

NGHIÊN CỨU ĐÓNG GÓP CỦA THÀNH PHẦN TÁN XẠ NHIỀU LẦN TRONG PHỔ TÁN XẠ COMPTON ĐO BẰNG ĐẦU DÒ NHẤP NHÁY NaI(Tl)

HOÀNG ĐỨC TÂM*, HUỖNH ĐÌNH CHUÔNG**, NGUYỄN THỊ MỸ LÊ***,
VÕ HOÀNG NGUYỄN**, TRẦN THIÊN THANH****, CHÂU VĂN TẠO*****

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sẽ tính toán lượng đóng góp của tán xạ nhiều lần trong phổ tán xạ đối với chùm photon năng lượng 662keV tán xạ trên bia thép C45 ở góc tán xạ 120°. Để đánh giá sự ảnh hưởng của đường kính ống chuẩn trực đầu dò trong việc hạn chế số sự kiện tán xạ nhiều lần, chúng tôi sử dụng các ống chuẩn trực có đường kính kích thước 3,0cm và 9,5cm. Kết quả nghiên cứu cho thấy lượng đóng góp của tán xạ nhiều lần là đáng kể đặc biệt ở các bia có độ dày lớn. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng chỉ ra rằng việc sử dụng ống chuẩn trực đầu dò có kích thước nhỏ hơn không làm tăng đáng kể tỉ số tín hiệu trên nhiễu. Kết quả nghiên cứu này là cơ sở để chúng tôi đưa ra những phương pháp phân tích phù hợp cho việc phân tích phổ tán xạ.

Từ khóa: tán xạ nhiều lần, NaI(Tl), Compton.

ABSTRACT

A study on multiple scattering component in compton profile determined by NaI(Tl) scintillator

In this study, the contribution of multiple scattering component in Compton profile was determined when the photon beam of 662 keV were scattered on C45 steel target at scattering angle of 120°. The effect of diameter of detector collimator to reduce the multiple scattering component was also studied with detector collimator of 3.0cm and 9.5 cm in diameters. The results showed that the contribution of multiple scattering component is considerable, especially with thick targets. In addition, the study also showed that the use of detector collimator of smaller diameter had not significant increased the ratio of signal to noise. This study is the basic to make appropriate methods for analyzing scattering spectrum.

Keywords: Multiple scattering, NaI(Tl), Compton.

1. Giới thiệu

Hiện nay, đầu dò nhấp nháy NaI(Tl) được sử dụng nhiều trong các ứng dụng như đo độ dày vật liệu [5], dò tìm sự lắng đọng của paraffin bên trong đường ống [7]... do loại đầu dò này có có nhiều ưu điểm như hiệu suất dò cao, chế độ vận hành đơn giản khi chỉ cần kết nối với máy tính qua giao thức USB và đặc biệt không cần làm lạnh khi hoạt động. Tuy nhiên, nhược điểm của đầu dò NaI(Tl) là độ phân giải kém khi so sánh

* TS, Trường Đại học Sư phạm TPHCM; Email: hoangductam@hcmup.edu.vn

** ThS, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG TPHCM

*** CN, Trường Đại học Sư phạm TPHCM

**** TS, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG TPHCM

***** PGS TS, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG TPHCM

với đầu dò bán dẫn HPGe. Do đó, phổ tán xạ Compton khi ghi nhận bằng loại đầu dò này thường là sự chồng chập giữa các thành phần tán xạ một lần và tán xạ nhiều lần, điều này gây khó khăn cho việc xử lý phổ để trích xuất thông tin cần thiết [1]. Thông thường, tán xạ một lần là thông tin được quan tâm, trong khi đó tán xạ nhiều lần được xem như nhiễu làm giảm độ chính xác của kết quả. Do vậy, cần phải có nghiên cứu thực nghiệm về sự đóng góp của thành phần này nhằm loại bỏ chúng trong phổ tán xạ.

Đã có nhiều nghiên cứu về vấn đề tán xạ nhiều lần và cách hạn chế ảnh hưởng của nó. Giải pháp mang tính kỹ thuật mà Priyada và cộng sự [8] đã thực hiện để hạn chế tán xạ nhiều lần bằng cách sử dụng ống chuẩn trực đầu dò nhỏ đồng thời sử dụng đầu dò HPGe với độ phân giải tốt để ghi nhận phổ tán xạ đóng góp chủ yếu của thành phần tán xạ một lần. Ưu điểm của phương pháp này là thu nhận thông tin cần thiết (phổ tán xạ một lần) một cách trực tiếp nhưng chỉ thực hiện được với các nguồn có hoạt độ lên đến vài Ci. Một giải pháp khác mà Singh và cộng sự [9] đã tiến hành là tính toán sự đóng góp của thành phần tán xạ nhiều lần dựa trên việc tái tạo phổ tán xạ một lần bằng phương pháp giải tích. Khi đó phổ tán xạ nhiều lần thu được bằng cách trừ phổ tán xạ tổng với phổ tán xạ một lần.

Trong nghiên cứu này, một phương pháp xử lý phổ dựa trên sự kết hợp giữa phương pháp xử lý phổ cải tiến [5] cùng với phương pháp của Singh [9] được đưa ra để xác định thành phần tán xạ nhiều lần trong phổ tán xạ Compton. Ưu điểm của phương pháp kết hợp này là có thể xác định được đỉnh phân bố Gauss (đóng góp chủ yếu bởi tán xạ một lần) một cách dễ dàng dựa trên việc làm khớp bình phương tối thiểu sử dụng chương trình Colegram [6]. Đồng thời, các phép đo tán xạ được tiến hành để đánh giá sự đóng góp của tán xạ nhiều lần trong phổ thực nghiệm đối với các bề dày bia và ống chuẩn trực đầu dò đường kính khác nhau.

2. Phương pháp và thực nghiệm

2.1. Phương pháp

Nghiên cứu lý thuyết của Fernández [3] đã chỉ ra rằng trong phổ tán xạ Compton ngoài thành phần tán xạ một lần còn đó đóng góp của thành phần tán xạ nhiều lần. Lượng đóng góp này phụ thuộc vào năng lượng chùm photon tới, loại vật liệu và cách bố trí thí nghiệm.

Để tính được lượng đóng góp của số sự kiện tán xạ nhiều lần, phương pháp được Singh và cộng sự [9] sử dụng là tính toán phổ phân bố tạo ra do các sự kiện tán xạ một lần. Từ đó, số sự kiện tán xạ nhiều lần thu được bằng cách lấy phổ tổng trừ đi phổ tán xạ một lần.

Số photon tán xạ một lần trên bia có độ dày X_0 tương ứng với năng lượng E đi đến đầu dò được xác định [9]:

$$n(E) = \frac{C}{X_0} \int_0^{X_0} n_e e^{-\mu_i x} \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{\theta_i} e^{-\mu_i x_i} d\Omega dx \quad (1)$$

ở đây: C là thông lượng photon tới; X_0 là độ dày bia; n_e là số electron/cm³; x_i là quãng

đường photon đi từ điểm tán xạ đến khi ra khỏi bia; μ_i và μ_t hệ số suy giảm toàn phần của photon khi đi vào và đi ra khỏi vật liệu tương ứng với năng lượng E_0 và E , với E_0 và E có mối quan hệ:

$$E = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{m_0 c^2} (1 - \cos \theta)} \quad (2)$$

với E_0 là năng lượng của chùm photon tới, E là năng lượng của chùm photon tán xạ tại góc tán xạ θ .

Trong các ứng dụng của kỹ thuật gamma tán xạ như xác định độ dày vật liệu [5], xác định vị trí ăn mòn [8], thông tin cần xác định để phục vụ cho nghiên cứu là phổ phân bố của tán xạ một lần (được xem như là tín hiệu). Tuy nhiên, trong phép đo thực tế thì phổ tán xạ ghi nhận được của đầu dò, có cả số sự kiện đóng góp của tán xạ nhiều lần (được xem như là nhiễu) và do đó phân bố phổ thu được có cả sự chồng chập của tán xạ một lần và nhiều lần. Một phép đo càng chính xác yêu cầu tỉ số tín hiệu trên nhiễu (S/N) càng lớn càng tốt. Do vậy, vấn đề quan trọng cần đánh giá được lượng đóng góp của thành phần tán xạ nhiều lần để có phương án xử lý phổ phù hợp hoặc hạn chế lượng đóng góp của loại tán xạ này.

Để tính toán lượng đóng góp này, chúng tôi thực hiện như sau: Đầu tiên, trong phổ tán xạ thu được, chúng tôi sẽ làm khớp đỉnh phổ tạo ra do đóng góp chủ yếu của tán xạ một lần bằng hàm khớp dạng Gauss sử dụng phương pháp xử lý phổ cải tiến [5]. Sau đó, số sự kiện tán xạ một lần được xác định bằng cách lấy diện tích đỉnh Gauss từ quá trình làm khớp ở trên chia cho tỉ số đỉnh trên tổng (P/T). Số sự kiện bắt nguồn từ tán xạ nhiều lần thu được bằng cách lấy phổ tổng trừ đi phổ tán xạ một lần.

Để xác định tỉ số P/T, phổ phân bố độ cao xung khi ghi nhận photon năng lượng 224,9 keV được mô phỏng bằng phương pháp Monte Carlo sử dụng chương trình MCNP5 [10]. Giá trị năng lượng 224,9 keV được chọn vì đây là năng lượng của chùm photon tán xạ ở góc 120° như bố trí thí nghiệm trong nghiên cứu này. Tỉ số P/T phụ thuộc vào năng lượng của chùm photon tới, loại đầu dò sử dụng và cách bố trí thí nghiệm.

Với việc sử dụng Tally F8, đầu ra của chương trình mô phỏng là phổ phân bố độ cao xung. Để phổ thu được có dạng giống phổ thực nghiệm, chúng tôi sử dụng thẻ FT8 với hàm bề rộng một nửa (FWHM) của đầu dò nhấp nháy NaI(Tl) có dạng [2]:

$$FWHM = a + b\sqrt{E + cE^2} \quad (3)$$

với $a = -0,0137257$ MeV; $b = 0,0739501$ MeV^{1/2} và $c = -0,152982$ MeV⁻¹ [4]

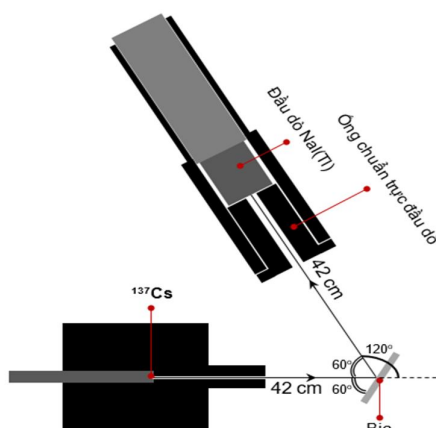
Để phổ phân bố độ cao xung thu được đảm bảo về mặt thống kê, số lịch sử hạt là 1.10^9 hạt được đưa vào tính.

2.2. Bố trí thực nghiệm

Đầu dò nhấp nháy với tinh thể NaI(Tl) dạng hình trụ có kích thước 7,6 cm × 7,6 cm của hãng Amptek (Mỹ) được sử dụng trong thí nghiệm. Dải đo được cài đặt tại 8192

kênh. Nguồn ^{137}Cs có hoạt độ 5 mCi được đặt trong khối chì dạng trụ. Ống chuẩn trực nguồn có đường kính 1cm.

Để đánh giá sự đóng góp của tán xạ nhiều lần, chúng tôi sử dụng hai loại ống chuẩn trực đầu dò có đường kính 3,0 cm và 9,5 cm. Bố trí thí nghiệm được trình bày trong Hình 1. Với bố trí này, chùm photon sau khi đi ra khỏi nguồn tán xạ trên bia đến đầu dò có năng lượng 224,9 keV.

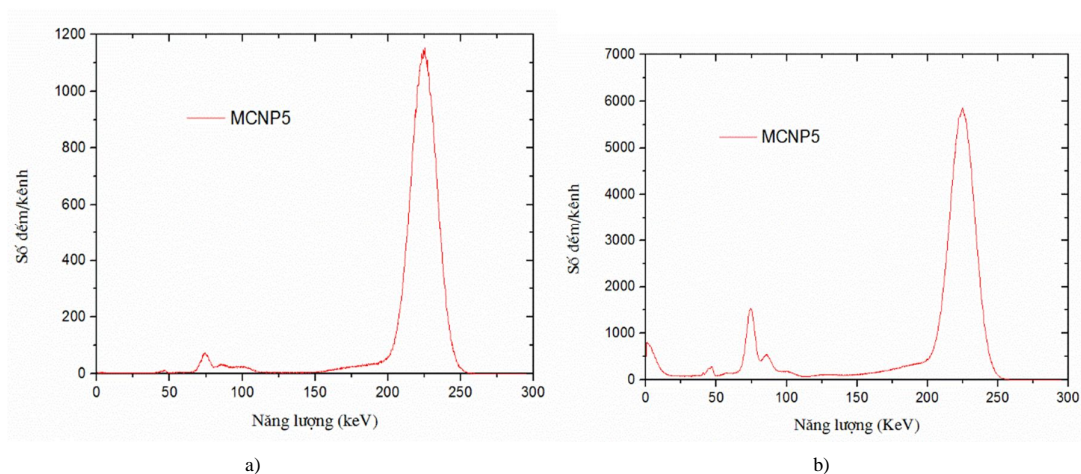


Hình 1. Bố trí thí nghiệm đo tán xạ nhiều lần với trường hợp ống chuẩn trực đầu dò có đường kính 3,0 cm

3. Kết quả

3.1. Tỷ số P/T

Để tính tỷ số P/T, chúng tôi tiến hành mô phỏng Monte Carlo với nguồn có năng lượng 224,9 keV đặt tại vị trí bia như trong bố trí thí nghiệm đo phổ tán xạ. Phổ mô phỏng thu được cho hai trường hợp ống chuẩn trực có đường kính 3,0cm và 9,5cm được trình bày như trong Hình 2



Hình 2. Phổ mô phỏng Monte Carlo đỉnh năng lượng toàn phần 224,9 keV với ống chuẩn trực đầu dò có đường kính a) 3,0cm và b) 9,5cm

Tỉ số P/T được xác định dựa trên việc xử lí dữ liệu từ các phổ mô phỏng này sử dụng chương trình Colegram [6]. Kết quả được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số của phổ thu được từ mô phỏng MCNP5

| | Ống chuẩn trực đường kính 9,5cm | Ống chuẩn trực đường kính 3,0cm |
|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Năng lượng đỉnh quang điện (keV) | 224,5 | 224,5 |
| FWHM (keV) | 21,5 | 21,3 |
| Tỉ số P/T | 0,8429 | 0,9253 |

Từ Bảng 1 có thể thấy rằng năng lượng đỉnh quang điện và FWHM gần như không thay đổi đối với đường kính ống chuẩn trực đầu dò, tuy nhiên tỉ số P/T lại có sự thay đổi rất lớn. Điều này hoàn toàn hợp lí vì tỉ số P/T phụ thuộc vào góc khối nhìn đầu dò và tất nhiên chúng khác nhau trong trường hợp đường kính ống chuẩn trực đầu dò khác nhau.

3.2. Kết quả tính toán lượng đóng góp của thành phần tán xạ nhiều lần trong phổ tán xạ Compton

Kết quả xác định số đếm tán xạ một lần, số đếm và tỉ lệ đóng góp của tán xạ nhiều lần (với thời gian ghi nhận được chuẩn về 1 giờ) trong phổ tán xạ Compton ghi nhận được với các bề dày bia thép khác nhau cho hai trường hợp ống chuẩn trực đầu dò 3,0 cm và 9,5 cm được trình bày lần lượt trong Bảng 2 và Bảng 3.

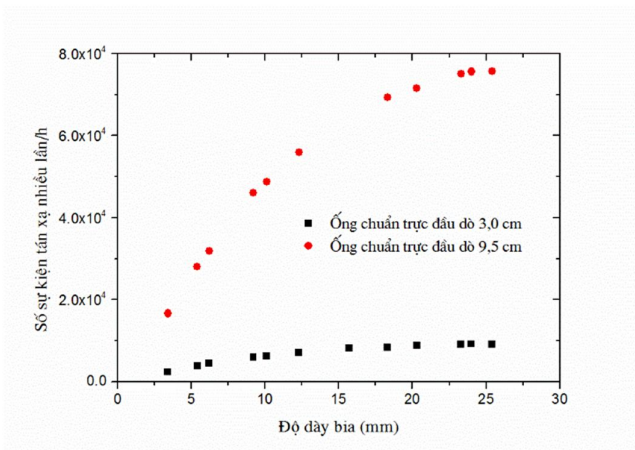
Bảng 2. Số liệu của tán xạ một lần và tán xạ nhiều lần trong phổ tán xạ Compton với ống chuẩn trực đầu dò có đường kính 3,0 cm

| Độ dày vật liệu (mm) | Số sự kiện tán xạ một lần | Số sự kiện tán xạ nhiều lần | Tỉ lệ (%) đóng góp của tán xạ nhiều lần trong phổ |
|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|---|
| 3,4 | 2039 | 2336 | 53,4 |
| 5,4 | 2899 | 3856 | 57,1 |
| 6,2 | 3053 | 4510 | 59,6 |
| 9,2 | 3784 | 5908 | 61,0 |
| 10,1 | 3854 | 6232 | 61,8 |
| 12,3 | 3982 | 7043 | 63,9 |
| 15,7 | 4209 | 8148 | 65,9 |
| 18,3 | 4077 | 8287 | 67,0 |
| 20,3 | 4166 | 8777 | 67,8 |
| 23,3 | 4323 | 9059 | 67,7 |
| 24,0 | 4286 | 9200 | 68,2 |
| 25,4 | 4268 | 9100 | 68,1 |

Bảng 3. Số liệu của tán xạ một lần và tán xạ nhiều lần trong phổ tán xạ Compton với ống chuẩn trực đầu dò có đường kính 9,5cm

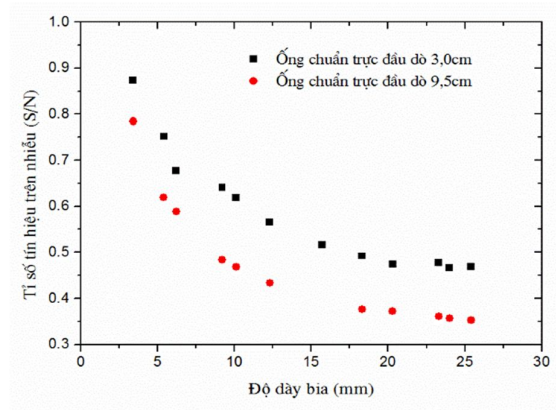
| Độ dày vật liệu (mm) | Số sự kiện tán xạ một lần | Số sự kiện tán xạ nhiều lần | Tỉ lệ (%) đóng góp của tán xạ nhiều lần trong phổ |
|----------------------|---------------------------|-----------------------------|---|
| 3,4 | 13035 | 16616 | 56,0 |
| 5,4 | 17349 | 28024 | 61,8 |
| 6,2 | 18733 | 31821 | 62,9 |
| 9,2 | 22274 | 46054 | 67,4 |
| 10,1 | 22796 | 48734 | 68,1 |
| 12,3 | 24291 | 55982 | 69,7 |
| 18,3 | 26104 | 69289 | 72,6 |
| 20,3 | 26648 | 71594 | 72,9 |
| 23,3 | 27142 | 75120 | 73,5 |
| 24,0 | 27021 | 75639 | 73,7 |
| 25,4 | 26701 | 75647 | 73,9 |

Sự phụ thuộc của tán xạ nhiều lần vào độ dày của bia được thể hiện ở Hình 3. Từ đồ thị trên hình 3 cho thấy rằng, với cùng thời gian đo, số sự kiện tán xạ nhiều lần giảm đáng kể khi dùng ống chuẩn trực đầu dò có đường kính 3,0cm so sánh với ống chuẩn trực đầu dò có đường kính 9,5cm. Tuy nhiên, vấn đề ở đây là số sự kiện tán xạ một lần cũng giảm theo đáng kể (Bảng 2 và 3) do vậy vấn đề giảm tán xạ nhiều lần trong trường hợp này không mang ý làm tăng tính thống kê của phép đo. Thực vậy, có thể thấy từ bảng 2 và 3 rằng tỉ lệ đóng góp của tán xạ nhiều lần trong phổ trong hai trường hợp ống chuẩn trực đầu dò có đường kính 3,0cm giảm rất ít, tối đa 6% ở tất cả các bề dày khảo sát khi so sánh với ống chuẩn trực có đường kính 9,5cm.



Hình 3. So sánh đóng góp của trong phổ với ống chuẩn trực đầu dò có kích thước 3,0 cm và 9,5 cm

Đồ thị trên Hình 4 chỉ ra tỉ số tín hiệu trên nhiễu giảm khi độ dày của vật liệu tăng lên, điều này cũng có nghĩa rằng số sự kiện tán xạ nhiều lần tăng khi tăng độ dày vật liệu. Do vậy, để hạn chế tán xạ nhiều lần, cần sử dụng bia với độ dày mỏng hơn.



Hình 4. Tỉ số tín hiệu trên nhiễu (S/N) đối với các ống chuẩn trực đầu dò có kích thước khác nhau

4. Kết luận

Bài báo này đã đưa ra được phương pháp xử lý phổ kết hợp để tính toán lượng đóng góp của tán xạ nhiều lần trong phổ tán xạ khi đo bằng đầu dò nhấp nháy NaI(Tl). Theo đó, tỉ lệ đóng góp của tán xạ nhiều lần trong hai trường hợp khảo sát (với các ống chuẩn trực đầu dò có đường kính 3,0cm và 9,5cm) thay đổi theo độ dày bia và lên đến 68,1% đối với ống chuẩn trực 3,0cm và 73,9% đối với ống chuẩn trực 9,5cm. Với hai kích thước đầu dò mà chúng tôi đã khảo sát, có thể thấy rằng đối với đầu dò nhấp nháy việc sử dụng ống chuẩn trực nhỏ không làm tăng tính thống kê của số đếm. Tuy nhiên đây là nhận định ban đầu, cần phải khảo sát thêm nhiều đường kính ống chuẩn trực nữa để đi đến kết luận tin cậy. Cũng cần nói thêm rằng, cách tốt nhất để hạn chế tán xạ nhiều lần là đặt cửa sổ năng lượng quanh đỉnh tán xạ đủ nhỏ để loại bỏ thành phần này. Tuy nhiên, cách làm này chỉ phù hợp với đầu dò có độ phân giải tốt, cụ thể là HPGe, còn với loại đầu dò NaI(Tl) do thăng giáng năng lượng quanh đỉnh tán xạ lớn nên cách làm này không khả thi. Giải pháp cần thiết là sử dụng kĩ thuật phân tích phổ phù hợp.

Ghi chú: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Sư phạm TPHCM qua Đề tài với mã số CS2015.19.64.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Abd, A.E. (2014), “Intercomparison of gamma ray scattering and transmission techniques for gas volume fraction measurements in two phase pipe flow”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **735**, 260 – 266.
2. Baccouche, S., Al-Azmi, D., Karunakara, N., & Trabelsi, A. (2012), “Application of the Monte Carlo method for the efficiency calibration of CsI and NaI detectors for gamma-ray measurements from terrestrial samples”. *Applied Radiation and Isotope* **70**, 227–232.
3. Fernández, J.E. (1991), “Compton and Rayleigh double scattering of unpolarized radiation”, *Physical Review A* **44**, 4232 – 4248.
4. Hoang Duc Tam, Huynh Dinh Chuong, Tran Thien Thanh, Chau Van Tao (2016), "A study of the effect of Al₂O₃ reflector on response function of NaI(Tl) detector", *Radiation Physics and Chemistry* **125**, 88 - 93.
5. Hoang Duc Tam, Huynh Dinh Chuong, Tran Thien Thanh, Vo Hoang Nguyen, Hoang Thi Kieu Trang, Chau Van Tao (2015), “Advanced gamma spectrum processing technique applied to the analysis of scattering spectra for determining material thickness”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **303**, 693 – 699.
6. Lépy, M.C. (2004), “Presentation of the COLEGRAM software”, Note technique Laboratoire National Henri Becquerel/04/26.
7. Lopes, R.T., Valente, C.M., De Jesus, E.F.O., & Camerini, C.S. (1997), “Detection of paraffin deposition inside draining tubulation by the Compton scattering technique”, *Applied Radiation and Isotopes* **48**, 1443 – 1450.
8. Priyada, P., Margret, M., Ramar, R., Shivaramu, Menaka, M., Thilagam, L., Venkataraman, B., & Raj, B. (2011), “Intercomparison of gamma scattering, gammatography, and radiography techniques for mild steel nonuniform corrosion detection”, *Review of Scientific Instruments* **82**, 035115.
9. Singh, M., Singh, G., Singh, B., & Sandhu, B. S. (2006), “Energy and intensity distributions of multiple Compton scattering of 0.279-, 0.662-, and 1.12-MeV γ rays”, *Physical Review A* **74**, 042714
10. X-5 Monte Carlo Team, 2003. MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, Volume I: Overview and Theory, LA-UR-03-1987. Los Alamos National Laboratory.

(Ngày Tòa soạn nhận được bài: 19-7-2016; ngày phản biện đánh giá: 20-8-2016;
ngày chấp nhận đăng: 13-9-2016)