

Біلالодін^{1*}, А. Хар'яді¹, Сехах¹, Зусфахайр², Ю. Сарджоно³, Р. Турсіна⁴

¹ Кафедра фізики, факультет математики та природничих наук,
Університет Джендерала Содірмана, Пурвокерто, Ява, Індонезія

² Кафедра хімії, факультет математики та природничих наук,
Університет Джендерала Содірмана, Пурвокерто, Ява, Індонезія

³ Дослідницький центр прискорювальних технологій,

Національне агентство з досліджень та інновацій, Джакарта, Індонезія

⁴ Центр прикладної ядерної науки та Агентство ядерної енергії, Бандунг, Індонезія

*Відповідальний автор: bilalodin@unsoed.ac.id

МІКРОДОЗИМЕТРИЧНИЙ ТЕСТ ДВОШАРОВОГО БЛОКА ФОРМУВАННЯ НЕЙТРОННОГО ПУЧКА ЯК ДЖЕРЕЛА ДЛЯ НЕЙТРОННОЇ ТЕРАПІЇ ІЗ ЗАХОПЛЕННЯМ БОРНИХ НЕЙТРОНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМИ PHITS

Мікродозиметричний тест двошарового блока формування нейтронного пучка (DLBSA) було проведено за допомогою програми розрахунку переносу частинок і важких іонів (PHITS). Тест має на меті прояснити механізм взаємодії між нейтронами та мікроклітинами та визначити значення лінійної передачі енергії (LET) і відносної біологічної ефективності (RBE) пучка нейтронів DLBSA. Тест проводили для пучка нейтронів з мікроклітинами, що містять ¹⁰B, з використанням концентрації бору 70 ppm. Використане джерело нейтронів походить від DLBSA на основі циклотрона з енергією 30 МеВ. Взаємодія нейтронів з мікроклітинами відбувається через реакції розсіювання, відбиття та поглинання. Результати мікродозиметричного тесту показали, що пікове значення LET для α -частинок становило 100 кеВ/μм, а для ⁷Li – 200 кеВ/μм, зі значенням RBE для α 9,83 і ⁷Li – 6,11.

Ключові слова: мікродозиметрія, мікроклітини, лінійна передача енергії, відносна біологічна ефективність, програма моделювання транспорту частинок і важких іонів, терапія із захопленням борних нейтронів.

Bilalodin^{1*}, A. Haryadi¹, Sehah¹, Zufahair², Y. Sardjono³, R. Tursinah⁴

¹ Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Science, Jenderal Soedirman University,
Purwokerto, Java, Indonesia

² Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Science, Jenderal Soedirman University,
Purwokerto, Java, Indonesia

³ Research Centre for Accelerator Technology, National Research and Innovation Agency,
Jakarta, Indonesia

⁴ Center for Applied Nuclear Science and Nuclear Agency, Bandung, Indonesia

*Corresponding author: bilalodin@unsoed.ac.id

MICRODOSIMETRY TEST ON DOUBLE LAYER BEAM SHAPING ASSEMBLY NEUTRON BEAM AS A BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY NEUTRON SOURCE USING PHITS CODE

A microdosimetry test on a double layer beam shaping assembly (DLBSA) neutron beam has been carried out using the particle and heavy ion transport code system (PHITS). The test aims to understand the mechanism of interactions between neutrons and microcells and to determine the linear energy transfer (LET) and the relative biological effectiveness (RBE) values of the DLBSA neutron beam. The test was carried out by interacting a neutron beam with microcells containing ¹⁰B using a boron concentration of 70 ppm. The neutron source used comes from a 30 MeV cyclotron-based DLBSA. The simulation results show that the interaction of neutrons with microcells occurs through scattering, reflection, and absorption reaction mechanisms. The results of the microdosimetry test showed that the peak LET value of α -particles was 100 keV/μm and ⁷Li was 200 keV/μm, with an RBE value for α of 9.83 and ⁷Li of 6.11.

Keywords: microdosimetry, microcell, linear energy transfer, relative biological effectiveness, particle and heavy ion transport code system, boron neutron capture therapy.

REFERENCES

1. W.A.G. Sauerwein. Principles and roots of neutron capture therapy. In: W. Sauerwein et al. (Eds.). *Neutron Capture Therapy* (Berlin - Heidelberg: Springer, 2012) p. 1.
2. A.M. Hassanein et al. An optimized epithermal BNCT beam design for research reactors. *Progress in Nuclear Energy* 106 (2018) 455.

3. H. Tanaka et al. Experimental verification of beam characteristics for cyclotron-based epithermal neutron source (C-BENS). *Applied Radiation and Isotopes* 69(12) (2011) 1642.
4. Y. Hashimoto, F. Hiraga, Y. Kiyonagi. Effects of proton energy on optimal moderator system and neutron-induced radioactivity of compact accelerator-driven $^9\text{Be}(p, n)$ neutron sources for BNCT. *Physics Procedia* 60 (2014) 332.
5. S. Hang et al. Monte Carlo study of the beam shaping assembly optimization for providing high epithermal neutron flux for BNCT based on D-T neutron generator. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 310(3) (2016) 1289.
6. Bilalodin et al. Optimization and verification of double layer beam shaping assembly (DLBSA) for epithermal neutron generation. *Jurnal Teknologi* 84(4) (2022) 103.
7. J. Vohradsky et al. Evaluation of silicon based microdosimetry for boron neutron capture therapy quality assurance. *Physica Medica* 66 (2019) 8.
8. T. Sato et al. Microdosimetric modeling of biological effectiveness for boron neutron capture therapy considering intra- and intercellular heterogeneity in ^{10}B distribution. *Scientific Reports* 8 (2018) 988.
9. C.B Sylvester et al. Radiation-induced cardiovascular disease: mechanisms and importance of linear energy transfer. *Frontiers in Cardiovascular Medicine* 5 (2018) 5.
10. R.F. Barth, P. Mi, W. Yang. Boron delivery agents for neutron capture therapy of cancer. *Cancer Communications* 38(1) (2018) 1.
11. C.M. Lund et al. A microdosimetric analysis of the interactions of mono-energetic neutrons with human tissue. *Physica Medica* 73 (2020) 29.
12. H. Fukunaga. Implications of radiation microdosimetry for accelerator-based boron neutron capture therapy: a radiobiological perspective. *The British Journal of Radiology* 93 (2020) 20200311.
13. N. Hu et al. Evaluation of PHITS for microdosimetry in BNCT to support radiobiological research. *Applied Radiation and Isotopes* 161 (2020) 109148.
14. H. Horiguchi et al. Estimation of relative biological effectiveness for boron neutron capture therapy using the PHITS code coupled with a microdosimetric kinetic model. *Journal of Radiation Research* 56(2) (2015) 382.
15. P. Shamshiri, G. Forozani, A. Zabihi. An investigation of the physics mechanism based on DNA damage produced by protons and alpha particles in a realistic DNA model. *Nucl. Instrum. Methods B* 454 (2019) 40.
16. T. Furuta, T. Sato. Medical application of particle and heavy ion transport code system PHITS. *Radiological Physics and Technology* 14(3) (2021) 215.
17. Y. Han et al. Microdosimetric analysis for boron neutron capture therapy via Monte Carlo track structure simulation with modified lithium cross-sections. *Radiation Physics and Chemistry* 209 (2023) 110956.
18. Bilalodin et al. Optimization and analysis of neutron distribution on 30 MeV cyclotron-based double layer beam shaping assembly (DLBSA). *Nucl. Phys. At. Energy* 20 (2019) 70.
19. T. Sato et al. Particle and heavy ion transport code system, PHITS, version 2.52. *Journal of Nuclear Science and Technology* 50(9) (2013) 913.
20. T. Sato et al. Features of particle and heavy ion transport code system (PHITS) version 3.02. *Journal of Nuclear Science and Technology* 55(6) (2018) 684.
21. A. Tilikidis et al. An estimation of the relative biological effectiveness of 50 MV bremsstrahlung beams by microdosimetric techniques. *Physics in Medicine & Biology* 41(1) (1996) 55.
22. I.S. Anderson et al. Research opportunities with compact accelerator-driven neutron sources. *Physics Reports* 654 (2016) 1.
23. N. Hu et al. Microdosimetric quantities of an accelerator-based neutron source used for boron neutron capture therapy measured using a gas-filled proportional counter. *Journal of Radiation Research* 61(2) (2020) 214.

Надійшла / Received 15.02.2024