Полный текст 0,35 а. л., 2 табл., 8 библиографических ссылок.)

ЛИТЕРАТУРА

1. E. Storm, H. Israel. Nuclear Data Tables, A7, 565 (1970).
2. О. С. Маренков, Р. С. Держиманов. «Атомная энергия», 18, 520 (1965).

Поведение фторкаучуков при  $\gamma$ -облучении

Ф. А. МАХЛИС, А. Б. КРЮКОВА, В. И. ТРЕЩАЛОВ,  
А. С. КУЗЬМИНСКИЙ

УДК 661.48

Проведено сравнительное исследование процессов радиационного структурирования и деструкции фторкаучуков и их вулканизатов в свободном и напряженном состояниях в воздухе и вакууме, а также изменения свойств резины при старении. Использовались сополимеры фтористого винилидена с гексафторпропиленом (СКФ-26), трифторхлорэтиленом (СКФ-32) и перфторалкилвиниловым эфиром (СКФ-1). Величины радиационнохимических выходов цепей сетки (структурирования)  $G_{\text{ц}}$  и деструкции  $G_{\text{д}}$ , определенные по результатам измерения растворимости и равновесного набухания в ацетоне, приведены в таблице.

Поскольку число цепей, действительно образовавшихся в процессе облучения, характеризуется величиной  $G_{\text{ц}} + G_{\text{д}}$ , видно, что ингибирующее влияние кислорода на истинную скорость радиационного структурирования каучуков СКФ-26 и СКФ-1 невелико, однако в воздушной среде значительно возрастает скорость радиационной деструкции этих полимеров. В случае СКФ-32 кислород снижает скорость структурирования, но значительно меньше влияет на процесс радиационной деструкции. Чувствительность фторкаучуков к радиационному воздействию возрастает в ряду СКФ-32, СКФ-26, СКФ-1.

При облучении фторкаучуков в деформированном состоянии скорости радиационной деструкции, измеренные с помощью непрерывной релаксации напряжения, резко возрастают, что, по-видимому, связано с механической активацией процессов разрыва цепей в результате миграции заряда или электронного возбуждения на ослабленную связь. Радиационной деструкции подвержены преимущественно полимерные молекулы, а не поперечные связи, при этом разорванные концы цепей присоединяются к полимерным молекулам, образуя трехфункциональные узлы сетки.

В результате радиационного старения недеформированных наполненных резин на основе каучука СКФ-32 быстро уменьшается сопротивление разрыву, а относительное удлинение снижается значительно медленнее, чем в резинах на основе СКФ-26. Уменьшение сопротивления разрыву в резине на основе СКФ-32 более заметно, чем в случае СКФ-26. Радиационная стойкость незащищенных резин на основе использованных каучуков в свободном состоянии не превышает  $\sim 40$  Мрад, а в сжатом состоянии  $\sim 25$  Мрад.

(№ 631/6825. Поступила в Редакцию 27/III 1972 г. Полный текст 0,6 а. л., 4 рис., 2 табл., 10 библиографических ссылок.)

Влияние условий облучения фторкаучуков на величины  $G_{\text{ц}}$  и  $G_{\text{д}}$

Тип каучука	Облучение в воздухе			Облучение без доступа воздуха		
	$G_{\text{ц}}$	$G_{\text{д}}$	$G_{\text{ц}} + G_{\text{д}}$	$G_{\text{ц}}$	$G_{\text{д}}$	$G_{\text{ц}} + G_{\text{д}}$
СКФ-32	0,20	0,18	0,38	0,32	0,16	0,48
СКФ-26	0,78	0,62	1,40	1,08	0,24	1,32
СКФ-1	0,90	0,72	1,62	1,46	0,37	1,83