

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 10758-3:2016

ISO 18589-3:2015

Xuất bản lần 1

**ĐO HOẠT ĐỘ PHÓNG XẠ TRONG MÔI TRƯỜNG - ĐẤT -
PHẦN 3: PHƯƠNG PHÁP THỬ CÁC NHÂN PHÓNG XẠ
CHẤT GAMMA BẰNG ĐO PHỔ GAMMA**

*Measurement of radioactivity in the environment - Soil -
Part 3: Test method of gamma-emitting radionuclides using gamma-ray spectrometry*

HÀ NỘI - 2016

Lời nói đầu

TCVN 10758-3:2016 hoàn toàn tương đương với ISO 18589-3:2015.

TCVN 10758-3:2016 do Tiểu ban kỹ thuật tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC85/SC2 Bảo vệ bức xạ biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Bộ TCVN 10758 (ISO 18589) *Đo hoạt độ phóng xạ trong môi trường – Đất* gồm có các tiêu chuẩn sau:

- TCVN 10758-1:2016 (ISO 18589-1:2005), *Phần 1: Hướng dẫn chung và định nghĩa;*
- TCVN 10758-2:2016 (ISO 18589-2:2015), *Phần 2: Hướng dẫn lựa chọn chiến lược lấy mẫu, lấy mẫu và xử lý sơ bộ mẫu;*
- TCVN 10758-3:2016 (ISO 18589-3:2015), *Phần 3: Phương pháp thử các nhân phóng xạ phát gamma bằng đo phổ gamma;*
- TCVN 10758-4:2016 (ISO 18589-4:2009), *Phần 4: Đo các đồng vị plutoni (plutoni 238 và plutoni 239+240) bằng phổ alpha;*
- TCVN 10758-5:2016 (ISO 18589-5:2009), *Phần 5: Đo stronti 90;*
- TCVN 10758-6:2016 (ISO 18589-6:2009), *Phần 6: Đo tổng hoạt độ alpha và tổng hoạt độ beta;*

Bộ ISO 18589 còn có tiêu chuẩn:

- ISO 18589-7:2013 *Measurement of radioactivity in the environment – Soil – Part 7: in situ measurement of gamma-emitting radionuclides.*

Lời giới thiệu

Bộ tiêu chuẩn TCVN 10758 được biên soạn theo phương pháp chấp nhận hoàn toàn tương đương với bộ tiêu chuẩn ISO 18589 đề cập đến các nội dung liên quan đến đo hoạt độ phóng xạ trong môi trường đất.

Các tiêu chuẩn từ phần 1 đến phần 6 được sử dụng cho người chịu trách nhiệm về xác định hoạt độ phóng xạ có trong đất. Phần 1 và phần 2 là các tiêu chuẩn về yêu cầu chung. Phần 3 đến phần 5 đề cập đến các phép đo nhân phóng xạ cụ thể và phần 6 đề cập đến phép đo thông thường hoạt độ phóng xạ alpha và beta.

Đo hoạt độ phóng xạ trong môi trường - Đất -

Phần 3: Phương pháp thử các nhân phóng xạ phát gamma bằng đo phổ gamma

Measurement of radioactivity in the environment – Soil –

Part 3: Test method of gamma -emitting radionuclides using gamma-ray spectrometry

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này quy định việc nhận biết và đo hoạt độ của một số lượng lớn các nhân phóng xạ phát gamma trong đất bằng phép đo phổ gamma. Phương pháp đo không phá hủy này, áp dụng được đối với các mẫu có thể tích lớn (lên tới khoảng 3 000 cm³), bao gồm việc xác định trong một lần đo tất cả các nguồn phát gamma hiện diện có năng lượng tia gamma trong khoảng 5 keV đến 3 MeV.

Tiêu chuẩn này có thể được ứng dụng bởi các phòng thử nghiệm thực hiện đo hoạt độ bức xạ thường xuyên khi phần lớn nhân phóng xạ được đặc trưng bằng phát tia gamma trong khoảng từ 40 keV đến 2 MeV.

Phương pháp có thể thực hiện sử dụng detector germanium hoặc loại detector khác với độ phân giải lớn hơn 5keV.

Tiêu chuẩn này áp dụng cho những chịu trách nhiệm xác định hoạt độ nhân phóng xạ phát gamma hiện có trong đất dùng cho mục đích bảo vệ bức xạ. Tiêu chuẩn này phù hợp với việc cho việc giám sát môi trường và kiểm tra địa điểm và trong trường hợp có sự cố, cho phép đánh giá nhanh hoạt độ gamma. Việc này có thể xem xét đến đất từ các vườn, trang trại khu vực đô thị và công nghiệp có thể chứa các gạch vụn xây dựng, cũng như đất không bị ảnh hưởng bởi hoạt động của con người.

Khi xác định đặc tính hoạt độ phóng xạ của vật liệu chưa qua rây lớn hơn 200 μ m hoặc lớn hơn 250 μ m, bản chất thạch học hoặc nguồn gốc do con người như vật liệu xây dựng gạch vụn được yêu cầu, các vật liệu này được nghiền để có được một bột đồng nhất cho thử nghiệm như được quy định tại TCVN 10758-2 (ISO 18589-2).

2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau là cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất bao gồm cả các bản sửa đổi, bổ sung (nếu có).

TCVN 6495 (ISO 11074), *Chất lượng đất – Từ vựng*;

TCVN 7175 (ISO 10703), *Chất lượng nước – Xác định nồng độ hoạt độ của các nhân phóng xạ bằng phổ gamma có độ phân giải cao*;

TCVN 7870-10 (ISO 80000-10), *Đại lượng và đơn vị - Phần 10: Vật lý nguyên tử và hạt nhân*;

TCVN 10758-1 (ISO 18589-1), *Đo hoạt độ phóng xạ trong môi trường – Đất – Phần 1: Hướng dẫn chung và định nghĩa*;

TCVN 10758-2 (ISO 18589-2), *Đo hoạt độ phóng xạ trong môi trường – Đất – Phần 2: Hướng dẫn lựa chọn chiến lược lấy mẫu, lấy mẫu và xử lý sơ bộ mẫu*;

TCVN ISO/IEC 17025, *Yêu cầu chung về năng lực phòng thử nghiệm và hiệu chuẩn*;

ISO 11929, *Determination of characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for measurements of ionizing radiation – Fundamentals and application (Xác định các giới hạn đặc trưng (ngưỡng quyết định, giới hạn phát hiện và giới hạn của khoảng tin cậy) cho phép đo bức xạ ion hóa – Cơ sở và ứng dụng)*.

IEC 61452, *Nuclear instrumentation – Measurement of gamma-ray emission rates of radionuclides – Calibration and use of germanium spectrometer. (Thiết bị hạt nhân – Phép đo tốc độ phát gamma của nhân phóng xạ - Hiệu chuẩn và sử dụng máy đo phổ germani)*

3 Thuật ngữ, định nghĩa và ký hiệu

3.1 Thuật ngữ và định nghĩa

Tiêu chuẩn này sử dụng các thuật ngữ, định nghĩa được nêu trong TCVN 7175 (ISO 10703), TCVN 6495 (ISO 11074), TCVN 10758-1 (ISO 18589-1) và TCVN 7870-10 (ISO 80000-10).

3.2 Ký hiệu

m	Khối lượng của phần được thử nghiệm, tính bằng kilogram
A	Hoạt độ của mỗi nhân phóng xạ trong nguồn hiệu chuẩn tại thời điểm hiệu chuẩn, tính bằng becquerel
a, a_c	Hoạt độ, tính bằng becquerel trên kilogam, trên một đơn vị khối lượng của mỗi nhân phóng xạ, khi không có và có hiệu chỉnh
t_g	Thời gian đếm phổ của mẫu, tính bằng giây

t_0	Thời gian đếm phổ của phòng nền môi trường, tính bằng giây
t_s	Thời gian đếm phổ hiệu chuẩn, tính bằng giây
$n_{N,E}, n_{N0,E}, n_{Ns,E}$	Số đếm thực của pic, tại mức năng lượng E , tương ứng trong phổ của mẫu, trong phổ của phòng nền và trong phổ hiệu chuẩn
$n_{g,E}, n_{g0,E}, n_{gs,E}$	Số đếm tổng cộng của pic, tại mức năng lượng E , tương ứng trong phổ của mẫu, trong phổ của phòng nền và trong phổ hiệu chuẩn
$n_{b,E}, n_{b0,E}, n_{bs,E}$	Số đếm phòng nền của pic, tại mức năng lượng E , tương ứng trong phổ của mẫu, trong phổ của phòng nền, trong phổ hiệu chuẩn
ε_E	Hiệu suất của detector tại mức năng lượng, E , với hình học đo thực tế.
P_E	Xác suất phát bức xạ gamma với năng lượng, E , cho mỗi nhân phóng xạ trên một phân rã.
$\mu_1(E), \mu_2(E)$	Hệ số suy giảm tuyến tính tại mức năng lượng photon, E , tương ứng của mẫu và nguồn hiệu chuẩn, trên centimet
$\mu_{m,i}(E)$	Hệ số suy giảm khối lượng, tính bằng centimet vuông trên gam, tại mức năng lượng photon, E , của nguyên tố i
h	Chiều cao của mẫu trong thùng chứa, tính bằng centimet
w_i	Phần khối lượng của nguyên tố i (không có đơn vị)
ρ	Tỉ trọng khối của mẫu, tính bằng gam trên centimet khối
λ	Hằng số phân rã của từng nhân phóng xạ, trên giây
$u(a), u(a_c)$	Độ không đảm bảo chuẩn của kết quả đo, tính bằng becquerel trên kilogram, có và không có hiệu chỉnh
U	Độ không đảm bảo mở rộng, tính bằng becquerel trên kilogram, được tính bằng $U = k \cdot u(a)$ với $k = 1, 2, \dots$
a^*, a_c^*	Ngưỡng quyết định, tính bằng becquerel trên kilogram, đối với mỗi nhân phóng xạ, tương ứng với không có và có hiệu chỉnh
$a^#, a_c^{\#}$	Giới hạn phát hiện, tính bằng becquerel trên kilogram, cho mỗi nhân phóng xạ, tương ứng với không có và có hiệu chỉnh
$a^{\Delta}, a^{\triangleright}$	Giới hạn dưới và giới hạn trên của khoảng tin cậy cho mỗi nhân phóng xạ, tính bằng becquerel trên kilogram

4 Nguyên lý

Hoạt độ của nhân phóng xạ phát gamma có trong các mẫu đất được xác định bằng cách sử dụng kỹ thuật đo phổ gamma dựa trên phân tích năng lượng và các vùng pic của các pic năng lượng toàn phần của gamma. Kỹ thuật này cho phép phát hiện và định lượng nhân phóng xạ^{[1], [2]}.

Bản chất và đặc điểm hình học của detector và mẫu cần có hiệu chuẩn năng lượng và hiệu chuẩn hiệu suất phù hợp^{[1] [2]}. Cả hiệu ứng trùng phùng và hiệu ứng tổng cộng ngẫu nhiên cần được xem xét, đặc biệt với hộp chứa mẫu đặt trực tiếp trên detector và hộp chứa mẫu loại Marinelli, mức hoạt độ cao hoặc detector hình giếng được sử dụng để đo mẫu có khối lượng nhỏ (xem 8.1.4).

CHÚ THÍCH: Tiêu chuẩn này chỉ giới hạn ở việc đo phổ gamma bằng detector bán dẫn.

5 Thiết bị đo phổ gamma

Thiết bị đo phổ gamma thường bao gồm:

- Detector bán dẫn có bộ làm mát (nước lỏng, bộ làm lạnh, v.v.);
- Một bộ phận che chắn bức xạ môi trường, làm bằng chì hoặc vật liệu khác;
- Linh kiện điện tử phù hợp [nguồn cấp điện cao thế, bộ khuếch đại tín hiệu, bộ chuyển đổi tương tự - số (analog-digital)];
- Thiết bị phân tích biên độ đa kênh;
- Máy tính cá nhân để hiển thị phổ đo và xử lý dữ liệu.

Các detector bán dẫn thường sử dụng được làm từ tinh thể germani (HP Ge) siêu tinh khiết. Loại và cấu hình của các detector này quyết định phạm vi ứng dụng thiết bị. Ví dụ, khi phát hiện photon có năng lượng dưới 400 keV, detector tinh thể mỏng được khuyến cáo sử dụng nhằm hạn chế sự gây nhiễu từ các photon có năng lượng cao. Tuy nhiên, tốt hơn là sử dụng detector có thể tích lớn, detector đồng trục loại P để đo photon năng lượng cao (trên 200 keV) hoặc detector đồng trục loại N để đo cả hai loại bức xạ có năng lượng thấp và cao.

Ở mức phóng xạ tự nhiên, nên sử dụng thiết bị đo mức cực thấp, có nghĩa là một hệ thống có vật liệu được lựa chọn cho detector và buồng che chắn bảo đảm mức phóng nền rất thấp. Thiết bị này bao gồm bộ tiền khuếch đại và bộ khuếch đại điện tử có độ tạp rất thấp. Buồng che chắn nên đủ rộng để bảo đảm đủ khoảng cách từ vách buồng tới bộ detector đặt giữa buồng, khi các mẫu 1-L được đưa vào. Điều này cho phép sử dụng phòng tới vật liệu xây dựng có hoạt độ phóng xạ riêng rất thấp và nồng độ khí radon trong không khí trong phòng cũng rất thấp. Tốt nhất, nên để thiết bị đo ở giữa phòng sao cho khoảng cách với tường bao là tối đa. Việc thông gió cưỡng bức cho phòng đo có thể giúp ổn định mức phóng nền. Mặt khác thông gió cưỡng bức cho phòng đo có thể gây ra nhiều vấn đề nếu không khí bên ngoài được đưa vào lại chứa quá nhiều khí radon do kết quả của hiện tượng đất ẩm lên (đặc biệt khi đất tan băng vào mùa xuân). Bơm khí nitơ vào phần bên trong buồng che chắn luôn là giải

pháp tốt. Với mục đích này, khí nitơ thoát ra từ bình Dewar của hệ thống detector cần được bố trí luôn luôn đi vào buồng che chắn.

Các đặc điểm chính cho phép đánh giá tính năng của detector là:

- độ phân giải năng lượng (độ rộng tổng cộng tại một nửa mức cực đại của pic năng lượng toàn phần) cho phép detector phân tách hai pic gamma gần nhau;
- hiệu suất tuyệt đối, chỉ tỷ lệ phần trăm photon phát hiện được tại pic năng lượng toàn phần so với số photon phát ra;
- tỷ số pic – nền Compton.

Tùy theo độ chính xác cần có và giới hạn phát hiện mong muốn, nên sử dụng detector chất lượng cao có độ phân giải năng lượng nhỏ hơn 2,2 keV (đối với pic ^{60}Co ở mức 1,332 keV) và với tỷ số đỉnh/nền Compton từ 50 đến 80 đối với ^{137}Cs (xem IEC 61452).

Một số nhân phóng xạ tự nhiên, ví dụ như ^{210}Pb và ^{238}U qua ^{234}Th , chỉ có thể đo được bằng gamma trong dải năng lượng 100 keV. Trong trường hợp này, việc sử dụng detector loại N là được khuyến nghị. Các detector năng lượng thấp và mức thấp do các nhà sản xuất cung cấp đã được tối ưu hóa cho mục đích này và có thể sử dụng trong các lĩnh vực khác của quan trắc môi trường khác, ví dụ như để đo ^{129}I và ^{241}Am trong mẫu lấy từ khu vực lân cận các cơ sở hạt nhân.

Máy tính cùng với phần cứng và phần mềm trên máy phải được lựa chọn cẩn thận ^{[6], [7]}. Kết quả phân tích phổ trên máy tính nên được kiểm tra trực quan thường xuyên.

Nên so sánh với vật liệu mẫu đã được chứng nhận để kiểm tra tính năng hoạt động của thiết bị. Việc tham gia các cuộc kiểm tra về tính hiệu quả, kiểm tra liên phòng thử nghiệm và các thực hành so sánh chéo cũng có thể giúp xác nhận tính năng hoạt động của thiết bị và tình trạng của phân tích ^{[9], [10]}.

6 Hộp chứa mẫu

Đo hoạt độ phóng xạ gamma trong đất yêu cầu phải có hộp chứa mẫu phù hợp với phương pháp đo phổ gamma. Hộp chứa mẫu cần có các đặc tính sau:

- Được làm bằng vật liệu hấp thụ bức xạ gamma thấp;
- Được làm bằng vật liệu trong suốt để nhìn được bên trong;
- Có thể tích phù hợp với hình dạng của detector để bảo đảm hiệu suất tối đa;
- Không bị ngấm nước và không phản ứng với thành phần của mẫu;
- Có miệng rộng, kín khí để thuận lợi cho việc đưa mẫu vào;
- Không dễ vỡ.

Để kiểm tra xác nhận một cách rõ ràng sự phù hợp của hộp chứa với hình học đếm tiêu chuẩn, có thể chọn hộp chứa trong suốt có vạch đo để kiểm tra việc đưa mẫu vào.

7 Quy trình

7.1 Chuẩn bị mẫu để đo

Mẫu đất được chuẩn bị để dùng trong phép đo phổ gamma thường được sấy khô, nghiền nhỏ và làm đồng nhất như quy định trong TCVN 10758-2: (ISO 18589-2).

Quy trình được thực hiện như sau:

- Chọn hộp chứa phù hợp nhất với thể tích mẫu để có thể đo được nhiều vật liệu nhất. Để giảm hiệu ứng tự hấp thụ, chiều cao của hộp chứa nên ở mức tối thiểu.
- Cho mẫu vào hộp chứa cho tới vạch đo thể tích. Nên dùng dụng cụ cơ học để xếp mẫu vào hộp chứa (ví dụ, băng rung) nhằm tránh bỏ phí thể tích.
- Ghi lại khối lượng mẫu. Thông tin này hữu ích khi sử dụng kết quả đo để biểu thị kết quả như hoạt độ riêng và khi hiệu chỉnh sự tự hấp thụ.
- Kiểm tra bằng mắt mức trên của mẫu và bảo đảm mặt trên của mẫu là ngang bằng trước khi đo. Trong hợp có thể, cho thêm vật liệu vào mẫu cho tới khi đạt tới vạch đo mức thể tích và hiệu chỉnh lại khối lượng mẫu đã ghi.
- Đậy kín hộp chứa nếu nhân phóng xạ tự nhiên hoặc dễ bay hơi đang được đo;
- Làm sạch phía ngoài hộp chứa để loại bỏ nhiễm bẩn do quá trình cho mẫu vào hộp chứa.

Nếu cần đo nhanh, có thể bỏ qua phương pháp xử lý quy định trong TCVN 10758-2 (ISO 18589-2). Khi đó, cần ghi vào báo cáo thử nghiệm và kết quả không thể biểu thị bằng becquerel trên kilogam đất khô.

Khi đo Ra-226 qua sản phẩm phân rã sống ngắn Rn-222, hộp chứa mẫu bịt kín cần được lưu trong một thời gian đủ dài (30 ngày) để cho phép đạt được mức cân bằng phóng xạ giữa Ra-226 và Rn-222.

7.2 Mức phòng nền phòng thử nghiệm

Do một số nhân phóng xạ trong đất (xem Phụ lục B) giống như trong vật liệu xây dựng nên detector và mẫu cần được che chắn cẩn thận khỏi bức xạ phòng nền tự nhiên. Thông thường chỉ cần che chắn detector bằng tường chỉ có mức phòng nền thấp và dày 10 cm. Cần giảm khí radon phía trong phần che chắn. Các thông tin bổ sung được nêu trong các tài liệu tham khảo ^{[1], [2]}.

Nhân phóng xạ tự nhiên và các sản phẩm phân rã của chúng tồn tại phổ biến và với nồng độ lớn trong sàn, tường, trần và khí trong phòng đo và trong vật liệu làm detector và lớp che chắn.

Có các đồng vị của chuỗi phân rã radon khí hiếm mà việc phát khí hiếm này từ vật liệu xung quanh thiết bị đo phụ thuộc vào các thông số vật lý khác nhau. Do vậy, có thể xảy ra sự thăng giáng lớn về nồng độ khí radon và sản phẩm phân rã trong không khí phòng thử nghiệm và không khí trong buồng che chắn detector. Đây đặc biệt là vấn đề trong tầng hầm của các tòa nhà cũ có sàn bị hỏng.

Mức phông nền của thiết bị đo phải được giữ ở mức thấp nhất có thể và đặc biệt là phải giữ ổn định nhất có thể bằng các phương pháp phù hợp. Điều này đòi hỏi phải làm sạch lớp che chắn và loại bỏ bụi bằng phương pháp lọc. Việc đo thường xuyên mức phông nền cho phép kiểm tra tính ổn định của nó. Điều này là cần thiết do mức các pic của phổ của phông nền thường được trừ khỏi mức pic của một phổ mẫu.

7.3 Hiệu chuẩn

7.3.1 Hiệu chuẩn năng lượng

Hiệu chuẩn năng lượng được tiến hành bằng cách sử dụng các nguồn của một loại nhân phóng xạ có các dòng phát khác nhau (ví dụ như ^{152}Eu) hoặc các nguồn hỗn hợp của vài nhân phóng xạ. Việc hiệu chuẩn này cho phép thiết lập mối quan hệ giữa số kênh của thiết bị phân tích và năng lượng được biết của các photon ^[12], ^[13], ^[14]. Nhìn chung, công việc này được thực hiện với một phần mềm phù hợp có thể sử dụng phổ chuẩn để tự động chuyển thang kênh của thiết bị phân tích đa kênh sang thang năng lượng photon và ghi lại những thông tin cần thiết cho việc phân tích về sau. Bằng cách sử dụng phổ hiệu chuẩn năng lượng, độ rộng toàn phần tại mức một nửa mức tối đa của các pic năng lượng toàn phần có thể được xác định như là một hàm của năng lượng gamma. Phần mềm phân tích đo phổ thường đòi hỏi thông tin này.

Thông tin bổ sung được nêu trong IEC 61452, TCVN 7175 (ISO 10703) và các tài liệu tham khảo [7] và [8].

7.3.2 Hiệu chuẩn hiệu suất

Hiệu chuẩn hiệu suất được thực hiện thông qua tính toán ngay từ ban đầu hiệu suất của detector bằng lý thuyết vận chuyển và kỹ thuật Monte Carlo (không được bàn đến trong tiêu chuẩn này hoặc bằng cách sử dụng một nguồn nhân phóng xạ có các vạch phát khác nhau hoặc nguồn hỗn hợp các nhân phóng xạ. Việc hiệu chuẩn này cho phép thiết lập hiệu suất ghi của detector như là một hàm của năng lượng bức xạ.

Khi sử dụng một nguồn nhân phóng xạ với các vạch phát khác nhau để hiệu chuẩn, cần tính đến hiệu ứng tổng cộng hoặc sự mất do trùng phùng.

Đo mẫu cần thực hiện trong các điều kiện đo tương tự như điều kiện cho việc hiệu chuẩn hệ thống đo phổ gamma. Đặc biệt, chế độ đặt của bộ điện tử (hệ số khuếch đại và cao thế), điều kiện hình học thiết bị đo, vị trí nguồn so với detector, mẫu và các chất nền chuẩn phải hoàn toàn giống nhau.

Nguồn hiệu chuẩn cần có đặc tính vật lý và hóa học tương tự như mẫu. Ví dụ, nguồn hiệu chuẩn có thể được tạo ra từ thêm chuẩn mẫu đất phù hợp.

Với các điều kiện này, hiệu suất tại mức năng lượng E được tính theo Công thức (1):

$$\varepsilon_E = \frac{n_{Ns,E} / t_s}{A \cdot P_E} \quad (1)$$

TCVN 10758-3:2016

Đối với một pic không bị xáo trộn tại mức năng lượng E , số đếm $n_{Ns,E}$ trong vùng pic thực của phổ γ được tính theo Công thức (2):

$$n_{Ns,E} = n_{gs,E} - n_{bs,E} \quad (2)$$

Khi bản chất vật lý và hóa học của mẫu (thành phần hóa học, mật độ thể tích) khác với các điều kiện hiệu chuẩn hiệu suất thì cần hiệu chỉnh mức tự hấp thụ bức xạ gamma.

Thông tin bổ sung được nêu trong IEC 61452, TCVN 7175 (ISO 10703) và các Tài liệu tham khảo [7] và [8].

7.4 Đo và hiệu chỉnh cho các nhân phóng xạ tự nhiên

Nếu đo hoạt độ các nhân phóng xạ tự nhiên trong đất, các vùng pic năng lượng toàn phần được sử dụng để đánh giá hoạt độ sẽ phải được hiệu chỉnh cho sự đóng góp từ phóng nền của chính các loại nhân phóng xạ này trong buồng che chắn detector, có tính đến sự khác biệt về thời gian đo mẫu và thời gian đo phóng nền.

Hướng dẫn đặc biệt cần quan tâm trong quá trình đo nhân phóng xạ trong đất và thông tin về sự giao thoa quang phổ được nêu trong Phụ lục B.

Tia gamma của nhân phóng xạ trong phóng nền và/hoặc của các nhân phóng xạ tự nhiên trong mẫu cũng có thể làm nhiễu quá trình đo nhân phóng xạ nhân tạo và có thể cần hiệu chỉnh hợp lý.

8 Biểu thị kết quả

8.1 Tính hoạt độ trên đơn vị khối lượng

8.1.1 Khái quát

Hoạt độ trên đơn vị khối lượng, a , của mỗi nhân phóng xạ có trong mẫu thu được từ số đếm thực, $n_{N,E}$, từ pic của một vạch γ không bị nhiễu, theo Công thức (3):

$$a = \frac{m_{N,E} / t_g}{P_E \cdot \varepsilon_E \cdot m \cdot f_E} \quad (3)$$

Trong đó:

f_E là hệ số hiệu chỉnh có xét đến tất cả các hiệu chỉnh cần thiết theo Công thức (4):

$$f_E = f_d - f_{nt,E} - f_{cl,E} - f_{s,E} \quad (4)$$

Trong đó:

f_d là hệ số hiệu chỉnh đối với phân rã trong ngày tham chiếu;

$f_{nt,E}$ là hệ số hiệu chỉnh sự tự hấp thụ;

$f_{cl,E}$ là hệ số hiệu chỉnh sự mất mát do trùng phùng;

$f_{s,E}$ là hệ số hiệu chỉnh hiệu ứng thêm vào do trùng phùng.

Đối với pic không bị nhiễu loạn với năng lượng E , số đếm $n_{N,E}$ trong khu vực pic thực của phổ γ được tính bằng Công thức (5):

$$n_{N,E} = n_{g,E} - n_{b,E} \quad (5)$$

Như vậy, Công thức (3) có thể được viết thành Công thức (6):

$$a = \frac{n_{N,E} / t_g}{P_E \cdot \varepsilon_E \cdot m \cdot f_E} = \frac{n_{g,E} - n_{b,E}}{P_E \cdot \varepsilon_E \cdot m \cdot f_E \cdot t_g} = (n_{g,E} - n_{b,E}) \cdot w / t_g \text{ với } w = \frac{1}{P_E \cdot \varepsilon_E \cdot m \cdot f_E} \quad (6)$$

Nếu diện tích pic thực, $n_{N,E}$ thu được bằng cách mở rộng Công thức (6) là đúng; nhưng cần chú ý trong tính độ không đảm bảo theo 8.2.

Nếu một pic bị nhiễu do vạch nhiễu γ của nhân phóng xạ khác và có thể không phân giải được bằng phương pháp tách phổ do độ phân giải hạn chế của detector, và nếu sự đóng góp của các nhân phóng xạ gây nhiễu có thể được ước tính từ vạch γ của nhân phóng xạ gây nhiễu khác, cần phải áp dụng quy trình được nêu tại 8.6.

Đối với các nhân được đặc tính bởi nhiều vạch, hoạt độ có thể được tính sử dụng một vài pic có tính đến tỉ số phân nhánh đã biết được mô tả bằng sơ đồ phân rã và đường hiệu suất của chúng.

8.1.2 Hiệu chỉnh phân rã

Tùy theo chu kỳ bán rã của nhân phóng xạ cần đo, hoạt độ trên mỗi đơn vị khối lượng cần được hiệu chỉnh bằng f_d . Để tính phân rã phóng xạ trong thời gian đếm và trong khoảng thời gian từ thời điểm chuẩn ($t = 0$) và thời điểm đo ($t = t_i$), f_d được tính bằng Công thức (7):

$$f_d^{-1} = e^{\lambda \cdot t_i} \cdot \left[\frac{\lambda \cdot t_g}{1 - e^{-\lambda \cdot t_g}} \right] \quad (7)$$

8.1.3 Hiệu chỉnh tự hấp thụ

Đo hoạt độ phóng xạ trong đất bằng phép đo phổ gamma có thể phải sử dụng nguồn đã được hiệu chuẩn có chất nền khác với nền của mẫu đo. Trong trường hợp này, có thể áp dụng hệ số hiệu chỉnh đối với kết quả thu được. Năng lượng bức xạ càng thấp thì hệ số hiệu chỉnh càng cao.

Có nhiều kỹ thuật khác nhau để xác định hệ số hiệu chỉnh này:

- Đo hệ số suy giảm bức xạ gamma trong vật liệu mẫu tại mức năng lượng xác định;
- Tính toán trong đó có tính đến thành phần hóa học và tỉ trọng khối của mẫu.

Đối với hộp chứa mẫu hình trụ tại mức của detector, giá trị hệ số hiệu chỉnh suy giảm $f_{att,E}$ có thể được ước tính bằng Công thức (8):

$$f_{att,E} = \frac{\mu_2(E) \cdot (1 - e^{-\mu_1(E) \cdot X})}{\mu_1(E) \cdot (1 - e^{-\mu_2(E) \cdot X})} \quad (8)$$

trong đó,

X là độ dày trung bình mẫu thử tính bằng centimet.

Hệ số suy giảm tuyến tính $\mu(E)$ phụ thuộc vào năng lượng photon, tỉ trọng khối, thành phần hóa học của mẫu và thể hiện sự suy giảm hàm mũ tỉ trọng thông lượng của tia gamma theo khoảng cách. Có thể tính hệ số này bằng Công thức (9):

$$\mu(E) = \left[\sum_i w_i \mu_{m,i}(E) \right] \rho \quad (9)$$

Nếu lấy xấp xỉ và đối với các loại đất cùng tính chất, hệ số suy giảm tuyến tính $\mu(E)$ có thể được tính trực tiếp bằng cách nhân hệ số suy giảm khối lượng với tỉ trọng.

8.1.4 Hiệu chỉnh hiệu ứng thêm vào hoặc mất đi do trùng phùng

Đối với nhân phóng xạ liên tục thay đổi bậc năng lượng thì việc mất mát số đếm do trùng phùng sẽ xảy ra, đặc biệt tại mức hiệu suất đếm cao.

Các hiệu chỉnh này quan trọng đối với các mẫu nguồn điểm và mỏng được đo rất gần bề mặt detector; chúng đặc trưng cho mỗi nhân phóng xạ, detector, hình học đo và khoảng cách từ mẫu đến detector.

Hầu hết phương pháp lý thuyết để tính toán liên quan đến việc sử dụng lý thuyết vận chuyển và kỹ thuật Monte-Carlo (Geant, EGSnrc, MCNP, Penelope, v.v.; xem tài liệu tham khảo từ [13] đến [16]); do có khó khăn liên quan trong việc tạo ra các detector chuẩn chung, có thể áp dụng một số quy trình thử nghiệm cho mỗi tình huống cụ thể.

Một số quy trình thử nghiệm này sử dụng dữ liệu từ tài liệu chuyên khảo. Tuy nhiên, do có nhiều khả năng của các detector và điều kiện đo khác nhau, có thể được làm đo trực tiếp theo quy định tại các điểm từ a) đến c) sau đây:

- Chuẩn bị nguồn chứa nhân phóng xạ phát photon nhiều vạch có hệ số hiệu chỉnh tại mức năng lượng E' được tính cùng với nhân phóng xạ khác phát gamma có cùng năng lượng và đơn năng hay có hiệu chỉnh tổng cộng không đáng kể tại mức năng lượng E' . Điều kiện hình học phải giống với điều kiện hình học sử dụng cho đo nguồn mẫu.
- Đo với nguồn này tại khoảng cách xa tới detector. Tính mối quan hệ giữa pic thực tại mức năng lượng E và E' .
- Đo với mẫu tại vị trí đo bình thường. Mối quan hệ giữa số đếm pic thực tại mức năng lượng E và E' tương tự với giá trị tính toán được ở trên và có thể đánh giá được số đếm pic thực lý thuyết $n_{N,E}$ tại mức năng lượng E .

Quan hệ số đếm pic thực lý thuyết $n_{N,E}$ và số đếm pic thực đo được $n_{N,E}$ là hệ số hiệu chỉnh cho hiệu ứng tổng cộng đối với năng lượng E của nhân phóng xạ phát photon đa vạch cần được áp dụng để phân tích phổ hiệu chuẩn và phổ mẫu.

Thông tin bổ sung được nêu trong các Tài liệu tham khảo [2] và [9].

8.2 Độ không đảm bảo chuẩn

Theo TCVN 9595-1:2013 (ISO/IEC 98-1:2009)^[10], độ không đảm bảo chuẩn của a được tính bằng Công thức (10):

$$u(a) = \sqrt{(w/t_g)^2 \cdot [u^2(n_{g,E}) + u^2(n_{b,E})] + a^2 \cdot u_{rel}^2(w)} \quad (10)$$

Trong đó độ không đảm bảo của thời gian đếm là không đáng kể.

Độ không đảm bảo chuẩn tương đối của w được tính bằng Công thức (11):

$$u_{rel}^2(w) = u_{rel}^2(P_E) + u_{rel}^2(m) + u_{rel}^2(\varepsilon_E) + u_{rel}^2(f_E) \quad (11)$$

Kết hợp với Công thức (1), độ không đảm bảo chuẩn tương đối của ε_E được tính bằng Công thức (12):

$$u_{rel}^2(\varepsilon_E) = u_{rel}^2(n_{N,E}) + u_{rel}^2(A) + u_{rel}^2(P_E) = u_{rel}^2(n_{gs,E} - n_{bs,E}) + u_{rel}^2(A) + u_{rel}^2(P_E) \quad (12)$$

Trong đó: $u_{rel}(A)$ bao gồm tất cả các độ không đảm bảo liên quan tới nguồn hiệu chuẩn: chứng nhận chuẩn, chuẩn bị nguồn hiệu chuẩn.

Để tính các giới hạn đặc trưng (xem ISO 11929), cần biết $\tilde{u}(\tilde{a})$, nghĩa là độ không đảm bảo chuẩn của a như là một hàm của giá trị thực của nó. Đối với giá trị thực $\tilde{a}$, từ công thức $n_{g,E} = \tilde{a} \cdot t_g / w + n_{b,E}$ và với $u^2(n_g) = n_g$ có Công thức (13):

$$\tilde{u}(\tilde{a}) = \sqrt{(w/t_g)^2 \cdot [(t_g/w) \cdot \tilde{a} + n_{b,E} + u^2(n_{b,E})] + \tilde{a}^2 \cdot u_{rel}^2(w)} \quad (13)$$

Các độ không đảm bảo $u(n_N)$, $u(n_g)$ và $u(n_b)$ cần được tính theo quy định của GUM, có tính tới việc các số đếm riêng lẻ, n_i , trong kênh i của một phổ đa kênh là kết quả của quá trình Poisson và do đó $u^2(n_i) = n_i$. Các giá trị n_N , n_g và n_b và độ không đảm bảo chuẩn của chúng là $u(n_N)$, $u(n_g)$ và $u(n_b)$ có thể được tính toán bằng chương trình máy tính. Do có rất nhiều phương pháp khác nhau để trừ mức phóng nền dưới pic nhằm tính số đếm trong vùng pic thực nên không có Công thức nào được áp dụng chung. Một ví dụ cho trường hợp đơn giản của việc trừ mức phóng nền được nêu trong Phụ lục A.

Nếu diện tích pic thực $n_{N,E}$ thu được bằng phần mềm sử dụng kỹ thuật tách phổ, phần mềm cần phải tính được $n_{N,E}$ và độ không đảm bảo chuẩn của nó. Nếu phần mềm cung cấp cả $n_{b,E}$ cùng với độ không đảm bảo chuẩn của nó, độ không đảm bảo có thể được tính theo các Công thức từ Công thức (10) đến Công thức (13). Nếu chương trình máy tính cho trực tiếp ngưỡng quyết định và giới hạn phát hiện đối với hoạt độ a , các giới hạn đặc trưng này cần phải được tính theo ISO 11929, Phụ lục C và C.5. Quy

TCVN 10758-3:2016

trình nêu trong ISO 11929 này được dựa trên Tài liệu tham khảo [17] không dành cho người sử dụng mà cho người phát triển chương trình máy tính.

8.3 Ngưỡng quyết định

Ngưỡng quyết định, a^* , được tính từ Công thức (13) trong trường hợp $\bar{a} = 0$ (xem ISO 11929). Từ đó suy ra Công thức (14):

$$a^* = k_{1-\alpha} \cdot \tilde{u}(0) = k_{1-\alpha} \cdot (w/t_g) \sqrt{n_{b,E} + u^2(n_{b,E})} \quad (14)$$

Trong đó:

$\alpha = 0,05$ và $k_{1-\alpha} = 1,65$ thường được chọn mặc định.

8.4 Giới hạn phát hiện

Giới hạn phát hiện, $a^{\#}$, được tính bằng Công thức (15) (xem ISO 11929):

$$a^{\#} = a^* + k_{1-\beta} \cdot \tilde{u}(a^*) = a^* + k_{1-\beta} \cdot \sqrt{w^2 \left[(a^*/w + n_{b,E}/t_g)/t_g + u^2(n_{b,E})/t_g^2 \right] + a^{\#2} \cdot u_{rel}^2(w)} \quad (15)$$

Trong đó:

$\beta = 0,05$ và $k_{1-\beta} = 1,65$ thường được chọn mặc định.

Giới hạn phát hiện có thể được tính bằng cách giải Công thức (15) đối với $a^{\#}$ hoặc đơn giản hơn bằng cách lặp lại, bắt đầu với việc lấy xấp xỉ $a^{\#} = 2 \cdot a^*$.

Lấy $\alpha = \beta$ thì $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta} = k$ và giải Công thức (15) được Công thức (16):

$$a^{\#} = \frac{2 \cdot a^* + (k^2 \cdot w)/t_g}{1 - k^2 \cdot u_{rel}^2(w)} \quad (16)$$

8.5 Giới hạn tin cậy

Giới hạn dưới, a° , và giới hạn trên, a° , của khoảng tin cậy được tính bằng các Công thức (17) và (18) tương ứng (xem ISO 11929).

$$a^{\circ} = a - k_p \cdot u(a) \text{ trong đó } p = \omega \cdot (1 - \gamma/2) \quad (17)$$

$$a^{\circ} = a + k_q \cdot u(a) \text{ trong đó } q = 1 - \omega \cdot \gamma/2 \quad (18)$$

Trong đó, $\omega = \Phi[y/u(\gamma)]$, Φ là hàm phân bố của phân bố bình thường tiêu chuẩn hóa.

Nếu $a \geq 4 \cdot u(a)$, ω có thể cho bằng 1, từ đó có Công thức (19):

$$a^{\circ, \circ} = a \pm k_{1-\gamma/2} \cdot u(a) \quad (19)$$

$\gamma = 0,05$ và $k_{1-\gamma/2} = 1,96$ thường được chọn mặc định.

8.6 Hiệu chỉnh sự đóng góp từ các nhân phóng xạ khác và phông nền

8.6.1 Khái quát

Trong phép đo phổ gamma, thông thường cần phải hiệu chỉnh hai loại đóng góp.

- Vạch gamma của nhân phóng xạ đang được xác định có sự đóng góp từ bức xạ gamma của nhân phóng xạ khác trong mẫu. Nhân phóng xạ đóng góp có vạch gamma khác mà sự đóng góp từ đó vào vạch được phân tích có thể ước tính được có tính đến các xác suất phát tia của các vạch gamma.
- Vạch gamma của nhân phóng xạ đang được xác định cũng có trong phông nền của máy đo phổ. Bằng cách đo một phổ của phông nền không có mẫu trong khoảng thời gian đếm, t_0 , sự đóng góp có thể được hiệu chỉnh, có tính tới các thời gian đếm khác nhau cho hai phổ.

Trong cả hai trường hợp, hoạt độ trên một đơn vị khối lượng có thể tính bằng mô hình trong Công thức (20):

$$a_c = (n_{N,E} / t_g - x \cdot n_{N0,E} / t_0) \cdot w \quad (20)$$

Trong đó, x là thừa số và là một hàm của dạng hiệu chỉnh.

Đối với cả hai loại đóng góp, mô hình này cho sự hiệu chỉnh cần thiết.

8.6.2 Sự đóng góp từ các nhân phóng xạ khác

Vạch gamma được hiệu chỉnh tại năng lượng, E_1 , có diện tích pic thực, n_{N,E_1} . Sự đóng góp của nhân phóng xạ được tính bằng cách sử dụng tỷ số của nhân phóng xạ đóng góp cho năng lượng gamma, E_1 . Công thức (20) đưa ra sự hiệu chỉnh cần thiết với $x = P_{E_1} \cdot \varepsilon_1 / P_{E_2} \cdot \varepsilon_2$ và $t_0 = t_g$. Từ đây suy ra Công thức (21):

$$a_c = (n_{N,E_1} - x \cdot n_{N,E_2}) \cdot w / t_g \quad (21)$$

Bỏ qua sự không đảm bảo tiêu chuẩn của x , độ không đảm bảo chuẩn của a_c được tính theo Công thức (22):

$$u^2(a_c) = (w/t_g)^2 \{ n_{g,E_1} + u^2(n_{b,E_1}) + x^2 [n_{g,E_2} + u^2(n_{b,E_2})] \} + a_c^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(w) \quad (22)$$

và với giá trị thực $\tilde{a}_c$ của a_c , có thể rút ra Công thức (23):

$$\tilde{u}^2(\tilde{a}_c) = (w/t_g)^2 \{ \tilde{a}_c t_g / w + n_{b,E_1} + u^2(n_{b,E_1}) + x(n_{g,E_2} - n_{b,E_2}) + x^2 [n_{g,E_2} + u^2(n_{b,E_2})] \} + \tilde{a}_c^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(w) \quad (23)$$

Từ đó, ngưỡng quyết định, a_c^* , được cho bởi Công thức (24):

$$a_c^* = k_{1-\alpha} \cdot (w/t_g) \cdot \sqrt{n_{b,E_1} + u^2(n_{b,E_1}) + x(n_{g,E_2} - n_{b,E_2}) + x^2 [n_{g,E_2} + u^2(n_{b,E_2})]} \quad (24)$$

và giới hạn phát hiện, $a_c^\#$, được cho bởi Công thức (25)

$$a_c^{\#} = a_c^* + k_{1-\beta} \cdot \sqrt{(w/t_g)^2 \left\{ a_c^{\#} t_g / w + n_{b,E_1} + u^2(n_{b,E_1}) + x(n_{g,E_2} - n_{b,E_2}) + x^2 [n_{g,E_2} + u^2(n_{b,E_2})] \right\} + a_c^{\#2} u_{rel}^2(w)} \quad (25)$$

Giới hạn phát hiện có thể được tính bằng cách giải Công thức (25) để tìm $a_c^{\#}$ hoặc đơn giản hơn, bằng cách lặp lại với việc lấy xấp xỉ $a_c^{\#2} = 2 \cdot a_c^*$.

Cho $\alpha = \beta$ thì $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta} = k$ và giải Công thức (25) sẽ cho Công thức (26):

$$a_c^{\#} = \frac{2 \cdot a_c^* + (k^2 \cdot w) / t_g}{1 - k^2 \cdot u_{rel}^2(w)} \quad (26)$$

8.6.3 Đóng góp từ phòng nền

Trong trường hợp này, Công thức (20) được sử dụng để hiệu chỉnh bằng cách cho $x = 1$ và $u(x) = 0$. $n_{N0,E}$ là diện tích pic thực của vạch gamma trong phổ của phòng nền và t_0 là thời gian đếm của phổ của phòng nền. Từ đây suy ra Công thức (27):

$$a_c = (n_{N,E} / t_g - n_{N0,E} / t_0) \cdot w \quad (27)$$

Độ không đảm bảo chuẩn của a_c được tính theo Công thức (28):

$$u^2(a_c) = w^2 (n_{g,E} / t_g^2 + n_{g0,E} / t_0^2 + u^2(n_{b,E}) / t_g^2 + u^2(n_{b0,E}) / t_0^2) + a_c^2 \cdot u_{rel}^2(w) \quad (28)$$

và với giá trị thực $\tilde{a}_c$ của a_c , thu được Công thức (29):

$$\tilde{u}^2(\tilde{a}_c) = w^2 \left\{ \tilde{a}_c / t_g w + [n_{b,E} + u^2(n_{b,E})] / t_g^2 + [n_{g0,E} + u^2(n_{b0,E})] / t_0^2 + (n_{g0,E} - n_{b0,E}) / t_0 t_g \right\} + \tilde{a}_c^2 \cdot u_{rel}^2(w) \quad (29)$$

Từ đó, ngưỡng quyết định, a_c^* được cho bởi Công thức (30):

$$a_c^* = k_{1-\alpha} \cdot w \cdot \sqrt{[n_{b,E} + u^2(n_{b,E})] / t_g^2 + [n_{g0,E} + u^2(n_{b0,E})] / t_0^2 + (n_{g0,E} - n_{b0,E}) / t_0 t_g} \quad (30)$$

và giới hạn phát hiện $a_c^{\#}$ bởi Công thức (31):

$$a_c^{\#} = a_c^* + k_{1-\beta} \cdot \sqrt{w^2 \left\{ a_c^{\#} / t_g w + [n_{b,E} + u^2(n_{b,E})] / t_g^2 + [n_{g0,E} + u^2(n_{b0,E})] / t_0^2 + (n_{g0,E} - n_{b0,E}) / t_0 t_g \right\} + a_c^{\#2} u_{rel}^2(w)} \quad (31)$$

Giới hạn phát hiện có thể được tính bằng cách giải Công thức (25) để tìm a_c^* hoặc, đơn giản hơn, bằng cách lặp lại với việc lấy xấp xỉ ban đầu $a_c^{\#} = 2 \cdot a_c^*$.

Khi lấy $\alpha = \beta$ thì $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta} = k$ và giải Công thức (31) được Công thức (32):

$$a_c^{\#} = \frac{2 \cdot a_c^* + (k^2 \cdot w) / t_g}{1 - k^2 \cdot u_{rel}^2(w)} \quad (32)$$

Các giới hạn của khoảng tin cậy được tính theo các Công thức (17) và (18):

9 Báo cáo thử nghiệm

Báo cáo thử nghiệm phải tuân theo các quy định của TCVN ISO/IEC 17025 và phải bao gồm các thông tin sau:

- a) Viện dẫn tiêu chuẩn này;
- b) Nhận dạng mẫu;
- c) Đơn vị thể hiện kết quả;
- d) Kết quả thử nghiệm, $\alpha \pm u$ hoặc $\alpha \pm U$ với giá trị k liên đới;

Có thể đưa các thông tin bổ sung như:

- Xác suất α , β và $(1-\gamma)$;
- Ngưỡng quyết định và giới hạn phát hiện;
- Tùy thuộc vào yêu cầu của khách hàng mà có ba cách thể hiện kết quả:
 - Nếu hoạt độ trên một đơn vị khối lượng, a , được so sánh với ngưỡng quyết định (xem ISO 11929) thì kết quả của phép đo cần phải thể hiện là $\leq a^*$ nếu kết quả thấp hơn ngưỡng quyết định;
 - Nếu hoạt độ trên một đơn vị khối lượng, a , được so sánh với giới hạn phát hiện thì kết quả đo sẽ được thể hiện là $\leq a^*$ nếu kết quả thấp hơn giới hạn phát hiện. Nếu giới hạn phát hiện vượt quá giá trị hướng dẫn thì phải lập thành tài liệu về phương pháp đo không phù hợp cho mục đích của phép đo.
- Đề cập đến tất cả các thông tin liên quan có thể ảnh hưởng đến kết quả.

Phụ lục A

(Tham khảo)

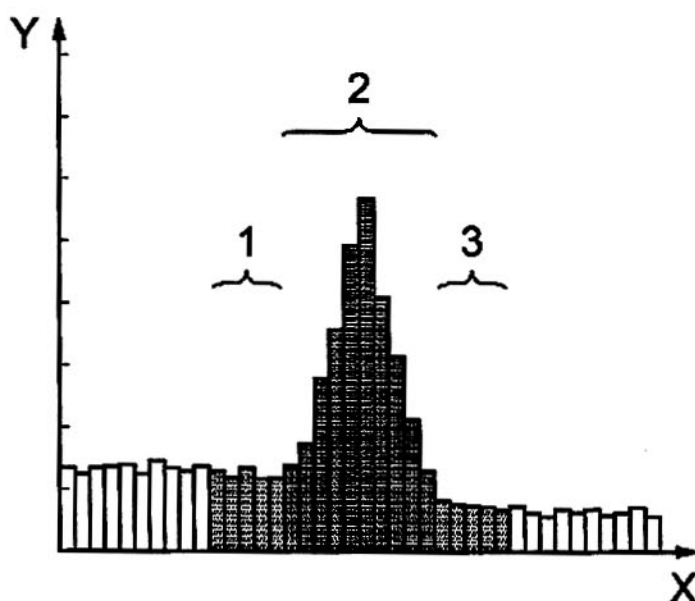
**Tính hoạt độ trên đơn vị khối lượng từ một phổ gamma có sử dụng
phép trừ phông nền tuyến tính**

Thông thường, diện tích pic thực được tính bằng cách trừ phông nền tuyến tính. Trong trường hợp này, ba vùng kênh được xác định trong phổ: một vùng, P , đối xứng quanh pic cao nhất với các kênh p và hai vùng $B1$ và $B2$, mỗi vùng gồm các kênh b ở hai bên của P ; xem Hình A.1. Với chiều rộng đầy đủ tại chiều cao bằng một nửa pic, h , chiều dài của vùng pic $p \approx 2,5 h$ và $p \approx p/2$ thường được chọn. Khi đó, n_N có thể được tính theo Công thức (5), như được nêu trong Công thức (A.1):

$$n_g = \sum_{i \in P} n_i, \quad n_{B1} = \sum_{i \in B1} n_i, \quad n_{B2} = \sum_{i \in B2} n_i, \quad \text{và} \quad n_b = \frac{p}{2b} \cdot (n_{B1} + n_{B2}) \quad (\text{A.1})$$

Các độ không đảm bảo chuẩn được cho trong Công thức (A.2):

$$u(n_g) = \sqrt{n_g}, \quad u(n_b) = \frac{p}{2b} \cdot \sqrt{n_{B1} + n_{B2}}, \quad \text{và} \quad u(n_N) = \sqrt{n_g + \left(\frac{p}{2b}\right)^2 \cdot (n_{B1} + n_{B2})} \quad (\text{A.2})$$

**CHÚ DẪN**X số kênh, i Y số đếm, n_i 1 vùng B1, với chiều dài b 2 vùng P, với chiều dài p 3 vùng B2, với chiều dài b

Hình A.1 – Sơ đồ trừ phông nền tuyến tính trong phép đo phổ gamma

Độ không đảm bảo chuẩn cho hoạt độ riêng theo Công thức (10) được cho bởi Công thức (A.3):

$$u^2(a) = w^2 \cdot \left[n_g + \left(\frac{p}{2b} \right)^2 \cdot (n_{B1} + n_{B2}) \right] / t_g^2 + a^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(w) \quad (\text{A.3})$$

Trong trường hợp này, $\tilde{u}^2(\tilde{a})$ được tính theo Công thức (A.4):

$$\tilde{u}^2(\tilde{a}) = (w/t_g)^2 \cdot \left\{ \tilde{a} \cdot t_g / w + \left[(p/2b) + (p/2b)^2 \right] \cdot (n_{B1} + n_{B2}) \right\} + \tilde{a}^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(w) \quad (\text{A.4})$$

Trong đó:

$$u_{\text{rel}}(w) = \frac{u(w)}{w} \quad (\text{A.5})$$

Ngưỡng quyết định được tính theo Công thức (A.6):

$$a^* = k_{1-\alpha} \cdot \tilde{u}(0) = k_{1-\alpha} \cdot (w/t_g) \cdot \sqrt{\frac{p}{2b} \cdot (n_{B1} + n_{B2}) + \left(\frac{p}{2b} \right)^2 \cdot (n_{B1} + n_{B2})} \quad (\text{A.6})$$

và giới hạn phát hiện được tính theo Công thức (A.7):

$$\begin{aligned} a^{\#} &= a^* + k_{1-\beta} \cdot \tilde{u}(a^{\#}) \\ &= a^* + k_{1-\beta} \cdot \sqrt{(w/t_g)^2 \cdot \left[a^{\#} \cdot (t_g/w) + (p/2b) \cdot (n_{B1} + n_{B2}) + (p/2b)^2 \cdot (n_{B1} + n_{B2}) \right] + a^{\#2} \cdot u_{\text{rel}}^2(w)} \end{aligned} \quad (\text{A.7})$$

Nếu $\alpha = \beta$ thì $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta} = k$ và Công thức (A.4) được giải ra thành Công thức (A.8):

$$a^{\#} = \frac{2 \cdot a^* + (k^2 \cdot w) / t_g}{1 - k^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(w)} \quad (\text{A.8})$$

Các giới hạn của khoảng tin cậy được tính theo các Công thức (17) và (18).

Phụ lục B

(Tham khảo)

Phân tích nhân phóng xạ tự nhiên trong các mẫu đất sử dụng phép đo phổ gamma**B.1 Giới thiệu**

Trong số các nhân phóng xạ tự nhiên, ngoài K-40, thuộc một chuỗi phân rã tự nhiên có thể đo được bằng phép đo phổ gamma bao gồm U-238, Ra-226; Pb-210 của chuỗi phân rã urani/radi; U-235 và Th-227 của chuỗi phân rã urani/actini; cũng như Th-232, Ra-228 và Th-228 của chuỗi phân rã thori; xem Hình B.1.

Một số nhân phóng xạ của các chuỗi phân rã tự nhiên (ví dụ U-238, Ra-228, Th-228) không những có thể được xác định trực tiếp bằng phép đo phổ gamma mà còn bằng cách đo nhân phóng xạ con cháu của chúng. Trong những trường hợp này, cần đảm bảo có sự cân bằng giữa nhân phóng xạ mẹ và các nhân phóng xạ con cháu đang được đo. Sự cân bằng phóng xạ có thể bị phá vỡ trong môi trường đang được kiểm tra do tác động hóa học hay hóa sinh khác nhau của các nguyên tố tương ứng. Ví dụ, sự cân bằng phóng xạ có thể thay đổi mạnh mẽ do tác động dịch chuyển khác nhau của nhân phóng xạ mẹ và các nhân phóng xạ con cháu trong chuỗi đất – thực vật – động vật – sữa.

Trong những trường hợp này, cần phải giữ các mẫu trong khoảng thời gian đủ dài trước khi đo. Mặt khác, sự nhiễu loạn cân bằng phóng xạ trong mẫu đo có thể gây ra bởi radon bị thoát ra ngoài. Trong trường hợp đo các sản phẩm phân rã sống ngắn của Rn-222, vật liệu mẫu phải đặt trong hộp thủy tinh kín khí với khoảng thể tích cố định trong thùng thủy tinh giữa mẫu và nắp là ít nhất có thể và mẫu được giữ cho đến khi đạt được cân bằng phóng xạ. Thông thường, do không biết mức độ nhiễu loạn sự cân bằng nên để an toàn, khi ước tính khoảng thời gian chờ, cần giả định rằng không có nhân phóng xạ con cháu. Trường hợp nhân phóng xạ mẹ có đời sống dài và sản phẩm phân rã sống ngắn, điều này có nghĩa rằng khoảng thời gian chờ phải ít nhất bằng sáu lần khoảng thời gian bán rã của sản phẩm phân rã.

Các giá trị hoạt độ đo được cho các nhân phóng xạ của chuỗi phân rã tự nhiên không cân bằng phóng xạ với nhân phóng xạ mẹ sống ngắn thì phải được tính ngược về ngày tham chiếu; trong hầu hết các trường hợp, ngày đó là ngày lấy mẫu. Phân rã phóng xạ của cả nhân phóng xạ riêng rẽ và các sản phẩm phân rã của nó từ nhân phóng xạ mẹ của nó phải được xem xét. Ví dụ các cặp nhân phóng xạ này là Th-232/Ra-228, Ra-228/Th-228, Ra-226/Pb-210.

Vấn đề khác trong việc xác định các nhân phóng xạ tự nhiên bằng phép đo phổ gamma là một số nhân phóng xạ cho vạch gamma giống nhau hoặc gần giống nhau nên không thể phân tách chúng bằng các phần cứng hay phần mềm. Trong những trường hợp này, cần phải hiệu chỉnh bằng cách sử dụng các vạch gamma khác; xem 8.6.1 a).

Nếu quy trình không thể thực hiện được thì việc hiệu chỉnh chỉ có thể thực hiện bằng cách đo các nhân phóng xạ với các phương pháp khác (ví dụ phép đo phổ alpha hoặc đo xạ khí). Cần sử dụng các phương pháp nhạy hơn khi các giới hạn phát hiện cần có không thể đạt được qua phép đo phổ gamma (ví dụ do không đủ lượng mẫu).

Từ B.2 đến B.10 đưa ra giải thích thêm về việc xác định các nhân phóng xạ tự nhiên trong đất có sử dụng phép đo phổ gamma. Đối với một số nhân phóng xạ, yêu cầu hiệu chỉnh sự tự hấp thụ và mất mát do trùng phùng được đề cập. Bảng B.1 nêu danh sách các năng lượng photon, E_γ , và các xác suất phát bức xạ, p_E , của các nhân phóng xạ được lựa chọn ^[15].

Khi chuỗi phân rã ở trạng thái cân bằng, xác suất phát bức xạ được liệt kê chỉ sự phân rã của nhân phóng xạ mẹ. Ví dụ, khi xác định lượng Th-228 thông qua Tl-208 thì không cần phải tính đến việc hệ số phân nhánh phân rã Bi-212 thành Tl-208 chỉ là 36,2 %; xem Hình B.1 c). Điều này được xem xét khi trình bày xác suất phát bức xạ trong Bảng B.1.

										Th-234 24.1 d β^-	α	U-238 4.5·10 ⁹ y
												Pa-234 1.2 min β^- 99.99% 5.7 h β^- 0.01%
		Pb-214 26.8 min β^-	α 99.98 %	Po-218 3.05 min β^- 0.02 %	α	Rn-222 3.8 d	α	Re-226 1600 y	α	Th-230 8·10 ⁴ y	α	U-234 2.5·10 ⁵ y
	Tl-210 1.3 min β^-	α 0.04 %	Bi-214 19.8 min β^- 99.98 %	α	At-218 ~2 s							
Hg-206 8.1 min β^-	α 7.5·10 ⁻⁷ %	Pb-210 22 y β^- ~100 %	α	Po-214 162 μ s								
	Tl-206 4.3 min β^-	α 6·10 ⁻³ %	Bi-210 5.0 d β^- ~100 %									
		Pb-206 stable	α	Po-210 138.4 d								

a) Urani/radi ($A=4n+2$)

Hình B.1 – Chuỗi phân rã tự nhiên

									Th-231 25,6 h F ⁻	←	U-235 7·10 ⁸ y F ⁻
			Bi-215 7,4 min β ⁻	←	At-219 0,9 min F ⁻ 3 %	←	Fr-223 22 min F ⁻ 100 %	←	Ac-227 22 y F ⁻ 99,9 %	←	Pa-231 3,3·10 ⁴ y
			Pb-211 36,1 min β ⁻	←	Po-215 1,8 ms β ⁻ 5·10 ⁻⁴ %	←	Rn-219 3,9 s	←	Ra-223 11,4 d	←	Th-227 18,7 d
			Tl-207 4,8 min β ⁻	←	Bi-211 2,15 min β ⁻ 0,32 %	←	At-215 ~100 ms				
			Pb-207 stable	←	Po-211 0,52 s						

b) Uran/actin (A=4n+3)

																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					</
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

c) Thori (A=4n)

Hình B.1 (kết thúc)

B.2 Xác định urani-238

U-238 với thời gian bán rã $4,468 \cdot 10^9$ năm là nhân phóng xạ mẹ trong chuỗi phân rã urani/radi. U-238 có thể đo được không những bằng phép đo phổ gamma mà còn qua nhân phân rã của nó, Th-234 và Pa-234m. Thông thường, vạch có năng lượng 63,28 keV của Th-234 được sử dụng. Tuy nhiên, tại mức năng lượng thấp này, sự thay đổi chất nền giữa mẫu hiệu chuẩn và mẫu thử nghiệm có thể có ảnh hưởng đáng kể đến kết quả do sự tự hấp thụ và do đó cần phải xem xét đến những thay đổi này. Vạch có năng lượng 63,28 keV còn bị làm nhiễu bởi tia 63,81 keV của Th-232 với xác suất phát 0,263 %. Không nên sử dụng các năng lượng tia đôi 92,37 keV và 92,79 keV của Th-234 với xác suất phát 4,81 % (2,42 % + 2,39 %) để định lượng U-238.

Các tia của Pa-234m tại 1001,03 keV và 766,37 keV phù hợp hơn do năng lượng của chúng cao hơn mặc dù xác suất phát của chúng thấp và phải tính đến trùng phùng tổng. Khi đánh giá tia 1001,03 keV, cần phải lưu ý rằng xác suất phát là 0,839 %. Các vạch phù hợp cho việc đánh giá được nêu trong Bảng B.1.

Thông tin bổ sung cho việc xác định U-238 là tỷ lệ hoạt độ U-238/U-235 tự nhiên gần như không đổi là 21,7 trong các mẫu có nguồn gốc tự nhiên.

B.3 Xác định radi-226

Ra-226 là một nhân phóng xạ sống dài trong chuỗi phân rã urani/radi với thời gian bán rã 1 600 năm. Đối với phép đo phổ gamma để xác định Ra-226 trong các mẫu đất, có hai khả năng. Hoặc Ra-226 được đánh giá tại tia 186,1 keV hoặc các nhân phóng xạ phân rã có đời sống ngắn Pb-214 và Bi-214 của Rn-222 được đo sau khi trạng thái cân bằng phóng xạ giữa Ra-226, Rn-222, Pb-214 và Bi-214 đạt được.

Nếu tia tại năng lượng 186,1 keV được sử dụng thì cần phải tính đến sự đóng góp của tia trùng tại năng lượng 185,72 keV của U-235. Sự đóng góp của tia trùng này có thể được hiệu chỉnh theo 8.6 a) nếu nồng độ hoạt độ của U-235 được biết. Nồng độ hoạt độ của urani trong một mẫu có thể được rút ra bằng các sử dụng các kết quả từ các cách xác định urani khác, ví dụ xác định hàm lượng flo, xác định hàm lượng phospho, đo huỳnh quang tia X, phổ kế khối lượng. Nếu sự cân bằng phóng xạ có thể được khẳng định trong chuỗi urani/radi thì nồng độ hoạt độ của U-238 bằng với nồng độ hoạt độ của Ra-226, và trong trường hợp urani tự nhiên, nồng độ hoạt độ của U-235 có thể tính được do hoạt độ riêng của U-235 xấp xỉ bằng 1/22 hoạt độ riêng của U-238.

Nếu trạng thái cân bằng phóng xạ hoặc hỗn hợp tự nhiên không thể chấp nhận được thì sự đóng góp của U-235 chỉ có thể được hiệu chỉnh nếu nồng độ hoạt độ của nó được xác định thông qua các tia khác của U-235.

Đối với việc xác định hoạt độ của sản phẩm phân rã sống ngắn cần phải có các thùng kín khí vì nếu không các giá trị được xác định cho Pb-214 và Bi-214 có thể quá thấp do thất thoát Rn-222. Khoảng thời gian giữa việc cho mẫu vào trong thùng kín khí và bắt đầu đo được xác định bởi thời gian bán rã của Rn-222 (2,8 ngày) và phải ít nhất 23 ngày. Việc sử dụng than hoạt tính loại đặc biệt có thể hữu ích trong việc ngăn ngừa thất thoát radon. Cần phải hiệu chỉnh giá trị tổng cộng nếu tất cả các tia gamma phát hiện được của Pb-214 và Bi-214 được sử dụng để xác định Ra-226. Nếu tia gamma của Pb-214 tại 351,93 keV được sử dụng, hiệu ứng tổng cộng sẽ không đáng kể.

B.4 Xác định chi-210

Pb-210 là nhân phóng xạ của chuỗi phân rã urani/radi với thời gian bán rã 22,3 năm và tia năng lượng gamma 46,54 keV. Tia gamma năng lượng thường được đo bởi phép đo phổ gamma sử dụng detector germani siêu tinh khiết đồng trục loại N. Hỗn hợp vật liệu khác nhau của các nguồn hiệu chuẩn và các

TCVN 10758-3:2016

mẫu thử nghiệm đóng vai trò quan trọng vì tác động tự hấp thụ khác nhau. Cần phải xem xét hỗn hợp vật liệu phù hợp cho việc hiệu chỉnh các tác động này; xem 8.1.3.

B.5 Xác định urani-235

U-235 là nhân phóng xạ mẹ của chuỗi phân rã urani/actini với thời gian bán rã $7,037 \cdot 10^8$ năm. U-235 có thể đo được thông qua các tia tại 143,8 keV, 163,3 keV, 185,7 keV và 205,3 keV. Tia với xác suất phát cao nhất tại 185,7 keV không phù hợp nếu hoạt độ Ra-226 không được biết. Tia với xác suất phát cao thứ hai tại 143,8 keV trùng với tia 144,2 keV của Ra-223. Hai tia khác có xác suất phát thấp hơn, không đủ để đo mẫu với nồng độ hoạt độ U-235 thấp. Các kỹ thuật đo khác như phép đo phổ alpha hoặc phép đo phổ khối lượng có thể được sử dụng.

B.6 Xác định actini-227

Ac-227 là nhân phóng xạ của chuỗi phân rã urani/actini với thời gian bán rã 21,8 năm. Ac-227 có thể được xác định bằng phép đo phổ gamma thông qua các nhân phóng xạ sống ngắn của nó là Th-227, Ra-223 và Rn-219. Nhìn chung, tia 239 keV của Th-227 được ưu tiên hơn do các tia khác hoặc có xác suất phát thấp hoặc trùng với vạch của các nhân phóng xạ khác.

B.7 Xác định thori-232

Th-232 với thời gian bán rã 1,41 năm là nhân phóng xạ mẹ của chuỗi phân rã thori. Th-232 có tia 63,81 keV với xác suất phát rất thấp là 0,263 %, trùng với tia của Th-234 tại 63,28 keV với xác suất phát cao hơn là 4,1 %, nên Th-232 không thể xác định trực tiếp bằng phép đo phổ gamma trong các mẫu đất. Việc xác định thông qua các nhân phóng xạ của nó Ac-228, Pb-212 và Tl-208 có thể được thực hiện chỉ khi giả định rằng các nhân phóng xạ này ở trạng thái cân bằng phóng xạ với nhau và với Th-232.

Giả định này không luôn luôn đúng trong các mẫu đất do sự tồn tại Ra-228 với thời gian bán rã 5,7 năm trong dây chuyền phân rã giữa Th-232 và Ac-228 (thời gian bán rã 6,3 h), có thể gây ra sự mất cân bằng phóng xạ khác với sự mất cân bằng của thori do tính hòa tan của nó.

B.8 Xác định radi-228

Ra-228 là nhân phóng xạ của chuỗi phân rã thori với thời gian bán rã 5,75 năm. Ra-228 được xác định thông qua việc đo nhân phóng xạ phân rã của nó Ac-228 có sẵn trong trạng thái cân bằng phóng xạ với Ra-228 do thời gian bán rã ngắn là 6,15 h. Phụ thuộc vào hình học đo được lựa chọn, có thể có mất mát đáng kể số đếm do hiệu ứng tổng cộng và cần phải có sự hiệu chỉnh.

Nếu nồng độ hoạt độ tính ra cho Ra-214, Pb-212, và Tl-208 không khác với Ac-228 thì chúng có thể được sử dụng để đánh giá nồng độ hoạt độ Ra-228.

B.9 Xác định thori-228

Thori-228 là nhân phóng xạ của chuỗi phân rã thori với thời gian bán rã 1,91 năm. Th-228 có thể được xác định thông qua việc đo các nhân phóng xạ sống ngắn Ra-224, Pb-212, và Tl-208 nếu có sự cân bằng phóng xạ. Sự cân bằng được thiết lập trong vòng khoảng 22 ngày giữa Th-228 và các con cháu sống ngắn của nó.

Các tia Pb-212 bị làm nhiễu và không nên sử dụng để xác định Th-228. Tốt hơn là sử dụng tia 727,4 keV từ Bi-212 và tia 583 keV từ Tl-208 vì chúng không bị làm nhiễu.

Khi đo Ra-224 tại 240 keV, cần phải xem xét sự đóng góp của tia Pb-214 tại năng lượng 242,00 keV. Do thời gian bán rã của Ra-224 là 3,66 ngày nên cân bằng phóng xạ với Pb-212 trong mẫu đất có thể được chấp nhận và do đó, kết quả đo được cho Ra-224 cũng áp dụng cho Th-228.

Điều kiện của việc đo Pb-212 và Tl-208 là Rn-220 phải ở lại trong mẫu thử nghiệm. Điều kiện này nhìn chung là do Rn-220 có thời gian bán rã ngắn 54 s. Tốt nhất là tia 238,63 keV của Pb-212 được sử dụng để đánh giá. Tuy nhiên, do kết quả của hiệu ứng tổng cộng, cần phải tính tới sự mất mát số đếm.

B.10 Xác định kali-40

K-40 được nằm trong hỗn hợp đồng vị kali tự nhiên (K-39, K-40, K-41) với hàm lượng đồng vị 0,0119 % và phân rã với thời gian bán rã là $1,29 \times 10^9$ năm thành Ca-40 (phân rã β) hoặc Ar-40 (bắt electron).

K-40 xác định được bằng phép đo phổ gamma có sử dụng vạch 1460,83 keV của nó.

**Bảng B.1 – Các vạch gamma được lựa chọn (trên 25 keV) để xác định
nhân phóng xạ tự nhiên và sự nhiễu của chúng**

Nhân phóng xạ được xác định	Nhân phóng xạ được đo	Năng lượng E_γ keV	Xác suất phát P_E %	Nhân phóng xạ gây nhiễu (E_γ , P_E)
U-238	Th-234	63,30 92,38 92,80	3,75 2,18 2,15	Th-232 (63,811 keV; 0,259 %) Th-K α 1(93,35 keV; 5,6 %) –
U-238	Pa-234m	766,361 1001,026	0,323 0,847	–
Ra-226	Ra-226	186,211	3,555	U-235 (185,720 keV; 57,0 %)
Ra-226	Pb-214	295,224 351,932	18,414 35,60	Bi-211 (351,03 KeV; 13,00 %) –
Ra-226	Pb-214	609,312 1120,287 1764,494	44,49 14, 91 15,31	– – –
Pb-210	Pb-210	46,539	4,252	–
U-235	U-235	143,767 163,356 185,720 205,316	10,94 5,08 57,0 5,02	Ra-223 (144,27 keV; 3,36 %) – Ra-226 (186,211 keV; 3,555 %)
Ac-227	Th-227	235,97	12,3	–
Th-232	Ac-228 Th-228 Tl-208	xem Th-228		– – –
Ra-228	Ac-228	209,248 338,320 911,196 968,96	3,97 11,40 26,20 15,90	– Ra-223 (338,282 keV; 2,85 %) – –
Th-228	Ra-224	240,986	4,12	Pb-214 (241,997 keV; 7,268 %)
Th-228	Pb-212	238,632 300,089	43,6 3,18	– Th-227 (300,00 keV; 2,70 %) Pa-231 (300,07 keV; 2,47 %)
Th-228	Tl-208	277,37 583,187 860,53 2614,511	6,6 85,0 12,4 99,755	Ac-228 (278,80 keV; 0,204 %) Ac-228 (583,391 keV; 0,120 %) – –
K-40	K-40	1460,822	10,55	Ac-228 (1459,131 keV; 0,87 %)

Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] G.F. Knoll Radiation detection and measurement. J. Wiley & Sons, New York, 2000
- [2] K. Debertin, R. Helmer Gamma- and X-Ray Spectrometry with Semiconductor Detectors. Elsevier Science Publishers B.V, 1988
- [3] ASTM D3649-98a, *Standard Practice for High-Resolution Gamma-Ray Spectrometry of Water*, 2006
- [4] CETAMA Spectrométrie gamma appliquée aux échantillons de l'environnement. Dossier de recommandations pour l'optimisation des mesures. Editions Tec&Doc, 2002
- [5] IAEA Intercomparison of gamma ray analysis software packages, IAEA TECDOC 1011, Vienna, 1998
- [6] IAEA Specialized software utilities for gamma ray spectrometry, IAEA TECDOC 1275, Vienna, 2002
- [7] IAEA X-ray and gamma-ray standards for detector calibration, IAEA TECDOC-619, Vienna, 1991
- [8] ANSI N42.14, American National Standard for Calibration and Use of Germanium Spectrometers for the Measurement of Gamma-Ray Emission Rates of Radionuclides, 1999
- [9] ASTM E181-98, *Standard Test Methods for Detector Calibration and Analysis of Radionuclides*, 2003
- [10] IEEE Std 325, IEEE Standard Test Procedures for Germanium Gamma-Ray Detectors, 1996
- [11] BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES (BIPM) Monographie BIPM-5.
<http://www.bipm.org/fr/publications/monographie-ri-5.html>
- [12] Nuclear data base: Decay data evaluation project.
http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm
- [13] Geant4 Home Page, <http://www.cern.ch/geant4>
- [14] *The EGSnrc Code System: Monte Carlo simulation of electron and photon transport*. Technical Report PIRS-701, National Research Council of Canada, Ottawa, Canada, 2003
- [15] LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY MCNP-4C, *Monte-Carlo N-Particle Transport Code System*, versión 4C. New México. USA, 2001
- [16] F. Salvat, J.M. Fernandez-Varea, J. Sempau *et al.*, PENELOPE – <http://www.nea.fr>
- [17] K. Weise, R. Michel Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Vertrauensbereich in der allgemeinen Kernstrahlungsspektrometrie. Kerntechnik. 1995, 60 pp. 189–196
- [18] TCVN 9595-1:2013 (ISO/IEC Guide 98-1:2009) Độ không đảm bảo đo – Phần 1: Giới thiệu về trình bày độ không đảm bảo đo.