

Ахмед Г. Мостафа<sup>1</sup>, Сасд А. Махлуф<sup>2</sup>, Ельхам Ель-Хакім<sup>3</sup>, Морсі С. Ель-Тахаві<sup>4</sup>,  
Абдель Фатах А. Хамед<sup>4</sup>, Атеф Ель-Тахер<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Кафедра фізики, факультет науки, університет Аль-Азхар, Каїр, Єгипет

<sup>2</sup> Кафедра фізики, факультет науки, університет Аль-Азхар, Ассіут, Єгипет

<sup>3</sup> Лабораторія досліджень ядерного палива, Центр ядерних досліджень,  
Управління з атомної енергії, Іншас, Єгипет

<sup>4</sup> Відділ ядерної безпеки та фізичного захисту,  
Державна адміністрація ядерного та радіологічного регулювання, Каїр, Єгипет

\*Відповідальний автор: atef.eltaher@gmail.com

### ВЕРИФІКАЦІЯ ВМІСТУ <sup>235</sup>U В ДЕЯКИХ ВИДАХ ЯДЕРНОГО ПАЛИВА ДЛЯ РЕАКТОРІВ КАНДУ АБСОЛЮТНИМ МЕТОДОМ

Розглянуто фізичну верифікацію ядерних матеріалів (ЯМ) (при дотриманні гарантій безпеки) в лабораторії дослідження ядерного палива в Іншасі, Єгипет. Були верифіковані ЯМ різних форм та розмірів. Метод верифікації заснований на неруйнівних вимірюваннях гамма-квантів, випромінюваних з ЯМ. Метод Монте-Карло (MCNP5) та програмне забезпечення для багатогрупового аналізу (MGAU Genie 2000, версія 3.2) були використані для оцінки масового вмісту <sup>235</sup>U у досліджуваних зразках. Були також вивчені деякі параметри, що впливають на оцінку маси ЯМ. Запропонована процедура охоплює різні форми, що є в лабораторії дослідження ядерного палива, такі як гранули, шлам та стержні. Середня точність для оцінених мас <sup>235</sup>U становила від -0,351 до -1,005 %, тоді як прецизійність становила приблизно 2,065 та 7,45 % для MCNP5 та MGAU відповідно. Ці результати вважаються прийнятними в межах міжнародних рекомендацій.

*Ключові слова:* виготовлення палива, фізичний облік ядерних матеріалів, метод Монте-Карло.

Ахмед Г. Мостафа<sup>1</sup>, Сайед А. Махлуф<sup>2</sup>, Ельхам Ель-Хакім<sup>3</sup>, Морсі С. Ель-Тахаві<sup>4</sup>,  
Абдель Фатах А. Хамед<sup>4</sup>, Атеф Ель-Тахер<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Кафедра фізики, факультет науки, університет Аль-Азхар, Каїр, Єгипет

<sup>2</sup> Кафедра фізики, факультет науки, університет Аль-Азхар, Ассіут, Єгипет

<sup>3</sup> Лабораторія досліджень ядерного палива, Центр ядерних досліджень,  
Управління з атомної енергії, Іншас, Єгипет

<sup>4</sup> Відділ ядерної безпеки та фізичного захисту,  
Государственная администрация ядерного и радиологического регулирования, Каїр, Єгипет

\*Ответственный автор: atef.eltaher@gmail.com

### ВЕРИФІКАЦІЯ СОДЕРЖАНИЯ <sup>235</sup>U В НЕКОТОРЫХ ВИДАХ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ РЕАКТОРОВ КАНДУ АБСОЛЮТНЫМ МЕТОДОМ

Рассмотрена физическая верификация ядерных материалов (ЯМ) (при соблюдении гарантий безопасности) в лаборатории исследования ядерного топлива в Иншасе, Египет. Были верифицированы ЯМ различных форм и размеров. Метод верификации основан на неразрушающих измерениях гамма-квантов, излучаемых ЯМ. Метод Монте-Карло (MCNP5) и программное обеспечение для многогруппового анализа (MGAU Genie 2000, версия 3.2) были использованы для оценки массового содержания <sup>235</sup>U в исследуемых образцах. Были также изучены некоторые параметры, влияющие на оценку массы ЯМ. Предложенная процедура охватывает различные формы в лаборатории исследования ядерного топлива, такие как гранулы, шлам и стержни. Средняя точность для оцененных масс <sup>235</sup>U составляла от -0,351 до -1,005 %, тогда как прецизионность составляла примерно 2,065 и 7,45 % для MCNP5 и MGAU соответственно. Эти результаты считаются приемлемыми в рамках международных рекомендаций.

*Ключевые слова:* изготовление топлива, физический учет ядерных материалов, метод Монте-Карло.

Ahmed G. Mostafa<sup>1</sup>, Sayed A. Makhoulouf<sup>2</sup>, Elham El-Hakim<sup>3</sup>, Morsy S. El-Tahawy<sup>4</sup>,  
Abdel Fatah A. Hamed<sup>4</sup>, Atef El-Taher<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Physics Department, Faculty of Science, Al-Azhar University, Cairo, Egypt

<sup>2</sup> Physics Department, Faculty of Science, Al-Azhar University, Assiut, Egypt

<sup>3</sup> Nuclear Fuel Research Laboratory, Nuclear Research Center, Atomic Energy Authority, Inshas, Egypt

<sup>4</sup> Nuclear Safeguards and Physical Protection Department,  
Egyptian Nuclear and Radiological Regulatory Authority, Cairo, Egypt

## VERIFICATION OF $^{235}\text{U}$ MASS CONTENT IN SOME NUCLEAR FUEL FABRICATION FOR CANDU REACTORS BY AN ABSOLUTE METHOD

In this paper, the physical inventory taking of nuclear materials (NM) (under safeguards application) at the nuclear fuel research laboratory at Inshas, Egypt has been considered. NM with different forms and sizes were verified. The verification method based on non-destructive measurements of gamma radiation emitted from NM was tested. Monte Carlo method (MCNP5) and Multi-Group Analysis software (MGAU Genie 2000, version 3.2) were used to estimate  $^{235}\text{U}$  mass content in the studied forms. Some of the parameters which affect NM mass estimation were also investigated. The proposed procedure covers different forms found at the nuclear fuel research laboratory such as pellets, sludge, and rods. The average accuracies for the estimated  $^{235}\text{U}$  masses ranged between  $-0.351$  and  $-1.005$  %, while the precision was about 2.065 and 7.45 % for MCNP5 and MGAU respectively. These results are found to be acceptable within the limits of the International Target Values.

*Keywords:* fuel fabrication, physical inventory taking, Monte Carlo method.

### REFERENCES

1. The Evolution of IAEA Safeguards. International Nuclear Verification Series No. 2 (Austria, Vienna, IAEA, 1998).
2. Guidelines for states' systems of accounting for and control of nuclear materials. IAEA/SG/INF/2 (Austria, Vienna, IAEA, 1980).
3. H. Aigner et al. International Target Values 2000 for Measurement Uncertainties in Safeguarding Nuclear Materials. Safeguards Technical Report STR-327. (Vienna, IAEA, 2001).
4. I.O.B. Ewa et al. Monte Carlo determination of full energy peak efficiency for a HPGe detector. *Applied Radiation and Isotopes* 55(1) (2001) 103.
5. M. Garcia-Talavera et al. Towards a proper modeling of detector and source characteristic in Monte Carlo simulations. *Applied Radiation and Isotopes* 52 (2000) 777.
6. A.A. Hamed et al. On the absolute measurement of some nuclear material samples. *Journal of Nuclear and Radiation Physics* 5(1&2) (2010) 25.
7. J. Saegusa et al. Determination of detection efficiency curves of HPGe detectors on radioactivity measurement of volume samples. *Applied Radiation and Isotopes* 61 (2004) 1383.
8. J.L. Parker, M. Brooks. Accurate, Wide-Range Uranium Enrichment Measurements by Gamma-Ray Spectroscopy. Report LA-11277-MS, UC-15 (Los Alamos National Lab., 1988).
9. R. Gunnink et al. MGAU: A New Analysis Code for Measuring Uranium-235 Enrichment in Arbitrary Samples. *Proc. Symp. Intern. Nuclear Safeguards. IAEA-SM-333 (Vienna, 1994).*
10. T. Dragnev et al. Combined Gamma and Passive X-Ray Fluorescent Measurement of  $^{235}\text{U}$  Enrichment and U-total Concentration. *J. Radioanalytical Nucl. Chem.* 152(1) (1991) 161.
11. T. Dragnev et al. Quantitative Gamma Ray and X-Ray Measurements of Nuclear Materials. *Proc. Symp. Intern. Nuclear Safeguards. IAEA-SM-333 (Vienna, 1994)* p. 171.
12. I. Badawy et al. Measurement of Uranium Fuel Elements without use of Nuclear Material Standards. ESARDA 19-th Ann. Symp. on Safeguards and Nuclear Material Management (France, Montpellier, 1997) p. 525.
13. E.R. Martin, D.F. Jones, J.L. Parker. Gamma-Ray Measurements with the Segmented Gamma Scanner. Report LA-7059-M (Los Alamos Scientific Lab., 1977).
14. Standard Test Method for Nondestructive Assay of Special Nuclear Material in Low-Density Scrap and Waste by Segmented Passive Gamma-Ray Scanning. ASTM C1133-89 (American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania, 1989).
15. K.M. Wainio, G.F. Knoll. Calculated gamma ray response characteristics of semiconductor detectors. *Nucl. Instrum. Meth. A* 44(2) (1966) 213.
16. N.V. de Castro Faria, R.J.A. Levesque. Photopeak and double-escape peak efficiencies of germanium lithium drift detectors. *Nucl. Instrum. Meth. A* 46(2) (1967) 325.
17. C. Meixner. A Monte Carlo program for the calculation of gamma-ray spectra for germanium detectors. *Nucl. Instrum. Meth. A* 119 (1974) 521.
18. B.J. Varley et al. Investigations of the response of germanium detectors to monoenergetic electron, positron and gamma ray beams. *Nucl. Instrum. Meth. A* 190(3) (1981) 543.
19. S. Hurtado, M. García-León, R. García-Tenorio. Monte Carlo simulation of the response of a germanium detector for low-level spectrometry measurements using GEANT4. *Applied Radiation and Isotopes* 61(2-3) (2004) 139.
20. C.M. Salgado, C.C. Conti, P.H.B. Becker. Determination of HPGe detector response using MCNP5 for 20 - 150 keV X-rays. *Appl. Radiat. Isot.* 64 (6) (2006) 700.
21. G. Fehrenbacher, R. Meckbach, P. Jacob. Unfolding the response of a Ge detector used for in-situ gamma-ray spectrometry. *Nucl. Instrum. Meth. A* 383 (1996) 454.

22. M.A. Ludington, R.G. Helmer. High accuracy measurements and Monte Carlo calculations of the relative efficiency curve of an HPGe detector from 433 to 2754 keV. [Nucl. Instrum. Meth. A 446\(3\) \(2000\) 506.](#)
23. T.F. Wang et al. Monte Carlo simulation of plutonium gamma-ray standards. [Nucl. Instrum. Meth. A 353\(1-3\) \(1994\) 678.](#)
24. International Target Values for Measurement Uncertainties in Safeguarding Nuclear Materials. Report to General Assembly with Scientific Annexes (New York, UNSCEAR, 2000).

Надійшла / Received 11.07.2019