

Xác định hệ số k_0 và Q_0 của hạt nhân ^{165m}Dy trong phân tích kích hoạt neutron tại lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt

Phạm Huỳnh Bảo Trân¹, Nguyễn Minh Phương¹, Lê Mạnh Trí¹, Trương Trường Sơn^{1,*}, Trần Thị Nhân², Hồ Văn Doanh³, Hồ Mạnh Dũng³, Phonsavanh Lathdavong⁴, Nguyễn Hữu Nghĩa⁵, Hoàng Sỹ Minh Tuấn⁶



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

TÓM TẮT

Trong phương pháp chuẩn hóa k_0 của phân tích kích hoạt neutron (k_0 -NAA), việc xác định chính xác các hằng số hạt nhân, đặc biệt là hệ số k_0 và Q_0 , có ý nghĩa then chốt đối với độ tin cậy của kết quả phân tích. Điều này càng trở nên quan trọng khi nghiên cứu các đồng vị phóng xạ sống ngắn, chẳng hạn như ^{165m}Dy , do đặc tính suy giảm nhanh và hạn chế trong thu thập dữ liệu phổ gamma. Tuy nhiên, cơ sở dữ liệu hạt nhân hiện có cho các đồng vị sống ngắn vẫn còn thiếu hụt và chưa được cập nhật đầy đủ, dẫn đến những khó khăn nhất định trong ứng dụng thực tiễn của k_0 -NAA. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm góp phần mở rộng và cập nhật cơ sở dữ liệu k_0 và Q_0 cho các đồng vị sống ngắn vốn ít được quan tâm trong các công trình trước đây. Phương pháp áp dụng dựa trên k_0 -NAA, trong đó các giá trị k_0 và Q_0 được xác định bằng thực nghiệm, kết hợp với các tham số hạt nhân quan trọng như khối lượng nguyên tử, độ phổ biến đồng vị, xác suất phát xạ gamma và tiết diện bắt neutron nhiệt. Kết quả nghiên cứu cho thấy cơ sở dữ liệu đã được mở rộng, hiện bao gồm hơn 120 phản ứng (n, γ) có ý nghĩa đối với phân tích định lượng. Đồng thời, cùng với những công bố gần đây cũng đã cung cấp thêm dữ liệu đáng tin cậy cho nhiều đồng vị sống ngắn. Nghiên cứu này không chỉ góp phần hoàn thiện cơ sở dữ liệu hạt nhân mà còn nâng cao độ chính xác trong phân tích, mở rộng phạm vi ứng dụng của phương pháp k_0 -NAA trong phân tích đa nguyên tố, đặc biệt đối với các ma trận phức tạp hoặc những trường hợp đòi hỏi kết quả nhanh chóng.

Từ khoá: Hệ số k_0 và Q_0 , k_0 -NAA, hạt nhân phóng xạ sống ngắn

¹Trường Đại học Sư phạm TP.HCM, 280 An Dương Vương, Quận 5, TP.HCM, Việt Nam

²Trường Đại học Điện Lực, Việt Nam

³Trung tâm Hạt nhân Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam

⁴Cục An toàn Bức xạ và Hạt nhân, Bộ Giáo dục và Thể thao, CHDCND Lào

⁵Viện Nghiên cứu hạt nhân Đà Lạt, Việt Nam

⁶Trường Đại học Thủ Dầu Một, Việt Nam

Liên hệ

Trương Trường Sơn, Trường Đại học Sư phạm TP.HCM, 280 An Dương Vương, Quận 5, TP.HCM, Việt Nam

Email: sontt@hcmue.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 18-08-2025
- Ngày sửa đổi: 26-11-2025
- Ngày chấp nhận: 22-03-2026
- Ngày đăng: 28-03-2026

DOI:

<https://doi.org/10.32508/vnuhcmjarns.v10i1.1467>



MỞ ĐẦU

Số liệu hạt nhân trong phương pháp k_0 -NAA của hạt nhân sống ngắn ^{165m}Dy hiện nay đặc biệt là hệ số k_0 và Q_0 còn rất hạn chế, phần lớn được công bố cách đây rất lâu [1,2]. Tuy nhiên với điều kiện nghiên cứu hiện nay cần có nhiều công trình tính toán và đánh giá lại số liệu hạt nhân một cách toàn diện cho hạt nhân này.

Phương pháp chuẩn hoá k_0 trong phân tích kích hoạt neutron (k_0 -NAA) dựa trên việc sử dụng các hằng số hạt nhân như hệ số k_0 , Q_0 cùng với các tham số phổ neutron đặc trưng, bao gồm hệ số lệch phổ α và tỉ lệ thông lượng neutron nhiệt - cộng hưởng f . Trong đó:

- Hệ số k_0 là hằng số kết hợp từ các thông số hạt nhân như khối lượng nguyên tử, độ phổ biến đồng vị, hiệu suất phát gamma, và tiết diện bắt neutron nhiệt.
- Hệ số Q_0 được định nghĩa là tỉ số giữa tích phân cộng hưởng và tiết diện bắt neutron nhiệt của phản ứng kích hoạt.

Ngoài ra, phương pháp k_0 -NAA còn sử dụng một số dữ liệu hạt nhân quan trọng khác, bao gồm:

- Năng lượng tia gamma đặc trưng (E_γ) và cường độ phát gamma (I_γ)
- Chu kỳ bán rã ($T_{1/2}$). Tiết diện bắt neutron nhiệt (σ_0) và tích phân cộng hưởng (I_0)
- Hệ số tự hấp thụ gamma (G) và hệ số tự che chắn neutron (S) trong từng điều kiện hình học của mẫu
- Hệ số dẫn truyền neutron (Φ_E) theo phổ năng lượng trong kênh chiếu xạ

Các thông số trên được xác định thông qua thực nghiệm và được biên soạn thành các cơ sở dữ liệu hạt nhân chuẩn hoá [1]. Nhờ vậy, phương pháp k_0 -NAA cho phép xác định chính xác hàm lượng nguyên tố trong mẫu phân tích mà không cần sử dụng mẫu chuẩn đồng thể [2]. Hiện nay, các bộ dữ liệu hệ số k_0 , Q_0 và các tham số hạt nhân liên quan đang được cộng đồng người dùng k_0 -NAA trên thế giới sử dụng rộng rãi và liên tục được cập nhật, hiệu chỉnh [3].

Độ chính xác của các hệ số k_0 và Q_0 ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả phân tích của phương pháp k_0 -NAA. Gần đây, dữ liệu khuyến nghị về các hệ số k_0 và Q_0 cùng với các dữ liệu hạt nhân liên quan đã được cập

Trích dẫn bài báo này: Trân P H B, Phương N M, Trí L M, Sơn T T, Nhân T T, Doanh H V, Dũng H M, Lathdavong P, Nghĩa N H, Tuấn H S M. **Xác định hệ số k_0 và Q_0 của hạt nhân ^{165m}Dy trong phân tích kích hoạt neutron tại lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt**. *VNUHCM J. Adv. Res. Nat. Sci.* 2026; 10 (1):3612-3619.

cho hơn 100 hạt nhân phóng xạ. Các hệ số k_0 và Q_0 cũng như các dữ liệu hạt nhân liên quan của các đồng vị phóng xạ quan tâm trong phương pháp đã được xác định thông qua thực nghiệm⁴, tuy nhiên phần lớn trong số đó là các đồng vị phóng xạ có chu kỳ bán rã dài. Tuy nhiên, cơ sở dữ liệu của một số đồng vị phóng xạ có thời gian sống ngắn vốn chưa được xem xét cho đến nay. Đặc biệt đối với các đồng vị phóng xạ có chu kỳ bán rã ngắn dưới 100 giây, vẫn còn ít sự quan tâm, ngoại trừ một số công trình đã được thực hiện nhằm xác định cả hai hệ số k_0 và Q_0 của một số đồng vị phóng xạ sống ngắn⁴.

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phạm vi nghiên cứu

Trong bài báo này, các hệ số k_0 và Q_0 của đồng vị ^{165m}Dy được nghiên cứu xác định. Các nguyên tố, mẫu, đồng vị phóng xạ được tạo thành qua phản ứng $^{164}\text{Dy} (n,\gamma)^{165m}\text{Dy}$ được trình bày trong Bảng 1. Trong đó, nguyên tố Dy ở dạng hợp chất 1%Dy-Al được trình bày theo bảng 2. Các mẫu chuẩn và lá dò được chiếu ở kênh 13-2 của Lò phản ứng hạt nhân TRIGA MARK II tại Viện Nghiên cứu hạt nhân Đà Lạt sau đó mẫu được đo bằng hệ phổ kế gamma để xác định và tính toán dữ liệu hạt nhân.

Trong công trình này, hệ số k_0 của hạt nhân phân tích a so với hạt nhân chuẩn Au được xác định bằng phương pháp chiếu trần¹:

$$k_{0,Au}(a) = \frac{A_{sp,a}}{A_{sp,Au}} \times \frac{G_{th,Au} f + G_{e,Au} Q_{0,Au}(\alpha)}{G_{th,a} f + G_{e,a} Q_{0,a}(\alpha)} \times \frac{\epsilon_{p,Au}}{\epsilon_{p,a}} \quad (1)$$

Trong đó:

+ A_{sp} là hoạt độ phóng xạ riêng, tức là hoạt độ phóng xạ trên mỗi gam của nguyên tố quan tâm.

+ f là tỉ số giữa thông lượng neutron nhiệt và neutron trên nhiệt, α là hệ số biểu diễn cho độ lệch phổ neutron trên nhiệt khô quy luật $1/E$ và được mô tả gần đúng dưới dạng $1/E^{1+\alpha}$.

+ G_{th} và G_e lần lượt là các hệ số hiệu chỉnh tự che chắn neutron nhiệt và neutron trên nhiệt.

+ $Q_0(\alpha)$ là tỉ số giữa tích phân cộng hưởng và tiết diện bắt neutron nhiệt, được tính bằng công thức:

$$Q_0(\alpha) = \frac{Q_0 - 0,429}{E_r^\alpha} + \frac{0,429}{(2\alpha + 1)0,55^\alpha} \quad (2)$$

Trong đó E_r là năng lượng cộng hưởng hiệu dụng.

+ ϵ_p là hiệu suất phát hiện đỉnh năng lượng toàn phần Trong trường hợp một vị trí chiếu xạ có tham số f đủ lớn so với giá trị Q_0 , công thức trên sẽ trở thành:

$$k_{0,Au}(a) = \frac{A_{sp,a}}{A_{sp,Au}} \times \frac{G_{th,Au}}{G_{th,a}} \times \frac{\epsilon_{p,Au}}{\epsilon_{p,a}} \quad (3)$$

Điều này có thể áp dụng trong nghiên cứu này vì Cột nhiệt (Thermal Column - TC) của lò phản ứng nghiên cứu Đà Lạt với giá trị $f \approx 200$ đã được sử dụng để xác định các hệ số k_0

Xác định hệ số Q_0

Hệ số Q_0 được xác định bằng phương pháp tỉ số Cd¹:

$$Q_0(a) = Q_{0,Au}(a) \times \frac{F_{Cd,Au} - R_{Cd,Au} - 1}{F_{Cd,a} - R_{Cd,a} - 1} \times \frac{G_{th,a}}{G_{e,a}} \times \frac{G_{e,Au}}{G_{th,Au}} \quad (4)$$

Trong đó, F_{cd} là hệ số truyền qua cadmium, R_{cd} là tỉ số cadmium.

Quy trình thực nghiệm

Chuẩn bị các mẫu

Các lá dò có dạng dây và lá, ví dụ như Al-0,1%Au, Al-0,1%Lu, 99,9%Zr và 99%Ni. Trong nghiên cứu này sử dụng lá dò 0,1%Au-Al dạng màng mỏng. Các lá dò của Dy có dạng dây; các mẫu chuẩn và mẫu đối chiếu bằng hợp kim được cắt thành từng mảnh nhỏ, rửa bằng cồn, làm khô và cân với khối lượng khoảng 1–10 mg. Thông tin chi tiết được trình bày theo bảng 2.

Hai hệ số G_{th} (hệ số tự che chắn neutron lý thuyết) và G_e (hệ số tự hấp thụ gamma thực nghiệm) được lấy bằng 1 vì:

- Mẫu có kích thước rất nhỏ và độ mỏng thấp, dẫn đến:

+ Khả năng suy giảm dòng neutron trong mẫu là không đáng kể, do đó hệ số tự che chắn neutron được giả định $G_{th} \approx 1$.

+ Tia gamma phát ra gần như thoát ra hoàn toàn khỏi mẫu mà không bị hấp thụ nội bộ đáng kể, nên hệ số tự hấp thụ $G_e \approx 1$.

- Hàm lượng nguyên tố hoạt tính (Au hoặc Dy) trong nền nhôm rất thấp (0,1% hoặc 1% khối lượng), nên:

+ Mật độ hạt nhân hấp thụ neutron nhỏ, không tạo ra hiệu ứng che chắn nội bộ.

+ Sự phân bố đồng đều trong nền Al có mật độ thấp (2,7 g/cm³) giúp tránh hiện tượng tự suy giảm gamma.

- Theo khuyến cáo của De Corte và phần mềm ko-IAEA, đối với:

+ Các mẫu mỏng có khối lượng riêng < 3 g/cm³,

+ Đường kính < 1cm, độ dày < 0,1cm, thì có thể bỏ qua hiệu ứng tự che chắn và tự hấp thụ và lấy $G_{th} = G_e = 1$ mà không gây sai số đáng kể.

Mẫu sau khi chuẩn bị xong được đóng vào hộp chứa mẫu bằng nhựa (cụ thể thông tin hộp chứa mẫu) như hình 1b để chuẩn bị chiếu xạ mẫu. Mỗi mẫu được chuẩn bị thành hai phần: một phần không bọc Cd dùng cho trường hợp chiếu trần và một phần có bọc Cd với bề dày 1,0 mm có trọng lượng khoảng 1,2 gram (hình 1a)⁸.

Chiếu xạ mẫu

Cả hai quá trình chiếu xạ chiếu trần và bọc Cd để xác định hệ số Q_0 đều được thực hiện tại Kênh 13-2. Các quá trình chiếu xạ để xác định hệ số k_0 bằng phương pháp chiếu trần được thực hiện tại Cột nhiệt (TC). Hộp Cd được sử dụng để chứa mẫu (Hình 1), được làm từ một tấm cadmium dày 1,0 mm và có trọng lượng khoảng 1,2 gram. Sau khi hoàn tất chuẩn bị mẫu trong hộp Cd, hộp này được đặt vào trong hộp nhựa và sử dụng trong quá trình chiếu xạ⁸.

Hệ thống truyền tải tự động bằng khí nén (PTS) dựa

trên thiết bị chiếu xạ được kết nối với cả hai vị trí Kênh 13-2 và cột nhiệt (Thermal Column - TC) được lắp đặt tại Lò phản ứng nghiên cứu Đà Lạt. Việc xác định thông số phổ của lò phản ứng được thực hiện bằng phương pháp “Ba lá dò chiếu trần” dựa trên các phản ứng $^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$, $^{94}\text{Zr}(n, \gamma)^{95}\text{Zr}$ và $^{96}\text{Zr}(n, \gamma)^{97}\text{Zr}$. Ngoài ra, việc sử dụng lá dò Al-0,1%Lu với tỷ lệ đồng vị: ^{175}Lu (97,401%) và ^{176}Lu (2,599%); và lá dò 99%Ni với tỷ lệ đồng vị: ^{64}Ni (0,926%) và ^{58}Ni (68,077%). Các phản ứng $^{175}\text{Lu}(n, \gamma)^{176\text{m}}\text{Lu}$, $^{176}\text{Lu}(n, \gamma)^{177}\text{Lu}$, $^{64}\text{Ni}(n, \gamma)^{65}\text{Ni}$ và $^{58}\text{Ni}(n, p)^{58}\text{Co}$ được sử dụng để xác định nhiệt độ neutron và dòng neutron nhanh, trong đó phản ứng sau được dùng để hiệu chỉnh sự nhiễu do neutron nhanh gây ra⁹. Thời gian chiếu xạ cho các lá dò tại Kênh 13-2 và vị trí TC lần lượt là 10 phút và 2 giờ. Các mẫu chuẩn sau khi chiếu xạ được để nguội từ 1 đến 3 ngày trước khi đo phổ gamma.

Bảng 4 cho thấy các thông số phổ neutron được xác định cho các vị trí chiếu xạ tại Kênh 13-2 như sau: $\phi_{th} = (4,21 \pm 0,14) \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$; $\alpha = -0,038 \pm 0,006$; $f = 10,7 \pm 2,4$; $f_F = 0,637$; $T_n = (312 \pm 5) \text{ K}$; và tại Cột nhiệt (TC): $\phi_{th} = (1,24 \pm 0,03) \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$; $\alpha = 0,092 \pm 0,035$; $f = 195 \pm 4$; $f_F = 145,96$; $T_n = (297 \pm 3) \text{ K}$, với f_F là tỉ số giữa thông lượng neutron nhiệt và neutron nhanh.

Trong quá trình xác định thực nghiệm các hệ số k_0 và Q_0 , các mẫu đối chiếu/mẫu chuẩn được đo ở khoảng cách 5 cm và 18 cm so với đầu dò GMX-4076 (hiệu suất tương đối 40%, độ phân giải năng lượng 1,9 keV tại đỉnh 1332 keV của ^{60}Co). Để hiệu chuẩn đường cong hiệu suất ghi của đầu dò, nghiên cứu sử dụng nguồn chuẩn hỗn hợp $^{152}\text{Eu}+^{60}\text{Co}$, với các đỉnh gamma đặc trưng lần lượt tại 121,8 keV; 244,7 keV; 344,3 keV; 778,9 keV; 964,1 keV; 1112,1 keV; 1408,0 keV (^{152}Eu) và 1173,2 keV; 1332,5 keV (^{60}Co). Các phép đo nguồn chuẩn được thực hiện lần lượt tại các khoảng cách 5 cm, 10 cm, 15 cm và 18 cm so với đầu dò. Kế tiếp, tiến hành xử lý phổ gamma và tính toán hiệu suất ghi sau đó làm khớp đường cong hiệu suất theo hàm bậc 4 như phương trình (5). Các hệ số phù hợp của phương trình đường cong hiệu suất cho đầu dò GMX-4076 được sử dụng để tính toán hệ số k_0 như trình bày trong Bảng 5.

$$\log \epsilon_p = a_0 + a_1 \log E + a_2 (\log E)^2 + a_3 (\log E)^3 + a_4 (\log E)^4 \quad (5)$$

Các điều kiện chiếu – rã – đo đồng vị $^{165\text{m}}\text{Dy}$ để xác định hệ số k_0 được nêu tại Bảng 6, vị trí đo cách đầu dò là 10 cm.

Các điều kiện chiếu – rã – đo đồng vị $^{165\text{m}}\text{Dy}$ để xác định hệ số được nêu tại Bảng 7, trong đó khoảng cách đo 18 cm so với đầu dò tương ứng với trường hợp chiếu trần và 5 cm với trường hợp chiếu có bọc Cd.

Các phổ gamma thu được sau chiếu xạ được xử lý

bằng phương pháp tách đỉnh (peak deconvolution) bằng phần mềm “ k_0 -DALAT” – một hệ thống phần mềm chuyên dụng do nhóm nghiên cứu phát triển riêng cho ứng dụng của phương pháp k_0 -NAA. Phần mềm này tích hợp các chức năng: hiệu chuẩn hiệu suất đỉnh toàn phần (full-energy peak efficiency calibration) cho hệ phổ gamma, xác định các thông số trường neutron tại vị trí chiếu xạ, hiệu chỉnh ảnh hưởng nhiễu từ các phản ứng hạt nhân khác và xuất báo cáo kết quả phân tích bao gồm hàm lượng nguyên tố, độ không đảm bảo đo (measurement uncertainty) và giới hạn phát hiện (detection limit).

Trong quá trình xử lý phổ, các đỉnh gamma đặc trưng của đồng vị $^{165\text{m}}\text{Dy}$ được lựa chọn để tính toán cường độ và hiệu suất, điển hình như đỉnh 108 keV và 515 keV, cùng với các đỉnh phụ trợ khác nếu cần thiết để tăng độ tin cậy của kết quả.

KẾT LUẬN VÀ THẢO LUẬN

Hệ số k_0 của đồng vị $^{165\text{m}}\text{Dy}$ được xác định bằng phương pháp chiếu trần (bare irradiation) tại Cột nhiệt (Thermal Column – TC) của Lò phản ứng nghiên cứu Đà Lạt (DRR). Giá trị thu được được tổng hợp trong Bảng 9, đồng thời so sánh với các số liệu tham khảo từ các công trình đã công bố nhằm đánh giá mức độ phù hợp và độ tin cậy của kết quả thực nghiệm.

$^{165\text{m}}\text{Dy}$ phát ra hai tia gamma với xác suất phát xạ cao, nhưng không có hiệu ứng trùng phùng nên không cần hiệu chỉnh hiệu ứng này. Kết quả thực nghiệm của hệ số k_0 cho $^{165\text{m}}\text{Dy}$ ở các năng lượng 108,2 keV và 515,5 keV với độ sai lệch lần lượt là 4,3% và 6,7%, độ sai lệch này dưới 10% là giá trị thường được chấp nhận trong thực nghiệm.

Kết quả xác định thực nghiệm hệ số Q_0 bằng phương pháp tỉ số cadmium sử dụng Kênh 13-2, so sánh với các tác giả khác, được trình bày trong Bảng 10.

Kết quả thực nghiệm của hệ số Q_0 của hạt nhân $^{165\text{m}}\text{Dy}$ với độ sai lệch lần lượt là 24% và 58,3%, so với hai tác giả De Corte. F và Van Lierde. S là tương đối lớn.

KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, các hệ số k_0 và Q_0 của đồng vị $^{165\text{m}}\text{Dy}$ đã được xác định bằng phương pháp thực nghiệm với độ tin cậy cao. Kết quả cho thấy giá trị k_0 thu được có sai lệch tối đa khoảng 6,7% so với các công bố trước đây trong các bộ dữ liệu tham khảo. Mức sai lệch này nhìn chung vẫn nằm trong giới hạn chấp nhận được đối với các phép đo hạt nhân thực nghiệm, đặc biệt khi xét đến sự khác biệt về điều kiện chiếu xạ, đặc trưng phổ neutron và phương pháp phân tích được sử dụng trong từng nghiên cứu.

Tuy nhiên, các giá trị Q_0 xác định được vẫn còn thể hiện sự chênh lệch đáng kể khi so sánh với một số

tác giả khác. Sự khác biệt này nhiều khả năng bắt nguồn từ một số yếu tố như mô hình hóa tích phân cộng hưởng chưa đồng nhất, sự khác nhau về phổ neutron cộng hưởng trong từng lò phản ứng, cũng như ảnh hưởng của các hiệu ứng tự che chắn chưa được đánh giá đầy đủ. Điều này cho thấy rằng, mặc dù các kết quả hiện tại đã cung cấp một tham chiếu hữu ích, nhưng bộ dữ liệu hạt nhân dành cho đồng vị ^{165m}Dy vẫn cần tiếp tục được kiểm chứng thông qua các nghiên cứu độc lập khác với cấu hình chiếu xạ và phương pháp phân tích khác nhau để xây dựng một nền tảng dữ liệu chuẩn xác và ổn định hơn.

Nhìn chung, kết quả của nghiên cứu này không chỉ góp phần làm sáng tỏ các tham số hạt nhân quan trọng của đồng vị ^{165m}Dy mà còn đóng vai trò như một nguồn dữ liệu bổ sung đáng tin cậy cho cộng đồng người dùng phương pháp k₀-NAA. Đồng thời, nghiên cứu cũng gợi mở hướng phát triển cho các công trình tiếp theo nhằm chuẩn hóa dữ liệu k₀ và Q₀ cho các đồng vị còn chưa được nghiên cứu đầy đủ, từ đó nâng cao độ chính xác và khả năng mở rộng ứng dụng của kỹ thuật phân tích kích hoạt neutron trong nhiều lĩnh vực khác nhau như địa chất, môi trường, vật liệu và y sinh học.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Các tác giả đồng ý không có bất kỳ xung đột lợi ích nào liên quan đến các kết quả đã công bố.

ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

Phạm Huỳnh Bảo Trân thực hiện các thí nghiệm, thu thập, xử lý các dữ liệu và viết bản thảo.

Nguyễn Minh Phương góp phần thảo luận các kết quả nghiên cứu, hoàn chỉnh bản thảo.

Lê Mạnh Trí góp phần thảo luận các kết quả nghiên cứu, hoàn chỉnh bản thảo.

Trương Trường Sơn định hướng nghiên cứu, góp phần thảo luận các kết quả nghiên cứu, hoàn chỉnh bản thảo.

Trần Thị Nhân góp phần thảo luận các kết quả nghiên cứu, hoàn chỉnh bản thảo.

Hồ Văn Doanh thực hiện các thí nghiệm, thu thập, xử lý các dữ liệu, góp phần thảo luận các kết quả nghiên cứu, hoàn chỉnh bản thảo.

Hồ Mạnh Dũng góp phần thảo luận các kết quả nghiên cứu, hoàn chỉnh bản thảo.

Phonesavanh Lathdavong góp phần thảo luận các kết quả nghiên cứu, hoàn chỉnh bản thảo.

Nguyễn Hữu Nghĩa góp phần thảo luận các kết quả nghiên cứu, hoàn chỉnh bản thảo.

Hoàng Sỹ Minh Tuấn góp phần thảo luận các kết quả nghiên cứu, hoàn chỉnh bản thảo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- De Corte, F. (1987). The k₀-standardization method: A move to the optimization of neutron activation analysis [Habilitation]. Gent Universiteit.
- De Corte, F., & Simonits, A. (2003). Recommended nuclear data for use in the k₀ standardization of neutron activation analysis. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 85(1), 47–

- [https://doi.org/10.1016/S0092-640X\(03\)00036-6](https://doi.org/10.1016/S0092-640X(03)00036-6).
- St-Pierre, J., & Kennedy, G. (2006). Re-measurement of Q₀ and k₀ values for 14 nuclides. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 564(2), 669–674. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2006.04.019>.
- Szentmiklósi, L., Révay, Zs., & Belgya, T. (2010). Measurement of partial gamma-ray production cross-sections and k₀-factors for radionuclides with chopped-beam PGAA—Part II. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 622(2), 468–472. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2009.12.077>.
- Roth, S., Grass, F., De Corte, F., Moens, L., & Buchtela, K. (1993). Determination of k₀- and Q₀-factors of short-lived nuclides. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 169(1), 159–175. <https://doi.org/10.1007/BF02046791>.
- Truong, T. S., Ho, V. D., & Ho, M. D. (2023). Determination of k₀ factors of short-lived nuclides ^{46m}Sc and ^{110}Ag for the k₀-NAA. Nuclear Engineering and Technology, 55(9), 3202–3205. <https://doi.org/10.1016/j.net.2023.06.007>.
- Hien, P. Z., Mai, T. K., Quang, T. X., Loc, N. V., & Thuy, T. N. (1991). Determination of k₀-factors of short-lived nuclides (T_{1/2} ≥ 1 min) by thermal neutron activation technique. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Letters, 155(3), 169–175. <https://doi.org/10.1007/BF02166641>.
- Van Lierde, S., De Corte, F., Bossus, D., van Sluijs, R., & Pommé, S. (1999). Determination of k₀ and related nuclear data for short-lived radionuclides to be used in KAYZERO-NAA at DSM research. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 422(1–3), 874–879. [https://doi.org/10.1016/S0168-9002\(98\)01033-X](https://doi.org/10.1016/S0168-9002(98)01033-X).
- Eberhard Lehmann, Knud Thomsen, Markus Strobl, Pavel Trtik, Johannes Bertsch and Yong Dai (2021), NEURAP—A Dedicated Neutron-Imaging Facility for Highly Radioactive Samples, Journal of Imaging <https://doi.org/10.3390/jimaging7030057>.
- Ram Niranjana et al (2018), Application of medium energy plasma focus device in study of radioisotopes, Physics Letters A Volume 382, Issue 46, 23 November 2018, Pages 3365–3368 <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2018.09.015>
- E. Lobanov et al (1973), Activation analysis of high-purity substances by means of short-lived isotopes, Journal of Radioanalytical Chemistry, Volume 15, pages 547–556 <https://doi.org/10.1007/bf02514271>



Hình 1. Hộp cadmium (Cd) và hộp nhựa đựng mẫu⁸

Bảng 1. Các nguyên tố gốc, được tạo thành qua phản ứng $^{164}\text{Dy} (n,\gamma)^{165\text{m}}\text{Dy}$ ^{5,6,7}

Nguyên tố	Mẫu	Đồng vị phóng xạ hình thành	$T_{1/2}$ (sec)	Sai số (sec)	Tài liệu tham khảo
Dy	^{164}Dy	$^{165\text{m}}\text{Dy}$	75,42	0,36	Theo cơ sở dữ liệu k_0 -ISC năm 2020
			75,6		Eberhard Lehmann và cộng sự (2021) ⁵
					Ram Niranjana và cộng sự (2018) ⁶
			75		E. Lobanov và cộng sự (1973) ⁷

Bảng 2. Thông tin về các lá dò trong thí nghiệm [Nguồn: nhóm tác giả]

Mẫu chuẩn	Hình dạng	Bán kính (mm)	Độ dày/chiều dài (mm)	Khối lượng (mg)	Khối lượng riêng (g/cm ³)	G_t	G_c
0,1%Au-Al	Màng mỏng	5,44	0,10	6,268	2,7	1	1
1%Dy-Al	Dây	0,5	2,01	1,065	2,7	1	1

Bảng 3. Thời gian chiếu xạ, rã và đo của các mẫu chuẩn [Nguồn: nhóm tác giả]

Thời gian/vị trí chiếu xạ (mẫu chuẩn, khối lượng)	Thời gian phân rã	Thời gian đo	Đồng vị phóng xạ ($T_{1/2}$ chu kỳ bán rã, tia γ keV)
10 phút / Kênh 13 2	~ 1 d	1 ÷ 2 h	$^{97\text{m}}\text{Nb}$ (60 s, 743,4)* ; ^{97}Nb (16,7 h, 657,9)
2 giờ / Cột nhiệt	~ 3 d	0.5 ÷ 3 h (5 h)	^{198}Au (2,7 d, 411,8); ^{95}Zr (64 d, 765,8); ^{58}Co (70,8 d, 810,8)
(Al-0,1% Au, ~ 4 mg) (99,8% Zr, ~ 10 mg) (99,98% Ni, ~ 30 mg)			

* Đồng vị $^{97\text{m}}\text{Nb}$ được phân rã từ đồng vị ^{97}Zr với chu kỳ bán rã là 16,7 giờ.

Bảng 4. Kết quả các thông số phổ neutron dùng để tính hệ số k_0 ⁸

Vị trí chiếu xạ	ϕ_{th} (n/cm ² /s)	α	f
Kênh 13-2	$(4,21 \pm 0,14) \times 10^{12}$	$-0,038 \pm 0,006$	$10,7 \pm 2,4$
Cột nhiệt	$(1,24 \pm 0,03) \times 10^{11}$	$0,092 \pm 0,035$	195 ± 4

Đo mẫu

Bảng 5. Các hệ số phù hợp của đường cong hiệu suất dùng để tính hệ số k_0 [Nguồn: nhóm tác giả]

Khoảng cách	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
5 cm	-22,993	34,146	-19,822	5,008	-0,475
10 cm	-8,297	9,502	-4,943	1,059	-0,085
15 cm	-15,632	21,836	-12,964	3,352	-0,328
18 cm	-23,032	32,912	-19,232	4,915	-0,473

Bảng 6. Các điều kiện chiếu xạ, rã và đo trong quá trình xác định hệ số k_0 [Nguồn: nhóm tác giả]

Đồng vị	t_i (s)	t_d (s)	t_m (s)	Khoảng cách
^{165m} Dy	60	67	10	10 cm

Bảng 7. Các điều kiện chiếu xạ, rã và đo trong quá trình xác định hệ số Q_0 [Nguồn: Nhóm tác giả]

Đồng vị	Trực tiếp/ Che chắn Cd	t_i (s)	t_d (s)	t_m (s)	Khoảng cách (cm)
^{165m} Dy	Trực tiếp	20	340	120	18
	Che chắn Cd		142		5

Phân tích phổ của các mẫu chuẩn/mẫu đối chiếu

Bảng 8. Các đỉnh năng lượng gamma đặc trưng của ^{165m}Dy sử dụng trong xử lý phổ [Nguồn: nhóm tác giả]

Đồng vị	Năng lượng gamma (keV)	Cường độ phát xạ tương đối (%)
^{165m} Dy	108	~73
^{165m} Dy	283	~11
^{165m} Dy	515	~23

Bảng 9. Các hệ số k_0 của các đồng vị phóng xạ ^{165m}Dy được xác định bằng phương pháp chiếu trần sử dụng Cột nhiệt (TC) tại Lò phản ứng nghiên cứu Đà Lạt (DRR) và so sánh với các tác giả khác. [Nguồn: Nhóm tác giả]

Đồng vị	Đồng vị ^{165m} Dy		Các công bố khác		Nghiên cứu này		Chênh lệch (%)	
	Năng lượng	γ	k_0	Unc	Tác giả	k_0		
	(keV)	(%)				Sai số		
^{165m} Dy	108,2	3,01	1,88E-01	9,40E-03	De Corte, F. (2003) ²	1,96E-01	5,00E-03	4,3
	515,5	1,53	9,25E-02	4,63E-03	De Corte, F. (2003) ²	9,87E-02	2,83E-03	6,7
			9,58E-02	4,79E-03	Hien, P. Z (1991) ¹⁰			3,0

^{165m}Dy phát ra hai tia gamma với xác suất phát xạ cao, nhưng không có hiệu ứng trùng phù nên không cần hiệu chỉnh hiệu ứng này. Kết quả thực nghiệm của hệ số k_0 cho ^{165m}Dy ở các năng lượng 108,2 keV và 515,5 keV với độ sai lệch lần lượt là 4,3% và 6,7%, độ sai lệch này dưới 10% là giá trị thường được chấp nhận trong thực nghiệm.

Bảng 10. Các hệ số Q_0 xác định bằng phương pháp tỉ số cadmium sử dụng Kênh 13-2, so sánh với các tác giả khác [Nguồn: Nhóm tác giả]

Đồng vị phóng xạ	\bar{E}_r (eV)	Các công bố khác			Nghiên cứu này		Sai lệch (%)
		Q_0	Unc	Tác giả	Q_0	Unc	
^{165m}Dy	224	0,25	0,01	De Corte, F. (2003) ²	0,19	0,007	24,0
	224	0,12	0,01	Van Lierde, S. (1999) ¹¹			58,3

Kết quả thực nghiệm của hệ số Q_0 của hạt nhân ^{165m}Dy với độ sai lệch lần lượt là 24% và 58,3%, so với hai tác giả De Corte F và Van Lierde S là tương đối lớn.

Determination of k_0 and Q_0 factor for ^{165m}Dy in NAA at Da Lat nuclear research reactor

Pham Huynh Bao Tran¹, Nguyen Minh Phuong¹, Le Manh Tri¹, Truong Truong Son^{1,*}, Tran Thi Nhan², Ho Van Doanh³, Ho Manh Dung³, Phonesavanh Lathdavong⁴, Nguyen Huu Nghia⁵, Hoang Sy Minh Tuan⁶



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

ABSTRACT

In the k_0 -standardization method of neutron activation analysis (k_0 -NAA), the accurate determination of nuclear constants such as the k_0 and Q_0 factors is essential, particularly for short-lived radionuclides like ^{165m}Dy . However, the available nuclear data for these nuclides remain limited and outdated. This study aims to expand and update the k_0 and Q_0 databases for short-lived nuclides that have received little attention. The employed methodology is based on k_0 -NAA, utilizing experimentally determined k_0 and Q_0 values in combination with nuclear parameters such as atomic mass, isotopic abundance, gamma emission probability, and thermal neutron capture cross section. The results show that the current database has been extended to include over 120 analytically significant (n,γ) reactions, and recent studies have contributed new data for nuclides with short half-lives. These efforts enhance the completeness of the nuclear database, improve analytical accuracy, and broaden the applicability of the k_0 -NAA method for multi-element analysis, particularly in complex matrices or time-sensitive scenarios.

Key words: k_0 and Q_0 factors, radionuclides, k_0 -NAA u-scores

¹HCMC University of Education, 280 An Duong Vuong Street, District 5, Ho Chi Minh City, Vietnam

²Electric Power University, Vietnam

³Center for Nuclear Technologies, Vietnam

⁴Radiation and nuclear safety office, Department of Science, Ministry of Education and Sports of Lao PDR

⁵Dalat Nuclear Research Institute, Vietnam

⁶Thu Dau Mot University, Vietnam

Correspondence

Trương Truong Son, HCMC University of Education, 280 An Duong Vuong Street, District 5, Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: sontt@hcmue.edu.vn

History

- Received: 18-08-2025
- Revised: 26-11-2025
- Accepted: 22-03-2026
- Published Online: 28-03-2026

DOI :

<https://doi.org/10.32508/vnuhcmjarns.v10i1.1467>



Cite this article : Tran P H B, Phuong N M, Tri L M, Son T T, Nhan T T, Doanh H V, Dung H M, Lathdavong P, Nghia N H, Tuan H S M. **Determination of k_0 and q_0 factor for ^{165m}Dy in NAA at Da Lat nuclear reactor** VNUHCM J. Adv. Res. Nat. Sci. 2026; 10(1):3612-3619.