

NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG CÔNG CỤ MÔ PHỎNG GEANT4 ĐỐI VỚI ĐẦU DÒ NHẤP NHÁY PLASTIC

**Đặng Quốc Triệu⁽¹⁾, Nguyễn Ngọc Nhật Anh⁽¹⁾, Lê Thảo Hương Giang⁽¹⁾,
Châu Thành Tài⁽²⁾, Phạm Quỳnh Giang⁽³⁾**

(1) Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp

(2) Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – ĐHQG-HCM; (3) Viện Nghiên cứu Hạt nhân

Ngày nhận bài 20/8/2023; Ngày gửi phản biện 12/9/2023; Chấp nhận đăng 20/10/2023

Liên hệ email: dangquoctrieu@gmail.com

<https://doi.org/10.37550/tdmu.VJS/2023.06.483>

Tóm tắt

Để phát hiện các vật liệu phóng xạ ẩn giấu bên trong xe hơi, xe tải và các thùng chứa, việc chế tạo các thiết bị có khả năng dò tìm ra các vật liệu phóng xạ và vật liệu hạt nhân để lắp đặt ở các cửa khẩu, bến cảng và biên giới là cần thiết [5,6]. Các thiết bị thế hệ đầu tiên được trang bị các đầu dò nhấp nháy NaI để phát hiện các vật liệu phát phóng xạ. Trong các hệ thiết bị này, nhiều đầu dò NaI có thể tích lớn được sử dụng để giảm thời gian đo và tăng khả năng phát hiện các nguồn được che chắn hay ở khoảng cách xa. Tuy nhiên các hệ thống trang bị các đầu dò như vậy có giá thành rất cao. Việc sử dụng các đầu dò nhấp nháy plastic vừa làm hạ giá thành thiết bị, đồng thời cải thiện độ nhạy giúp tăng khả năng phát hiện. Để thiết kế chế tạo được đầu dò nhấp nháy plastic có các thông số phù hợp theo yêu cầu đặt ra của đề tài cần thiết phải thực hiện mô phỏng để tiến hành đánh giá, lựa chọn cấu hình đầu dò phù hợp. Vì vậy, nhóm tác giả tiến hành tìm hiểu một số chương trình mô phỏng như Geant4 để phục vụ mô phỏng cấu hình đầu dò trong thiết bị kiểm soát dò tìm nguồn phóng xạ. Do đó, trong bài báo này một số kết quả mô phỏng từ Geant4 cho hệ đầu dò nhấp nháy plastic sẽ được trình bày.

Từ khóa: đầu dò nhấp nháy plastic, geant4, phổ gamma tán xạ, thiết bị phát hiện phóng xạ

Abstract

RESEARCH ON USING GEANT4 SIMULATION TOOLKIT FOR PLASTIC SCINTILLATOR DETECTOR

To detect hidden radioactive materials inside cars, trucks, and containers, it is necessary to manufacture devices capable of detecting radioactive and nuclear materials for installation at checkpoints, ports, and borders. The first-generation devices were equipped with NaI scintillation detectors to detect radioactive materials. Multiple large-volume NaI detectors were used in these devices to reduce measurement time and increase the ability to detect shielded or distant sources. However, systems equipped with such detectors are

expensive. The use of plastic scintillation detectors not only reduces the cost of the equipment but also improves sensitivity, enhancing the detection capability. To design and manufacture plastic scintillation detectors with appropriate specifications as required by the project, simulation is necessary for evaluation and selection of a suitable detector configuration. Therefore, the authors explored various simulation programs like Geant4 to simulate the detector configuration for radiation source detection devices. This paper presents some simulation results from Geant4 for plastic scintillation detector systems.

1. Giới thiệu

Ngày nay, việc đảm bảo an ninh nguồn phóng xạ, kiểm soát các nguồn phóng xạ trôi nổi, thất lạc hay lẫn vào phế liệu, hàng lậu cũng như từ nguy cơ khủng bố đang ngày càng được quan tâm ở nhiều quốc gia (Ely và cs., 2004, 2006). Mỗi quan tâm tập trung vào việc phát hiện vận chuyển lậu hoặc kiểm soát phế liệu có chứa nguồn phóng xạ liên quan đến đảm bảo sức khỏe cộng đồng, an ninh quốc gia, an toàn và bảo vệ môi trường. Theo Cơ quan Năng lượng nguyên tử quốc tế (IAEA, 2020) và các tổ chức năng lượng nguyên tử ở các nước công nghiệp phát triển, từ năm 1993 đến năm 2019 có 3.686 trường hợp liên quan đến mất an ninh nguồn phóng xạ và vật liệu hạt nhân được phát hiện (trung bình 140 trường hợp/năm), trong đó 290 trường hợp liên quan đến vận chuyển, còn lại là các vụ trộm, thải trái phép, phế liệu kim loại, thất lạc nguồn. Vì vậy, nhiều loại thiết bị có khả năng dò tìm, phát hiện vật liệu phóng xạ và vật liệu hạt nhân ở các cửa khẩu, bên cảng và biên giới đã và đang được phát triển chế tạo và lắp đặt để phát hiện các vật liệu phát phóng xạ ẩn giấu trong xe ô tô, xe tải và thùng chứa (IAEA, 2020; Claude Leroy và cs., 2009; Knoll, 2010). Trong các hệ thiết bị này, nhiều đầu dò NaI có thể tích lớn được sử dụng để giảm thời gian đo và tăng khả năng phát hiện các nguồn được che chắn hay ở khoảng cách xa. Tuy nhiên các hệ thống trang bị các đầu dò như vậy có giá thành rất cao. Việc sử dụng các đầu dò nhấp nháy plastic vừa làm hạ giá thành thiết bị, dễ dàng chế tạo với kích thước lớn, có thể đạt thể tích nhiều trăm lít và đổ khuôn theo các hình dạng khác nhau để phát triển nhiều ứng dụng trong đo và dò tìm bức xạ (Ely và cs., 2004, 2006). Để thiết kế chế tạo được đầu dò nhấp nháy plastic có các thông số phù hợp theo yêu cầu đặt ra của đề tài cần thiết phải thực hiện mô phỏng để tiến hành đánh giá, lựa chọn cấu hình đầu dò phù hợp. Vì vậy, nhóm đề tài lựa chọn mô phỏng như Geant4 để phục vụ mô phỏng cấu hình thiết bị phát hiện nguồn phóng xạ gamma di động sử dụng đầu dò nhấp nháy plastic cho mục đích chế tạo thiết bị kiểm soát dò tìm nguồn phóng xạ. Geant4 là phần mềm mô phỏng mã nguồn mở được xây dựng trên nền tảng lập trình C++, khai thác và ứng dụng cải tiến của kỹ thuật lập trình hướng đối tượng, hỗ trợ người dùng xây dựng và sử dụng các thành phần cần thiết. Geant4 cung cấp một tập hợp các quá trình vật lý đa dạng để mô phỏng tương tác của bức xạ với môi trường vật chất trên một dải năng lượng rộng từ hàng chục eV đến thang TeV.

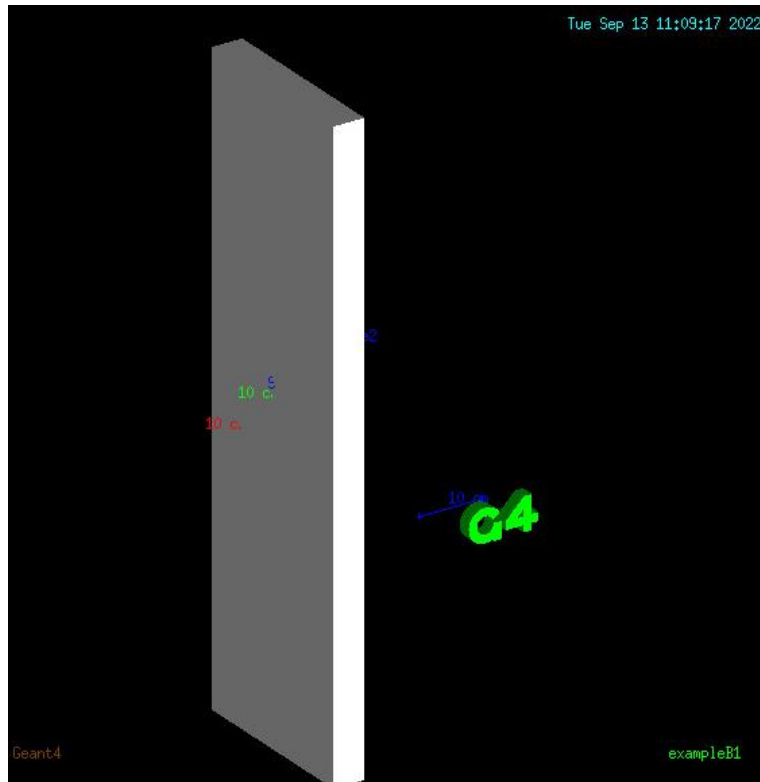
2. Phương pháp

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã sử dụng Geant4 để mô phỏng trường hợp một nguồn phóng xạ điểm (bao gồm ^{131}I ; ^{60}Co ; ^{137}Cs) và một tấm đầu dò được cấu tạo từ chất nhấp nháy plastic PVT (PolyVinyltoluene) được thể hiện như trong hình 1, sau đó thực hiện khảo sát phổ tán xạ gamma trong các trường hợp sau:

a) Không thay đổi kích thước chiều dài và rộng của đầu dò PVT là $80\text{cm} \times 30\text{cm}$, bề dày của đầu dò PVT được khảo sát lần lượt là 1cm; 3cm; 5cm; 7cm; 9cm với khoảng cách giữa nguồn gamma và đầu dò PVT là 5m.

b) Không thay đổi kích thước chiều dài và bề dày của đầu dò PVT là $80\text{cm} \times 5\text{cm}$, thay đổi chiều rộng của đầu dò PVT lần lượt là 20cm; 25cm; 30cm; 35cm; 40cm với khoảng cách giữa nguồn và đầu dò là 5m.

c) Với kích thước đầu dò là $80\text{cm} \times 30\text{cm} \times 5\text{cm}$, khoảng cách giữa nguồn phóng xạ và đầu dò PVT được thay đổi lần lượt là 1m; 3m; 6m.

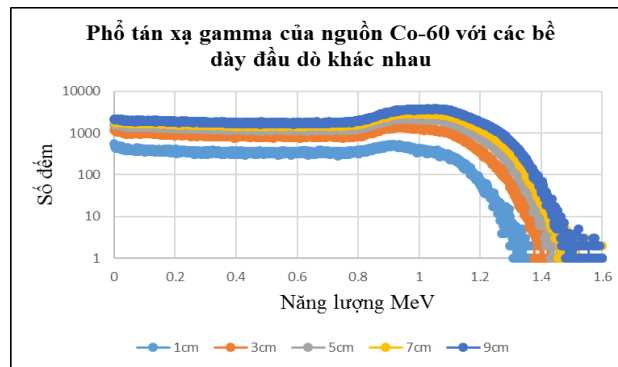


Hình 1. Cấu hình mô phỏng đầu dò PVT bằng GEANT4

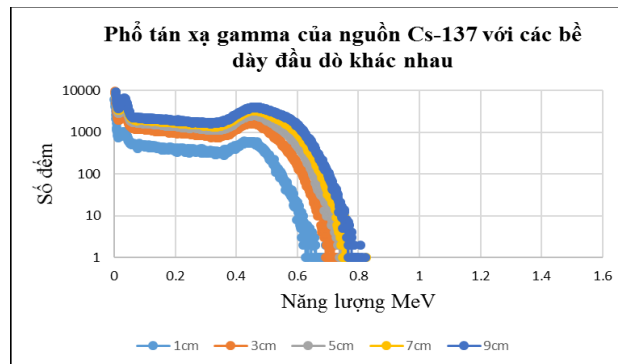
Trong cấu hình mô phỏng trên, nhóm nghiên cứu đã sử dụng một số thư viện vật lý có sẵn của Geant4 để khai báo các quá trình vật lý của hạt photon khi truyền trong môi trường vật chất bao gồm tán xạ Compton (G4ComptonScattering), quang điện (G4PhotoElectricEffect), tạo cặp (G4GammaConversion). Ngoài ra, một ngưỡng cắt năng lượng đã được thiết lập để tăng hiệu quả tính toán của chương trình mô phỏng.

3. Kết quả và thảo luận

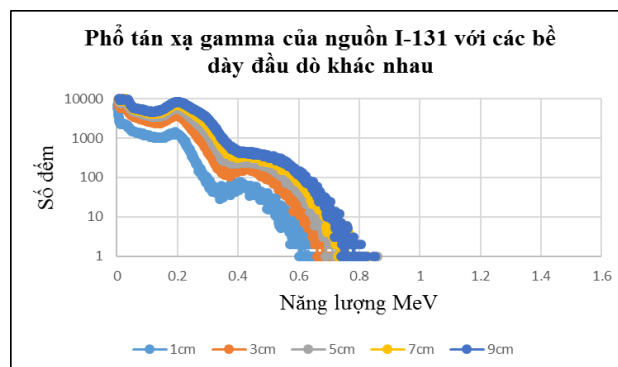
Kết quả phổ tán xạ gamma thu nhận được từ chương trình mô phỏng Geant4 cho trường hợp một nguồn phóng xạ điểm (bao gồm ^{131}I ; ^{60}Co ; ^{137}Cs) và một tấm đầu dò nhấp nháy plastic PVT sẽ được đề cập từ hình 2 đến hình 10. Đối với trường hợp a được đề cập ở mục II, các hình 2 đến hình 4 thể hiện phổ hấp thụ năng lượng gamma thu được từ đầu dò PVT khi thay đổi bề dày đầu dò, có thể thấy khi tăng bề dày của đầu dò từ 1cm đến 9cm thì nền phổ hấp thụ năng lượng gamma của nguồn ^{60}Co ; ^{137}Cs ; ^{131}I cũng tăng dần theo bề dày.



Hình 2. Kết quả phổ hấp thụ năng lượng gamma thu được từ đầu đo PVT với các bề dày lần lượt là 1cm; 3cm; 5cm; 7cm; 9cm của nguồn phóng xạ ^{60}Co

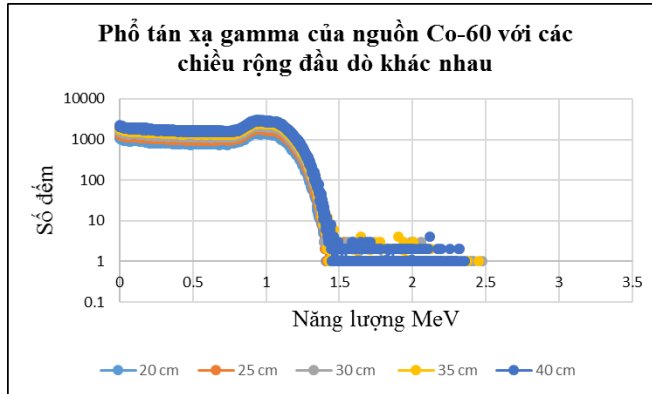


Hình 3. Kết quả phổ hấp thụ năng lượng gamma thu được từ đầu đo PVT với các bề dày lần lượt là 1cm; 3cm; 5cm; 7cm; 9cm của nguồn phóng xạ ^{137}Cs

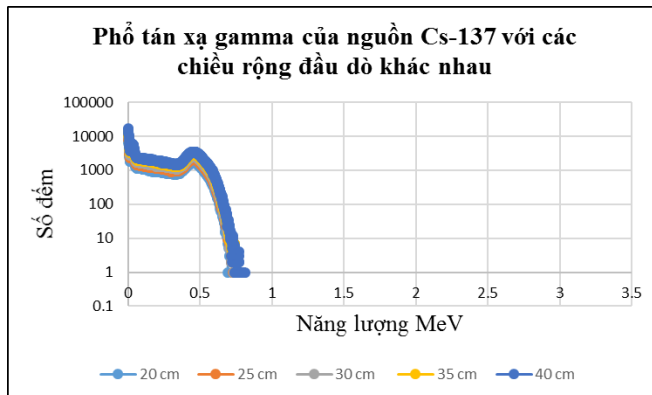


Hình 4. Kết quả phổ hấp thụ năng lượng gamma thu được từ đầu đo PVT với các bề dày lần lượt là 1cm; 3cm; 5cm; 7cm; 9cm của nguồn phóng xạ ^{131}I

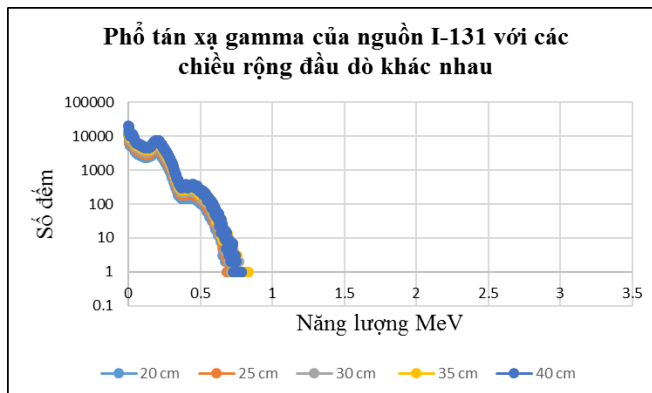
Tiếp theo, đối với trường hợp b được đề cập ở mục II, từ hình 5 đến hình 7 thể hiện phổ gamma tán xạ thu được từ đầu dò PVT khi chiều rộng đầu dò thay đổi, khi chiều rộng của đầu dò được tăng từ 20cm đến 40cm thì nền phổ hấp thụ năng lượng gamma của các nguồn ^{60}Co ; ^{137}Cs ; ^{131}I cũng tăng lên theo.



Hình 5. Kết quả phổ hấp thụ năng lượng gamma thu được từ đầu đo PVT với chiều rộng thay đổi lần lượt là 20cm; 25cm; 30cm; 35cm; 40cm của nguồn phóng xạ ^{60}Co

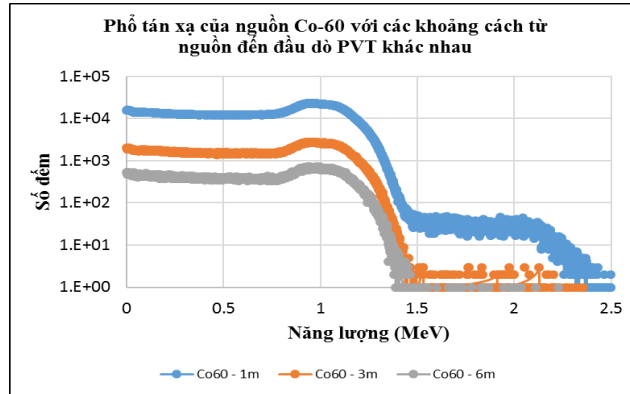


Hình 6. Kết quả phổ hấp thụ năng lượng gamma thu được từ đầu đo PVT với chiều rộng thay đổi lần lượt là 20cm; 25cm; 30cm; 35cm; 40cm của nguồn phóng xạ ^{137}Cs

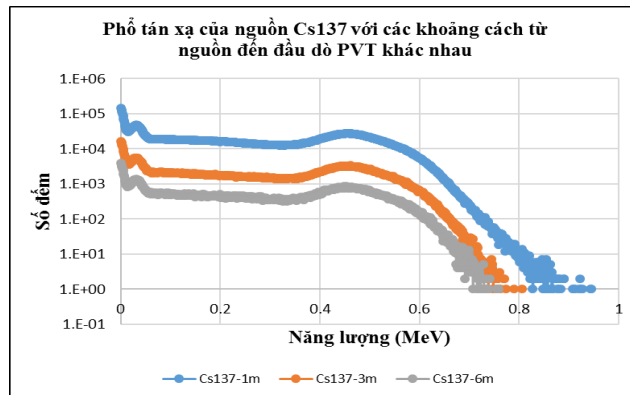


Hình 7. Kết quả phổ hấp thụ năng lượng gamma thu được từ đầu đo PVT với chiều rộng thay đổi lần lượt là 20cm; 25cm; 30cm; 35cm; 40cm của nguồn phóng xạ ^{131}I

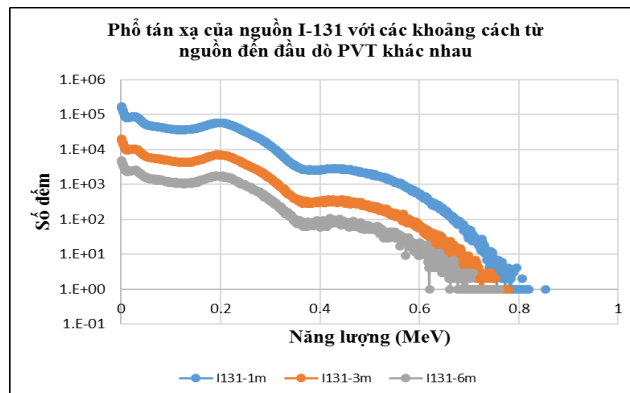
Cuối cùng, đối với trường hợp c ở mục II, khi khoảng cách giữa nguồn phóng xạ với mảng đầu dò tăng lên, lần lượt là 1m, 3m, 6m có thể thấy nền phổ gamma tán xạ của nguồn ^{60}Co ; ^{137}Cs ; ^{131}I cũng tăng lên theo khoảng cách như được thể hiện trong hình 8 đến hình 10.



Hình 8. Kết quả phổ hấp thụ năng lượng gamma thu được từ đầu đo PVT của nguồn phóng xạ ^{60}Co đặt cách đầu dò PVT lần lượt 1m, 3m, 6m.



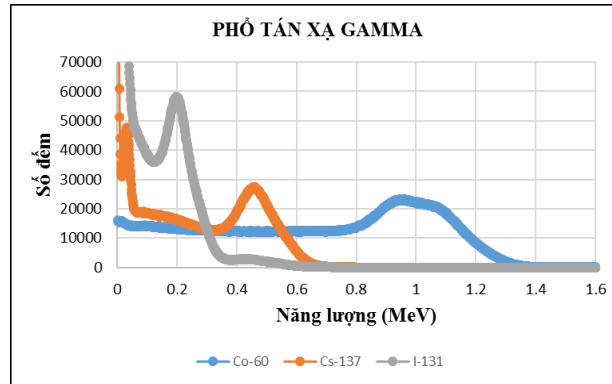
Hình 9. Kết quả phổ hấp thụ năng lượng gamma thu được từ đầu đo PVT của nguồn phóng xạ ^{60}Co đặt cách đầu dò PVT lần lượt 1m, 3m, 6m.



Hình 10. Kết quả phổ hấp thụ năng lượng gamma thu được từ đầu đo PVT của nguồn phóng xạ ^{60}Co đặt cách đầu dò PVT lần lượt 1m, 3m, 6m.

Phổ hấp thụ năng lượng gamma của 3 nguồn phóng xạ ^{131}I ; ^{60}Co ; ^{137}Cs ở cách đầu dò PVT 5m với kích thước đầu dò PVT cố định $80 \times 30 \times 5\text{cm}$ được tổng hợp trong hình 11.

Kết quả mô phỏng phổ hấp thụ năng lượng gamma cho thấy rõ 3 cạnh Compton của 3 nguồn phóng xạ ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{131}I . Do ba nguồn phóng xạ này có các đỉnh năng lượng lần lượt là 365 keV, 662 keV, 1173 keV và 1332 keV ở cách xa nhau nên có thể nhìn thấy rõ bờ Compton của các nguồn này, vì vậy có thể phân biệt được ba nguồn phóng xạ nói trên.



Hình 11. Kết quả phổ gamma tán xạ thu được từ đầu dò PVT của các nguồn phóng xạ ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{131}I ở cách đầu dò 5m.

4. Kết luận

Để phát hiện các vật liệu phóng xạ ẩn giấu bên trong xe hơi, xe tải và các thùng chứa, việc chế tạo các thiết bị có khả năng dò tìm ra các vật liệu phóng xạ và vật liệu hạt nhân để lắp đặt ở các cửa khẩu, bến cảng và biên giới là cần thiết. Bài báo này nhóm tác giả dùng phần mềm mô phỏng Geant4 để mô phỏng cho hệ đầu dò nhấp nháy nhằm phát hiện các nguồn phóng xạ ẩn như thế. Nhóm tác giả đã thực hiện quá trình mô phỏng với nhiều tham số lắp đặt khác nhau và cho thấy kết quả tốt, phân biệt rõ ràng cả 3 nguồn phóng xạ ^{60}Co ; ^{137}Cs ; ^{131}I . Kết quả bài báo cho thấy khả năng dùng đầu dò nhấp nháy plastic để phát hiện các nguồn phóng xạ ẩn là khả thi.

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã thực hiện bài toán mô phỏng với một nguồn một đầu dò nhấp nháy plastic và đã đạt được các kết quả đạt như sau:

1. Xây dựng chi tiết hình học hệ đo trên chương trình Geant4 gồm: đầu dò nhấp nháy plastic kích thước $100 \times 30 \times 5\text{cm}$ làm từ vật liệu Polyvinyltoluence (PVT);
2. Khai báo được các quá trình tương tác vật lý của nguồn phát gamma với vật chất trong hệ đo trong Geant4;
3. Tạo nguồn điểm phát bức xạ gamma (^{60}Co ; ^{137}Cs ; ^{131}I) tại một vị trí nhất định trong không gian mô phỏng;
4. Thực hiện mô phỏng ghi nhận đáp ứng phổ tán xạ gamma trên đầu dò nhấp nháy dẻo PVT.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Claude Leroy, Pier-Giorgio Rancoita (2009). *Principles of Radiation Interaction in Matter and Detection*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- [2] E.R. Siciliano, J.H. Ely, R.T. Kouzes, B.D. Milbrath, J.E. Schweppe, D.C. (2005). Stromswold Comparison of PVT and NaI(Tl) scintillators for vehicle portal monitor applications. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 550, 647-674.
- [3] GEANT4 Simulaton Toolkit (2022). Book for Application Developers.
- [4] Glenn F. Knoll (2010). *Radiaton Detection and Measurement*. University of Michigan.
- [5] IAEA Incident and Trafficking Database (ITDB) (2020). Incidents of Nuclear and Other Radioactive Material out of Regulatory Control.
<https://www.iaea.org/sites/default/files/20/02/itdb-factsheet-2020.pdf>.
- [6] J. H. Ely, R. T. Kouzes, *Senior Member, IEEE*, B. D. Geelhood, J. E. Schweppe, and R. A. Warner (2004). Discrimination of Naturally Occurring Radioactive Material in Plastic Scintillator Material. *IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE*, 51(4)
- [7] James Ely, Richard Kouzes, John Schweppe, Edward Siciliano, Denis Strachan, Dennis Weier, The use of energy windowing to discriminate SNM from NORM in radiation portal monitors, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 560, 373-387.
- [8] National Urban Security Technology Laboratory for the U.S (2015). Department of HomelandSecurity, Science and Technology Directorate. Portable Radiation Portal Monitors Market Survey Report.