

Nghiên cứu mật độ chất lỏng bằng kỹ thuật gamma tán xạ

• **Võ Thạch Trung Kiên**

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

• **Hoàng Đức Tâm**

Trường Đại học Sư Phạm TPHCM

• **Võ Hoàng Nguyên**

• **Huỳnh Đình Chương**

• **Trần Thiện Thanh**

• **Châu Văn Tạo**

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 12 tháng 09 năm 2016 nhận đăng ngày 10 tháng 04 năm 2017)

TÓM TẮT

Trong công trình này, phương pháp gamma tán xạ sử dụng nguồn phóng xạ ^{137}Cs (5 mCi) và đầu dò NaI(Tl) với góc tán xạ 120° để nghiên cứu mật độ của chất lỏng. Chúng tôi đã sử dụng các dung dịch chuẩn như nước, H_2SO_4 , HCl, glycerol, HNO_3 , ethanol và xăng A92 để làm khớp sự phụ thuộc của diện tích đỉnh tán xạ một lần, nên tán xạ nhiều lần và số đếm tổng theo mật độ chất lỏng. Mật độ của mẫu theo

Từ khóa: đỉnh tán xạ một lần, tán xạ nhiều lần, NaI(Tl), mẫu đo mật độ

đỉnh tán xạ một lần là $0,702 \text{ g.cm}^{-3}$, nên tán xạ nhiều lần là $0,783 \text{ g.cm}^{-3}$ và số đếm tổng là $0,747 \text{ g.cm}^{-3}$, độ sai biệt của các kết quả thực nghiệm so với giá trị thực của mẫu lần lượt là khoảng 8 %, 3 % và 2 %. Kết quả này cho thấy có thể sử dụng đỉnh tán xạ nhiều lần hoặc số đếm tổng để xác định mật độ dung dịch.

MỞ ĐẦU

Hiện nay, các hệ đo phóng xạ trong những nghiên cứu phóng xạ môi trường, nông nghiệp và công nghiệp... luôn được bố trí các loại đầu dò chuyên dụng như đầu dò tinh thể bán dẫn siêu tinh khiết hay đầu dò tinh thể nhấp nháy để ghi nhận tín hiệu phóng xạ. Trong đó, đầu dò tinh thể nhấp nháy với mức chi phí vận hành tối ưu được sử dụng phổ biến trong hệ đo phóng xạ gamma bằng hai phương pháp phổ biến là gamma tán xạ và gamma truyền qua. Phương pháp gamma tán xạ và gamma truyền qua sử dụng hệ phổ kế gamma NaI (Tl) được sử dụng rộng rãi và cho kết quả với độ chính xác cao.

Nghiên cứu so sánh phương pháp gamma tán xạ với phương pháp gamma truyền qua trong việc xác định mật độ phân cách hai môi trường lỏng-lỏng và lỏng

– khí, đo đặc mật độ chất lỏng [2] và nghiên cứu cải tiến phương pháp tán xạ Compton để xác định nồng độ dung dịch [3] của Priyada và cộng sự. Nhóm nghiên cứu đã tiến hành thực nghiệm bằng nguồn ^{137}Cs có hoạt độ 4,2Ci với đầu dò HPGe. Đồng thời, chương trình MCNP4C cũng được sử dụng để mô phỏng thí nghiệm, so sánh các kết quả mô phỏng và thực nghiệm. Các kết quả thu được của nhóm cho thấy rằng phương pháp gamma tán xạ có độ chính xác tốt hơn so với đo bằng phương pháp gamma truyền qua.

Thực nghiệm sử dụng nguồn phóng xạ phát tia gamma có hoạt độ cỡ mCi để đo đặc mật độ vật liệu sử dụng trong công nghiệp bằng phương pháp gamma tán xạ [1]. Kết quả của nghiên cứu cho thấy tính khả

thi của việc sử dụng nguồn hoạt độ cỡ mCi và đầu dò độ có độ phân giải thấp trong đo đặc xác định mật độ vật liệu.

Một nghiên cứu khác của chúng tôi sử dụng phương pháp gamma tán xạ để xác định bề dày của vật liệu thép với nguồn phóng xạ ^{137}Cs có hoạt độ 5 mCi và đầu dò NaI(Tl) 7,62 cm×7,62 cm [4]. Ngoài ra, chúng tôi cũng sử dụng phần mềm MCNP5 để mô phỏng và so sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm. Kết quả cho thấy tính khả thi của phương pháp gamma tán xạ với nguồn hoạt độ thấp cỡ mCi để xác định bề dày vật liệu, đồng thời với nguồn hoạt độ thấp thì việc che chắn bức xạ cũng dễ dàng hơn.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã thiết lập hệ đo thực nghiệm để xác định mật độ chất lỏng bằng phương pháp gamma tán xạ tại góc 120° , sử dụng nguồn phóng xạ ^{137}Cs có hoạt độ 5mCi. Thực nghiệm xác định mật độ trên các ống chứa chất lỏng (nước,

H_2SO_4 , HCl, HNO_3 , glycerol, ethanol, xăng A92); dựa vào kết quả đo đặc thực tế để suy ra mật độ của chất lỏng kiểm định là dầu KO.

VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Cơ sở lý thuyết

Năng lượng của bức xạ gamma sau khi bị tán xạ Compton được tính bởi:

$$E = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{m_0c^2}(1 - \cos\theta)} \tag{1}$$

Trong đó:

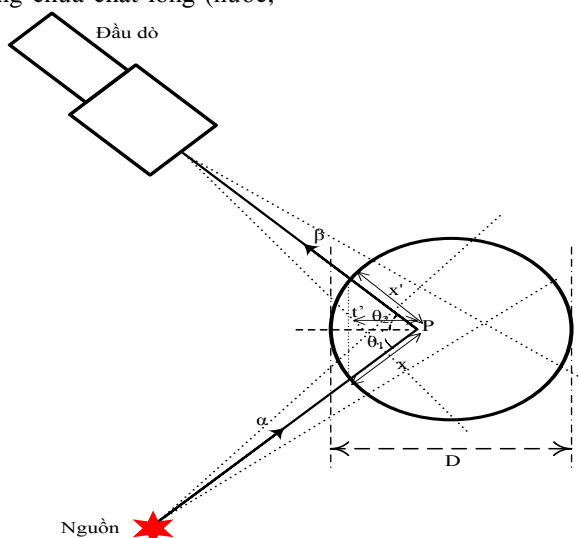
E_0 là năng lượng của bức xạ gamma đến bia,

E là năng lượng của bức xạ gamma sau khi bị tán xạ,

m_0 là khối lượng của electron,

c là vận tốc ánh sáng trong chân không,

θ là góc tán xạ.



Hình 1. Quá trình tán xạ Compton một lần của bức xạ gamma trên bia

Trong Hình 1, quá trình tán xạ của tia gamma từ nguồn đến đầu dò được chia thành ba giai đoạn [2], [3]. Nếu chỉ xét cường độ chùm photon tán xạ chỉ phụ thuộc độ dày vật liệu (chất lỏng chứa trong ống nghiệm đường kính D) thì cường độ chùm bức xạ gamma sau khi bị tán xạ:

$$I = K\rho \int_0^D \exp\left[-\left(\frac{\mu(E_0)}{\rho}\right)\frac{1}{\cos\theta_1}\rho t'\right] \exp\left[-\left(\frac{\mu(E)}{\rho}\right)\frac{1}{\cos\theta_2}\rho t'\right] dt' \tag{2}$$

Đặt $a = \left(\frac{\mu(E_0)}{\rho} \sec \theta_1 + \frac{\mu(E)}{\rho} \sec \theta_2 \right) \rho$, trong đó các hệ số suy giảm khối $\frac{\mu(E_0)}{\rho}$ và $\frac{\mu(E)}{\rho}$. Biến đổi phương trình (2) được:

$$I = \frac{K}{a} [1 - \exp(-aD)] \rho \quad (3)$$

Đặt $A = \frac{K}{a} [1 - \exp(-aD)]$, phương trình (3) trở thành:

$$\rho = \frac{I}{A} \quad (4)$$

Phương trình (4) là công thức xác định mật độ chất lỏng bằng phương pháp gamma tán xạ. Sai số thực nghiệm của ρ được tính bởi công thức truyền sai số:

$$\sigma_\rho = \sqrt{\left(\frac{1}{A} \right)^2 \sigma_I^2 + \left(-\frac{I}{A^2} \right)^2 \sigma_A^2} \quad (5)$$

Trong đó: $\sigma_I = \sqrt{I}$ là sai số của cường độ chùm photon tán xạ I,

σ_A là sai số của A, được xác định từ kết quả làm khớp bằng chương trình OriginPro 8.1.

Bố trí thí nghiệm

Nguồn phóng xạ được sử dụng trong nghiên cứu này là đồng vị ^{137}Cs có hoạt độ 5mCi do hãng Eckert & Ziegler sản xuất. Đầu dò được sử dụng ghi nhận tín hiệu photon trong nghiên cứu là loại NaI (TI) cấu hình 802-7,62 cm×7,62 cm, do hãng Canberra Inc. sản xuất. Ống chứa chất lỏng sử dụng trong công trình này là ống thủy tinh, dung tích 100 mL và có đường kính là 2,05 cm. Chất lỏng được sử dụng là nước, các dung dịch H_2SO_4 , HCl, glycerol, HNO_3 , ethanol và xăng A92 để xây dựng phương trình

đường thẳng giữa diện tích đỉnh phổ gamma và mật độ chất lỏng; một ống chứa dầu KO sử dụng làm mẫu kiểm tra và một ống rỗng để xác định số đếm phông.

Hệ đo bằng phương pháp gamma tán xạ được bố trí với góc tán xạ là 120° . Toàn bộ hệ đo gồm một khối nguồn ^{137}Cs hoạt độ 5 mCi, khối đầu dò NaI(Tl), ống chứa chất lỏng và tấm chắn chì. Tất cả được đặt cố định trên mặt phẳng ngang cách mặt đất 50 cm. Khoảng cách từ nguồn đến tâm bia là 30 cm, từ tâm bia đến đầu dò là 21 cm.



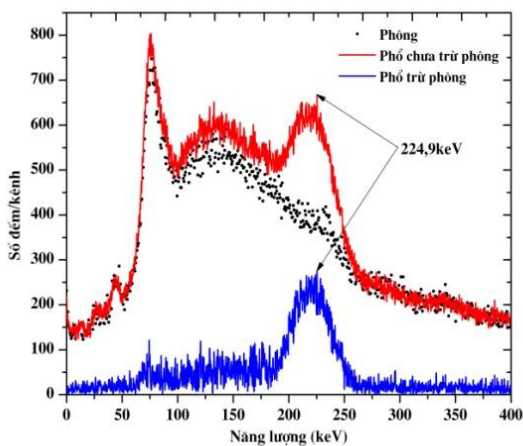
Hình 2. Bố trí hệ đo mật độ chất lỏng bằng phương pháp gamma tán xạ

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Để xác định được mật độ chất lỏng của mẫu dầu KO như là chất kiểm định cần thiết lập mối liên hệ giữa mật độ chất lỏng ρ và diện tích đỉnh tán xạ một lần I. Sau khi xử lý phổ, diện tích đỉnh tán xạ một lần trung bình 03 phép đo của mỗi ống chất lỏng thể hiện

trong Bảng 1, thứ tự sắp xếp theo mật độ tăng dần từ nhỏ đến lớn. Phương trình đường thẳng thể hiện quan hệ giữa diện tích đỉnh tán xạ I theo mật độ chất lỏng ρ có dạng:

$$\rho = aI + b \quad (6)$$



Hình 3. Phổ phông và phổ ống chứa nước tại góc tán xạ 120°

Bảng 1. Kết quả tính toán diện tích đỉnh tán xạ trên các chất lỏng chuẩn

Mẫu chất lỏng	Mật độ chuẩn (g.cm ⁻³)	Đỉnh tán xạ một lần	Nền tán xạ nhiều lần	Số đếm tổng
Xăng A92	0,725	29040 ± 98	50623±130	79666±200
Ethanol	0,773	31256 ±102	50154±129	81405±202
Nước	1,000	38852 ± 114	57542±138	96393±220
HCl	1,148	42823 ± 119	64207±146	107035±231
Glycerol	1,229	45536 ± 123	65955±148	111500±236
HNO ₃	1,364	47864 ± 126	70533±153	118405±243
H ₂ SO ₄	1,811	55818 ± 136	88494±172	144315±269

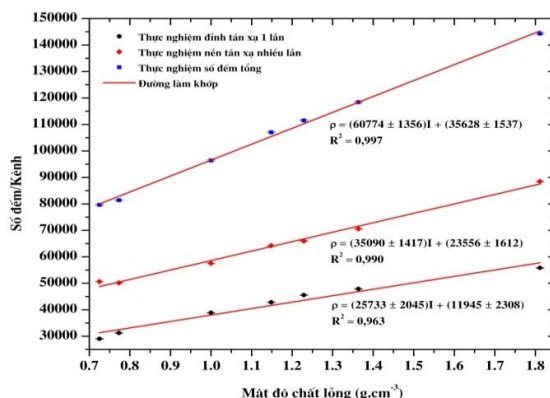
Từ dữ liệu trong Bảng 1, làm khớp theo phương pháp bình phương tối thiểu trên phần mềm OriginPro 8.1, kết quả làm khớp được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả làm khớp sự phụ thuộc của cường độ gamma tán xạ theo mật độ chất lỏng

	Hệ số a	Hệ số b	R ²
Đỉnh tán xạ một lần	25733 ±2045	11945 ±2308	0,963
Nền tán xạ nhiều lần	35090 ±1417	23556 ±1612	0,990
Số đếm tổng	60774 ±1356	35628 ±1537	0,997

Bảng 3. Số liệu đánh giá mật độ dung dịch

Mật độ chuẩn	Đỉnh tán xạ một lần		Nền tán xạ nhiều lần		Số đếm tổng	
	Giá trị	Sai biệt	Giá trị	Sai biệt	Giá trị	Sai biệt
0,763 (g.cm ⁻³)	0,702 ± 0,093 (g.cm ⁻³)	8 %	0,783 ± 0,059 (g.cm ⁻³)	3%	0,747 ± 0.030 (g.cm ⁻³)	2 %

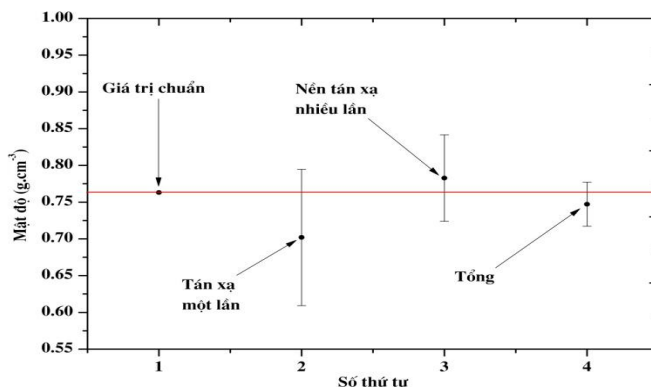


Hình 4. Làm khớp sự phụ thuộc cường độ gamma tán xạ vào mật độ chất lỏng

Số đếm của chất lỏng kiểm định – dầu KO sau khi xử lý phổ cho đỉnh tán xạ một lần, nền tán xạ nhiều lần và số đếm tổng lần lượt là (30010 ± 100) , (51023 ± 130) và (81037 ± 201) . Giá trị mật độ của mẫu chất lỏng kiểm định được trình bày trong Bảng 3.

Phép đo đỉnh tán xạ một lần cho kết quả có độ lệch so với giá trị thực nhiều nhất. Kết quả của phép

đo nền tán xạ nhiều lần và phép đo số đếm tổng đều có độ lệch so với giá trị thực gần như nhau. Tuy nhiên, có thể thấy kết quả của phép đo số đếm tổng có biên độ sai số tốt hơn phép đo nền tán xạ nhiều lần.



Hình 5. Kết quả đánh giá mật độ bằng phương pháp gamma tán xạ

Việc xác định mật độ chất lỏng theo mục tiêu đã đặt ra trong phần đầu của bài báo đối với phương pháp gamma tán xạ bằng đỉnh tán xạ 1 lần, nền tán xạ nhiều lần và số đếm tổng đều cho kết quả tương đối

chính xác khi đối chiếu với giá trị mật độ thực tế, độ sai biệt đều dưới 8%.

KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đã trình bày kết quả xác định mật độ chất lỏng bằng phương pháp gamma tán xạ tại góc 120^0 trên các loại chất lỏng và xử lý, so sánh và đánh giá kết quả đo đặc qua xử lý phổ gamma của đỉnh tán xạ 1 lần, nền tán xạ nhiều lần và số đếm tổng. Kết quả thu được cho thấy phương pháp

đo gamma tán xạ với việc xử lý phổ nền tán xạ nhiều lần và số đếm tổng đáng tin cậy để xác định mật độ chất lỏng.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số B2015-18-03.

Investigation of the liquid density using Gamma scattering technique

- **Vo Thach Trung Kien**

University of Science, VNU-HCM

- **Hoang Duc Tam**

HCM City Pedagogical University

- **Vo Hoang Nguyen**

- **Huynh Dinh Chuong**

- **Tran Thien Thanh**

- **Chau Van Tao**

University of Science, VNU-HCM

ABSTRACT

In this work, a gamma scattering technique using ^{137}Cs (5mCi) source with the NaI(Tl) detector is arranged to record the scattered photon beam at scattering angle of 120^0 for investigating the liquid density. We used standard liquid such as water, H_2SO_4 , HCl, glycerol, HNO_3 , ethanol and A92 petrol to fit the single scattering peak, multiple scattering, and total counts versus standard liquid densities. The

interpolating of the single scattering peak, multiple scattering, and total counts of the testing sample at scattering angle of 120^0 is 0.702 g.cm^{-3} , 0.783 g.cm^{-3} , and 0.747 g.cm^{-3} , respectively. The discrepancy of the experiment and true testing density is about 8 %, 3 %, and 2 %, respectively. The result shows that multiple scattering or total counts can be used to propose the density measurement.

Keywords: *single scattering peak, multiple scattering, NaI(Tl), testing density*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. O. Jahanbakhsh, S. Ashrafi, B. Salehpour, R.B.H. Abadi, N. Khaiiatoli, Industrial scattering densitometry using a mCi gamma-ray source, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 726, 47–51 (2013).
- [2]. P. Priyada, M. Margret, R. Ramar, Shivaramu, 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 (2012).
- [3]. P. Priyada, R. Ramar, Shivaramu, An improved Compton scattering method for determination of

- concentration of solutions, *Applied Radiation and Isotopes*, 70, 2421–2427 (2012).
- [4]. H.D. Tam, H.D. Chuong, T.T. Thanh, V.H. Nguyen, H.T.K. Trang, C.V. Tao, Advanced gamma spectrum processing technique applied to the analysis of scattering spectra for determining material thickness, *Journal of Radioanalytical Nuclear and Chemistry*, 303,1, 693–699 (2015).