

Nghiên cứu xác định mặt phân cách giữa các môi trường không hòa tan bằng kỹ thuật gamma tán xạ

- Võ Hoàng Nguyên
- Trần Thiện Thanh
- Bùi Đức Quý
- Nguyễn Quốc Minh
- Tô Hoàng Duy
- Lỗ Thái Sơn
- Châu Văn Tạo

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 19 tháng 12 năm 2016, nhận đăng ngày 30 tháng 10 năm 2017)

TÓM TẮT

Nghiên cứu này triển khai và so sánh các phương pháp xử lý phổ dựa trên kỹ thuật gamma tán xạ để xác định mặt phân cách giữa các chất lưu không hòa tan đựng trong bình chứa. Hệ đo gamma tán xạ bao gồm: một nguồn ^{137}Cs hoạt độ 5 mCi, ống thủy tinh hình trụ đường kính 6,5 cm đựng các dung dịch và một đầu dò NaI(Tl) 7,62×7,62 cm được bố trí để ghi nhận các tia

Từ khóa: mặt phân cách, gamma tán xạ, NaI(Tl)

MỞ ĐẦU

Trong những năm qua, cùng với sự phát triển mạnh mẽ của nền công nghiệp, nhu cầu về kỹ thuật đo và giám sát mực chất lỏng ứng dụng trong dây chuyền sản xuất ngày càng nhiều, đòi hỏi về tính liên tục, ổn định, an toàn và cơ động. Hiện nay trên thế giới có nhiều kỹ thuật để xác định mặt phân cách giữa hai môi trường không hòa tan cũng như giám sát mực chất lỏng được áp dụng rộng rãi, có thể kể đến như: kỹ thuật siêu âm, kỹ thuật gamma truyền qua, kỹ thuật gamma tán xạ [1, 2], ... Mỗi kỹ thuật đều có những ưu điểm riêng, trong đó kỹ thuật gamma tán xạ có các ưu điểm đặc trưng:

Không làm ảnh hưởng đến hoạt động của dây chuyền sản xuất, có thể áp dụng trên nhiều loại

gamma tán xạ ở góc 120°. Hai trong số ba phương pháp xử lý có kết quả khá tốt với độ sai biệt lớn nhất so với thực tế là 5 mm. Ngoài ra, kết quả còn cho thấy tính khả thi khi sử dụng máy phân tích đơn kênh trong hệ đo gamma tán xạ để xác định mặt phân cách giữa các môi trường không hòa tan.

đối tượng đo khác nhau về vật liệu, hình dạng và kích thước.

Không cần tiếp xúc trực tiếp với đối tượng đo, do đó có thể đo trong những điều kiện mà đối tượng cần đo nằm trong môi trường khắc nghiệt như: nhiệt độ cao, áp suất lớn, môi trường độc hại, ...

Chỉ cần tiếp cận từ một phía của đối tượng đo nên tỏ ra ưu thế khi đối tượng đo có kích thước lớn.

Với những ưu điểm nêu trên, kỹ thuật gamma tán xạ đã được ứng dụng một cách rộng rãi. Tuy nhiên, các hệ đo trong công nghiệp hiện nay sử dụng nguồn phóng xạ có hoạt độ lớn, gây ra những hạn chế về mặt an toàn bức xạ và quá trình bảo quản hoặc di dời [1-3]. Do đó, nghiên

cứu này được thực hiện nhằm xác nhận tính khả thi khi sử dụng nguồn có hoạt độ nhỏ (cỡ mCi) trong việc xác định mật phân cách giữa các môi trường không hòa tan bằng kỹ thuật gamma tán xạ.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng ba phương pháp xử lý phổ: dùng cường độ tán xạ Compton một lần, dùng cường độ tán xạ nhiều lần và dùng cường độ tán xạ tổng (một lần và nhiều lần) để xác định các mật phân cách. Với thời gian mỗi phép đo là 7200 giây, phương pháp dùng cường độ tán xạ một lần không thể xác định vị trí của các mật phân cách, tuy nhiên hai phương pháp còn lại cho kết quả khá tốt với độ sai biệt lớn nhất so với thực tế là 5 mm.

VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Cơ sở lý thuyết

Kỹ thuật gamma tán xạ dựa trên quá trình tán xạ Compton của tia gamma lên vật liệu. Quá trình này diễn ra trong ba giai đoạn (xem Hình 1):

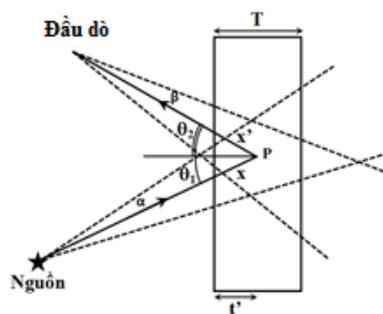
Giai đoạn 1: Photon từ nguồn đi đến điểm tán xạ P (đường α)

Giai đoạn 2: Quá trình tán xạ tại điểm P.

Giai đoạn 3: Các photon sau khi tán xạ từ điểm P đi qua lớp vật liệu x' và tiến về đầu dò (đường β).

Theo nghiên cứu trước đây [4, 5], cường độ chùm photon tán xạ đi đến đầu dò được tính bởi công thức:

$$I = k_p \frac{1 - \exp\left[-\left(\frac{\mu(E)}{\rho} \sec\theta_1 + \frac{\mu(E')}{\rho} \sec\theta_2\right) \rho T\right]}{\left(\frac{\mu(E)}{\rho} \sec\theta_1 + \frac{\mu(E')}{\rho} \sec\theta_2\right) \rho} \quad (1)$$



Hình 1. Quá trình tán xạ một lần của photon lên vật liệu [6]

Gọi I_1 và I_2 là cường độ tán xạ trên vật liệu 1 (mật độ ρ_1) và vật liệu 2 (mật độ ρ_2). Từ công thức (1) suy ra:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{1 - \exp\left[-\left(\frac{\mu(E)}{\rho_1} \sec\theta_1 + \frac{\mu(E')}{\rho_1} \sec\theta_2\right) \rho_1 T\right] \left(\frac{\mu(E)}{\rho_2} \sec\theta_1 + \frac{\mu(E')}{\rho_2} \sec\theta_2\right)}{1 - \exp\left[-\left(\frac{\mu(E)}{\rho_2} \sec\theta_1 + \frac{\mu(E')}{\rho_2} \sec\theta_2\right) \rho_2 T\right] \left(\frac{\mu(E)}{\rho_1} \sec\theta_1 + \frac{\mu(E')}{\rho_1} \sec\theta_2\right)} \quad (2)$$

Đặt:

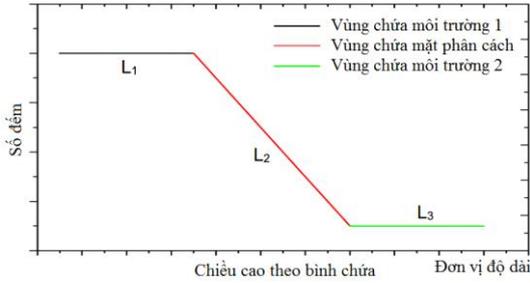
$$a_1 = \left(\frac{\mu(E)}{\rho_1} \sec\theta_1 + \frac{\mu(E')}{\rho_1} \sec\theta_2\right) \rho_1 \quad (3)$$

$$a_2 = \left(\frac{\mu(E)}{\rho_2} \sec\theta_1 + \frac{\mu(E')}{\rho_2} \sec\theta_2\right) \rho_2 \quad (4)$$

Công thức (2) được viết lại thành:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot \frac{1 - \exp[-a_1 T]}{1 - \exp[-a_2 T]} \cdot \frac{a_2}{a_1} \quad (5)$$

Từ công thức (5) có thể thấy: khi tán xạ trên hai vật liệu có mật độ khác nhau thì cường độ chùm tia gamma tán xạ sẽ thay đổi (tăng hoặc giảm) phụ thuộc vào sự thay đổi mật độ. Đồ thị biểu diễn sự thay đổi của cường độ chùm tia gamma tán xạ theo độ cao của vị trí đo theo bình chứa hai môi trường có mật độ khác nhau (môi trường 1 có mật độ lớn hơn môi trường 2) có dạng như Hình 2.



Hình 2. Cường độ gamma tán xạ thay đổi theo chiều cao bình chứa hai môi trường có mật độ khác nhau

Các đường thẳng L_1, L_2, L_3 tương ứng với các đường làm khớp ở từng vùng của bình chứa: vùng chứa môi trường 1, vùng chứa mặt phân cách, vùng chứa môi trường 2.

$$L_1: I = a_1 + b_1 x \quad (6)$$

$$L_2: I = a_2 + b_2 x \quad (7)$$

$$L_3: I = a_3 + b_3 x \quad (8)$$

Trong đó: I là số đếm (cường độ tán xạ), x là độ cao của vị trí đo theo bình chứa. Các hệ số a, b thu được từ quá trình làm khớp. Gọi h_1, h_2 lần lượt là hoành độ giao điểm của các đường thẳng (L_1, L_2) và (L_2, L_3).

$$h_1 = \frac{a_1 - a_2}{b_2 - b_1} \quad (9)$$

$$h_2 = \frac{a_3 - a_2}{b_2 - b_3} \quad (10)$$

Các sai số của h_1 và h_2 được tính từ công thức truyền sai số:

$$\sigma_{h_1} = \sqrt{\frac{\sigma_{a_1}^2 + \sigma_{a_2}^2}{(b_2 - b_1)^2} + \frac{(a_1 - a_2)^2 \cdot (\sigma_{b_2}^2 + \sigma_{b_1}^2)}{(b_2 - b_1)^4}} \quad (11)$$

$$\sigma_{h_2} = \sqrt{\frac{\sigma_{a_2}^2 + \sigma_{a_3}^2}{(b_3 - b_2)^2} + \frac{(a_2 - a_3)^2 \cdot (\sigma_{b_3}^2 + \sigma_{b_2}^2)}{(b_3 - b_2)^4}} \quad (12)$$

Vị trí mặt phân cách giữa hai môi trường được cho là giá trị trung bình của h_1 và h_2 :

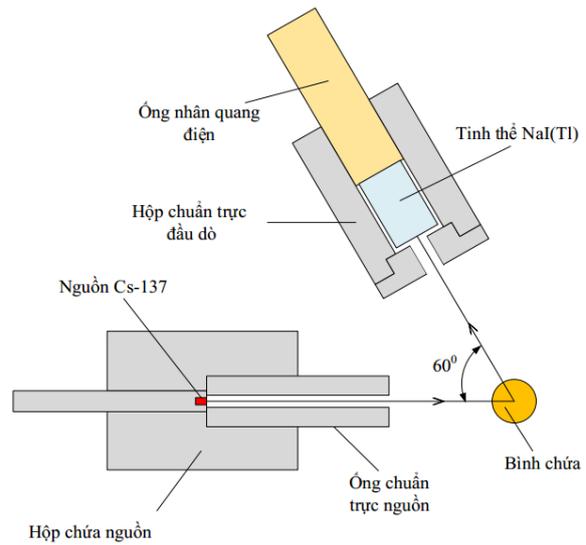
$$h = \frac{h_1 + h_2}{2} \quad (13)$$

Sai số của h được tính bởi:

$$\sigma_h = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_{h_1}^2 + \sigma_{h_2}^2} \quad (14)$$

Bố trí hệ đo

Nghiên cứu này sử dụng nguồn ^{137}Cs hoạt độ 5mCi và đầu dò NaI(Tl) có kích thước tinh thể $7,62 \times 7,62$ cm. Các bình chứa dung dịch có dạng hình trụ đường kính 6,5 cm, làm bằng thủy tinh và có bề dày 2 mm; các bình chứa này đóng vai trò làm bia tán xạ trong các phép đo. Các dung dịch được sử dụng bao gồm: glycerin, xăng, nước, dầu hỏa. Hệ đo được bố trí để ghi nhận chùm tia gamma tán xạ ở góc 120° với thời gian 7200 giây cho mỗi phép đo. Trường chiếu từ nguồn phóng xạ được chuẩn trực bằng một ống chuẩn trực có đường kính trong 1 cm. Ngoài ra, góc nhìn bia từ đầu dò cũng được chuẩn trực bằng một khe hẹp có bề rộng 1 cm (Hình 3).



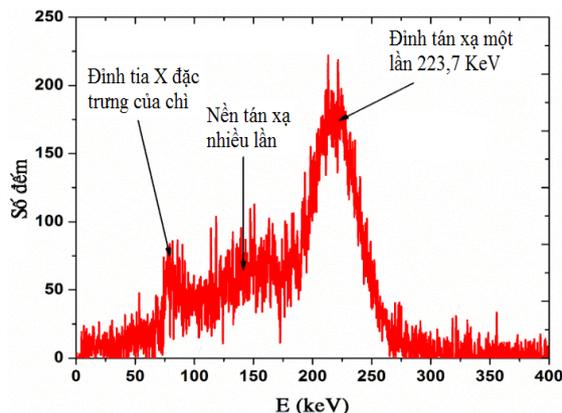
Hình 3. Mô hình hệ đo gamma tán xạ

Khi tiến hành các phép đo, bình chứa được giữ cố định, nguồn và đầu dò được di chuyển dọc theo chiều cao của bình chứa bằng một hệ cơ học. Vị trí đo ban đầu tại chân bình chứa; sau mỗi phép đo, nguồn và đầu dò được dịch chuyển tịnh tiến dần lên cao. Ở vùng cách xa mặt phân cách giữa các dung dịch, mỗi bước dịch chuyển là 2,5

cm; khi đến gần mặt phân cách, mỗi bước dịch chuyển là 0,5 cm.

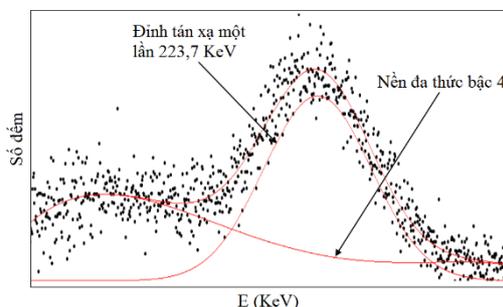
KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trước khi xử lý để tính cường độ tán xạ một lần và nhiều lần, các phổ tán xạ được trừ nhiễu. Phổ nhiễu được đo trong điều kiện có nguồn phóng xạ và bình chứa rỗng. Hình 4 minh họa một phổ tán xạ sau khi đã trừ nhiễu, trong đó có sự xuất hiện của đỉnh tán xạ một lần, nhiều lần và đỉnh tia X đặc trưng của chì.



Hình 4. Phổ tán xạ trên bình chứa dung dịch sau khi trừ nhiễu

Sau khi trừ nhiễu, các phổ tán xạ được xử lý bằng chương trình Colegram để tách đỉnh tán xạ một lần và nền tán xạ nhiều lần, đồng thời thu được các thông tin về diện tích (cường độ) tương ứng (Hình 5).



Hình 5. Đỉnh tán xạ một lần và nền tán xạ nhiều lần được tách bằng Colegram

Xác định mặt phân cách giữa hai môi trường glycerin - xăng

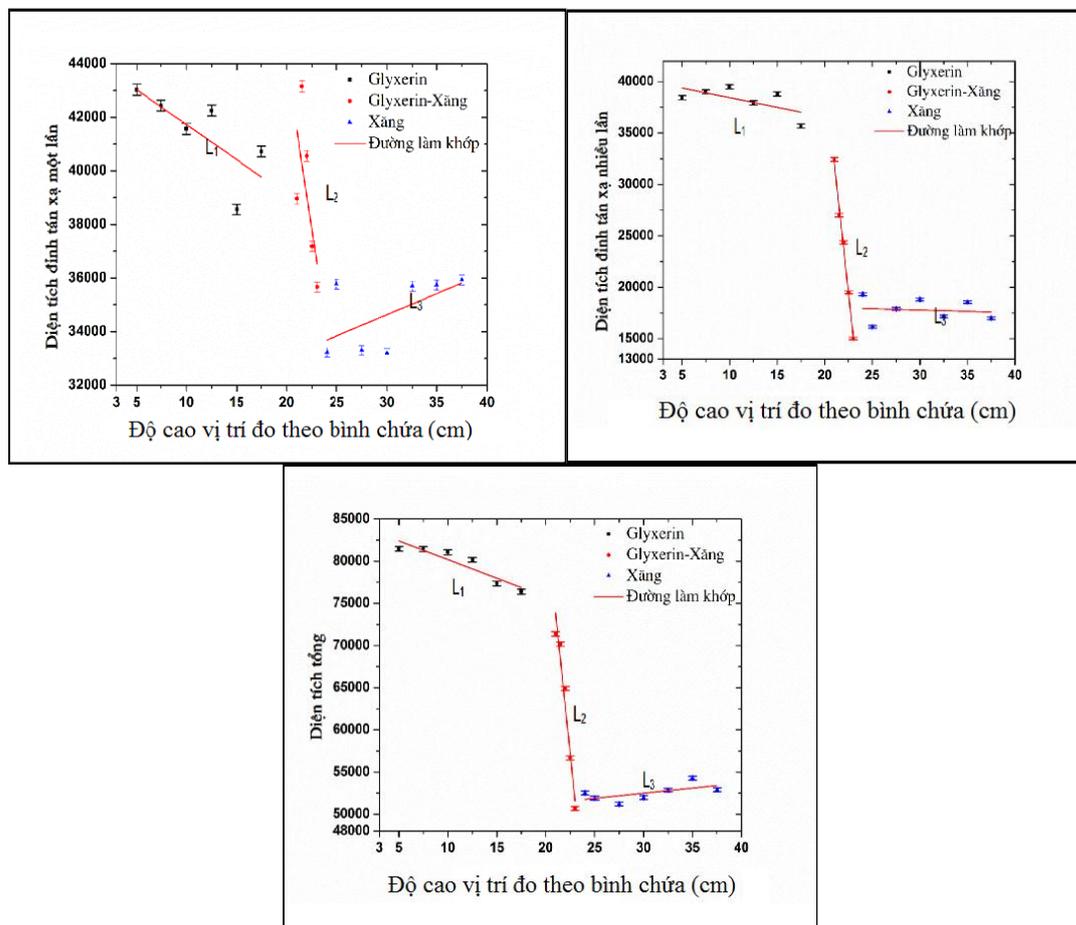
Trong thí nghiệm này, hai dung dịch: glycerin ($\rho = 1,26 \text{ g/cm}^3$) và xăng ($\rho = 0,75 \text{ g/cm}^3$) được cho vào bình chứa, mặt phân cách giữa hai dung dịch nằm ở độ cao $22,10 \pm 0,05 \text{ cm}$ của bình chứa. Kết quả về diện tích đỉnh tán xạ một lần, diện tích nền tán xạ nhiều lần và số đếm tổng được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả xử lý phổ trong các phép đo xác định mặt phân cách glycerin – xăng

Độ cao theo bình chứa (cm)	Diện tích đỉnh tán xạ một lần	Diện tích nền tán xạ nhiều lần	Diện tích tổng
5,00 ± 0,05	43031 ± 207	38434 ± 196	81453 ± 285
7,50 ± 0,05	42435 ± 206	39012 ± 198	81432 ± 285
10,00 ± 0,05	41564 ± 204	39500 ± 199	81055 ± 285
12,50 ± 0,05	42249 ± 206	37928 ± 195	80167 ± 283
15,00 ± 0,05	38556 ± 196	38797 ± 197	77365 ± 278
17,50 ± 0,05	40723 ± 202	35676 ± 189	76381 ± 276
20,00 ± 0,05	41070 ± 203	30227 ± 174	71292 ± 267
21,00 ± 0,05	38965 ± 197	32415 ± 180	71384 ± 267
21,50 ± 0,05	43155 ± 208	27014 ± 164	70171 ± 265
22,00 ± 0,05	40561 ± 201	24371 ± 156	64914 ± 255
22,50 ± 0,05	37182 ± 193	19499 ± 140	56675 ± 238
23,00 ± 0,05	35666 ± 189	15005 ± 122	50670 ± 225
23,50 ± 0,05	30884 ± 176	23994 ± 155	54879 ± 234
24,00 ± 0,05	33223 ± 182	19314 ± 139	52528 ± 229
25,00 ± 0,05	35776 ± 189	16140 ± 127	51907 ± 228

$27,50 \pm 0,05$	33299 ± 182	17888 ± 134	51185 ± 226
$30,00 \pm 0,05$	33189 ± 182	18804 ± 137	51980 ± 228
$32,50 \pm 0,05$	35697 ± 189	17153 ± 131	52849 ± 230
$35,00 \pm 0,05$	35744 ± 189	18553 ± 136	54282 ± 233
$37,50 \pm 0,05$	35933 ± 190	16988 ± 130	52909 ± 230

Dựa vào Bảng 1, đồ thị biểu diễn sự thay đổi của cường độ tán xạ theo độ cao của vị trí đo theo bình chứa được trình bày trong Hình 6.



Hình 6. Sự thay đổi của cường độ tán xạ trong phép đo xác định mặt phân cách glycerin - xăng

Các điểm màu đen ứng với những vị trí đo trong vùng chứa glycerin, các điểm màu đỏ ứng với vùng chứa mặt phân cách và các điểm màu xanh ứng với vùng chứa xăng. Đối với cường độ tán xạ một lần, không có sự chênh lệch nhiều giữa hai môi trường, do đó khó có thể xác định vị trí mặt phân cách. Đối với cường độ tán xạ nhiều lần và cường độ tán xạ tổng, sự chênh lệch giữa hai môi trường là khá rõ ràng. Do đó, trong

nguyên cứu này chỉ sử dụng cường độ tán xạ nhiều lần và cường độ tán xạ tổng để xác định mặt phân cách glycerin – xăng.

Việc xác định vị trí mặt phân cách dựa vào các giao điểm của các đường thẳng L₁, L₂, L₃ như đã trình bày trong mục 2.1. Kết quả xác định mặt phân cách glycerin – xăng được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả xác định mặt phân cách giữa hai môi trường glycerin – xăng

	h (cm)	σ_h (cm)
Phương pháp dùng cường độ tán xạ nhiều lần	21,58	1,09
Phương pháp dùng cường độ tán xạ tổng	21,93	2,75

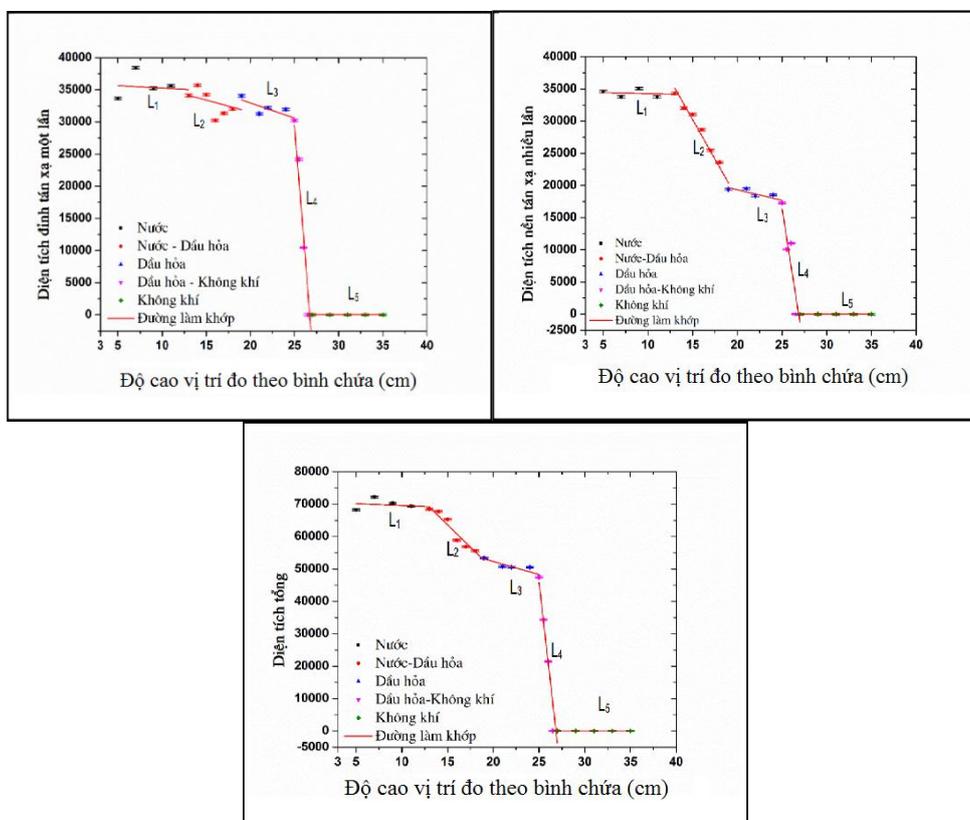
Sai khác về kết quả của hai phương pháp so với thực tế lần lượt là 0,52 cm và 0,17 cm. So với đường kính ống chuẩn trực nguồn và khe chuẩn trực đầu dò là 1 cm, mức sai khác này chiếm tỉ lệ dưới 52 %. Ngoài ra, kết quả từ hai phương pháp cũng có sự chênh lệch không nhiều.

Xác định mặt phân cách giữa ba môi trường nước – dầu hỏa – không khí

Để xác nhận một lần nữa về khả năng xác định mặt phân cách giữa các môi trường của hệ

đo, một thí nghiệm khác được thực hiện. Trong thí nghiệm này, các chất lỏng được sử dụng là nước ($\rho = 1 \text{ g/cm}^3$) và dầu hỏa ($\rho = 0,78 \text{ g/cm}^3$). Vị trí các mặt phân cách nước–dầu hỏa và dầu hỏa–không khí lần lượt nằm ở độ cao $16,00 \pm 0,05 \text{ cm}$ và $26,00 \pm 0,05 \text{ cm}$ của bình chứa.

Với các bước xử lý tương tự như trên, kết quả về sự thay đổi cường độ tán xạ theo độ cao vị trí đo được trình bày trong Hình 7.



Hình 7. Sự thay đổi của cường độ tán xạ trong phép đo xác định mặt phân cách nước – dầu hỏa – không khí

Cường độ tán xạ một lần vẫn không có sự chênh lệch nhiều giữa hai môi trường nước và dầu hỏa, vì vậy vẫn chỉ sử dụng cường độ tán xạ

nhiều lần và cường độ tán xạ tổng để xác định vị trí các mặt phân cách. Các kết quả được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả xác định mặt phân cách giữa các môi trường nước – dầu hỏa – không khí

	$h_{\text{nước-dầu}}$ (cm)	$h_{\text{dầu-khí}}$ (cm)
Phương pháp dùng cường độ tán xạ nhiều lần	$16,37 \pm 1,53$	$25,87 \pm 5,70$
Phương pháp dùng cường độ tán xạ tổng	$15,85 \pm 2,82$	$25,86 \pm 3,51$

Sai khác về kết quả xác định mặt phân cách nước–dầu hỏa lần lượt là 0,37 cm và 0,15 cm; với mặt phân cách dầu hỏa–không khí các sai khác này là 0,13 cm và 0,14 cm. Các sai khác này đều dưới 14 % so với đường kính ống chuẩn trực nguồn và độ rộng khe chuẩn trực đầu dò. Một lần nữa, kết quả từ hai phương pháp không có sự chênh lệch nhiều.

KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày về ứng dụng kỹ thuật gamma tán xạ để xác định mặt phân cách giữa các môi trường không hòa tan thông qua một hệ đo cụ thể do chúng tôi thiết lập. Các kết quả từ phương pháp sử dụng cường độ tán xạ nhiều lần và phương pháp sử dụng cường độ tán xạ tổng đều cho thấy sự phù hợp rất tốt so với thực tế, với sai khác lớn nhất là 0,52 cm: khoảng 50 % so với đường kính ống chuẩn trực nguồn và

độ rộng khe chuẩn trực đầu dò. Điều này đã chứng tỏ khả năng ứng dụng kỹ thuật gamma tán xạ với nguồn có hoạt độ cỡ mCi trong việc xác định hoặc giám sát mực chất lỏng trong các bình chứa. Độ chính xác mong muốn của các phép đo có thể được tùy biến bằng cách sử dụng các ống chuẩn trực có kích thước phù hợp. Ngoài ra, kết quả từ hai phương pháp trên không chênh lệch nhiều cho thấy sự ổn định của kết quả, đồng thời có ý nghĩa lớn khi ứng dụng vào dây chuyền sản xuất công nghiệp: bằng việc sử dụng phương pháp dùng cường độ tán xạ tổng, nên có thể dùng bộ phân tích đơn kênh và thiết lập cửa sổ năng lượng bao trùm toàn bộ vùng phổ quan tâm để lấy số đếm (cường độ) tán xạ tổng mà không cần phải qua các bước phân tích phổ.

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.

Determination of the interface between insoluble environments using gamma scattering technique

- Vo Hoang Nguyen
- Tran Thien Thanh
- Bui Duc Quy
- Nguyen Quoc Minh
- To Hoang Duy
- Lo Thai Son
- Chau Van Tao

University of Science, VNU-HCM

ABSTRACT

In this study, we deploy and compare spectrum processing methods based on gamma scattering technique to determine the interface between insoluble fluids stored in the container. The gamma scattering measurement system

included: a 5 mCi radioactive source of ¹³⁷Cs, a cylindrical glass vase with a diameter of 6.5 cm containing the fluids, and a NaI(Tl) detector with a 7.62 × 7.62 cm scintillation crystal. The detector was arranged to obtain the scattered

photon beam at the angle of 120° . Two of the three processing methods showed good results with the biggest difference of 5 mm. In addition, the results also show the feasibility of using SCA

Keywords: interface, gamma scattering, NaI(Tl)

in gamma scattering measurement system to determine the interface between insoluble environments.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. P. Priyada, M. Margret, R. Ramar, Shivaramu, M. Menaka, L. Thilagam, B. Venkataraman, B. Raj, Intercomparison of gamma scattering, gammatography, and radiography techniques for mild steel nonuniform corrosion detection, *Review of Scientific Instruments*, 82, 035115, 1–8 (2011).
- [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]. M. Singh, G. Singh, B.S. Sandhu, B. Singh, Effect of detector collimator and sample thickness on 0,662 MeV multiply Compton scattered gamma rays, *Applied Radiation and Isotopes*, 64, 373–378 (2006).
- [4]. V.H. Nguyễn, Kiểm tra khuyết tật trên vật liệu thép C45 dạng tấm bằng thực nghiệm đo tán xạ ngược gamma, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQG-HCM (2014).
- [5]. V.H. Nguyen, H.D. Tam, L.B. Tran, T.T. Thanh, H.T. Le, L.D.M. Quan, H.D. Chuong, T.N.T. Ngan, C.V. Tao, A semi-empirical method for measuring thickness of pipe-wall using gamma scattering technique, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 308, 1011–1016 (2016).
- [6]. H.Đ. Tâm, Nghiên cứu xác định bề dày thép C45 bằng phương pháp gamma tán xạ sử dụng đầu dò nhấp nháy NaI(Tl), Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQG-HCM (2015).