

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 12296:2018

Xuất bản lần 1

**ĐIỀU TRA, ĐÁNH GIÁ ĐỊA CHẤT MÔI TRƯỜNG -
PHƯƠNG PHÁP LẤY MẪU ĐỂ ĐO HOẠT ĐỘ PHÓNG XẠ
(226 RA, 232 TH, 40 K) TRÊN MÁY PHỔ GAMMA PHÂN
GIẢI CAO**

*Investigation, assessment of environmental geology - Determination of the activity concentration
(226 Ra, 232 Th, 40 K) by high resolution gamma-ray spectrometry*

HÀ NỘI - 2018

Mục lục

	Trang
Lời nói đầu.....	4
1 Phạm vi áp dụng.....	5
2 Tài liệu viện dẫn.....	5
3 Các thuật ngữ, định nghĩa/giải thích.....	6
4 Nguyên tắc xác định hoạt độ phóng xạ của (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) trên máy phổ gamma phân giải cao ..	9
5 Thiết bị, dụng cụ đo phổ gamma.....	11
6 Yêu cầu về mẫu để đo phổ gamma.....	12
7 Nguồn chuẩn.....	12
8 Cách tiến hành.....	13
9 Hiệu chỉnh kết quả.....	17
Phụ lục A (Tham khảo) Bộ nguồn chuẩn dùng cho phân tích các mẫu đất đá và mật độ tương đương	18
Phụ lục B (Quy định) Xác định giới hạn phân tích.	20
Phụ lục C (Tham khảo) Đánh giá chất lượng phân tích.....	21
Thư mục tài liệu tham khảo.....	24

Lời nói đầu

TCVN 12296:2018 do *Tổng Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam* biên soạn, Bộ Tài nguyên và Môi trường đề nghị, Tổng Cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng thẩm định, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Điều tra, đánh giá địa chất môi trường – Phương pháp xác định hoạt độ phóng xạ (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) trên máy phổ gamma phân giải cao

Investigation, Assessment of Environmental geology – Determination of the activity concentration (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) by high resolution gamma-ray spectrometry

"QUAN TRỌNG: Tiêu chuẩn này sử dụng cho người có nghiệp vụ trong việc phân tích mẫu trên máy phổ gamma phân giải cao".

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này quy định phương pháp xác định hoạt độ phóng xạ của ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K trên máy phổ gamma phân giải cao.

Phương pháp thực hiện khi sử dụng detector germanium siêu tinh khiết có độ phân giải cao (HpGe) dạng hình trụ thể tích từ 83 cm³ trở lên.

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 10758-1:2016 (ISO 18589-1:2005), *Đo hoạt độ phóng xạ trong môi trường đất - Phần 1: Hướng dẫn chung và định nghĩa.*

TCVN 10758-3:2016 (ISO 18589-3:2015), *Đo hoạt độ phóng xạ trong môi trường đất - Phần 3: Phương pháp thử các nhân phóng xạ phát Gamma bằng đo phổ Gamma.*

TCVN 12296:2018

TCVN 7175:2011 (ISO 10703:2007), *Chất lượng nước - Xác định nồng độ Hoạt độ của các Nuclit phóng xạ - Phương pháp phổ Gamma độ phân giải cao.*

3 Thuật ngữ định nghĩa và ký hiệu

3.1 Thuật ngữ định nghĩa

Trong tiêu chuẩn này, áp dụng các thuật ngữ định nghĩa sau:

3.1.1

Bức xạ Gamma (gamma radiation)

Bức xạ ion hoá trực tiếp có thành phần là các photon- gamma phát ra với các mức năng lượng khác nhau từ một hạt nhân phóng xạ.

3.1.2

Năng lượng bức xạ gamma (gamma radiation energy)

Năng lượng phát ra dưới dạng các photon-gamma từ quá trình phân rã phóng xạ của một hạt nhân xác định. Đơn vị đo năng lượng bức xạ gamma là Kilô electron Vol ký hiệu là: KeV.

3.1.3

Hoạt độ phóng xạ (radioactivity)

Hoạt độ phóng xạ (A) là số đo độ phóng xạ, xác định số lượng các hạt nhân phóng xạ ở trạng thái năng lượng xác định tại một thời điểm xác định. Hoạt độ phóng xạ được xác định theo công thức:

$$A = \frac{dN}{dt}$$

Trong đó

A là hoạt độ phóng xạ. Trong hệ đơn vị đo lường SI, đơn vị hoạt độ phóng xạ là Becquerel, ký hiệu là Bq; $1 \text{ Bq} = \text{s}^{-1}$; đơn vị ngoài hệ SI thường dùng là Curie ký hiệu là Ci; $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$.

dN là số hạt nhân biến đổi trạng thái năng lượng trong khoảng thời gian dt ;

3.1.4

Hoạt độ riêng (specific activity)

Hoạt độ phóng xạ của một chất xác định chia cho khối lượng của nó. Hoạt độ riêng trong hệ đơn vị SI được đo bằng Bq/g (Bq/kg, Bq/l, Bq/m³...).

3.1.5

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 .

3.1.6

Đo Phổ gamma (gamma-ray spectrometry)

Phương pháp đo tia gamma sinh ra phổ năng lượng phát xạ gamma, phát ra theo các mức năng lượng riêng của nó, trong một hình học đo xác định.

3.1.7

Hiệu suất đếm (account rate)

Trong một dạng hình học đo nhất định, hiệu suất đếm là tỷ số giữa số các Photon gamma mà thiết bị đo ghi được (số xung) và số các Photon gamma phát ra từ nguồn với năng lượng tương ứng trong cùng một đơn vị thời gian.

Hiệu suất đếm phụ thuộc vào năng lượng của các tia gamma; kí hiệu của hiệu suất đếm là ϵ_E ; Đơn vị tính hiệu suất ghi là %.

3.1.8

Phông bức xạ (background radiation)

Bao gồm phông bức xạ tự nhiên và những bức xạ ion hoá khác từ môi trường xung quanh hệ đo mà ta cần làm giảm ảnh hưởng của chúng lên đối tượng đo trong các phép đo phóng xạ.

Số liệu đo phông phóng xạ của thiết bị đo phụ thuộc vào môi trường xung quanh và độ ổn định của thiết bị đo đếm phóng xạ đó.

3.1.9

Hệ phổ kế gamma (gamma spectrometry)

Dùng một detector bức xạ gamma phân giải cao HP.Ge kết hợp với máy phân tích biên độ đa kênh và hệ thống che chắn detector để đo các tia gamma của hạt nhân phóng xạ.

3.1.10

Vùng quan tâm (ROI)

Là một nhóm các kênh liên tục được lựa chọn.

3.1.11

Hiệu ứng tổng (gross effect)

Là tổng số xung trong một vùng quan tâm, sinh ra bởi hiệu ứng phông và bức xạ từ một chuyển dời gamma riêng từ hạt nhân cần xem xét trong mẫu.

3.1.12

Hiệu ứng thực (net effect)

Là tổng số xung trong vùng quan tâm. Nó bằng hiệu số của Hiệu ứng tổng trừ đi Hiệu ứng nhiễu.

3.1.13

Độ phân giải năng lượng (energy resolution)

Ở mức năng lượng xác định là sự khác biệt nhỏ nhất giữa năng lượng của hai tia gamma mà có thể phân biệt được bằng máy quang phổ tia gamma. Trong tiêu chuẩn này, độ phân giải năng lượng được biểu thị bằng chiều rộng nửa peak chia cho năng lượng của peak trên đường cong phân bố, kí hiệu là FWHM.

3.1.14

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 trong thể tích nhạy detector bằng hiệu ứng quang điện hoặc các tương tác photon liên tiếp của hiệu ứng tạo cặp (chỉ đối với năng lượng photon > 1.022 keV), tán xạ Compton và hấp thụ quang điện.

3.1.15

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.

3.2 Ký hiệu và đơn vị

- $V(m)$ Thể tích của mẫu nước để thử, tính bằng lít (hoặc khối lượng mẫu đất để thử, tính bằng (kg)).
- A Hoạt độ của mỗi hạt nhân phóng xạ trong nguồn hiệu chuẩn, tại thời gian hiệu chuẩn, tính bằng becquerel.
- $C_A, C_{A,c}$ Nồng độ hoạt độ¹⁾ của mỗi nuclid phóng xạ, không hiệu chỉnh và có hiệu chỉnh, tính bằng becquerel trên lít.
- t_g Thời gian đếm phổ của mẫu, tính bằng giây (s).
- t_0 Thời gian đếm phổ của nền, tính bằng giây (s).
- t_s Thời gian đếm phổ hiệu chuẩn, tính bằng giây (s).
- $n_{N,E}, n_{N0,E}, n_{Ns,E}$ Số đếm trong diện tích của pic thực, tại năng lượng E , trong phổ mẫu, trong phổ nền và trong phổ hiệu chuẩn, tương ứng.
- $n_{g,E}, n_{g0,E}, n_{gs,E}$ Số đếm trong diện tích tổng cộng của pic, tại năng lượng E , trong phổ mẫu, trong phổ nền và trong phổ hiệu chuẩn tương ứng.

- $n_{b,E}, n_{b0,E}, n_{bs,E}$ Số đếm trong nền của pic, tại năng lượng E , trong phổ mẫu, trong phổ nền và trong phổ hiệu chuẩn tương ứng.
- ϵ_E Hiệu suất của detector ở năng lượng E , tại hình học đo thực tế.
- P_E Xác suất phát xạ của một tia gamma với năng lượng E , của mỗi nuclit phóng xạ, trên phân rã
- λ Hằng số phân rã của nuclit phóng xạ, tính bằng một trên giây.

4 Nguyên tắc xác định hoạt độ phóng xạ của (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) trên máy phổ gamma phân giải cao

4.1 Xác định hoạt độ phóng xạ của ^{226}Ra

4.1.1 Xác định thông qua đỉnh năng lượng 186,2 KeV

Trong tự nhiên ^{226}Ra có chu kỳ bán rã $1,6 \cdot 10^3$ năm, là đồng vị con trong dãy phóng xạ Urani. Đồng vị ^{226}Ra phát tia gamma 186,2 KeV với hiệu suất phát 3,58 % tương đối thích hợp để phân tích xác định ^{226}Ra vì tia gamma nằm trong vùng có hiệu suất đo cao của Detector Hp Ge. Tuy nhiên đỉnh năng lượng 186,2 KeV là đỉnh chồng chất bởi năng lượng 185,9 KeV (57,2 %) của hạt nhân ^{235}U (chiếm 0,72 % trong Urani tự nhiên). Vì thế khi phân tích ^{226}Ra trực tiếp bằng đỉnh năng lượng đặc trưng 186,2 KeV phải trừ đi phần đóng góp của ^{235}U . Cụ thể như sau:

Khi không có điều kiện nhất mẫu để đạt được cân bằng phóng xạ giữa ^{226}Ra với các sản phẩm phân rã của nó, ta có thể phân tích trực tiếp pic năng lượng 186,2 KeV của đồng vị ^{226}Ra (hiệu suất phát gamma 3,58 %) với việc trừ đi phần đóng góp trong đó của pic năng lượng chồng chất 185,9 KeV của ^{235}U (Hiệu suất phát gamma 57.2 %).

Có rất nhiều công trình đã nghiên cứu xác định tỉ số đóng góp số đếm tại pic 186.2 keV của ^{226}Ra với ^{235}U , căn cứ vào hàm lượng các thành phần của nó trong tự nhiên như đã nêu ở trên (xem tài liệu tham khảo 1và 3); Tỷ số đó là:

$$n_{Ra} / n_{U235} = \frac{0.036 \cdot A_{Ra226}}{0.572 \cdot A_{U235}} \quad (4.1)$$

Bằng các phương pháp tính toán và xác định ^{235}U thông qua việc xác định chính xác ^{238}U và ^{226}Ra . Kết quả cho tỉ số về sự đóng góp số đếm trong peak năng lượng 186,2 keV của ^{226}Ra và ^{235}U như sau:

$$n_{Ra} = 0.583 n_{\text{total}186} \quad (4.2)$$

$$n_{U235} = 0.417 n_{\text{Total}186} \quad (4.3)$$

Như vậy đối với các mẫu Urani cân bằng phóng xạ trong tự nhiên, ta có thể phân tích hoạt độ của ^{226}Ra thông qua pic năng lượng 186,2 keV bằng cách đo phổ năng lượng gamma và lấy 58,3 % diện tích pic năng lượng 186,2 keV đo được là của ^{226}Ra để tính hoạt độ của nó.

4.1.2 Xác định thông qua 2 đồng vị ^{214}Pb và ^{214}Bi

Ta cũng có thể phân tích ^{226}Ra bằng các đỉnh năng lượng của các hạt nhân con cháu của nó như ^{214}Pb và ^{214}Bi ở trạng thái cân bằng phóng xạ với ^{226}Ra . Thời gian đạt trạng thái cân bằng phóng xạ giữa ^{226}Ra và các sản phẩm con cháu của nó ^{214}Pb và ^{214}Bi là khoảng ≥ 30 ngày.

Khi đạt được trạng thái cân bằng, ta có thể lựa chọn các đỉnh năng lượng độc lập đứng sau đồng vị ^{226}Ra của ^{214}Pb và ^{214}Bi có đỉnh năng lượng phát cao hơn để đảm bảo độ chính xác và tiết kiệm thời gian đo mẫu thử. Các pic năng lượng có thể sử dụng để phân tích ^{226}Ra ở trạng thái cân bằng với hạt nhân con: 295,2 KeV (18,9 %) và 351,9 KeV (37,7 %) của ^{214}Pb ; 609,3 (44,6 %), 1764,5 (25,4 %) và 1120,2 KeV của ^{214}Bi .

Phân rã con cháu của ^{214}Pb ở trạng thái cân bằng phóng xạ bằng các đỉnh mạnh là 351.9 KeV.

Phân rã con cháu của ^{214}Bi ở trạng thái cân bằng phóng xạ bằng các đỉnh 609.3, 1120.2 và 1764.5 KeV.

Để đạt được cân bằng phóng xạ giữa ^{226}Ra với các sản phẩm phân rã của nó thì các mẫu đất được xử lý khô, nghiền đến cỡ hạt 1 mm và đưa vào hộp đo kiểu "Marinelli beaker" hoặc các hộp hình trụ. Mẫu được bịt kín bằng cách đổ Farafin lên trên, đậy nắp thật kín để nhốt khí phóng xạ Radon (^{222}Rn) trong thời gian ≥ 30 ngày đủ đạt được cân bằng phóng xạ giữa ^{226}Ra với các hạt nhân con cháu: ^{222}Rn , ^{214}Pb và ^{214}Bi trước khi đo phổ.

4.2 Xác định hoạt độ phóng xạ của ^{232}Th

^{232}Th là hạt nhân đầu tiên của dãy phân rã phóng xạ Thori, trong tự nhiên dãy phóng xạ thôri đạt được cân bằng thế kỷ sau khoảng thời gian trên 60 năm từ khi sinh ra. Nếu coi ^{232}Th cân bằng phóng xạ với các sản phẩm phân rã con cháu của nó thì có thể sử dụng các đỉnh gamma mạnh của các đồng vị con cháu để phân tích hàm lượng hoạt độ của ^{232}Th với độ chính xác và độ nhạy cao hơn bao gồm các đỉnh năng lượng của các đồng vị như sau: 338,32 (11,3 %), 911,2 (26,6 %) và 968,97 (15,8 %) keV của hạt nhân ^{228}Ac hoặc 583,2 (84,5 %) và 277,0 (6,31 %) keV của hạt nhân con ^{208}Tl cân bằng phóng xạ với ^{232}Th .

Để phân tích hoạt độ phóng xạ của ^{232}Th ta có thể đo phổ gamma của mẫu thử và phân tích hoạt độ của ^{228}Ac được xem như trong tự nhiên luôn cân bằng bền với ^{232}Th . Phân tích hoạt độ của hạt nhân ^{228}Ac được thực hiện trực tiếp bằng các đỉnh năng lượng $E = 338.32$ KeV, 911.20 KeV và 968,97 KeV.

Để phân tích ^{232}Th thông qua các đồng vị con cháu của nó như ^{208}Tl với các mức năng lượng: 277.4 (6.31 %), 583.2 (84.5 %) và 860.6 (12.4 %) KeV, ^{212}Pb với mức năng lượng 238.6 (43.6 %) và ^{212}Bi với mức năng lượng 727.3 (6.65 %) là sản phẩm con của ^{220}Rn trong dãy phân rã ^{232}Th . Tuy nhiên hạt nhân ^{220}Rn tồn tại ở dạng khí có thể dễ mất đi trong quá trình gia công chế tạo mẫu đo vì thế làm mất cân bằng giữa ^{232}Th với ^{220}Rn . Để phân tích ^{232}Th thông qua đỉnh năng lượng của ^{208}Tl , ^{212}Pb và ^{212}Bi cũng phải nhốt mẫu trong thời gian đạt trạng thái cân bằng bền giữ ^{220}Rn với hạt nhân ^{228}Th trong khoảng thời gian ≥ 40 ngày.

4.3 Xác định hoạt độ phóng xạ của ^{40}K

Đồng vị phóng xạ ^{40}K chiếm 0.0119 % khối lượng trong Kali tự nhiên có chu kỳ rã nửa là $1,28 \cdot 10^9$ năm.

Đồng vị ^{40}K phát Tia gamma đặc trưng có năng lượng 1640,8 keV với hiệu suất phát là 10,7 % rất thích hợp để phân tích xác định nồng độ hoạt độ của nó trong mẫu thử với độ nhạy và độ chính xác cao bằng phương pháp đo và phân tích phổ năng lượng gamma.

Do kali là nguyên tố có mặt trong hầu hết các thành phần vật chất của môi trường xung quanh nên phong phóng xạ tự nhiên của đồng vị ^{40}K tạo thành trong phổ gamma đo được luôn tồn tại, vì thế khi phân tích ^{40}K nhất thiết phải trừ phong tự nhiên của nó từ thiết bị và phòng đo để có độ chính xác cao hơn.

5 Thiết bị, dụng cụ đo phổ gamma

5.1 Detector bán dẫn siêu tinh khiết HP.Ge với các thông số cơ bản sau:

Detector có hiệu suất ghi bức xạ Gamma 30 % trở lên, độ phân giải năng lượng ở một nửa cực đại (FWHM) tối đa là 0,85 keV ở năng lượng 122 keV và 1,85 keV và ở năng lượng 1332 keV của đồng vị ^{60}Co .

5.2 Máy phân tích biên độ đa kênh với bộ cao áp cung cấp cho Detector điện áp ± 4000 V.

Yêu cầu máy phân tích biên độ đa kênh MCA phải làm việc ổn định và có bộ ổn định phổ, ổn định cao áp ± 4000 V cho Detector .

Bộ ổn định phổ thực hiện chức năng ổn định điểm "0" và hệ số khuếch đại được chọn trước để duy trì ổn định biên độ xung của tín hiệu vào và biểu diễn dạng phổ theo tiêu chuẩn phân bố Gauss.

5.3 Chương trình thu nhận phổ là phần mềm dùng để đo phổ năng lượng bức xạ gamma cho phép đặt các chế độ đo ổn định.

5.4 Chương trình phần mềm phân tích phổ: Chương trình phần mềm phân tích phổ được dùng để phân tích tự động các phổ năng lượng bức xạ gamma cả định tính và định lượng các đồng vị phóng xạ có trong mẫu đo.

Chương trình phần mềm phân tích phổ cho phép hiệu chỉnh đầy đủ các kết quả đo như hiệu chỉnh kênh- năng lượng, hiệu suất đo, trừ nền phong, hiệu chỉnh tự phân rã...

5.5 Máy tính bàn (PC để bàn) 01 bộ: Các máy tính PC thông thường hoặc những phiên bản cao. Máy tính được cài đặt các phần mềm chuyên dụng để đo và phân tích phổ, tính toán hoạt độ các nhân phóng xạ trong mẫu.

5.6 Buồng chì che chắn để giảm phong phóng xạ tự nhiên tác động vào Detector với lớp chì sạch phóng xạ chiều dày từ 70-100 mm, lớp lót bên trong bằng đồng thau dày 2 mm. Số đếm phong tổng cộng trong vùng năng lượng bức xạ gamma từ 200 KeV đến 3000 KeV không lớn hơn 0,9 số đếm/giây.

6 Yêu cầu về mẫu để đo phổ gamma

Yêu cầu về mẫu và hộp đựng mẫu như sau:

- Điều kiện của phương pháp này là kích thước hình học đo phải giống kích thước hình học của mẫu chuẩn để xây dựng đường cong hiệu suất của phổ kế.
- Mẫu đo được đưa vào trong Hộp đo (Hộp chứa mẫu) có kích thước tiêu chuẩn phù hợp với hộp đựng mẫu chuẩn và với detector của hệ đo. Thường sử dụng loại hộp hình trụ (Loại 2π) hoặc hình giếng (Hộp Marinelli - loại 3π).
- Lượng mẫu đưa vào hộp đo phù hợp với mẫu chuẩn hiện có.
- Hộp chứa mẫu cần có các đặc tính sau:

Được làm bằng vật liệu trong suốt để nhìn được bên trong và hấp thụ bức xạ gamma thấp;

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 nắp đậy kín khí để thuận lợi cho việc nhốt khí phóng xạ khi cần;

Không dễ vỡ.

Hộp đo thường bằng vật liệu nhựa Polymer hình trụ có đường kính bằng với đường kính vỏ ngoài của Detector. Bề dày thành hộp khoảng 2,0 mm, chiều cao khoảng 30 mm - 40 mm cho các mẫu dự đoán có hoạt độ phóng xạ cao (mẫu ở các vùng thân mỏ quặng khoáng sản) và các mẫu nước sau xử lý hóa học.

Hộp đựng mẫu đo bằng vật liệu nhựa Polymer kiểu Marinelli (hình giếng) dung tích 500 ml - 1000 ml được sử dụng cho các mẫu dự đoán hoạt độ phóng xạ yếu.

Các mẫu đất, nước (sau khi xử lý hóa học) được làm khô bằng nhiệt độ môi trường hoặc sấy khô ở nhiệt độ $50\text{ }^{\circ}\text{C} - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, đạt đến độ ẩm tương đối từ 5 đến $\leq 10\%$ (hoặc sấy khô đến trọng lượng không đổi).

Mẫu đất được nghiền nhỏ đến kích thước hạt nhỏ hơn 1mm sau đó cho qua rây có đường kính lỗ 1 mm để đưa vào hộp đo.

7 Nguồn chuẩn

7.1 Nguồn chuẩn dùng để hiệu chuẩn năng lượng

Nguồn chuẩn dùng để hiệu chỉnh năng lượng định tính thường sử dụng 1-2 nguồn phát nhiều mức năng lượng gamma hoặc một bộ gồm từ 7 đến 10 nguồn phóng xạ hình đĩa có các tia gamma đơn năng phân bố trong dải năng lượng từ vài chục KeV đến 1600 KeV. Hoạt độ của nguồn chuẩn dùng để hiệu chỉnh năng lượng thường $10\text{ }\mu\text{Ci}$.

Chọn nguồn sao cho có được ít nhất 7- 9 đỉnh năng lượng đơn năng chia đều trên khoảng năng lượng của thiết bị; Các nguồn phóng xạ chứa các đồng vị sống dài (europi-155, americ-241, coban-60, cesi-137, Radi-226) được khuyến nghị sử dụng làm nguồn chuẩn năng lượng cho thiết bị này.

7.2 Nguồn chuẩn dùng để xác định hiệu suất đếm theo năng lượng

- Các nguồn chuẩn dùng để xác định hiệu suất đếm theo năng lượng cần có kích thước hình học và mật độ vật chất tương tự như mẫu đo.

- Hoạt độ phóng xạ trong chất chuẩn đã được xác định với sai số xác định hoạt độ các chất chuẩn không quá $\pm 5\%$.

Dùng một hay nhiều nguồn chuẩn phù hợp với tiêu chuẩn quốc tế hoặc quốc gia và có hoạt độ các chất chuẩn cũng như sai số của tổng hoạt độ đã biết. Cũng có thể dùng nguồn chứa nhiều nuclit phóng xạ: Năng lượng của tia gamma phát ra trong nguồn chuẩn phải được phân bố trên toàn khoảng năng lượng phân tích. Thường để xác định hiệu suất đếm cần tối thiểu từ 7 - 9 mức năng lượng phân bố đều từ thấp đến cao (Thí dụ 63,29 KeV của ^{234}Pa đến 1764,5 KeV của ^{214}Bi).

Bộ nguồn chuẩn xác định hiệu suất đếm theo năng lượng để phân tích các mẫu đất đá hoặc mẫu có mật độ khối tương đương, được nêu trong phụ lục A.

8 Cách tiến hành

8.1 Chuẩn bị mẫu để đo

Mẫu để đo được chuẩn bị như sau:

- Chọn hộp chứa phù hợp với nguồn chuẩn hiệu suất đã có.
- Cho mẫu vào hộp chứa đến chiều cao bằng với chiều cao của mẫu chuẩn. Nên dùng dụng cụ cơ học để xếp mẫu vào hộp chứa (ví dụ, bảng rung hoặc dụng cụ nén mẫu) nhằm đạt đến chiều cao của mẫu phù hợp với chuẩn.
- Ghi lại khối lượng mẫu.
- Đậy kín hộp chứa, khi cần thiết phải bịt kín bằng parafin để tránh thoát khí phóng xạ.
- Làm sạch phía ngoài hộp chứa để loại bỏ nhiễm bẩn các chất phóng xạ tự nhiên cho hệ đo phổ.

8.2 Đo mức phóng nền phòng thử nghiệm

Nhân phóng xạ tự nhiên nói chung tồn tại phổ biến trong tự nhiên cũng như trong vật liệu làm detector và lớp che chắn.

Mức phóng 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 biện pháp làm sạch phòng đo.

Trước khi đo mẫu thử phải đo mức phóng nền của hệ đo phổ gamma tại phòng thử nghiệm bằng các mẫu trắng để thực hiện việc trừ phóng khi tính kết quả hoạt độ của nhân phóng xạ trong mẫu thử.

Thời gian đo mức phóng nền thường kéo dài bằng hoặc lớn hơn thời gian đo mẫu thử.

8.3 Hiệu chuẩn

8.3.1 Hiệu chuẩn năng lượng

- Trong hệ thống thiết bị đo phổ gamma, quan hệ giữa năng lượng và số thứ tự kênh là gần tuyến tính.
- Hiệu chuẩn năng lượng được tiến hành bằng cách đo các nguồn chuẩn đơn năng hoặc một nguồn chuẩn có nhiều đỉnh năng lượng độc lập (ví dụ như ^{226}Ra) hoặc các nguồn hỗn hợp của vài nhân phóng xạ để xác lập mối quan hệ giữa kênh đo và năng lượng bức xạ.

Mối quan hệ Năng lượng - Kênh đo được thể hiện theo phương trình (8.1):

$$E = a + b.Ch \quad (8.1)$$

Trong đó

E là năng lượng của tia gamma tính bằng KeV;

Ch là số thứ tự kênh, Ch có giá trị từ 1 đến 8192;

a, b là các hệ số phụ thuộc vào từng máy đo cụ thể. Các giá trị a, b được chương trình tự động tính toán sau khi ta đưa tối thiểu từ 7- 9 cặp số liệu kênh - Năng lượng (Ch-E) tương ứng vào chương trình phân tích phổ bằng chức năng "Calibration Energy".

Khi hiệu chuẩn Kênh-Năng lượng, cần qui cho từng kênh mức năng lượng tương ứng với độ chính xác 0,1 keV hoặc tốt hơn.

Công việc này được thực hiện bằng chức năng Calibrate\Enery của phần mềm đo và phân tích phổ và được ghi lưu lại những thông tin cần thiết cho việc phân tích về sau.

8.3.2 Hiệu chuẩn hiệu suất

Hiệu suất đếm của hệ phổ kế được xây dựng bằng cách sử dụng một nguồn chuẩn có một hoặc hỗn hợp các nhân phóng xạ có các đỉnh gamma phát ra khác nhau (tối thiểu có 7-9 đỉnh năng lượng). Nguồn chuẩn hiệu suất đã biết trước hoạt độ từng nhân phóng xạ.

Việc hiệu chuẩn này cho phép thiết lập hiệu suất ghi của hệ phổ kế như là một hàm của năng lượng bức xạ.

Phương pháp thành lập đường chuẩn định lượng.

Đường chuẩn định lượng mô tả mối quan hệ giữa hiệu suất đo của thiết bị với năng lượng của tia bức xạ gamma.

Đường chuẩn định lượng thường là một đa thức bậc cao mô tả mối quan hệ giữa Hiệu suất đo và Năng lượng của tia bức xạ gamma.

Hiệu suất đếm của thiết bị đo theo năng lượng $\epsilon(E)$ tại một năng lượng xác định được tính theo công thức tổng quát (8.2) như sau:

$$\varepsilon_E = \frac{n_{Ns,E} / t_s}{A \cdot P_E} \quad (8.2)$$

Muốn xây dựng đường chuẩn định lượng, ta cần có tối thiểu 7- 9 cặp số liệu: "Năng lượng tia gamma E" và "Hiệu suất đếm ε_E " tương ứng. Các cặp số liệu "E và ε_E " tương ứng cần trải đều từ năng lượng thấp (thí dụ 46.5Kev của ^{210}Pb) đến năng lượng cao (1764.5 Kev của đồng vị ^{214}Bi) của phổ năng lượng đo được.

Trong chương trình phần mềm phân tích phổ đã tích hợp chương trình con thực hiện chức năng xác định hàm hiệu suất đo theo năng lượng.

8.4 Đo mẫu thử

Đo mẫu cần thực hiện trong các điều kiện đo tương tự như điều kiện cho việc hiệu chuẩn hiệu suất của hệ thống đo phổ gamma. Đặc biệt, các 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.

Thời gian đo mẫu tùy thuộc yêu cầu về độ chính xác của phép phân tích và hoạt độ mạnh yếu của nhân phóng xạ cần đo trong mẫu thử. Thường thời gian đo đủ lớn để xác định được diện tích đỉnh hấp thụ toàn phần tại năng lượng 186,2 KeV của ^{226}Ra hoặc các đỉnh 351,92 KeV của ^{214}Pb và các đỉnh 609,32 KeV 1120,28 và 1764,51 KeV của ^{214}Bi có sai số tương đối $\leq 10\%$. Việc thực hiện đánh giá độ chính xác khi xác định diện tích đỉnh hấp thụ toàn phần theo hướng dẫn sử dụng phần mềm đo phổ.

Việc phân tích phổ được thường thực hiện tự động bằng phần mềm phân tích phổ của nhà sản xuất.

Trước khi tiến hành phân tích phổ, cần đọc phổ của mẫu đo vào máy tính và đưa vào các thông số cần thiết cho việc phân tích như: Hiệu chuẩn kênh - năng lượng, hiệu chuẩn hiệu suất đo, hiệu chuẩn phòng nền và khối lượng mẫu đo bằng phần mềm phân tích phổ.

8.5 Phân tích phổ

8.5.1 Công thức chung để tính hoạt độ phóng xạ

Nồng độ hoạt độ c_A của nuclit phóng xạ có trong mẫu được tính từ số đếm thực tế $n_{N,E}$ từ đỉnh gamma đặc trưng của mỗi đồng vị phóng xạ theo công thức (9.1)

$$c_A = \frac{n_{N,E} / t_g}{P_E \cdot \varepsilon_E \cdot V(m) \cdot f_E} \quad (9.1)$$

Trong đó

f_E là hệ số hiệu chỉnh xét cho tất cả các hiệu chỉnh cần thiết theo Công thức:

$$f_E = f_d \cdot f_{att,E} \cdot f_{cl,E} \quad (9.2)$$

Trong đó:

f_d là hệ số hiệu chỉnh đối với phân rã trong thời gian chờ đo;

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

$f_{cl,E}$ là hệ số hiệu chỉnh sự mất mát do trùng phùng (thời gian chết);

Đối với đỉnh không bị nhiễu loạn với năng lượng E , số đếm $n_{N,E}$ trong khu vực đỉnh thực của phổ γ được tính bằng Công thức (9.3):

$$n_{N,E} = n_{g,E} - n_{b,E} \quad (9.3)$$

Như vậy, công thức (9.1) có thể được viết thành :

$$C_A = \frac{n_{N,E} / t_g}{P_E \cdot \epsilon_E \cdot V(m) \cdot f_E} = \frac{n_{g,E} - n_{b,E}}{P_E \epsilon_E V(m) f_E t_g} \quad (9.4)$$

8.5.2 Xác định hoạt độ phóng xạ của ^{226}Ra

Nồng độ hoạt độ của ^{226}Ra trong mẫu thử được phân tích xác định bằng tia gamma đặc trưng của nó tại đỉnh năng lượng 186,2 keV sau khi đã trừ đi phần đóng góp của ^{235}U với năng lượng 185,9 KeV.

Trong trường hợp mẫu thử đạt được cân bằng phóng xạ giữa ^{226}Ra với các sản phẩm phân rã con cháu thì nồng độ hoạt độ của ^{226}Ra trong mẫu thử được phân tích xác định bằng tia gamma đặc trưng của ^{214}Pb và ^{214}Bi .

8.5.3 Xác định hoạt độ phóng xạ của ^{232}Th

Nồng độ hoạt độ của hạt nhân phóng xạ ^{232}Th trong mẫu thử được phân tích xác định bằng tia gamma đặc trưng của đồng vị con cháu của nó là ^{228}Ac bằng các đỉnh năng lượng 338.32; 911.20; 968,97 KeV.

Trong trường hợp mẫu đo đạt được cân bằng phóng xạ giữa ^{232}Th với các sản phẩm phân rã con cháu của nó thì nồng độ hoạt độ của ^{232}Th trong mẫu thử được phân tích xác định bằng các tia gamma đặc trưng với các năng lượng: 277.4 (6.31%), 583.2 (84.5%) và 860.6 (12.4%) KeV của ^{208}Tl và/hoặc mức năng lượng 238.6 (43.6%) của ^{212}Pb và/hoặc 727.3 (6.65%) của ^{212}Bi .

Sau khi xác định được nồng độ hoạt độ của ^{208}Tl , ^{212}Pb và ^{212}Bi ta có thể lấy trung bình hoạt độ của 3 đồng vị này để qui cho ^{232}Th .

8.5.4 Xác định hoạt độ phóng xạ của ^{40}K

Nồng độ hoạt độ của ^{40}K trong mẫu thử được phân tích xác định bằng tia gamma đặc trưng của nó tại đỉnh năng lượng 1460,8 KeV.

9 Hiệu chỉnh kết quả

9.1 Hiệu chỉnh cho phóng nền

Khi đo hoạt độ các nhân phóng xạ tự nhiên, vùng đỉnh năng lượng đặc trưng cho từng đồng vị phóng xạ cần sử dụng để xác định hoạt độ phóng xạ sẽ phải được hiệu chỉnh cho sự đóng góp từ phóng nền của chính nhân phóng xạ này trong buồng che chắn detector, môi trường xung quanh ... gây ra có tính đến sự khác biệt về thời gian đo mẫu và thời gian đo phóng nền.

Đối với đỉnh không nhiễu tại mức năng lượng E , số đếm $n_{N,E}$ trong vùng đỉnh thực của phổ γ được tính sử dụng Công thức (9.5):

$$n_{N,E} = n_{N,E\text{đo}} - n_{N0,E} \quad (9.5)$$

Trong đó

$n_{N,E}^{\text{đo}}$ là số đếm thực của pic năng lượng E đo được bao gồm cả phóng nền tự nhiên.

Việc hiệu chỉnh phóng nền được thực hiện bằng phần mềm phân tích phổ khi xác định hoạt độ của từng nhân phóng xạ trong mẫu thử theo hướng dẫn sử dụng phần mềm phân tích (Thí dụ GAMMAVISION 32).

9.2 Hiệu chỉnh phân rã, tự hấp thụ và trùng phùng

Các hạt nhân ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K có chu kỳ bán rã lần lượt là $1,6 \cdot 10^3$ năm; $1,405 \cdot 10^{10}$ năm; $1,28 \cdot 10^9$ năm, thuộc các hạt nhân phóng xạ có chu kỳ bán rã dài, do đó khi xác định nồng độ hoạt độ không cần hiệu chỉnh phân rã phóng xạ trong thời gian chờ đo. Hệ số hiệu chỉnh f_d trong công thức 9.2 bằng 1.

Trong trường hợp hình học đo mẫu chuẩn và mẫu đo hoàn toàn giống nhau và thời gian chết của máy $\leq 10\%$ thì không cần hiệu chỉnh tự hấp thụ và thời gian chết của hệ phổ kế, tức là $f_{\text{att},E} \cdot f_{\text{cl},E}$ trong công thức 9.2 bằng 1.

Phụ lục A

(Tham khảo)

Bộ nguồn chuẩn dùng cho phân tích các mẫu đất đá và mật độ tương đương

Tất cả các nguồn chuẩn định lượng đều phải có giấy chứng nhận kiểm định hoạt độ chuẩn của cơ quan chuyên môn.

Bộ nguồn chuẩn định lượng hình trụ có đường kính tương tự hộp mẫu đo (chuẩn hình trụ đường kính 92 mm và chiều cao 20 mm và chuẩn hình giếng 0,5 lít (chuẩn loại hộp Marinelli 0,5 lít) với các chất chuẩn tương ứng là:

A.1 Nguồn chuẩn Uran: IAEA -RGU-1 (quặng uran) với U^{238} ở trạng thái cân bằng phóng xạ với Ra^{226} . Chất nền là Silicat, hoạt độ nguồn chuẩn là:

- ^{238}U : Hoạt độ 4940 ± 30 Bq/kg (0,61 %);
- ^{235}U : Hoạt độ 228 Bq/kg;
- ^{232}Th : Hoạt độ < 4 Bq/kg;

Kích thước nguồn chuẩn: Hộp hình trụ $\Phi = 92$ mm, chiều cao chất dùng làm chuẩn $h \cong 20$ mm; khối lượng 150 gam.

A.2 Nguồn chuẩn Thori: IAEA- RGTh-1 (quặng thori) ở trạng thái cân bằng giữa Th^{232} với Ac^{228} . Chất nền là Silicat, hoạt độ nguồn chuẩn là:

- ^{232}Th : Hoạt độ 3250 ± 10 Bq/kg (0,31 %) ;
- ^{238}U : Hoạt độ 78 Bq/kg;
- ^{235}U : Hoạt độ 3,6 Bq/kg;

Kích thước nguồn chuẩn: Hộp hình trụ $\Phi = 92$ mm, chiều cao chất dùng làm chuẩn $h \cong 20$ mm; khối lượng 150 gam.

A.3 Nguồn chuẩn Kali: IAEA K-1 (sunphát Kali)

Kích thước nguồn chuẩn: Hộp hình trụ $\Phi = 92$ mm, chiều cao chất dùng làm chuẩn $h \cong 20$ mm; khối lượng 150 gam, hoạt độ của chuẩn là:

- ^{40}K : Hoạt độ 14.000 ± 400 Bq/kg (2,86 %)

Các nguồn chuẩn trên được chế tạo bởi "Trung tâm kỹ thuật Khoáng sản và Năng lượng Canada thuộc hội nguyên tử năng quốc tế (IAEA). Có giấy chứng nhận kiểm định hoạt độ nguồn chuẩn.

A.4 Nguồn chuẩn "Multi-Gamma Ray Standard 500 ml Marinelli boxer"

Nguồn chuẩn hình giếng, có thể tích 500 ml, khối lượng 650 gam được sử dụng để đo các mẫu có hoạt độ phóng xạ yếu. Trong nguồn chuẩn hỗn hợp các chất chuẩn như sau:

1. Nguồn chuẩn Eu^{155} hoạt độ 4982 Bq/kg
2. Nguồn chuẩn Co^{57} hoạt độ 7709 Bq/kg
3. Nguồn chuẩn Sn^{113} hoạt độ 9677 Bq/kg
4. Nguồn chuẩn Cs^{137} hoạt độ 2150 Bq/kg
5. Nguồn chuẩn Mn^{54} hoạt độ 5075 Bq/kg
6. Nguồn chuẩn Zn^{65} hoạt độ 12800 Bq/kg
7. Nguồn chuẩn K^{40} hoạt độ 2511 Bq/kg

Nguồn chuẩn đa nguyên tố được chế tạo, kiểm định và chứng nhận hoạt độ chất chuẩn tại cơ quan chuyên sản xuất nguồn chuẩn NIST, Hội nguyên tử năng quốc tế - IAEA ngày 8 tháng 12 năm 2009. Sai số xác định hoạt độ các chất chuẩn không quá $\pm 5\%$.

Phụ lục B

(Quy định)

Xác định giới hạn phân tích

Hoạt độ nhỏ nhất có thể xác định được (MCA) hay gọi là Giới hạn xác định là số đo hoạt độ nhỏ nhất có thể xác định được bằng phép phân tích phổ năng lượng của các đồng vị phóng xạ. Có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng đến Giới hạn xác định được hoạt độ phóng xạ tính bằng Becoren (Bq) như: Độ giàu của chất phóng xạ cần phân tích, khối lượng mẫu đo, hình học mẫu đo, số đếm phóng (Do độ ổn định của máy phân tích và nguồn phóng xạ môi trường), thời gian đo, các hạt nhân phóng xạ nhiễu... Đối với tất cả các peak giá trị MDA được tính trên cơ sở giá trị phông (Background) của peak.

Phương pháp xác định MDA trong chương trình GammaVision 32 được xác định thông qua tốc độ đếm Photopeak. Tốc độ đếm Photopeak được xác định bằng phương pháp truyền thống của ORTEC (Method 1- Traditional ORTEC). Công thức có dạng sau:

$$Toc\ do\ dem = \frac{100}{Sen} \times \frac{\sqrt{2xBKG + \frac{2500}{sen^2}} + \frac{50}{sen}}{LiveTime}$$

Trong đó:

Sen = Độ nhạy (sensitivity); là một thông số được sử dụng trong chương trình phân tích để xác định các đỉnh năng lượng. Thường lấy Sen = 3'

BKG là số đếm phông tại đỉnh năng lượng tương ứng;

LiveTime là thời gian sống của máy đo.

Trong chương trình Gammavision 32 được sử dụng để phân tích phổ tự động, Giới hạn xác định của các đồng vị được tính toán tự động và cho kết quả vào một file có đuôi *.RPT.

Phụ lục C

(Tham khảo)

Đánh giá chất lượng phân tích

Để đánh giá chất lượng phân tích thông thường đánh giá thông qua sai số của phép phân tích hoạt độ. Sai số phân tích hoạt độ của các đồng vị phóng xạ trong mẫu bao gồm các sai số sau:

- Sai số cân đo xác định khối lượng mẫu;
- Sai số xác định đường chuẩn hiệu suất đo;
- Sai số thống kê của phép đo và tính toán phổ năng lượng.

Sai số thống kê của phép đo mẫu và phân tích hoạt độ phóng xạ là sai số ngẫu nhiên phụ thuộc vào độ ổn định của máy phân tích, thời gian đo phổ và hoạt độ trong mẫu mạnh hay yếu. Vì thế đối với các mẫu có hoạt độ thấp, người ta phải thực hiện các biện pháp làm giàu mẫu đo bằng cách tro hoá hoặc tách chiết để thu nhỏ thể tích mẫu và tăng khối lượng mẫu đo.

Ngoài ra có thể tăng thời gian đo làm cho sai số thống kê giảm đi. Tùy theo yêu cầu độ chính xác khi phân tích hoạt độ phóng xạ trong mẫu mà có thể chọn thời gian đo thích hợp theo nguyên tắc càng đo lâu sai số thống kê càng nhỏ dần.

Khi đo phổ năng lượng, sai số xác định các diện tích đỉnh năng lượng được hiện trên màn hình cửa sổ đo. Trong quá trình đo phổ, ta có thể kiểm tra sai số xác định diện tích các đỉnh năng lượng. Với thời gian đo đủ lớn, sai số này giảm dần xuống dưới 10 % thì có thể dừng đo.

Sai số thống kê khi đo phổ năng lượng và xác định hoạt độ đồng vị từ phổ đo được chương trình GammaVision32 tính toán tự động khi tiến hành phân tích phổ. Kết quả tính sai số thống kê tuyệt đối của các đồng vị phân tích được thể hiện trong cột "+/-" trong bảng kết quả phân tích (Xem Bảng 3.1 dưới đây).

Bảng C.1 Kết quả phân tích tự động hoạt độ các nguyên tố trong mẫu đất MDNX00120

Spectrum Filename: C:\User\Dat_DeTai\MDNX0120.An1 (Tên file số liệu phổ ở thư mục C:\ User\Dat_DeTai\MDNX0120.An1)

Acquisition information (Thông tin đo phổ)

Start time (Thời gian bắt đầu): 14-Mar-2013 16:54:36

Live time: (Thời gian sống của Detector) 19644

Real time: (Thời gian đặt trước): 20000

Dead time: (Thời gian chết của Detector): 1.78 %

TCVN 12296:2018

Calibration (Chuẩn)

Filename: Tên file chuẩn: chuanDNX0120.Clb

chuẩn Năng lượng

Energy Calibration

Zero offset: Điểm "0" -0.032 keV

Gain: Hệ số khuếch đại 0.249 keV/channel

Quadratic (Dạng toàn phương): $4.321E-09 \text{ keV/channel}^2$

Efficiency Calibration (Chuẩn Hiệu suất)

Type (Loại đường chuẩn): Polynomial

Uncertainty (Độ không xác định): 2.753 %

Library Files (File thư viện)

Main analysis library: Tên Thư viện chính: LibUran-Thori.Lib

*** Tổng kết hoạt độ các hạt nhân trong mẫu***

***** S U M M A R Y O F N U C L I D E S I N S A M P L E *****

	Time of Count	Uncertainty	1 Sigma
Nuclide	Activity	Counting	Total
	Bq/Kg		
Hạt nhân	Hoạt độ	Độ không xác định	Sai số tổng
	Thời điểm đo	các số đếm	1 σ
	Bq/kg		
PB-214	9.0245E+02	3.124E-01%	2.096E+00%
Pb-210 #	2.4992E+02	2.280E+01%	2.283E+01%
BI-214	7.6828E+02	3.319E-01%	1.933E+00%
RA-226 #	2.6635E+03	7.665E-01%	2.348E+00%
U-235	6.7317E+01	3.278E+00%	3.856E+00%

Từ kết quả nêu trên, ta xác định được hoạt độ của các hạt nhân khác nhau tại các mức năng lượng khác nhau.

1. Hạt nhân ^{226}Ra được phân tích từ đỉnh năng lượng 185,99 Kev có sự tham gia đóng góp của hạt nhân ^{235}U với đỉnh năng lượng 185,77 Kev. Để loại trừ phần đóng góp của ^{235}U vào hàm lượng của

^{226}Ra ta nhân hệ số 0,583 với hoạt độ do chương trình tự động tính ra của Ra^{226} . Thí dụ từ bảng kết quả trên ta có hàm lượng hoạt độ của Ra^{226} trong mẫu MĐNX 02-20 như sau:

$$A_{\text{Ra-226}} = 0,583 \times 2,66.10^{+3} \text{ Bq/kg} = 1,551.10^{+3} \text{ Bq/kg} \pm 2,35 \%$$

2. Hạt nhân ^{226}Ra được tính bằng trung bình cộng của các pic từ ^{214}Bi và ^{214}Pb trong trường hợp không cân bằng cho ta kết quả nhỏ hơn nhiều vì hiện tượng thoát khí Radon (^{222}Rn) trong khi xử lý mẫu đo:

$$A_{\text{Ra-226}} = (A_{\text{Bi-214}} + A_{\text{Pb214}}) / 2 = (902,45 + 768,28) / 2 = 835,36 \pm 2,01 \%$$

Thư mục tài liệu tham khảo

[1] Y.Y. EBAID

Physics Department, Faculty of Science, Fayoum University, Fayoum, 63514 Egypt

Received February 18, 2009

USE OF GAMMA-RAY SPECTROMETRY FOR URANIUM ISOTOPIC
ANALYSIS IN ENVIRONMENTAL SAMPLES

[2] *TL Dating Laboratory, Institute of Physics, Nicholas Copernicus University,*

Grudzi'dzka 5, 87-100 Toruń, Poland (e-mail: hubertus@phys.uni.torun.pl)

CALIBRATION STANDARD FOR USE IN GAMMA SPECTROMETRY AND LUMINESCENCE
DATING HUBERT L. OCZKOWSKI

[3] 20120913

Mitsubishi Materials Co.

RWMD; Y.Kawata

Gamma ray analysis of natural radionuclide with Ge detector in Japan

[4] Markus R. Zehring

Gamma-Ray Spectrometry and the Investigation of Environmental and Food Samples

[5] E. EREN BELGIN^{1*}, G.A. AYCIK

Faculty of Science, Department of Chemistry, Muğla Sıtkı Koçman University, 48000, Muğla,
Turkey

²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K ACTIVITY CONCENTRATIONS AND RADIOLOGICAL HAZARDS
OF BUILDING MATERIALS IN MUGLA, TURKEY

[6] Progress in NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY,

Vol. 1, p.416-419 (2011)

Sarata Kumar SAHOO, Masahiro HOSODA, Sadatoshi KAMAGATA, Atsuyuki SORIMACHI, Tetsuo
ISHIKAWA, Shinji TOKONAMI, Shigeo UCHIDA

Thorium, Uranium and Rare Earth Elements Concentration in Weathered Japanese Soil Samples

[7] Randolph S. Peterson

Physics Department The University of the South Sewanee, Tennessee

Experimental γ Ray Spectroscopy and Investigations of Environmental Radioactivity

[8] S. Harb, A. H. El-Kamel, A. I. Abd El-Mageed, A. Abbady, and Wafaa Rashed.

"Concentration of U-238, U-235, RA-226, TH-232 and K-40 for Some Granite Samples in Eastern Desert Of Egypt".

Proceedings of the 3rd Environmental Physics Conference, 19-23 Feb. 2008, Aswan, Egypt
