

NGHIÊN CỨU TÁN XẠ COMPTON CỦA BỨC XẠ GAMMA CHO MỘT SỐ VẬT LIỆU SỬ DỤNG PHẦN MỀM MÔ PHÒNG GEANT4

VÕ THỊ HUYỀN TRÂN¹, VÕ HỒNG HẢI², NGUYỄN QUỐC HÙNG²

¹*Khoa Khoa học - Trường Đại học Cần Thơ – TP.Cần Thơ*

²*BM Vật lý hạt nhân, Khoa Vật lý-VLKT, Trường ĐH. Khoa học Tự nhiên, ĐHQG – TP.HCM*

Email: lns.hcm@gmail.com

Tóm tắt: Trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu tán xạ Compton của bức xạ gamma trên một số loại vật liệu bằng phần mềm mô phỏng GEANT4. Bức xạ gamma có năng lượng 0.662MeV (tương đương năng lượng gamma phát ra từ nguồn Cs-137) bắn vào bia vật liệu. Gamma tán xạ được ghi nhận ở các góc tán xạ khác nhau bởi detector nhấp nháy NaI(Tl) 3×3. Chúng tôi khảo sát cho các vật liệu làm bia gồm Al, Cu, Fe, Pb. Cụ thể là khảo sát phổ năng lượng theo góc tán xạ, sự phụ thuộc bề dày theo gamma tán xạ và giới hạn bề dày khảo sát. Các kết quả đạt được này là bước đầu trong nghiên cứu vật liệu sử dụng phương pháp tán xạ gamma sẽ được triển khai tại BM. Vật lý Hạt nhân, trường ĐH. Khoa học Tự nhiên, ĐHQG - TpHCM.

Từ khóa: Tán xạ Compton, GEANT4

1. GIỚI THIỆU

Ứng dụng các đồng vị phóng xạ bức xạ gamma để xác định mật độ, bề dày vật liệu, dò tìm khuyết tật là một trong các phương pháp kiểm tra không phá hủy mẫu (Non-Destroyed Technique – NDT) như phương pháp truyền qua và phương pháp tán xạ ngược. Trong đó kỹ thuật đo gamma tán xạ được dùng để xác định độ ăn mòn của kim loại với ưu điểm là nguồn phóng xạ và đầu dò có thể bố trí cùng một phía, tiến hành kiểm tra thiết bị mà không cần phải dừng hoạt động của thiết bị đó và có thể kiểm tra trong điều kiện khắc nghiệt như nhiệt độ cao, áp suất lớn [1],[2]. Tuy nhiên vấn đề sử dụng nguồn phóng xạ gặp không ít khó khăn do các quy trình quản lý nghiêm ngặt vì mục đích an toàn phóng xạ. Một trong những giải pháp hiệu quả cho vấn đề này là sử dụng các phần mềm mô phỏng với các điều kiện lý tưởng trước khi tiến hành các thí nghiệm kiểm chứng cũng như các phép đo thực tế. Các phần mềm mô phỏng phổ biến hiện nay như MCNP, GEANT4 dựa trên nền tảng phương pháp mô phỏng Monte Carlo. Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng phần mềm mô phỏng GEANT4 (Geometry and Tracking) [3] – nghiên cứu tán xạ compton cho một số vật liệu, để xác định một số tính chất của vật liệu. Bức xạ gamma có năng lượng 0.662MeV (tương đương với năng lượng gamma phát ra từ nguồn ¹³⁷Cs) bắn vào bia vật liệu. Gamma tán xạ được ghi nhận ở các góc tán xạ khác nhau bởi detector nhấp nháy NaI(Tl) 3inch×3inch. Chúng tôi khảo sát phổ gamma tán xạ theo các góc tán xạ từ 30⁰ đến 150⁰, xác định vị trí đỉnh tán xạ cũng như cường độ gamma tán, từ đó đánh giá một số tính chất của các vật liệu khảo sát. Cụ thể trong bài báo này, chúng tôi khảo sát phổ năng lượng gamma tán xạ theo góc tán xạ θ , và khảo sát phổ gamma tán xạ theo bề dày vật liệu ở góc 90⁰. Việc khảo sát được thực hiện trên vật liệu Al, Cu, Fe, Pb. Các kết quả đạt được này là bước đầu trong nghiên cứu vật liệu sử dụng phương pháp tán xạ gamma sẽ được triển khai tại BM. Vật lý Hạt nhân, trường ĐH. Khoa học Tự nhiên, ĐHQG – TpHCM.

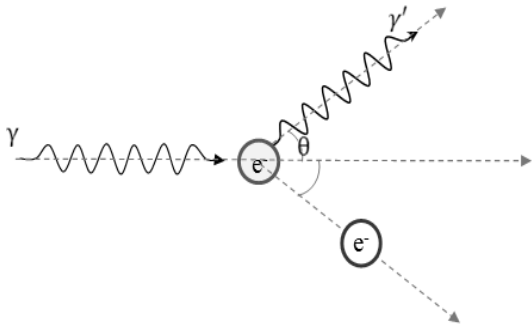
1.1. Cơ sở lý thuyết gamma tán xạ

Tán xạ ngược là hiện tượng khi tia gamma tương tác với electron của bia vật liệu thì bị tán xạ ngược so với phương ban đầu (hình 1). Năng lượng của gamma tán xạ cho bởi công thức tán xạ Compton (1) [4]. Khi bề dày vật liệu vô cùng mỏng, hiện tượng tán xạ ngược không xảy ra. Khi bề dày vật chất tăng, sự tán xạ ngược cũng tăng theo và đạt đến giá trị bão

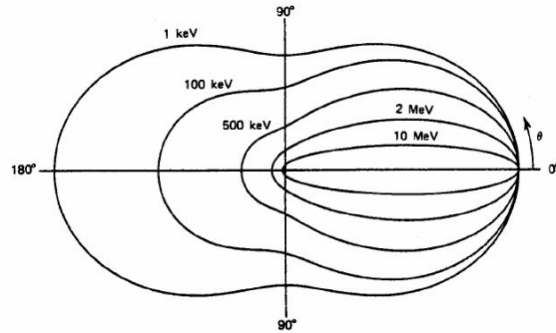
hòa [5]. Sự phân bố cường độ theo góc tán xạ và năng lượng gamma tới cho bởi công thức Klein-Nishina (2), giảm dần từ 0^0 đến 180^0 cho mức năng lượng gần 0.511 MeV (hình 2)[2].

$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{m_0 c^2} (1 - \cos\theta)} \quad (1)$$

Trong đó: E_γ, E'_γ là năng lượng của gamma tới và gamma tán xạ, θ là góc tán xạ.



Hình 1: Sơ đồ hiệu ứng tán xạ Compton, góc tán xạ θ tạo bởi gamma tán xạ với gamma tới



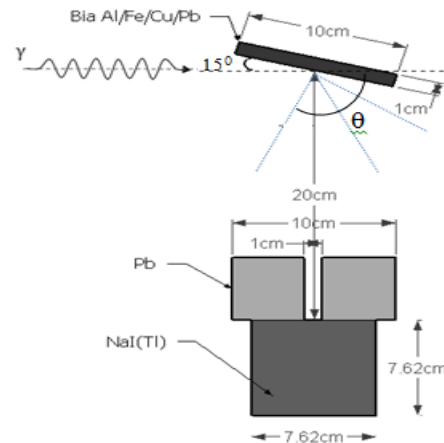
Hình 2: Sự phân bố cường độ gamma tán xạ theo góc tán xạ và năng lượng gamma tới.

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = r_e^2 P(E_\gamma, \theta)^2 \left[P(E_\gamma, \theta) + P(E_\gamma, \theta)^{-1} - 1 + \cos^2(\theta) \right] / 2 \quad (2)$$

Trong đó, r_e là bán kính electron, θ là góc tán xạ, $P(E_\gamma, \theta) = \frac{1}{1 + \frac{E_\gamma}{m_0 c^2} (1 - \cos\theta)}$ là tỉ lệ năng lượng photon trước và sau va chạm.

1.2. Bố trí thí nghiệm mô phỏng

Dựa vào cấu trúc detector nhấp nháy NaI(Tl) 3inch×3inch (hình trụ đường kính 3 inch, cao 3 inch), hiện có tại BM. Vật lý Hạt nhân, trường ĐH. Khoa học Tự nhiên, ĐHQG – TpHCM, chúng tôi bố trí thí nghiệm mô phỏng bằng chương trình GEANT4 cho hệ đo tán xạ gamma như trình bày ở hình 3. Bia vật liệu đặt nghiêng 15^0 so với gamma tới. Detector nhấp nháy đặt cách tâm bia 20 cm, có ống chuẩn trực bằng chì đường kính 1cm. Hệ detector và ống chuẩn trực có thể xoay theo các góc khác nhau để ghi nhận chùm tia tán xạ với góc tán xạ thay đổi từ 30^0 đến 150^0 .



Hình 3: Sơ đồ bố trí thí nghiệm mô phỏng khảo sát phổ gamma tán xạ theo góc tán xạ và theo bề dày vật liệu bia.

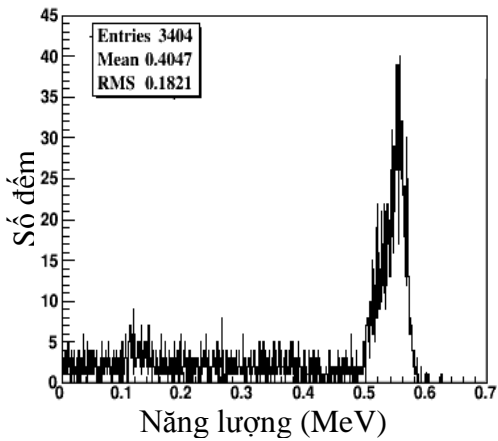
2. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

Chúng tôi tiến hành khảo sát năng lượng, cường độ gamma tán xạ theo góc tán xạ và khảo sát độ bảo hòa cho bề dày các loại vật liệu Al, Fe, Cu, Pb. Gamma tới là 0.662MeV, bắn theo phương ngang, như trong hình 3.

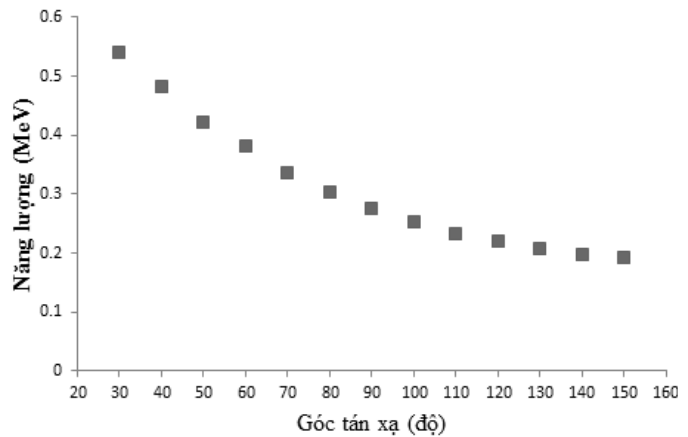
2.1 Khảo sát phổ năng lượng gamma tán xạ theo góc tán xạ θ

Việc khảo sát phổ gamma tán xạ theo góc được thực hiện trên vật liệu Al, Fe, Cu, Pb. Hình 4 là dạng phổ tán xạ ghi nhận được bởi detector nhấp nháy NaI(Tl). Cụ thể cho trường hợp này là góc đo tán xạ 30^0 cho vật liệu bia là Al. Kết quả cho thấy đỉnh năng lượng tán xạ ghi nhận được là 0.541keV. Kết quả khảo sát trên Al, sự phụ thuộc đỉnh năng lượng tán xạ theo góc tán xạ được trình bày trên hình 5. Mở rộng cho các vật liệu Fe, Cu, Pb, kết quả được tóm tắt như trong bảng 1. So sánh với công thức lý thuyết gamma tán xạ (1), với bố trí hệ đo như hình 3, kết quả cho thấy, độ sai lệch giữa mô phỏng và lý thuyết tính toán dao động trong vùng từ 0% - 3.8%. Hay nói cách khác, việc bố trí hệ đo như trên hình 3 thu được kết quả tốt, phù hợp với lý thuyết tính toán.

Kế đến, chúng tôi khảo sát cường độ gamma tán xạ theo góc. Từ phổ ghi nhận được, chúng tôi xác định số đếm tại vùng đỉnh tán xạ. Kết quả khảo sát cho 4 vật liệu được trình bày như trên hình 6. Với năng lượng gamma tới là 0.662MeV, kết quả cho thấy cường độ gamma tán xạ lớn nhất ở góc tán xạ 30^0 , giảm dần khi góc tán xạ tăng, và nhỏ nhất ở góc 150^0 . Ở góc 90^0 , cường độ tán xạ giảm đi một nửa so với góc 30^0 .



Hình 4 : Phổ năng lượng tán xạ gamma ở góc tán xạ 30^0 đối với bia Al

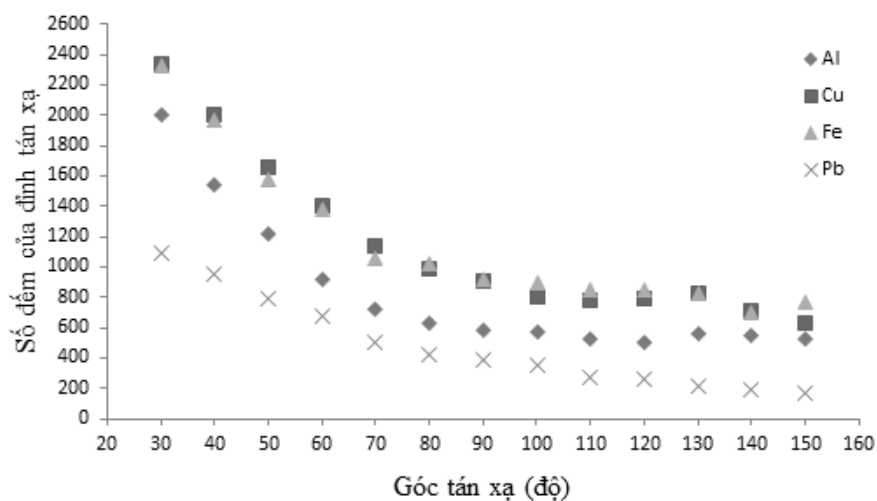


Hình 5: Sự phụ thuộc năng lượng gamma tán xạ vào góc tán xạ của bia Al

Bảng 1 : Bảng so sánh kết quả đỉnh năng lượng gamma tán xạ giữa mô phỏng và lý thuyết tính toán

Góc tán xạ (độ)	Lý thuyết (MeV)	Mô phỏng (MeV)				Độ sai lệch(%)			
		Al	Cu	Fe	Pb	Al	Cu	Fe	Pb
30	0.564	0.541	0.550	0.550	0.557	2.3	1.4	1.4	0.7
40	0.508	0.482	0.495	0.492	0.503	2.6	1.3	1.6	0.5
50	0.443	0.423	0.440	0.439	0.447	2.0	0.3	0.4	0.4
60	0.402	0.382	0.390	0.389	0.395	2.0	1.2	1.3	0.7
70	0.357	0.337	0.346	0.346	0.352	2.0	1.1	1.1	0.5
80	0.320	0.304	0.310	0.309	0.315	1.6	1.0	1.1	0.5
90	0.288	0.276	0.280	0.279	0.285	1.2	0.8	0.9	0.3
100	0.263	0.252	0.256	0.225	0.261	1.1	0.7	3.8	0.2
110	0.242	0.232	0.238	0.237	0.241	1.0	0.4	0.5	0.1
120	0.225	0.221	0.221	0.224	0.230	0.4	0.4	0.1	0.5
130	0.212	0.207	0.209	0.209	0.212	0.5	0.3	0.3	0.0
140	0.201	0.198	0.200	0.200	0.201	0.3	0.1	0.1	0.0

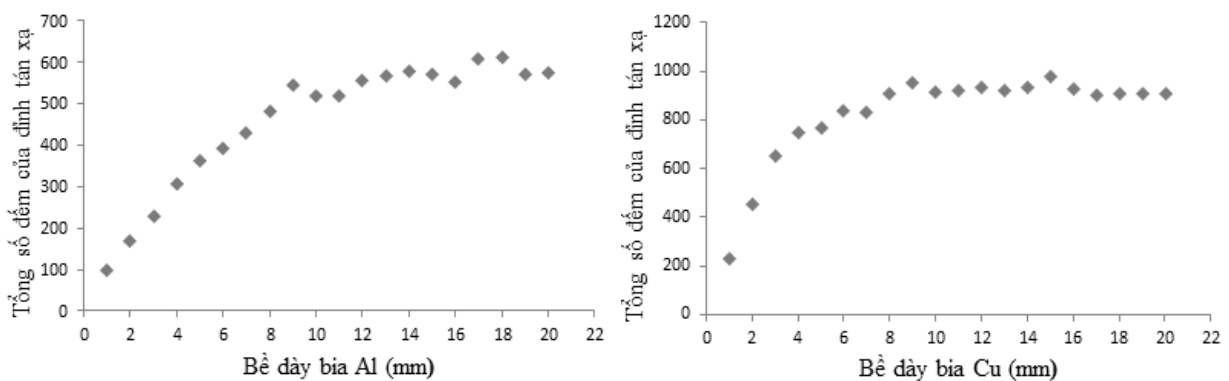
150	0.194	0.192	0.193	0.192	0.194	0.2	0.1	0.2	0.0
-----	-------	-------	-------	-------	-------	-----	-----	-----	-----

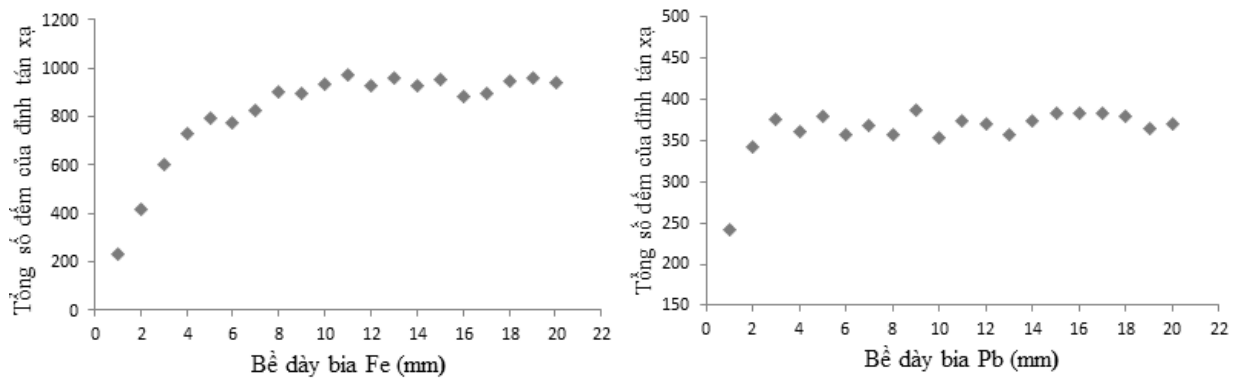


Hình 6: Sự phụ thuộc cường độ gamma tán xạ vào góc tán xạ cho các vật liệu bia Al, Cu, Fe, Pb

2.2 Khảo sát phổ gamma tán xạ theo bề dày vật liệu ở góc 90⁰

Chúng tôi khảo sát gamma tán xạ theo bề dày vật liệu ở góc 90⁰. Việc khảo sát này gần với các thí nghiệm thực tế. Vùng bề dày khảo sát được thực hiện trong mô phỏng từ 1 mm đến 20 mm. Năng lượng gamma tới cũng là 0.662MeV. Hình 7 là kết quả thu được cho các vật liệu bia Al, Fe, Cu, Pb. Kết quả cho thấy cường độ gamma tán xạ tăng theo bề dày bia vật liệu và sau đó đạt trạng thái bão hòa. Đối với vật liệu Al, đỉnh bão hòa đạt được với bề dày từ 10 mm trở đi. Cu và Fe có đỉnh bão hòa tương đương nhau từ 8mm trở đi. Đối với Pb, đỉnh bão hòa đạt trong vùng 3mm trở đi. Với kết quả này, ta có thể kết luận rằng, việc khảo sát theo bề dày cho các vật liệu Al, Cu, Fe, Pb khi năng lượng gamma tới 0.662MeV, thì giới hạn bề dày khảo sát là, đối với Al nhỏ hơn 10mm, Cu và Fe nhỏ hơn 8mm và Pb nhỏ hơn 3mm.





Hình 7: Sự thay đổi của cường độ gamma tán xạ theo bề dày bia Al, Fe, Cu, Pb ở góc tán xạ 90^0 .

3. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, thí nghiệm mô phỏng Monte Carlo phổ gamma tán xạ dùng chương trình GEANT4 đã được trình bày. Thí nghiệm mô phỏng được thực hiện với năng lượng gamma tới là 0.662 MeV (tương đương với năng lượng gamma từ nguồn Cs^{137}). Bia vật liệu khảo sát đặt nghiêng 15^0 so với gamma tới. Detector nhấp nháy NaI(Tl) 3inch x 3inch được sử dụng để ghi nhận bức xạ tán xạ. Chúng tôi khảo sát cho 4 vật liệu gồm Al, Cu, Fe, Pb, và góc tán xạ được khảo sát từ 30^0 đến 150^0 .

Dựa vào phổ ghi nhận được từ detector nhấp nháy NaI(Tl), vị trí đỉnh tán xạ và cường độ gamma tán xạ được xác định. Kết quả cho thấy, trong khảo sát phổ năng lượng theo góc tán xạ θ , độ sai lệch vị trí đỉnh năng lượng giữa kết quả mô phỏng và tính toán lý thuyết (công thức 1) là từ 0% - 3.8%, và cho từng loại vật liệu Al, Fe, Cu, Pb. Hay nói cách khác, việc bố trí hệ đo như trên cho kết quả tốt, phù hợp với lý thuyết tính toán. Đối với kết quả khảo sát sự phụ thuộc theo bề dày vật liệu đối với góc đo 90^0 , đối với các bia Al, Cu, Fe, Pb thì bề dày bão hòa xác định được lần lượt là 10 mm, 8 mm, 8 mm, 3 mm.

Các kết quả đạt được này là bước đầu trong nghiên cứu vật liệu sử dụng phương pháp tán xạ gamma sẽ được triển khai tại BM. Vật lý Hạt nhân, trường ĐH. Khoa học Tự nhiên, ĐHQG – TP HCM.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] L.M.N. Tavora, W.B. Gilboy, "Study of Compton scatteringsignals in single-sided imaging applications using Monte Carlo methods", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B213 (2004) 155–161.
- [2] Glenn F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement", John Wiley & Sons, Inc (2000).
- [3] geant4.cern.ch/support/userdocuments.shtml
- [4] R.A.Schumacher, "Compton Scattering of Gamma Rays", Carnegie Mellon University 2002
- [5] Manpreet Singh, "Gurvinderjit Singh, B.S. Sandhu, Bhajan Singh, Effect of detector collimator and sample thickness on 0.662 MeV multiply Compton-scattered gamma rays", Applied Radiation and Isotopes 64 (2006) 373–378.

STUDY OF GAMMA COMPTON SCATTERING USING GEANT4 SIMULATION FOR SOME MATERIALS

VÕ THỊ HUYỀN TRẦN¹, VÕ HỒNG HẢI², NGUYỄN QUỐC HÙNG²

¹*Faculty of Science - Can Tho University – Can Tho City*

²*Department of Nuclear Physics, Faculty of Physics and Engineering Physics,
University of Science – VNU - HCM*

Email : lns.hcm@gmail.com

Abstract : In this article, we study Compton scattering of gamma rays for several materials such as Al, Cu, Fe and Pb by GEANT4 simulation. Gamma-ray beam of 0.662 MeV is used for the simulation. Scintillation detector NaI(Tl) 3inch×3inch with a Pb collimator of 1cm-diameter is used for scattering-gamma detection. We study the dependence of scattering energy peak versus scattering angle, dependence of scattering gamma intensity versus the material thick and the limitation of material thick. Obtained results will be useful for further experiment study on scattering gamma at Department of Nuclear Physics, Faculty of Physics & Physics Engineering, University of Science-HoChiMinh City.

Keywords: Compton scattering, GEANT4.