

KHẢO SÁT PHỔ GAMMA TÁN XẠ CỦA CHÙM PHOTON PHÁT RA TỪ NGUỒN ^{65}Zn SỬ DỤNG CHƯƠNG TRÌNH MCNP5

NGUYỄN THỊ MỸ LỆ*, HOÀNG ĐỨC TÂM**,
HUỠNH ĐÌNH CHƯƠng***, TRẦN THIỆN THANH****, CHÂU VĂN TẠO*****

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung vào việc tách thành phần tán xạ nhiều lần ra khỏi phổ tán xạ của chùm photon phát ra từ nguồn ^{65}Zn . Kết quả nghiên cứu cho thấy, có thể tách thành phần tán xạ nhiều lần ra khỏi phổ tán xạ bằng kỹ thuật xử lý phổ tán xạ cải tiến nhằm tính toán độ dày vật liệu với độ lệch tương đối lớn nhất của bề dày tính được so với bề dày thực tế là 5,2%. Kết quả nghiên cứu cũng xác định được bề dày bão hòa của sắt trong bố trí thí nghiệm là 2,54cm.

Từ khóa: Monte Carlo, tán xạ, bề dày, NaI(Tl), ^{65}Zn .

ABSTRACT

An investigation of the gamma scattering spectrum of ^{65}zn radioactive source by MCNP5 code

This study has focused on splitting the multiple scattering component from the scattering spectrum of ^{65}Zn radioactive source. The results showed that the component of multiple scattering can be splitted from the scattering spectrum by using the advanced gamma spectrum processing technique. From the obtained results, determined thicknesses of material plates yields the maximum deviation of nominated and calculated values of 5.2%. In addition, the saturation thickness of Fe material is 2.54 cm.

Keywords: Monte Carlo, scattering, thickness, NaI(Tl), ^{65}Zn .

1. Giới thiệu

Kỹ thuật gamma tán xạ được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng của kỹ thuật NDT. Ưu điểm của kỹ thuật này so với kỹ thuật gamma truyền qua là chỉ cần tiếp cận đối tượng đo từ một phía. Nghiên cứu [7] đã cho thấy rằng, độ chính xác của kỹ thuật gamma tán xạ so với các kỹ thuật chụp ảnh gamma, chụp ảnh tia X là tương đương. Đây cũng là một trong những lý do làm cho kỹ thuật này ngày càng được ứng dụng rộng rãi [1], [6], [3].

Nghiên cứu của Kiran và cộng sự [4] đã sử dụng nguồn ^{65}Zn để xác định bề dày

* CN, Trường Đại học Sư phạm TP HCM

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

*** ThS, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG TP HCM

**** TS, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG TP HCM

***** PGS TS, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG TP HCM

bão hòa của vật liệu nhôm dựa trên việc phân tích thành phần tán xạ nhiều lần. Tuy nhiên, khi đo phổ tán xạ sử dụng nguồn ^{65}Zn , hai đỉnh tán xạ của chùm photon năng lượng 511 keV và 1115,539 keV xuất hiện khá rõ trong phổ tán xạ làm cho việc xử lý phổ càng trở nên khó khăn. Trong nghiên cứu trước đây [3], chúng tôi đã đưa ra kỹ thuật xử lý phổ cải tiến để phân tích phổ tán xạ của chùm photon năng lượng 662 keV phát ra từ nguồn ^{137}Cs . Nguồn này có thể xem như nguồn gamma đơn năng, do vậy trong phổ tán xạ thu được chỉ có đỉnh tán xạ một lần của chùm photon năng lượng 662 keV. Tuy nhiên, với nguồn phóng xạ ^{65}Zn , do có hai đỉnh năng lượng nên việc xử lý phổ tán xạ cần phải được đánh giá lại khi áp dụng kỹ thuật phân tích phổ cải tiến được trình bày trong nghiên cứu. [3]

Trong nghiên cứu này, phổ tán xạ của chùm photon phát ra từ nguồn ^{65}Zn sẽ được mô phỏng bằng phương pháp Monte Carlo sử dụng chương trình MCNP5. Từ phổ mô phỏng này, chúng tôi sẽ nghiên cứu phương pháp xử lý phổ phù hợp để tách thành phần tán xạ một lần nhằm tính toán độ dày của vật liệu. Việc đánh giá độ chính xác của kỹ thuật phân tích phổ dựa trên độ dày tính toán của vật liệu so với độ dày thực tế.

2. Cơ sở lý thuyết

Năng lượng photon tán xạ một lần phụ thuộc vào năng lượng photon tới E_0 và góc tán xạ θ theo biểu thức sau:

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

trong đó, $mc^2 = 511\text{keV}$ là khối lượng nghỉ của electron.

Bề dày của vật liệu được xác định theo công thức [3] :

$$T' = \frac{1}{a} \ln \left(1 / \left(1 - \frac{N'}{N} (1 - \exp(-aT)) \right) \right) \quad (2)$$

trong đó: N' , N lần lượt là diện tích đỉnh tán xạ đơn ứng với các vật liệu có độ dày T' , T .

$$a = \left(\frac{\mu(E_0)}{\rho} \frac{1}{\cos\theta_1} + \frac{\mu(E)}{\rho} \frac{1}{\cos\theta_2} \right) \rho \quad (3)$$

$\mu(E_0)$ và $\mu(E)$ là hệ số suy giảm khối toàn phần tương ứng với năng lượng E_0 và E được xác định bằng chương trình XCOM [5].

Sai số của T' được tính:

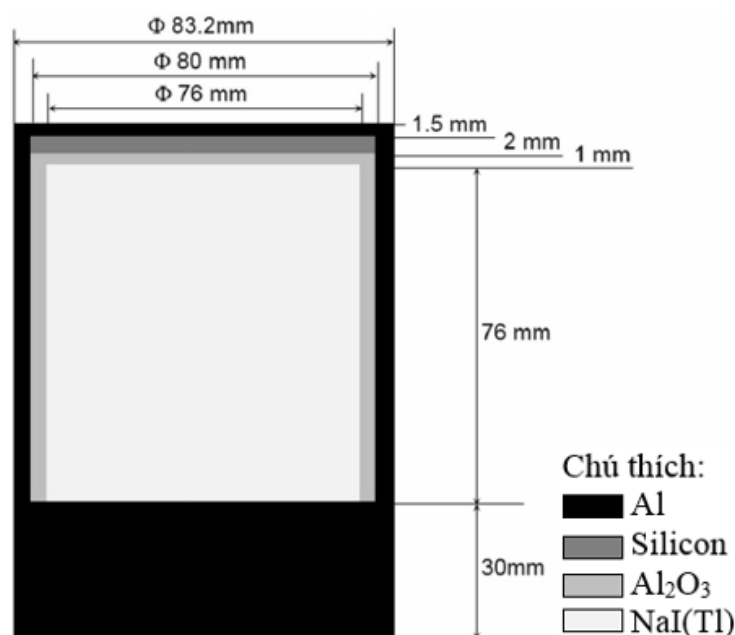
$$\sigma_{T'} = \frac{1 - \exp(-aT)}{aN \left[1 - \frac{N'}{N} (1 - \exp(-aT)) \right]} \sqrt{\sigma_{N'}^2 + \left(\frac{N'}{N} \right)^2 \sigma_N^2} \quad (4)$$

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng chương trình MCNP5 để mô phỏng phổ tán xạ từ chùm photon phát ra từ nguồn phóng xạ ^{65}Zn nhằm xác định độ dày của vật liệu.

3. Mô phỏng Monte Carlo

Trong mô hình mô phỏng đầu dò được bố trí để ghi nhận chùm photon tán xạ ở góc 120° , phổ ghi nhận sẽ bao gồm các sự kiện tán xạ một lần và tán xạ nhiều lần.

Để tạo cơ sở cho việc bố trí đo đạc thực nghiệm từ hệ thống thiết bị trong phòng thí nghiệm, mô hình mô phỏng sử dụng đầu dò NaI(Tl) được xây dựng dựa trên đầu dò NaI(Tl) của hãng Amptek, Inc. Chúng tôi sử dụng các thông số được cung cấp từ nhà sản xuất để mô phỏng đầu dò NaI(Tl). Chi tiết đầu dò NaI(Tl) được trình bày trong hình 2. Khối lượng riêng của Al, silicon, Al_2O_3 , NaI(Tl) lần lượt là 2,699, 2,329, 3,970 và 3,667 g/cm^3 . Ống nhân quang điện được thay thế bằng đĩa nhôm dạng hình trụ đặc với đường kính 83,4mm và độ dày 30mm. [8]

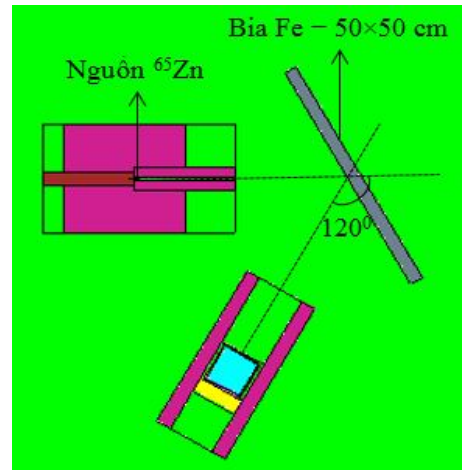


Hình 1. Các thông số đầu dò NaI(Tl) sử dụng trong mô phỏng

Trong phổ thực nghiệm, dữ liệu thu được có dạng phân bố Gauss ứng với các đỉnh năng lượng. Tuy nhiên chương trình MCNP5 không mô phỏng các hiệu ứng vật lý dẫn đến sự giãn nở phổ. Do đó, bằng cách cung cấp cho tệp dữ liệu đầu vào thẻ “FT8 GEB” sẽ làm cho phổ mô phỏng thu được phù hợp với phổ thực nghiệm. Hàm bề rộng một nửa (FWHM) được mô tả bằng biểu thức sau [3]:

$$\text{FWHM}(\text{MeV}) = a + b\sqrt{E} + cE^2 \quad (5)$$

trong đó, E là năng lượng photon tán xạ (MeV), a , b và c [3] là các thông số thu được từ việc khớp hàm. Trong mỗi mô phỏng, số lịch sử hạt được giữ không đổi là 6.10^9 để đảm bảo sai số của phổ phân bố độ cao xung (PHS) về mặt thống kê là dưới 1%.

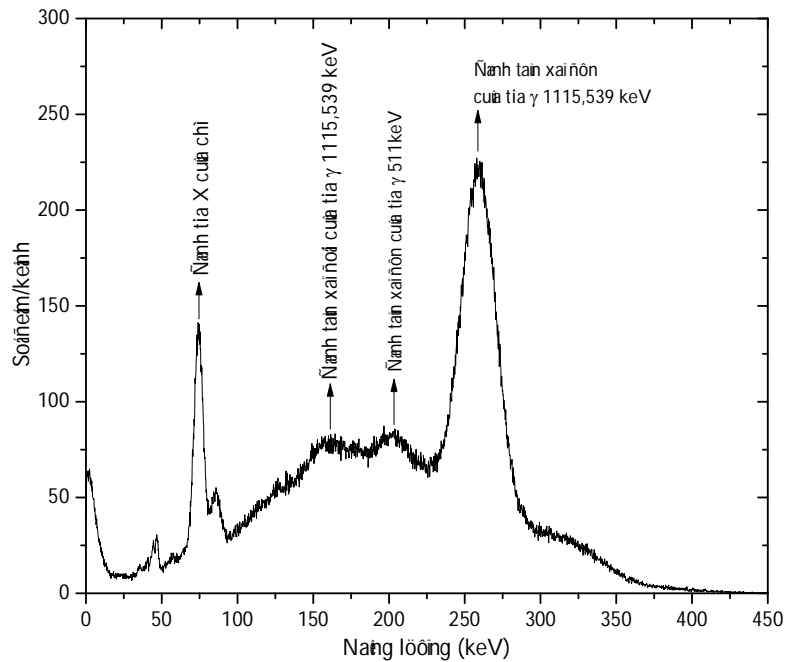


Hình 2. Mô hình hệ đo gamma tán xạ ngược được xây dựng bằng chương trình MCNP5

Bia sử dụng trong mô phỏng là các tấm thép phẳng hình vuông kích thước 50 x 50 cm và có các độ dày khác nhau. Thành phần của bia được lấy theo chuẩn [2].

4. Kết quả

4.1. Các đặc trưng của phổ tán xạ

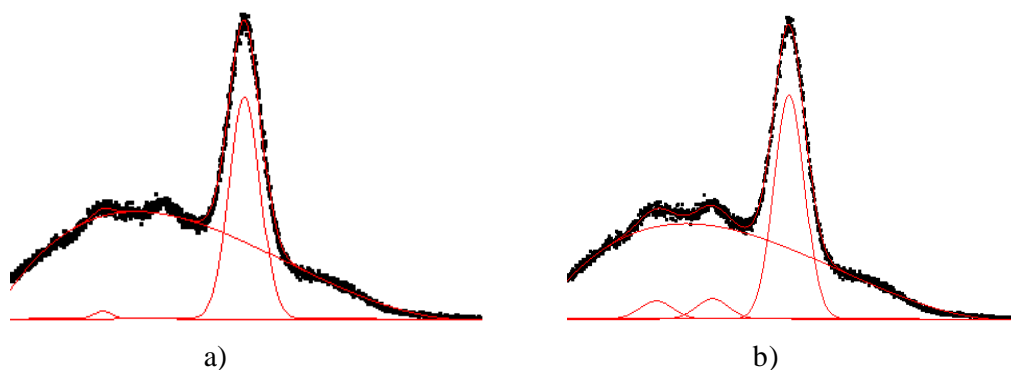


Hình 3. Phổ tán xạ trên bia Fe bề dày 2,03cm

Phổ mô phỏng của chùm photon phát ra từ nguồn ^{65}Zn tán xạ trên bia vật liệu Fe được trình bày trong hình 3. Trong phổ này ngoài đỉnh tán xạ một lần và hai lần của chùm photon năng lượng 1115,539 keV, còn có sự xuất hiện của một đỉnh tán xạ nằm giữa đỉnh tán xạ đơn và đỉnh tán xạ đôi của chùm photon năng lượng 1115,539 keV. Chúng tôi cho rằng đỉnh này chính là đỉnh tán xạ một lần của chùm photon năng lượng 511 keV.

Để phân tích phổ tán xạ, chúng tôi sử dụng hai phương án như sau:

- Phương án 1: Đỉnh tán xạ đơn của photon năng lượng 1115,539 keV được khớp bằng hàm phân bố Gauss. Đỉnh tán xạ đơn của photon năng lượng 511 keV và đỉnh tán xạ đôi của photon năng lượng 1115,539 xem như bị chồng chập do đó cả hai đỉnh này được khớp bằng một hàm phân bố Gauss. Nền tán xạ nhiều lần được khớp bằng hàm phân bố đa thức (Hình 4a).
- Phương án 2: Đỉnh tán xạ đơn của photon năng lượng 1115,539 keV được khớp bằng hàm phân bố Gauss. Đỉnh tán xạ đơn của photon năng lượng 511 keV và đỉnh tán xạ đôi của photon năng lượng 1115,539 xem như hai đỉnh riêng biệt do đó cả hai đỉnh này được khớp bằng hai hàm phân bố Gauss. Nền tán xạ nhiều lần được khớp bằng hàm phân bố đa thức (Hình 4b).



Hình 4. Phổ tán xạ của chùm photon phát ra từ nguồn ^{65}Zn được xử lý theo a) phương án 1 và b) phương án 2

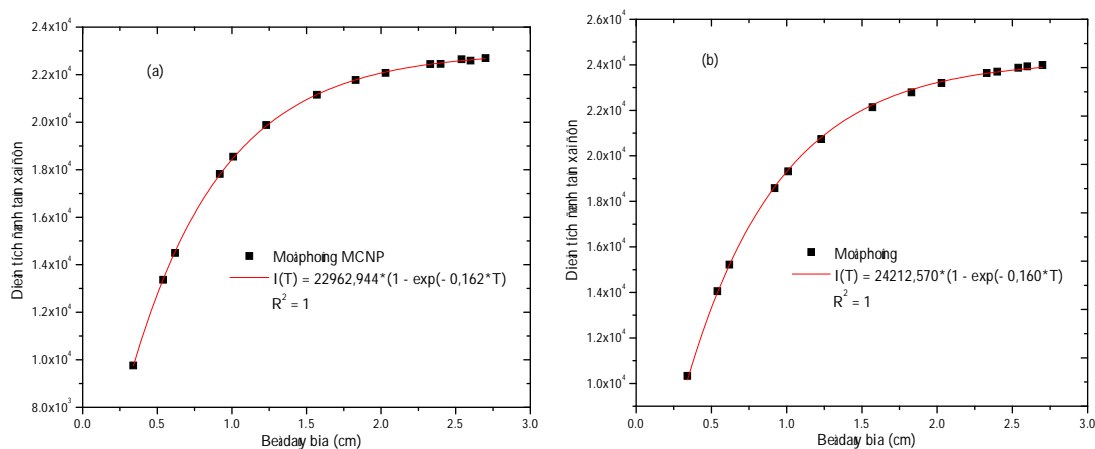
Kết quả phân tích phổ để tính toán năng lượng đỉnh tán xạ một lần đối với đỉnh năng lượng 511 keV và 1115,539 keV được trình bày trong bảng 1 và 2.

Bảng 1. So sánh giá trị năng lượng photon tán xạ một lần ứng với bức xạ gamma năng lượng 511keV từ nguồn ^{65}Zn

Bề dày thực của bia (cm)	Lí thuyết (a)	Mô phỏng (b)	$RD(\%) = \frac{ a-b }{a} \times 100$
0,34	204,4	205,7	0,6
0,54	204,4	205,1	0,3
0,62	204,4	204,8	0,2

0,92	204,4	204,0	0,2
1,01	204,4	203,7	0,3
1,23	204,4	203,4	0,5
1,57	204,4	203,0	0,7
1,83	204,4	202,7	0,8
2,03	204,4	202,6	0,9
2,33	204,4	202,4	1,0
2,40	204,4	202,4	1,0
2,54	204,4	202,3	1,0
2,60	204,4	202,3	1,0
2,70	204,4	202,2	1,1

Kết quả từ bảng 1 cho thấy rằng, độ lệch tương đối giữa năng lượng photon tán xạ đơn ứng với bức xạ gamma năng lượng 511keV từ lí thuyết và mô phỏng có độ lệch lớn nhất là 1,1%. Kết quả này làm cơ sở cho thấy sự xuất hiện của đỉnh tán xạ đơn tại năng lượng $E = 511$ keV là hoàn toàn phù hợp với dự đoán trước đó.



Hình 5. Đường cong bão hòa của vật liệu Fe với nguồn ^{65}Zn theo a) phương án 1 và b) phương án 2

Kết quả từ bảng 2 cho thấy độ lệch tương đối giữa năng lượng photon tán xạ tính theo lí thuyết và theo mô phỏng có giá trị lớn nhất là 0,8% cho cả hai phương án xử lí phổ.

Bảng 2. Giá trị năng lượng của đỉnh tán xạ một lần đối với chùm photon có năng lượng 1115,539 keV theo hai phương án xử lý phổ

Bề dày bia (cm)	Lí thuyết (keV)	Phương án 1		Phương án 2	
		MCNP (keV)	RD (%)	MCNP (keV)	RD (%)
0,34	261,0	260,1	0,3	260,0	0,4
0,54	261,0	259,9	0,4	259,8	0,5
0,62	261,0	259,8	0,4	259,7	0,5
0,92	261,0	259,6	0,5	259,5	0,6
1,01	261,0	259,5	0,6	259,4	0,6
1,23	261,0	259,4	0,6	259,3	0,6
1,57	261,0	259,2	0,7	259,1	0,7
1,83	261,0	259,2	0,7	259,0	0,7
2,03	261,0	259,1	0,7	259,0	0,8
2,33	261,0	259,1	0,7	258,9	0,8
2,40	261,0	259,0	0,7	258,9	0,8
2,54	261,0	259,0	0,7	258,9	0,8
2,60	261,0	259,0	0,8	258,9	0,8
2,70	261,0	259,0	0,8	258,9	0,8

Như vậy có thể thấy rằng với cả hai phương án xử lý phổ tán xạ, năng lượng của đỉnh tán xạ đơn đối với chùm photon năng lượng 1115,539 keV gần như không có sự khác biệt. Độ lệch RD của năng lượng tính được so với năng lượng tính từ lí thuyết (1) gần như xấp xỉ nhau cho cả hai phương án.

Ngoài ra, từ hình 5 cho thấy rằng, độ dày bão hòa của vật liệu vào khoảng 2,54cm cho cả hai phương án.

4.2. Độ dày vật liệu

Kết quả tính toán diện tích đỉnh tán xạ một lần của chùm photon năng lượng 1115,539 keV được tính toán theo hai phương án xử lý phổ được trình bày như trong bảng 3.

Bảng 3. Bảng giá trị bề dày của vật liệu được tính toán trong hai phương án 1 và 2

Bề dày bia (cm) (a)	Phương án 1		Phương án 2	
	MCNP (cm)	RD (%)	MCNP (cm)	RD (%)
0,34	0,36 ± 0,01	4,7	0,36 ± 0,01	5,2
0,54	0,56 ± 0,01	4,0	0,56 ± 0,01	3,3
0,62	0,64 ± 0,01	3,5	0,64 ± 0,01	2,7
0,92	0,96 ± 0,02	4,5	0,94 ± 0,02	1,8
1,01	1,06 ± 0,02	4,7	1,03 ± 0,02	1,5
1,23	1,29 ± 0,04	4,6	1,24 ± 0,04	1,0
1,57	1,63 ± 0,06	3,4	1,57 ± 0,06	0,2
1,83	1,89 ± 0,09	3,1	1,80 ± 0,09	1,8
2,03	2,06 ± 0,13	1,7	2,00 ± 0,13	1,3
2,33	2,39 ± 0,21	2,5	2,34 ± 0,21	0,3

Từ kết quả trong bảng 3, chúng tôi có nhận xét rằng độ lệch của độ dày vật liệu tính toán được so với độ dày thực tế của vật liệu là xấp xỉ nhau. Như vậy có thể thấy rằng mặc dù phổ tán xạ có sự đóng góp của đỉnh tán xạ một lần của chùm photon năng lượng 551 keV tuy nhiên sự đóng góp của nó là không đáng kể do vậy có thể áp dụng kỹ thuật phân tích phổ cải tiến như được trình bày trong nghiên cứu [3] để phân tích phổ tán xạ của chùm photon phát ra từ nguồn ^{65}Zn mà vẫn đảm bảo tính chính xác của việc xác định độ dày vật liệu.

5. Kết luận

Bằng cách áp dụng hai phương án xử lý phổ trong việc phân tích phổ tán xạ, chúng tôi đã xác định được bề dày bia vật liệu Fe ứng với bức xạ gamma phát ra từ nguồn ^{65}Zn . Kết quả cho thấy rằng, độ chính xác bề dày bia là tương đương nhau cho cả hai phương án xử lý phổ nhưng đối với phương án 1 [3] thì quy trình xử lý đơn giản hơn do vậy, có thể sử dụng kỹ thuật xử lý phổ cải tiến để phân tích phổ tán xạ nhằm xác định độ dày của vật liệu sử dụng nguồn phóng xạ ^{65}Zn .

Ghi chú: Nghiên cứu này được thực hiện dựa trên nguồn kinh phí được cấp từ đề tài với mã số CS2015.19.64.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Boldo E.M., Appoloni C.R., “Inspection of reinforced concrete samples by Compton backscattering technique”, *Radiation Physics and Chemistry*, (Article in press).
2. European Steel and Alloy Grades/Number, Accessed 1 Jun 2012, <http://steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=152>.
3. 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.
4. Kiran K.U., Ravindraswami K., Eshwarappa K.M., Somashekarappa H.M. (2014), “An investigation of energy dependence on saturation thickness for 59.54, 123, 279, 360, 511, 662, 1115 and 1250 keV gamma photons”, *Radiation Physics and Chemistry* **97**, 107 – 112.
5. NIST (2013) XCOM: photon cross sections database, Accessed 6 Nov 2014 <<http://www.nist.gov/pml/data/xcom/index.cfm>>.
6. Priyada P., Margret M., Ramar R., Shivaramu (2012), “Intercomparison of gamma ray scattering and transmission techniques for fluid – fluid and fluid – air interface levels detection and density measurements”, *Applied Radiation and Isotopes* **70**, 462 – 469.
7. 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 (1 – 8).
8. Shi H.-X., Chen B.-X., Li T.-Z., Yun D. (2002), “Precise Monte Carlo simulation of gamma-ray response functions for an NaI(Tl) detector”, *Applied Radiation and Isotopes* **57**, 517 – 524.

(Ngày Tòa soạn nhận được bài: 11-11-2015; ngày phân biện đánh giá: 15-12-2015;
ngày chấp nhận đăng: 22-12-2015)