

# NGHIÊN CỨU CHUẨN HÓA MỘT SỐ HÌNH HỌC MẪU ĐO MÔI TRƯỜNG BẰNG MÔ PHỎNG MONTE CARLO ĐỐI VỚI PHƯƠNG PHÁP PHỔ GAMMA PHÒNG THẤP

PHAN QUANG TRUNG, VÕ THỊ MỘNG THẨM, NGUYỄN MINH ĐẠO, LÊ XUÂN THẮNG, NGUYỄN THỊ HƯƠNG LAN, NGUYỄN VĂN PHÚC

*Viện Nghiên cứu hạt nhân*

*Email: [trungnri@yahoo.com.vn](mailto:trungnri@yahoo.com.vn)*

**Tóm tắt:** Hiệu suất ghi của phổ kế gamma bán dẫn phòng thấp đối với mẫu môi trường là một thông số rất quan trọng trong việc xác định hoạt độ phóng xạ riêng của mẫu đo. Nhưng do tính đa dạng về mẫu, hình học đo và mật độ của mẫu chuẩn có tại phòng thí nghiệm hiện không thể đáp ứng được yêu cầu thực tế hiện nay. Do vậy, trong nghiên cứu này phương pháp Monte Carlo kết hợp phần mềm mô phỏng Geant4 được sử dụng để xây dựng đường cong hiệu suất ghi của của phổ kế gamma HPGe cho một số dạng hình học, mật độ khác nhau của mẫu môi trường, từ đó nghiên cứu chuẩn hóa một số hình học đo cho mẫu môi trường đối với phương pháp phổ gamma phòng thấp.

**Từ khóa:** *Hệ phổ kế gamma, hiệu suất ghi, mẫu môi trường, Monte Carlo, phần mềm Geant4.*

## I. MỞ ĐẦU

Nghiên cứu phóng xạ môi trường là một trong những lĩnh vực nghiên cứu đang rất được quan tâm trong nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật hạt nhân hiện nay. Với những ưu điểm vượt trội của phương pháp phân tích bằng phổ kế gamma so với các phương pháp khác như quá trình xử lý mẫu đơn giản, phân tích đồng thời đa nguyên tố cũng như sự phát triển về công nghệ chế tạo các đầu dò bán dẫn chất lượng tốt đã làm cho phương pháp phân tích gamma được phổ biến rộng rãi trên thế giới.

Trong công việc đo đạc và phân tích mẫu môi trường thì hiệu suất ghi của phổ kế gamma là một thông số rất quan trọng và cần phải lưu tâm để tính toán hoạt độ phóng xạ trong mẫu. Hiệu suất ghi của phổ kế phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như thể tích vùng nhạy của đầu dò, năng lượng của các tia gamma cần đo, khoảng cách từ mẫu đến đầu dò, hình học mẫu, mật độ mẫu, v.v... Trong thực tế, mẫu môi trường khá đa dạng về chủng loại mẫu. Do đó, hình học mẫu cũng sẽ thay đổi theo từng loại mẫu để phù hợp với thực nghiệm, dẫn đến hiệu suất ghi cho mỗi loại hình học sẽ có sự thay đổi đáng kể. Việc có được mẫu chuẩn theo từng loại hình học là điều rất khó khăn. Mặt khác, ngay cả khi cùng một cấu hình đo (Marinelli beaker hoặc cylindrical container, v.v...) nhưng mật độ mẫu, bán kính và bề dày khác nhau thì hiệu suất ghi cũng sẽ khác nhau. Cho nên, việc chuẩn hóa hiệu suất ghi cho một số loại hình học đo mẫu môi trường để đạt hiệu suất tốt bằng phương pháp Monte Carlo là điều cần thiết. Đã có nhiều công trình trên thế giới áp dụng phương pháp mô phỏng để tính toán hiệu suất ghi của Detector. Guembou Shouop Cebastien Joel và cộng sự [1] đã sử dụng phương pháp Mote Carlo và bộ công cụ Geant4 để xác định hiệu suất ghi của Detector BE6530 cho mẫu môi trường. O. Sima và C. Dovlete [2] dùng phương pháp mô phỏng để đánh giá sự suy giảm năng lượng cũng như hiệu suất đỉnh phụ thuộc vào thành phần và mật độ mẫu môi trường. Trong bài báo này nhóm tác giả dựa trên nguyên tắc mô phỏng Mote Carlo kết hợp với phần mềm Geant4 [3, 4] để xác định hiệu suất ghi của Detector cho loại mẫu thể tích hình đĩa theo bán kính, bề dày và mật độ mẫu [5].

## II. NỘI DUNG

### II.1. Đối tượng và phương pháp

#### a. Hệ phổ kế gamma và bộ nguồn chuẩn

Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng hệ phổ kế gamma và bộ nguồn chuẩn điểm có tại phòng thí nghiệm đo hoạt độ thấp của Trung tâm Môi trường, Viện Nghiên cứu hạt nhân Đà Lạt. Đầu dò đang sử dụng là loại đầu dò có ký hiệu GMX30P4 với hiệu suất danh định là 30% và độ phân giải năng lượng là 1,9 keV tại đỉnh 1332 keV của Co-60. Phần chính của đầu dò GC3019 là tinh thể Germanium siêu tinh khiết đường kính ngoài của tinh thể là 55.8 mm và chiều cao là 75.1 mm và cửa sổ được dùng là Beryllium có bề dày là 0.5mm. Tinh thể Ge được bao bọc bởi một hộp nhôm kín có độ dày 2,7 mm để đảm bảo tránh được sự hấp thụ các photon năng lượng thấp. Khoảng cách ở giữa mặt trên tinh thể Ge với mặt dưới cửa sổ Beryllium là 3 mm. Đầu dò được đặt trong buồng chì dày khoảng 10cm. Hiệu suất ghi được tính theo công thức sau:

$$\varepsilon_e = \frac{N_{pe}}{t_m \gamma A k e \frac{t_w \ln 2}{T_{1/2}}} \quad (1)$$

Trong đó:  $\varepsilon_e$  là hiệu suất thực nghiệm của detector,  $N_{pe}$  là số đếm đóng góp trong đỉnh quang điện của phổ gamma thực nghiệm,  $t_m$  là thời gian đo,  $\gamma$  là cường độ phát tia gamma,  $A$  là hoạt độ của nguồn tại thời điểm chứng nhận,  $k$  là hệ số chuyển đổi từ đơn vị đo hoạt độ phóng xạ khác sang đơn vị Bq,  $t_w$  là thời gian phân rã từ thời điểm chứng nhận tới thời điểm đo và  $T_{1/2}$  là chu kỳ bán rã. Sai số tương đối của hiệu suất thực nghiệm  $U_e$  được tính theo công thức:

$$U_e = \sqrt{U_p^2 + U_\gamma^2 + U_a^2} \quad (2)$$

Trong đó:  $U_p$ ,  $U_\gamma$ ,  $U_a$  là sai số tương đối của số đếm đóng góp trong đỉnh quang điện của phổ gamma thực nghiệm ( $N_{pe}$ ), cường độ phát xạ của tia gamma ( $\gamma$ ) và hoạt độ nguồn đo ( $A$ ) tương ứng.

## b. Bộ công cụ GEANT4 cho mô phỏng Monte Carlo

GEANT4 là chương trình được phát triển tại CERN vào cuối những năm 1990. Dựa vào ngôn ngữ lập trình hướng đối tượng  $C^{++}$ , GEANT4 được viết lại từ GEANT3 nhằm giúp người dùng mô phỏng chuyển động và tương tác của các hạt trong môi trường vật chất. Thông qua hình học được mô phỏng, GEANT4 tính toán quãng đường tự do trung bình của các quá trình vật lý, chọn lựa một quá trình dựa trên cường độ tương đối của mỗi kênh tương tác và phát ra các số ngẫu nhiên, sau đó sẽ xác định các quá trình vật lý được mô phỏng.

Việc vận chuyển bức xạ gamma được theo dõi ở các vùng khác nhau của hình học. Nếu năng lượng của các photon thấp hơn giá trị ngưỡng của nó hoặc photon rời khỏi thể tích hoạt động của detector thì việc theo dõi được dừng lại và một photon mới được tạo ra từ nguồn. Việc ghi nhận số photon tương tác với detector và mất hoàn toàn năng lượng của nó hoặc để lại một phần năng lượng trong thể tích hoạt động của detector được thực hiện thông qua một thuật toán sử dụng ngôn ngữ lập trình  $C^{++}$ . Hiệu suất trong chương trình mô phỏng Geant4 được tính bằng công thức sau:

$$\varepsilon_{abs} = \varepsilon_{int} \left( \frac{\Omega}{4\pi} \right) \quad (3)$$

Với 
$$\varepsilon_{int} = \frac{N}{N_0} \quad (4)$$

Trong đó:  $\varepsilon_{abs}$  là hiệu suất ghi tuyệt đối,

$\varepsilon_{int}$  là hiệu suất ghi thực,

$\Omega$  là góc khối,  $\Omega = 2\pi(1 - \cos \theta)$ ,

$\theta$  là góc phân bố,

$N$  là số bức xạ được đầu dò ghi nhận,

$N_0$  là số bức xạ phát ra từ nguồn.

Sai số thống kê  $\delta\varepsilon/\varepsilon$  (%) trong tính toán hiệu suất bằng phương pháp mô phỏng Monte Carlo được xác định bằng biểu thức:

$$\frac{\delta\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{\sqrt{N}}{N} \quad (5)$$

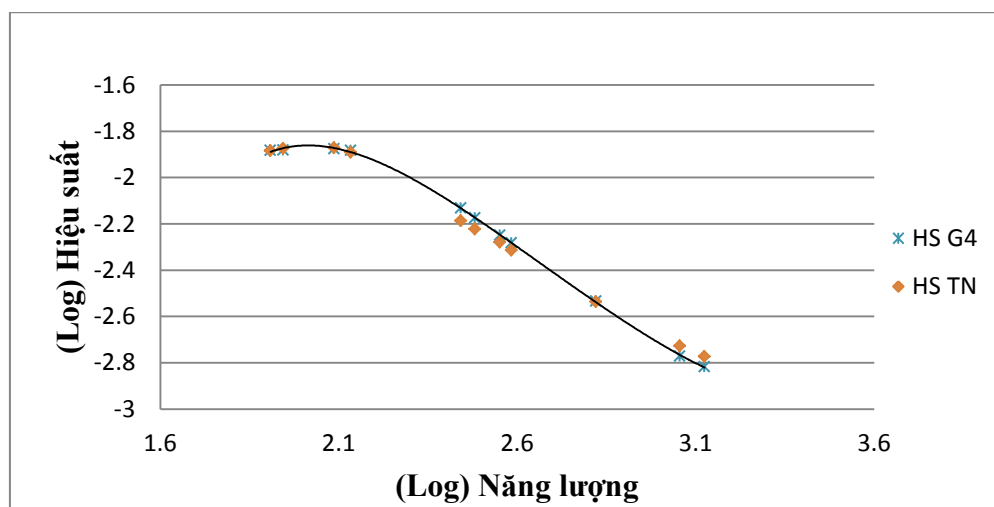
Trong đó  $N$  là số photon phát ra từ nguồn để lại toàn bộ năng lượng (hay một phần năng lượng) của nó trong thể tích vùng hoạt của đầu dò.

## II.2. Kết quả nghiên cứu

Sau khi chương trình mô phỏng được viết ra, nhóm tác giả đã kiểm tra độ tin cậy của chương trình mô phỏng với thực nghiệm bằng cách so sánh hiệu suất ghi của chương trình mô phỏng (HS G4) và thực nghiệm (HS TN) bằng tổ hợp nguồn chuẩn điểm, nguồn chuẩn thể tích hình đĩa (bán kính 3.65cm, bề dày 2cm) đo thực tế và kết quả cho ở Bảng 1 và 2.

**Bảng 1:** Hiệu suất thực nghiệm và mô phỏng nguồn điểm

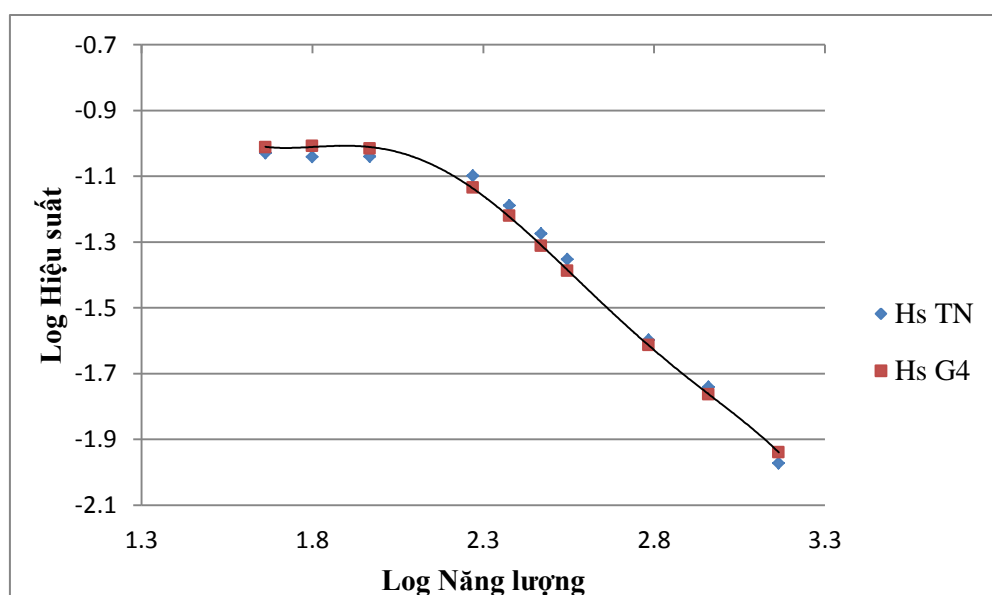
Đồng vị	Năng lượng (keV)	Xác suất phát gamma (%)	Hiệu suất thực nghiệm	Hiệu suất tính toán	Độ lệch tương đối $\sigma$ (%)
$^{133}\text{Ba}$	81	36.68	0.013079	0.013112	0.3
$^{109}\text{Cd}$	88	3.7	0.013357	0.013135	1.7
$^{57}\text{Co}$	122.06	85.6	0.013459	0.013305	1.2
$^{57}\text{Co}$	136.47	10.68	0.012836	0.013122	2.2
$^{133}\text{Ba}$	276.4	7.16	0.006506	0.007375	11.8
$^{133}\text{Ba}$	302.85	18.34	0.005992	0.006695	10.5
$^{133}\text{Ba}$	356.01	62.05	0.005260	0.005643	6.8
$^{133}\text{Ba}$	383.85	8.94	0.004851	0.005215	7.0
$^{137}\text{Cs}$	661.66	85.1	0.002901	0.002926	0.8
$^{60}\text{Co}$	1773.2	99.85	0.001872	0.001693	10.6
$^{60}\text{Co}$	1332.5	99.98	0.001687	0.001523	10.7



**Hình 1:** Hiệu suất thực nghiệm và mô phỏng nguồn điểm

**Bảng 2:** Hiệu suất thực nghiệm và mô phỏng nguồn điểm

Đồng vị	Năng lượng (keV)	Xác suất phát gamma (%)	Hiệu suất thực nghiệm	Hiệu suất tính toán	Độ lệch tương đối $\sigma$ (%)
$^{210}\text{Pb}$	46	4.05	0.093498	0.097435	4.2
$^{238}\text{U}$	63	4.28	0.090962	0.098321	8.1
$^{228}\text{Ac}$	93	5.39	0.091267	0.096524	5.8
$^{226}\text{Ra}$	186	3.5	0.07983	0.073364	8.1
$^{212}\text{Pb}$	238	43.6	0.064772	0.060206	7.0
$^{214}\text{Pb}$	295	18.39	0.053205	0.048783	8.3
$^{214}\text{Pb}$	352	35.8	0.044450	0.040965	7.8
$^{214}\text{Bi}$	609	44.8	0.025277	0.024362	3.6
$^{228}\text{Ac}$	911	26.6	0.018169	0.017274	4.9
$^{40}\text{K}$	1461	10.6	0.010665	0.011501	7.8

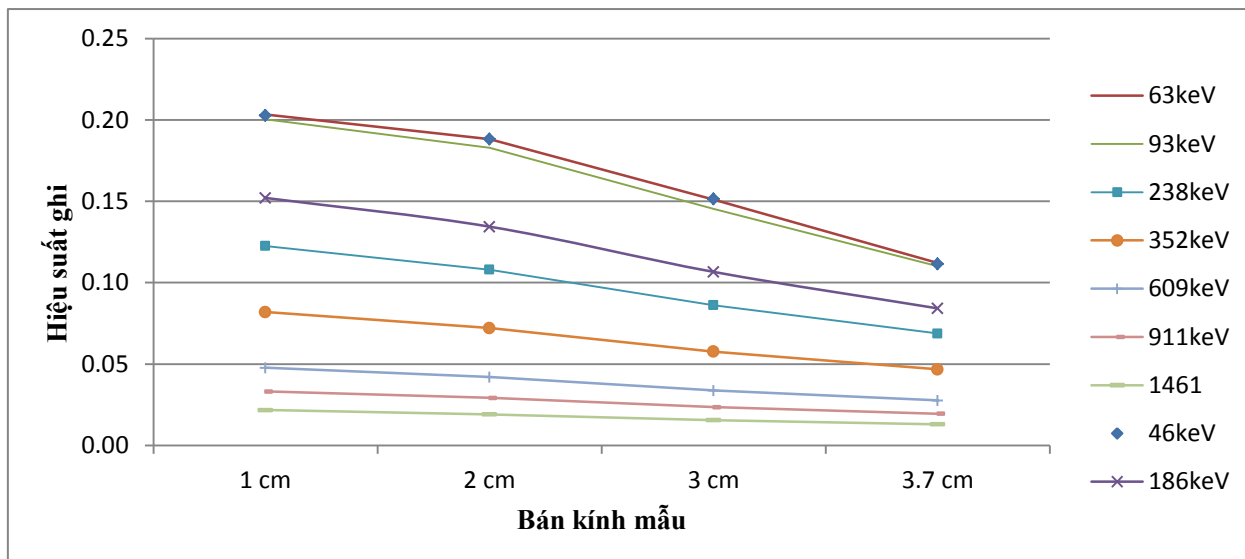


**Hình 2:** Hiệu suất thực nghiệm và mô phỏng nguồn thể tích

Để phù hợp với thực nghiệm trong quá trình đo các mẫu môi trường, nhóm tác giả đã sử dụng chương trình GEANT4 để mô phỏng sự thay đổi hiệu suất ghi theo bán kính, bề dày và mật độ mẫu hình đĩa. Kết quả được trình bày trong các bảng dưới đây:

**Bảng 3:** Kết quả mô phỏng hiệu suất theo bán kính mẫu

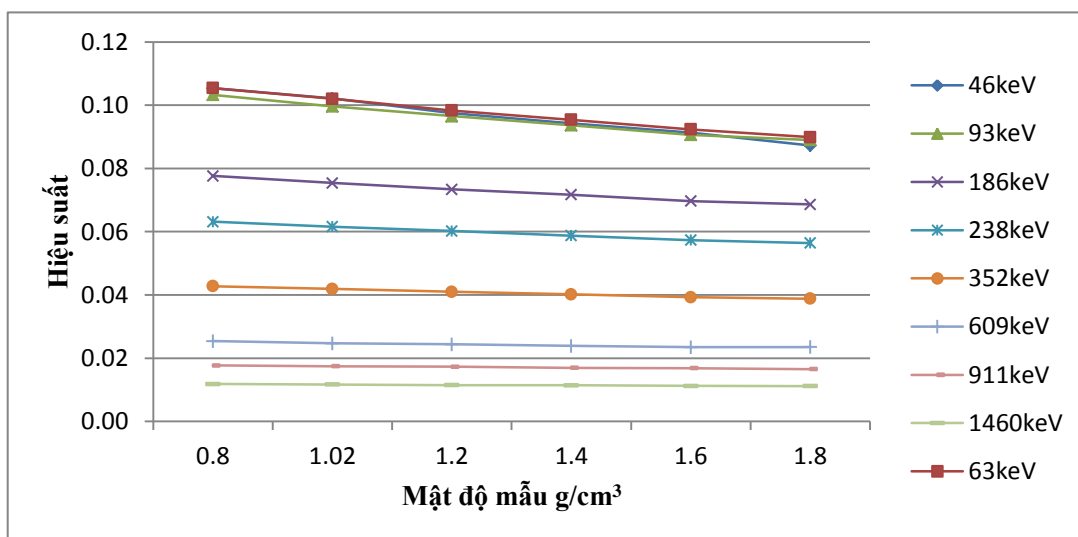
	46keV	63keV	93keV	186keV	238keV	352keV	609keV	911keV	1461keV
1cm	0.20276	0.20329	0.20028	0.15206	0.12254	0.08197	0.04773	0.03322	0.02177
2cm	0.18835	0.18808	0.18285	0.13440	0.10796	0.07214	0.04207	0.02925	0.01914
3cm	0.15144	0.15098	0.14532	0.10662	0.08613	0.05770	0.03381	0.02353	0.01557
3.7cm	0.11166	0.11217	0.11001	0.08421	0.06874	0.04679	0.02769	0.01951	0.01303



**Hình 3:** Kết quả mô phỏng hiệu suất theo bán kính mẫu

**Bảng 4:** Kết quả mô phỏng hiệu suất theo mật độ mẫu

	46keV	63keV	93keV	186keV	238keV	352keV	609keV	911keV	1461keV
0.8g/cm <sup>3</sup>	0.10535	0.10542	0.10329	0.07764	0.06316	0.04276	0.02538	0.01770	0.01182
1.0g/cm <sup>3</sup>	0.10211	0.10199	0.09963	0.07539	0.06160	0.04187	0.02471	0.01746	0.01167
1.2g/cm <sup>3</sup>	0.09743	0.09832	0.09652	0.07336	0.06021	0.04097	0.02436	0.01727	0.01150
1.4g/cm <sup>3</sup>	0.09426	0.09536	0.09365	0.07170	0.05877	0.04017	0.02390	0.01692	0.01145
1.6g/cm <sup>3</sup>	0.09132	0.09233	0.09061	0.06968	0.05732	0.03926	0.02349	0.01682	0.01125
1.8g/cm <sup>3</sup>	0.08726	0.08984	0.08902	0.06860	0.05643	0.03882	0.02351	0.01654	0.01120

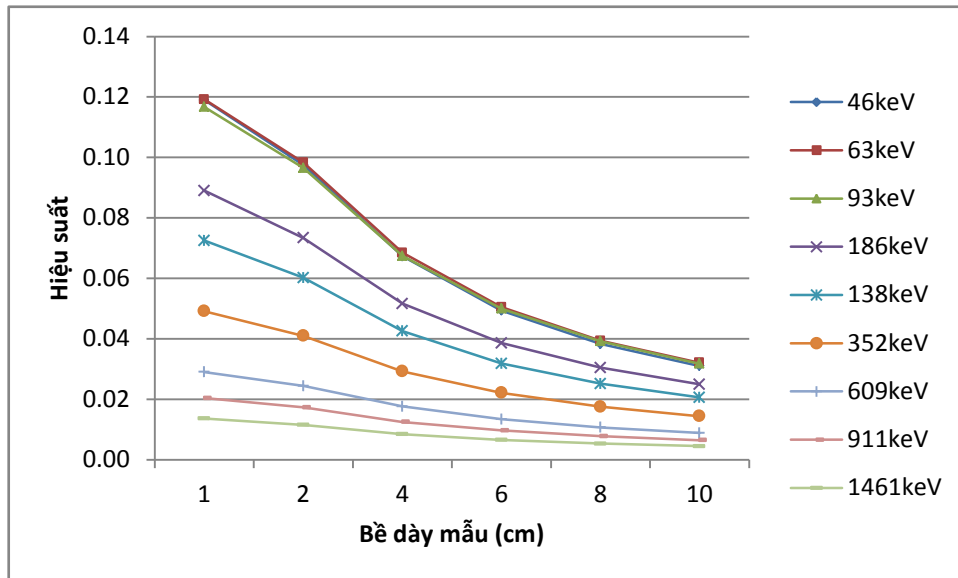


**Hình 4:** Kết quả mô phỏng hiệu suất theo mật độ mẫu

**Bảng 5:** Kết quả mô phỏng hiệu suất theo bề dày mẫu

	46keV	63keV	93keV	186keV	238keV	352keV	609keV	911keV	1461keV
1cm	0.11894	0.11918	0.11668	0.08898	0.07247	0.04912	0.02901	0.02037	0.01364

2cm	0.09743	0.09832	0.09652	0.07336	0.06021	0.04097	0.02436	0.01727	0.01150
4cm	0.06730	0.06842	0.06740	0.05161	0.04255	0.02921	0.01762	0.01249	0.00843
6cm	0.04935	0.05044	0.04996	0.03859	0.03182	0.02213	0.01338	0.00968	0.00655
8cm	0.03828	0.03931	0.03917	0.03043	0.02513	0.01752	0.01065	0.00775	0.00533
10cm	0.03100	0.03206	0.03175	0.02489	0.02057	0.01439	0.00883	0.00646	0.00449



**Hình 5:** Kết quả mô phỏng hiệu suất theo bề dày mẫu

## II.2. Bàn luận

Từ những kết quả mô phỏng nêu trên đối với mẫu đo thể tích hình đĩa, có thể rút ra một số điểm nhận xét sau:

Kết quả mô phỏng cho thấy hiệu suất ghi của detector phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố. Hiệu suất ghi giảm khi bán kính, mật độ và bề dày mẫu tăng lên đặc biệt là vùng năng lượng thấp. Hiệu ứng tự hấp thụ tăng lên khi bề dày mẫu tăng. Với vùng năng lượng thấp từ 46 keV đến 650 keV, bề dày mẫu ảnh hưởng rất lớn đến hiệu suất ghi, vùng năng lượng từ 650 keV trở lên thì bề dày mẫu ít bị ảnh hưởng hơn. Trong thực tế, khi đo mẫu môi trường chúng ta cần lưu tâm đến mật độ của mẫu để hiệu chỉnh cho phù hợp. Bởi vì bề dày và bán kính mẫu chúng ta có thể kiểm soát được theo mong muốn của người đo. Còn mật độ mẫu thì phụ thuộc vào từng đối tượng mẫu cần phân tích. Đối với vùng năng lượng từ 650 keV trở lên thì ít bị ảnh hưởng bởi mật độ. Còn vùng năng lượng dưới 650 keV có sự ảnh hưởng khá rõ về hiệu suất ghi của detector khi thay đổi mật độ mẫu.

## III.3. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu mẫu phóng xạ môi trường, hoạt độ của mẫu có thể được tính thông qua mẫu chuẩn cùng phát tia gamma với chúng, hay có thể xác định từ đường cong hiệu suất chuẩn. Các đường chuẩn có thể xây dựng từ các mẫu chuẩn có cùng điều kiện về hình học, thành phần và mật độ như mẫu đo. Trong thực tế, để làm được điều này là không dễ dàng, do đó các phương pháp khác như phương pháp mô phỏng hay bán thực nghiệm được áp dụng để có thể khảo sát hiệu suất ghi của detector với các cấu hình đo thay đổi, đặc biệt với sự hỗ trợ của hệ thống máy tính mạnh như hiện nay. Nhận thấy được tầm quan trọng về khả năng ứng dụng của phương pháp mô phỏng Monte Carlo trong việc tính toán hiệu suất của mẫu thể tích, nhóm tác giả đã khai thác khả năng ứng dụng của phương pháp này một cách tối đa trong các cấu hình khác nhau. Cụ thể là khảo sát hiệu suất theo bán kính, bề dày và mật độ mẫu để đưa

ra bộ số liệu hiệu suất cho từng cấu hình. Trên thực tế, mô phỏng Monte Carlo không thể thay thế hoàn toàn thực nghiệm. Tuy nhiên, phương pháp mô phỏng có khả năng cung cấp những cấu hình đo phức tạp mà thực nghiệm khó làm được, cũng như làm giảm bớt các thực nghiệm tốn kém về thời gian và hiệu quả kinh tế.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Guembou Shouop Cebastien Joel, Ndontchueng Moyo Maurice, Nguelem Mekongtso Eric Jilbert, Motapon Ousmanou, Strivay David, “Monte Carlo method for gamma spectrometry based on GEANT4 toolkit Efficiency calibration of BE6530 detector” *Contents lists available at ScienceDirect, Journal of Environmental Radioactivity 189, 109–119, (2018).*
- [2] O. Sima, C. Dovlete, “Matrix Effects in the Activity Measurement of Environmental Samples Implementation of Specific Corrections in a Gamma-ray Spectrometry Analysis Program”, *Appl. Radiat. Isot, Vol. 48, No.1, pp. 59-69, (1997).*
- [3] Geant4 users guide for application developers, *Version Geant4.9.3, Geant4 Collaboration, (2009).*
- [4] Geant4 Collaboration, Physics Reference Manual, *Version Geant4.9.4, (2010).*
- [5] S. Hurtado, M. Villa, G. Manjon, R. Garcia-Tenorio, “A self-sufficient and general method for self-absorption correction in gamma-ray spectrometry using GEANT4”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 580, 234–237, (2007).*

## STUDY ON THE STANDARDIZATION OF SOME SAMPLE GEOMETRIES USING MONTE CARLO SIMULATION FOR LOW BACKGROUND GAMMA SPECTRUM ANALYSIS METHOD

**Abstract:** The efficiency of a low background gamma HPGe spectrometer is a significant factor in determination of the specific radioactivity of environmental samples. Since the diversity of environmental samples, the varieties in geometry and density are not satisfied by standard sources in laboratory. So, by using Monte Carlo method and GEANT4 simulation, the efficiencies of a low background gamma spectrometer with HPGe detector for several kinds of geometries and densities of environmental samples are estimated. In this study, GEANT4 software is used to simulate and standardize some geometries of environmental samples for measurement on low background gamma spectrometry system.

**Keywords:** *Gamma spectrometry, efficiency calibration, environmental samples, Geant4, Monte Carlo simulation.*