ĐÁNH GIÁ SAI SỐ XÁC ĐỊNH HỆ SỐ LỆCH PHỔ 1/E CỦA TRƯỜNG NƠTRON TRÊN NHIỆT TRONG CÁC KÊNH CHIẾU XẠ CỦA LÒ PHẢN ỨNG HẠT NHÂN

Trần Văn Hùng (1), Mai Văn Nhơn(2)
(1) Trung tâm Nghiên cứu và Triển khai Công nghệ Bức xạ
(2) Trường Đại học Khoa họcTự nhiên, ĐHQG-HCM
(Bài nhận ngày 10 tháng 02 năm 2006, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 27 tháng 07 năm 2006)

TÓM TẮT: *Sai số của phương pháp xác định hệ số α (hệ số lệch phổ 1/E của trường nơtron trên nhiệt) sử dụng các cặp mônitơ ^{197}Au-^{94}Zr và ^{197}Au-^{64}Zn trong các kênh chiếu xạ của lò phản ứng hạt nhân đã được nghiên cứu một cách chi tiết. Các biểu thức tính hệ số đóng góp vào sai số α của các thông số cũng được trình bày dựa vào lý thuyết truyền sai số. Phương pháp đã được ứng dụng để đánh giá sai số của α trong các kênh chiếu xạ của lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt. Kết quả đánh giá cho thấy sử dụng phương pháp đơn giản để xác định hệ số α đã trình bày trong [1] là phù hợp với các phương pháp khác và có độ tin cậy cao.*

Từ khoá: *Hệ số lệch phổ 1/E, Hệ số α, Tích phân cộng hưởng, Tỷ số cadmium RCd,*

1. GIỚI THIỆU

Trường nơtron trên nhiệt trong các kênh chiếu xạ của lò phản ứng hạt nhân thường không tuân theo quy luật 1/E mà bị lệch bởi quy luật $1/E^{1+\alpha}$. Hệ số α rất nhỏ, có thể âm hoặc dương tuỳ thuộc vào cấu hình và phân bố vật liệu trong vùng hoạt của lò phản ứng. Mặc dù, hệ số α là rất nhỏ, nhưng nó sẽ ảnh hưởng đến tích phân cộng hưởng I_0. Trong nhiều trường hợp ứng dụng, chẳng hạn như trong phân tích kích hoạt bằng phương pháp comparator dùng phản ứng (n,γ), hệ số α cần phải xác định để hiệu chỉnh kết quả phân tích. Trong [2,3] đã trình bày ba phương pháp cơ bản xác định hệ số α, đó là : phương pháp bọc cadmium, phương pháp dùng tỷ số cadmium RCd và phương pháp chiếu trần ba đồng vị thích hợp. Trong đó $Q_0(\alpha)$ được viết:

$$Q_0(\alpha) = I_0(\alpha)/\sigma_0 = Q_0 - 0.426/(\overline{E_r})^{\alpha} + 0.426/[(2\alpha+1)(0.55)^{\alpha}] \qquad (1)$$

Trong biểu thức (1), $I_0(\alpha)$ là tích phân cộng hưởng trong trường hợp phổ nơtron trên nhiệt tuân theo quy luật $1/E^{1+\alpha}$, σ_0 là tiết diện của nơtron với vận tốc 2200 cms^{-1}. Với giá trị $|\alpha| < 0.2$, trong báo cáo [1], chúng tôi đã trình bày một phương pháp xác định hệ số α đơn giản hơn, trong đó đã sử dụng một biểu thức gần đúng tính $Q_0(\alpha)$ đơn giản như sau:

$$Q_0(\alpha) = Q_0 \exp(-a \ln(\overline{E_r})\alpha) \qquad (2)$$

Trong đó Q_0 và $\overline{E_r}$ là các hàng số hạt nhân và đã được cho thành bảng trong các tài liệu về số liệu hạt nhân, a là hằng số đặc trưng cho từng đồng vị. Các hằng số a cho 88 đồng vị hay sử dụng trong phân tích kích hoạt đã được trình bày trong[4]. Như vậy hệ số α có thể viết:

$$\alpha = \frac{1}{\left(a_2 \ln \overline{E}_{r2} - a_1 \ln \overline{E}_{r1}\right)} \ln\left(\frac{(R_{Cd2}-1)Q_{0,2}}{(R_{Cd1}-1)Q_{0,1}}\right) \qquad (3)$$

Trong thực nghiệm xác định hệ số α bằng phương pháp tỷ số cadmium, người ta thường chọn các cặp mônitơ ^{197}Au-^{94}Zr và ^{197}Au-^{64}Zn. Vì với những cặp này sẽ cho một dải năng lượng rộng ($\overline{E_r}$(Au) = 5.65 eV, $\overline{E_r}$(^{94}Zr) = 6260 eV, $\overline{E_r}$(^{64}Zn) = 2560 eV). Các chỉ số (1) và (2) trong biểu thức (3) biểu thị cho đồng vị ^{197}Au và ^{94}Zr hoặc ^{64}Zn tương ứng. Như vậy, trong thực nghiệm chỉ cần xác định tỷ số cadmium của ^{197}Au, ^{94}Zr hoặc ^{64}Zn, sau đó sử dụng biểu

thức (3) dễ dàng xác định được hệ số α. Phương pháp này đã được ứng dụng để xác định hệ số α trong các kênh 7-1, 1-4 và bẫy nơtron của lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt. Kết quả chi tiết về xác định hệ số α đã được trình bày trong [1].

Mục đích của báo cáo này là đánh giá sai số của phương pháp đã trình bày ở trên, nhằm khẳng định tính chính xác và độ tin cậy của phương pháp.

2. ĐÁNH GIÁ SAI SỐ CỦA PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH HỆ SỐ α

Đánh giá sai số của phương pháp lên giá trị α cần phải xét đến hai loại sai số : Sai số do sự gần đúng khi chuyển từ biểu thức (1) sang biểu thức (2); nó được xem như sai số hệ thống của phương pháp và sai số do các biến số trong các biểu thức (3) xác định hệ số α ; được xem như sai số thống kê.

Bảng 1. Các hằng số hạt nhân và hằng số a đối với các đồng vị sử dụng xác định hệ số α

Mônitơ	$\overline{E_r}$ (eV)	Q_0	a (α<0)	a (α>0)
$^{197}Au(n,\gamma)^{198}Au$	5.65 ± 0.40	15.7 ± 0.28	1.0013	0.9903
$^{64}Zn(n,\gamma)^{65}Zn$	2560 ± 260	1.908 ± 0.094	0.8797	0.7163
$^{94}Zr(n,\gamma)^{95}Zr$	6260 ± 250	5.05 ± 0.10	0.9576	0.8693

Như là một ví dụ để so sánh kết quả tính $Q_0(\alpha)$ từ biểu thức (1) và biểu thức (2), trong công trình [1] đã đánh giá các giá trị $Q_0(\alpha)$ đối với một số mônitơ ^{197}Au, ^{94}Zr, ^{96}Zr trong các phản ứng (n,γ) theo các biểu thức (1) và (2) đã được đưa ra trong bảng 2.

Bảng 2.2. So sánh giá trị $Q_0(\alpha)$ [2] tính từ biểu thức (1) và (2) của một số mônitơ trong phản ứng (n, γ) với α trong khoảng [-0.2,0]

α	$Q_0(\alpha)$ của $^{197}Au(n,\gamma)^{198}Au$		$Q_0(\alpha)$ của $^{94}Zr(n,\gamma)^{95}Zr$		$Q_0(\alpha)$ của $^{64}Zn(n,\gamma)^{65}Zn$	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
0.0	15.7	15.7	5.05	5.05	1.908	1.908
-0.02	16.25	16.25	5.95	5.97	2.17	2.19
-0.04	16.82	16.83	7.02	7.05	2.48	2.52
-0.06	17.41	17.42	8.28	8.34	2.84	2.89
-0.08	18.03	18.04	9.79	9.86	3.26	3.32
-0.10	18.66	18.67	11.59	11.64	3.75	3.82
-0.12	19.32	19.33	13.72	13.82	4.32	4.39
-0.14	20.01	20.01	16.27	16.35	4.99	5.04
-0.16	20.72	20.72	19.30	19.34	5.77	5.80
-0.18	21.46	21.45	22.90	22.79	6.68	6.66
-0.20	22.22	22.21	27.19	27.07	7.75	7.66

Từ bảng 2 cho thấy rằng: Các giá trị $Q_0(\alpha)$ tính từ hai biểu thức là rất phù hợp với nhau. Đối với các monitơ ^{197}Au, ^{64}Zn trong phản ứng (n,γ) , giá trị $Q_0(\alpha)$ tính từ hai biểu thức sai khác nhau < 0.1%, còn đối với ^{94}Zr là nhỏ hơn 0.8% và đối với ^{64}Zn khoảng 1%. Điều này chứng tỏ việc sử dụng biểu thức (2) khi α trong khoảng [-0.2, 0] là hoàn toàn tin cậy. Kết luận này cũng đúng cho trường hợp khi α nằm trong khoảng [0,0.2].

2.1. Sai số do sự gần đúng của biểu thức

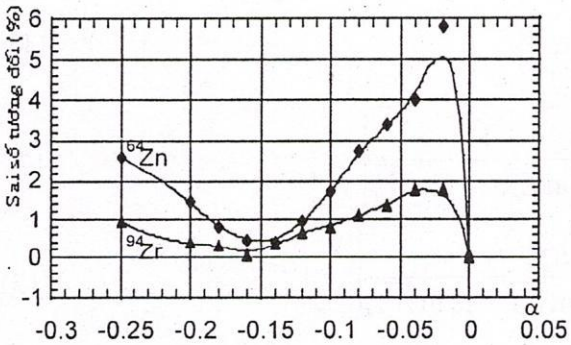
Chúng ta trở lại xem xét các cặp monitơ ^{197}Au-^{94}Zr và ^{197}Au-^{64}Zn trong phương pháp bọc cadmium. Rõ ràng từ bảng 2, đối với ^{197}Au giá trị $Q_0(\alpha)$ tính từ hai biểu thức (1) và (2) là hoàn toàn trùng nhau, sự khác nhau là không đáng kể và có thể xem là hoàn toàn chính xác, ảnh hưởng lên độ chính xác trong việc xác định α chỉ phụ thuộc vào sự sai khác của $Q_0(\alpha)$ đối với mônitơ ^{94}Zr và ^{65}Zn. Xuất phát từ biểu thức (2) chúng ta có:

$$\alpha = (\ln Q_0(\alpha) - \ln Q_0)/\, a \ln \overline{E_r} \qquad (4)$$

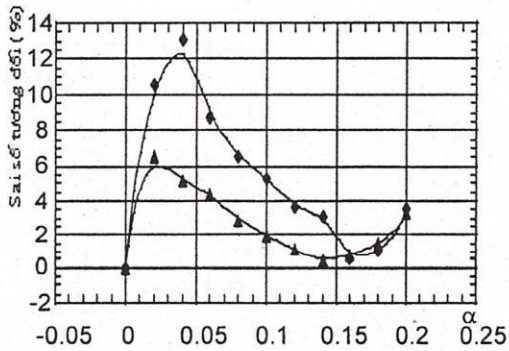
Theo lý thuyết truyền sai số, sai số tương đối của α do sự gần đúng của biểu thức (2) có thể viết:

$$\zeta_\alpha = \frac{\sigma_\alpha}{\alpha} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{1}{a \ln \overline{E_r}} \frac{\Delta Q_0(\alpha)}{Q_0(\alpha)} \qquad (5)$$

trong đó $\Delta Q_0(\alpha)$ là giá trị sai khác của $Q_0(\alpha)$ từ hai biểu thức (1) và (2). Rõ ràng từ biểu thức (5), ζ_α sẽ phụ thuộc vào từng đồng vị chọn làm monitơ và tỷ lệ ngược với giá trị α. Khảo sát sai số do gần đúng của biểu thức (2) theo α nằm trong khoảng /α / < 0.2 đối với các mônitơ ^{94}Zr và ^{65}Zn đã đưa ra trên hình 1 và hình 2.



Hình 1. Sự phụ thuộc vào sai số theo α của các mônitơ ^{94}Zr và ^{65}Zn khi α âm



Hình 2. Sự phụ thuộc vào sai số theo của các mônitơ ^{94}Zr và ^{65}Zn khi α dương

Từ hình 1 và 2 cho thấy sai số tương đối phụ thuộc theo độ lớn α. Khi /α / ≈ 0, sai số tương đối do sử dụng biểu thức (2) là rất nhỏ vì lúc đó sự sai khác của giá trị $Q_0(\alpha)$ tính từ hai biểu thức là không đáng kể. Khi giá trị /α / tăng thì sai lệch của $Q_0(\alpha)$ giữa hai biểu thức tăng và do đó sai số α sẽ tăng lên.

Tuy nhiên, khi /α/ tăng lên đến một giá trị nào đó thì sự sai lệch $Q_0(\alpha)$ có chiều hướng không thay đổi, nên sai số của α có xu hướng giảm xuống, do Δα tỷ hệ ngược với α (xem biểu

thức 5). Khi /α/ >0.15 sự khác nhau của $Q_0(\alpha)$ giữa hai biểu thức (1) và (2) lại bắt dầu tăng rõ rệt, nên ζ_α sẽ có chiều hướng tăng.

2.2. Sai số thống kê

Sai số này gây ra từ sai số của các biến số có trong biểu thức (2); bao gồm các biến số ai, , Rcdi, Q_{0i}. ở đây, cũng từ lý thuyết truyền sai số, chúng ta có thể xét sự đóng góp của từng biến số vào sai số của α. Khi đó sai số tổng cộng sẽ là căn bậc hai của tổng bình phương sai số đóng góp của từng biến số. Hệ số đóng góp vào sai số α của một biến số xj được định nghĩa như sau:

$$Z_\alpha(x_j) = \left|\left(\frac{\partial\alpha}{\alpha}\right)\Big/\left(\frac{\partial x_j}{x_j}\right)\right| = \left|\frac{\partial\alpha}{\partial x_j}\frac{x_j}{\alpha}\right| \quad (6)$$

Khi đó sai số tương đối α do đóng góp của sai số xj sẽ là:

$$s_\alpha(x_j) = Z_\alpha(x_j)\frac{\Delta x_j}{x_j} \quad (7)$$

Theo biểu thức (6), áp dụng cho biểu thức (2) chúng ta sẽ thu được:

$$Z_\alpha(\overline{E_{r1}}) = \left|\frac{a_1}{a_2\ln\overline{E_{r2}} - a_1\ln\overline{E_{r1}}}\right| \quad (8)$$

$$Z_\alpha(\overline{E_{r2}}) = \left|-\frac{a_2}{a_2\ln\overline{E_{r2}} - a_1\ln\overline{E_{r1}}}\right| \quad (9)$$

$$Z_\alpha(a_1) = \left|\frac{a_1\ln\overline{E_{r1}}}{a_2\ln\overline{E_{r2}} - a_1\ln\overline{E_{r1}}}\right| \quad (10)$$

$$Z_\alpha(a_2) = \left|-\frac{a_2}{a_2\ln\overline{E_{r2}} - a_1\ln\overline{E_{r1}}}\right| \quad (11)$$

$$Z_\alpha(Q_{01}) = Z_\alpha(Q_{02}) = \left|\frac{1}{\alpha}\frac{1}{a_2\ln\overline{E_{r2}} - a_1\ln\overline{E_{r1}}}\right| \quad (12)$$

$$Z_\alpha(R_{cd1}) = \left|\frac{1}{\alpha}\frac{R_{cd1}}{(R_{cd1}-1)(a_2\ln\overline{E_{r2}} - a_1\ln\overline{E_{r1}})}\right| \quad (13)$$

$$Z_\alpha(R_{cd2}) = \left|-\frac{1}{\alpha}\frac{R_{cd2}}{(R_{cd2}-1)(a_2\ln\overline{E_{r2}} - a_1\ln\overline{E_{r1}})}\right| \quad (14)$$

Trong trường hợp dùng các cặp mônitơ ^{197}Au-^{94}Zr và ^{197}Au-^{64}Zn thì ảnh hưởng của sai số ai là không đáng kể, vì sai số của ai nhỏ hơn 0.1%, còn đóng góp sai số của $\overline{E_{ri}}$ vào α chỉ cỡ 1%, mặc dù sai số trong tính toán của $\overline{E_{ri}}$ thường cỡ 10%. Đóng góp vào sai số α của Q_{0i} và Rcdi là quan trọng nhất. Thật vậy, khi khảo sát sai số thực nghiệm xác định α trong kênh 7-1 cuả lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt dùng cặp monitơ ^{197}Au-^{94}Zr cho thấy α= 0.044, sai số thực nghiệm trong xác định Rcd cỡ 1%, các sai số Q_{0i} và $\overline{E_{ri}}$ lấy từ [5], chúng ta sẽ tính được: $s_\alpha(\overline{E_{rZr}}) \approx 1.4\%$,

$s_\alpha(\overline{E_{rAu}}) \approx 1.4\%$, $s_\alpha(a_{Au}) \approx 0.03\%$, $s_\alpha(a_{Zr}) \approx 0.13\%$, $s_\alpha(Q_{0Au}) \approx 6.5\%$, $s_\alpha(Q_{0Zr}) \approx 7\%$, $s_\alpha(R_{cdAu}) \approx 5.2\%$, $s_\alpha(R_{cdZr}) \approx 7.6\%$

Sai số tổng cộng từ các sai số trên; bao gồm sai số do đóng góp của biểu thức gần đúng (khi $\alpha = 0.044$, $\zeta_\alpha \approx 2\%$) cỡ 13%.

3. KẾT LUẬN

Phương pháp xác định hệ số α trình bày [1] đã được áp dụng để xác định hệ số α trong các kênh của lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt. Kết quả cho thấy phù hợp với các phương pháp khác và độ tin cậy cao. Từ sự đánh giá sai số của phương pháp, chúng tôi rút ra một số kết luận sau: Phương pháp tiến hành thực nghiệm đơn giản hơn, hệ số α được trình bày dưới dạng tường minh nên rất dễ dàng trong việc đánh giá ảnh hưởng của các thông số liên quan đến sai số của α. Từ các hệ số đóng góp vào sai số của α cũng cho chúng ta thấy, khi độ lệch phổ α càng nhỏ thì khả năng xác định α sai số sẽ càng lớn. Điều này cũng thể hiện trong các kết quả của các công trình đã công bố, nhưng không cho các biểu thức tường minh.

ESTIMATION OF ERROR IN DETERMINING OF 1/E SPECTRUM DEVIATION FACTOR OF EPITHERMAL NEUTRON FLUX IN IRRADIATION CHANELS OF REACTOR

Tran Van Hung [(1)], Mai Van Nhon[(2)]
(1)Research And Development Center For Radiation Technology
(2) University of Natural Sciences, VNU-HCM

ABSTRACT: *Errors of determination of α-factor (1/E spectrum deviation factor of epithermal neutron flux) using monitors ^{197}Au-^{94}Zr and ^{197}Au-^{64}Zn in irradiation chanels of reactor have been studied in detail. Based on the customary error propagation theory, the error propagation functions on α-error were also presented. The method was applied to estimate α-error in irradiation chanels of Dalat reactor. The result of the estimation showed that the use of simple method for α-determination carried out in paper [1] is well agreement with other methods and having high confidence.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Tran Van Hung, Mai Van Nhon, Le Van So, *Communications in Physics*, Vol 15, No. 2, pp. 108-114., 2005

[2]. Simonits, F. De Corte, A. De Wispelaere, J. Hoste, *Paper Presented at the MTAA-7/1986 Conference*, Copenhagen, June 1986.

[3]. F. De Corte, K. Sordo-el Hammami, L. Moens, A. Simonits, J. Hoste, J. Radioanal. Chem., Vol 52, No. 2, pp. 305-316, 1979.

[4]. Trần Văn Hùng, *Nghiên cứu các đặc trưng thông lượng nơtron của lò phản ứng hạt nhân Đà lạt và ảnh hưởng của chúng lên kết quả phân tích kích hoạt và trong sản suất đồng vị phóng xạ*, Luận án Tiến sỹ, chuyên ngành 1 02 03, Vật lý hạt nhân, 2004.

[5]. F. De Corte, A. Simonits, A. De Wispelaere,J. Hoste, *A Compilation of k_0 Factors and related Nuclear Data for 94 radionuclides of Interest in NAA,* INW/KFKI Interim Report, 1986.