

NGHIÊN CỨU PHÂN BỐ HIỆU SUẤT CỦA HỆ PHỔ KẾ GAMMA PHÔNG THẤP SỬ DỤNG ĐẦU DÒ GERMANIUM SIÊU TINH KHIẾT

VÕ XUÂN AN

Trường Đại học Công nghiệp Tp. Hồ Chí Minh;

voxuanan@iuh.edu.vn

Tóm tắt. Trong phép đo hoạt độ phóng xạ của các mẫu môi trường hoạt độ thấp bằng hệ phổ kế gamma phòng thấp sử dụng đầu dò germanium siêu tinh khiết (high purity germanium - HPGe), vấn đề nâng cao hiệu suất ghi của đầu dò thường được quan tâm nhằm giảm thiểu thời gian đo và do đó cải thiện chất lượng phổ gamma. Nguồn đo dạng trụ và dạng Marinelli được sử dụng rộng rãi để đáp ứng yêu cầu nói trên nhưng cơ sở khoa học của việc lựa chọn các hình học nguồn đo này vẫn chưa được xây dựng một cách đầy đủ. Do vậy, việc nghiên cứu phân bố hiệu suất của hệ phổ kế là rất cần thiết. Trong công trình này, chương trình MCNP5 được sử dụng để mô phỏng phổ gamma của nguồn điểm đặt tại vị trí bất kỳ trong không gian đặt mẫu đo của hệ phổ kế và hiệu suất ghi của đầu dò được tính toán để xác định phân bố hiệu suất. Ngoài ra phân bố hiệu suất cũng được khảo sát khi thay đổi năng lượng gamma và mật độ chất nền của không gian đặt mẫu đo. Kết quả cho thấy rằng có hai vùng hiệu suất cao tập trung ngay sát đỉnh đầu dò và tại mặt bên đầu dò, phù hợp tốt với quan điểm lựa chọn hình học nguồn đo dạng trụ và dạng Marinelli.

Từ khoá. mẫu môi trường, hệ phổ kế gamma phòng thấp, phân bố hiệu suất, năng lượng gamma, mật độ chất nền, MCNP5

A STUDY OF THE EFFICIENCY DISTRIBUTION OF THE LOW BACKGROUND GAMMA SPECTROMETER USING THE HPGe DETECTOR

Abstract. In the measurement of environmental samples with low radioactivity by the low background gamma spectrometer system using the high purity germanium (HPGe) detector, it is often interested to enhance the detector efficiency for minimizing the measurement time and thus improving the quality of gamma spectra. The source geometry shaped cylinder and Marinelli is widely used to satisfy the purposes as above but the scientific basis of choosing these types of source have been not set up generally. In this study, the MCNP5 code was used to simulate the gamma spectrum of the point source positioned a certain location in the sample measurement space of the gamma spectrometer and the detector efficiency was computed to determine the efficiency distribution. Additionally, this efficiency distribution was also investigated when to change the gamma energy and the matrix density. The results showed that there are two high efficiency regions on the top and around the lateral of the detector. This results agree with the viewpoint of selecting the right cylindrical and Marinelli geometries.

Keywords. environmental sample, low background gamma spectrometer, efficiency distribution, matrix density, MCNP5

1 MỞ ĐẦU

Phổ kế gamma được sử dụng rộng rãi để phân tích định tính và định lượng các đồng vị trong các mẫu với thành phần vật liệu và hình học nguồn khác nhau. Việc sử dụng đầu dò germanium siêu tinh khiết có độ phân giải năng lượng cao cho phép phát hiện các đồng vị tự nhiên và nhân tạo, cũng như xác định hàm lượng của chúng trong các mẫu môi trường. Đối với các mẫu môi trường hoạt độ thấp, trong kỹ thuật phân tích thông thường tốn kém nhiều thời gian đo để có đủ số đếm tích lũy, kéo theo sự tăng nhiễu nhiều và làm giảm độ chính xác của phép đo nên mẫu đo phải được chuẩn bị với khối lượng lớn chứa trong những hộp với dạng hình học thích hợp [1, 2, 3]. Trong nhiều năm qua, hình học nguồn đo dạng trụ hoặc dạng Marinelli được lựa chọn sử dụng để chứa mẫu đo trong các phép đo hoạt độ phóng xạ và đã

được nghiên cứu chi tiết từ việc tối ưu kích thước hình học [4, 5, 6] cho đến việc hiệu chỉnh sự tự hấp thụ bên trong mẫu đo [7, 8]. Tuy nhiên, cơ sở khoa học của sự lựa chọn này chưa được xây dựng một cách đầy đủ. Trong công trình này, việc nghiên cứu phân bố hiệu suất nhằm đưa ra lập luận khoa học của việc lựa chọn dạng hình học nguồn đo thể tích lớn bao gồm việc tính toán hiệu suất của nguồn điểm đặt tại vị trí bất kỳ trong không gian đặt mẫu đo của hệ phổ kế gamma thông qua phổ gamma mô phỏng bằng chương trình MCNP5.

2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Chương trình MCNP5

MCNP5 là chương trình máy tính đa mục đích được phát triển bởi nhóm X5, Phòng thí nghiệm Los Alamos, Hoa Kỳ [9], cho phép mô phỏng tương tác của electron, neutron, photon với vật chất bằng phương pháp Monte Carlo. Trong công trình này, hệ phổ kế gamma được mô hình hoá thông qua việc mô tả các thông số liên quan trong input chuẩn của MCNP5 và kết quả phổ gamma mô phỏng được truy xuất bằng thẻ F8, thẻ kết quả cho biết phân bố độ cao xung theo năng lượng.

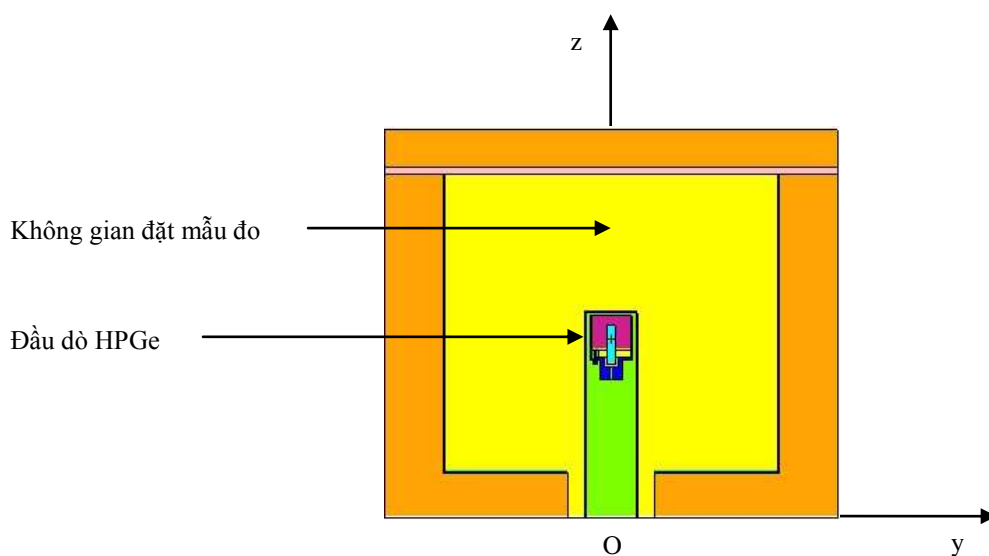
2.2 Hệ phổ kế gamma

Hệ phổ kế gamma phòng thấp sử dụng đầu dò HPGe GEM15P4 đặt tại Phòng thí nghiệm Vật lý hạt nhân, Trường Đại học Sư phạm Tp. Hồ Chí Minh gồm buồng chì, đầu dò, nguồn phóng xạ và hệ thống điện tử. Tuy nhiên, khi tiến hành mô hình hoá hệ phổ kế thì có thể bỏ qua những phần không gian đóng góp không đáng kể vào phổ gamma mô phỏng. Do đó, chỉ cần mô tả cấu trúc hình học và thành phần vật liệu của buồng chì, đầu dò và nguồn phóng xạ. Độ tin cậy của mô hình mô phỏng hệ phổ kế bằng chương trình MCNP5 đã được kiểm chứng trong công trình nghiên cứu trước đây của chúng tôi [10]. Theo đó, trong kết quả xác định đường cong hiệu suất, độ sai biệt giữa tính toán và thực nghiệm không vượt quá 6% ở cả ba khoảng cách nguồn - đầu dò 5 cm, 10 cm và 15 cm.

2.3 Bố trí thí nghiệm

Trong công trình này, để nghiên cứu phân bố hiệu suất, nguồn phóng xạ được mô tả bằng nguồn điểm lý tưởng đặt tại một vị trí xác định trong không gian đặt mẫu đo của hệ phổ kế gamma như hình 1. Mỗi vị trí đặt nguồn được xác định bằng các tọa độ (x, y, z) với trục Oz trùng với trục đối xứng của đầu dò hoặc buồng chì và mặt phẳng xOy trùng với mặt đáy dưới của buồng chì. Do tính chất đối xứng của đầu dò hoặc buồng chì qua trục Oz nên mỗi vị trí đặt nguồn chỉ cần xác định bởi hai tọa độ (y, z) . Mặt khác, vì không gian đặt mẫu đo của hệ phổ kế gamma bị giới hạn bởi kích thước hình học nên $3,5 \leq y \leq 21,4$ đối với phần không gian có đầu dò, $0 \leq y \leq 21,4$ đối với phần không gian không có đầu dò và $6,3 \leq z \leq 45,6$ (các kích thước tính bằng cm).

Theo cả hai hướng trục Oy và Oz, các nguồn được bố trí tại nút của lưới tọa độ (y, z) với bước lưới được chọn bằng 2 mm do trong thực tế kích thước hình học được đo bằng thước có độ chính xác đến 0,5 mm. Khi đó đối với toàn không gian đặt mẫu đo cần phải tính toán hiệu suất đối với 18.973 trường hợp bố trí phép đo phổ gamma. Để đảm bảo tính thống kê số đếm tích lũy với sai số thống kê nhỏ hơn 1% đóng góp trong đỉnh năng lượng toàn phần và cân đối với thời gian mô phỏng có thể chấp nhận được, số sự kiện gamma phát ra từ nguồn được chọn bằng 1.600.000. Chương trình mô phỏng được thực hiện trên máy tính cá nhân với bộ vi xử lý Intel Core i7.

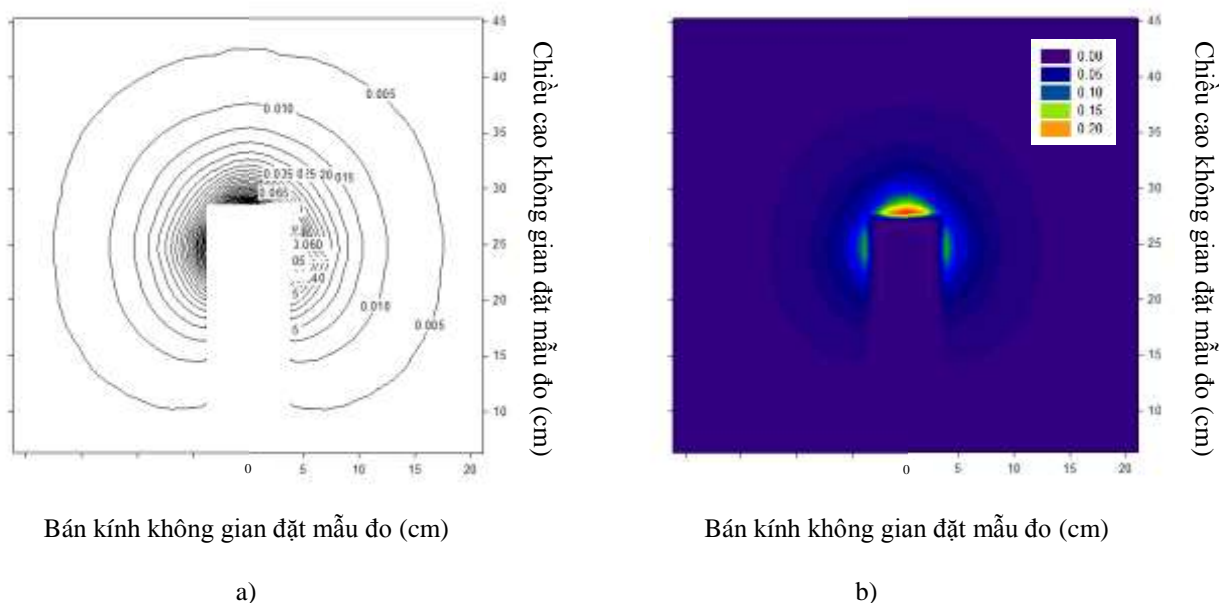


Hình 1. Buồng chì, không gian đặt mẫu đo và đầu dò HPGe của hệ phổ kế gamma phòng thấp đặt tại Phòng thí nghiệm Vật lý hạt nhân, Trường Đại học Sư phạm Tp. Hồ Chí Minh.

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1 Xác định phân bố hiệu suất

Bài toán xác định phân bố hiệu suất được biết là xác định hiệu suất đối với cấu hình đo nguồn - đầu dò, trong đó nguồn đặt tại những vị trí khác nhau trong không gian đặt mẫu đo. Do đó, mỗi cấu hình đo nguồn - đầu dò có một giá trị hiệu suất phải được xác định. Trong công trình này, số cấu hình đo chính là số vị trí đặt nguồn trong không gian đặt mẫu đo và bằng 18.973 vị trí. Đối với mỗi cấu hình đo, thời gian mô phỏng MCNP5 cần thiết khoảng 20 giây, do đó, thời gian mô phỏng cần thiết cho bài toán xác định phân bố hiệu suất khoảng 4,5 ngày. Để đáp ứng tính khả thi của thí nghiệm mô phỏng, một chương trình máy tính bằng ngôn ngữ lập trình Visual Fortran 6.0 đã được xây dựng. Trong đó, có một thủ tục kết nối để thực thi chương trình MCNP5; kết quả hiệu suất cùng với tọa độ vị trí đặt mẫu tương ứng được ghi trong một tệp output xác định. Kết quả phân bố hiệu suất đối với năng lượng gamma phát ra từ nguồn bằng 0,662 MeV và không gian đặt mẫu đo được lấp đầy không khí cho thấy vùng đỉnh tại vị trí ($y = 0\text{cm}$; $z = 27,7\text{cm}$) hiệu suất đạt giá trị lớn nhất bằng 0,2309; vùng mặt bên tại vị trí ($y = 3,5\text{cm}$; $z = 24,7\text{cm}$) cách mặt trên tinh thể germanium 2,3 cm và cách mặt dưới tinh thể germanium 2,2 cm hiệu suất đạt giá trị lớn nhất bằng 0,1547 như trong hình 2. Theo đó, vùng hiệu suất cao tập trung ngay sát đỉnh và tại mặt bên đầu dò. Kết quả này cho phép khẳng định tính phù hợp của hình học nguồn đo dạng trụ hoặc dạng Marinelli, trong thực nghiệm đo hoạt độ phóng xạ các mẫu môi trường, người ta thường áp dụng để chế tạo hộp chứa mẫu thể tích lớn.



Hình 2. Đồ thị phân bố hiệu suất trong không gian đặt mẫu đo bao quanh đầu dò dạng contour (a) và dạng filled contour (b).

3.2 Phân bố hiệu suất theo năng lượng gamma

Có 10 vạch năng lượng gamma được lựa chọn để khảo sát phân bố hiệu suất, phân bố rải rác trên toàn miền năng lượng của hệ phổ kế gồm 0,059; 0,088; 0,122; 0,364; 0,511; 0,662; 0,835; 1,115; 1,173; 1,335 (các năng lượng tính bằng MeV) và không gian đặt mẫu đo được lấp đầy không khí. Khi đó vị trí có hiệu suất đạt giá trị lớn nhất tại vùng đỉnh và vùng mặt bên đối với năng lượng gamma tương ứng không thay đổi theo năng lượng và được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Giá trị lớn nhất của hiệu suất tại vùng đỉnh ($y = 0\text{cm}$; $z = 27,7\text{cm}$) và vùng mặt bên đầu dò ($y = 3,5\text{cm}$; $z = 24,7\text{cm}$) đối với các vạch năng lượng gamma khác nhau và mật độ khối lượng bằng $0,00129\text{ g/cm}^3$.

Năng lượng (MeV)	0,059	0,088	0,122	0,364	0,511	0,662	0,835	1,115	1,173	1,335
Vùng đỉnh	0,1029	0,2134	0,2580	0,2474	0,2386	0,2309	0,2237	0,2126	0,2103	0,2046
Vùng mặt bên	0,0646	0,1327	0,1619	0,1626	0,1583	0,1547	0,1504	0,1441	0,1427	0,1393

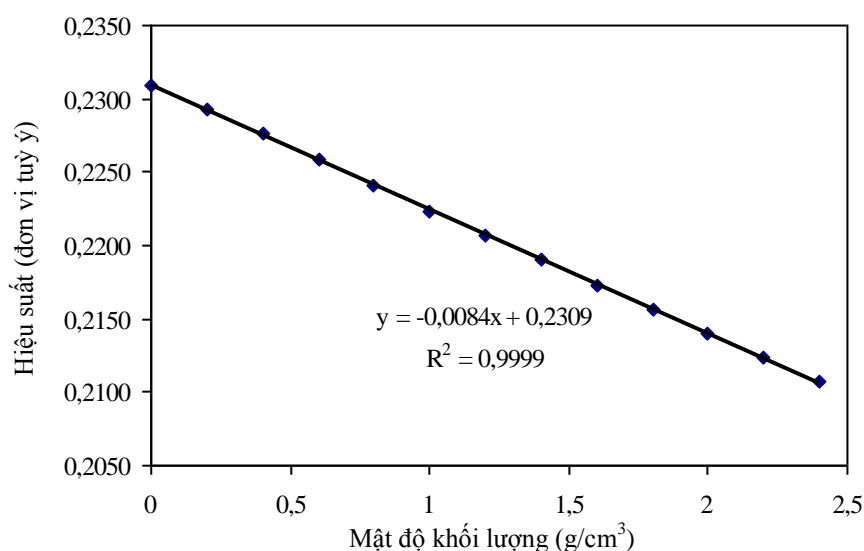
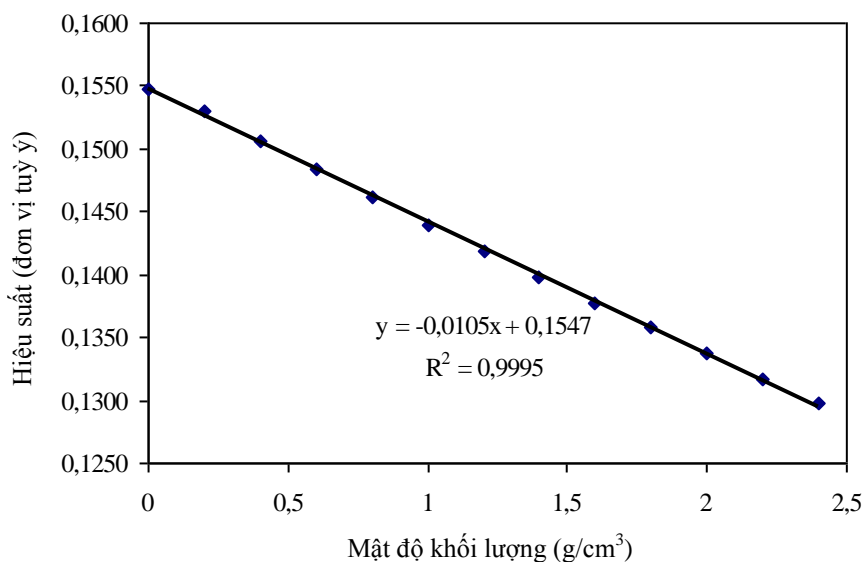
3.3 Phân bố hiệu suất theo mật độ khối lượng mẫu đo

Đối với các vật liệu mẫu đo có mật độ khác nhau gồm 0,00129; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4 (các mật độ tính bằng g/cm^3), vị trí có hiệu suất đạt giá trị lớn nhất tại vùng đỉnh và vùng mặt bên đầu dò đối với mật độ tương ứng không thay đổi theo mật độ và được trình bày trong bảng 2.

Ngoài ra, theo bảng 2, hình 3a và 3b, hiệu suất giảm dần khi mật độ tăng và sự giảm hiệu suất tại vùng mặt bên lớn hơn đến 20% so với vùng đỉnh do cấu trúc hình học và thành phần vật liệu của đầu dò theo những phương này là khác nhau.

Bảng 2. Giá trị lớn nhất của hiệu suất tại vùng đỉnh ($y = 0\text{cm}$; $z = 27,7\text{cm}$) và vùng mặt bên đầu dò ($y = 3,5\text{cm}$; $z = 24,7\text{cm}$) đối với các mật độ khối lượng khác nhau và năng lượng gamma bằng $0,662\text{ MeV}$.

Mật độ (g/cm^3)	0,00129	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4
Vùng đỉnh	0,2309	0,2293	0,2276	0,2258	0,2241	0,2223	0,2207	0,2190	0,2173	0,2157	0,2141	0,2124	0,2107
Vùng mặt bên	0,1547	0,1530	0,1507	0,1484	0,1462	0,1440	0,1419	0,1399	0,1378	0,1358	0,1337	0,1317	0,1297



Hình 3. Sự giảm hiệu suất theo mật độ tại vùng mặt bên (a) và tại vùng đỉnh đầu dò (b).

4 KẾT LUẬN

Việc sử dụng chương trình MCNP5 đã cho phép thực hiện một số lượng lớn phép đo hiệu suất với hình học đo khác nhau, một công việc khó có thể thực hiện trong thực tế thí nghiệm. Kết quả nghiên cứu đã đưa ra đồ thị trực quan của phân bố hiệu suất, làm cơ sở khoa học để giải thích việc lựa chọn dạng hình học hộp chứa mẫu thích hợp dùng trong thực nghiệm đo hoạt độ phóng xạ của các mẫu môi trường. Do đó, trong thực tế thí nghiệm hộp chứa mẫu dạng trụ và dạng Marinelli đặt áp sát đầu dò thường được sử

dụng hoặc dạng Marinelli phòng cầu theo đề xuất của Hemingway [2] là những dạng hình học phù hợp tốt với kết quả nghiên cứu phân bố hiệu suất của công trình này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bonfanti G. and Della Bora G. (1981), Optimum Counting Geometries of Uniform and Large Gamma Sources for Ge(Li) Detectors. An Experimental Study, *Radiochem. Radioanal. Letters*, 49 215-230.
- [2] Hemingway J. D. (1986), Investigations Towards an Improved Marinelli for Gamma Detectors, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles*, Vol. 99, No. 2, 299-306.
- [3] Ngo Quang Huy, Do Quang Binh, Vo Xuan An (2012), A study for improving detection efficiency of an HPGe detector based gamma spectrometer using Monte Carlo simulation and genetic algorithms, *Applied Radiation and Isotopes*, Volume 70, Issue 12, Pages 2695-2702.
- [4] Seyed Mehrdad Zamzamin, Seyed Abolfazl Hosseini, Mohammad Samadfam (2017), Optimization of the marinelli beaker dimensions using genetic algorithm, *Journal of Environmental Radioactivity*, Volume 172, Pages 81-88.
- [5] Asm Sabbir Ahmed, Kevin Capello, Albert Chiang, Erick Cardenas-Mendez, Gary H. Kramer (2009), Optimization of geometric parameters for Marinelli beaker to maximize the detection efficiency of an HPGe detector, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Volume 610, Issue 3, Pages 718-723.
- [6] R. Shweikani, M. Hasan, M. Tlas, A. W. Doubal (2014), Determination of the optimal cylindrical geometry heights for gamma-ray spectrometric analysis, *Radiation Measurements*, Volume 70, Pages 34-38.
- [7] H. Furci, M. Arribére, S. Ribeiro Guevara (2013), Self-shielding corrections in cylindrical samples in gamma spectrometry with germanium well-type detectors, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Volume 705, Pages 132-139.
- [8] F. L Melquiades, C. R Appoloni (2001), Self-absorption correction for gamma spectrometry of powdered milk samples using Marinelli beaker, *Applied Radiation and Isotopes*, Volume 55, Issue 5, Pages 697-700.
- [9] X-5 Monte Carlo Team (2003), MCNP - A General Purpose Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, Volume I: Overview and Theory, *Los Alamos National Laboratory*, LA-UR-03-1987.
- [10] Trinh Hoai Vinh, Vo Xuan An, Pham Nguyen Thanh Vinh, Hoang Ba Kim (2010), Monte Carlo calculation of HPGe GEM15P4 detector efficiency in the 59 - 2000 keV energy range, *The 7th National Conference on Physics. Proceedings of The Topical Conference on Nuclear Physics, High Energy Physics and Astrophysics*, 289-294.

Ngày nhận bài: 28/08/2018

Ngày chấp nhận đăng: 22/12/2018