

# NGHIÊN CỨU ĐẶC TRƯNG CỦA DETECTOR GE QUA MÔ PHỎNG VỚI GEANT4

NGUYỄN THẾ MÃN

*Nhóm Neutrino, Trung tâm Nghiên cứu hạt nhân Bordeaux-Gradignan, Pháp*

## GIỚI THIỆU

NEMO (The Neutrino Ettore Majorana Observatory) là một dự án quốc tế lớn nghiên cứu về neutrino. Dự án có sự tham gia của rất nhiều trường đại học, phòng thí nghiệm lớn ở nhiều nước trên thế giới như: Mỹ, Anh, Pháp, Nga, Séc, Slovakia, Maroc... Nhóm Neutrino của Trung tâm Nghiên cứu hạt nhân Bordeaux -Gradignan là một thành viên của NEMO nghiên cứu về phân rã  $2\beta 0\nu$  hiện nay nhóm đang tham gia vào việc nghiên cứu và xây dựng detector SuperNEMO - detector có phòng chống xạ siêu thấp dùng ghi nhận phân rã  $2\beta 0\nu$ . Trong đó, một công việc rất quan trọng là lựa chọn vật liệu thuần khiết về mặt phóng xạ bằng các detector phòng thấp như detector Ge.

Công việc được miêu tả trong báo cáo là quá trình nghiên cứu về detector Lupin (đặt tại phòng thí nghiệm trong lòng đất t Modane) thông qua mô phỏng bằng công cụ hiện đại Geant 4. Đây là lần đầu tiên công việc này được thực hiện tại Bordeaux.

Báo cáo bao gồm hai phần chính :

1. Mô phỏng detector Ge loại giếng bằng Geant4, từ đó tính toán hiệu suất ghi đối với bức xạ gamma ở những năng lượng khác nhau.
2. Thực hiện đo đặc hoạt độ của một vài đồng vị phóng xạ trên một số mẫu mẫn khô có nguồn gốc khác nhau.

## TỔNG QUAN

Phóng xạ là hiện tượng một số hạt nhân nguyên tử không bền tự biến đổi và phát ra các bức xạ hạt nhân. Hiện tượng phóng xạ có nguồn gốc chủ yếu từ các đồng vị phóng xạ có trong tự nhiên, bao gồm các đồng vị của các kênh phân rã có chu kỳ bán rã rất lớn (cỡ tuổi của trái đất) như:  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  và  $^{40}\text{K}$ . Phóng xạ tự nhiên là một trong những nguồn gây phóng nhiễu đáng kể cho tín hiệu của phân rã  $2\beta 0\nu$ . Vì vậy, người ta buộc phải sử dụng những vật liệu thuần khiết về mặt phóng xạ để chế tạo detector ghi nhận những tín hiệu này. Các vật liệu được đánh giá bằng các detector phòng thấp (như detector bán dẫn Ge). Trong báo cáo này, chúng tôi đã thực hiện nghiên cứu các đặc trưng của một detector Ge loại giếng phòng thấp qua mô phỏng bằng Geant4 và thực hiện đo đặc trên một số mẫu môi trường.

## I. MÔ PHỎNG DETECTOR GE LOẠI GIẾNG BẰNG GEANT4.

### 1. Giới thiệu về Geant4.

Geant4 là một gói công cụ hiện đại được nghiên cứu và phát triển bởi Trung tâm Nghiên cứu Hạt nhân Châu Âu (CERN), dùng để mô phỏng quá trình đi qua vật chất của một hạt. Những ý tưởng đầu tiên về Geant4 được hình thành từ những năm 1993, cho đến nay lĩnh vực áp dụng của Geant4 rất rộng rãi như: năng lượng, vật lý hạt nhân, vật lý máy gia tốc, y học,...

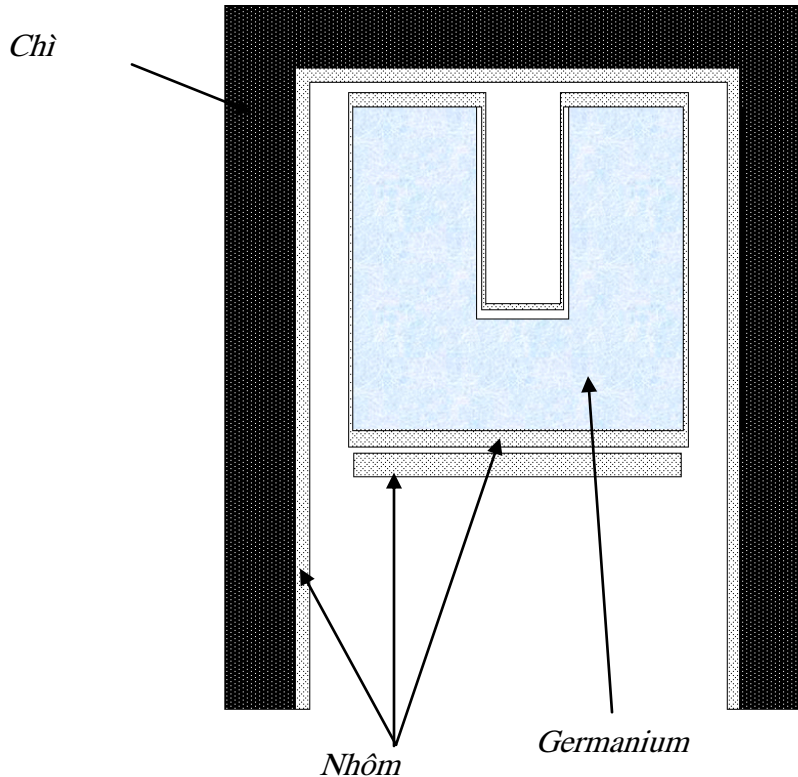
Trong đề tài này, chúng tôi đã tập trung phát triển một chương trình mô phỏng sự tương tác của bức xạ gamma và vật chất của một detector Ge loại giếng. Chương trình này bao gồm sáu lớp :

- DetectorConstruction (khai báo bố trí hình học của detector).
- PhysicList (khai báo các quá trình vật lý đối với từng loại hạt).

- PrimaryGeneratorAction (khai báo các thông số của nguồn).
- RunAction.
- SteppingAction.
- EventAction.

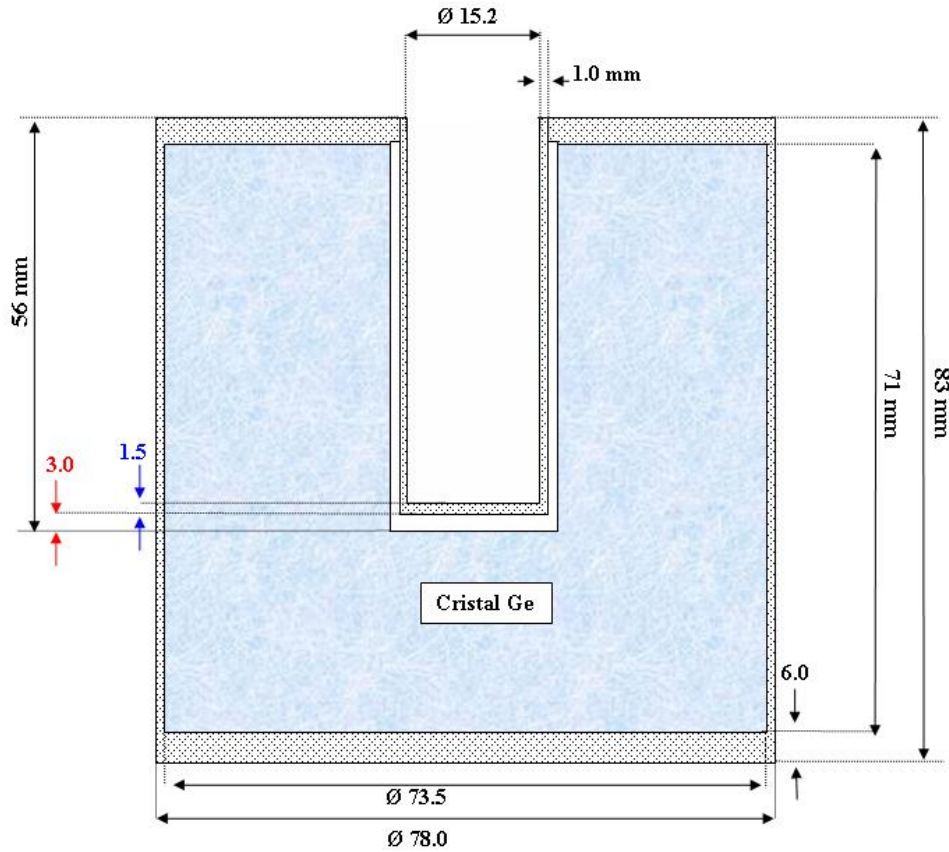
Trong đó ba lớp đầu là những lớp chính của chương trình . Ba lớp còn lại dùng để ghi năng lượng để lại trong tinh thể Ge của hạt

## 2. Miêu tả bố trí hình học và vật liệu của detector (lớp DetectorConstruction).



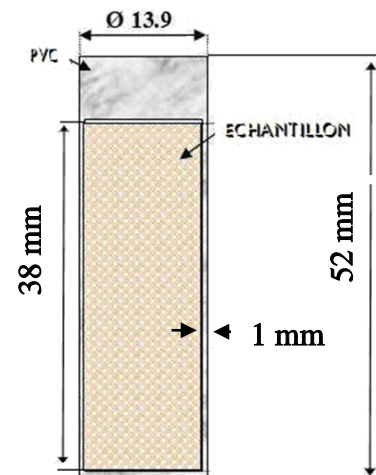
Hình 1. *Bố trí hình học tổng quan của detector Ge loại giếng.*

Ngoài phần được khai báo trong chương trình mô phỏng , detector Lupin còn được bao bọc bởi một khung chì và một lớp hợp chất của nguyên tố Bo rất dày . Trong phần mô phỏng , chúng tôi chỉ khai báo bắt đầu từ lớp chì cổ (lớp có đóng góp đáng kể do tán xạ ngược của gamma từ lớp này vào tinh thể Ge . Các phần còn lại không ảnh hưởng nhiều vào kết quả mô phỏng). Miêu tả cụ thể được thể hiện bằng hình vẽ 1 và 2.

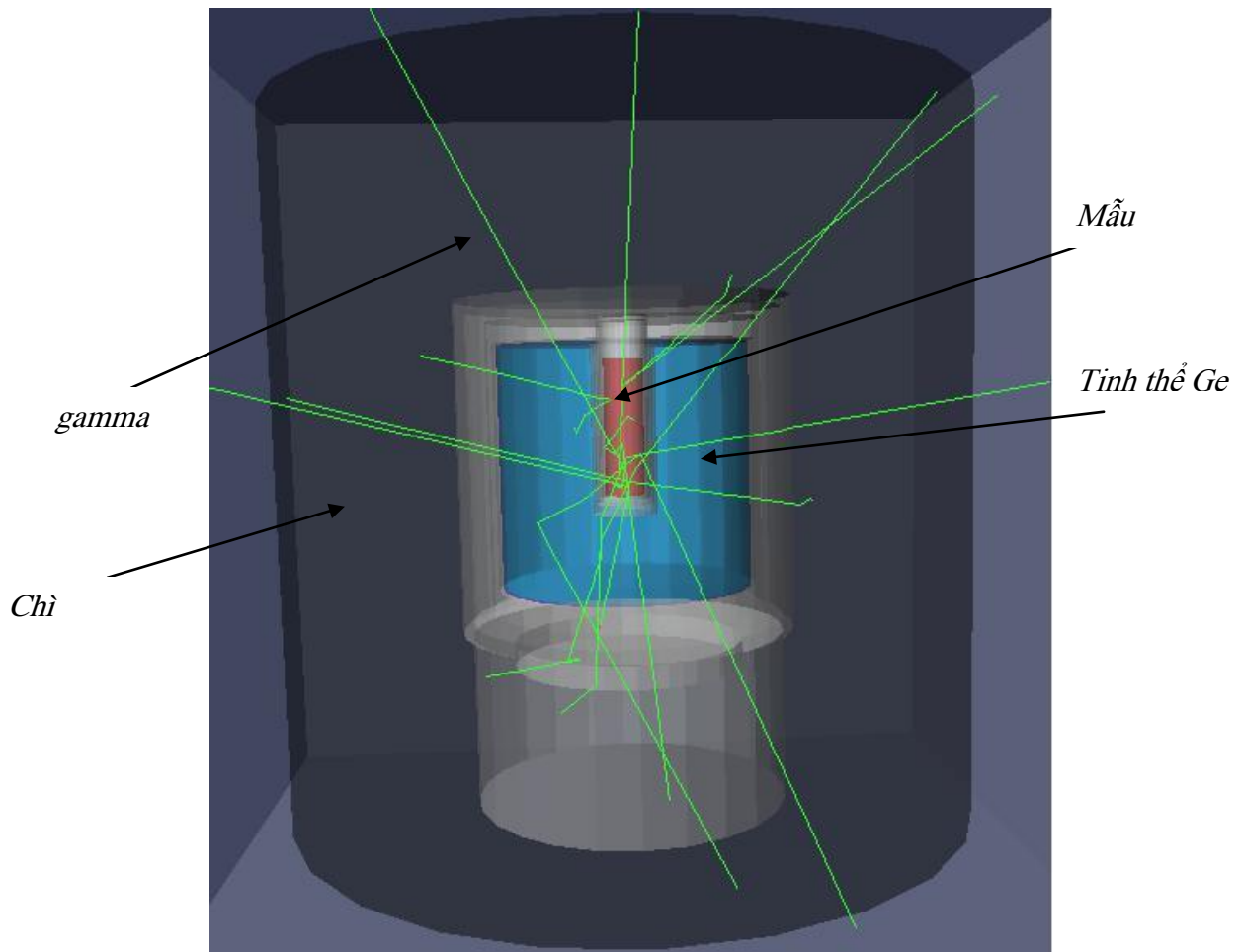


Hình 2. Bố trí hình học cụ thể của detector Ge loại giếng.

*Bố trí hình học của mẫu:* mẫu được đặt trong một ống hình trụ như trong hình 3. Trong chương trình, thành phần hóa học của mẫu được mô tả như  $\text{SiO}_2$  (giống các mẫu chuẩn mà chúng tôi sử dụng để phân tích ở phần sau). Điều này cho phép so sánh kết quả mô phỏng và kết quả đo thực nghiệm.



Hình 3. Bố trí hình học của mẫu



Hình 4. Hình ảnh mô phỏng

### 3. Khai báo các quá trình vật lý (lớp PhysicList).

- Đối với radionuclide: RadioactiveDecay.
- Đối với electron:
  - a. MultipleScattering (diffusion multiple).
  - b. Ionisation.
  - c. Bremsstrahlung.
- Đối với positron:
  - d. MultipleScattering (diffusion multiple).
  - e. Ionisation.
  - f. Bremsstrahlung
  - g. Annihilation.
- Đối với gamma (Xray):
  - h. PhotoElectricEffect (effet photoélectrique).
  - i. ComptonScattering (diffusion Compton).
  - j. GammaConversion (création de paires).

### 4. Khai báo các thông số của nguồn phóng xạ

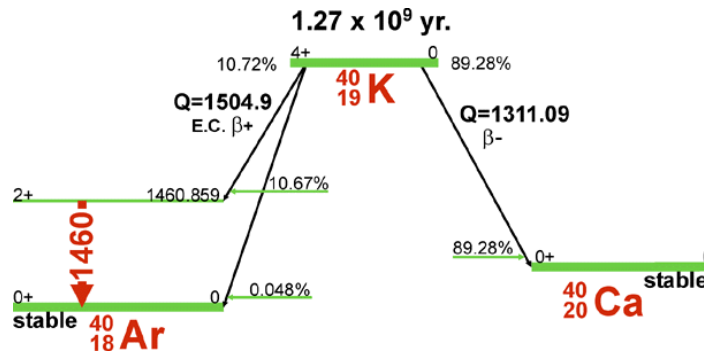
Các thông số được khai báo bao gồm:

- Loại phóng xạ (gamma, radionucléide, bêta, etc).
- Năng lượng
- Mật độ
- Hướng phân rã
- Hình dạng của nguồn

- Vị trí phân rã
  - Số lượng phân rã
- Các thông số này sẽ được thay đổi tùy từng mẫu được đo.

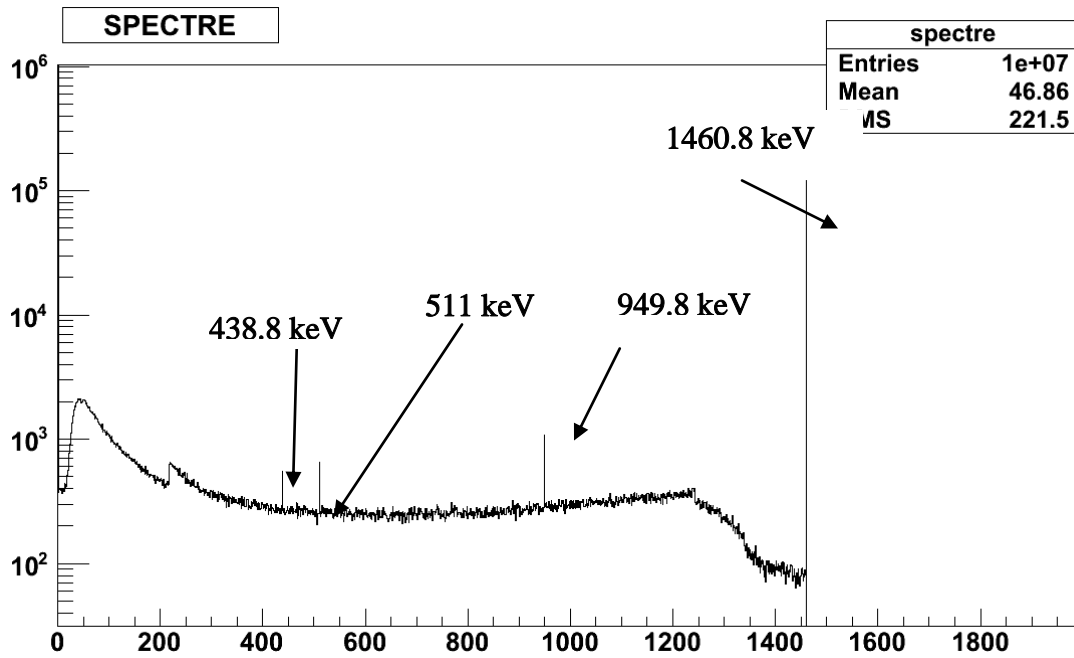
### 5. Chạy thử chương trình với đối tượng $^{40}\text{K}$ .

$^{40}\text{K}$  là một đồng vị phóng xạ (sơ đồ phân rã được giới thiệu trên hình 5) chiếm khoảng 10% kali tự nhiên.  $^{40}\text{K}$  chiếm hơn một nửa hoạt độ phóng xạ của cơ thể sống (hàng trăm Bq/kg). Cùng với Th và U,  $^{40}\text{K}$  cũng tồn tại rất nhiều trong đất đá tự nhiên. Một đặc điểm quan trọng là với  $^{40}\text{K}$  chúng ta có thể quan sát tất cả những hiện tượng vật lý đã được khai báo trong chương trình mô phỏng.



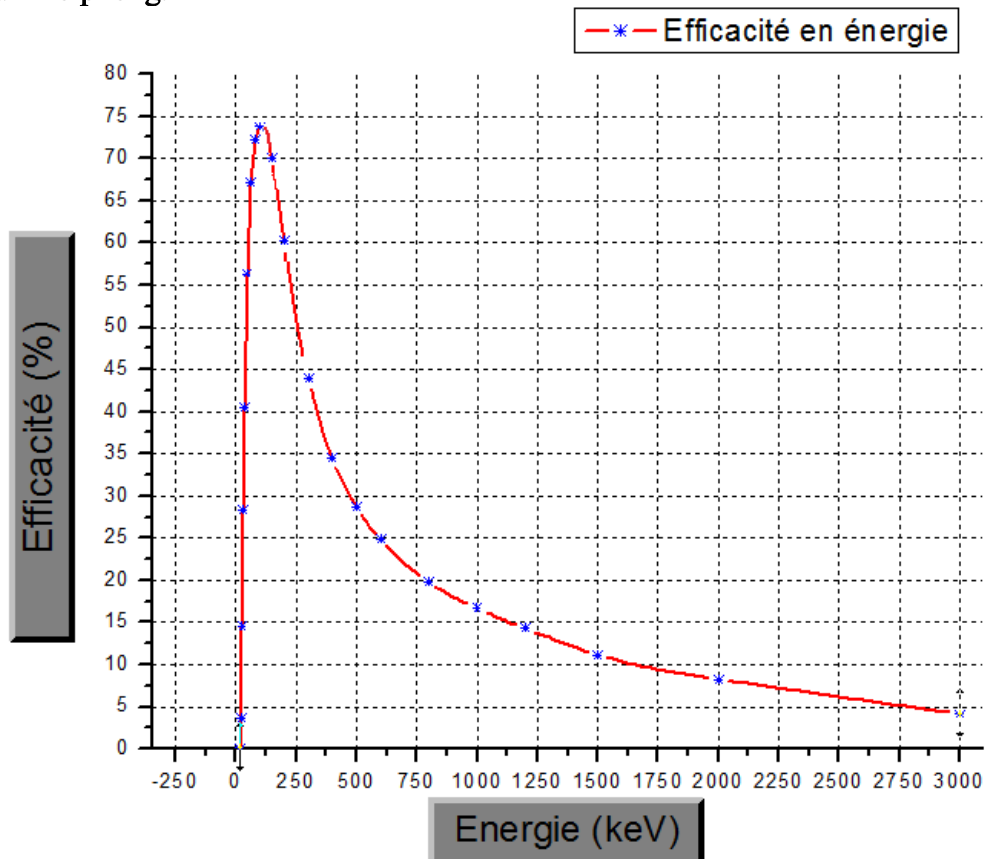
Hình 5. Sơ đồ phân rã của  $^{40}\text{K}$

Hình 6 giới thiệu phổ gamma đối với  $^{40}\text{K}$  được đưa ra bởi chương trình mô phỏng. Phổ bao gồm bốn đỉnh ở các năng lượng (1460.8 keV, 949.8 keV, 438.8 keV, 511 keV) và nền Compton. Đỉnh 1460.8 keV đại diện cho quá trình hấp thụ quang điện, ba đỉnh còn lại chứng minh sự tồn tại của hiện tượng tạo cặp. Hiệu ứng tạo cặp xảy ra khi một gamma năng lượng cao (1460.8 keV) tương tác với một nguyên tử của mẫu. Nếu một gamma 511 keV bị hấp thụ trong mẫu và phần còn lại được ghi trong tinh thể Ge chúng ta thu được đỉnh 949,8 keV (1460,8keV – 511keV). Nếu cả 2 gamma 511 keV bị hấp thụ trong mẫu và phần còn lại được ghi trong tinh thể Ge chúng ta thu được đỉnh 438,8 keV (1460,8keV – 1022keV). Nếu chỉ duy nhất 1 gamma 511 keV đến được tinh thể Ge mà phần còn lại bị hấp thụ trong mẫu chúng ta thu được đỉnh 511 keV. Phần cuối của nền Compton (ở năng lượng thấp) là do đóng góp của các tia X đến từ hiệu ứng Bremsstrahlung của  $\beta$  ở năng lượng cao (1311 keV).



Hình 6. Phổ gamma đối với  $^{40}K$

6. Kết quả mô phỏng.



Hình 7. Đường cong hiệu suất của detector theo năng lượng.

7. So sánh kết quả mô phỏng và kết quả đo đạc thực nghiệm.

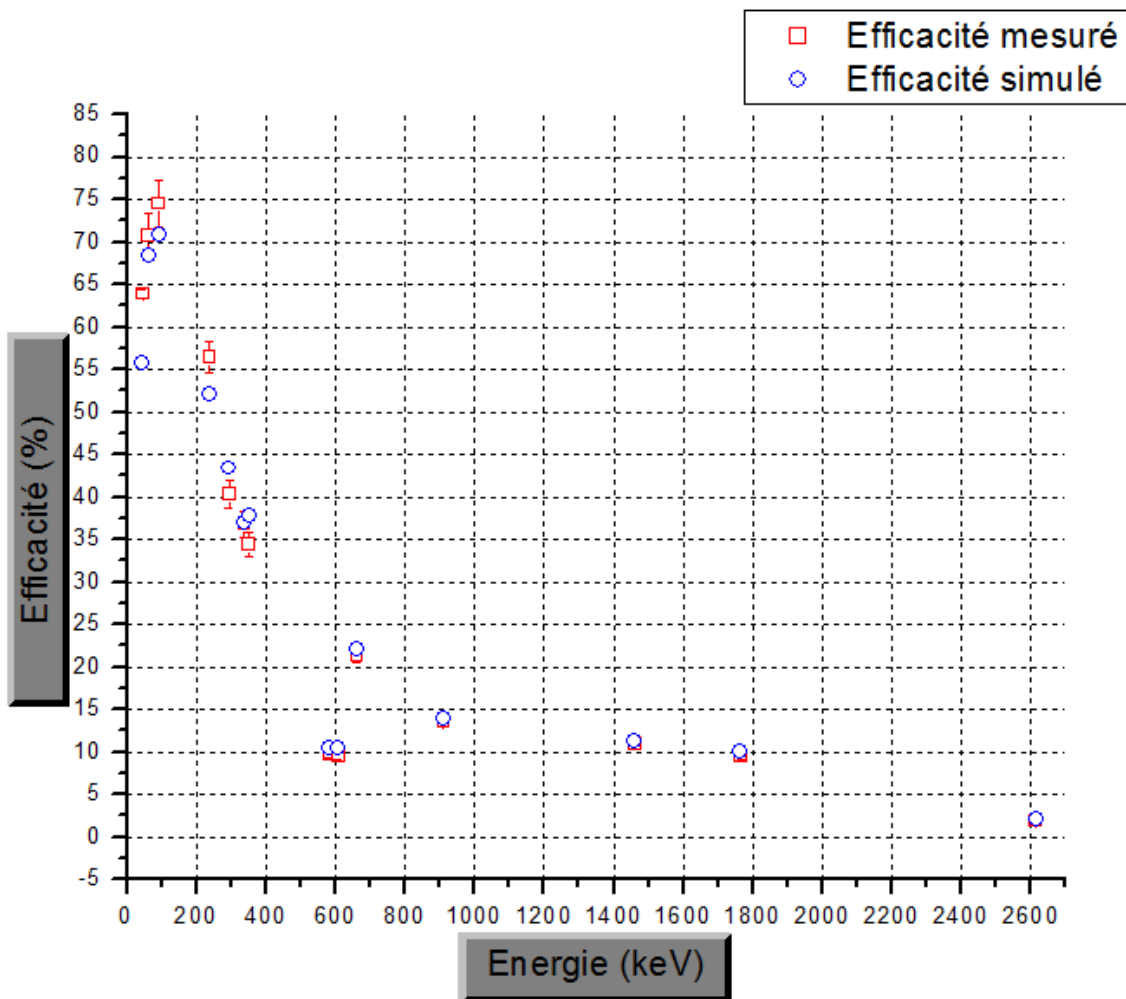
*Mẫu chuẩn* : Trong phần này chúng tôi đã thực hiện đo thực nghiệm với các mẫu trầm tích, đó là : IAEA-135 và IAEA-314. Các mẫu này chứa các đồng vị phóng xạ có hoạt độ đã biết (đối với IAEA-135 là  $^{40}\text{K}$  và  $^{137}\text{Cs}$ , đối với IAEA-314 là  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{208}\text{Tl}$  và  $^{212}\text{Pb}$ ).

Bảng 1. Mẫu chuẩn IAEA-314:

Nguyên tố	Hoạt độ riêng Bq/kg
$^{226}\text{Ra}$	$732 \pm 28$
Th	$701 \pm 24$
U	$72.2 \pm 2.1$

Bảng 2. Mẫu chuẩn IAEA-135:

Nguyên tố	Hoạt độ riêng Bq/kg
$^{40}\text{K}$	$560 \pm 15$
$^{137}\text{Cs}$	$740 \pm 28$



Hình 8. So sánh các giá trị mô phỏng và các kết quả thực nghiệm.

Sự so sánh trên hình 8 cho thấy kết quả đo và kết quả mô phỏng không có sự khác biệt lớn. Điều này giúp chúng tôi có cơ sở để hoàn chỉnh đồ thị phụ thuộc của hiệu suất ghi theo năng lượng của detector Lupin và áp dụng nó vào đo đặc các mẫu thực tế.

## II. ÁP DỤNG TRONG PHÂN TÍCH CÁC MẪU MẶN KHÔ.

## 1. Các mẫu mận khô.

Mận khô là một sản phẩm được tiêu thụ rộng rãi. Hiện nay trên thế giới, những nơi sản xuất mận khô chủ yếu có thể đến : Mỹ (150 000 tấn mỗi năm), Pháp (mận Agen, 50 000 tấn mỗi năm), Chilê (45 000 tấn mỗi năm) và Argentina (30 000 tấn mỗi năm). Mục đích của việc đo đạc nhằm tìm ra một vài đồng vị có thể làm chất chỉ thị phân biệt nguồn gốc giữa các loại mận. Chúng tôi đã thực hiện đo trên 9 mẫu bao gồm: 5 mẫu mận Agen, 2 mẫu mận Chilê và 2 mẫu mận USA.

Sau khi làm khô, mẫu được đốt thành tro. Tro được bỏ vào một ống hình trụ (như miêu tả ở trên) và đo trong khoảng gần một tuần.

*Bảng 4. Các mẫu mận khô:*

Mẫu	Khối lượng khô (g)	Khối lượng tro (g)	Thời gian đo (h)
Agen 1a	86	2,76	144
Agen 1b	101,8	2,67	166
Agen 2	105,1	2,88	114
Agen 3	102,3	2,90	194
Agen 10	120,4	3,70	120
Chili 4	82,4	2,57	170
Chili 5	101,7	3,09	156
USA 6	116	3,35	182
USA 7	124,7	3,49	192

## 2. Kết quả phân tích.

Bảng 5 và hình 9 giới thiệu kết quả phân tích các mẫu mận khô. Đối tượng phân tích là các đồng vị:  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  và  $^{228}\text{Th}$  :

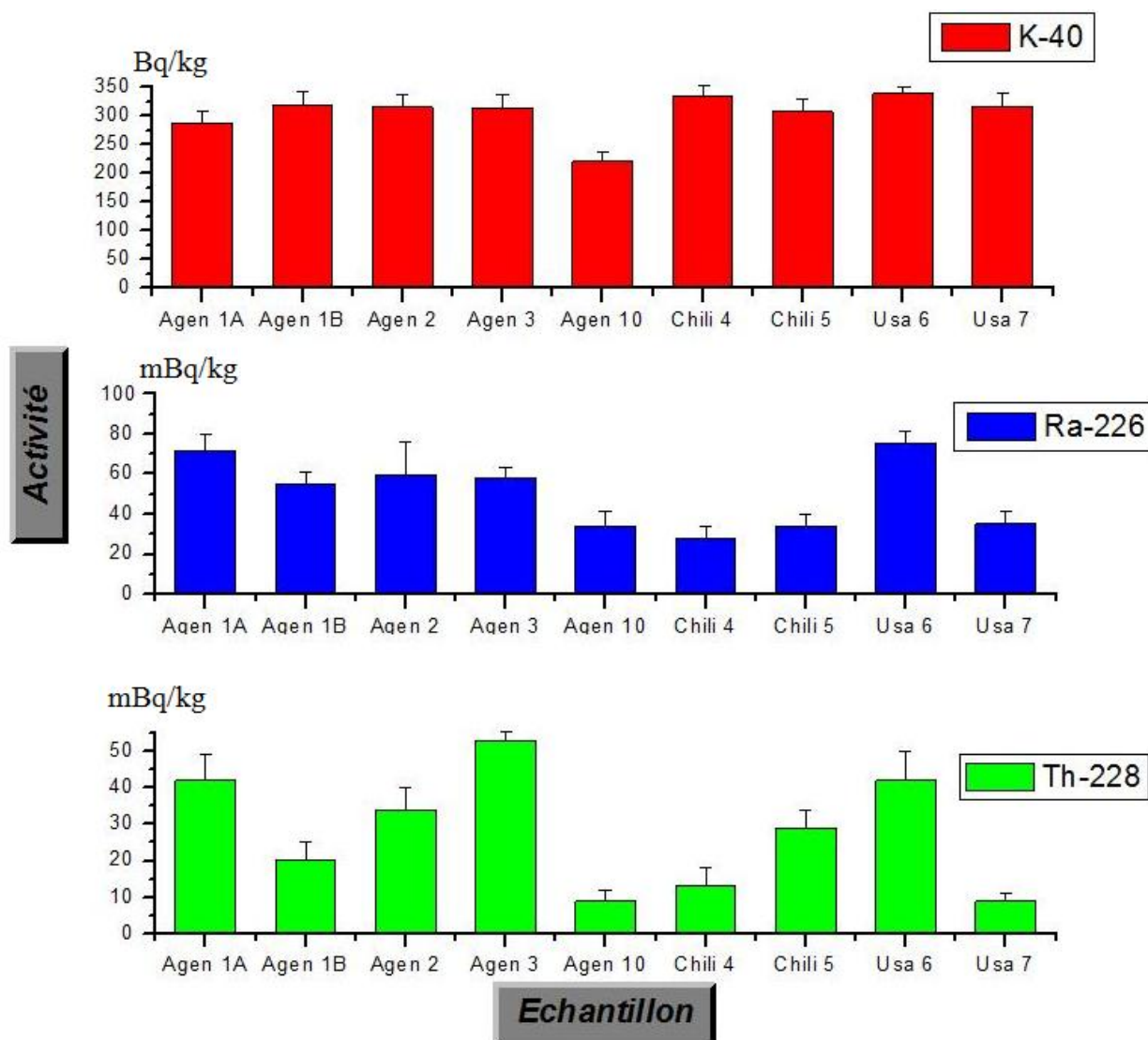
- Với  $^{40}\text{K}$ , sự phân bố dường như là đồng đều giữa các mẫu mận khô (vào khoảng 300mBq/kg).
- Với  $^{228}\text{Th}$ , sự phân bố là không đồng đều. Điều này có thể được giải thích là do thời gian bán rã của  $^{228}\text{Th}$  ngắn (khoảng 2 năm), do đó giá trị đo phụ thuộc nhiều vào tuổi của sản phẩm.
- Với  $^{226}\text{Ra}$ , chúng tôi đã bước đầu nhận định được rằng : đây là một đồng vị chỉ thị hiệu quả để phân biệt nguồn gốc của mận Agen và mận Chilê

*Bảng 5. Hoạt độ các đồng vị có trong mẫu mận khô:*

Mẫu	$^{40}\text{K}$	$^{214}\text{Bi}$ (mBq/kg)	$^{214}\text{Pb}$ (mBq/kg)	$^{226}\text{Ra}$	$^{228}\text{Th}$ ( $^{212}\text{Pb}$ ,



	(Bq/kg)	1764,5 keV	609,3 keV	351,9 keV	295,2 keV	(mBq/kg)	<b>238 keV</b> (mBq/kg)
<b>Agen 1A</b>	<b>289 ± 21</b>	73 ± 18	64 ± 6	70 ± 12	80 ± 16	<b>72 ± 8</b>	<b>42 ± 7</b>
<b>Agen 1B</b>	<b>319 ± 23</b>	55 ± 15	92 ± 21	50 ± 8	55 ± 17	<b>55 ± 6</b>	<b>20 ± 5</b>
<b>Agen 2</b>	<b>316 ± 23</b>	57 ± 16	81 ± 24	56 ± 9	67 ± 20	<b>60 ± 16</b>	<b>31 ± 3</b>
<b>Agen 3</b>	<b>314 ± 23</b>	63 ± 14	68 ± 16	53 ± 7	63 ± 12	<b>58 ± 5</b>	<b>47 ± 7</b>
<b>Agen 10</b>	<b>220,8 ± 15,9</b>	33 ± 9	38 ± 15	-	-	<b>34 ± 7</b>	<b>9 ± 3</b>
<b>Chili 4</b>	<b>335 ± 24</b>	46 ± 14	-	23 ± 7	-	<b>28 ± 6</b>	<b>13 ± 5</b>
<b>Chili 5</b>	<b>308 ± 23</b>	53 ± 15	49 ± 16	27 ± 7	-	<b>34 ± 6</b>	<b>24 ± 4</b>
<b>USA 6</b>	<b>339,5 ± 24,4</b>	93 ± 15	80 ± 19	69 ± 9	73 ± 13	<b>75 ± 6</b>	<b>38 ± 4</b>
<b>USA 7</b>	317,1 ± 22,8	50 ± 12	-	30 ± 7	-	35 ± 6	84 ± 8



Hình 9. Hoạt độ của các đồng vị  $^{40}K$ ,  $^{226}Ra$  et  $^{228}Th$  đối với các mẫu mận khô.

## KẾT LUẬN

Detector Ge là một trong những công cụ tốt nhất dùng để phân tích hoạt độ phóng xạ của các mẫu môi trường. Trong đề tài này, chúng tôi đã ứng dụng một phương pháp mô phỏng hiện đại bằng Geant4 để nghiên cứu đặc trưng về hiệu suất ghi của 1 detector Ge loại giếng. Việc này có thể áp dụng rộng rãi cho các detector khác.

Đề tài đã bước đầu manh nha một phương pháp hiện đại dùng phân biệt nguồn gốc của các mẫu môi trường cũng như các mẫu thực phẩm. Phương pháp này hoàn toàn có thể áp dụng trong bối cảnh hệ quản lý về thực phẩm, hoa quả ở Việt Nam chưa thực sự tốt.