

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 7078-1 : 2002

ISO 7503-1 : 1988

**AN TOÀN BỨC XẠ –
ĐÁNH GIÁ NHIỄM XẠ BỀ MẶT –
PHẦN 1: NGUỒN PHÁT BÊTA (NĂNG LƯỢNG BÊTA
CỰC ĐẠI LỚN HƠN 0,15 MeV) VÀ NGUỒN PHÁT ANPHA**

*Radiation protection – Evaluation of surface contamination -
Part 1: Beta-emitters (maximum beta energy greater than 0,15 MeV)
and alpha-emitters*

HÀ NỘI – 2008

Lời nói đầu

TCVN 7078-1 : 2002 hoàn toàn tương đương với ISO 7503-1 : 1988.

TCVN 7078-1 : 2002 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn TCVN/TC 85 “Năng lượng hạt nhân” biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ ban hành.

Tiêu chuẩn này được chuyển đổi năm 2008 từ Tiêu chuẩn Việt Nam cùng số hiệu thành Tiêu chuẩn Quốc gia theo quy định tại khoản 1 Điều 69 của Luật Tiêu chuẩn và Quy chuẩn kỹ thuật và điểm a khoản 1 Điều 6 Nghị định số 127/2007/NĐ-CP ngày 1/8/2007 của Chính phủ quy định chi tiết thi hành một số điều của Luật Tiêu chuẩn và Quy chuẩn kỹ thuật.

An toàn bức xạ – Đánh giá nhiễm xạ bề mặt – Phần 1: Nguồn phát beta (năng lượng beta cực đại lớn hơn 0,15 MeV) và nguồn phát alpha

Radiation protection – Evaluation of surface contamination -

Part 1: Beta-emitters (maximum beta energy greater than 0,15 MeV) and alpha-emitters

1 Phạm vi và lĩnh vực áp dụng

Tiêu chuẩn này áp dụng cho việc đánh giá nhiễm xạ bề mặt tính theo hoạt độ phóng xạ trên một đơn vị diện tích đối với các thiết bị, dụng cụ và các côngtenơ chứa vật liệu phóng xạ và nguồn kín.

Tiêu chuẩn này không áp dụng cho việc đánh giá nhiễm xạ trên da và quần áo.

Tiêu chuẩn này áp dụng đối với nguồn phát beta có năng lượng cực đại $E_{\beta\max}$ lớn hơn 0,15 MeV và nguồn phát alpha.

Tiêu chuẩn này chỉ áp dụng đối với nguồn phát beta và alpha có suất phát xạ beta (kể cả các điện tử đơn năng) và hạt alpha xấp xỉ 100 hạt trên 100 phân rã đối với từng loại (xem bảng 3 trong phần phụ lục).

Trong tiêu chuẩn này, khái niệm "năng lượng beta" được hiểu là năng lượng cực đại của hạt beta do nguồn phóng xạ phát ra.

Chú thích - Việc đánh giá độ nhiễm xạ bề mặt đối với triti sẽ được đề cập đến trong ISO 7503-2. Các hạt nhân phóng xạ quan trọng khác trong thực tiễn (ví dụ như các nguồn bắt điện tử và các nguồn chuyển dời đồng phân) sẽ được đề cập tới ở một tiêu chuẩn khác.

2 Tiêu chuẩn viện dẫn

ISO 8769, Reference sources for the calibration of surface contamination monitors - Beta-emitters (maximum beta energy greater than 0,15 MeV) and alpha-emitters (Nguồn chuẩn để hiệu chuẩn các thiết bị kiểm xạ bề mặt đối với nguồn phát beta (năng lượng cực đại lớn hơn 0,15 MeV) và nguồn phát alpha).

IEC Publication 325 - Alpha, beta and alpha-beta contamination meters and monitors (xuất bản phẩm số 325 của IEC - Các máy đo và kiểm xạ độ nhiễm xạ bề mặt đối với các nguồn beta, alpha và alpha-beta).

3 Định nghĩa

Trong tiêu chuẩn này các định nghĩa sau đây được sử dụng :

3.1 Nhiễm xạ bề mặt (surface contamination): Là sự nhiễm xạ bề mặt bởi các chất phóng xạ.

3.2 Nhiễm xạ bề mặt bám chặt (fixed surface contamination): Sự nhiễm xạ lên một bề mặt ở mức độ nó không thể tẩy bỏ được trong điều kiện làm việc bình thường.

3.3 Nhiễm xạ bề mặt có thể tẩy bỏ được (removable surface contamination): Sự nhiễm xạ có thể tẩy bỏ hoặc chuyển dời được trong điều kiện làm việc bình thường.

Chú thích:

1. Định nghĩa của cụm từ "điều kiện làm việc bình thường" là quan trọng để đánh giá nguy cơ hít vào hoặc xâm nhập chất phóng xạ khi người làm việc tiếp xúc với các bề mặt nhiễm xạ: "điều kiện làm việc bình thường" được hiểu là điều kiện làm việc mà ở đó cường độ cực đại của tác động cơ học có thể dẫn đến tẩy xạ bề mặt được giới hạn ở mức sau:

- sự tiếp xúc bình thường của cơ thể con người (có hoặc không có trang bị quần áo bảo hộ) với bề mặt nhiễm xạ, và
- sự tiếp xúc không phá huỷ với cường độ tương tự giữa bề mặt nhiễm xạ với các phần của thiết bị do con người trực tiếp tiếp xúc.

Cường độ tác động trong khi thử nghiệm tẩy xạ phải phù hợp với tác động cơ học nêu ở trên. Một lần tẩy bỏ bất thường không loại bỏ hết được tất cả sự nhiễm xạ.

2. Cần lưu ý rằng do ảnh hưởng của độ ẩm, hoá chất, v.v.. hoặc do hậu quả của sự ăn mòn hoặc sự khuếch tán, nhiễm xạ bám chặt có thể trở thành sự nhiễm xạ có thể tẩy bỏ được hoặc ngược lại mà không có bất kỳ một tác động nào của con người. Ngoài ra nhiễm xạ bề mặt có thể giảm dần do bốc hơi và thăng hoa.

3.4 Hoạt độ trên một đơn vị diện tích (activity per unit area): Tỷ số giữa hoạt độ của hạt nhân phóng xạ có trên bề mặt và diện tích của bề mặt đó, và được biểu thị bằng becquerel trên centimet vuông ($Bq.cm^{-2}$).

3.5 Đo trực tiếp nhiễm xạ bề mặt (direct measurement of surface contamination): Đo hoạt độ bề mặt bằng một máy đo độ nhiễm xạ.

Phép đo trực tiếp xác định được tổng độ nhiễm bề mặt bám chặt và độ nhiễm bề mặt có thể tẩy bỏ được, tuy nhiên phép đo có thể bị ảnh hưởng bởi các bức xạ từ bên trong mẫu thử hoặc từ môi trường.

3.6 Đánh giá gián tiếp độ nhiễm xạ bề mặt (indirect evaluation of surface contamination): Đánh giá hoạt độ có thể tẩy xạ được trên bề mặt bằng cách đo mẫu lau (vật liệu lau).

3.7 Thử nghiệm mẫu lau (smear test): Lấy mẫu nhiễm xạ có thể tẩy xạ được bằng cách lau bề mặt nhiễm xạ bằng vật liệu khô hoặc ướt và sau đó đánh giá hoạt độ phóng xạ bám vào vật liệu lau bề mặt.

3.8 Hệ số tẩy (removal factor), F : Tỷ số giữa hoạt độ được tẩy đi khỏi bề mặt bằng một mẫu lau và tổng hoạt độ độ nhiễm xạ bề mặt có thể tẩy bỏ được trước khi lấy mẫu.

Hệ số tẩy được tính bằng công thức sau:

$$F = \frac{A_p}{A_T}$$

trong đó:

A_p là hoạt độ được tẩy khỏi bề mặt bởi mẫu lau;

A_T là tổng hoạt độ có thể tẩy được trên bề mặt bị nhiễm xạ trước khi lấy mẫu.

Chú thích - Đối với những tổ hợp quan trọng giữa chất nhiễm xạ và vật liệu bề mặt thì hệ số tẩy F có thể xác định bằng thực nghiệm khi sử dụng phương pháp "lau nhiều lần để tẩy sạch hoàn toàn". Việc thực hiện lần lượt từng bước lau mẫu mang lại kết quả đánh giá một cách khá tốt. Tổng hoạt độ của các lần lau sẽ gần bằng tổng hoạt độ có thể tẩy (A_T) mà hoạt độ được tẩy trong lần lau đầu tiên có thể phụ thuộc vào hệ số tẩy (A_p).

3.9 Suất phát xạ bề mặt của nguồn phóng xạ (surface emission rate of a source), $q_{2\pi}$: là số hạt của một loại tia nhất định với năng lượng nào đó được phát ra từ mặt trước của nguồn trong một đơn vị thời gian.

3.10 Hiệu suất nguồn (efficiency of a source), ε_s : Tỷ số giữa số hạt của một tia nhất định với một năng lượng nhất định được phát ra từ mặt trước của nguồn hoặc cửa sổ nguồn trong một đơn vị thời gian (suất phát xạ bề mặt) và số hạt của tia cùng loại được sinh ra hoặc được giải phóng ra bên trong nguồn (đối với nguồn mỏng) hoặc trong lớp bảo hoà của nó (đối với nguồn dày) trên một đơn vị thời gian.

3.11 Hiệu suất đo của thiết bị (instrument efficiency), ε_i : Tỷ số giữa số đọc thực (đã trừ nhiễu) của thiết bị đo và suất phát xạ bề mặt của nguồn trong các điều kiện hình học đã cho. Đối với thiết bị đo cho trước, hiệu suất đo của thiết bị phụ thuộc vào năng lượng bức xạ của nguồn.

Chú thích - Theo định nghĩa 3.9 và 3.10 thì suất phát xạ bề mặt của nguồn bằng hoạt độ của nguồn nhân với hiệu suất nguồn (xem điều A.1).

4 Phương pháp đánh giá độ nhiễm xạ bề mặt

4.1 Tổng quan

Độ nhiễm xạ bề mặt có thể được đánh giá bằng phương pháp đo trực tiếp hoặc gián tiếp. Phép đo trực tiếp được tiến hành nhờ máy đo độ nhiễm xạ bề mặt và máy theo dõi, nó tương ứng với độ nhiễm xạ bề mặt bám chặt cộng với độ nhiễm xạ bề mặt có thể tẩy bỏ được. Phép đo gián tiếp thường được thực hiện bằng cách lấy mẫu thử, và chỉ sử dụng để đánh giá độ nhiễm xạ có thể tẩy bỏ được.

TCVN 7078-1 : 2002

Mục đích của việc đo độ nhiễm xạ bề mặt là :

- a) trước hết, để phát hiện độ nhiễm xạ bề mặt nhằm xác định sự tồn tại hoặc sự phát tán của chúng và nhằm kiểm soát sự di chuyển của chúng từ vùng nhiễm xạ cao đến vùng nhiễm xạ thấp hơn hoặc đến những vùng chưa bị nhiễm xạ, và
- b) thứ hai, để đánh giá hoạt độ trên một đơn vị diện tích nhằm kiểm chứng việc không vượt quá giới hạn cho phép.

Khả năng ứng dụng và độ tin cậy của phương pháp trực tiếp hoặc gián tiếp theo mục đích đặt ra phụ thuộc rất nhiều vào từng trường hợp cụ thể, ví dụ dạng vật lý và hoá học của chất phóng xạ, độ bám của chất phóng xạ lên bề mặt bị nhiễm xạ (bám chặt hoặc có thể tẩy bỏ), khả năng tiếp cận bề mặt cần đo hoặc tồn tại trường phóng xạ khác có thể gây nhiễu đến phép đo v.v..

Phép đo trực tiếp đặc biệt khó hoặc không thể thực hiện được nếu trên bề mặt tồn tại các chất lỏng không có tính phóng xạ hoặc chất rắn kết tụ hoặc tồn tại một trường bức xạ gây nhiễu khác. Phương pháp đo gián tiếp thường hay được áp dụng, đặc biệt khi bề mặt nhiễm xạ nằm ở vị trí khó tiếp cận hoặc có cấu hình mà phép đo trực tiếp không dễ dàng thực hiện được hoặc ở những nơi mà trường bức xạ ngoài gây nhiễu mạnh tới thiết bị đo. Tuy nhiên các phép đo gián tiếp không thể đánh giá được độ nhiễm xạ bám chặt và do độ không ổn định lớn liên quan tới hệ số tẩy, nên phương pháp gián tiếp thường chỉ dùng để phát hiện các chất nhiễm xạ có thể tẩy bỏ được.

Do khiếm khuyết vốn có của cả phương pháp đo trực tiếp và gián tiếp đối với việc đánh giá độ nhiễm xạ bề mặt, nên trong nhiều trường hợp thường sử dụng kết hợp cả hai phương pháp để bảo đảm kết quả phù hợp tốt nhất với mục đích đề ra.

Do hiệu suất của thiết bị đo thay đổi theo năng lượng tia, nên phải thận trọng trong việc đánh giá các trường hợp nhiễm xạ beta hỗn hợp (xem điều 5). Điều này rất đúng đối với các thiết bị đo hoạt độ bề mặt.

4.2 Đo trực tiếp độ nhiễm xạ bề mặt

4.2.1 Yêu cầu đối với thiết bị đo

Đặc trưng kỹ thuật của thiết bị đo phải tuân theo các yêu cầu nêu trong xuất bản phẩm số 325 của IEC.

Các thiết bị phải có khả năng đo được hoạt độ thấp dưới giới hạn nhiễm xạ bề mặt cho phép, là mức dùng làm mốc để so sánh các kết quả độ nhiễm xạ. (giới hạn cho phép được quy định trong quy phạm quốc tế hoặc quốc gia hoặc trong trường hợp không có quy phạm thì nó sẽ được xác định bởi các tiêu chuẩn hoặc sự thoả thuận ở từng vùng).

Chú thích -

1. Khả năng nói trên có thể được mô tả chặt chẽ và đúng hơn bằng thuật ngữ "giới hạn phát hiện dưới" hoặc "hoạt độ thấp nhất có thể phát hiện được". Tuy nhiên chưa có hiệp định quốc tế nào trong việc định nghĩa các thuật ngữ này. Hơn thế nữa, các phương trình để tính các giá trị liên quan còn quá phức tạp nên chưa thể nêu ra trong tiêu chuẩn này.

2. Các thiết bị dùng để đo trực tiếp độ nhiễm xạ bề mặt thường có diện tích cửa sổ nhạy cảm từ 20 đến 200 cm² và có khả năng đo độ nhiễm xạ bề mặt nhỏ hơn 0,04 Bq.cm⁻² đối với nguồn phát alpha và 0,4 Bq.cm⁻² đối với nguồn phát beta trong điều kiện thông tự nhiên bình thường. Tính hữu dụng của một đầu dò không chỉ được quy định bởi hiệu suất của thiết bị mà còn bởi kích thước của cửa sổ độ nhạy. Các thiết bị có cửa sổ độ nhạy lớn đặc biệt hữu dụng đối với các phép đo độ nhiễm xạ trên các bề mặt trải rộng.

4.2.2 Quy trình phát hiện

Dịch chuyển từ từ đầu dò trên bề mặt và lắng nghe sự thay đổi tần suất của các tiếng kêu lách tách, cần tránh sự tiếp xúc giữa các bộ phận của cửa sổ nhạy cảm của đầu dò và bề mặt cần đo. Các tín hiệu chỉ thị âm thanh là tức thì, không phụ thuộc vào độ nhạy thời gian đáp ứng của thiết bị sử dụng. Khi một diện tích nhiễm xạ được phát hiện, phải đặt đầu dò ngay trên diện tích đó và giữ cố định trong một khoảng thời gian đủ để khẳng định sự phát hiện.

Khoảng cách giữa đầu dò và bề mặt phải duy trì ở mức nhỏ nhất có thể được. Có thể sử dụng một dụng cụ định cỡ cho mục đích này.

4.2.3 Quy trình đo

4.2.3.1 Khi đo phải tuân theo các hướng dẫn vận hành thiết bị đo và các yêu cầu sau:

- a) trước khi đo, số đếm phòng phải được xác định tại nơi thực hiện phép đo;
- b) phải thường xuyên kiểm tra số đếm phòng;
- c) tính năng hoạt động của thiết bị phải được kiểm tra, xác nhận bằng một nguồn kiểm tra thích hợp. Tần suất: kiểm tra hàng ngày đối với các thiết bị đo thường xuyên, đối với các trường hợp khác thì kiểm tra trước mỗi lần sử dụng. Nếu sai lệch trên 25% so với giá trị thoả thuận thì phải tăng cường việc hiệu chuẩn lại thiết bị.
- d) điều kiện hình học khi đo phải thật sát với điều kiện hình học dùng để hiệu chuẩn máy; các khoảng cách có mức độ sai khác có thể sử dụng cho mục đích này;
- e) để đo chính xác, đầu dò cần phải giữ ổn định trong khoảng thời gian lớn hơn 3 lần thời gian đáp ứng (95 %);
- f) các giá trị hiệu suất của thiết bị đo phải có sẵn và tương ứng với hạt nhân phóng xạ cần đo (xem điều 5).

4.2.3.2 Hoạt độ beta hoặc alpha của nhiễm xạ bám chặt và nhiễm xạ có thể tẩy bỏ trên một đơn vị diện tích, A_s ¹ của bề mặt được kiểm tra, biểu thị bằng becquerel trên centimet vuông, phụ thuộc vào tốc độ đếm theo công thức sau:

¹ Công thức trên được áp dụng trên cơ sở các giới hạn được quy định ở điều 1.

$$A_s = \frac{n - n_B}{\varepsilon_i \cdot W \cdot \varepsilon_s} \quad (1)$$

trong đó:

n là tốc độ đếm tổng cộng đo được trong một giây;

n_B là tốc độ đếm phông trong một giây;

ε_i là hiệu suất đo của thiết bị đo đối với tia beta hoặc alpha (xem điều 5 và A.2);

W là diện tích của cửa sổ nhạy của thiết bị đo (cửa sổ vào của bức xạ) tính bằng centimet vuông;

ε_s là hiệu suất nguồn gây nhiễm xạ.

Với những giả định hợp lý và cần trọng (xem A.1) các giá trị sau đây của ε_s có thể được sử dụng trong các trường hợp không biết các giá trị chính xác hơn:

$$\varepsilon_s = 0,5 \text{ (đối với nguồn phát tia beta } E_{\beta_{\max}} \geq 0,4 \text{ MeV)}$$

$$\varepsilon_s = 0,25 \text{ (đối với nguồn phát beta } 0,15 \text{ MeV} < E_{\beta_{\max}} < 0,4 \text{ MeV)}$$

Đối với trường hợp có thể đánh giá nhiễm xạ alpha, xem A.1.

Phải hiệu chỉnh thời gian chết cho tốc độ đếm nếu cần.

Đối với nguồn alpha cân bằng hoàn toàn hoặc một phần với các nguồn alpha khác trong dãy phân rã phương pháp đánh giá này cho biết tổng hoạt độ các nguồn alpha có trong dãy. Trong trường hợp cân bằng hoàn toàn thì đóng góp của từng nguồn alpha riêng lẻ có thể tính được bằng cách chia hoạt độ tổng alpha cho số nguồn alpha tham gia trong cân bằng.

Chỉ có thể tính toán tương tự đối với nguồn phát beta nằm cân bằng trong dãy phân rã nếu xác suất ghi nhận được là như nhau (xem bảng 3, cặp đánh dấu *eq).

Đối với các cặp phân rã được đánh dấu là § trong bảng 3, chỉ có hạt nhân phóng xạ được gạch chân là sẽ được đo chính xác bằng thiết bị đo beta chuyên dùng để đo độ nhiễm xạ bề mặt. Trong trạng thái cân bằng, tổng hoạt độ hiệu hữu gấp hai lần hoạt độ beta thu được bằng phương pháp đánh giá chuẩn.

Chú thích - Thiết bị đo có bộ vi xử lý có khả năng tính tự động công thức (1) và đưa ra hướng dẫn về hoạt độ trên một đơn vị diện tích. Do đó thiết bị này phải nhớ được các trị số thích hợp đối với n_B , W , ε_i và ε_s . Các giá trị ε_i và ε_s phải được lựa chọn riêng biệt tùy thuộc vào hạt nhân phóng xạ đo được và cấu trúc của nguồn gây nhiễm xạ. Các giá trị này thường được đưa trước vào bộ nhớ của thiết bị như một hệ số chung. Trong trường hợp hiệu chuẩn thiết bị (xem điều 5, chú thích 5) thì chỉ có giá trị ε_s được lựa chọn.

4.3 Phương pháp gián tiếp đánh giá độ nhiễm xạ bề mặt

4.3.1 Yêu cầu đối với thiết bị đo

Việc đo mẫu lau thường được tiến hành bằng cách sử dụng các thiết bị đếm xung được bố trí cố định và được che chắn tốt. Nếu sử dụng máy kiểm xạ hoặc máy đo độ nhiễm xạ bề mặt cầm tay thì các tính năng và hiệu suất của các thiết bị đo phải phù hợp với tiêu chuẩn trong xuất bản phẩm số 325 của IEC.

Các thiết bị phải có khả năng đo được hoạt độ thấp dưới giới hạn nhiễm xạ bề mặt cho phép (xem 4.2.1, chú thích 1), là mức dùng làm mốc để so sánh các kết quả độ nhiễm xạ. (giới hạn cho phép được quy định trong quy phạm quốc tế hoặc quốc gia, hoặc trong trường hợp không có quy phạm thì nó sẽ được xác định bởi các tiêu chuẩn hoặc sự thoả thuận ở từng vùng).

Chú thích - Các thiết bị đo sẵn có hiện nay có khả năng đo được mức hoạt độ nhỏ hơn 0,4 Bq đối với nhiễm xạ alpha và 4 Bq đối với nhiễm xạ beta.

Dựa trên hai mức hoạt độ này khi lau bề mặt nhiễm xạ có diện tích 100 cm² và sử dụng hệ số tẩy F = 0,1 thì vẫn có thể đo được nhiễm xạ bề mặt nhỏ hơn 0,04 Bq. cm⁻² và 0,4 Bq. cm⁻².

4.3.2 Hướng dẫn lấy mẫu thử

Việc phát hiện và đánh giá độ nhiễm xạ bề mặt có thể được thực hiện bằng cách sử dụng một hoặc một số các mẫu lau khô hoặc ướt.

Khi lấy các mẫu lau từ các diện tích lớn, để xác định được chính xác phân bố độ nhiễm xạ cần phải lưu ý các điểm sau đây

- a) nếu có thể diện tích lấy mẫu lau phải lớn khoảng 100 cm²;
- b) ở những nơi mà quy phạm cho phép, lấy trung bình độ nhiễm xạ bề mặt trên một diện tích rộng, thì các diện tích lấy mẫu đó phải đưa vào tính kết quả theo 4.3.3;
- c) vật liệu dùng để lau phải được chọn cho phù hợp với bề mặt cần kiểm tra (ví dụ giấy lọc đối về bề mặt nhẵn hoặc vải bông đối với các bề mặt thô ráp);
- d) nếu một môi chất làm ướt dùng để làm ẩm vật liệu lau thì môi chất làm ướt này phải không được rút khỏi khăn lau;

Cảnh báo: Vi chất nhiễm xạ có thể bị hấp thụ vào bên trong cấu trúc của khăn lau/vật liệu lấy mẫu thử hoặc bị bao bởi độ ẩm dư thì chất làm ướt có thể dẫn đến kết quả đánh giá độ nhiễm xạ thấp hơn đáng kể đối với các nguồn phát xạ alpha.

- e) mẫu lau cần phải được ép nhẹ lên bề mặt cần đo bằng cách sử dụng các đầu ngón tay hoặc thích hợp hơn cả là bằng một cái kẹp được thiết kế đặc biệt để bảo đảm áp lực phân bố đều và không đổi;
- f) toàn bộ diện tích 100 cm² phải được lau hết;

- g) nếu có thể thì nên sử dụng giấy lọc tròn để làm vật liệu lau;
- h) diện tích nhiễm xạ của mẫu lau phải nhỏ hơn hoặc bằng diện tích nhạy của đầu dò;
- i) sau khi lấy mẫu, vật liệu dùng làm mẫu thử cần phải được làm khô một cách cẩn thận sao cho không làm mất đi hoạt độ trên mẫu thử.

4.3.3 Quy trình đo

Phép đo mẫu lau cần phải được tiến hành theo các bước như mô tả trong 4.2.3.1.

Hoạt độ alpha hoặc beta của các chất nhiễm xạ có thể tẩy bỏ trên bề mặt trên một đơn vị diện tích, A_{sr} ¹⁾ mẫu lau, được biểu diễn bằng becquerel trên centimet vuông, phụ thuộc vào tốc độ đếm của thiết bị đo theo công thức sau:

$$A_{sr} = \frac{n - n_B}{\varepsilon_i \times F \times S \times \varepsilon_s} \quad (2)$$

trong đó

- n là tốc độ đếm tổng cộng trong một giây (s^{-1});
- n_B là tổng số đếm phông trong một giây (s^{-1});
- ε_i là hiệu suất đếm của thiết bị đo đối với tia beta hoặc alpha (xem điều 5 và A.2);
- F là hệ số tẩy bỏ;
- S là diện tích lau, tính bằng centimet vuông;
- ε_s là hiệu suất nguồn của hạt nhân phóng xạ có mặt trong mẫu lau (xem điều A.2).

Phải sử dụng các giá trị ε_s cho trong 4.2.3.2.

Nếu hệ số tẩy sạch F không xác định được bằng thực nghiệm thì có thể sử dụng giá trị cố định của $F = 0,1$.

Để đánh giá các hạt nhân phóng xạ trong trường hợp mất cân bằng, xem 4.2.3.2.

5 Xác định hiệu suất của thiết bị đo

Xác định hiệu suất đo của thiết bị đo bằng phương pháp nguồn chuẩn có suất phát xạ trên một đơn vị diện tích đã cho và phù hợp với tiêu chuẩn ISO 8769.

Kích thước của nguồn chuẩn phải đủ lớn để bao phủ hết cửa sổ đầu dò của thiết bị đo. Trong những trường hợp đặc biệt, khi không có nguồn với kích thước như vậy thì phải tiến hành các phép đo liên tiếp với các nguồn nhỏ hơn nhưng phải có diện tích hoạt tính tối thiểu là 100 cm². Những phép đo này cần phải bao phủ toàn bộ diện tích cửa sổ hoặc tối thiểu là tại các phần đại diện của nó và kết quả sẽ là giá trị trung bình đối với ε_i .

¹⁾ Áp dụng công thức đưa vào sự giới hạn được quy định ở điều 1.

Khi xác định hiệu suất thiết bị đo, cần phân biệt tia bức xạ alpha và beta.

Trong trường hợp sự nhiễm xạ bề mặt alpha, kích thước hạt có thể đạt đến giá trị 10 μm và lớn hơn. Với sự nhiễm xạ các hạt mịn (đường kính hạt từ 0,1 đến 2 μm) các chất phóng xạ có thể trộn lẫn với bụi không phóng xạ trên bề mặt trong khi lấy mẫu và bị nén vào trong vật liệu lấy mẫu. Trong cả hai trường hợp phổ vạch gốc đó chuyển thành một phổ liên tục chứa tất cả các hạt có năng lượng alpha từ 0 đến vạch năng lượng. Do đó hiệu suất của đầu dò thường có giá trị thấp hơn nguồn dạng màng mỏng. Vì lý do này nên các nguồn có bề dày bảo hoà ví dụ hợp kim uran (13 % uran thiên nhiên với 0,06 mm độ dày) là thích hợp để làm nguồn chuẩn công tác đối với các đầu dò đo alpha không nhạy với beta.

Trong trường hợp là chất phát beta, hiệu suất thiết bị đo ε_i phụ thuộc vào năng lượng của các hạt beta và cần xác định đối với năng lượng beta tương ứng với đồng vị nhiễm xạ cần đo.

Trong các nhà máy hoặc phòng thí nghiệm, sử dụng hạt nhân phóng xạ khác nhau với năng lượng beta khác nhau thì chỉ cần sử dụng hiệu suất thiết bị đo đối với một năng lượng beta đơn lẻ. Tuy nhiên phải đảm bảo năng lượng beta của nguồn chuẩn này không lớn hơn nhiều so với năng lượng thấp nhất của các hạt beta cần đo.

Các hạt nhân phóng xạ sau đây thích hợp cho việc sử dụng làm các nguồn chuẩn:

$$^{14}\text{C} \quad (E_{\beta\text{max}} = 0,154 \text{ MeV})$$

$$^{147}\text{Pm} \quad (E_{\beta\text{max}} = 0,225 \text{ MeV})$$

$$^{36}\text{Cl} \quad (E_{\beta\text{max}} = 0,71 \text{ MeV})$$

$$^{204}\text{Tl} \quad (E_{\beta\text{max}} = 0,77 \text{ MeV})$$

$$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y} \quad (E_{\beta\text{max}} = 2,26 \text{ MeV})$$

$$^{106}\text{Ru}/^{90}\text{Rh} \quad (E_{\beta\text{max}} = 3,54 \text{ MeV})$$

Hiệu suất thiết bị đo phải được xác định trong các điều kiện hình học xác định và nó phải gắn với điều kiện thực của phép đo liên tiếp trực tiếp hoặc gián tiếp (xem 4.2.3.1).

Hiệu suất thiết bị đo, ε_i , trên nguồn chuẩn (xem A.2) được tính theo công thức sau;

$$\varepsilon_i = \frac{n - n_B}{q_{2\pi,sc}} = \frac{n - n_B}{E_{sc} \cdot xW} \quad (3)$$

trong đó

n là tốc độ đếm tổng cộng từ nguồn chuẩn và phông trong một giây (s^{-1});

n_B là tốc độ đếm phông trong một giây (s^{-1});

$q_{2\pi,sc}$ là suất phát xạ bề mặt của các nguồn phóng xạ nằm dưới cửa sổ nhạy của đầu dò với diện tích W , cm^2 , tính bằng centimet vuông (cm^2);

TCVN 7078-1 : 2002

E_{sc} là suất phát xạ bề mặt trên một đơn vị diện tích của nguồn chuẩn trong một giây trên centimet vuông ($s^{-1} \cdot cm^{-2}$)

Chú thích -

1. Trong trường hợp ^{90}Sr cân bằng với hạt nhân con của nó ^{90}Y , suất phát xạ bề mặt trên một đơn vị diện tích được dùng trong công thức (3) phải bằng hai lần suất phát xạ bề mặt trên một đơn vị diện tích đối với ^{90}Sr .
2. Nếu suất phát xạ bề mặt của nguồn dùng để chuẩn là chưa biết (có nghĩa là nguồn không tuân theo ISO 8769), thì giá trị ước lượng của E_{sc} có thể được xác định theo A.4.1.
3. Việc sử dụng nguồn tham chiếu có bề dày bảo hoà cho giá trị hiệu suất cần trọng hơn so với khi sử dụng lớp mỏng.
4. Trong một số thiết bị có bộ vi xử lý, ε_i được xác định theo cách sau: đặt đầu dò trên một nguồn chuẩn có diện tích đã biết có độ lớn thích hợp (E_{sc}) có hiệu suất phát xạ đã biết và bằng cách điều chỉnh liên tục hệ số chuẩn, chỉ số tốc độ đếm của máy đo sẽ đạt tới giá trị E_{sc} . Sau đó bật thiết bị để biết hệ số chuẩn ε_i .
5. Phép chuẩn trực tiếp có thể được tiến hành nhờ thiết bị đo có bộ vi xử lý: Đặt đầu dò trên một nguồn chuẩn có diện tích lớn thích hợp của nguồn chuẩn có suất phát xạ trên một đơn vị diện tích đã biết (E_{sc}) và bằng cách điều chỉnh liên tục hệ số chuẩn lên, số chỉ tốc độ đếm của thiết bị sẽ đạt giá trị (E_{sc}/ε_s), trong đó ε_s hiệu suất của nguồn gây nhiễm xạ được đo nhờ một thiết bị hiệu chuẩn.

6 Ghi kết quả phép đo độ nhiễm xạ

Báo cáo kết quả đo độ nhiễm xạ bề mặt phải bao gồm các thông tin sau đây:

- a) ngày tháng;
- b) địa điểm và vị trí;
- c) loại bề mặt khi đo bằng phương pháp gián tiếp;
- d) vật liệu lau (khô hoặc ướt);
- e) chất làm ướt;
- f) hệ số tẩy bỏ đối với phép đo gián tiếp (đo được hoặc tra bảng);
- g) thiết bị đo được sử dụng, số xê-ri;
- h) hiệu suất của thiết bị đo, ngày hiệu chuẩn;
- i) nguồn chuẩn: hạt nhân phóng xạ, suất phát xạ bề mặt (trên đơn vị diện tích);
- j) thiết bị đọc độ nhiễm xạ (bề mặt hay mẫu lau);
- k) số đọc phòng;
- l) hoạt độ trên một đơn vị diện tích;
- m) ghi chú về mức nhiễm xạ lan rộng;
- n) các quan sát khác;
- o) tên người thực hiện.

Phụ lục A

(quy định)

Giải thích thuật ngữ và dữ liệu cơ bản đối với quy trình hiệu chuẩn và đo

A.1 Giới thiệu chung

Độ nhiễm xạ bề mặt thường được định nghĩa là hoạt độ trên một đơn vị diện tích, còn tốc độ đếm được đo bằng thiết bị liên quan trực tiếp đến bức xạ phát ra từ bề mặt chứ không phải hoạt độ phía trên hoặc bên trong bề mặt. Đối với một hoạt độ đã cho trên một đơn vị diện tích, số hạt bức xạ phát ra từ bề mặt trong một đơn vị thời gian phụ thuộc vào lượng tự hấp thụ trong nguồn và lượng tán xạ từ nguồn và vật liệu nền. Sự tự hấp thụ sẽ làm giảm số hạt phát ra và tán xạ ngược sẽ làm tăng số hạt này. Do tính chất hấp thụ và tán xạ khác nhau của các bề mặt, nói chung không thể có một quan hệ đơn giản giữa suất phát xạ và hoạt độ. Bởi vậy yêu cầu phải hiệu chuẩn các thiết bị đo độ nhiễm xạ bề mặt theo hiệu suất đo trên cơ sở suất phát xạ của nguồn và phải tiến hành xác định nguồn chuẩn theo cả hoạt độ và suất phát xạ.

Cho đến nay, việc hiệu chuẩn các thiết bị đo độ nhiễm xạ bề mặt thường được tiến hành bằng cách xác định độ đáp ứng của thiết bị đối với một hoạt độ đã biết (hoặc hoạt độ trên một đơn vị diện tích) của nguồn tham chiếu.

Chú thích - Phương pháp này được nêu ra trong xuất bản phẩm số 325 của IEC ở đó độ đáp ứng đối với hoạt độ trên một đơn vị diện tích của nguồn chuẩn được xác định như là độ đáp ứng hoạt độ bề mặt.

Đối với quy trình này, để thu được hệ số chuẩn duy nhất các nguồn cần phải là những nguồn mỏng lý tưởng, có nghĩa là các nguồn không có sự tự hấp thụ và cũng không có hiện tượng tán xạ ngược. Tuy nhiên trong thực tế các nguồn thường khác xa với nguồn lý tưởng, đặc biệt đối với nguồn phát alpha và beta năng lượng thấp (năng lượng cực đại của beta khoảng 0,4 MeV). Việc hiệu chuẩn dựa trên hoạt độ phóng xạ sẽ dẫn đến một hệ số chuẩn không đơn nhất mà nó phụ thuộc mạnh vào cấu trúc của nguồn; một dải rộng các giá trị có thể thu được khi sử dụng các nguồn chuẩn có cùng một hoạt độ của hạt nhân phóng xạ nhưng có các cấu trúc khác nhau.

Hệ số hiệu chuẩn dựa trên suất phát xạ của nguồn ít phụ thuộc vào cấu trúc nguồn. Việc hiệu chuẩn thiết bị đo độ nhiễm xạ bề mặt dựa trên suất phát xạ chứ không phải theo hoạt độ, điều này cho phép so sánh được độ đáp ứng của thiết bị đo. Điều này cũng giúp để thực hiện được việc sao chép chuẩn theo các chuẩn quốc gia.

Trong phần phụ lục này các thuật ngữ khác nhau liên quan đến phép đo độ nhiễm xạ bề mặt và chuẩn các máy đo độ nhiễm xạ bề mặt sẽ được giải thích nhằm tránh sự nhầm lẫn và bảo đảm hiểu rõ được sự khác nhau giữa hai phương pháp chuẩn. Hiệu suất thiết bị đo ϵ_i và giá trị khuyến cáo đối với hiệu suất của nguồn, ϵ_s , sẽ được xem xét chi tiết hơn.

A.2 Giải thích thuật ngữ

Các thuật ngữ khác nhau nêu trong bảng 1 được giải thích trên hình vẽ. Tốc độ đếm gây bởi bức xạ của nguồn được ký hiệu là n , và $q_1 - q_6$ là tốc độ sinh ra các loại hạt sau:

Loại 1: các hạt trực tiếp đến được đầu dò;

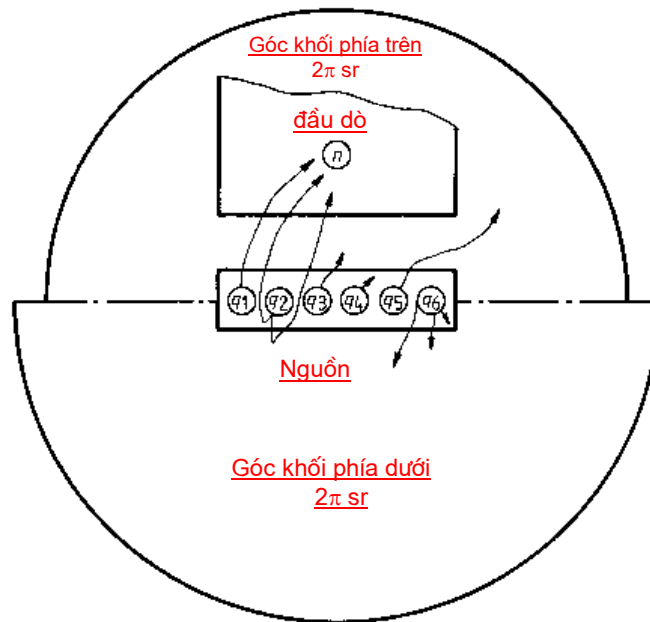
Loại 2: các hạt đến được đầu dò do tán xạ ngược từ nguồn hoặc từ giá đỡ;

Loại 3: các hạt ra khỏi nguồn theo hướng góc khối 2π phía trên nhưng không đến được đầu dò do bị hấp thụ trong không khí;

Loại 4: các hạt ra khỏi nguồn theo hướng góc khối 2π phía trên nhưng không ra khỏi nguồn do sự tự hấp thụ;

Loại 5: các hạt rời khỏi nguồn theo hướng lên trên trong một góc khối 2π phía trên nhưng không đến được đầu dò do các nguyên nhân hình học;

Loại 6: tất cả các hạt rời khỏi nguồn theo góc khối 2π phía trên, bao gồm cả các hạt tán xạ ngược và chỉ loại trừ các hạt loại 2.



Hình - Mặt cắt ngang của một tổ hợp đầu dò và nguồn

Các định nghĩa về thuật ngữ nêu trong bảng 1 được phân loại theo hình vẽ. Thuật ngữ bổ sung "Hiệu suất nội của thiết bị đo, I_i " đôi khi cần thiết và được định nghĩa là "tỷ số giữa tốc độ đếm của đầu dò và số các hạt đi đến đầu dò" trong một đơn vị thời gian. Đối với một nguồn lý tưởng không tự hấp thụ, không tán xạ ngược thì giá trị của ϵ_s là 0,5. Đối với các nguồn thực giá trị ϵ_s thường nhỏ hơn 0,5 nhưng cũng có thể lớn hơn 0,5 tùy thuộc vào độ lớn tương đối của quá trình tự hấp thụ và tán xạ ngược.

Giá trị cực đại của ε_i và I_i bằng 1.

Bảng 1 - Định nghĩa các thuật ngữ

Thuật ngữ	Ký hiệu	Đơn vị	Định nghĩa
Hoạt độ nguồn ¹⁾	A	Bq	$A = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6$
Suất phát xạ bề mặt của nguồn	$q_{2\pi}$	s^{-1}	$q_{2\pi} = q_1 + q_2 + q_3 + q_5$
Hiệu suất nguồn	ε_s	2)	$\varepsilon_s = \frac{q_1 + q_2 + q_3 + q_5}{q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6} = \frac{q_{2\pi}}{A}$
Hiệu suất thiết bị đo	ε_i	2)	$\varepsilon_i = \frac{n}{q_1 + q_2 + q_3 + q_5}$
Hiệu suất nội của thiết bị đo	I_i	2)	$I_i = \frac{n}{q_1 + q_2}$
Độ đáp ứng của thiết bị đo đối với hoạt độ A	R_i	2)	$R_i = \varepsilon_i \times \varepsilon_s = \frac{n}{A}$

1) Định nghĩa hoạt độ được đơn giản hoá này chỉ có thể sử dụng trong những điều kiện hạn chế đã được đề cập trong điều 1. Một cách chặt chẽ thì hoạt độ phải được định nghĩa theo công thức sau:

$$A = \frac{1}{\varepsilon_d} (q_1 + q_2 + \dots + q_6)$$

trong đó

ε_d là số hạt của loại được xem xét sinh ra trong một phân rã.

Tuy nhiên đối với các hạt nhân phóng xạ xem xét trong tiêu chuẩn này (xem bảng 3) thì ε_d được cho bằng 1.

2) Tất cả các hiệu suất đều không có thứ nguyên.

Theo cách xác định cho trong bảng 1, độ đáp ứng của các thiết bị R_i đối với hoạt độ của nguồn chuẩn có thể được viết như sau:

$$R_i = \varepsilon_i \times \varepsilon_s$$

có nghĩa là độ đáp ứng có thể tách thành tích hiệu suất thiết bị đo ε_i (phản ánh đặc trưng kỹ thuật của thiết bị đo và cấu trúc hình học) và hiệu suất phát xạ của nguồn ε_s (phản ánh hầu hết các tính chất cơ bản của nguồn). Do đó hệ số chuẩn R_i thu được khi chuẩn dựa trên hoạt độ của nguồn là tổ hợp của các đặc trưng của đầu dò, nguồn và dạng hình học.

A.3 Những nhận định về hiệu suất thiết bị đo

Về mặt lý thuyết, hiệu suất của thiết bị đo ε_i phụ thuộc không chỉ vào năng lượng beta cực đại hoặc anpha mà còn phụ thuộc vào phân bố năng lượng thực của các hạt phát ra, có nghĩa là vào phổ năng lượng của nguồn. Nói cách khác, hai nguồn có cùng suất phát xạ bề mặt nhưng có phổ năng lượng khác nhau có thể gây ra các tốc độ đếm khác nhau trên cùng một đầu dò. Đó là vì hiệu suất nội của thiết bị đo I_i . Hiệu suất này nói chung là phụ thuộc vào năng lượng và do đó số các hạt tới được đầu dò trong một đơn vị thời gian có thể thay đổi vì có sự khác nhau về số hấp thụ trong không khí. Nói một cách chặt chẽ, hiệu suất thiết bị đo ε_i cũng có phụ thuộc vào cấu trúc nguồn và giá trị ε_i được dùng để tính hoạt độ trên một đơn vị diện tích phải tương ứng với phân bố năng lượng của nhiễm xạ thực tế. Cần phải lưu ý rằng số các hạt đến được đầu dò trong một đơn vị thời gian và phổ năng lượng của chúng có thể rất nhạy với sự khác nhau nhỏ nhất giữa dạng hình học phép đo khi tiến hành chuẩn và dạng hình học khi đo thực tế. Tuy nhiên, đối với các mục đích thực tiễn thì ảnh hưởng của phổ nói trên có thể được bỏ qua và giá trị ε_i thu được bởi nguồn chuẩn có năng lượng thích hợp có thể được sử dụng (xem bảng 5).

A.4 Giá trị khuyến cáo đối với hiệu suất của nguồn

A.4.1 Nguồn tham chiếu

Hiệu suất của một nguồn tham chiếu, ε_{sc} , chỉ biết được khi biết cả hoạt độ và suất phát xạ bề mặt của nguồn ($\varepsilon_s = q_{2\pi}/A$), xem bảng 1).

Chú thích - Trong trường hợp đặc biệt nguồn có lớp bảo hoà, khi biết được hoạt độ trong độ dày lớp bảo hoà thì hoạt độ A trong công thức đối với ε_s cũng có nghĩa là hoạt độ bên trong bề dày lớp bảo hoà. Điều này cần thiết phải biết để thực hiện hiệu chỉnh khi tính ε_i tương ứng với điều 5.

Nếu một nguồn chuẩn (có diện tích hoạt tính $V \text{ cm}^2$) chỉ biết được hoạt độ (A) hoặc là hoạt độ trên một đơn vị diện tích (A^*) thì có thể sử dụng giá trị $\varepsilon_{sc} = 0,5$. Nếu sử dụng công thức (3) trong điều 5, thì $E_{sc} = (0,5 A)/V$ hoặc $E_{sc} = 0,5A^*$. Việc tính ε_i sẽ cho kết quả ước tính cẩn trọng (có nghĩa là thấp hơn giá trị thực) vì sự đóng góp các tia tán xạ ngược đối với bề mặt được bỏ qua. Các nguồn chuẩn có trên thị trường được xác định bởi hoạt độ và thường làm bằng vật liệu có sự tán xạ ngược thấp (ví dụ bằng nhôm). Tán xạ ngược bảo hoà đối với nguồn beta mỏng đặt trên đế nhôm khoảng 30 % và nhỏ hơn 20 % trên vật liệu nhựa và các vật liệu khác có Z thấp đối với tất cả các năng lượng beta được xét đến trong tiêu chuẩn này. Tán xạ ngược đối với các nguồn anpha trong mọi trường hợp đều nhỏ hơn 5%.

A.4.2 Nguồn nhiễm xạ

Hiệu suất của một nguồn nhiễm xạ anpha hoặc beta thực ε_s là khó đánh giá và có thể thay đổi hàng chục lần do sự khác nhau về cấu trúc của các nguồn thực tế. Ở đây chỉ xét đến quá trình tự hấp thụ của nguồn, vì tán xạ ngược làm tăng tốc độ đếm và việc bỏ qua sự tán xạ ngược sẽ tăng thêm tính an toàn bằng cách tạo ra một giá trị hoạt độ cẩn trọng (cao hơn) đối với hoạt độ trên một đơn vị diện tích.

Giá trị khuyến cáo của ϵ_s đối với nguồn beta nhận được bằng cách xem xét các loại nguồn gây nhiễm xạ sau đây:

- các lớp mỏng của nguồn beta được bao bọc bởi lớp vật liệu không phóng xạ có mật độ khoảng $2,5 \text{ mg/cm}^2$;
- các nguồn beta đồng nhất có độ dày của một tờ giấy lọc dùng để lau mẫu thử ($\approx 10 \text{ mg/cm}^2$).

Loại thứ nhất có thể gặp trong các phép đo trực tiếp, loại thứ hai chủ yếu hay gặp trong các phép đo gián tiếp.

Trong cả hai trường hợp, sự giảm hiệu suất của nguồn do sự tự hấp thụ trong nguồn được bỏ qua ($\epsilon_s = 0,5$) đối với nguồn phát beta có năng lượng cực đại $E_{\beta_{\max}} \geq 0,4 \text{ MeV}$. Các nguồn phát beta có năng lượng $0,15 \text{ MeV} < \epsilon_s < 0,4 \text{ MeV}$ sẽ có hiệu suất trung bình khoảng 0,25 trong các điều kiện như nhau. Việc áp dụng các giá trị này có thể dẫn đến đánh giá thấp hoạt độ beta được bao phủ bởi lớp vỏ có khả năng hấp thụ cao hơn. Tuy nhiên cần phải lưu ý rằng sự đóng góp của các vật liệu phóng xạ như vậy đối với nguy cơ xâm nhập hít vào hoặc nuốt phải và chiếu ngoài đồng thời được giảm xuống.

Trong trường hợp nguồn phát alpha, việc đánh giá các giá trị đáng tin cậy và ổn định đối với ϵ_s là khó khăn hơn bởi vì trong các trường hợp nhiễm xạ thực tế, nó có thể rất gần "không" ¹⁾. Giá trị lý thuyết đối với nguồn có lớp bảo hoà là $\epsilon_{s,\alpha} = 0,25$ và đối với đa số các nguồn phát alpha có độ dày lớp bảo hoà vào khoảng 5 mg/cm^2 . Việc sử dụng giá trị $\epsilon_{s,\alpha} = 0,25$ sẽ bao quát được hai loại nhiễm xạ quan trọng alpha có thể gặp: các lớp mỏng có độ dày cỡ lớp bảo hoà bị nhiễm xạ bởi các nguồn phát alpha một cách đồng nhất trong trường hợp đo trực tiếp và các nguồn được tạo ra đồng nhất trong quá trình lấy mẫu lau (ở phép đo gián tiếp). Tuy nhiên, giá trị $\epsilon_{s,\alpha} = 0,25$ sẽ dẫn đến đánh giá thấp hoạt độ trên một đơn vị diện tích nhỏ đi trong những trường hợp các nguồn phát alpha nằm sâu hơn độ dày lớp bảo hoà hoặc khi các lớp mỏng gồm các nguồn phát alpha được bao bọc bởi các vật liệu không phóng xạ có độ dày lớn hơn 50% độ dày lớp bảo hoà. Điều này khẳng định tầm quan trọng của các phép đo bằng mẫu lau.

Giá trị khuyến cáo đối với ϵ_s được cho trong bảng 2.

Bảng 2 - Giá trị khuyến cáo đối với ϵ_s

Loại hạt và dải năng lượng, MeV	ϵ_s	Nhận xét
Bêta ($E_{\beta_{\max}} \geq 0,4$)	0,5	Giá trị được giữ nguyên đối với: - các lớp cho độ dày bảo hoà bị nhiễm xạ đồng đều. - các mẫu lau
Bêta ($0,15 < E_{\beta_{\max}} < 0,4$)	0,25	
Alpha	0,25	

¹⁾ RAGHUVAYA, M., GIRIDAR, J. and MARKOSE, P.M. hiệu chỉnh đối với sự tự hấp thụ trong nguồn alpha, *Vật lý Sức khoẻ*, Hãng thông tấn Pergamon 29/12/1975: trang 785 - 786

Bảng 3 - Nguồn beta thích hợp đối với phương pháp đánh giá theo tiêu chuẩn này

Từ khoá:

\bar{E}_β Năng lượng beta trung bình;

P_β Xác suất phân rã beta;

$P_{ME > 20}$ Xác suất phát xạ các hạt điện tử đơn năng lớn hơn 20 keV;

C Có sẵn trên thị trường;

* Cặp phân rã có xác suất phát xạ hiện tượng tự đối với cả hai hạt nhân phóng xạ;

§ Một cặp phân rã trong đó chỉ có một đồng vị có thể phát hiện được (được gạch chân);

eq. Sự cân bằng phân rã là có thể;

Sự khác nhau bất thường giữa $E_{\beta_{max}}$ và E_β ;

(β^+) Nguồn phát beta cộng (+);

(EC) Nguồn phát xạ bắt electron;

(IT) Nguồn phát xạ chuyển dịch đồng phân.

Bảng 3 -

Hạt nhân phóng xạ	Thời gian bán rã	$E_{\beta\max}$ keV	\bar{E}_{β} keV	P_{β} %	$P_{ME>20}$ %	Ghi chú
^{14}C	5730 năm	154	49	100	-	C
$^{18}\text{F} (\beta^+)$	110 phút	634	250	96,7	-	
^{24}Na	15 giờ	1390	554	100	-	C
^{28}Mg	20,9 giờ	860	152	100	29,6	} * eq
^{28}Al	2,24 phút	2864	1242	100	-	
^{32}Si	330 năm	213	65	100	-	
^{32}P	14,3 ngày	1710	694	100	-	C
^{33}P	25,4 ngày	249	77	100	-	
^{35}S	87,4 ngày	167	49	100	-	C
^{36}Cl	$3,01 \cdot 10^5$ năm	710	251	99	-	
^{42}K	12,4 giờ	3521	1430	100	-	C
^{43}K	22,6 giờ	1817	307	99,3	-	
$^{44}\text{Sc}(\beta^+)$	3,93 giờ	1476	633	94,4	-	
^{45}Ca	163 ngày	257	77	100	-	C
^{46}Sc	83,8 ngày	357	112	100	-	C
^{47}Ca	4,54 ngày	1988	345	100	-	C
^{47}Sc	3,42 ngày	601	162	100	0,4	C * no eq.
^{48}Sc	43,7 giờ	657	220	100	0,2	
^{56}Mn	2,58 giờ	2848	830	99,9	-	
^{59}Fe	44,6 ngày	1565	118	99,9	-	
^{60}Co	5,27 năm	318	96	100	-	
^{65}Ni	2,52 giờ	2137	632	100	-	
$^{69\text{m}}\text{Zn} (\text{IT})$	13,8 giờ	-	-	-	5,1	} §
^{69}Zn	56 phút	905	321	100	-	
^{72}Ga	14,1 giờ	3158	498	100	0,4	
^{76}As	26,3 giờ	2969	1064	100	-	
^{77}Ge	11,3 giờ	2486	647	99,7	3,7	} * no eq.
^{77}As	38,8 giờ	690	229	100	-	
^{82}Br	35,3 giờ	444	137	99,3	-	
$^{82}\text{Sr} (\text{EC})$	25 ngày	-	-	-	-	} §
$^{82}\text{Rb}(\beta^+)$	1,25 phút	3356	1474	95,5	-	
^{86}Rb	18,7 ngày	1774	667	100	-	C
^{89}Sr	50,6 ngày	1491	583	100	-	C

Bảng 3 (tiếp theo)

Hạt nhân phóng xạ	Thời gian bán rã	$E_{\beta\max}$ keV	\bar{E}_{β} keV	P_{β} %	$P_{ME>20}$ %	Ghi chú
⁹⁰ Sr	28,6 năm	546	196	100	-	C } * no eq.
⁹⁰ Y	64,1 giờ	2260	935	100	-	
⁹¹ Y	58,5 ngày	1543	602	100	-	} * no eq.
⁹² Sr	2,17 giờ	1930	199 #	100	-	
⁹² Y	3,54 giờ	3634	1447	99,9	-	
⁹³ Y	10,1 giờ	2890	1173	100	0,2	
⁹⁴ Nb	2,03.10 ⁴ năm	471	146	100	0,2	
⁹⁶ Nb	23,4 giờ	749	249	100	0,5	
⁹⁷ Zn	16,9 giờ	1914	696	100	-	
⁹⁷ Nb	72,1 phút	1275	466 #	100	0,2	
⁹⁸ Tc	4,2.10 ⁶ năm	394	118	100	0,4	
⁹⁹ Tc	2,13.10 ⁵ năm	294	85	100	-	
¹⁰⁶ Ru	368 ngày	39	10	100	-	C } §
¹⁰⁶ Rh	30 giây	3540	1411	100	-	
^{110m} Ag	250 ngày	530	67 #	98,4	1,5	C
¹¹¹ Ag	7,46 ngày	1028	350	100	0,1	C
¹¹³ Cd	13,7 năm	586	185	100	-	
¹¹⁵ Cd	44,6 ngày	1621	606	100	-	C
¹¹⁷ Cd	3,36 giờ	1916	204 #	99,2	1,3	} *eq.
¹¹⁷ In	43,8 phút	1140	245	100	15,6	
¹²² Sb	2,7 ngày	1981	575	97,5	0,6	
¹²³ Sn	129 ngày	1397	520	100	-	
¹²⁴ Sb	60,2 ngày	2302	378 #	100	0,4	C
¹²⁶ Sb	12,4 ngày	1790	289 #	100	2,1	
¹³⁰ I	12,4 giờ	1176	279	99,5	1,9	
¹³¹ I	8,04 ngày	807	182	99,5	6,7	C
¹³² I	2,3 giờ	2140	482	100	0,7	
¹³⁴ Cs	2,06 năm	658	156	100	0,8	C
¹³⁷ Cs	30,2 năm	1173	171 #	100	-	C } §
^{137m} Ba (IT)	2,6 phút	-	-	-	-	
¹³⁹ Ba	83,1 phút	2306	893	100	4,2	
¹⁴⁰ La	40,2 giờ	2164	527	100	2,1	C
¹⁴² La	95,4 phút	4517	848 #	100	0,3	
¹⁴² Pr	19,1 giờ	2159	809	100	-	

Bảng 3 – (kết thúc)

Hạt nhân phóng xạ	Thời gian bán rã	$E_{\beta\max}$ keV	\bar{E}_{β} keV	P_{β} %	$P_{ME>20}$ %	Ghi chú
¹⁴³ Pr	13,6 ngày	935	316	100	-	
¹⁴⁴ Ce	284,3 ngày	318	82	100	13,5	C } * eq
¹⁴⁴ Pr	17,28 phút	2996	1207	100	-	
¹⁴⁷ Pm	2,62 năm	225	62	100	-	
¹⁴⁸ Pm	5,37 ngày	2464	726	100	0,2	C
¹⁴⁹ Pm	53 giờ	1071	364	100	0,2	
¹⁵⁹ Gd	18,6 giờ	975	311	100	4,6	
¹⁶⁹ Er	9,4 ngày	350	99	100	-	
¹⁷⁵ Yb	4,19 ngày	468	126	100	5,27	
¹⁸⁵ W	75,1 ngày	432	126	99,9	-	C
¹⁸⁶ Re	90,6 giờ	1077	349	93	14	C
¹⁸⁸ W	69,4 ngày	349	99	100	0,3	} *eq.
¹⁸⁸ Re	17 giờ	2120	764	100	12,5	
¹⁹⁴ Ir	19,2 giờ	2251	808	100	1,1	
¹⁹⁸ Au	2,7 ngày	961	311	100	4,2	C
²⁰⁴ Tl	3,78 năm	770	244	97,4	-	C
²⁰⁹ Pb	3,25 giờ	644	198	100	-	