

XÁC ĐỊNH HỆ SỐ k_0 CỦA MỘT SỐ NGUYÊN TỐ BẰNG KÍCH HOẠT NEUTRON TỪ NGUỒN ĐỒNG VỊ Am – Be

Huyền Trúc Phương, Mai Văn Nhơn, Văn Thị Thu Trang
Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

TÓM TẮT: Phương pháp chuẩn hóa k_0 (k_0 -INAA) trong kỹ thuật phân tích kích hoạt neutron, hệ số k_0 là một hằng số hạt nhân tổ hợp và được xác định bằng thực nghiệm. Nó đóng góp một phần rất lớn vào độ chính xác của phương pháp k_0 -INAA. Vì vậy, thực nghiệm xác định các hệ số k_0 được tiến hành ở nhiều nguồn neutron khác nhau để so sánh kết quả là rất cần thiết. Trong bài báo này, chúng tôi xác định hệ số k_0 so với vàng ($k_{0,Au}$) của các nguyên tố mangan (Mn), cadmi (Cd), crôm (Cr), kẽm (Zn), asen (As), vanadi (V) bằng kích hoạt neutron từ nguồn đồng vị Am – Be. So sánh các hệ số $k_{0,Au}$ trong công trình này với các kết quả thực nghiệm của De Corte và cộng sự cho thấy độ lệch tương đối giữa chúng nhỏ hơn 20%. Trong đó, hệ số $k_{0,Au}(Mn)$ được xác định chính xác nhất với độ lệch so với kết quả thực nghiệm của De Corte và cộng sự là 1,81%.

Từ khóa: hệ số k_0 , nguồn Am-Be.

1. GIỚI THIỆU

Phương pháp chuẩn hóa k_0 -INAA là phương pháp phân tích mẫu hiện đại, chính xác và có độ tin cậy cao. Hơn 70% các phòng thí nghiệm phân tích của các lò phản ứng hạt nhân trên thế giới đều dùng phương pháp phân tích này [3]. Trong đó, hệ số k_0 của các nguyên tố đã được đo tại nhiều lò phản ứng khác nhau và đã lập thành bảng như một hằng số hạt nhân. Hiện tại, bộ môn Vật lý Hạt nhân – Đại học Khoa học Tự nhiên – Đại học Quốc gia Tp.HCM, nghiên cứu phát triển phương pháp này cho nguồn neutron đồng vị Am-Be. Vì vậy, việc xác định bằng thực nghiệm hệ số k_0 của các nguyên tố là cần thiết.

Trong phương pháp k_0 -INAA, hàm lượng của nguyên tố a được xác định như sau:

$$\rho(g/g) = \frac{(N_p / t_m) / (w.S.D.C)}{(N_p / t_m)^* / (W.S.D.C)^*} \frac{1}{k_{0,Au}(a)} \frac{G_{th}^* f + G_c^* Q_0^*(\alpha) \varepsilon_p^*}{G_{th} f + G_c Q_0(\alpha) \varepsilon_p} \quad (1)$$

Trong đó:

Kí hiệu "*" tương ứng với mẫu chuẩn.

N_p : số đếm trong vùng đỉnh năng lượng toàn phần;

t_m : thời gian đo;

t_i : thời gian chiếu;

t_d : thời gian rã;

$S = 1 - \exp(-\lambda t_i)$: hệ số bão hòa, hiệu chỉnh thời gian chiếu; (2)

$D = \exp(-\lambda t_d)$: hệ số phân rã, hiệu chỉnh thời gian phân rã; (3)

$C = [1 - \exp(-\lambda t_m)] / (\lambda t_m)$: hệ số đo, hiệu chỉnh thời gian đo; (4)

w: khối lượng mẫu phân tích, (g);

W: khối lượng mẫu chuẩn, (g);

$k_{0,Au}(a)$: hằng số k_0 so với vàng của nguyên tố a.

G_{th} : hệ số hiệu chỉnh cho việc tự che chắn neutron nhiệt;

G_c : hệ số hiệu chỉnh cho việc tự che chắn neutron trên nhiệt;

$$f = \frac{\phi_{th}}{\phi_e} : \text{tỉ số thông lượng neutron nhiệt trên thông lượng neutron trên nhiệt}; \quad (5)$$

$$Q_0(\alpha) = \left[\frac{Q_0 - 0,429}{\overline{E}_r^\alpha} + \frac{0,429}{(2\alpha + 1)(0,55)^\alpha} \right] \quad (6)$$

α : hệ số lệch phổ neutron trên nhiệt;

\overline{E}_r : năng lượng cộng hưởng hiệu dụng trung bình (eV).

ε_p : hiệu suất đỉnh năng lượng toàn phần.

Hệ số k_0 trong phương trình cơ bản của phương pháp chuẩn hóa k_0 được định nghĩa như là một hằng số hạt nhân tổ hợp:

$$k_{0,Au}(a) = \frac{M_{Au} \theta_a \sigma_{0,a} \gamma_a}{M_a \theta_{Au} \sigma_{0,Au} \gamma_{Au}} \quad (7)$$

Từ phương trình (7) ta thấy k_0 là một hằng số hạt nhân nên nó sẽ không phụ thuộc vào nguồn neutron. Vì vậy, hệ số k_0 của các nguyên tố được xác định bằng kích hoạt neutron đối với mọi nguồn neutron đều phải giống nhau. Các hệ số k_0 không được xác định trực tiếp từ công thức (7) bởi sự đóng góp sai số của các số liệu hạt nhân quá lớn. Chúng được xác định bằng thực nghiệm. Tuy nhiên, thực nghiệm cho thấy hệ số k_0 của một đồng vị được xác định ở những nguồn neutron khác nhau vẫn có sự chênh lệch. Vì vậy, thực nghiệm xác định các hệ số k_0 được tiến hành ở nhiều nguồn neutron khác nhau để so sánh kết quả là rất cần thiết. Thử nghiệm các hệ số k_0 so với vàng ($k_{0,Au}$) và các số liệu hạt nhân liên quan được xác định gần đây nhất bởi De Corte và cộng sự [2]. Trong bài báo này, chúng tôi đã tiến hành xác định hệ số k_0 so với vàng của các nguyên tố mangan (Mn), cadmi (Cd), crôm (Cr), kẽm (Zn), asen (As), vanadi (V) bằng kích hoạt neutron nguồn đồng vị Am – Be.

2. PHƯƠNG PHÁP VÀ TÍNH TOÁN

Từ phương trình (1), hệ số k_0 được xác định bằng thực nghiệm theo công thức sau:

$$k_{0,Au}(a) = \frac{(N_p / t_m) / (w.S.D.C) \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{G_{th}^* f + G_e^* Q_0^*(\alpha)}{G_{th} f + G_e Q_0(\alpha)} \cdot \frac{\varepsilon_p^*}{\varepsilon_p}}{(N_p / t_m)^* / (W.S.D.C)^* \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{G_{th}^* f + G_e^* Q_0^*(\alpha)}{G_{th} f + G_e Q_0(\alpha)} \cdot \frac{\varepsilon_p^*}{\varepsilon_p}} \quad (8)$$

Mặt khác, hàm lượng ρ có thể được xác định như sau:

$$\rho = \frac{w_a}{w} \quad (9)$$

w_a là khối lượng của nguyên tố a trong mẫu phân tích.

Thay phương trình (9) vào phương trình (8) ta có:

$$k_{0,Au}(a) = \frac{(N_p / t_m) / (w_a.S.D.C) \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{G_{th}^* f + G_e^* Q_0^*(\alpha)}{G_{th} f + G_e Q_0(\alpha)} \cdot \frac{\varepsilon_p^*}{\varepsilon_p}}{(N_p / t_m)^* / (W.S.D.C)^* \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{G_{th}^* f + G_e^* Q_0^*(\alpha)}{G_{th} f + G_e Q_0(\alpha)} \cdot \frac{\varepsilon_p^*}{\varepsilon_p}} \quad (10)$$

Hay :
$$k_{0,Au}(a) = \frac{A_{sp}^a}{A_{sp}^*} \cdot \frac{G_{th}^* f + G_c^* Q_0^*(\alpha)}{G_{th} f + G_c Q_0(\alpha)} \cdot \frac{\epsilon_p^*}{\epsilon_p} \quad (11)$$

với:

$$A_{sp}^a = \frac{(N_p / t_m)}{(w_a \cdot S.D.C)} : \text{hoạt độ riêng của nguyên tố phân tích} \quad (12)$$

$$A_{sp}^* = \frac{(N_p / t_m)^*}{(W.S.D.C)^*} : \text{hoạt độ riêng của nguyên tố chuẩn} \quad (13)$$

Khi hàm lượng của các nguyên tố trong mẫu đã được biết trước, từ công thức (11) chúng ta có thể xác định được các hệ số $k_{0,Au}$ của một nguyên tố bằng thực nghiệm.

3. THỰC NGHIỆM

3.1 Thiết bị

Để thực nghiệm xác định hằng số $k_{0,Au}(a)$ chúng ta cần chuẩn bị các thiết bị sau:

- Cân điện tử có độ chính xác đến 0,001mg.
- Thuốc kẹp.
- Nguồn đồng vị Am-Be cường độ 7mCi, thông lượng neutron nhiệt $\sim 1,5 \cdot 10^7$ n.cm⁻².s⁻¹.
- Hệ chuyển mẫu MTA – 1527.
- Phần mềm thu nhận và xử lý phổ GENIE – 2000
- Detector HPGe độ phân giải năng lượng 1,8 KeV tại 1,33 MeV của ⁶⁰Co.

3.2 Chuẩn bị mẫu

Từ phương trình (11) để xác định hệ số k_0 của các nguyên tố ta cần phải biết nồng độ chính xác của chúng. Vì vậy, chúng tôi đã đem bốn mẫu: Mn, CdO, Cr₂O₃, ZnO dạng bột đi phân tích bằng phương pháp hóa học tại Trung tâm Phân tích Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, còn hai mẫu còn lại: As₂O₃, V₂O₅ được phân tích ở Trung tâm Dịch vụ Phân tích Thí nghiệm của Sở Khoa học và Công nghệ Tp.HCM bằng phương pháp Ref.AAS – Tome II.

Sau khi biết nồng độ của các nguyên tố trong hợp chất ta tiến hành làm mẫu cho thí nghiệm : trộn đều mẫu, đem cân mẫu chính xác, và cho mẫu vào bao nilông có kích thước 20 x 40 mm. Kết quả hàm lượng và khối lượng của các nguyên tố được cho ở bảng 1.

Bảng 1: Khối lượng của các mẫu cho việc xác định hệ số k_0

Tên mẫu	Nguyên tố phân tích	Khối lượng của mẫu (g)	Hàm lượng của nguyên tố (g/g)
Mn	Mn	1,999	0,850
CdO	Cd	2,028	0,870
Cr ₂ O ₃	Cr	2,001	0,740
ZnO	Zn	2,007	0,755
AsO	As	2,012	0,481
V ₂ O ₅	V	2,036	0,533

3.3 Chiếu và đo mẫu

Trong thực nghiệm này chúng tôi dùng một lá vàng (Au) có bề dày 0,006 cm được chiếu kèm với mẫu CdO. Các mẫu còn lại được chiếu cùng điều kiện đo với Au. Hệ số tự che chắn neutron nhiệt và trên nhiệt của Au là $G_{th}^* = 0,935$ và $G_c^* = 0,244$ [1]. Do các mẫu phân tích có dạng bột nên ảnh hưởng của các hiệu ứng tự hấp thụ tia gamma, tự che chắn neutron nhiệt và trên nhiệt không đáng kể. Các thông số hạt nhân của vàng và các đồng vị quan tâm được lấy từ tài liệu [2].

Các mẫu lần lượt được chiếu ở kênh neutron nhiệt của nguồn Am-Be trong khoảng thời gian từ 1 giờ đến 1 ngày tùy theo nguyên tố quan tâm và đo với detector HPGe tại bộ môn Vật lý Hạt nhân. Các đặc trưng của nguồn neutron và detector HPGe như sau [1]:

- Nguồn neutron Am-Be: vị trí chiếu mẫu tại kênh neutron nhiệt, có hệ số lệch phổ neutron trên nhiệt $\alpha = -0,1759$ và tỉ số thông lượng neutron nhiệt/trên nhiệt $f = 83,42$.
- Detector HPGe có đường cong hiệu suất theo năng lượng tia gamma tại vị trí đo có dạng:

$$\begin{aligned} \varepsilon_p = & -4,117965 + 2,804450 \ln(E) - 0,693788 \ln^2(E) \\ & + 0,074794 \ln^3(E) - 0,002983 \ln^4(E) \end{aligned} \quad (14)$$

Sau khi có các số liệu thực nghiệm, để áp dụng công thức (11) tính hệ số $k_{0,Au}$, ta cần phải tính hoạt độ riêng A_{sp}^a . Các giá trị của A_{sp}^a , ε_p , và $Q_0(\alpha)$ được cho ở bảng 2.

Bảng 2: Các số liệu tính toán của vàng và các nguyên tố

Nguyên tố	$E_\gamma(\text{keV})$	$Q_0(\alpha)$	ε_p	A_{sp}^a	ΔA_{sp}^a
Au	411,8	21,30	0,0218466	209,8778983	4,3685182
Cd	336,2	82,28	0,0262395	0,3235093	0,0172897
	529,7	82,28	0,0174035	0,1294795	0,0104360
Mn	846,8	2,45	0,0120071	60,13977568	0,4727197
Cr	320,1	1,08	0,0273835	0,7715850	0,0246737
Zn	438,6	9,08	0,0206129	0,1023475	0,0044093
As	559,1	30,51	0,0165401	8,7815797	0,0300427
	657,1	30,51	0,0144396	1,0572046	0,0365411
V	1434,1	1,17	0,0083132	12,9878515	0,2039092

Áp dụng công thức (11) ta xác định được hệ số $k_{0,Au}$ của các nguyên tố ^{55}Mn , ^{114}Cd , ^{50}Cr , ^{68}Zn , ^{75}As , ^{51}V . Kết quả tính được so sánh với các giá trị lập bảng của F. De Corte và cộng sự [2] như ta thấy ở bảng 3.

Bảng 3: Kết quả xác định hệ số $k_{0,Au}$ của các nguyên tố và so sánh với [2]⁽¹⁾ kết quả $k_{0,Au}$ từ thực nghiệm của chúng tôi.⁽²⁾ kết quả $k_{0,Au}$ từ thực nghiệm của De Corte và cộng sự [2]

Nguyên tố	E_γ (KeV)	$k_{0,Au}^{(1)}$	$k_{0,Au}^{(2)}$	Sai số(%)
^{115}Cd	336,2	$6,84 \cdot 10^{-04} \pm 0,56 \cdot 10^{-04}$	$7,73 \cdot 10^{-04}$	16,64
	529,7	$4,00 \cdot 10^{-04} \pm 0,45 \cdot 10^{-04}$	$4,77 \cdot 10^{-04}$	18,48
^{56}Mn	846,8	$5,05 \cdot 10^{-01} \pm 0,08 \cdot 10^{-01}$	$4,96 \cdot 10^{-01}$	1,81
^{51}Cr	320,1	$2,89 \cdot 10^{-03} \pm 0,18 \cdot 10^{-03}$	$2,62 \cdot 10^{-03}$	10,15
^{69m}Zn	438,6	$4,65 \cdot 10^{-04} \pm 0,28 \cdot 10^{-04}$	$3,98 \cdot 10^{-04}$	16,79
^{76}As	559,1	$4,04 \cdot 10^{-02} \pm 0,08 \cdot 10^{-02}$	$4,83 \cdot 10^{-02}$	16,45
	657,1	$5,57 \cdot 10^{-03} \pm 0,19 \cdot 10^{-03}$	$6,61 \cdot 10^{-03}$	15,81
^{52}V	1434,1	$1,60 \cdot 10^{-01} \pm 0,02 \cdot 10^{-01}$	$1,96 \cdot 10^{-01}$	18,45

Nhận xét: Hệ số $k_{0,Au}$ của các nguyên tố ^{56}Mn , ^{115}Cd , ^{51}Cr , ^{69m}Zn , ^{76}As , ^{52}V đã được xác định bằng kích hoạt neutron nguồn đồng vị Am – Be và đã được so sánh với kết quả thực nghiệm của De Corte và cộng sự [2]. Độ lệch tương đối của hệ số $k_{0,Au}$ được xác định bằng kích hoạt neutron nguồn đồng vị Am – Be so kết quả thực nghiệm của De Corte và cộng sự nhỏ hơn 20%. Trong đó, hệ số $k_{0,Au}$ (^{56}Mn) được xác định chính xác nhất với độ lệch tương đối so với kết quả của De Corte và cộng sự là 1,81% gần bằng với sai số tương đối của chính nó 1,58%. Nguyên nhân chủ yếu dẫn đến sai số này là hàm lượng của nguyên tố trong mẫu. Ngoài ra các thông số hạt nhân (I_0 , σ_0 , Q_0) và các thông số đặc trưng của nguồn neutron (α , f), đường cong hiệu suất của detector cũng đóng góp vào sai số này.

4. KẾT LUẬN

Việc xác định hệ số $k_{0,Au}$ của các nguyên tố mangan (Mn), cadmi (Cd), crôm (Cr), kẽm (Zn), asen (As), vanadi (V) bằng kích hoạt neutron nguồn đồng vị Am – Be đã được thực hiện. Kết quả thực nghiệm của chúng tôi đã được so sánh với kết quả thực nghiệm của De Corte và cộng sự [2] với độ lệch tương đối nhỏ hơn 20%. Trong đó, hệ số $k_{0,Au}$ của ^{55}Mn đo tại đỉnh năng lượng 846,8 keV là chính xác nhất. Nguyên nhân là do mẫu được sử dụng để xác định hệ số $k_{0,Au}$ (Mn) là Mn nên độ tinh khiết của nó cao hơn so với các mẫu oxit. Ngoài ra ^{55}Mn có tiết diện kích hoạt neutron nhiệt khá lớn (13,3 barn) nên số đếm từ đỉnh năng lượng 846,8 keV của nó cao và sai số thống kê bé. Các đồng vị khác có hệ số $k_{0,Au}$ từ kết quả thực nghiệm của chúng tôi sai biệt khá lớn so với hệ số $k_{0,Au}$ được xác định bởi F.De Corte là do sai số thống kê, bởi vì các đồng vị này có tiết diện kích hoạt neutron nhiệt bé và độ nhạy kém.

DETERMINATION OF k_0 -FACTORS FOR k_0 -INAA OF SOME ELEMENTS BY NEUTRON ACTIVATION WITH Am-Be ISOTOPE SOURCE

Huynh Truc Phuong, Mai Van Nhon, Van Thi Thu Trang
University of Natural Sciences, VNU-HCM

ABSTRACT: *In neutron activation analysis based on the k_0 standardization method (k_0 -INAA), the k_0 -factor is a combination of nuclear constants and it was measured by experiments. It plays an important role in the accuracy of k_0 -INAA method. Therefore, it is necessary to measure the k_0 -factors in many different neutron sources and compare the results. In this paper, the k_0 -factors to gold of manganese ($k_{0,Au}(Mn)$), cadmium ($k_{0,Au}(Cd)$), Chromium ($k_{0,Au}(Cr)$), Zinc ($k_{0,Au}(Zn)$), Arsenic ($k_{0,Au}(As)$), Vanadium ($k_{0,Au}(V)$) by neutron activation with the Am-Be isotope neutron source were measured. The comparison between our results and the results of Decortet et. al. showed relative differences of less than twenty percents. Among which, our most accurate result was found in ($k_{0,Au}(Mn)$) with only 1.18 percents relative difference.*

Key words: k_0 -factor, Am-Be source.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Văn Thị Thu Trang (2008), *Xác định hằng số k_0 trong phương pháp k_0 -INAA bằng kích hoạt neutron nguồn đồng vị Am – Be*, Khóa luận tốt nghiệp, Trường Đại học Khoa Học Tự Nhiên Tp.HCM.
- [2]. F.D. Corte, A. Simonits (2003), “*Recommended nuclear data for use in the k_0 standardization of neutron activation analysis*”, Atomic Data and Nuclear Data Tables 8, pp. 47-67.
- [3]. F. De Corte, *The k_0 -Standardization Method: A Move to the Optimization of NAA*, PhD Thesis, Univ. Gent, 1987.