



Bài báo nghiên cứu

NGHIÊN CỨU SO SÁNH KỸ THUẬT GAMMA TRUYỀN QUA VÀ GAMMA TÁN XẠ TRONG XÁC ĐỊNH MẬT ĐỘ CỦA CHẤT LỎNG SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP MONTE CARLO

Trình Thị Ngọc Huyền, Hoàng Đức Tâm*

Khoa Vật lý – Trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh

*Tác giả liên hệ: Hoàng Đức Tâm – Email: tamhd@hcmue.edu.vn

Ngày nhận bài: 03-7-2019; ngày nhận bài sửa: 24-8-2019; ngày duyệt đăng: 25-9-2019

TÓM TẮT

Nghiên cứu này trình bày cơ sở lý thuyết của kỹ thuật gamma tán xạ và kỹ thuật gamma truyền qua trong xác định mật độ của chất lỏng dựa trên sự tuyến tính của cường độ chùm photon (tán xạ hoặc truyền qua) theo mật độ chất lỏng. Kết quả nghiên cứu chỉ ra sự tuyến tính rất tốt giữa cường độ chùm photon ghi nhận được với mật độ chất lỏng cho cả hai kỹ thuật với hệ số R^2 hiệu chỉnh (\bar{R}^2) trên 0,987. Từ những đường chuẩn này, chúng tôi đã xác định được mật độ của bảy chất lỏng và thấy rằng hầu hết độ lệch tương đối giữa mật độ tính toán và mật độ chuẩn là dưới 4%. Kết quả từ nghiên cứu cũng cho thấy cả hai phương pháp gamma truyền qua và gamma tán xạ đều có thể áp dụng để xác định mật độ chất lỏng với sai số tương đối của phép đo hầu hết trong khoảng từ 4% đến 8%.

Từ khóa: mật độ chất lỏng, MCNP5, NaI(Tl), tán xạ, truyền qua.

1. Giới thiệu

Mật độ là một tham số quan trọng của chất lỏng. Việc đo chính xác mật độ giúp tính toán được tỉ trọng của nó so với nước. Trong lĩnh vực dầu khí, tham số này được sử dụng để phân loại các loại dầu thô bao gồm dầu thô nhẹ, dầu thô trung bình, dầu thô nặng và dầu thô siêu nặng. Trong một số loại thực phẩm dạng lỏng, tỉ trọng còn giúp chúng ta đánh giá được hàm lượng chất hòa tan đã sử dụng.

Trong thực tế, phương pháp cổ điển được sử dụng phổ biến để xác định được mật độ là đo khối lượng của chất lỏng và thể tích tương ứng của nó. Thực tế rằng phương pháp này cho độ chính xác khá cao. Tuy nhiên, với những chất lỏng có tính độc hại như các loại acid mạnh hay benzene, phương pháp này có thể không an toàn nếu sơ suất khi tiến hành thí nghiệm hoặc do sự bay hơi của chất lỏng gây ảnh hưởng trực tiếp đến người làm thí nghiệm. Trong trường hợp này, việc sử dụng kỹ thuật gamma tán xạ hay truyền qua có thể xem là một giải pháp lí tưởng. Điều này là do có thể tiến hành đo mật độ chất lỏng trong khi ống đựng chất lỏng đó vẫn đóng kín. Trong hai kỹ thuật gamma tán xạ hoặc gamma truyền qua, khi một chùm photon đi đến chất lỏng, sau khi bị tán xạ trên chất lỏng hoặc suy giảm khi đi qua chất lỏng, chùm photon mang thông tin về mật độ của chất lỏng sẽ đến được đầu dò và vì

Cite this article as: Trình Thị Ngọc Huyền, & Hoàng Đức Tâm (2019). Comparison of gamma transmission method and gamma scattering method in determining the density of liquids by Monte Carlo simulation. *Ho Chi Minh City University of Education Journal of Science*, 16(9), 477-485.

thể chúng ta có thể biết được chất lỏng có mật độ bằng bao nhiêu dựa trên việc phân tích phổ ghi nhận được.

Trong các nghiên cứu trước đây, Priyada và cộng sự (Priyada, Margret, Ramar, & Shivaramu, 2012) đã sử dụng kỹ thuật gamma tán xạ để xác định mật độ chất lỏng, tuy nhiên loại đầu dò mà tác giả sử dụng là HPGe (High Purity Germanium) cần làm lạnh và vì vậy chỉ phù hợp trong điều kiện phòng thí nghiệm. Trong khi đó, Tondon và cộng sự (Tondon, Singh, Sandhu, & Singh, 2017) lại sử dụng đầu dò NaI(Tl) để đo nồng độ của dung dịch. Khác với hai nghiên cứu ở trên, nghiên cứu này sử dụng kỹ thuật gamma tán xạ và truyền qua để xác định mật độ của nhiều loại chất lỏng khác nhau bằng đầu dò nhấp nháy NaI(Tl) dựa trên sự tuyến tính của cường độ chùm photon ghi nhận được theo mật độ chất lỏng. Nghiên cứu này sẽ trình bày chi tiết cơ sở lý thuyết của cả hai phương pháp. Theo đó, chúng tôi sẽ phân tích các yếu tố và điều kiện dẫn đến sự tuyến tính của cường độ chùm tia theo mật độ của chất lỏng, đặc biệt là sự tuyến tính trong phương pháp truyền qua – đây là phương pháp chưa được sử dụng trong nghiên cứu trước đây theo hiểu biết của chúng tôi. Mật độ chất lỏng thu được từ hai phương pháp sau đó được so sánh với nhau để đánh giá ưu điểm của từng phương pháp. Các kết quả thu được từ nghiên cứu này sẽ là cơ sở để tiến hành các thực nghiệm kiểm chứng trong các nghiên cứu tiếp theo.

2. Cơ sở lý thuyết

Xét một chùm photon đi đến ống chất lỏng trong kỹ thuật gamma tán xạ, trước khi đến được đầu dò, chùm photon phát ra từ nguồn trải qua ba quá trình sau: đầu tiên, chúng đi tới điểm tán xạ nằm bên trong chất lỏng, trong quá trình này cường độ của chùm photon tới bị suy giảm. Tiếp đến, các photon sẽ bị tán xạ. Sau đó, các photon sẽ đi ra khỏi chất lỏng và đến bề mặt đầu dò. Trong quá trình thứ ba này, chùm photon đi ra cũng bị suy giảm cường độ. Tổng hợp cả ba quá trình này, cường độ chùm photon tán xạ được xác định theo công thức sau (Sharaf, 2001):

$$I_{\text{scat.}} = I_0 f_1 f_2 \frac{\rho N_A Z}{A} \frac{d\sigma_{\text{KN}}(\theta)}{d\Omega} \frac{S(q, Z)}{Z} \Delta V \quad (1)$$

trong đó:

- I_0 và $I_{\text{scat.}}$: lần lượt là cường độ của chùm photon tới và chùm photon tán xạ,
- f_1 và f_2 : lần lượt là hệ số suy giảm có dạng lũy thừa,
- ρ : mật độ của chất lỏng (g cm^{-3}),
- $d\sigma_{\text{KN}}(\theta)/d\Omega$: tiết diện tán xạ vi phân được tính theo công thức Klein–Nishina,
- $S(q, Z)$ là hàm tán xạ không kết hợp,
- A và Z : lần lượt là số khối và nguyên tử số của vật liệu,
- N_A là số Avogadro,
- ΔV thể tích tán xạ.

Trong thực tế, chùm photon khi đi vào chất lỏng có thể xảy ra tương tác nhiều lần, và do vậy, chùm tia tán xạ đi đến bề mặt đầu dò có thêm sự đóng góp của thành phần này. Khi đó, công thức (1) được viết lại như sau:

$$I_{\text{scat.}} = I_0 f_1 f_2 \frac{\rho N_A Z}{A} \frac{d\sigma_{\text{KN}}(\theta)}{d\Omega} \frac{S(q, Z)}{Z} \Delta V + MS \quad (2)$$

ở đây, MS đặc trưng cho đóng góp của thành phần tán xạ nhiều lần.

Nghiên cứu của Sharaf (Sharaf, 2001) đã chỉ ra rằng: với năng lượng đủ lớn $S(q, Z)$ có thể xấp xỉ với Z , bên cạnh đó các hệ số suy giảm gần như không phụ thuộc vào thành phần vật liệu và cuối cùng là tỉ số Z/A xấp xỉ là 0,5 (ngoại trừ hydrogen). Và như vậy, một cách gần đúng có thể xem các hệ số f_1, f_2 và Z/A là không đổi. Ngoài ra, bố trí thí nghiệm được giữ cố định nên các tham số bao gồm tiết diện Klein–Nishina và thể tích tán xạ cũng được xem là hằng số.

Từ các phân tích trên, phương trình (2) được viết lại dưới dạng đơn giản hơn như sau:

$$I_{\text{scat.}} = A\rho + B \tag{3}$$

với A và B là các hằng số.

Phương trình (3) là cơ sở để xác định mật độ chất lỏng sử dụng phương pháp gamma tán xạ. Tính chất tuyến tính của cường độ chùm tia tán xạ theo mật độ chất lỏng như trong phương trình (3) sẽ được kiểm chứng bằng phương pháp mô phỏng Monte Carlo.

Đối với kĩ thuật truyền qua, cơ sở để xác định được mật độ chất lỏng là dựa trên sự suy giảm của cường độ chùm tia khi truyền qua chất lỏng theo định luật Beer–Lambert:

$$I_{\text{trans.}} = I_0 \exp \left[- \left(\frac{\mu(E)}{\rho} \right) \rho d \right] \tag{4}$$

ở đây: I_0 là cường độ của chùm tia tới, $\mu(E)/\rho$ ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) là hệ số suy giảm khối khi chùm photon năng lượng E truyền qua vật liệu, ρ là mật độ (g cm^{-3}) và d là đường kính của ống chất lỏng (cm).

Khai triển biểu thức (4) dạng đa thức và sử dụng gần đúng bậc nhất, chúng ta được:

$$I_{\text{trans.}} \approx I_0 \left[1 - \left(\frac{\mu}{\rho} (E) \right) \rho d \right] \tag{5}$$

Phương trình (5) cũng có thể được viết gọn lại như sau:

$$I_{\text{trans.}} = C\rho + D \tag{6}$$

với C và D là các hằng số. Tương tự như kĩ thuật gamma tán xạ, phương trình (6) là cơ sở để xác định được mật độ của các chất lỏng.

3. Mô phỏng Monte Carlo

Trong nghiên cứu này, phương pháp Monte Carlo được sử dụng để khảo sát quá trình tương tác của chùm photon với chất lỏng. Phương pháp này chính là nền tảng của chương trình được sử dụng rất phổ biến hiện nay trong lĩnh vực vật lí hạt nhân là chương trình MCNP (Monte Carlo N-Particle) (X-5 Monte Carlo Team). Ưu điểm của chương trình này là theo dõi được quá trình bỏ năng lượng của photon trong tương tác với các nguyên tử phân tử môi trường vật chất dựa vào những thư viện tiết diện tương tác đã được xây dựng sẵn trong chương trình. Ưu điểm nổi bật của chương trình này là người sử dụng chỉ cần khai báo các thông số kĩ thuật của hệ đo bao gồm đầu dò, nguồn phóng xạ và vật liệu cần đo.

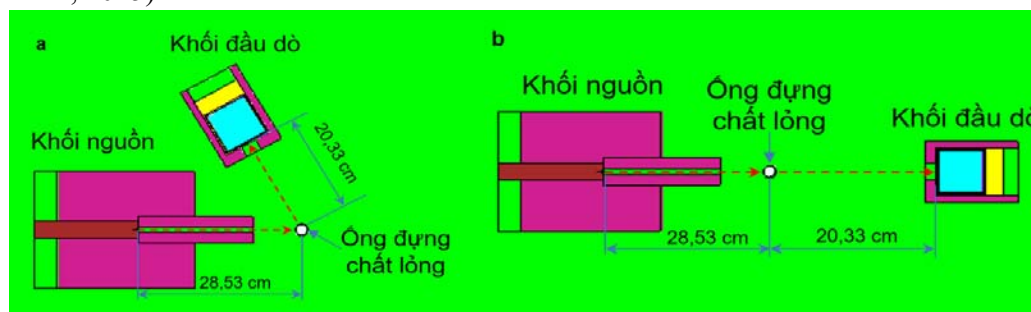
Trong các nghiên cứu trước đây, chúng tôi đã tiến hành khảo sát chi tiết tính chính xác của các thông số kĩ thuật của đầu dò (Hoang, Nguyen, Le, Huynh, & Tran, 2017; Hoang, Huynh, Tran, & Chau, 2016). Chính vì vậy, việc sử dụng các thông số tối ưu của đầu dò trong nghiên cứu này là hoàn toàn có cơ sở. Bố trí các thiết bị trong mô phỏng Monte Carlo

sử dụng chương trình MCNP5 như được trình bày trong Hình 1. Ống chuẩn trực của nguồn có đường kính 1 cm, ống chuẩn trực của đầu dò có đường kính 3 cm. Đối với trường hợp tán xạ, đầu dò được bố trí tại góc tán xạ 120° để ghi nhận phổ.

Chương trình mô phỏng MCNP5 cung cấp các tally tùy vào mục đích của nghiên cứu. Trong số đó, tally F8 dùng để khảo sát sự phân bố năng lượng hay nói cách khác là sự hình thành xung trong đầu dò. Do vậy, đầu ra của chương trình là phổ phân bố độ cao xung (PHS – Pulse Height Spectrum). Cũng vì lí do này nên để phổ mô phỏng giống với phổ đo từ thực nghiệm, cần thiết phải sử dụng sự giãn nở Gauss trong phổ (GEB – Gauss Energy Broadening). Đây là một kiểu xử lí đặc biệt dành cho tally sao cho phổ thu được có dạng giống với phổ thực nghiệm. Để sử dụng được tally này, trong MCNP5 cần khai báo thẻ FT8 đồng thời hàm giãn nở Gauss có biểu thức như trong phương trình:

$$FWHM(\text{MeV}) = a + b\sqrt{c + cE^2} \tag{7}$$

với E là năng lượng photon tán xạ (MeV); các hệ số a, b, c lần lượt có giá trị bằng – 0,0137257 MeV, 0,0739501 MeV^{1/2}, – 0,152982 MeV⁻¹ (Hoang, Huynh, Tran, Vo, Hoang, & Chau, 2015).



Hình 1. Mô hình bố trí thí nghiệm của hai kỹ thuật sử dụng trong nghiên cứu
a) gamma tán xạ và b) gamma truyền qua trong chương trình MCNP5

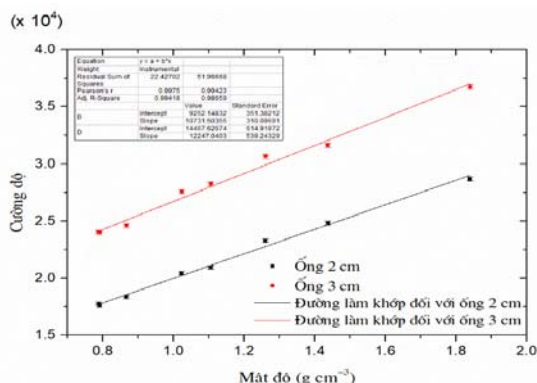
Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng 8 chất lỏng bao gồm ethyl alcohol, methanol, toluene, aniline, chlorobenzene, glycerol, chloroform và sulfuric acid để mô phỏng phổ tán xạ và truyền qua của chùm photon năng lượng 661,657 keV phát ra từ nguồn ¹³⁷Cs. Các phổ này được xử lí để xác định diện tích đỉnh tán xạ một lần hoặc đỉnh hấp thụ năng lượng toàn phần bằng cách áp dụng phương pháp xử lí phổ trong công trình nghiên cứu trước đây (Hoang, Huynh, Tran, Vo, Hoang, & Chau, 2015).

Diện tích đỉnh tán xạ một lần hoặc đỉnh hấp thụ năng lượng toàn phần theo mật độ của chất lỏng đối với các chất trên được làm khớp với hàm khớp dạng tuyến tính như trong các phương trình (3) và (6). Sau đó, sử dụng các hàm khớp, chúng tôi tính toán mật độ của bảy chất lỏng bao gồm: octane, acetone, benzene, oleic acid, nước, nitrobenzene, 1,2-dichlorobenzene. Mật độ chất lỏng tính được từ hai phương pháp tán xạ và truyền qua sẽ được so sánh và đánh giá. Kết quả thu được từ nghiên cứu này là cơ sở giúp chúng tôi định hướng thực nghiệm phép đo. Ngoài ra để tăng độ tin cậy của kết quả, chúng tôi sử dụng hai loại ống chứa chất lỏng có đường kính khác nhau là 2 cm và 3 cm.

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Kỹ thuật gamma tán xạ

Kết quả khớp hàm bậc nhất được trình bày trên Hình 2. Có thể thấy rằng, trong cả hai trường hợp, sự tuyến tính của cường độ tán xạ một lần theo mật độ là rất tốt với hệ số R² hiệu chỉnh đạt giá trị lần lượt là 0,994 và 0,987 cho các đường kính ống 2 cm và 3 cm. Dựa trên các đường chuẩn tuyến tính này, chúng tôi sẽ tính toán mật độ của bảy chất lỏng.



Hình 2. Hàm bậc nhất thể hiện sự phụ thuộc cường độ gamma tán xạ vào mật độ đối với hai trường hợp ống có đường kính 2 cm và 3 cm

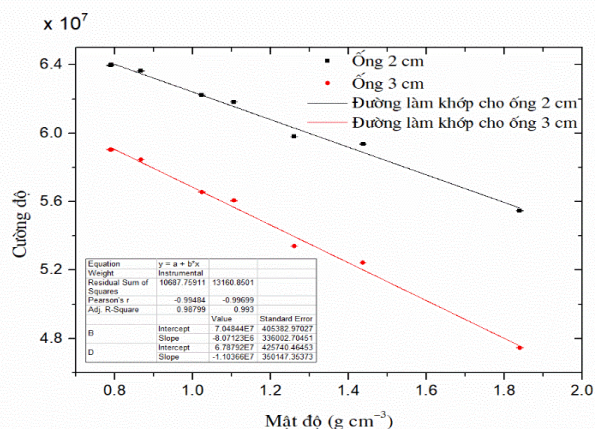
Bảng 1 trình bày kết quả tính toán mật độ của bảy chất lỏng cho hai trường hợp ống có đường kính 2 cm và 3 cm. Độ lệch lớn nhất giữa mật độ đo được và mật độ chuẩn có sự khác nhau ở các trường hợp ống đã khảo sát. Theo đó, với trường hợp ống có đường kính 2 cm, độ lệch lớn nhất này chỉ khoảng 4,2 %. Trong khi đó, với ống có đường kính 3 cm giá trị này là 6,4%.

Bảng 1. Kết quả tính toán mật độ chất lỏng cho hai trường hợp ống có đường kính 2 cm và 3 cm sử dụng phương pháp tán xạ

Chất lỏng	Mật độ chuẩn (NIOSH, 2016; NIST, 2013) (a)	Mật độ tính toán (b)	Sai số	$RD(\%) = \frac{ a-b }{a} \times 100\%$
Đường kính ống 2 cm				
Octane	0,703	0,673	0,040	4,2
Acetone	0,790	0,773	0,042	2,1
Benzene	0,879	0,861	0,043	2,0
Oleic acid	0,895	0,915	0,044	2,3
Nước	1,000	1,038	0,046	3,8
Nitrobenzene	1,199	1,189	0,049	0,8
1,2-Dichlobenzene	1,305	1,304	0,052	0,0
Đường kính ống 3 cm				
Octane	0,703	0,665	0,059	5,3
Acetone	0,790	0,739	0,061	6,4
Benzene	0,879	0,862	0,064	1,9
Oleic acid	0,895	0,892	0,065	0,3
Nước	1,000	1,029	0,069	2,9
Nitrobenzene	1,199	1,225	0,075	2,2
1,2-Dichlobenzen	1,305	1,319	0,078	1,1

4.2. Kỹ thuật gamma truyền qua

Dữ liệu diện tích đỉnh hấp thụ năng lượng toàn phần đối với chùm photon năng lượng 661,657 keV theo mật độ chất lỏng được làm khớp dạng tuyến tính như trình bày trên Hình 3. Kết quả làm khớp này cho thấy rằng, phân tích lí thuyết dựa trên các giả thiết phù hợp để đưa ra hàm tuyến tính như trong phương trình (6) được xác nhận bằng mô phỏng. Theo đó, có thể thấy với ống có đường kính 2 cm, hệ số R^2 hiệu chỉnh đạt giá trị 0,988. Với ống có đường kính 3 cm thì giá trị này là 0,993. Cả hai giá trị này nói lên rằng việc sử dụng bố trí thí nghiệm như đã thực hiện trong mô phỏng của nghiên cứu này sẽ giúp thu được đường chuẩn dạng tuyến tính. Tuy nhiên, vấn đề rất quan trọng ở đây cần chú ý rằng, sự tuyến tính của cường độ chùm tia truyền qua và tán xạ phụ thuộc rất nhiều vào các yếu tố của hệ đo bao gồm đường kính ống, đường kính ống chuẩn trực đầu dò và cả vùng mật độ khảo sát.



Hình 3. Hàm bậc nhất thể hiện sự phụ thuộc cường độ gamma truyền qua vào mật độ cho hai trường hợp đường kính ống 2 cm và 3 cm

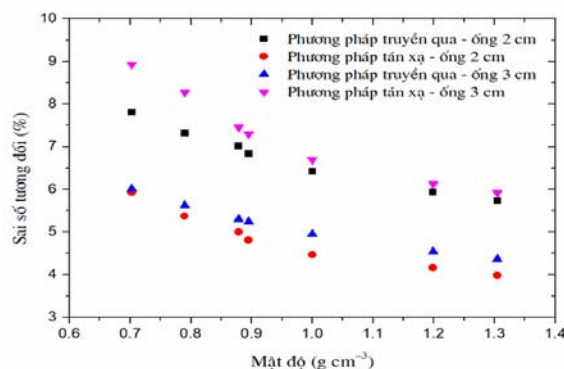
Kết quả làm khớp tuyến tính như trình bày trong Hình 3 được sử dụng để tính toán mật độ của các chất lỏng. Theo đó, với phương pháp truyền qua, hầu hết các mật độ tính toán đều có độ lệch so với mật độ chuẩn là dưới 3,6% cho cả hai trường hợp đường kính ống 2 cm và 3 cm. Hai chất lỏng còn lại là octane và acetone có độ lệch lần lượt so với mật độ chuẩn là 8,3 % và 5,6%. Với ống lớn hơn (đường kính 3 cm) thì độ lệch này có giảm chút ít nhưng không đáng kể. Có thể thấy không chỉ với phương pháp truyền qua, phương pháp tán xạ cũng cho độ lệch lớn với hai chất lỏng này.

Bảng 3. Mật độ dung dịch tính toán bằng kỹ thuật gamma truyền qua

Chất lỏng	Mật độ chuẩn (NIOSH, 2016; NIST, 2013) (a)	Mật độ tính toán (b)	Sai số	$RD (\%) = \frac{ a - b }{a} \times 100\%$
Đường kính ống 2 cm				
Octane	0,703	0,761	0,059	8,3
Acetone	0,790	0,834	0,061	5,6
Benzene	0,879	0,891	0,062	1,4
Oleic acid	0,895	0,927	0,063	3,6
Nước	1,000	1,026	0,066	2,6
Nitrobenzene	1,199	1,189	0,071	0,8
1,2-Dichlobenzene	1,305	1,276	0,073	2,2
Đường kính ống 3 cm				
Octane	0,703	0,756	0,045	7,5
Acetone	0,790	0,832	0,047	5,3
Benzene	0,879	0,909	0,048	3,5
Oleic acid	0,895	0,925	0,048	3,4
Nước	1,000	1,015	0,050	1,5
Nitrobenzene	1,199	1,189	0,054	0,8
1,2-Dichlobenzene	1,305	1,287	0,056	1,3

4.3. So sánh kỹ thuật gamma truyền qua và gamma tán xạ trong xác định mật độ của chất lỏng

Từ đồ thị trên Hình 4 có thể thấy rằng, đối với các chất mật độ càng lớn, sai số tương đối càng nhỏ. Điều này đúng cho cả hai phương pháp gamma truyền qua và gamma tán xạ. Có một điều đặc biệt có thể thấy được từ đồ thị rằng với kỹ thuật gamma tán xạ, khi tăng đường kính ống, sai số tương đối của phép đo tăng lên trong khi đó với kỹ thuật gamma truyền qua thì việc tăng đường kính ống lại giúp giảm sai số tương đối. Xu hướng này là rõ ràng chứ không phải chỉ là hiệu ứng thuần thặng giá trị thông kê. Tuy nhiên, để có thể kết luận cụ thể hơn về vấn đề này, cần thiết phải khảo sát nhiều loại đường kính ống. Tuy vậy, kết quả ban đầu này sẽ giúp chúng tôi định hướng cho nghiên cứu sau nhằm tìm kiếm mô hình tối ưu sao cho phép đo mật độ có sai số nhỏ nhất khi ứng dụng từng phương pháp.



Hình 4. So sánh sai số tương đối của phép đo mật độ sử dụng phương pháp truyền qua và phương pháp gamma tán xạ với các trường hợp ống 2 cm và 3 cm

5. Kết luận

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã trình bày cơ sở lý thuyết của kỹ thuật gamma truyền qua và gamma tán xạ để xác định mật độ chất lỏng dựa trên việc xây dựng đường chuẩn tuyến tính của cường độ chùm photon mà đầu dò ghi nhận được theo mật độ chất lỏng. Kết quả thu được cho thấy sự phụ thuộc tuyến tính rất tốt giữa cường độ và mật độ chất lỏng cho cả hai phương pháp áp dụng trong nghiên cứu với hệ số R^2 hiệu chỉnh đều lớn hơn 0,987. Trên cơ sở này, chúng tôi sử dụng các đường chuẩn tuyến tính thu được để xác định mật độ của bảy chất lỏng. Kết quả cho thấy, ngoài hai chất lỏng có mật độ thấp là octane và acetone có độ lệch tương đối còn cao (độ lệch trong khoảng từ 5 – 8 %), các chất lỏng còn lại đều có độ lệch dưới 4% so với mật độ chuẩn. Kết quả này cho thấy có thể thực hiện thêm các nghiên cứu thực hiện để tiến hành đánh giá hai phương pháp gamma truyền qua và gamma tán xạ trong xác định mật độ chất lỏng.

Một kết quả đáng chú ý khác thu được từ nghiên cứu này là sai số tương đối có sự khác nhau giữa phương pháp gamma truyền qua và gamma tán xạ. Theo đó, khi sử dụng phương pháp gamma truyền qua, đường kính ống lớn thì sai số tương đối của phép đo nhỏ trong khi đó với kỹ thuật gamma tán xạ thì sai số tương đối sẽ lớn khi đường kính ống lớn. Cần nhiều khảo sát chi tiết hơn liên quan đến đường kính ống, tuy nhiên kết quả ban đầu này sẽ giúp chúng tôi định hướng để khảo sát cụ thể sự ảnh hưởng này trong nghiên cứu tiếp theo.

- ❖ **Tuyên bố về quyền lợi:** Các tác giả xác nhận hoàn toàn không có xung đột về quyền lợi.
- ❖ **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 103.04-2018.24.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Hoang, D. T., Nguyen, T. H. Y., Le, B. T., Huynh, D. C., & Tran, T. T. (2017). Optimization of the Monte Carlo simulation model of NaI(Tl) detector by Geant4 code. *Applied Radiation and Isotopes*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2017.09.020>
- Hoang, D. T., Huynh, D. C., Tran, T. T., Vo, H. N., Hoang, T. K. T., & Chau, V. T. (2015). Advanced gamma spectrum processing technique applied to the analysis of scattering spectra for determining material thickness. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 303(1), 693–699. <https://doi.org/10.1007/s10967-014-3378-5>
- Hoang, D. T., Huynh, D. C., Tran, T. T., & Chau, V. T. (2016). A study of the effect of Al_2O_3 reflector on response function of NaI(Tl) detector. *Radiation Physics and Chemistry*, 125, 88–93. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.03.020>
- NIOSH (2016): Chemical Hazard, USA. <https://www.cdc.gov/niosh/npg/default.html>. Accessed 3 Sep 2017.
- NIST (2013) XCOM: photon cross sections database, USA. <http://www.nist.gov/pml/data/xcom/index.cfm>. Accessed 3 Sep 2017.

- 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(3), 462–469. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2011.10.019>
- Sharaf, J. M. (2001). Practical aspects of Compton scatter densitometry. *Applied Radiation and Isotopes*, 54(5), 801–809. [https://doi.org/10.1016/S0969-8043\(00\)00333-X](https://doi.org/10.1016/S0969-8043(00)00333-X)
- Tondon, A., Singh, M., Sandhu, B. S., & Singh, B. (2017). A Compton scattering technique for concentration and fluid-fluid interface measurements using NaI(Tl) detector. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 403, 21–27. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2017.04.080>
- X-5 Monte Carlo Team, A General Monte Carlo N-Particle Transport Code Version5, Volume II, User guide. Los Alamos national Laboratory, LA-CP-03-0245 (2005).

**COMPARISON OF GAMMA TRANSMISSION METHOD
AND GAMMA SCATTERING METHOD IN DETERMINING THE DENSITY
OF LIQUIDS BY MONTE CARLO SIMULATION**

*Trinh Thi Ngoc Huyen, Hoang Duc Tam**

Faculty of Physics – Ho Chi Minh City University of Education, Vietnam

**Corresponding author: Hoang Duc Tam – Email: tamhd@hcmue.edu.vn*

Received: July 03, 2019; Revised: August 24, 2019; Accepted: September 25, 2019

ABSTRACT

This study represents a theoretical description of the methods of gamma scattering and gamma transmission to determine the density of liquids. The principle of these methods is based on the linear dependence of the photon beam intensity (scattering or transmission) on the liquid density. The results show that the intensity of photon beam changes linearly with the density of liquids, where the adjusted coefficient of determination \bar{R}^2 was above 0.987 for both methods. Using these linear standard curves, the density of seven liquids were determined, which the relative deviation between the calculated density and the standard density is almost below 4%. It can be included that the gamma scattering and gamma transmission methods can be applied to determine the density of a liquid with the relative uncertainty of measurements in the range of 4% to 8 %.

Keywords: density of liquid, MCNP5, NaI(Tl), scattering, transmission.