*Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ – Khoa học Tự nhiên, 4(2):496-503*

Open Access Full Text Article

*Bài Nghiên cứu*

# Bước đầu thực nghiệm nghiên cứu tỉ số tán xạ Rayleigh-Compton đối với các nguyên tố tại năng lượng 59,5 keV sử dụng đầu dò Si(Li)

**Trần Thiện Thanh[1,2,*], Văn Tấn Phát[1], Lê Hoàng Minh[1], Huỳnh Đình Chương[2], Võ Hoàng Nguyên[1], Nguyễn Trí Toàn Phúc[1], Lê Quang Vương[1,3], Nguyễn Duy Thông[1], Châu Văn Tạo[1,2]**

Use your smartphone to scan this QR code and download this article

**TÓM TẮT**

Các thông số đặc trưng của vật liệu liên quan đến tương tác của bức xạ photon như: hệ số suy giảm khối, số nguyên tử hiệu dụng, mật độ electron là những dữ liệu cần thiết được yêu cầu trong nhiều công việc như chẩn đoán và xạ trị ung thư, chiếu xạ công nghiệp, tính liều lượng bức xạ, che chắn phóng xạ, phân tích hàm lượng nguyên tố và đồng vị phóng xạ. Trong bài báo này, các mô hình lý thuyết như tham số dạng phi tương đối tính (NRFF), tham số dạng tương đối tính (RFF), tham số dạng hiệu chỉnh (MFF) được sử dụng để tính toán tỉ số Rayleigh-Compton đối với các nguyên tố có $6 \leq Z \leq 82$ tại năng lượng 59,5 keV. Kết quả chỉ ra rằng có sự khác biệt lớn giữa các mô hình tính toán đối với bia có số nguyên tử lớn. Giá trị trung bình của tỉ số Rayleigh-Compton theo số nguyên tử Z được làm khớp hàm bậc hai mô tả khá tốt quy luật phụ thuộc này với hệ số tương quan $R^2$ = 0,996. Bên cạnh đó, hệ đo thực nghiệm cũng được thiết kế và thực nghiệm đo đạc đối với một số bia như nhôm, đồng và chì tại góc tán xạ $150^o$ sử dụng nguồn $^{241}$Am bằng đầu dò Si(Li) để kiểm chứng với kết quả tính toán lý thuyết. Kết quả thực nghiệm ban đầu đã chỉ ra rằng có sự phù hợp tốt giữa các mô hình lý thuyết với các bia nhôm, đồng và chì với độ sai biệt dưới 20%. Trong tương lai, chúng tôi sẽ tiến hành thực nghiệm với nhiều dạng bia khác nhau để đánh giá chi tiết hơn.

**Từ khoá:** NRFF, RFF, MFF, Tỉ số Rayleigh-Compton, đầu dò Si(Li)

[1]*Bộ môn Vật lý Hạt nhân, Khoa Vật lý-Vật lý kỹ thuật, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM*

[2]*Phòng thí nghiệm Kỹ thuật Hạt nhân, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM*

[3]*Khoa Vật lý, Trường Đại học Sư phạm TP.HCM*

**Liên hệ**

**Trần Thiện Thanh**, Bộ môn Vật lý Hạt nhân, Khoa Vật lý-Vật lý kỹ thuật, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

Phòng thí nghiệm Kỹ thuật Hạt nhân, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

Email: ttthanh@hcmus.edu.vn

**Lịch sử**

- Ngày nhận: 30-10-2019
- Ngày chấp nhận: 03-02-2020
- Ngày đăng: 15-6-2020

**DOI :** 10.32508/stdjns.v4i2.857

Check for updates

**Bản quyền**

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

VNU-HCM Press

## MỞ ĐẦU

Tán xạ Rayleigh và tán xạ Compton của gamma năng lượng thấp có ứng dụng thực tiễn trong nhiều lĩnh vực như: nghiên cứu sự ăn mòn thành ống, đo mức chất lỏng, mật độ chất lỏng, đánh giá thành phần nguyên tố thông qua việc tính toán số bậc nguyên tử hiệu dụng[1–5]. Các mô hình lý thuyết như phương pháp tham số dạng phi tương đối tính[6], tham số dạng sử dụng hàm Hartree-Fock tương đối tính[7], hiệu chỉnh tham số dạng với hàm Hartree-Fock-Slater tương đối tính[8] và phương trình ma trận (SM)[9] được sử dụng để tính toán tiết diện tán xạ đối với các kim loại. Bên cạnh đó, các phương pháp thực nghiệm cũng đã được phát triển để tính toán tỉ số tán xạ Rayleigh-Compton như Duvauchelle và cộng sự[10] đã trình bày một số phương pháp kiểm tra mẫu không phá hủy. Trong công trình của Duvauchelle và các cộng sự đã chỉ ra rằng việc lựa chọn chính xác góc tán xạ và năng lượng gamma cho phép thu được kết quả gần như độc lập với sự suy giảm bức xạ photon trong mẫu[10]. Trong điều kiện đó, tỉ số R/C chỉ phụ thuộc vào vật liệu mẫu và có thể sử dụng để xác định số bậc nguyên tử hiệu dụng là một đặc trưng quan trọng với vật liệu hợp chất và có nhiều ứng dụng. Đất hiếm, hợp kim, tinh thể, polymer, hóa thạch, đất đá... là một số vật liệu hợp chất được ứng dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp, môi trường, nông nghiệp, địa chất, sinh học, y khoa…[2,3]. Singh và cộng sự[11] đã công bố thí nghiệm về phép đo tỉ số R/C đối với những nguyên tố có số nguyên tử Z từ 6 đến 82 sử dụng bức xạ gamma có năng lượng 59,5 keV từ nguồn phóng xạ $^{241}$Am tại góc $90^o$.

Trong bài báo này, tỉ số Rayleigh-Compton được tính toán trên cơ sở mô hình tham số dạng phi tương đối tính, tham số dạng tương đối tính và tham số dạng hiệu chỉnh đối với các nguyên tố. Song song đó, hệ thực nghiệm sử dụng nguồn $^{241}$Am với năng lượng 59,5 keV tại góc tán xạ $150^o$ sử dụng đầu dò Si(Li) cũng được thiết kế và tiến hành đo đạc để kiểm chứng kết quả tính toán lý thuyết. Đường cong hiệu suất đỉnh cho phép đo thực nghiệm được xác định trong vùng năng lượng từ 12–60 keV. Kết quả thực nghiệm ban đầu đã chỉ ra rằng tỉ số Rayleigh-Compton theo lý thuyết và thực nghiệm được đánh giá với độ sai biệt dưới 20%.

## VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

### Cơ sở lý thuyết

Tán xạ kết hợp gây bởi các electron liên kết trong nguyên tử và không làm ảnh hưởng trạng thái nguyên

**Trích dẫn bài báo này:** Thanh T T, Phát V T, Minh L H, Chương H D, Nguyên V H, Phúc N T T, Vương L Q, Thông N D, Tạo C V. **Bước đầu thực nghiệm nghiên cứu tỉ số tán xạ Rayleigh-Compton đối với các nguyên tố tại năng lượng 59,5 keV sử dụng đầu dò Si(Li)**. *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.;* 4(2):496-503.

tử (không gây ion hóa hay kích thích nguyên tử). Tiết diện tán xạ Rayleigh được tính bởi tiết diện tán xạ Thomson được hiệu chỉnh với thông số có liên quan đến tham số dạng F(x,Z)[6]. Tiết diện tán xạ vi phân theo góc khối của tán xạ Rayleigh được xác định bởi công thức:

$$\left(\frac{d\sigma_R}{d\Omega}\right) = \left(\frac{d\sigma_{Th}}{d\Omega}\right)|F(x,Z)|^2 \quad (1)$$

Trong đó: $\left(\frac{d\sigma_R}{d\Omega}\right)$ là tiết diện tán xạ Rayleigh trên góc khối, $\left(\frac{d\sigma_{Th}}{d\Omega}\right)$ là tiết diện tán xạ Thomson trên góc khối và là tham số dạng liên quan đến cấu trúc nguyên tử.

Tiết diện tán xạ Compton được tính bởi công thức Klein-Nishina cho tán xạ Compton có hiệu chỉnh với hàm tán xạ không kết hợp S(x,Z) như sau:

$$\left(\frac{d\sigma_C}{d\Omega}\right) = S(x,\,Z).\left(\frac{d\sigma_{KN}}{d\Omega}\right) \quad (2)$$

Trong đó $\left(\frac{d\sigma_{KN}}{d\Omega}\right)$ là tiết diện tán xạ Klein-Nishina trên electron đối với gamma tới không phân cực. Các hiệu ứng liên kết được đưa vào thông qua việc sử dụng hàm tán xạ không kết hợp S(x,Z).

Kết hợp phương trình (1) và (2) thì tỉ số Rayleigh-Compton được tính theo công thức sau:

$$R/C = \frac{\left(\frac{d\sigma_R}{d\Omega}\right)}{\left(\frac{d\sigma_C}{d\Omega}\right)} = \frac{\left(\frac{d\sigma_{Th}}{d\Omega}\right)|F(x,\,Z)|^2}{\left(\frac{d\sigma_{KN}}{d\Omega}\right)S(x,\,Z)} \quad (3)$$

Tỉ số R/C có mối liên hệ phụ thuộc vào bậc số nguyên tử Z trong vùng nguyên tố quan tâm và sự phụ thuộc dựa trên tỉ số $\frac{F^2}{S}$. Để tính toán tỉ số Rayleigh-Compton thì các tham số dạng nguyên tử F và giá trị hàm tán xạ không kết hợp S được tính từ các lý thuyết như NRFF[6], RFF[7] và MFF[8]. Từ đó, thông qua tiết diện tán xạ Rayleigh và tiết diện tán xạ Compton, thu được tỉ số R/C tương ứng với các biến về năng lượng E, góc tán xạ $\theta$ và bậc số nguyên tử Z theo công thức (3).

## Thực nghiệm

Thực nghiệm xác định tỉ số R/C được tiến hành với bức xạ gamma 59,5 keV được phát ra từ nguồn $^{241}$Am. Để tạo ra chùm gamma tới có cường độ đủ lớn, thí nghiệm sử dụng bộ ba nguồn điểm có tổng hoạt độ 50 mCi được bố trí trên giá đỡ. Trong đó các nguồn điểm được đặt cách đều nhau 120$^o$ trên một vòng tròn có tâm thẳng góc với trục ống chuẩn trực. Cấu tạo của ống chuẩn trực là một ống trụ rỗng với đường kính là 5 mm và chiều cao là 50 mm. Đầu dò bán dẫn Si(Li) loại SL80180 với cửa sổ Beri dày 0,125 mm, đường kính đầu dò 0,5 cm cho phép thu nhận tín hiệu gamma tán xạ từ mẫu có năng lượng thấp dưới 60 keV. Đầu dò được bố trí ở cuối ống chuẩn trực, làm bằng chì và được làm lạnh bằng bình nitơ lỏng. Thực nghiệm tán xạ Rayleigh và tán xạ Compton được thực hiện trên ba mẫu khảo sát là các kim loại nguyên chất: nhôm, đồng, chì. Bề dày của nhôm là 0,315 cm, bề dày của đồng và chì là 0,3175 cm. Góc của tia tới là 30$^o$ và góc của tia tán xạ là 0$^o$.

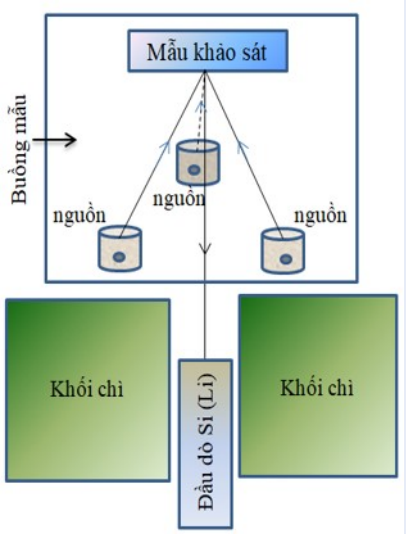
Trong công trình này, góc tán xạ 150$^o$ được thiết lập để đỉnh tán xạ Rayleigh và đỉnh tán xạ Compton không bị chồng chập lên nhau. Như vậy, với năng lượng 59,5 keV phát ra từ nguồn $^{241}$Am của bố trí hệ đo thì đỉnh tán xạ Compton được xác định ở vị trí năng lượng 48,9 keV theo công thức năng lượng tán xạ Compton (**Hình 1**). Phổ tán xạ được lưu lại và hiển thị trên màn hình máy tính thông qua phần mềm Genie 2K[12]. Các phổ ghi nhận sau khi trừ phông nền được định dạng lại, sau đó chuyển qua phần mềm phân tích phổ ROOT nhằm nâng cao độ chính xác trong việc xác định số đếm của đỉnh tán xạ Rayleigh và đỉnh tán xạ Compton.

Các nguồn đồng vị phóng xạ chuẩn phát gamma và tia X gồm $^{133}$Ba, $^{137}$Cs, $^{152}$Eu, $^{154}$Eu, $^{241}$Am được sử dụng để xây dựng đường cong hiệu suất trong khoảng 12 - 60 keV[13]. Các nguồn này có dạng đĩa với đường kính ngoài 25,4 mm và bề dày 6,35 mm. Lớp vỏ nguồn được làm bằng vật liệu plastic có độ cứng cao. Các hợp chất chứa đồng vị phóng xạ được phủ lên bề mặt của hố ở giữa vỏ nguồn có đường kính 5 mm, nằm cách bề mặt 2,77 mm và được đậy kín bằng nút epoxy[14]. Để thực hiện các phép đo thực nghiệm, nguồn phóng xạ được đặt trên một giá đỡ làm bằng vật liệu mica, sao cho vị trí của nguồn nằm trên trục đối xứng của đầu dò và khoảng cách từ nguồn đến cửa sổ đầu dò là 7,75 cm. Công thức tính hiệu suất và sai số được trình bày theo phương trình (4) và (5):

$$\varepsilon(E) = \frac{N\,(E)}{A.I_{\gamma/X}\,(E).t} \quad (4)$$

$$\mu_{\varepsilon(E)} = \sqrt{u^2_{N(E)} + u^2_A + u^2_{I_{\gamma/X}}} \quad (5)$$

Trong đó: $\varepsilon$(E) là hiệu suất đỉnh tại năng lượng E; N(E) là diện tích đỉnh tại năng lượng E; A (Bq) là hoạt độ của nguồn phóng xạ; $I_{\gamma\,/X}$(E) là xác suất phát gamma hoặc tia X tại năng lượng E; t (giây) là thời gian thực hiện phép đo; $u_i$ lần lượt là sai số của hiệu suất đỉnh, hoạt độ, diện tích đỉnh và xác suất phát.




**Hình 1**: **Bố trí thực nghiệm.**

## Tính toán tỉ số Rayleigh-Compton

Biểu thức tính toán thực nghiệm tỉ số R/C được cho bởi phương trình [11]:

$$R/C = \frac{\sigma_R}{\sigma_C} = \frac{N_R \beta_C \gamma_{aC} \varepsilon_C}{N_C \beta_R \gamma_{aR} \varepsilon_R} \quad (6)$$

Với $N_R$, $N_C$ lần lượt là cường độ đỉnh tán xạ Rayleigh và Compton; $\beta_R$, $\beta_C$ là hệ số hiệu chỉnh sự tự hấp thụ trong bia tương ứng với đỉnh năng lượng tán xạ Rayleigh và đỉnh năng lượng tán xạ Compton; $\gamma_{aR}$, $\gamma_{aC}$ là hệ số hiệu chỉnh sự hấp thụ trong không khí giữa bia tán xạ và đầu dò tương ứng với năng lượng tán xạ Rayleigh và năng lượng tán xạ Compton; $\varepsilon_R$, $\varepsilon_C$ là hiệu suất ghi đầu dò tương ứng với năng lượng tán xạ Rayleigh và năng lượng tán xạ Compton. Hệ số hiệu chỉnh sự tự hấp thụ trong bia được xác định bởi phương trình [11]:

$$\beta = \frac{1 - e^{-(\mu+\mu')\frac{x\rho}{\cos\alpha}}}{(\mu+\mu')\frac{x\rho}{\cos\alpha}} \quad (7)$$

$\mu$ và $\mu'$ là hệ số suy giảm khối của mẫu ứng với năng lượng gamma tới và gamma tán xạ; $\alpha$ là góc giữa tia gamma tới bia tán xạ và pháp tuyến tại điểm tới.

Hệ số hiệu chỉnh sự hấp thụ trong không khí được xác định bằng biểu thức sau:

$$\gamma_a = e^{-\mu_a.\rho_a.d} \quad (8)$$

$\rho_a$ là khối lượng riêng của không khí, đối với không khí khô $\rho_a$= 0,001205 g/cm$^3$, $\mu_a$ là hệ số suy giảm khối của không khí đối với bức xạ; d là bề dày lớp không khí giữa tâm mẫu và đầu dò. Sử dụng hệ số suy giảm khối, khối lượng riêng của kim loại và không khí được tính bằng chương trình XCOM [15].

# KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

## Tính toán lý thuyết

Trong công trình này, kết quả tính toán với các nguyên tố C, Al, Fe, Cu, Zn, Mo, Ag, Sn, Ta, W, Au, Pb với ba mô hình lý thuyết NRFF, RFF và MFF. **Bảng 1** trình bày kết quả lý thuyết thu được từ ba mô hình. Kết quả cho thấy có sự khác biệt lớn giữa các mô hình tính toán đối với các vật liệu có số Z lớn độ sai biệt lên tới 30%. Các giá trị $x_i$, $x_{i+1}$, $F_i$, $F_{i+1}$, $S_i$, $S_{i+1}$ được lấy từ các tài liệu [6–8], giá trị của F(x,Z) và S(x,Z) được tính toán theo công thức nội suy hàm mũ có dạng như sau:

$$\ln(F) = \ln(F_i) + \frac{(\ln(x)-\ln(x_i))(\ln(F_{i+1})-\ln(F_i))}{\ln(x_{i+1})-\ln(x_i)} \quad (9)$$

$$\ln(S) = \ln(S_i) + \frac{(\ln(x)-\ln(x_i))(\ln(S_{i+1})-\ln(S_i))}{\ln(x_{i+1})-\ln(x_i)} \quad (10)$$

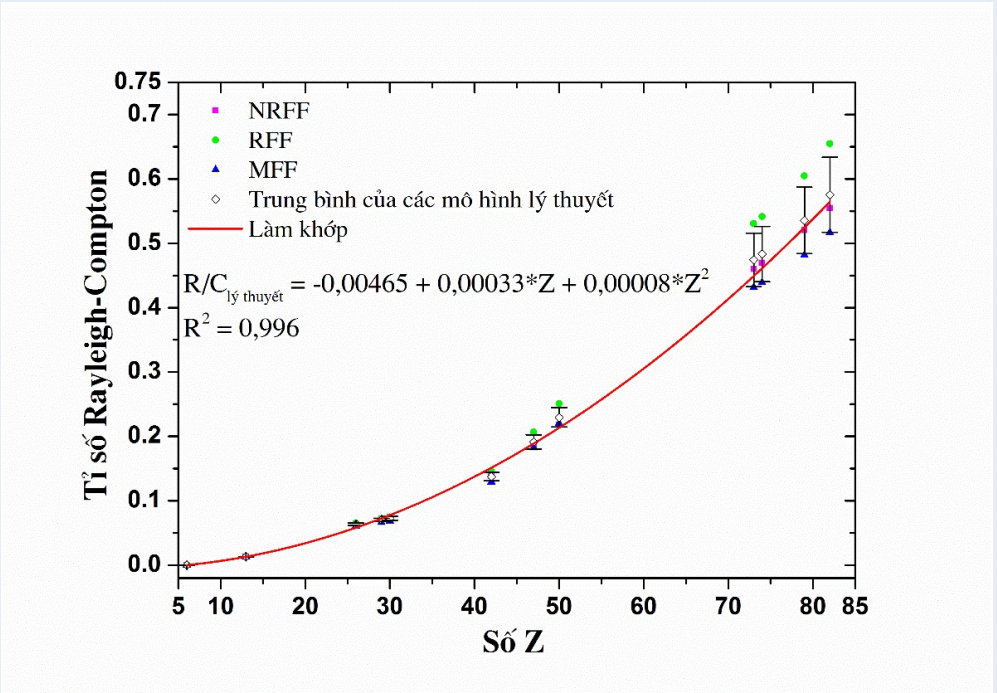
Chúng tôi lấy trung bình giá trị tỉ số Rayleigh-Compton và làm khớp giá trị này theo hàm số bậc hai phụ thuộc theo số Z. Kết quả được trình bày trong **Hình 2** cho thấy hàm bậc hai mô tả khá tốt quy luật phụ thuộc này với hệ số tương quan $R^2$ = 0,996.

## Kết quả thực nghiệm

Chuẩn hiệu suất $\varepsilon_{\gamma/X}$ dựa vào các số liệu về hoạt độ A nguồn chuẩn ở thời điểm đo, thời gian tiến hành đo phổ t(s), xác suất phát gamma I và diện tích đỉnh N. Đồ thị hiệu suất ghi đầu dò Si(Li) theo năng lượng ứng với bố trí hệ đo được trình bày trong **Hình 3**.

Trong đó đỉnh Compton được làm khớp bằng hàm Lorentz, phông được khớp theo đa thức bậc 2 và đỉnh Rayleigh được khớp bằng hàm Gauss. Kết quả làm khớp được trình bày trong **Hình 4**. Từ kết quả làm khớp này thì diện tích đỉnh Rayleigh và Compton được tính, áp dụng công thức (6), (7) và (8) thu được kết quả tính tỉ số R/C và sai số tương ứng. Kết quả tính toán cho các bia thực nghiệm được trình bày trong **Bảng 2**.

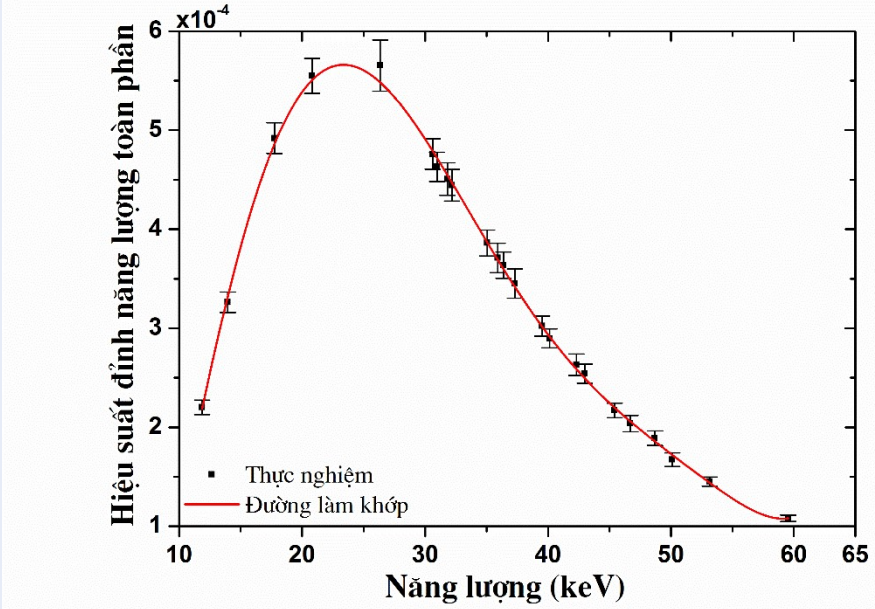
**Hình 5** so sánh giữa giá trị trung bình của các mô hình lý thuyết và giá trị thực nghiệm của tỉ số Rayleigh-Compton. Kết quả chỉ ra rằng đối với bia nhôm và bia đồng có sự phù hợp tốt giữa mô hình lý thuyết và giá trị thực nghiệm với độ sai biệt dưới 10%. Có sự sai biệt lớn đối với bia chì là do số nguyên tử của chì là 82 nên xác suất của tán xạ Rayleigh tăng và cạnh tranh với xác suất tán xạ Compton. Bên cạnh đó, đây mới là các đánh giá ban đầu so sánh với các kết quả lý thuyết vì vậy trong các nghiên cứu tiếp theo chúng tôi sẽ tiến hành đo đạc thực nghiệm với các nguyên tố gần chì để rút ra kết luận tốt hơn.



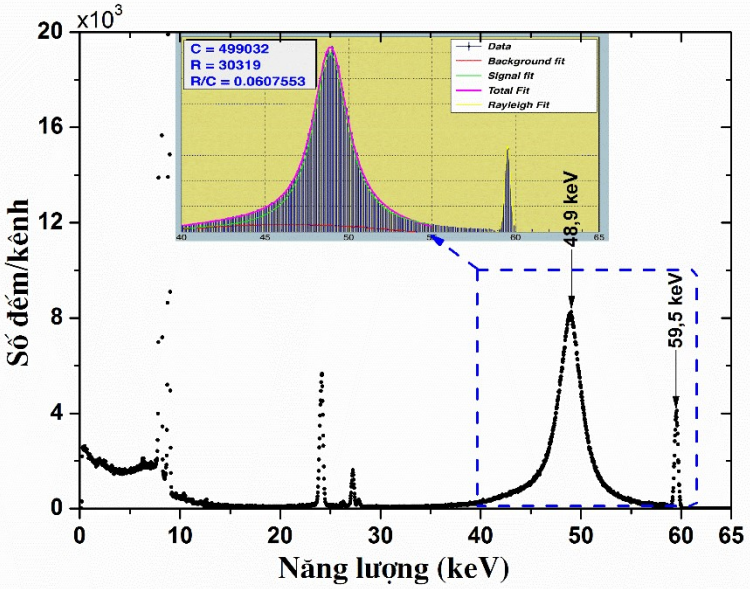

**Hình 2**: **Đồ thị mô tả tỉ số Rayleigh-Compton theo số Z của các mô hình lý thuyết.**

**Bảng 1**: **Kết quả tính toán tỉ số Rayleigh-Compton đối với các nguyên tố**

| Số Z | NRFF ($x10^{-2}$) | RFF ($x10^{-2}$) | MFF ($x10^{-2}$) | Trung bình ($x10^{-2}$) | Độ lệch chuẩn ($x10^{-2}$) | Tỉ số RFF/NRFF | Tỉ số RFF/MFF |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 1,04 | 1,06 |
| 13 | 1,34 | 1,35 | 1,28 | 1,32 | 0,03 | 1,01 | 1,05 |
| 26 | 6,44 | 6,55 | 6,11 | 6,37 | 0,19 | 1,02 | 1,07 |
| 29 | 7,23 | 7,22 | 6,67 | 7,04 | 0,26 | 1,00 | 1,08 |
| 30 | 7,52 | 7,48 | 6,87 | 7,29 | 0,30 | 0,99 | 1,09 |
| 42 | 13,78 | 14,56 | 12,92 | 13,75 | 0,67 | 1,06 | 1,13 |
| 47 | 18,50 | 20,69 | 18,23 | 19,14 | 1,10 | 1,12 | 1,13 |
| 50 | 21,81 | 25,09 | 22,01 | 22,97 | 1,50 | 1,15 | 1,14 |
| 73 | 46,00 | 53,06 | 43,18 | 47,41 | 3,18 | 1,15 | 1,23 |
| 74 | 46,96 | 54,14 | 43,89 | 48,33 | 4,15 | 1,15 | 1,23 |
| 79 | 52,05 | 60,46 | 48,14 | 53,55 | 4,30 | 1,16 | 1,26 |
| 82 | 55,45 | 65,47 | 51,65 | 57,52 | 5,14 | 1,18 | 1,27 |



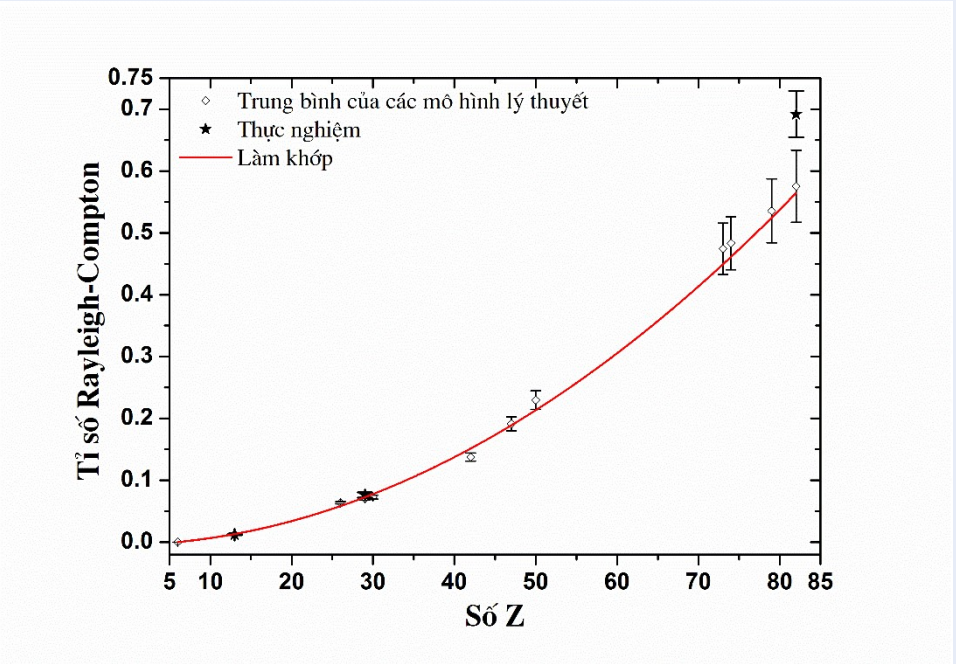

**Hình 3**: Đường cong hiệu suất theo năng lượng




**Hình 4**: **Phổ tán xạ Rayleigh-Compton trên bia đồng.**

**Bảng 2: Tỉ số Rayleigh-Compton giữa các mô hình lý thuyết và thực nghiệm**

| Số Z | NRFF ($x10^{-2}$) | RFF ($x10^{-2}$) | MFF ($x10^{-2}$) | Trung bình (TB) ($x10^{-2}$) | Độ lệch chuẩn ($x10^{-2}$) | Thực nghiệm (TN) ($x10^{-2}$) | Sai số thực nghiệm ($x10^{-2}$) | Tỉ số TB/TN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 | 1,34 | 1,35 | 1,28 | 1,32 | 0,03 | 1,23 | 0,07 | 1,07 |
| 29 | 7,23 | 7,22 | 6,67 | 7,04 | 0,26 | 7,63 | 0,41 | 0,92 |
| 82 | 55,45 | 65,47 | 51,65 | 57,52 | 5,83 | 69,18 | 3,76 | 0,83 |




**Hình 5: So sánh tỉ số Rayleigh-Compton giữa thực nghiệm và giá trị trung bình của các mô hình lý thuyết.**

## KẾT LUẬN

Trong bài báo này, các mô hình lý thuyết như NRFF, RFF và MFF đã được sử dụng để tính toán cho các nguyên tố có $6 \leq Z \leq 82$. Kết quả tính toán cho thấy độ sai biệt giữa các mô hình lý thuyết lên tới 30% đối với các nguyên tố có Z lớn. Song song đó, thực nghiệm cũng được tiến hành để đánh giá kết quả với mô hình lý thuyết với các bia nhôm, đồng và chì với độ sai biệt dưới 20%. Đây mới là những kết quả ban đầu được thực hiện của nhóm nghiên cứu. Trong tương lai, chúng tôi sẽ tiến hành thực nghiệm với nhiều dạng bia khác nhau và các bia có thành phần hợp chất để đánh giá chi tiết hơn.

## DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

**NRFF**: Tham số dạng phi tương đối tính
**RFF**: Tham số dạng tương đối tính
**MFF**: Tham số dạng hiệu chỉnh
**SM**: Lý thuyết ma trận S

## XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả cam kết không mâu thuẫn quyền lợi và nghĩa vụ của các thành viên.

## ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Văn Tấn Phát, Lê Quang Vương, Lê Hoàng Minh, Nguyễn Trí Toàn Phúc nghiên cứu và viết chương trình tính toán bằng lý thuyết và tính các hệ số hiệu chỉnh

Huỳnh Đình Chương, Võ Hoàng Nguyên thiết kế chế tạo các thiết bị thực nghiệm

Nguyễn Duy Thông viết chương trình làm khớp số liệu

Trần Thiện Thanh lên ý tưởng nghiên cứu, phân tích số liệu, viết bài báo

Châu Văn Tạo chỉnh sửa bản thảo bài báo

## LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 103.04-2017.303.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Chaiphaksa W, Limkitjaroenporn P, Kim HJ, Kaewkhao J. The mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and effective electron densities for GAGG:Ce and CaMoO4 scintillators. Progress in Nuclear Energy. 2016;92:48–53. Available from: https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2016.06.010.
2. Lama LSD, Soares LDH, Antoniassi M, Poletti ME. Effective atomic numbers for materials of medical interest at low photon energy using the Rayleigh to Compton scattering ratio. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 2015;784:597–601. Available from: https://doi.org/10.1016/j.nima.2014.12.046.
3. Elmahroug Y, Tellili B, Souga C. Determination of total mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and electron densities for different shielding materials. Annals of Nuclear Energy. 2015;75:268–274. Available from: https://doi.org/10.1016/j.anucene.2014.08.015.
4. Kurudirek M, Büyükyıldız M. Estimation of effective atomic number in the Rayleigh to Compton scattering ratio using different methods. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 2016;820:80–84. Available from: https://doi.org/10.1016/j.nima.2016.03.029.
5. Yılmaz D, Turşucu A, Uzunoğlu Z, Korucu D. Measurement of effective atomic number of gunshot residues using scattering of gamma rays. Radiation Physics and Chemistry. 2014;102:68–71. Available from: https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2014.04.012.
6. Hubbell JH, Viegele WJ, Biggs EA, Brown RT, Cromer DT, Howerton RJ. Atomic form factors, incoherent scattering functions and photon scattering cross sections. Journal of Physical and Chemical Reference Data. 1975;4:471–538. Available from: https://doi.org/10.1063/1.555523.
7. Hubbell JH, Overbro I. Relativistic atomic form factors and photon coherent scattering cross section. Journal of Physical and Chemical Reference Data. 1979;8:69–107. Available from: https://doi.org/10.1063/1.555593.
8. Schaupp D, Schumacher M, Smend F, Rullhusen P, Hubbell JH. Small angle Rayleigh scattering of photon at high Energies: tabulations of Relativistic HFS modified atom form factors. Journal of Physical and Chemical Reference Data. 1983;12:467–513. Available from: https://doi.org/10.1063/1.555690.
9. Chatterjee BK, Roy SC. Tables of elastic scattering cross sections of photons in the energy range 50-1500 keV for all elements in the range. Journal of Physical and Chemical Reference Data. 1983;27:1011–1216. Available from: https://doi.org/10.1063/1.556027.
10. Duvauchelle P, Peix G, Babot D. Effective automic number in the Rayleigh to Compton Scattering ratio. Nuclear instrumments and Methods in physics. 1999;155:221–228. Available from: https://doi.org/10.1016/S0168-583X(99)00450-4.
11. Singh MP, Sharma A, Bhajan S, Sandhu BS. Experimental measurement of coherent to incoheren cross- section ratio of elements in range for 59,54keV gamma photons. Indian Journal of Pure and Applied Physics. 2012;50:490–493.
12. Genie$^{TM}$ 2000 Spectroscopy Software. Operations, Canberra Industries, Inc. 2009;.
13. Chuong HD, Linh NTT, Trang LTN, Nguyen VH, Minh LH, Tai CT, et al. A simple approach for developing model of Si(Li) detector in Monte Carlo simulation. Radiation Physics and Chemistry. 2020;166:108459. Available from: https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108459.
14. Eckert, Ziegler. Catalogue of reference and calibration sources. Truy cập ngày 10 tháng 8 năm 2019;Available from: https://www.ezag.com/fileadmin/user_upload/isotopes/isotopes/Isotrak/isotrak-pdf/Productliterature/EZIPL/EZIPcataloguereferenceandcalibrationsources.pdf.
15. NIST. XCOM: photon cross sections database. USA. Truy cập ngày 10 tháng 8 năm 2019. 2013;Available from: http://www.nist.gov/pml/data/xcom/index.cfm.

*Science & Technology Development Journal – Natural Sciences, 4(2):496-503*

Open Access Full Text Article

*Research Article*

# Preliminary Empirical study of the Rayleigh to Compton scattering ratio for elements at gamma energy 59.5 keV using Si(Li) detector

**Tran Thien Thanh[1,2,*], Van Tan Phat[1], Le Hoang Minh[1], Huynh Dinh Chuong[2], Vo Hoang Nguyen[1], Nguyen Tri Toan Phuc[1], Le Quang Vuong[3], Nguyen Duy Thong[1], Chau Van Tao[1,2]**

Use your smartphone to scan this QR code and download this article

**ABSTRACT**

The characteristic parameters of a material relation to photon interactions such as: mass attenuation coefficient, effective atomic number, effective electron density are required to provide essential data in diverse works such as nuclear diagnostic and cancer radiotherapy, industrial irradiation, radiation dosimetry, radiation protection and shielding, analyzing of the concentration of elements and radioactive isotopes. In this paper, the theoretical models such as non-relativistic form factor (NRFF), relativistic form factor (RFF), and modified form factor (MFF) were used to calculate the ratio Rayleigh-Compton for elements with at gamma energy 59.5 keV. The results showed that there was a discrepancy between the theoretical modes at a high atomic number. The mean value of the Rayleigh-Compton ratio depends on the atomic number, which shows the quadratic function of the correlation coefficient $R^2 = 0.996$ as well. Besides, the experimental system was set-up and measured for some targets such as aluminum, copper, and lead at a scattering angle $150^o$ using $^{241}$Am source by Si(Li) detector to confirm the theoretical values. The preliminary result showed that there was a good agreement with experimental and theoretical results is lower than 20%. Further investigation will be measured by the samples for more detailed evaluation.

**Key words:** NRFF, RFF, MFF, Rayleigh-Compton ratio, Si(Li) detector

[1]*Faculty of Physics and Engineering Physics, University of Science, VNU-HCM, Vietnam*

[2]*Nuclear Technique Laboratory, University of Science, VNU-HCM, Vietnam*

[3]*Faculty of Physics, Ho Chi Minh City University of Education, Vietnam*

**Correspondence**

**Tran Thien Thanh**, Faculty of Physics and Engineering Physics, University of Science, VNU-HCM, Vietnam

Nuclear Technique Laboratory, University of Science, VNU-HCM, Vietnam

Email: ttthanh@hcmus.edu.vn

**History**

- Received: 30-10-2019
- Accepted: 03-02-2020
- Published: 15-6-2020

**DOI :** 10.32508/stdjns.v4i2.857

Check for updates

**Copyright**

© VNU-HCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

VNU-HCM Press

**Cite this article :** Thanh T T, Phat V T, Minh L H, Chuong H D, Nguyen V H, Phuc N T T, Vuong L Q, Thong N D, Tao C V. **Preliminary Empirical study of the Rayleigh to Compton scattering ratio for elements at gamma energy 59.5 keV using Si(Li) detector**. *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.;* 4(2):496-503.