

Изменение среднего значения фактора качества с глубиной проникновения фотонного излучения

А. В. Белоусов,* Г. А. Крусанов, А. П. Черняев
 Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
 физический факультет, кафедра физики ускорителей и радиационной медицины
 Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2
 (Статья поступила 25.04.2016; Подписана в печать 05.05.2016)

Работа посвящена моделированию облучения водного фантома фотонным излучением с энергией до 40 МэВ и оценке глубинного распределения среднего значения фактора качества с учетом образовавшихся вторичных частиц.

PACS: 87.53.Bn УДК: 539.122.04

Ключевые слова: фотонное излучение, фотоядерные реакции, фактор качества, водный фантом, компьютерное моделирование, Geant4.

Для учета различий в биологической эффективности ионизирующих излучений введено понятие эквивалентной дозы излучения. Считается, что облучение в одной и той же эквивалентной дозе, независимо от типа и энергии излучения, приводит к одинаковому биологическому эффекту. Эквивалентная доза определяется как произведение поглощенной дозы на коэффициент, зависящий от типа излучения.

Плотно ионизирующее излучение при равных поглощенных дозах приводит к более выраженным эффектам, чем редкоионизирующее. Для учета зависимости от линейной передачи энергии (ЛПЭ) используется нормирующий коэффициент Q , называемый коэффициентом качества [1] (в других редакциях фактор качества) (КК), зависимость от ЛПЭ определяется выражением:

$$Q(L) = \begin{cases} 1, & L < 10 \text{ кэВ/мкм}; \\ 0.32L - 2.2, & 10 \leq L \leq 100 \text{ кэВ/мкм}; \\ 300/\sqrt{L}, & L > 100 \text{ кэВ/мкм}. \end{cases} \quad (1)$$

Если объект находится в поле смешанного излучения, эквивалентная доза H будет равняться сумме поглощенных доз D_i от всех типов излучений i , умноженных на соответствующие коэффициенты w_i :

$$H = \sum_i w_i D_i.$$

Отношение эквивалентной дозы к поглощенной $K = H/D$ можно рассматривать как среднее значение коэффициента качества (или радиационного взвешивающего фактора (РВФ) в зависимости от методики вычисления эквивалентной дозы) смешанного излучения. Смешанное излучение может образовываться даже при облучении объема моноэнергетическим излучением постоянного состава.

Такие условия реализуются в поле фотонного излучения, при взаимодействии фотонов с веществом образуются потоки различных вторичных частиц. При превышении порога фотоядерных реакций возможно образование тяжелых заряженных частиц с высоким значением ЛПЭ. Несмотря на малую вероятность образования, за счет высоких значений взвешивающих коэффициентов эти частицы могут вносить весомый вклад в эквивалентную дозу.

В работе применяется компьютерное моделирование методом Монте–Карло в среде Geant4. Водный фантом представляет собой однородный куб размером $30 \times 30 \times 30$ см, в центре куба вдоль оси пучка расположен набор из 300 «чувствительных» слоев размером $2 \times 2 \times 0.1$ см, в каждом из которых ведется накопление данных о происходящих процессах (выделяющаяся энергия, длина шага). За ним вдоль оси пучка расположен дополнительный слой воды размером $30 \times 30 \times 20$ см. Фантом облучается пучком фотонов радиусом 2 см, расположенном на расстоянии 40 см от центра куба.

Для расчета РВФ w применяются рекомендованные [1] значения (для фотонов всех энергий — 1, для протонов — 2, для альфа-частиц, тяжелых ионов и осколков деления — 20), а для вычисления величины Q на каждом шаге учитывается ЛПЭ всех образовавшихся вторичных частиц (электроны, тяжелые частицы и ядра отдачи):

$$Q = \frac{\sum_i D_i Q(L_i)}{\sum_i D_i},$$

где D_i — поглощенная в результате i -го взаимодействия поглощенная доза, а $Q(L_i)$ — коэффициент качества частицы, испытавшей данное взаимодействие, рассчитанный по формуле (1).

На рис. 1 приведена глубинная зависимость РВФ и КК для трех разных энергий: 20, 30 и 40 МэВ. До энергии 10 МэВ, когда порог фотоядерных реакций еще не превышен, значения РВФ не отличаются от единицы на протяжении всей глубины фантома. КК при этом немного выше единицы. При энергиях 20 и 30

*E-mail: belousovav@physics.msu.ru

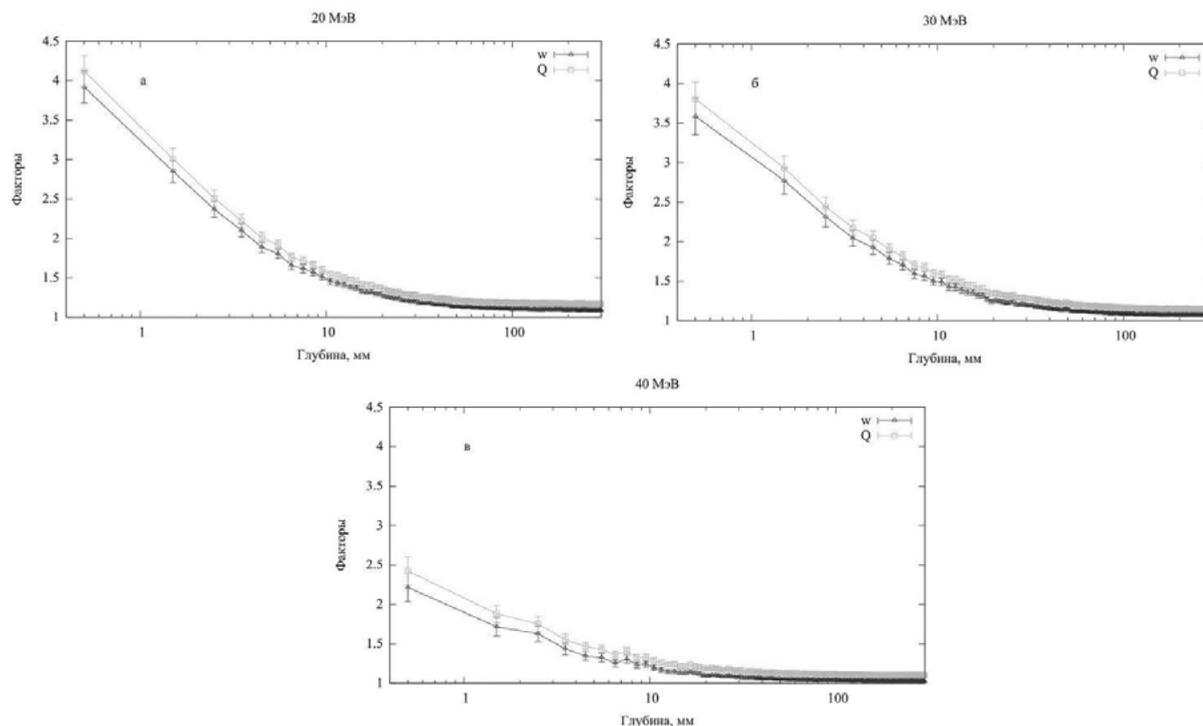


Рис. 1: Зависимость РВФ и КК фотонов от глубины проникновения для энергий 20, 30 и 40 МэВ.

МэВ на глубине до 4.5 мм значения факторов превышают 2, достигая значения 4 в приповерхностном слое, и превышая 1.5 на глубине до 9.5 мм.

[1] ICRP Publication. **92**. Ann. ICRP 33(4). (2003).

Quality factor's mean value changing with photon radiation depth penetration

A.V. Belousov^a, G.A. Krusanov^b, A.P. Chernyaev

*Department of Accelerators Physics and Radiation Medicine Physics, Faculty of Physics,
M.V.Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia
E-mail: ^abelousovav@physics.msu.ru, ^bkrusanov@physics.msu.ru,*

The paper is about computers imulation of water phantom irradiation by photons with energies up to 40 MeV and estimation of quality factor's mean value depth distribution, taking into account the resulting secondary particles.

PACS: 87.53.Bn

Keywords: photon radiation, photo-nuclear reactions, quality factor, water phantom, computers imulation, Geant4.

Received 25.04.2016.

Сведения об авторах

1. Белоусов Александр Витальевич — канд. физ.-мат. наук, доцент; тел.: (495) 939-49-46, e-mail: belousovav@physics.msu.ru.
2. Крусанов Григорий Андреевич — аспирант; тел.: (495) 939-49-46, e-mail: krusanov@physics.msu.ru.
3. Черняев Александр Петрович — докт. физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой; тел.: (495) 939-49-46.