

TCVN 7175: 2002

ISO 10703: 1997

**CHẤT LƯỢNG NƯỚC – XÁC ĐỊNH NỒNG ĐỘ HOẠT ĐỘ
CỦA CÁC HẠT NHÂN PHÓNG XẠ BẰNG PHỔ GAMMA
CÓ ĐỘ PHÂN GIẢI CAO**

*Water quality – Determination of the activity concentration of radionuclides
by high resolution gamma-ray spectrometry*

Lời nói đầu

TCVN 7175 : 2002 hoàn toàn tương đương với ISO 10703: 1997.

TCVN 7175 : 2002 do Ban kĩ thuật Tiêu chuẩn TCVN / TC 147 "Chất lượng nước" biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ ban hành.

Chất lượng nước – Xác định nồng độ hoạt độ của các hạt nhân phóng xạ bằng phổ gamma có độ phân giải cao

Water quality – Determination of the activity concentration of radionuclides by high resolution gamma-ray spectrometry

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này qui định phương pháp xác định đồng thời nồng độ hoạt độ của các hạt nhân phóng xạ khác nhau phát ra tia gamma với năng lượng $0,1 \text{ MeV} < E < 2 \text{ MeV}$ trong mẫu nước bằng phổ gamma dùng detector gecmani có độ phân giải năng lượng cao kết hợp với bộ phân tích đa kênh.

Chú thích 1 - Có thể xác định được nồng độ hạt nhân phóng xạ phát tia gamma với năng lượng $40 \text{ keV} < E < 100 \text{ keV}$ và trên 2 MeV trong phạm vi tiêu chuẩn này với điều kiện hiệu chuẩn hệ thống đo và che chắn phù hợp (xem 6.2, 8.5 và 10.3).

Tiêu chuẩn này bao gồm qui trình hiệu chuẩn năng lượng, xác định độ nhạy phụ thuộc vào năng lượng của hệ thống đo, phân tích phổ và xác định nồng độ hoạt độ của các hạt nhân phóng xạ khác nhau trong mẫu nghiên cứu. Qui trình này chỉ áp dụng cho các mẫu đồng thể. Có thể đo được các mẫu có hoạt độ nằm trong khoảng từ 1 Bq đến 10^4 Bq mà không pha loãng hoặc cô đặc hoặc không phải dùng thiết bị (điện tử) đặc biệt.

Tùy thuộc nhiều yếu tố khác nhau như năng lượng của tia gamma, xác suất phát xạ của hạt nhân, kích thước và hình dạng của mẫu và detector, sự che chắn, thời gian đếm và nhiều thông số thực nghiệm khác, cần cô cạn mẫu bằng bay hơi khi hoạt độ đo nhỏ hơn 1 Bq. Khi hoạt độ lớn hơn 10^4 Bq, mẫu cần được pha loãng hoặc lấy một phần để đo, hoặc tăng khoảng cách giữa detector và nguồn, hoặc hiệu chỉnh hiệu ứng chống chất.

2 Tiêu chuẩn viện dẫn

TCVN 6663-1: 2002 (ISO 5667-1: 1980) Chất lượng nước – Lấy mẫu – Phần 1: Hướng dẫn lập chương trình lấy mẫu.

TCVN 5992: 1995 (ISO 5667-2: 1991) Chất lượng nước – Lấy mẫu – Hướng dẫn kỹ thuật lấy mẫu.

TCVN 5993: 1995 (ISO 5667-3: 1980) Chất lượng nước – Lấy mẫu – Hướng dẫn bảo quản và xử lý mẫu.

IEC 659: 1979 Test methods for multichannel amplitude analyzers. (Phương pháp thử đối với máy phân tích biên độ đa kênh.)

IEC 973: 1989 Test procedures for germanium, gamma-ray detectors. (Quy trình thử đối với detector germani, tia gama).

IEC 1151:1992 Nuclear instrumentation – Amplifiers and preamplifiers used with detectors of ionizing radiation – Test procedures. (Máy đo hạt nhân - Bộ khuếch đại và tiền khuếch đại dùng cho detector phát xạ ion hoá - Quy trình thử).

3 Định nghĩa

Tiêu chuẩn này áp dụng những định nghĩa sau:

3.1 hiệu quả đếm (counting efficiency): Trong những điều kiện phát hiện đã cho, là tỷ số của lượng photon gama phát hiện được với lượng photon gama cùng loại được phát ra từ nguồn phát xạ trong cùng khoảng thời gian.

3.2 lớp gama (gamma cascade): Hai hay nhiều photon gama khác nhau phát ra liên tiếp trong một thời gian phân giải từ một hạt nhân khi hạt nhân này kích thích qua một hay nhiều mức năng lượng.

3.3 phát xạ gama (gamma radiation): Phát xạ điện từ trong quá trình chuyển hoá hạt nhân hoặc phân huỷ hạt.

3.4 phổ tia gama (gamma-ray spectrometry): Phương pháp đo tia gama sinh ra phổ năng lượng phát xạ gamma.

3.5 sự phân giải năng lượng (energy resolution): ở mức năng lượng đã cho, là sự khác biệt nhỏ nhất giữa năng lượng của hai tia gama mà có thể phân biệt được bằng máy quang phổ tia gama.

Chú thích 2 - Trong tiêu chuẩn này, phân giải năng lượng được biểu thị bằng chiều rộng nửa pic chia cho năng lượng của pic trên đường cong phân bố cho photon đơn năng.

3.6 hằng số phân rã (decay constant) (λ): Đối với một hạt nhân phóng xạ ở một trạng thái năng lượng cụ thể, là tỷ số của dP trên dt , trong đó dP là xác suất của hạt nhân phóng xạ đã qua chuyển hoá từ trạng thái năng lượng đó trong khoảng thời gian dt .

$$\lambda = \frac{dP}{dt} = -\frac{1}{N} \frac{dN}{dt}$$

trong đó N là số hạt nhân tồn tại ở thời điểm t .

3.7 thời gian chết (dead time): khoảng thời gian giữa hai xung liên tiếp hoặc giữa hai hiện tượng ion hoá và nhận biết được bằng hệ thống phát hiện thành hai xung hoặc hai hiện tượng riêng biệt.

3.8 hiệu chỉnh thời gian chết (dead time correction): Hiệu chỉnh số lượng xung quan sát được để tính số lượng xung bị mất trong thời gian chết.

3.9 chồng chất (pile-up): Sự xử lý bằng máy đo phổ bức xạ các xung tạo ra do sự hấp thụ đồng thời nhiều hạt hoặc photon có nguồn gốc từ các hạt nhân đang phân rã khác nhau trong detector bức xạ. Kết quả là, chúng được coi như hạt hoặc photon đơn có mức năng lượng ở giữa năng lượng riêng và tổng những năng lượng này.

3.10 pic năng lượng đầy (full energy peak): Pic trên đường cong đáp ứng phổ tương ứng với sự hấp thụ hoàn toàn năng lượng của photon bằng hiệu ứng quang điện.

3.11 xác suất chuyển hoá (transition probability): Phần của hạt nhân chuyển hoá theo cách riêng.

4 Ký hiệu và viết tắt

$A_i(t)$	là hoạt độ của hạt nhân phóng xạ i ở thời điểm t , tính bằng becquerel;
C_i	là nồng độ hoạt độ của hạt nhân phóng xạ i , tính bằng becquerel trên lít;
$f_{d,i}$	là hệ số hiệu chỉnh để hiệu chỉnh hoạt độ hoặc nồng độ hoạt độ của hạt nhân phóng xạ i khi phân rã vật lý giữa thời gian lấy mẫu và thời gian đo (không đơn vị)
$f_{s,i}$	là hệ số hiệu chỉnh đối với lấy tổng trùng photon đa tuyến phát ra hạt nhân phóng xạ i ở mức năng lượng E ;
g_i	là giới hạn phát hiện thấy hạt nhân phóng xạ i , như được qui định trong tiêu chuẩn này tính bằng becquerel trên lít;
g'_i	là giới hạn quyết định dưới hạt nhân phóng xạ i , như được qui định trong tiêu chuẩn này, tính bằng becquerel trên lít;
$k_{1-\alpha}$ và $K_{1-\beta}$	là các hệ số tin cậy theo sai số loại 1 (α) và loại 2 (β);
$P_{i,E}$	là xác suất chuyển hoá của hạt nhân phóng xạ i làm tăng phát xạ tia gama với năng lượng E (không đơn vị);
$R_{n,E}$	là tốc độ đếm thực trên giây, ở pic năng lượng đầy tương ứng năng lượng E ;
$R_{n,i}$	là tốc độ đếm trên giây, ở pic năng lượng đầy ứng với hạt nhân phóng xạ i ;
\overline{R}_ϕ	là tốc độ đếm nền trung bình trên giây và trên kiloelectronvolt;
t_m	là thời gian đo mẫu, tính bằng giây
v_i	là hệ số biến động nồng độ hoạt độ do đặc tính ngẫu nhiên của sự phân rã hạt nhân, tính bằng phần trăm;

V	là thể tích mẫu, tính bằng lít;
ε_E	là hiệu quả đếm năng lượng riêng cho tia gama có năng lượng E (không đơn vị);
ε_i	là hiệu quả đếm hạt nhân phóng xạ riêng cho hạt nhân phóng xạ i ở năng lượng đã cho (không đơn vị);
λ_i	là hằng số phân rã của hạt nhân phóng xạ i , tính bằng giây.

5 Nguyên tắc

Tia gama gây ra sự ion hoá khi tiếp xúc với vật chất. Khi đặt một điện thế vào detector bán dẫn, sự ion hoá này, sau tiên khuếch đại được phát hiện là những xung dòng. Chiều cao của xung liên quan tới năng lượng hấp thụ từ photon gama hoặc photon theo thời gian chuyển hoá của detector và thiết bị điện tử. Dựa vào chiều cao các xung, thu được phổ xung tia gama. Sau khi phân tích phổ, biết được các pic khác nhau của hạt nhân phóng xạ đã phát ra tia gama tương ứng. Tính nồng độ của hạt nhân phóng xạ có trong mẫu bằng cách sử dụng hiệu quả phụ thuộc năng lượng của detector thu được trước đó.

6 Nguồn so sánh

Tất cả các nguồn so sánh đều phải phù hợp với tiêu chuẩn quốc gia.

6.1 Nguồn so sánh dùng để hiệu chuẩn năng lượng

Dùng một hoặc nhiều nguồn phát tia gama với năng lượng đã biết chính xác bao trùm toàn bộ khoảng nghiên cứu.

Chú thích 3 - Nên dùng nguồn phát xạ photon bao trùm toàn bộ vùng quan tâm. Chọn nguồn sao cho ít nhất 9 pic năng lượng đầy chia đều trên khoảng năng lượng nghiên cứu là có sẵn. Nên chọn nguồn phóng xạ bền lâu (europi-152, americ-241, coban-60, cesi-137). Để kiểm tra định kỳ việc hiệu chuẩn năng lượng, có thể dùng một ít pic năng lượng.

6.2 Nguồn so sánh dùng để xác định hiệu quả đếm phụ thuộc năng lượng

Dùng một hay nhiều nguồn so sánh phù hợp với tiêu chuẩn quốc tế hoặc quốc gia và có tổng hoạt độ đã biết. Cũng có thể dùng nguồn đa hạt nhân phóng xạ đa dạng. Năng lượng của tia gama phát ra cần được phân phối trên toàn khoảng năng lượng phân tích sao cho hiệu quả phụ thuộc năng lượng của thiết bị đo có thể xác định được đủ chính xác. Độ chính xác là đủ nếu chênh lệch hiệu quả đếm giữa hai mức năng lượng nhỏ hơn 10 % hiệu quả đếm ở 120 keV nếu hạt nhân phóng xạ yêu cầu là có sẵn. Để xác định hoạt độ tia gama phát hạt nhân phóng xạ với năng lượng trong khoảng $40 \text{ keV} < E < 100 \text{ keV}$, hiệu quả đếm tia gama được xác định bằng cách hiệu chuẩn dùng hạt nhân phóng xạ này.

Chú thích 4 - Với khoảng năng lượng $100 \text{ keV} < E < 2000 \text{ keV}$ nên dùng các hạt nhân phóng xạ: mangan-54, coban-157, kẽm-65, stroti-85, ytti-88, cadimi-109, tin-113, cesi-139, thuỷ ngân -203. Những hạt nhân phóng xạ có sự chuyển hoá lớp (như coban-60, cesi-134) phải hết sức chú ý khi dùng (xem 10.6.1).

7 Thuốc thử

Cần dùng những thuốc thử sau khi cô mẫu và dùng iod làm chất làm chậm. Chỉ dùng thuốc thử tinh khiết phân tích và nước cất hoặc nước có độ tinh khiết tương đương.

7.1 Axit nitric đặc (HNO_3), $\rho = 1,42 \text{ g/ml}$

7.2 Axit sunfuric đặc (H_2SO_4), $\rho = 1,84 \text{ g/ml}$

7.3 Dung dịch bạc nitrat, $\rho = 3,2 \text{ g/l}$

Hoà tan 3,2 g bạc nitrat (AgNO_3) trong nước đã axit hoá bằng 0,1 ml axit nitric (7.1) và pha loãng thành 1 lít bằng nước.

7.4 Dung dịch kali iodua, $\rho = 1,3 \text{ g/l}$

Hoà tan 1,3 g kali iodua (KI) trong 1 lít nước.

7.5 Natri sunphit (Na_2SO_3)

7.6 Dung dịch hydro peroxyt (H_2O_2), $\rho = 0,3 \text{ g/l}$

7.7 Dung dịch natri cacbonat (Na_2CO_3), bão hoà ở 20°C .

8 Thiết bị

Thiết bị đo cơ bản gồm 2 phần: detector và các bộ phận điều khiển, lưu giữ và phân tích tín hiệu từ detector. Thông thường, đầu ra của detector được nối với máy phân tích đa kênh (MCA). MCA thường được thay thế bằng bộ đệm đa kênh (MCB) và mọi điều khiển, hiển thị, lưu giữ và phân tích số liệu được thực hiện bởi một bộ vi xử lý có phần mềm và phần cứng ngoại vi. Trong tiêu chuẩn này, có thể dùng bất kỳ thiết bị nào nhưng để phân tích số liệu cần dùng máy tính (8.8).

Thiết bị đo phải gồm các bộ phận sau

8.1 Tinh thể germani tinh khiết hoặc tinh thể liti kéo theo germani [Ge(Li)].

Tính năng của detector được thử theo IEC 973.

Chú thích 5 - Có 3 loại detector khác nhau về hình dạng là: phẳng, đồng trục, dạng giếng; mỗi loại có ưu điểm riêng tùy thuộc vào điều kiện và đều có sẵn trên thị trường. Thí dụ detector đồng trục thường dùng cho thể tích mẫu lớn, trong khi detector dạng giếng lại hiệu quả nhất đối với thể tích mẫu nhỏ. Thông tin chi tiết hơn về detector được nêu trong tài liệu tham khảo [1] ở phụ lục B.

8.2 Nguồn cung cấp cao áp

Cảnh báo: Chú ý các yêu cầu an toàn theo chỉ dẫn của hãng sản xuất.

8.3 Bộ tiền khuếch đại, quyết định cấp chất lượng cao của hệ thống đo vì cả độ phân giải năng lượng và độ ổn định phụ thuộc vào đặc tính của bộ tiền khuếch đại.

Chú thích 6 - Bộ tiền khuếch đại thường được bố trí gần sát detector. Làm lạnh đầu vào (FET) của bộ tiền khuếch đại sẽ làm giảm được độ ồn và cải thiện độ phân giải năng lượng.

8.4 Bộ làm lạnh, có khả năng giữ detector gần bằng với nhiệt độ của nitơ lỏng.

Cần vận hành ở nhiệt độ thấp để giảm dòng dò và mức ồn điện tử của detector và bộ tiền khuếch đại. Cần đặt role tự ngắt và tín hiệu báo động được kích hoạt khi nhiệt độ tăng (thí dụ do vận hành sai bộ làm lạnh hoặc mất nitơ lỏng). Detector Ge(Li) sẽ hỏng nếu bị nóng.

Detector germani tinh khiết cao có thể bảo quản ở nhiệt độ phòng, tuy nhiên nó sẽ bị lạnh khi đặt một điện thế lệch.

8.5 Che chắn

Detector được che chắn ở mọi phía (kể cả đáy) bằng chì hoặc sắt để giảm tín hiệu nền do hạt nhân phóng xạ tự nhiên gây ra. Nếu đo trong khoảng năng lượng $40 \text{ keV} < E < 100 \text{ keV}$, việc che chắn trong gồm ba lớp cadmi, đồng và polymetylmetacrylat để đạt độ ồn nền thấp và ổn định do triệt được tia X trong tấm che chắn.

Che chắn là rất cần để giảm mức nền, nhất là khi đo mức hoạt độ phóng xạ thấp. Cần dùng các biện pháp sau:

- dùng chì có hoạt độ phóng xạ thấp; không để tấm che quá gần detector;
- các vật liệu như quạt, lọc không khí phải được chọn cẩn thận để giảm nồng độ hoạt độ xuống mức phóng xạ nền thấp.

8.6 Bộ khuếch đại chính

Bộ khuếch đại chính cần có đặc tính tuyến tính với tín hiệu vào và ra tương ứng, phải tạo tín hiệu dạng xung, được trang bị cực "không" và một bộ phận hồi phục DC. Phải thử nghiệm các thông số tính năng của khuếch đại chính theo IEC 1151.

Chú thích 7 - Khi tốc độ đếm cao ($> 5000 \text{ s}^{-1}$) cần sử dụng mạch xung loại chống chất. Sử dụng đúng bộ phận hiệu ứng chống chất đòi hỏi trình độ chuyên môn phải tương đối cao.

8.7 Máy phân tích đa kênh (MCA) hoặc đệm đa kênh (MCB)

Máy phân tích đa kênh phải có ít nhất 1024 kênh. Để độ phân giải tốt cần đến 2048 kênh. Các đặc tính của máy phân tích đa kênh cần được thử nghiệm theo IEC 659.

8.8 Máy tính, các thiết bị ngoại vi và phần mềm

Máy tính, phần cứng phụ trợ và phần mềm có sẵn phải:

- đọc được số liệu từ MCA hoặc MCB;
- hiện thị những số liệu này lên màn hình, vẽ hoặc in và lưu giữ số liệu;
- xác định được quan hệ giữa số kênh và năng lượng tương ứng trên toàn bộ dải năng lượng nghiên cứu bằng cách dùng nguồn so sánh thích hợp (xem 6.1);
- xác định được hiệu quả đếm phụ thuộc năng lượng trên toàn bộ dải năng lượng nghiên cứu bằng cách sử dụng nguồn so sánh thích hợp (xem 6.2);
- phát hiện pic, xác định đặc tính của pic được phát hiện như hướng tâm, bề rộng nửa pic, số đếm của pic thu được và xác định tính không đảm bảo của số đếm đó.
- phân định hạt nhân phóng xạ gây ra các pic năng lượng đầy đã quan sát bằng cách dùng hạt nhân phóng xạ so sánh (thí dụ [2] đến [6] trong phụ lục B);
- tính hoạt độ hạt nhân phóng xạ tương ứng dựa trên số đếm, thời gian đếm, hiệu ứng đếm. số liệu về so sánh hạt nhân phóng xạ (thí dụ [2] đến [6] trong phụ lục B);
- tính độ lệch chuẩn của hoạt độ hạt nhân phóng xạ hoặc giới hạn phát hiện của hạt nhân phóng xạ cần đo nhưng không tìm thấy trong mẫu. Nếu cần thì tính và xác định thủ công.

Cần kiểm tra thường xuyên kết quả bằng máy phân tích phổ để phát hiện những bất thường hoặc sai số. Để kiểm tra hiệu quả của thiết bị đo cần dùng một phòng thí nghiệm tiêu chuẩn hoặc tham gia vào việc so sánh liên phòng thí nghiệm.

9 Lấy mẫu

Mẫu được thu thập và bảo quản theo TCVN 6663-1: 2002 (ISO 5667-1), TCVN 5992: 1995 (ISO 5667-2) và TCVN 5993: 1995 (ISO 5667-3). Đặc biệt, cần chú ý những điểm sau:

- phân định mẫu (địa điểm, thời gian và phương pháp lấy mẫu);
- thời gian từ khi lấy mẫu đến khi đo mẫu;

TCVN 7175 : 2002

- độ đồng đều của mẫu: nếu tồn tại các hạt thì mẫu có thể không đồng đều, cần loại bỏ những hạt này bằng cách lọc và phần cặn có thể đo riêng nếu cần (xem 10.1.1);
- để lấy mẫu nên dùng bình polyetylen đã làm sạch bằng axit clohydric 1 mol/l, axit nitric loãng và tráng bằng nước cất hoặc nước đã loại ion;
- ngay sau khi lấy mẫu, cần axit hoá mẫu bằng axit nitric đến $\text{pH} < 2$; nếu có thể, tiến hành lọc hoặc ly tâm các hạt trước khi axit hoá (xem 10.1.1);
- sau quá trình axit hoá và trước khi đo, mẫu cần được vận chuyển và/hoặc bảo quản tránh sáng ở nhiệt độ $0\text{ }^{\circ}\text{C} < t < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Nếu xác định iod phóng xạ, cần axit hoá mẫu bằng axit clohydric thay vì dùng axit nitric.

Chú thích 8 - Trong một vài trường hợp, cần thêm dung dịch chất mang vào mẫu. Thí dụ khi đo nước thải từ nhà máy điện hạt nhân, có thể dùng các dung dịch chất mang nêu ở phụ lục A.

10 Cách tiến hành

10.1 Chuẩn bị mẫu

Theo tiêu chuẩn này, có ba cách chuẩn bị mẫu nước. Trong báo cáo kết quả, cần nêu rõ phương pháp chuẩn bị mẫu như trong 10.1.1 đến 10.1.3.

Việc chọn phương pháp tùy thuộc vào giới hạn phát hiện yêu cầu (xem 10.1.1 hoặc 10.1.2). Nếu phải xác định hạt nhân phóng xạ iod thì sẽ chọn từ 10.1.1 đến 10.1.3, phụ thuộc vào mức độ phát hiện yêu cầu.

10.1.1 Đo trực tiếp

Dùng cách đo trực tiếp khi nồng độ hạt nhân phóng xạ tương đối cao, thí dụ để monitoring sự phát xạ hoặc trong trường hợp sự cố. Sau khi lọc qua màng lọc (có cỡ lỗ $0,45\text{ }\mu\text{m}$), axit hoá mẫu (xem điều 9) và đo trực tiếp (xem 10.4), nên dùng cốc Marinelli.

Phần cặn trên cái lọc sẽ được đo riêng. Trong báo cáo kết quả, ghi rõ là "đo trực tiếp", đồng thời ghi rõ kết quả khi đo "chất lỏng" và "rắn" và cho biết rõ thể tích mẫu. Cho biết cả nồng độ khối lượng chất rắn lơ lửng.

Chú thích 9 - Cần làm đồng thể mẫu khi đo, thí dụ bằng cách khuấy hoặc thêm chất keo. Trong trường hợp này, kết quả được ghi là "tổng số".

10.1.2 Làm bay hơi không dùng iod làm chậm

Làm bay hơi mẫu đến khi chỉ còn lại lượng nước và chất rắn rất nhỏ. Chuyển mẫu đã cô sang đĩa nhỏ, làm bay hơi lượng nước còn lại và làm khô mẫu ở $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ trong 30 min. Xác định khối lượng và đo phần còn lại. Trong báo cáo kết quả nêu rõ dùng phương pháp "bay hơi không dùng iod làm chậm". Kết quả là "tổng số", trừ trường hợp chất rắn lơ lửng được đếm riêng.

10.1.3 Làm bay hơi với iod làm chậm

Vừa khuấy, vừa thêm 10 ml kali iodua (7.4), 0,1 g natri sunphit (7.5) và 5 ml axit sunphuric đậm đặc (7.2) vào 1 lit mẫu nước không lọc. Sau khi khuấy 5 min, thêm 10 ml dung dịch bạc nitrat (7.3) và 10 ml dung dịch hydro peroxyt (7.6) cho 1 lít. Điều chỉnh pH đến 9, dùng dung dịch natri cacbonat bão hoà (7.7).

Làm bay hơi và làm khô mẫu theo 10.1.2. Trong báo cáo kết quả, cần ghi rõ dùng phương pháp "bay hơi với iod làm chậm". Kết quả là "tổng số", trừ khi chất rắn lơ lửng được đếm riêng.

10.2 Hiệu chuẩn năng lượng

Đặt nguồn so sánh (6.1) vào thiết bị đo (xem điều 8) để hiệu chuẩn năng lượng. Điều chỉnh bộ khuếch đại và bộ chuyển đổi số analog (ADC) sao cho kênh đầu tiên tương ứng với năng lượng nằm trong khoảng từ 0 keV đến 30 keV, và mỗi kênh ứng với 0,5 keV, giả thiết rằng 4096 kênh được dùng.

Trong hệ thống thiết bị, quan hệ giữa năng lượng và số kênh là gần tuyến tính. Tuy nhiên, khi phân tích phổ, cần qui cho từng kênh năng lượng tương ứng một cách chính xác, ví dụ bằng cách làm cho các điểm thực nghiệm thích hợp với một đa thức.

Xác định quan hệ giữa năng lượng và số kênh bằng biểu thức toán học với độ chính xác 0,1 keV hoặc tốt hơn. Cần lập lại việc hiệu chuẩn năng lượng hàng tuần. Kiểm tra hàng ngày quan hệ chính xác giữa năng lượng và số kênh.

10.3 Xác định hiệu quả đếm

Hiệu quả đếm chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố sau:

- detector được dùng;
- kích thước của mẫu cùng với detector;
- mật độ của mẫu và vật đựng mẫu.

Hiệu quả đếm phải được xác định trong mọi điều kiện tương tự như mẫu. Khi một trong các yếu tố này thay đổi, hiệu quả đếm sẽ được đánh giá lại theo điều kiện mới. Dùng cùng thuật toán đối với phân tích phổ cho cả mẫu và dung dịch so sánh. Tùy thuộc vào mục đích phép đo (xác định hạt nhân phóng xạ đơn hoặc đa hạt nhân phóng xạ), hiệu quả đếm có thể được xác định bằng hai cách khác nhau, nghĩa là như một hàm của năng lượng hoặc cho hạt nhân phóng xạ đơn.

Dùng hiệu quả đếm hạt nhân phóng xạ riêng khi đo để xác định một hạt nhân phóng xạ đơn và khi phân tích năng lượng nằm trong khoảng $40 \text{ keV} < E < 100 \text{ keV}$. Hiệu quả đếm hạt nhân phóng xạ riêng cũng được dùng cho hạt nhân phóng xạ đặc biệt và cho các trường hợp khi hạt nhân phóng xạ được khảo nghiệm phát bức xạ gama do chuyển hoá lớp (xem 10.3.2). Hiệu quả đếm cũng cần khi hiệu chỉnh trùng ngẫu nhiên trở nên quan trọng nghĩa là trong các detector kiểu giếng.

10.3.1 Cách tiến hành

Đặt nguồn so sánh (6.2) vào thiết bị đo (xem điều 8) và ghi phổ đến khi tốc độ đếm thực ở điều kiện pic năng lượng đầy được xác định với hệ số biến động 1 % hoặc ít hơn (xem 10.6.3). Để tránh sai số do hiệu ứng chống chất, hoạt độ của nguồn so sánh cùng với kích thước của mẫu cần thế nào để thời gian đếm thực sự của phép đo không khác quá 10 % thời gian sống. Có thể dùng một mạch loại hiệu ứng chống chất (xem chú thích 7).

Xác định số đếm thực theo các pic tương ứng cho mọi năng lượng E được dùng. Dùng phương pháp tính diện tích pic khi đo mẫu. Hiệu chỉnh hoạt độ nguồn so sánh cho sự phân rã phóng xạ từ ngày hiệu chuẩn nguồn bằng công thức

$$A_i(t) = A_i(0) \times e^{-\lambda_i t} \quad (1)$$

trong đó

$A_i(t)$ là hoạt độ của hạt nhân phóng xạ i ở thời gian đo t , tính bằng bequerel.

$A_i(0)$ là hoạt độ của hạt nhân phóng xạ i ở thời gian chứng nhận nguồn so sánh, tính bằng bequerel.

λ_i là hằng số phân rã của hạt nhân phóng xạ i , trên giây.

t là thời gian giữa thời gian chứng nhận và thời gian đo, tính bằng giây.

10.3.2 Hiệu quả đếm là hàm của năng lượng

Xác định hiệu quả đếm ở năng lượng E với mọi pic dùng công thức

$$\varepsilon_E = \frac{R_{n,E}}{A_i(t) \times P_{i,E}} \quad (2)$$

trong đó

ε_E là hiệu quả đếm năng lượng riêng cho tia gama với năng lượng E;

$R_{n,E}$ là tốc độ đếm trên giây theo pic năng lượng đầy ứng với năng lượng E;

$A_i(t)$ là hoạt độ của hạt nhân phóng xạ i ở thời gian hiệu chuẩn t , tính bằng becquerel;

$P_{i,E}$ là xác suất chuyển hoá của hạt nhân phóng xạ i làm tăng sự phát tia gama có năng lượng E (hoặc phân nhánh).

Xác định hiệu quả phát hiện phụ thuộc năng lượng bằng cách tìm ra đường thích hợp nhất hoặc biểu thức toán học liên quan trực tiếp với số liệu thực nghiệm của hiệu quả với năng lượng. Mọi điểm thực nghiệm không lệch quá 5 % so với đường hoặc biểu thức toán học.

Lặp lại cách làm ở 10.3.1 với kích thước và mật độ mẫu khác; giả thiết rằng hiệu quả phát hiện chỉ phụ thuộc mật độ mẫu mà không phụ thuộc số nguyên tử trung bình.

Với hạt nhân phóng xạ chuyển hoá theo lớp, đếm số bị mất do các vạch trùng nhau, nhất là khi hiệu quả đếm cao.

Cần hiệu chỉnh các vạch trùng nhau như sau:

Sự phụ thuộc của hiệu quả đếm vào năng lượng được xác định bởi hạt nhân phóng xạ phát vạch đơn. Đối với hạt nhân phóng xạ phát nhiều vạch (thí dụ coban 60 hoặc cesi 134) độ lệch của phép đo hiệu quả "biểu kiến" được xác định từ hiệu quả "thực" với năng lượng đang đo (thu được từ hạt nhân phóng xạ phát vạch đơn). Nếu độ lệch của các vạch chính của hạt nhân phóng xạ vượt quá 20 %, hệ số hiệu chỉnh cho sự trùng vạch của hạt nhân phóng xạ nhiều vạch $f_{s,i}$ được tính riêng theo công thức

$$f_{s,i} = \frac{\varepsilon_E}{\varepsilon_i} \quad (3)$$

trong đó

$f_{s,i}$ là hệ số hiệu chỉnh cho sự trùng vạch của hạt nhân phóng xạ i phát photon nhiều vạch ở năng lượng E ;

ε_E là hiệu quả đếm được xem là hàm của năng lượng được xác định bằng hạt nhân phóng xạ phát vạch đơn ở năng lượng E ;

ε_i là hiệu quả đếm cho hạt nhân phóng xạ i phát photon nhiều vạch ở năng lượng E .

Nếu độ lệch giữa hiệu quả "biểu kiến" và hiệu quả "thực" nhỏ hơn 20 % và hạt nhân phóng xạ phát photon nhiều vạch là không sẵn có cho hiệu chuẩn, hệ số hiệu chỉnh cho sự trùng vạch của hạt nhân phóng xạ phát nhiều vạch $f_{s,i}$ có thể được ước lượng gần đúng theo phương pháp [8] trong phụ lục B. Thiết lập hiệu quả đếm của một hạt nhân phóng xạ i phát photon nhiều vạch đã có sẵn (thí dụ coban 60) ở năng lượng E của một trong những pic năng lượng đầy chính và tính hệ số hiệu chỉnh $f_{s,i}$. Cần so sánh hệ số hiệu chỉnh này với giá trị đã cho trong tài liệu tham khảo với detector và kích thước nguồn tương tự. Có thể áp dụng quan hệ tương tự để phân biệt các vạch của hạt nhân phóng xạ i phát photon nhiều vạch cần xác định và một giá trị cho trong tài liệu tham khảo, theo công thức sau:

$$\frac{f_{s,i} - 1}{f_{s,i}(\text{lit}) - 1} = \frac{f_{s,j}(\text{uốt}) - 1}{f_{s,j}(\text{lit}) - 1} \quad (4)$$

trong đó

$f_{s,i}$ là hệ số hiệu chỉnh cho sự trùng vạch của hạt nhân phóng xạ i , được ước lượng gần đúng;

$f_{s,i}(\text{lit})$ là hệ số hiệu chỉnh cho sự trùng vạch của hạt nhân phóng xạ i cho trong tài liệu tham khảo.

$f_{s,j}(\text{đo})$ là hệ số hiệu chỉnh cho sự trùng vạch của hạt nhân phóng xạ j có sẵn cho hiệu chuẩn và được xác định bằng thực nghiệm;

$f_{s,j}(\text{lit})$ là hệ số hiệu chỉnh cho sự trùng vạch của hạt nhân phóng xạ j cho trong tài liệu tham khảo.

TCVN 7175 : 2002

Nên dùng hệ số hiệu chỉnh mới nhất trong các bảng có sẵn từ các nguồn được quốc tế công nhận [7] và [8] trong phụ lục B.

Cần kết hợp giá trị của hệ số hiệu chỉnh $f_{s,i}$ vào tính nồng độ hoạt độ (xem 10.6.1) và tính giới hạn quyết định dưới, tính giới hạn phát hiện dưới (xem 10.6.4).

Nên áp dụng các chương trình máy tính [7] và [9] trong phụ lục B để sự gần đúng đạt được cao hơn.

10.3.3 Hiệu quả đếm hạt nhân phóng xạ riêng

Xác định hiệu quả đếm cho từng hạt nhân phóng xạ riêng i bằng công thức:

$$\varepsilon_i = \frac{R_{n,i}}{A_i(t)} \quad (5)$$

trong đó

ε_i là hiệu quả đếm hạt nhân phóng xạ riêng cho hạt nhân phóng xạ i ở năng lượng đã cho;

$R_{n,i}$ là tốc độ đếm trên giây, theo pic năng lượng đầy ứng với hạt nhân phóng xạ i ;

$A_i(t)$ là hoạt độ của hạt nhân phóng xạ i ở thời gian hiệu chuẩn t , tính bằng becquerel.

Chú thích 10 - Một số hạt nhân phóng xạ tạo ra nhiều pic năng lượng đầy, làm cho độ nhạy và độ chính xác cao. Hiệu suất đếm nhiều lần hạt nhân phóng xạ đơn cho độ nhạy cao hơn và độ chính xác tốt hơn. Xem chú thích 11.

10.4 Ghi phổ chiều cao của xung tia gama của mẫu

Đặt mẫu vào thiết bị đo (xem điều 8), điều chỉnh MCA (8.7) và ghi phổ. Ghi thời gian và ngày đo mẫu. Đếm trong thời gian đủ dài cho đến khi đạt giới hạn phát hiện yêu cầu của các hạt nhân phóng xạ khác nhau (xem 10.6.4).

Detector, hộp đựng mẫu hoặc các vật xung quanh detector có thể bị nhiễm xạ hoặc chứa các hạt nhân phóng xạ tự nhiên. Điều này có thể làm cao pic trong phổ mà không phải do mẫu. Để khắc phục điều đó hãy ghi phổ nền thường xuyên dùng hộp chứa làm bằng vật liệu tương tự nhưng đổ đầy nước cất và đếm cùng một thời gian như đếm mẫu. Chỉ những hộp không bị nhiễm xạ mới được dùng lại. Khi giới hạn phát hiện dưới có được và thời gian đếm dài, cần chú ý phân tích pic của phổ nền.

10.5 Phân tích phổ

Phát hiện các pic của phổ, xác định năng lượng cực đại và số đếm các pic tương tự như xác định hiệu quả đếm phụ thuộc năng lượng. Xác định mỗi pic thuộc hạt nhân phóng xạ nào cần chú ý đến sự phát xạ tia X và sự trùng pic hoặc chồng chất.

Khi phân tích phổ thường gặp những pic rất nhỏ, rất lớn hoặc pic kép. Nên kiểm tra bằng mắt giữa các pic trên phổ đo được và các pic được phát hiện bằng chương trình. Nếu thời gian đếm đủ dài để pic nằm

trong phổ nền thì số đếm của các pic này cần rút gọn từ số đếm của pic trong mẫu tương ứng. Nếu cần, hiệu chỉnh sự chênh lệch về thời gian đếm giữa mẫu thật và mẫu trắng.

10.6 Biểu thị kết quả

10.6.1 Tính nồng độ hoạt độ dùng hiệu quả đếm như một hàm của năng lượng

Với mọi pic, tính nồng độ hoạt độ của mỗi hạt nhân phóng xạ i có trong mẫu bằng công thức:

$$c_i = \frac{R_{n,E} \times f_{d,i} \times f_{s,i}}{\varepsilon_E \times P_{i,E} \times V} \quad (6)$$

trong đó

c_i là nồng độ hoạt độ của hạt nhân phóng xạ i , tính bằng becquerel trên lít;

$R_{n,E}$ là tốc độ đếm thực trên giây theo pic có năng lượng E chỉ định cho hạt nhân phóng xạ i ;

ε_E là hiệu quả đếm năng lượng riêng ở năng lượng E tương ứng với đỉnh pic (xem 10.3.2);

$P_{i,E}$ là xác suất chuyển hoá của hạt nhân phóng xạ i làm tăng sự phát tia gama năng lượng E ;

V là thể tích mẫu, tính bằng lít; Nếu mẫu là chất rắn thì V là thể tích nước để thu được lượng chất rắn đó;

$f_{s,i}$ là hệ số hiệu chỉnh cho sự trùng pic của hạt nhân phóng xạ phát photon nhiều vạch i ở năng lượng E ;

$f_{d,i}$ là hệ số hiệu chỉnh cho sự phân rã vật lý của hạt nhân phóng xạ i giữa thời gian lấy mẫu và thời gian đo, tính theo công thức:

$$f_{d,i} = e^{\lambda_i t} \times \left[\frac{\lambda_i \times t_m}{1 - e^{-\lambda_i t_m}} \right] \quad (7)$$

trong đó

λ_i là hằng số phân rã của hạt nhân phóng xạ i , trên giây;

t là thời gian từ khi lấy mẫu đến khi bắt đầu đo, tính bằng giây;

t_m là thời gian đo mẫu, tính bằng giây.

Chú thích 11 - Nhiều hạt nhân phóng xạ cho nhiều pic năng lượng đầy. Điều đó thuận lợi cho việc đánh giá các pic hạt nhân phóng xạ tương ứng. Mặt khác với hạt nhân phóng xạ đơn, thì cho nhiều giá trị hoạt độ. Trường hợp này, nồng độ hoạt độ có thể tính được dựa vào công thức

$$\frac{c_i}{c_j} = \frac{\sum_j \frac{c_{ij}}{v_j^2}}{\sum_j \frac{1}{v_j^2}} \quad (8)$$

trong đó

\overline{c}_i là trung bình nồng độ hoạt độ của hạt nhân phóng xạ i , tính bằng bequerel trên lít;

$c_{i,j}$ là nồng độ hoạt độ của hạt nhân phóng xạ i tính từ pic năng lượng đầy j , tính bằng bequerel trên lít;

v_j là hệ số biến động của $c_{i,j}$ (xem 10.6.3).

Với các hạt nhân phóng xạ chuyển hoá thành lớp, có thể mất đếm do trùng, đặc biệt khi hiệu suất đếm cao. Nếu cần thì hiệu chỉnh phần mất này bằng cộng ngẫu nhiên (xem 10.3.2).

Chú thích 12 - Có thể hiệu chỉnh sự trùng một cách gần đúng nhờ hiệu chuẩn một hạt nhân phóng xạ riêng (xem 10.3.3).

10.6.2 Tính nồng độ hoạt độ bằng hiệu quả đếm hạt nhân phóng xạ riêng

Với mọi pic, tính nồng độ hoạt độ của mỗi hạt nhân phóng xạ i có trong mẫu bằng công thức:

$$c_i = \frac{R_{n,i} \times f_{d,i}}{\varepsilon_i \times V} \quad (9)$$

trong đó

c_i là nồng độ hoạt độ của hạt nhân phóng xạ i , tính bằng becquerel trên giây;

$R_{n,i}$ là tốc độ đếm thực trên giây theo pic năng lượng đầy được chỉ định cho hạt nhân phóng xạ i ;

ε_i là hiệu quả đếm hạt nhân phóng xạ riêng cho hạt nhân phóng xạ i ;

V là thể tích mẫu, tính bằng lít. Nếu mẫu là rắn thì V là thể tích nước cần để thu được lượng chất rắn đó;

$f_{d,i}$ là hệ số hiệu chỉnh cho sự phân rã vật lý của hạt nhân phóng xạ i trong khoảng thời gian từ khi lấy mẫu đến khi đo, xem công thức (7) ở 10.6.1 để tính $f_{d,i}$.

Xem chú thích 11.

10.6.3 Tính hệ số biến động

Tính hệ số biến động v_i của nồng độ hoạt độ của hạt nhân phóng xạ i do đặc tính của quá trình phóng xạ bằng công thức:

$$v_i = \frac{s(R_n)}{R_n} \times 100 \quad (10)$$

với

$$s(R_n) = \sqrt{\frac{R_n + 2b \times R_\phi}{t_m}} \quad (11)$$

trong đó

v_i là hệ số biến động của nồng độ hoạt độ của hạt nhân phóng xạ i , tính bằng phần trăm;

$s(R_n)$ là độ lệch chuẩn của tốc độ đếm thực trên giây theo pic năng lượng đầy của hạt nhân phóng xạ i ;

R_n là tốc độ đếm trên giây theo pic năng lượng đầy;

b là bề rộng toàn pic năng lượng đầy, tính bằng $1,7 \times h$, h là bề rộng nửa pic ở mức năng lượng E , tính bằng kiloelectronvon;

$\overline{R_\phi}$ là tốc độ đếm nền trung bình của phổ ở vùng pic năng lượng đầy, tính bằng trên giây trên kiloelectronvol.

t_m là thời gian đo mẫu, tính bằng giây.

Công thức (10) và (11) chỉ được dùng nếu sự đo mẫu trắng với thời gian đo $t_0 \geq t_m$ không có pic ở vùng nghiên cứu. Trường hợp này tính hệ số biến động v_i cho hạt nhân phóng xạ i dùng công thức (12) và (13):

$$v'_i = \frac{s(R'_n)}{R'_n} \times 100 \quad (12)$$

với

$$s(R'_n) = \sqrt{\frac{(R'_n + 2b + \overline{R_\phi})}{t_m} + \frac{(R_n^0 + 2b \times \overline{R_\phi^0})}{t_0}} \quad (13)$$

trong đó

v'_i là hệ số biến động của nồng độ hoạt độ của hạt nhân phóng xạ i , tính bằng phần trăm;

$s(R'_n)$ là độ lệch chuẩn của tổng tốc độ đếm pic thực của hạt nhân phóng xạ i , trên giây;

R'_n là tổng tốc độ đếm pic thực, trên giây.

$\overline{R_\phi^0}$ là tốc độ đếm nền trung bình của phổ của mẫu trắng trong vùng có pic, tính bằng trên giây trên kiloelectronvol;

R_n^0 là tốc độ đếm thực trên giây của phổ của mẫu trắng trong vùng có pic;

t_0 là thời gian đo mẫu trắng, tính bằng giây.

10.6.4 Tính giới hạn quyết định dưới và giới hạn phát hiện dưới

Tính giới hạn quyết định dưới g'_i cho hạt nhân phóng xạ i bằng công thức 14:

$$g'_i = \frac{k_1 - \alpha}{\varepsilon_i \times V} \times f_{d,i} \times f_{s,i} \sqrt{\frac{2b \times \overline{R_\phi}}{t_m}} \quad (14)$$

Tính giới hạn phát hiện dưới của hạt nhân phóng xạ i theo công thức 12:

$$g_i = \frac{k_{1-\alpha} - k_{1-\beta}}{\varepsilon_i \times V} \times f_{d,i} \times f_{s,i} \times \sqrt{\frac{2b \times \overline{R_\phi}}{t_m}} \quad (15)$$

trong đó

g'_i là giới hạn quyết định dưới cho hạt nhân phóng xạ i , tính bằng becquerel trên lít;

g_i là giới hạn phát hiện dưới cho hạt nhân phóng xạ i , tính bằng becquerel trên lít;

$k_{1-\alpha}$ và $k_{1-\beta}$ là các hệ số tin cậy theo sai số loại một (α) và loại hai (β). Với độ tin cậy 95 % thì $k_{1-\alpha}$ và $k_{1-\beta}$ bằng 1,64;

b là bề rộng của pic năng lượng đầy, tính bằng $1,7 \times h$ với h là bề rộng nửa pic của pic năng lượng đầy ở năng lượng E , tính bằng kiloelectronvolt;

$\overline{R_\phi}$ là tốc độ đếm nền trung bình của phổ ở vùng pic, trên giây trên kiloelectronvolt;

ε_i là hiệu quả đếm pic hạt nhân phóng xạ riêng cho hạt nhân phóng xạ i , với $\varepsilon_i = \varepsilon_E \times P_{i,E}$ nếu sự hiệu chuẩn là năng lượng riêng;

ε_E là hiệu quả đếm pic năng lượng riêng ở mức năng lượng E ;

$P_{i,E}$ là tỷ số của xác suất chuyển hoá của hạt nhân phóng xạ i tại đó photon có năng lượng E phân rã và xác suất thành phân hoá chuyển hoá tổng;

V là thể tích mẫu, tính bằng lít;

t_m là thời gian đo mẫu, tính bằng giây.

Công thức (14) và (15) chỉ dùng nếu đo mẫu trắng với thời gian đếm $t_0 \geq t_m$ không xuất hiện pic trong vùng quan tâm. Trường hợp này, tính giới hạn quyết định dưới g'_i và giới hạn phát hiện dưới g_i cho hạt nhân phóng xạ i bằng công thức 16 và 17:

$$g'_i = \frac{k_{1-\alpha}}{\varepsilon_i \times V} \times \sqrt{\frac{1}{t_m} \times \left[2b \times \overline{R_\phi} + R_n^0 + \frac{t_m}{t_0} \times (R_n^0 + 2b \times R_\phi^0) \right]} \times f_{d,i} \times f_{s,i} \quad (16)$$

$$g_i = \frac{k_{1-\alpha} + k_{1-\beta}}{\varepsilon_i \times V} \times \sqrt{\frac{1}{t_m} \times \left[2b \times \overline{R_\phi} + R_n^0 + \frac{t_m}{t_0} \times (R_n^0 + 2b \times R_\phi^0) \right]} \times f_{d,i} \times f_{s,i} \quad (17)$$

trong đó

$\overline{R_\phi^0}$ là tốc độ đếm nền trung bình của phổ của mẫu trắng ở vùng pic, trên giây trên keV;

R_n^0 là tốc độ đếm thực trên giây của phổ của mẫu trắng ở vùng pic;

t_0 là thời gian đo mẫu trắng, tính bằng giây.

Chú thích

13 Giới hạn quyết định dưới của phép đo đơn là tín hiệu mà trên tín hiệu đó tốc độ đếm được ghi nhận ở xác suất sai số đã cho (theo sai số loại một α);

Giới hạn phát hiện dưới là phần trăm mẫu nhỏ nhất có thể nhận ra ở xác suất sai số đã cho (theo sai số loại hai β).

Các giá trị quan sát được thường so sánh với giới hạn quyết định dưới; Các giới hạn của qui chuẩn đưa ra thường được so với giới hạn phát hiện dưới.

14 Các công thức (14) và (15) chỉ dùng khi

- nếu $2b \times R_{\phi} \times t_m > 10$;
- nếu nền ở vùng có pic cho phép tính diện tích pic bằng phương pháp hình thang (nói chung dùng phương pháp tuyến tính gần đúng; nếu nền trong vùng có pic được coi có dạng hình thang);
- nếu việc đếm tuân theo phân bố Poisson.

15 Xác suất sai số $k_{1-\alpha}$ và $k_{1-\beta}$ không phải luôn luôn đạt được, nhất là khi biểu thức $2b \times \overline{R\phi} \times t_m$ thấp. Khi đó việc dùng phương pháp này còn phải bàn thêm.

11 Báo cáo kết quả

Báo cáo kết quả phải bao gồm những nội dung sau:

- a) viện dẫn tiêu chuẩn này;
- b) viện dẫn và nêu độ chính xác của dung dịch tiêu chuẩn được sử dụng;
- c) xác định đầy đủ mẫu, cách chuẩn bị;
- d) nồng độ hoạt độ của tất cả các hạt nhân phóng xạ tìm thấy, với độ biến động tính bằng phần trăm và giới hạn phát hiện dưới;
- e) giới hạn phát hiện dưới của các hạt nhân phóng xạ không tìm thấy nhưng cần kiểm tra;
- f) kích thước detector đã dùng;
- g) hiệu quả phát hiện (so với detector NAI) và độ phân giải năng lượng ở 1332 keV, biểu thị bằng kiloelectronvol;
- h) ghi lại những bất thường trong khi xác định;
- i) mọi khác biệt với tiêu chuẩn này hoặc được coi là tự chọn.

Phụ lục A

(tham khảo)

**Thí dụ về dung dịch chất mang cần thêm vào mẫu nước khi nghiên cứu nước thải
từ nhà máy điện hạt nhân**

Hoà tan trong 100 ml axit clohydric [$c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ mol/l}$]:

- 5,3 g crom(III) clorua ngậm 6 nước ($\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
- 3,6 g mangan (II) clorua ngậm 4 nước ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
- 4,8 g sắt (III) clorua ngậm 6 nước ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
- 4,0 g coban (II) clorua ngậm 6 nước ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
- 3,5 g zirconi (IV) oxy clorua ngậm 8 nước ($\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)
- 1,3 g cesi clorua (CsCl)
- 1,8 g bari clorua ngậm 2 nước ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- 2,7 g lanthan (III) clorua ngậm 7 nước ($\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- 2,7 g ceri (III) clorua ngậm 7 nước ($\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- 2,1 g kẽm clorua (ZnCl_2)
- 2,1 g kali telurat (K_2TeO_4)

1 ml của dung dịch chất mang này được thêm vào 1 lít mẫu nước.

Phụ lục B

(tham khảo)

Tài liệu tham khảo

- [1] ADAMS, F. and ADAMS, R. Applied Gamma Ray Spectrometry, Pergamon Press, Oxford (1975).
- [2] Radionuclide Transformations, Energy and Intensity of Emissions. Annals of the ICRP, Publication 38, Vols. 11-13, 1983, Pergamon press, Oxford.
- [3] LARA, Bibliothèque de Données Nucléaires, Vol. 1-4 (1987), Commissariat à l'Énergie Atomique, Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants, Saclay, France.
- [4] BROWNE, E. and FIRESTONE, R.B. Table of Radioactive Isotopes, ed. V.S. Shirley Wiley, New York (1988).
- [5] SCHÖTZIG, U. and SCHRADER, H. Halbwertszeiten and Photonen-Emissionswahrscheinlichkeiten von häufig verwendeten Radionukliden, PTB-Bericht Ra-16/3, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (1989).
- [6] X-ray and gamma-ray standards for detector calibration, IAEA-TECDOC-619, (1991).
- [7] DEBERTIN, K. and HELMER, R.G. Gamma- and X-ray spectrometry with semiconductor detectors, Elsevier Science Publishers, Amsterdam (1988).
- [8] DEBERTIN, K. and SCHÖTZIG, U. Bedeutung von Summationskorrekturen bei der Gammastrahlenspektrometrie mit Germaniumdetektoren, PTB-Bericht Ra-24, Braunschweig (1990), ISSN 0341-6747, ISBN 3-89429-010-2.
- [9] DEBERTIN, K. and SCHÖTZIG, U. Coincidence summing corrections in Ge(Li)-spectrometry at low source-to-detector distances, Nucl. instr. and methods 158 (1979), p. 471.
-