

М. А. Ель-Сарраф^{1,*}, А. А. Ель-Саїд Абдо²

¹ *Центр досліджень ядерної та радіологічної безпеки, Управління атомної енергії Єгипту, Каїр, Єгипет*

² *Центр ядерних досліджень, Управління атомної енергії Єгипту, Каїр, Єгипет*

*Відповідальний автор: magdsarraaf@yahoo.com

ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ЕНЕРГОВИДІЛЕННЯ ВІД ГАММА-КВАНТІВ У ДЕЯКИХ КОМПЗИТНИХ МАТЕРІАЛАХ

У даній роботі досліджено декілька параметрів, що характеризують енерговиділення від фотонів в області енергій від 0,015 до 15,0 MeV для чотирьох композитів з використаного паперу. Для захисту від радіоактивних уламків у різний час використовувалися композити з макулатури та натурального каучуку (WP/NR) різної щільності в діапазоні від $\rho = 0,894$ до $1,16 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$. Також використовувалися деякі добавки, включаючи сажу з високою абразивністю, парафін, B_4C , а також магнетит. Отримані параметри взаємодії фотонів: еквівалентний атомний номер Z_{eq} , коефіцієнти накопичення для експозиції та енергії поглинання були вивчені залежно від енергії гамма-кванта, елементного складу WP/NR та для глибини проникнення до 40 середніх довжин вільного пробігу. Значення Z_{eq} показали незначну варіацію у вибраному діапазоні енергій, а коефіцієнти накопичення виявилися невеликими при низькій і високій енергіях, при великих значеннях у проміжній енергетичній області. Крім того, було обчислено керму відносно повітря для енергій гамма-квантів від 1 до 20 MeV і показано її залежність від еквівалентних атомних номерів. У роботі було продемонстровано, що заповнені зразки пропонують кращі можливості для екранування, ніж незаповнені. Отримані дані можуть бути корисні в радіаційній фізиці при оцінці γ -радіації після WP/NR екранів.

Ключові слова: композити, коефіцієнти накопичення, експозиція, енергопоглинання, керма.

М. А. El-Sarraaf^{1,*}, А. А. El-Sayed Abdo²

¹ *Nuclear and Radiological Safety Research Center, Egyptian Atomic Energy Authority, Cairo, Egypt*

² *Nuclear Research Center, Egyptian Atomic Energy Authority, Cairo, Egypt*

*Corresponding author: magdsarraaf@yahoo.com

EVALUATION OF GAMMA-RAY BUILDUP FACTORS FOR SOME WASTE PAPER AND NATURAL RUBBER COMPOSITES

In this work, four waste paper composites were studied in terms of several photon interaction parameters over the energy region from 0.015 to 15.0 MeV. The waste paper and natural rubber (WP/NR) composites of different densities ranging from $\rho = 0.894$ to $1.16 \text{ gm}\cdot\text{cm}^{-3}$ were used for shielding radioactive rubble at different time period stages. Some additives were also used including high-abrasion furnace black, paraffin wax, B_4C , as well as magnetite. The deduced parameters of photon interaction: equivalent atomic number Z_{eq} , exposure buildup factor and energy absorption buildup factor have been studied as a function of incident photon energy, WP/NR elemental composition, and for penetration depths, up to 40 mean free path. The Z_{eq} numbers have shown slight variation over the selected incident energy range and buildup factors were found to be modest at low and high photon energy meanwhile their values increase widely over the intermediate energy region. In addition, kerma relative to air for photon energies from 1 to 20 MeV were computed and show dependence upon equivalent atomic numbers. In this work, it was clear that filled samples offer better shielding capabilities than unfilled ones. The obtained data could be useful for radiation physicists and scientists in estimating the γ -irradiation received after applying such shields.

Keywords: composites, buildup factors, exposure, energy absorption, kerma.

REFERENCES

1. [International Experts' Meeting on Decommissioning and Remediation after a Nuclear Accident. Vienna, Austria 28 Jan. - 1 Feb. 2013. IAEA-CN-211, \(ID: 44453\) \(Vienna, IAEA, 2013\) p. 59.](#)
2. M.A.A. El-Sarraaf, A. El-Sayed Abdo. Waste paper and natural rubber composite for radiation attenuation and radioactive debris shielding. [Journal of Nuclear Research and Development 9 \(2015\) 56.](#)
3. M. Madani et al. Utilization of waste paper in the manufacture of natural rubber composite for radiation shielding. [Progress in Rubber. Plastics and Recycling Technology 20\(4\) \(2004\) 287.](#)
4. S.E. Gwaily et al. Study of electrophysical characteristics of lead-natural rubber composites as radiation shields. [Polymer Composites 23\(6\) \(2002\) 1068.](#)
5. [Gamma-Ray Attenuation Coefficients and Buildup Factors for Engineering Materials. American National Standard \(ANSI/ANS 6.4.3., 1991\).](#)

6. N.A.M. Alsaif et al. Simulating the γ -ray and neutron attenuation properties of lithium borate glasses doped barite: efficient and deterministic analysis using relevant simulation codes. [Journal of Materials Research and Technology 17 \(2022\) 679](#).
7. N.A.M. Alsaif et al. Calculating photon buildup factors in determining the γ -ray shielding effectiveness of some materials susceptible to be used for the conception of neutrons and γ -ray shielding. [Journal of Materials Research and Technology 11 \(2021\) 769](#).
8. U. Kaur et al. Comparative studies of different concretes on the basis of some photon interaction parameters. [Applied Radiation and Isotopes 70 \(2012\) 233](#).
9. *Reactor Shielding for Nuclear Engineer*. N.M. Schaeffer (Ed.) TID-25951 (U.S. Atomic Energy Commission, 1973) 800 p.
10. H. Akyildirim et al. Investigation of buildup factor in gamma-ray measurement. [Acta Physica Polonica A 132\(3-II\) \(2017\) 1203](#).
11. S. Singh et al. Buildup of gamma ray photons in flyash concretes: A Study. [Annals of Nuclear Energy 37 \(5\) \(2010\) 681](#).
12. M. Guvendik. Buildup factor formulae for multi-layer shields. PhD Thesis (USA, Rolla, Missouri University of Science and Technology, 1999).
13. M.J. Berger et al. XCOM: Photon Cross Sections Database. NIST Standard Reference Database 8 (XGAM). (2010).
14. L. Gerward et al. X-ray absorption in matter. Reengineering XCOM. [Radiation Physics and Chemistry 60 \(2001\) 23](#).
15. M. Kurudirek et al. Investigation of X- and gamma ray photons buildup in some neutron shielding materials using gp fitting approximation. [Annals of Nuclear Energy 53 \(2013\) 485](#).
16. Y. Harima. An Approximation of Gamma-Ray Buildup Factors by Modified Geometrical Progression. [Nucl. Sci. Eng. 83 \(1983\) 299](#).
17. Y. Harima. An Historical Review and Current Status of Buildup Factor Calculations and Applications. [Radiation Physics and Chemistry 41 \(1993\) 631](#).
18. Y. Harima et al. Validity of the Geometric-Progression Formula in Approximating Gamma-Ray Buildup Factors. [Nucl. Sci. Eng. 94 \(1986\) 24](#).
19. Y. Sakamoto, S. Tanaka, Y. Harima. Interpolation of Gamma-Ray Buildup Factors for Point Isotropic Source with Respect to Atomic Number. [Nucl. Sci. Eng. 100 \(1988\) 33](#).
20. A. Shimizu. Calculations of Gamma-Ray Buildup Factors up to Depths of 100 mfp by the Method of Invariant Embedding, (I) Analysis of Accuracy and Comparison with Other Data. [Journal of Nuclear Science and Technology 39 \(2002\) 477](#).
21. A. Shimizu, T. Onda, Y. Sakamoto. Calculations of Gamma-Ray Buildup Factors up to Depths of 100 mfp by the Method of Invariant Embedding, (III) Generation of an Improved Data Set. [Journal of Nuclear Science and Technology 41 \(2004\) 413](#).
22. M. Almatari. Energy Absorption and Exposure Buildup Factors for Some Bioactive Glasses Samples: Penetration Depth, Photon Energy, and Atomic Number Dependence. [Journal of Optoelectronics and Biomedical Materials 9\(2\) \(2017\) 95](#).
23. K.S. Mann et al. Investigations of some building materials for γ -rays shielding effectiveness. [Radiation Physics and Chemistry 87 \(2013\) 16](#).
24. S.R. Manohara, S.M. Hanagodimath, L. Gerward. Studies on effective atomic number, electron density and kerma for some fatty acids and carbohydrates. [Phys. Med. Biol. 53 \(2008\) 377](#).
25. K.S. Mann, M. Kurudirek, G.S. Sidhu. Verification of dosimetric materials to be used as tissue-substitutes in radiological diagnosis. [Applied Radiation and Isotopes 70 \(2012\) 681](#).
26. P.S. Singh, T. Singh, P. Kaur. Variation of energy absorption buildup factors with incident photon energy and penetration depth for some commonly used solvents. [Ann. Nucl. Energy 35 \(2008\) 1093](#).
27. T. Singh, N. Kumar, P.S. Singh. Chemical composition dependence of exposure buildup factors for some polymers. [Ann. Nucl. Energy 36 \(2009\) 114](#).
28. M. Kurudirek, Y. Özdemir. A comprehensive study on energy absorption and exposure buildup factors for some essential amino acids, fatty acids and carbohydrates in the energy range 0.015 - 15 MeV up to 40 mean free path. [Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 269 \(2011\) 7](#).
29. F.H. Attix. *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry*. 1st ed. (Wiley-VCH, 1991) 628 p.
30. *Radiation Quantities and Units*. ICRU Report 33 (Bethesda, USA, 1980).
31. J.H. Hubbell, S.M. Seltzer. *Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients 1 keV to 20 MeV for Elements Z = 1 to 92 and 48 Additional Substances of Dosimetric Interest*. NISTIR-5632 (Gaithersburg, USA, 1995) 120 p.