

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 7078-3:2018

ISO 7503-3:2016

Xuất bản lần 1

**ĐO HOẠT ĐỘ PHÓNG XẠ -
ĐO VÀ ĐÁNH GIÁ NHIỄM BẦ PHONG XẠ BỀ MẶT
PHẦN 3: HIỆU CHUẨN THIẾT BỊ**

*Measurement of radioactivity –
Measurement and evaluation of surface contamination –
Part 3: Apparatus calibration*

HÀ NỘI - 2018

Lời nói đầu

TCVN 7078-3:2018 hoàn toàn tương đương với ISO 7503-3:2016;

TCVN 7078-3:2018 do Tiểu Ban kỹ thuật tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC 85/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 7078 (ISO 7503) *Đo hoạt độ phóng xạ - Đo và đánh giá nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt* gồm các tiêu chuẩn sau:

- TCVN 7078-1:2018 (ISO 7503-1:2016) Phần 1: Nguyên tắc chung;
- TCVN 7078-2:2018 (ISO 7503-2:2016) Phần 2: Phương pháp kiểm tra sử dụng mẫu lau;
- TCVN 7078-3:2018 (ISO 7503-3:2016) Phần 3: Hiệu chuẩn thiết bị.

Lời giới thiệu

Tiêu chuẩn này đưa ra hướng dẫn về việc đo nhiễm bản phóng xạ bề mặt. Tiêu chuẩn này áp dụng cho nhiều tình huống nhiễm bản phóng xạ có thể xảy ra. Sự nhiễm bản phóng xạ phát sinh từ sự thoát các chất phóng xạ ra môi trường trong khu vực. Trong hầu hết các trường hợp, việc thoát ra phóng xạ là vô ý nhưng, đôi khi có thể là do cố ý. Mặc dù mục đích và phạm vi của điều tra có thể khác nhau nhưng các phương pháp tiếp cận để đo mức độ và phạm vi nhiễm bản phóng xạ về cơ bản là giống nhau.

Nhiễm bản phóng xạ có thể phát sinh từ một số hoạt động hoặc sự kiện như sau:

- Sử dụng hóa chất phóng xạ tại các phòng thí nghiệm;
- Điều trị y tế;
- Ứng dụng phóng xạ công nghiệp;
- Tai nạn giao thông;
- Các thiết bị gặp sự cố trực trực;
- Sự phá hoại của kẻ xấu;
- Tai nạn hạt nhân.

Do không có đủ hiểu biết hoặc tài liệu về quá trình xảy ra, nên không phải lúc nào cũng có thể xác định được hoặc phân biệt các nhân phóng xạ khác nhau gây nhiễm bản phóng xạ bề mặt, và việc đánh giá sự nhiễm bản phóng xạ như vậy không thể thực hiện được một cách định lượng. Thay vì sử dụng các thiết bị được hiệu chuẩn với các nhân phóng xạ cụ thể, có thể cần phải sử dụng các thiết bị khác cho phù hợp với mục đích đánh giá.

Tuy nhiên, có trường hợp (ví dụ như thùng chứa vận chuyển nhiên liệu bị nhiễm bản phóng xạ), có thể xác định rõ được đặc tính của nhân phóng xạ hoặc hỗn hợp nhân phóng xạ. Khi đó, có thể cần phải đánh giá sự nhiễm bản phóng xạ bề mặt vượt lên trên cả việc đánh giá định tính đơn thuần của sự nhiễm bản phóng xạ bề mặt bám chặt và không bám chặt. Thêm vào đó, theo yêu cầu được nêu trong các quy định của quốc gia và trong các công ước quốc tế, hoạt độ nhiễm bản phóng xạ bề mặt đo được trên một đơn vị diện tích phải được so sánh với các giá trị khuyến cáo về nhiễm bản phóng xạ bề mặt hoặc các giới hạn về nhiễm bản phóng xạ bề mặt.

Các giá trị khuyến cáo về nhiễm bản phóng xạ bề mặt là đặc trưng cho nhân phóng xạ cụ thể và do đó cần phải hiệu chuẩn thiết bị đo theo các nhân phóng xạ cụ thể. Việc đảm bảo chất lượng hiệu chuẩn là rất quan trọng để tránh không phát hiện được (nghĩa là các sai số quyết định loại II), dẫn đến việc thừa nhận không chính xác sự tuân thủ các giá trị hoặc giới hạn khuyến cáo về nhiễm bản phóng xạ bề mặt nhất định. Đánh giá các bề mặt bị nhiễm bản phóng xạ bởi một hỗn hợp các nhân phóng xạ ở tỉ lệ đã biết yêu cầu phải có các hệ số hiệu chuẩn tương ứng.

TCVN 7078 (ISO 7503) liên quan đến việc đo và đánh giá mức hoạt độ phóng xạ. Tiêu chuẩn này không cung cấp tư vấn kỹ thuật về tháo dỡ, lập kế hoạch giám sát và các kỹ thuật giám sát.

Nhiễm bản phóng xạ bề mặt được xác định dưới dạng hoạt độ trên một đơn vị diện tích và các giới hạn dựa trên các khuyến cáo của Ủy ban Quốc tế về Bảo vệ Phóng xạ (ICRP 103).

Tiêu chuẩn này đề cập phương pháp luận hiệu chuẩn mỗi nhân cụ thể, kết hợp điều chỉnh tổng hợp. Phụ lục A cung cấp các phương pháp hiệu chuẩn đã được đơn giản hóa đối với việc xử lý dữ liệu phát xạ nhân phóng xạ.

Đo hoạt độ phóng xạ – Đo và đánh giá nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt –

Phần 3: Hiệu chuẩn thiết bị

*Measurement of radioactivity – Measurement and evaluation of surface contamination –
Part 3: Apparatus calibration*

1 Phạm vi áp dụng

TCVN 7078:2018 (ISO 7503) và TCVN 10802 (ISO 8769) nhằm giúp những người chịu trách nhiệm xác định hoạt độ phóng xạ trên bề mặt rắn.

Tiêu chuẩn này được áp dụng để đánh giá nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt theo hoạt độ trên một đơn vị diện tích bằng các phương pháp đo trực tiếp và đo gián tiếp và giải quyết những khía cạnh phức tạp trong việc hiệu chuẩn thiết bị.

Tiêu chuẩn này được áp dụng cho các bề mặt được xác định rõ, như bề mặt của các thiết bị và máy móc, các thùng chứa vật liệu phóng xạ, các nguồn kín và tòa nhà hoặc đất đai.

Tiêu chuẩn này có thể được áp dụng cho việc kiểm soát các phòng thí nghiệm và các thiết bị/phương tiện, cũng như cho các hoạt động khắc phục và quan trắc tuân thủ các tiêu chí đã ban hành.

Tiêu chuẩn này cũng đề cập đến những vấn đề sau đây:

- Các phòng thử nghiệm hiệu chuẩn hoặc các tổ chức làm việc với nhân phóng xạ với các đặc tính phát xạ phức tạp hoặc các nhân phóng xạ mà không có nguồn chuẩn hiệu chuẩn;
- Các tổ chức phải thực hiện nhiệm vụ đánh giá các nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt có chứa hỗn hợp của nhiều nhân phóng xạ;
- Các tổ chức/cơ quan có thẩm quyền thực hiện kiểm soát việc vận chuyển vật liệu hạt nhân, hoặc thanh lý vật liệu/thiết bị theo giá trị hướng dẫn của luật pháp quốc gia hoặc các giới hạn theo các công ước quốc tế.

Tiêu chuẩn này không áp dụng đối với nhiễm bẩn phóng xạ trên da, trên quần áo hoặc trên vật liệu rời, như sỏi.

CHÚ THÍCH: Việc đánh giá trực tiếp nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt từ các chất phát ra alpha, các chất phát ra beta và các bức xạ photon đã được qui định trong TCVN 7078-1 (ISO 7503-1). Phương pháp kiểm tra sử dụng mẫu lau để đánh giá nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt được đưa ra trong TCVN 7078-2 (ISO 7503-2).

2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau rất 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 sửa đổi, bổ sung (nếu có).

TCVN 7078-1 (ISO 7503-1), Đo hoạt độ phóng xạ – Đo và đánh giá nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt – Phần 1: Nguyên tắc chung

TCVN 7078-2 (ISO 7503-2), Đo hoạt độ phóng xạ – Đo và đánh giá nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt – Phần 2: Phương pháp thử sử dụng mẫu lau

TCVN 10802 (ISO 8769), Nguồn chuẩn – Hiệu chuẩn các thiết bị đo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt – Nguồn phát alpha, beta và photon

TCVN ISO/IEC 17025 (ISO/IEC 17025), Yêu cầu chung về năng lực đối với phòng thử nghiệm và hiệu chuẩn

ISO 11929, *Determination of the 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) đối với phép đo bức xạ ion hóa – Các cơ sở và ứng dụng)

IEC 60325, *Radiation protection instrumentation – Alpha, beta and alpha/beta (beta energy >60 keV) contamination meters and monitors* (Thiết bị an toàn bức xạ – Máy đo nhiễm bẩn phóng xạ alpha, beta và alpha/beta (năng lượng beta >60 keV))

3 Thuật ngữ và định nghĩa, ký hiệu và chữ viết tắt

3.1 Thuật ngữ và định nghĩa

Trong tiêu chuẩn này, áp dụng các thuật ngữ và định nghĩa trong TCVN 7078-1 (ISO 7503-1) và TCVN 7078-2 (ISO 7503-2) và các thuật ngữ và định nghĩa sau:

3.1.1

Xác suất phát xạ của nhân phóng xạ (emission probability of a radionuclide)

Tỷ số giữa số hạt của một loại đã cho trên một năng lượng đã cho hoặc số photon được tạo ra trong một đơn vị thời gian bởi một nhân phóng xạ, với số phân rã của nhân phóng xạ này trên một đơn vị thời gian.

3.1.2

Hệ số xuất hiện của một nguồn (emergence factor of a source)

Tỷ số giữa số các hạt của một loại đã cho hoặc số các photon được tạo ra hoặc thoát ra bên trong nguồn (với nguồn mỏng) hoặc trong một lớp dày bão hòa của một nguồn (đối với nguồn dày) trên một đơn vị thời gian, với số các hạt cùng một loại nhân phóng xạ đó trên mức năng lượng đã cho hoặc số các photon phát ra từ mặt trước của nguồn hoặc từ cửa sổ của nguồn trên một đơn vị thời gian (suất phát xạ bề mặt)

3.1.3

Hiệu suất nguồn (source efficiency)

Tỷ lệ giữa số các hạt của loại đã cho trên một năng lượng đã cho hoặc số các photon phát ra từ mặt trước của nguồn hoặc từ cửa sổ của nguồn trên một đơn vị thời gian (suất phát xạ bề mặt), với số hạt cùng loại hoặc số các photon được tạo ra hoặc thoát ra bên trong nguồn (với nguồn mỏng) hoặc trong một lớp dày bão hòa của nguồn (với nguồn dày) trên một đơn vị thời gian.

3.2 Ký hiệu và từ viết tắt

Trong tiêu chuẩn này, áp dụng các ký hiệu và chữ viết tắt đã qui định trong TCVN 7078-1 (ISO 7503-1) và TCVN 7078-2 (ISO 7503-2) và các ký hiệu và chữ viết tắt sau:

p_e	xác suất của một hạt xuất hiện từ bề mặt
p_c	xác suất của một hạt xuất hiện từ bề mặt của một nguồn hiệu chuẩn
P	giá trị nghịch đảo của xác suất của một hạt xuất hiện từ bề mặt
$E_{i,j}$	hệ số xuất hiện của nguồn với một năng lượng hoặc vùng năng lượng đã cho i và với loại bức xạ j (bức xạ alpha hoặc beta hoặc photon)
a_i	thành phần i của đường phân rã nhân phóng xạ
$\varepsilon_{i,j}$	hiệu suất thiết bị đối với năng lượng hoặc vùng năng lượng đã cho i và đối với loại bức xạ j (bức xạ alpha hoặc beta hoặc photon), tính bằng s^{-1}/s^{-1}
k_i	hệ số phân nhánh của đường phân rã nhân phóng xạ i
$C(A)_n$	hệ số hiệu chuẩn hoạt độ trong phương pháp trực tiếp đối với nhân phóng xạ n , tính bằng $(Bq \cdot cm^{-2})/s^{-1}$
S_G	diện tích vùng hoạt động của nguồn hiệu chuẩn, bằng với diện tích trung bình đối với giá trị khuyến cáo về nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt, tính bằng cm^2
$\eta_{i,j}$	dữ liệu cường độ phát xạ tổng đối với một vùng năng lượng đã định và đối với loại phóng xạ j (bức xạ alpha hoặc beta hoặc photon)
G_n	giá trị khuyến cáo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt riêng của một nhân phóng xạ n , tính bằng $Bq \cdot cm^{-2}$
$r_{G,n}$	tốc độ đếm thực của thiết bị tương đương với giá trị khuyến cáo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt nhân phóng xạ G_n cho nhân phóng xạ n , tính bằng s^{-1}

$M_{G,n}$	bội số của giá trị khuyến cáo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt G_n
$E_{\beta,max}$	năng lượng bức xạ beta cực đại, tính bằng MeV
P_d	xác suất cho một máy đo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt để phát hiện một bậc phân rã n bước
$A_{s,n}$	hoạt độ trên một đơn vị diện tích của nhiễm bẩn phóng xạ bám chặt và nhiễm bẩn phóng xạ không bám chặt của nhân phóng xạ n , tính bằng Bq.cm ⁻²
$C(A)_m$	hệ số hiệu chuẩn hoạt độ trong phương pháp đo trực tiếp đối với một hỗn hợp nhân phóng xạ đã cho m , và đã biết phần đóng góp của nhân phóng xạ vào hỗn hợp, tính bằng (Bq.cm ⁻²)/s ⁻¹
G_m	giá trị khuyến cáo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt đối với một hỗn hợp nhân phóng xạ đã định m , và đã biết phần đóng góp của nhân phóng xạ vào hỗn hợp, tính bằng Bq.cm ⁻²
f_n	phần nhân phóng xạ n trong hỗn hợp nhân phóng xạ
$A_{s,m}$	hoạt độ trên đơn vị diện tích của nhiễm bẩn phóng xạ bám chặt và không bám chặt của hỗn hợp nhân phóng xạ m , tính bằng Bq.cm ⁻²
$r_{G,m}$	tốc độ đếm của thiết bị tương đương với giá trị khuyến cáo về nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt G_m , tính bằng s ⁻¹
$M_{G,m}$	bội số của giá trị khuyến cáo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt G_m
$C(A)_n^{ind}$	hệ số hiệu chuẩn hoạt độ trong phương pháp đo gián tiếp đối với hạt nhân phóng xạ đã định n , tính bằng (Bq.cm ⁻²)/s ⁻¹
L_n	giới hạn nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt của nhân phóng xạ cụ thể, tính bằng Bq.cm ⁻²
$r_{L,n}$	tốc độ đếm thực của thiết bị tương đương với giới hạn nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt L_n , tính bằng s ⁻¹
$C(A)_m^{ind}$	hệ số hiệu chuẩn hoạt độ trong phương pháp đo gián tiếp đối với hỗn hợp nhân phóng xạ đã định m , và đã biết phần đóng góp của nhân phóng xạ vào hỗn hợp, tính bằng (Bq.cm ⁻²)/s ⁻¹

4 Phương pháp đánh giá nhiễm xạ bề mặt

Khả năng áp dụng và độ tin cậy của phép đo trực tiếp hoặc đánh giá gián tiếp nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt phụ thuộc rất nhiều vào các trường hợp cụ thể [ví dụ: dạng vật lý và hóa học của sự nhiễm bẩn phóng xạ, sự bám dính của chất gây nhiễm bẩn phóng xạ trên bề mặt (bám chặt hoặc không bám chặt), khả năng tiếp cận với bề mặt để đo hoặc sự xuất hiện của các trường bức xạ gây nhiễu].

Phép đo trực tiếp qui định trong TCVN 7078-1 (ISO 7503-1) được sử dụng khi bề mặt dễ tiếp cận, khá sạch và không có bức xạ gây nhiễu, như không có phòng bức xạ cao. Đo trực tiếp được sử dụng để xác lập sự hiện diện của cả nhiễm bẩn phóng xạ bám chặt và nhiễm bẩn phóng xạ không bám chặt.

Việc xác định trực tiếp nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt được qui định trong TCVN 7078-1 (ISO 7503-1).

Việc đánh giá gián tiếp nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt thường được áp dụng khi không thể dễ dàng tiếp cận bề mặt, do khó khăn về vị trí hoặc cấu hình, nơi có trường bức xạ gây nhiễu ảnh hưởng bất lợi đến việc đo nhiễm bẩn phóng xạ hoặc khi phương pháp đo trực tiếp bằng thiết bị đo tiêu chuẩn không có

sẵn (ví dụ triti). Ngoài ra, phương pháp gián tiếp không thể đánh giá nhiễm bẩn phóng xạ bám chắc, và do có độ không đảm bảo trong hiệu suất lau, nên việc áp dụng phương pháp gián tiếp dẫn đến các đánh giá phải thận trọng/ bảo thủ.

Việc đánh giá gián tiếp nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt được qui định trong TCVN 7078-2 (ISO 7503-2).

Do những khiếm khuyết vốn có của cả phép đo trực tiếp và đánh giá gián tiếp nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt, trong nhiều trường hợp, việc kết hợp sử dụng cả hai phương pháp đồng thời sẽ đảm bảo cho kết quả đáp ứng tốt nhất mục tiêu của đánh giá.

5 Phương pháp luận mang tính nguyên tắc về hiệu chuẩn trực tiếp gồm cả hiệu chỉnh tổng thể

5.1 Tổng quát

Điều 5 nhằm làm rõ việc diễn giải các phép đo sử dụng các thiết bị đo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt. Mặc dù các phép đo như vậy là đơn giản, nhưng trong các tiêu chuẩn quốc gia, tiêu chuẩn quốc tế và các tài liệu quảng cáo của nhà sản xuất thiết bị đã sử dụng nhiều thuật ngữ gây khó hiểu. Việc diễn giải không đúng các thuật ngữ có thể dẫn đến sai sót trong các phép đo được báo cáo hoặc trong việc lựa chọn thiết bị không phù hợp.

Điều 5.2 bắt đầu từ các nguyên tắc hiệu chuẩn đầu tiên, xác định mọi giả định được đưa ra và sử dụng cách tiếp cận này để chỉ ra sự khác biệt giữa các thông số được sử dụng để mô tả đáp ứng của thiết bị.

Hệ số P , là hệ số phản ánh bản chất của bề mặt cần quan trắc, được giới thiệu trong 5.3 và được thảo luận trong 5.4.

Việc hiệu chuẩn khi sử dụng các nguồn hiệu chuẩn qui định trong TCVN 10802 (ISO 8769) cho phép xác định đặc tính đáp ứng năng lượng của thiết bị, đáp ứng theo phát xạ, trong dải năng lượng rộng (5.5.1). Điều này cho phép các đáp ứng được nội suy đối với những phát xạ khác nhau liên quan đến một nhân phóng xạ cụ thể. Nếu mỗi đáp ứng phát xạ này sau đó được điều chỉnh bởi hệ số P (5.4), thì có thể kết hợp chúng lại với nhau để đưa ra một hệ số đáp ứng của thiết bị đối với tổ hợp các nhân phóng xạ/bề mặt dưới dạng đáp ứng trên $Bq.cm^{-2}$ (5.5.3).

5.2 Hiệu chuẩn đối với nhân phóng xạ với các sơ đồ phân rã phóng xạ đơn

Sau đây, giả định rằng, nhân phóng xạ đang được xem xét sẽ phát ra một hạt đơn trong mỗi một phân rã (ví dụ: một chất chỉ phát xạ beta khi phân rã trực tiếp sẽ trở thành nhân phóng xạ con ở trạng thái cơ bản).

Nếu một detector rất mỏng (mỏng không giới hạn) của một thiết bị đo lý tưởng với diện tích đầu dò hiệu quả S_p được đặt trực tiếp lên trên bề mặt cần quan trắc, detector sẽ chỉ phát hiện các hạt phát ra từ bề mặt trực tiếp phía dưới thiết bị đo (tức là không có hiệu ứng rìa). Xác suất của một hạt phát ra từ bề mặt sẽ được xác định bởi p_e và mỗi hạt chạm vào thiết bị, được phát hiện với một hiệu suất ϵ , và để

đơn giản hóa trong thảo luận này, hiệu suất này được giả định là không phụ thuộc vào năng lượng của hạt.

Để hiệu chuẩn thiết bị lý tưởng này, đặt thiết bị lên trên một nguồn hiệu chuẩn đã biết tốc độ phát xạ bề mặt R_c và diện tích vùng hoạt động S_c (diện tích vùng hoạt động lớn hơn diện tích cửa sổ của detector). Giả sử tốc độ đếm phòng bằng không, tốc độ đếm quan sát được là:

Nếu hoạt độ của nguồn hiệu chuẩn là A_c , thì có thể thấy $R_c = A_c \cdot p_c$ và Công thức (1) sẽ được viết thành Công thức (2).

$$\rho_c = \varepsilon \cdot \frac{R_c}{S_c} \cdot S_p \quad (1)$$

$$\rho_c = \varepsilon \cdot \frac{A_c \cdot p_c}{S_c} \cdot S_p \quad (2)$$

Nếu đặt thiết bị lên trên một bề mặt bị nhiễm bản phóng xạ đồng nhất (có diện tích bề mặt bị nhiễm bản phóng xạ lớn hơn diện tích cửa sổ detector) với cùng một loại nhân phóng xạ như nguồn hiệu chuẩn, thì tốc độ đếm quan sát được là:

$$\rho' = \varepsilon \cdot \frac{R'}{S'} \cdot S_p \quad (3)$$

Trong đó các thuật ngữ đã nêu sẽ liên quan đến bề mặt bị nhiễm bản phóng xạ.

Suất phát xạ trên một đơn vị diện tích bề mặt bị nhiễm bản phóng xạ được xác định bởi:

$$\frac{R'}{S'} = \rho' \cdot \left(\frac{A_c}{S_c} \right) \cdot \left(\frac{p_c}{\rho_c} \right) \quad (4)$$

Giả sử rằng, hoạt độ trên bề mặt bị nhiễm bản phóng xạ có liên quan với suất phát xạ đo được theo hệ thức $R' = A_s' \cdot p_s'$, thì hiển nhiên sẽ có

$$\frac{A_s'}{S'} = \rho' \cdot \frac{1}{p_c'} \cdot \left(\frac{A_c}{S_c} \right) \cdot \left(\frac{p_c}{\rho_c} \right) \quad (5)$$

Có thể thấy rằng, các công thức nêu trên có chứa các số hạng mô tả thiết bị (đó là ε và S_p) (xem Bảng 1) và số hạng mô tả bề mặt được quan trắc (ρ_s) (xem Bảng 2). Số hạng cuối cùng có liên quan đến "hệ số P" (xem 5.3).

Các đại lượng trong các công thức trên có thể được kết hợp để đưa ra một thông số mô tả thiết bị, hệ số đáp ứng của thiết bị, và một thông số mô tả bề mặt đang được kiểm tra. Các hệ số đáp ứng của thiết bị đã được định nghĩa theo nhiều cách khác nhau theo thời gian và các định nghĩa này được thể hiện trong Bảng 1 dưới đây.

Ba định nghĩa độc lập với bản chất bề mặt của nguồn hiệu chuẩn với điều kiện là các hệ số đáp ứng được xác định bằng cách sử dụng các nguồn hiệu chuẩn phát ra một hạt đơn trong mỗi phân rã. Tuy nhiên, hoạt độ liên quan đến đáp ứng của thiết bị $I(A)$ và hoạt độ liên quan đến hệ số hiệu chuẩn $C(A)$ lại phụ thuộc vào cả đặc tính của thiết bị và bản chất của bề mặt của nguồn hiệu chuẩn (được thể hiện bằng ρ_c).

Bảng 1 – Các định lượng mô tả thiết bị

Định nghĩa	Ký hiệu	Công thức	Mô tả
Hiệu suất của thiết bị	ε	$\varepsilon = \rho_c \cdot \left(\frac{S_c}{R_c} \right) \cdot \left(\frac{1}{S_p} \right)$	Hiệu suất của thiết bị = tốc độ đếm quan sát được trên suất phát xạ bề mặt bên dưới cửa sổ detector
Đáp ứng của thiết bị (Phát xạ)	$I(E)$	$I(E) = \varepsilon \cdot S_p = \rho_c \cdot \left(\frac{S_c}{R_c} \right)$	Hiệu suất của thiết bị nhân với diện tích cửa sổ = tốc độ đếm quan sát được trên suất phát xạ trên một đơn vị diện tích
Đáp ứng của thiết bị (Hoạt độ)	$I(A)$	$I(A) = \varepsilon \cdot S_p \cdot p_c = \rho_c \cdot \left(\frac{S_c}{R_c} \right) \cdot p_c$	Hiệu suất của thiết bị nhân với diện tích cửa sổ nhân với xác suất của một hạt hoặc photon rời khỏi bề mặt nguồn = tốc độ đếm quan sát được trên Bq trên một đơn vị diện tích
Hệ số hiệu chuẩn (Phát xạ)	$C(E)$	$C(E) = \frac{1}{\varepsilon \cdot S_p} = \frac{1}{\rho_c} \cdot \left(\frac{R_c}{S_c} \right)$	Giá trị nghịch đảo của hiệu suất thiết bị nhân với diện tích cửa sổ
Hệ số hiệu chuẩn (Hoạt độ)	$C(A)$	$C(A) = \frac{1}{\varepsilon \cdot S_p \cdot p_c} = \frac{1}{\rho_c} \cdot \left(\frac{R_c}{S_c} \right) \cdot \frac{1}{p_c}$	Giá trị nghịch đảo của hiệu suất thiết bị nhân với diện tích cửa sổ nhân với xác suất của hạt rời khỏi bề mặt nguồn

Bảng 2 – Các đại lượng mô tả bề mặt

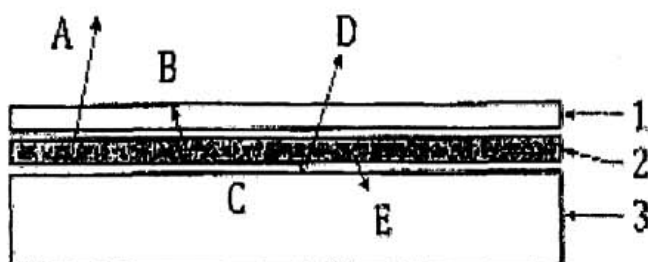
Đại lượng	Ký hiệu	Mô tả
Suất phát xạ bề mặt của nguồn hiệu chuẩn	R_c	Suất phát xạ bề mặt của các hạt hoặc các photon
Hệ số P	$P \left(= \frac{1}{P_c} \right)$	Giá trị nghịch đảo của xác suất phát xạ hạt

5.3 Hệ số P đối với nhân phóng xạ có sơ đồ phân rã không phức tạp

Khái niệm về hệ số P lần đầu tiên được giới thiệu trong quá trình xây dựng Tài liệu tham khảo [3].

CHÚ THÍCH Hệ số P được nêu trong Tài liệu tham khảo [3] để chuyển đổi phép đo suất phát xạ từ nguồn hiệu chuẩn đơn năng lượng phù hợp TCVN 10802 (ISO 8769) thành phép đo hoạt độ. Vì các nguồn hiệu chuẩn như vậy là các nhân phóng xạ đơn với phát xạ đơn lẻ, có xác suất phát xạ 100 %, nên hệ số P có thể được sử dụng rất đơn giản để đạt được sự chuyển đổi này. Hệ số P , về cơ bản, chỉ là giá trị nghịch đảo của P_c (Bảng 2). Định nghĩa ban đầu, "Hệ số P là tỷ số giữa hoạt độ trên một đơn vị diện tích của nguồn với suất phát xạ bề mặt trên một đơn vị diện tích" là chính xác, nhưng chỉ đúng cho các nguồn hiệu chuẩn TCVN 10802 (ISO 8769) phát xạ đơn.

Để ước tính hệ số P , hình minh họa trong Hình 1 cho thấy có các quá trình phát xạ khác nhau từ một bề mặt nhiễm bẩn phóng xạ.



CHÚ DẪN

- A hạt/photon phát ra từ bề mặt
- B hạt/photon hấp thụ trong bụi bề mặt (xem Bảng 3 và 4)
- C hạt/photon hấp thụ trong lớp hoạt động (xem Bảng 3 và 4)
- D hạt/photon tán xạ ngược từ chất nền (xem Bảng 3 và 4)
- E hạt/photon hấp thụ vào bên trong chất nền
- 1 bụi bề mặt
- 2 lớp hoạt động
- 3 chất nền

Hình 1 – Sơ đồ các quá trình phát xạ từ bề mặt của một nguồn

Giá trị ảnh hưởng của các thành phần B,C và D hệ số P được chỉ ra trong Bảng 3 và Bảng 4. Tham khảo cho Bảng 3 và 4 là Tài liệu tham khảo [4].

Bảng 3 – Các dạng khác nhau của các hiệu ứng suy giảm với loại phát xạ và năng lượng (chỉ minh họa)

Hiệu ứng	Thành phần của hệ số P	Loại hạt bị ảnh hưởng	Giá trị ảnh hưởng
Tán xạ ngược	D	Beta năng lượng cao	Làm tăng phát xạ bề mặt từ 10 % đến 20 % đối với beta năng lượng cao trên mặt sau có số nguyên tử cao (ví dụ: thép)
Tự hấp thụ	C	Alpha	Làm giảm phát xạ bề mặt bởi hệ số = 2 hoặc lớn hơn
		Beta năng lượng thấp (0,15 đến 0,4) MeV	Ngay cả khi lớp lắng đọng rất mỏng cũng gây ra sự giảm đáng kể suất phát xạ bề mặt
		Beta năng lượng cao	Phát xạ bề mặt không bị ảnh hưởng khi lớp lắng đọng mỏng (<1 mg cm ⁻²)
Phủ trên bề mặt	B (xem Bảng 4)	Alpha	Lớp dày 5 mg cm ⁻² : hấp thụ toàn bộ bức xạ α
		Beta năng lượng thấp	Lớp dày 5 mg cm ⁻² : làm giảm phát xạ bề mặt bởi hệ số = 2 hoặc lớn hơn
		Beta năng lượng cao	Lớp dày 5 mg cm ⁻² : làm giảm phát xạ bề mặt 30 %
Bức xạ gây nhiễu			Một số nhiễu gamma có thể xảy ra, ảnh hưởng thường nhỏ (thông thường 1 % đối với ¹³⁷ Cs/ ⁶⁰ Co)

Bảng 4 – Hệ số truyền xạ (phần trăm) đối với lớp phủ bề mặt (chỉ minh họa)

Lớp phủ bề mặt	Khối lượng trên đơn vị diện tích mg/cm ²	Loại nhân phóng xạ và xạ trị điển hình				
		²³⁸ Pu Alpha	¹⁴ C Beta mềm	³⁶ Cl Beta trung bình	⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y Beta trung bình+cứng	⁵⁵ Fe 5,9 Photon keV
		Hệ số phát xạ phần trăm				
Sơn xe	2,6	10	50	90	95	30
Sơn chống gỉ	4,0	0	30	90	95	35
Sơn bóng	2,4	10	50	90	95	50
Sơn dầu	1,4	30	60	95	100	70
Dầu bóng đồ gỗ	0,1	90	95	100	100	95
Dầu sử dụng	1,3	30	70	95	100	70
Dầu lau	0,14	90	95	100	100	95
Mỡ bôi trơn	1,8	20	60	95	100	60

CHÚ THÍCH: Các loại sơn chỉ có một lớp, dầu bóng là hai lớp. Tất cả đều được thực hiện theo hướng dẫn của nhà sản xuất

Tính huống lý tưởng giả định là nhiễm bẩn phóng xạ nằm trong một lớp vô cùng mỏng và không có sự tán xạ. Đối với những giả định này, chính xác một nửa lượng phát xạ là do sự phân rã phóng xạ gây ra và có khả năng đi vào detector. Đối với những trường hợp khi mà chỉ có một phát xạ trong mỗi phân rã, thì hệ số P có giá trị là 2 và hoạt độ trên một đơn vị diện tích lớn gấp hai lần suất phát xạ trên một đơn vị diện tích được cung cấp bởi đáp ứng của detector.

Điều 5.4 tập trung vào việc tính toán hệ số P đối với các nhân phóng xạ với các sơ đồ phân rã phức tạp.

5.4 Các hệ số P đối với các nhân phóng xạ với các sơ đồ phân rã phức tạp

Phần lớn các nhân phóng xạ không biểu lộ theo các sơ đồ phân rã đơn giản và có thể có nhiều nhánh từ mẹ đến trạng thái cơ bản, bao gồm phát ra (các) photon, electron chuyển đổi, và phát xạ thứ cấp như tia X và điện tử Auger. Đối với bất kỳ sự kiện phân rã đơn nào, đều có thể có nhiều hơn một phát xạ được tạo ra, ví dụ, cứ sau mỗi hạt beta lại có một tia gamma phát ra tiếp theo.

Thiết bị có thể phát hiện bất cứ hoặc tất cả các bức xạ phát ra từ một phân rã duy nhất, nhưng chỉ có một sự kiện được thiết bị ghi nhận khi có nhiều phát xạ xảy đồng thời. Đây là lý do chính giải thích tại sao việc diễn giải các giá trị hiển thị trên thiết bị đo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt lại phức tạp, bởi vì nó có nghĩa là, việc tổng hợp xác suất phát hiện tất cả các phát xạ sẽ không chính xác, nếu không có hiệu chỉnh cho việc tổng hợp.

Khi đánh giá hệ số hiệu chuẩn thích hợp (tính bằng $Bq.cm^{-2}/s^{-1}$) cho một nhân phóng xạ cụ thể, cần tính đến xác suất của các phát xạ khác nhau, sự ảnh hưởng của bề mặt đến mỗi phát xạ riêng biệt và xác suất phát hiện trùng phùng được bất kỳ hoặc tất cả các phát xạ từ một phân rã. Do đó, việc đánh giá hệ số đáp ứng của thiết bị, thích hợp cho hầu hết các nhân phóng xạ, là một việc làm phức tạp, bởi vì không thể áp dụng cùng một hệ số P cho từng phát xạ tham gia vào phân rã, và thực sự là, một định nghĩa đơn giản cho hệ số P là không phù hợp ở đây.

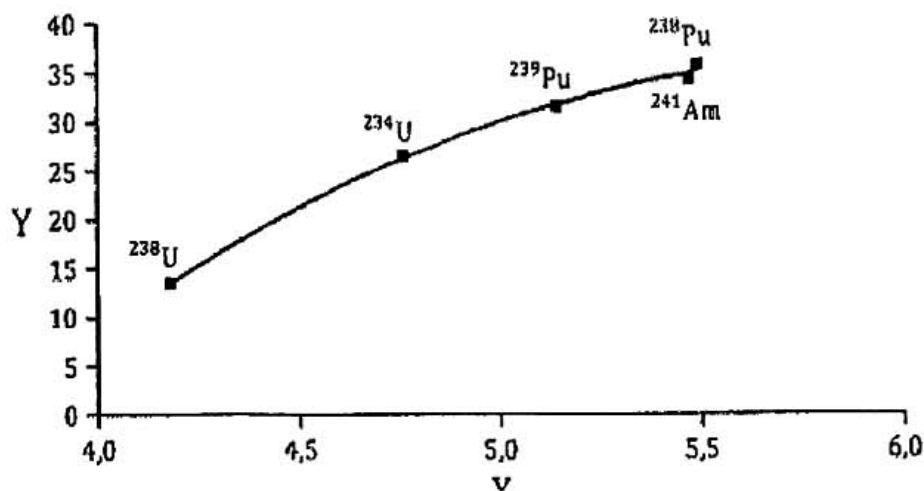
Trong thực tế, độ không đảm bảo cao (đến hàng chục phần trăm) trong phép đo thường có thể được chấp nhận, vì các phép đo có thể chỉ nhằm mục đích sàng lọc hoặc khẳng định lại. Tuy nhiên, vẫn cần phải hiểu các quá trình vật lý cơ bản và các thuật toán đánh giá, để kiểm tra là không bỏ qua các sai số tổng. Thảo luận sau đây nhằm cung cấp một cách tiếp cận tổng thể, nhằm đặt việc đánh giá này vào một nền tảng chắc chắn.

Cần bổ sung thêm một hệ số, "hệ số xuất hiện", hệ số này đặc trưng cho tỷ lệ phát sinh các phát xạ riêng lẻ với phần của các phát xạ xuất hiện từ bề mặt. Định nghĩa hệ số này là E_{ij} cho một năng lượng có liên quan i và phát xạ alpha, beta hoặc gamma j . Sau đó, mỗi phát xạ có thể được lấy lần lượt, giá trị thích hợp cho E_{ij} ước tính được, giá trị này được kết hợp với xác suất phát xạ khi phân rã, và sau đó các hiệu ứng được kết hợp cho tất cả các phát xạ trong phân rã, có tính đến khả năng phát hiện trùng phùng.

5.5 Đánh giá chung về đáp ứng của thiết bị

5.5.1 Xác định đáp ứng năng lượng của thiết bị

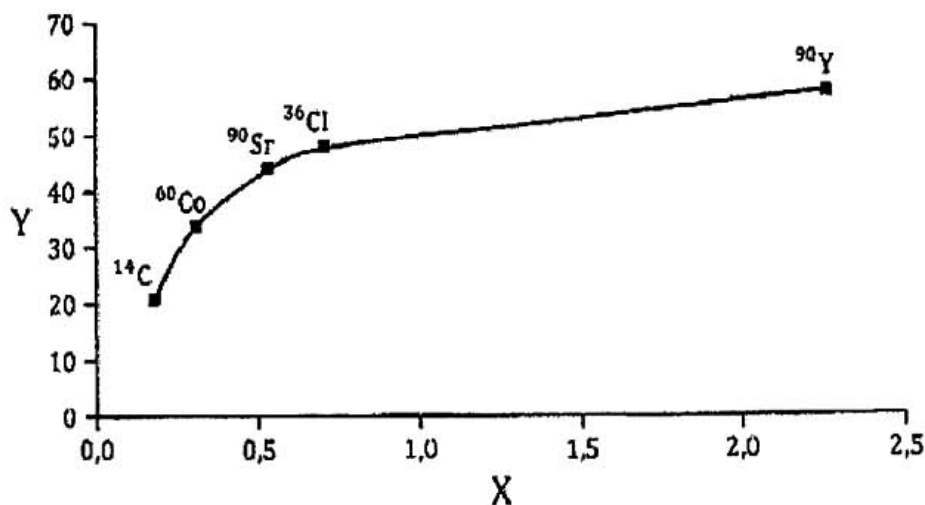
Bước đầu tiên là xác định hiệu suất của thiết bị (5.2) như một hàm số năng lượng cho các loại phát xạ (alpha, beta và photon). Ví dụ về hiệu suất thiết bị được nêu trong Hình 2, 3 và 4



CHÚ DẪN

- X năng lượng alpha (MeV)
Y hiệu suất của thiết bị (%)

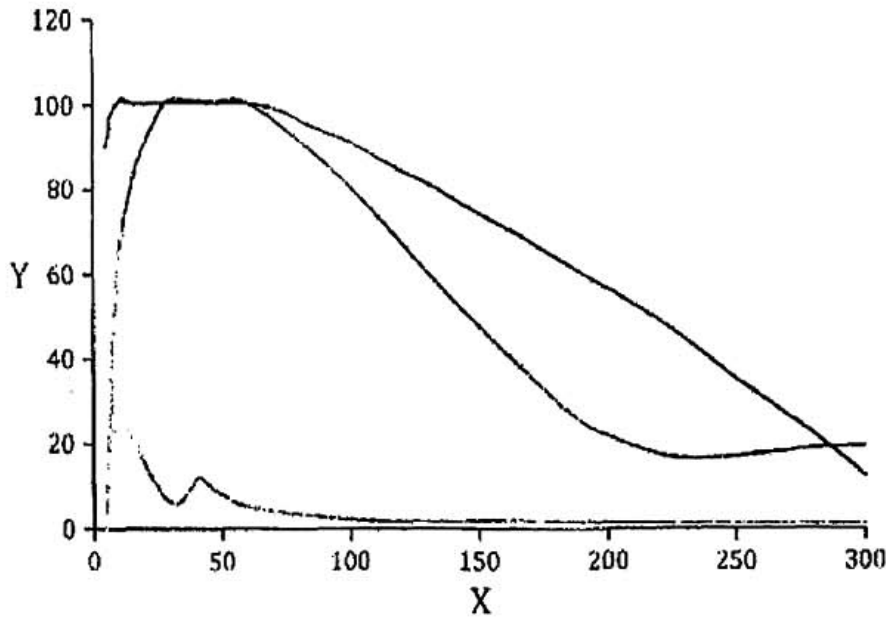
Hình 2 – Năng lượng alpha so với hiệu suất thiết bị (chỉ minh họa)



CHÚ DẪN

- X năng lượng beta E_{\max} (MeV)
Y hiệu suất của thiết bị (%)

Hình 3 – Năng lượng beta so với hiệu suất của thiết bị (chỉ minh họa)

**CHÚ DẪN**

X năng lượng photon (keV)

Y hiệu suất của thiết bị (%)

1. ----- Detector NaI dày 3 mm, cửa sổ Be 47 mg cm^{-2}
2. Detector NaI dày 2 mm, cửa sổ Al 14 mg cm^{-2}
3. ~~~~~~ Detector khí Xe dày 20 mm, cửa sổ Ti 5 mg cm^{-2}

Hình 4 – Năng lượng photon so với hiệu suất thiết bị (chỉ minh họa)

5.5.2 Mô hình hóa đường phân rã của nhân phóng xạ được quan tâm

Đối với mỗi đường phân rã hoàn toàn, có thể có nhiều hơn một phát xạ xảy ra, nhưng chúng thường được phát ra đồng thời (theo tầng) và detector chỉ tạo ra một xung mặc dù có thể phát hiện được nhiều hơn một phát xạ. Cần phải đảm bảo trong tính toán không bao gồm việc đếm kép (hoặc thậm chí đếm nhiều phát xạ).

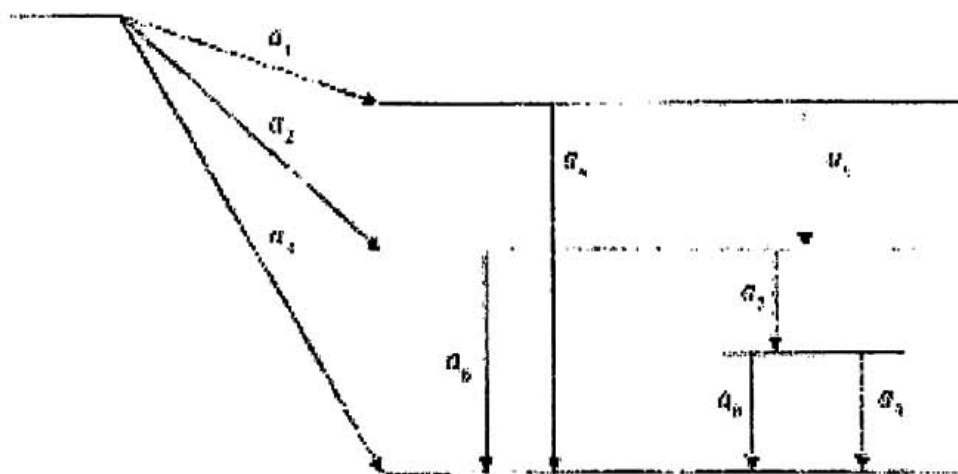
Ở bước này, mỗi đường phân rã (tầng) của nhân phóng xạ, sẽ được xử lý riêng rẽ. Ví dụ, ^{60}Co có một tầng (phân rã một beta theo sau là hai gamma), trong khi ^{131}I có sáu nhánh phát xạ beta, với mỗi nhánh được tiếp theo là phát xạ kết hợp khác nhau của photon, điện tử chuyển đổi, điện tử Auger và tia X. Trường hợp thứ hai này tạo ra hàng chục đường phân rã riêng lẻ và trong mỗi đường phân rã lại phải sử dụng các giá trị E_{ij} khác nhau cho các phân rã khác nhau. Tuy nhiên, do quan trắc bức xạ chỉ yêu cầu mức độ chính xác tương đối thấp, nên nhiệm vụ có thể được đơn giản hóa bằng cách nhóm các nhóm lại một cách thích hợp và với các ngưỡng phù hợp như nêu ra ở dưới đây.

Nhìn chung, quá trình thực hiện là:

- a) Nhận diện từng đường phân rã liên tiếp, hoàn toàn cho nhân phóng xạ và xác định hệ số phân nhánh của nó;

- b) Ước tính hiệu suất vốn có của detector đối với mỗi phát xạ (alpha, beta, gamma) trong đường phân rã đó;
- c) Ước tính hệ số P liên quan đối với mỗi phát xạ từ hiểu biết về bản chất của bề mặt bị nhiễm bẩn phóng xạ;
- d) Tính hiệu suất tổng đối với từng đường phân rã liên tiếp, hoàn toàn.

Ví dụ, một sơ đồ phân rã điển hình (Hình 5) bao gồm độ phức tạp điển hình cho nhiều phân rã nhân phóng xạ. Sự phân rã ban đầu, được trình bày ở đây, là phân rã beta, nhưng phương pháp này áp dụng giống như đối với các hạt nhân phóng xạ, mà ở đó phân rã ban đầu từ trạng thái gốc cơ bản của nhân phóng xạ mẹ xảy ra bằng cách phát xạ hạt alpha hoặc bằng cách bắt điện tử.



Hình 5 – Sơ đồ phân rã điển hình

Nếu, đối với một phát xạ liên quan i có năng lượng e , ϵ_{ij} và E_{ij} được định nghĩa là năng lượng hiệu suất thiết bị đặc thù và hệ số xuất hiện thích hợp, thì sơ đồ phân rã có thể được tóm tắt theo dạng bảng như trong Bảng 5, trong đó hệ số phân nhánh của đường phân rã là phần của các phân rã từ một trạng thái cụ thể.

Bảng 5 – Sơ đồ phân rã theo dạng bảng

Các thành phần của đường	Bản chất phân rã	Hiệu suất vốn có của detector	Hệ số xuất hiện
a ₁	Beta năng lượng thấp	ϵ_1	$E_{1,\beta}$
a ₂	Beta năng lượng trung bình	ϵ_2	$E_{2,\beta}$
a ₃	Beta năng lượng cao	ϵ_3	$E_{3,\beta}$
a ₄	Gamma năng lượng cao	ϵ_4	$E_{4,\gamma}$
a ₅	Gamma năng lượng trung bình	ϵ_5	$E_{5,\gamma}$
a ₆	Gamma năng lượng trung bình	ϵ_6	$E_{6,\gamma}$
a ₇	Chuyển đổi nội bộ	ϵ_7	$E_{8,\gamma}$
a ₈	tia -X (K)	ϵ_8	$E_{8,\gamma}$
a ₉	X-tia (L, M, N ...) và điện tử Auger (K, L, M, N ...)	ϵ_9	$E_{9,\gamma}$

Có 8 đường phân rẽ hoàn toàn tới trạng thái cơ bản và nếu hệ số phân nhánh của từng đường phân rẽ hoàn toàn được định nghĩa là k_i , thì các giá trị này được đưa ra trong Bảng 6:

Bảng 6 – Ví dụ khái niệm về xác suất được liên kết với mỗi đường phân rẽ

Hệ số phân nhánh của đường phân rẽ	Các thành phần của đường phân rẽ	
k_1	$a_1.a_4$	Σk_i bằng xác suất phân rẽ
k_2	$a_1.a_5.a_6.a_7$	
k_3	$a_1.a_5.a_7.a_8$	
k_4	$a_1.a_5.a_7.a_9$	
k_5	$a_2.a_6$	
k_6	$a_2.a_7.a_8$	
k_7	$a_2.a_7.a_9$	
k_8	a_3	

Hãy chỉ xem xét hai trong số hệ số phân nhánh của các đường phân rẽ này, là k_8 và k_4 .

Đối với thành phần đường a_3 , hệ số đáp ứng của thiết bị về hoạt độ tính được theo công thức:

$$I(A) = \frac{k_8 \cdot \varepsilon_3 \cdot S_p}{E_{3,\beta}} \quad (6)$$

Trong đó S_p là diện tích hiệu dụng của đầu dò

Đơn vị tính là: $s^{-1}/(Bq.cm^2)$

Điều này tương tự với tình huống của nguồn chỉ phát beta (ví dụ: ^{14}C). Trong trường hợp đó, giả sử không có sự suy giảm của nguồn, $k_8 = 1$ và $E_{3,\beta} = 2$, và công thức được đơn giản hóa thành:

$$I(A)_{C-14} = \frac{\varepsilon_3 \cdot S_p}{2} \quad (7)$$

Đối với đường k_4 , tình huống phức tạp hơn. Các $I(A)$ đối với mỗi phần của đường phân rẽ có thể được biểu diễn theo cùng một cách như trên, nhưng bây giờ hiệu ứng tầng được xem xét đến. Nếu một trong bốn phát xạ khác nhau được phát hiện, thì chỉ một xung được ghi nhận (thiết bị có thể cũng phát hiện được các phát xạ khác trong tầng, nhưng chỉ có một xung được ghi nhận). Do đó, hiệu suất phát hiện được bằng một (1) trừ đi xác suất không phát hiện bất kỳ phát xạ nào, giống như kết quả của xác suất không phát hiện từng phát xạ riêng lẻ. Các hệ số E liên quan cũng sẽ được đưa vào và xác suất ghi nhận xung cho đường phân rẽ đó có thể được biểu thị như sau:

$$1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_1}{E_{1,\beta}}\right) \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_5}{E_{5,r}}\right) \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_7}{E_{7,r}}\right) \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_9}{E_{9,r}}\right) \quad (8)$$

Trong hầu hết các trường hợp thực tế, công thức trên có thể được đơn giản hóa bằng cách lấy một trong các số hạng (tương ứng với phát xạ trong tầng với xác suất phát hiện cao nhất). Điều này đánh giá thấp hiệu suất phát hiện, dẫn đến việc đánh giá quá mức hoạt độ trên bề mặt, nhưng đối với các mục đích bảo vệ phóng xạ/thanh lý, thì các kết quả đánh giá thận trọng có thể chấp nhận được.

5.5.3 Xác định đáp ứng tổng thể của thiết bị

Đối với toàn bộ việc phân rã nhân phóng xạ, xác suất phát hiện ít nhất một phát xạ từ mỗi đường phân rã hoàn toàn được cộng vào và chúng được kết hợp với hệ số phân nhánh của các đường phân rã hoàn toàn. Đáp ứng của thiết bị về hoạt độ có thể được biểu thị như sau:

$$I(A) = S_p \cdot \sum_{i=1}^n k_i \cdot \left\{ 1 - \prod \left(1 - \frac{\epsilon_{i,j}}{E_{i,j}} \right) \right\} \quad (9)$$

Trong đó: I đại diện cho độ phổ biến của các đường phân rã hoàn toàn và i đại diện cho từng phát xạ riêng lẻ trong từng đường phân rã hoàn toàn.

Một số nhân phóng xạ điển hình đã được kiểm tra và, đối với mỗi nhân phóng xạ, hai kịch bản bề mặt khác nhau được xem xét. Phân tích chi tiết được trình bày trong Phụ lục B.

5.5.4 Xác định khác đối với đáp ứng tổng thể của thiết bị

Việc nhận dạng từng đường phân rã liên tiếp, hoàn toàn đối với một nhân phóng xạ đang quan tâm và việc xác định hệ số phân nhánh của các đường phân rã là việc làm phức tạp, và nên được thực hiện bởi chuyên gia được đào tạo. Các phòng thử nghiệm hiệu chuẩn phải thực hiện với nhiệm vụ hiệu chuẩn các thiết bị để đo một loạt các nhân phóng xạ với yêu cầu thời gian càng nhanh càng tốt, thì cần một phương pháp hiệu chuẩn có thể áp dụng dễ dàng hơn.

Do đó, phương pháp hiệu chuẩn được đơn giản hóa được trình bày trong Phụ lục A. Phương pháp này dựa trên việc phân loại dữ liệu về cường độ phát xạ hạt và/hoặc photon của nhân phóng xạ cần quan tâm trong các vùng năng lượng phát xạ cụ thể^[5]. Dữ liệu về cường độ phát xạ của nhân phóng xạ được lập thành bảng trong hầu hết các cơ sở dữ liệu phân rã nhân phóng xạ, và do đó có thể dễ dàng được nhập vào phục vụ mục đích tính toán. So sánh các ví dụ hiệu chuẩn số thực hiện theo 5.5.2 và Phụ lục A, được trình bày trong Phụ lục B.

5.6 Kết luận

Rõ ràng, từ trình bày ở trên và các ví dụ được đưa ra trong Phụ lục B. Sử dụng hệ số P như được định nghĩa ban đầu không thể áp dụng cho các nhân phóng xạ có các sơ đồ phân rã phức tạp. Việc cố gắng xác định lại hệ số này sẽ chỉ gây nhầm lẫn và trình bày ở đây đã tìm ra cách giải quyết vấn đề bằng cách chỉ ra cách xác định các hệ số đáp ứng của thiết bị trên cơ sở các nguyên tắc cơ bản.

Điều 5 đã đưa ra công thức để chuyển đổi tốc độ đếm quan sát được trên máy đo nhiễm bản phóng xạ bề mặt, từ tốc độ đếm trên giây sang đơn vị tính Bq.cm⁻², với giả thiết là đã nhận diện được nhân

phóng xạ trên bề mặt; đáp ứng năng lượng của thiết bị đo có thể ước tính được; và với một số kiến thức về sự phân bố của nhân phóng xạ trên bề mặt và theo chiều sâu.

Các phép đo nhiễm bản phóng xạ bề mặt có độ không đảm bảo cao và có lẽ nên xem là phương pháp định tính chứ không phải là phương pháp định lượng. Các công thức trong Điều 5 sẽ cho phép người đọc kiểm tra tính phù hợp với mục đích của các phép đo.

6 Báo cáo thử nghiệm

Bất kỳ báo cáo thử nghiệm nào được ban hành đều phải tuân thủ các yêu cầu của TCVN ISO/IEC 17025 (ISO/IEC 17025) và bao gồm như sau:

- a) Tiêu đề như "Giấy chứng nhận hiệu chuẩn" hoặc "Giấy chứng nhận kiểm tra";
- b) Tên và địa chỉ của khách hàng;
- c) Mô tả thiết bị (bao gồm cả loại thiết bị và số sêri);

CHÚ THÍCH: Nhiều thiết bị đo nhiễm bản phóng xạ bao gồm một đồng hồ chỉ thị kết quả đo và một đầu dò có thể tháo rời. Cả hai bộ phận này của thiết bị đều phải được hiệu chuẩn như một thiết bị thống nhất. Do đó, giấy chứng nhận cần phải bao gồm cả đồng hồ đo và đầu dò.

- d) Ngày tiếp nhận thiết bị;
- e) Loại thử nghiệm (ví dụ: kiểm tra trước khi đưa vào sử dụng lần đầu, hiệu chuẩn định kỳ, kiểm tra định kỳ hoặc kiểm tra lại sau khi sửa chữa);
- f) Mô tả cơ bản về thử nghiệm (ví dụ: điều kiện hình học đã sử dụng để xác định hiệu suất của thiết bị), mọi sự cài đặt, điều chỉnh cụ thể trong thiết bị mà người dùng có thể tiếp cận, và bất kỳ sự điều chỉnh hoặc sửa chữa nào đã được thực hiện;
- g) Các hạn chế của việc hiệu chuẩn, bao gồm cả các dải đo chưa được kiểm tra;
- h) Kết quả của các phép thử bao gồm: đáp ứng của thiết bị hoặc hệ số hiệu chuẩn đối với các bức xạ hoặc các nhân phóng xạ cụ thể, công bố về độ không đảm bảo với mức độ tin cậy mà tại đó có độ không đảm bảo;
- i) Tên và chữ ký của người chịu trách nhiệm kiểm tra;
- j) Tên và địa chỉ của phòng thử nghiệm thực hiện và ngày thử nghiệm;
- k) Các đơn vị tính thể hiện kết quả;
- l) Kết quả thử nghiệm với giá trị k liên quan.

Ngoài ra, các thông tin sau đây nên được đưa vào báo cáo vì lợi ích của người sử dụng thiết bị:

- Ghi chép về suất liều phóng hoặc tốc độ đếm và bất kỳ điều kiện môi trường nào có liên quan trong quá trình hiệu chuẩn;
- Giá trị của bất kỳ hệ số chuyển đổi nào đã được áp dụng cho kết quả;

- Công bố rằng thử nghiệm đã được thực hiện nhằm mục đích theo các quy định và đã thành công (hoặc không thành công);
- Nếu cần, chỉ dẫn thu được bởi bất kỳ nguồn kiểm tra được cung cấp cùng với thiết bị hoặc từ nguồn kiểm tra chung, nếu có được nguồn tương tự cho người sử dụng cuối cùng.

Vì giấy chứng nhận hiệu chuẩn thường được gửi đi với mục đích đảm bảo chất lượng, nên gắn nhãn các thiết bị với thông tin sau:

- Mô tả thiết bị (bao gồm loại thiết bị và số sê-ri);
- Ngày hiệu chuẩn hoặc kiểm tra;
- Số giấy chứng nhận hiệu chuẩn;
- Loại và số seri của đầu dò, nếu cần;
- Tốc độ đếm giá trị khuyến cáo (xem A.6) của (các) nhân phóng xạ dùng để hiệu chuẩn.

Nếu thiết bị không đáp ứng các tiêu chí đạt/không đạt theo bất kỳ thành phần nào của một thử nghiệm, thì phòng thử nghiệm hiệu chuẩn hoặc thử nghiệm phải ghi nhãn thiết bị đó là thiết bị hỏng, và ghi chỉ dẫn về bản chất của việc hư hỏng vào Giấy chứng nhận hoặc báo cáo thử nghiệm. Điều quan trọng là báo cáo thử nghiệm phải chỉ rõ ràng là thiết bị đó bị hỏng.

Phụ lục A

(Quy định)

Phương pháp hiệu chuẩn thay thế

A.1 Tổng quát

Phương pháp hiệu chuẩn được trình bày trong Phụ lục này bỏ qua việc hiệu chỉnh tổng thể như được nêu trong Điều 5. Phương pháp này chỉ dựa trên dữ liệu cường độ phát xạ của nhân phóng xạ, còn kiến thức về hệ số phân nhánh của đường phân rã nhân phóng xạ là không cần thiết. Điều này làm cho việc xử lý dữ liệu phát xạ của nhân phóng xạ đơn giản hơn và dễ dàng hơn.

A.2 Tổng quan

Phụ lục này đặc biệt đề cập đến các phòng thí nghiệm hiệu chuẩn hoặc các tổ chức làm việc với nhân phóng xạ có các đặc tính phát xạ phức tạp, hoặc với các nhân phóng xạ không có sẵn nguồn chuẩn, hoặc cho các tổ chức/cơ quan có thẩm quyền kiểm soát vận chuyển vật liệu hạt nhân hoặc thanh lý vật liệu/thiết bị theo các qui định pháp lý quốc gia hoặc các giới hạn theo công ước quốc tế.

Quy trình hiệu chuẩn để đo trực tiếp được nêu trong Phụ lục này đề cập đến các thiết bị [máy đo nhiễm xạ bề mặt (SCM)] với diện tích cửa sổ detector tốt nhất là 100 cm² (xem A.3.2). Nguyên tắc phát hiện của thiết bị bao gồm:

- Bộ đếm tỷ lệ kiểu kín chứa đầy khí xenon (Xe),
- Bộ đếm tỷ lệ lưu lượng khí,
- Ống nhấp nháy nhựa/Zn (Ag) S, và
- Ống nhấp nháy Zn (Ag) S.

Trình bày về sự phụ thuộc của năng lượng đối với beta, photon và độ nhạy đối với bức xạ alpha của các loại detector này được nêu trong Tài liệu tham khảo [5].

Các đặc tính và tính năng làm việc của các thiết bị đo phải tuân theo IEC 60325 và phù hợp với các mục tiêu đo.

Các thiết bị phải có khả năng đo được các hoạt độ thấp hơn mức giá trị khuyến cáo hoặc ngưỡng giới hạn nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt (nhân phóng xạ cụ thể) do quốc gia hoặc công ước quốc tế quy định, các kết quả đo nhiễm bẩn phóng xạ sẽ so sánh với các giá trị khuyến cáo hoặc ngưỡng giới hạn này.

A.3 Phương pháp cơ bản

A.3.1 Yêu cầu chung

Về cơ bản, việc hiệu chuẩn thiết bị phải được thực hiện bằng phương pháp bức xạ quy chiếu được cung cấp bởi nguồn chuẩn có suất phát xạ bề mặt được chứng nhận theo TCVN 10802 (ISO 8769).

Để đánh giá nhiễm xạ bề mặt bao gồm một nhân phóng xạ đã biết, có thể sử dụng quy trình hiệu chuẩn bằng cách dùng một nguồn hiệu chuẩn cụ thể được làm từ cùng một nhân phóng xạ đó.

Phương pháp hiệu chuẩn trực tiếp một thiết bị với một nhân phóng xạ cụ thể có sử dụng một nguồn hiệu chuẩn đơn được làm từ cùng một nhân phóng xạ có thể áp dụng cho tất cả các nhân phóng xạ có nguồn hiệu chuẩn. Về nguyên tắc, tất cả các loại bức xạ phát ra có thể được sử dụng để hiệu chuẩn.

CHÚ THÍCH: Nếu hiệu chuẩn trực tiếp được thực hiện bằng nguồn hiệu chuẩn beta và photon, trong đó chỉ có suất phát xạ beta bề mặt được chứng nhận (ví dụ: nguồn ^{60}Co hoặc ^{137}Cs), thì việc đánh giá hoạt độ bề mặt bị thấp không đúng mức là do đo bằng thiết bị có độ nhạy bức xạ photon cao đã được hiệu chuẩn theo cách này.

Trong trường hợp các nhân phóng xạ với các đặc tính phát xạ phức tạp, hoặc các nhân phóng xạ mà không có nguồn hiệu chuẩn, có thể áp dụng quy trình hiệu chuẩn đa nguồn. Hiệu suất của thiết bị được so sánh với năng lượng bức xạ khi sử dụng các nguồn phát bức xạ năng lượng đơn. Sau đó, các giá trị hiệu suất của thiết bị đối với các nhân phóng xạ đang được xem xét sẽ được tính riêng, bằng cách sử dụng dữ liệu về xác suất năng lượng và phát xạ liên quan của các thành phần năng lượng đơn của bức xạ.

Để áp dụng quy trình hiệu chuẩn đa nguồn này, việc hiệu chuẩn có thể được thực hiện bằng một tập hợp các nguồn chuẩn nhân phóng xạ cơ bản quy chiếu với suất phát xạ alpha, beta hoặc photon đã được chứng nhận (Bảng A.1). Độ không đảm bảo tương ứng của suất phát xạ bề mặt như được nêu trong Giấy chứng nhận riêng, nằm trong khoảng được đưa ra trong Bảng A.1. Các nguồn chuẩn hiệu chuẩn này được sử dụng làm nguồn phát ra hạt alpha, điện tử hoặc photon trong một dải năng lượng cụ thể. Chúng không được coi là nguồn của các nhân phóng xạ cụ thể.

Các nguồn hiệu chuẩn cho các vùng năng lượng photon, khi cần, được phủ bằng các bộ lọc theo TCVN 10802 (ISO 8769) để ngăn bức xạ beta (Bảng A.1).

Bảng A.1 – Nguồn quy chiếu để xác định hiệu suất của thiết bị

Nhân phóng xạ	Loại phát xạ	Xác suất phát xạ tương đối	Độ không đảm bảo suất phát xạ bề mặt [%; hệ số bao quát $k = 2$]	Năng lượng phát xạ, keV			
				Vùng năng lượng của tất cả các chất phát ra alpha			
^{241}Am	alpha	1,0	5	Từ 5400 đến 5640			
				Các vùng năng lượng của các chất phát beta (năng lượng trung bình)			
				40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400
^{14}C	beta	1,0	3	50 [157] ^b			
^{99}Tc	beta	1,0	3		95 [294]		
^{38}Cl	beta	0,98	3			250 [709]	
$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	beta	1,0 mỗi nguyên tố	3			195 [546]	925 [2280]
				Các vùng năng lượng phát photon			
				5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300
^{55}Fe	photon	0,29	9	6			
^{129}I	photon ^a	0,74	9		39		
^{57}Co	photon ^a	0,96	7			124	
^{137}Cs	photon ^a	0,85	10				662
^{60}Co	photon ^a	2,0	12				1250
a Hạn chế phát xạ electron bằng các bộ lọc theo TCVN 10802 (ISO 8769).							
b Năng lượng điểm cuối $E_{\beta,max}$							

Nếu có sẵn dưới dạng nguồn chuẩn loại 2, với suất phát xạ bề mặt được chứng nhận trong cùng một vùng năng lượng, thì có thể sử dụng các nguồn có nhân phóng xạ cơ bản, khác với các nguồn đã nêu trong Bảng A.1.

Nếu có yêu cầu tính khả dụng tối đa của một thiết bị mà không bị giới hạn bởi các đặc tính phát xạ của nhân phóng xạ, thì nên xác định hiệu suất bằng việc sử dụng tất cả các nguồn được nêu trong Bảng A.1.

Khi cần hiệu chuẩn, có thể chọn các nguồn hiệu chuẩn từ Bảng A.1 dựa trên loại phát xạ và dải năng lượng. Ví dụ, ^{99m}Tc phát ra các điện tử trong vùng năng lượng beta (70 đến 140) keV và photon trong các vùng năng lượng photon (15 đến 90) keV và (90 đến 300) keV. Các nguồn được sử dụng để hiệu chuẩn trong trường hợp này, là các nguồn được chỉ định cho các vùng năng lượng này (Bảng A.1).

A.3.2 Diện tích các nguồn hiệu chuẩn

Để đánh giá nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt, diện tích của nguồn hiệu chuẩn phải đủ để phủ kín diện tích hiệu dụng của detector, đặc biệt khi không thể lấy giá trị trung bình số đọc hiển thị được.

Các giá trị khuyến cáo về nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt theo luật pháp quốc gia (ví dụ MARSSIM⁽¹⁾) hoặc giới hạn nhiễm xạ bề mặt theo công ước quốc tế (ví dụ: Tiêu chuẩn an toàn của IAEA số SSR-6⁽²⁾) được thể hiện trên một đơn vị diện tích ($Bq.cm^{-2}$) cùng với yêu cầu bổ sung về việc lấy giá trị trung bình số đọc hiển thị trong một vùng nhất định, tức là, tương ứng lần lượt $100 cm^2$ và $300 cm^2$. Kích thước của nguồn hiệu chuẩn, sau đó, sẽ tương ứng với diện tích trung bình, nghĩa là $100 cm^2$ đối với diện tích hiệu dụng của cửa sổ detector từ $100 cm^2$ trở lên và $300 cm^2$ đối với diện tích hiệu dụng của cửa sổ detector từ $300 cm^2$ trở lên (xem A.9).

A.4 Xác định hiệu suất của thiết bị

Hiệu suất của thiết bị phải được xác định trong các điều kiện hình học, các điều kiện này phải càng giống càng tốt với các điều kiện thực tế khi đo.

Diện tích của nguồn hiệu chuẩn phải đủ để bao trùm hết diện tích hoạt động hoặc vùng làm việc của detector. Trong trường hợp diện tích máy dò lớn hơn diện tích của nguồn hiệu chuẩn, thì có thể thực hiện đo liên tiếp nguồn hiệu chuẩn bằng cách di chuyển nguồn hiệu chuẩn trên bề mặt detector. Việc đo này phải bao phủ toàn bộ diện tích cửa sổ của đầu dò (detector) và đưa ra giá trị trung bình cho hiệu suất của thiết bị.

Loại nguồn hiệu chuẩn có thể được điều chỉnh theo sự phân bố nhiễm bẩn phóng xạ dự kiến đồng nhất hoặc không đồng nhất. Thông thường nhiễm bẩn phóng xạ thường gặp ở các vị trí ngẫu nhiên hơn là phân bố đồng đều. Thực tế này cần được tính đến khi đánh giá mức độ nhiễm bẩn phóng xạ từ các dữ liệu về hiệu suất của đầu dò. Điều này được thực hiện bằng cách lấy giá trị trung bình nhiễm bẩn phóng xạ đo được ở diện tích $1000 cm^2$. Đối với các nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt có kích thước nhỏ, việc hiệu chuẩn với các nguồn điểm, đôi khi, có thể thích hợp.

Các đầu dò có khả năng đo bức xạ alpha phải được hiệu chuẩn bằng nguồn chuẩn alpha. Việc hiệu chuẩn cung cấp hiệu suất của thiết bị và chứng tỏ thiết bị hoạt động chính xác.

Tuy nhiên, hiệu suất của thiết bị đối với bức xạ alpha, thu được sau khi hiệu chuẩn, phải được sử dụng một cách thận trọng khi đánh giá nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt, bởi vì bức xạ phát ra từ nhiễm bẩn phóng xạ alpha ở hiện trường chịu sự suy giảm do lớp phủ bề mặt (ví dụ bụi, dầu mỡ và độ ẩm) và điều kiện bề mặt (ví dụ bề mặt thô nhám như mặt bê tông mài, đá rửa).

Định nghĩa về hiệu suất của thiết bị, xem Bảng 1 trong 5.2.

Hiệu suất của thiết bị ϵ_j đối với một nhân phóng xạ đã biết, với loại bức xạ j (bức xạ alpha, beta hoặc photon) hoặc đối với một dải năng lượng nhất định, được thể hiện bởi loại bức xạ j tính được theo Công thức sau:

$$\varepsilon_{i,j} = \frac{\rho_c - \rho_0}{R_c} \quad (\text{A.1})$$

Trong đó

ρ_c là tốc độ đếm quan sát được từ nguồn hiệu chuẩn, tính bằng s^{-1} ;

ρ_0 là tốc độ đếm phông tính bằng s^{-1} ;

R_c là suất phát xạ bề mặt đối với loại bức xạ j (bức xạ alpha, beta hoặc photon) của nguồn hiệu chuẩn, tính bằng s^{-1} .

Tính hiệu suất cho vùng năng lượng beta > 400 keV

Nguồn hiệu chuẩn cho vùng năng lượng beta > 400 keV gồm cặp nhân phóng xạ $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ (Bảng A.1). Bên cạnh phát xạ của ^{90}Y trong vùng năng lượng > 400 keV, cũng có phát xạ ^{90}Sr trong vùng năng lượng (140 đến 400) keV (Bảng A.1). Do đó, hiệu suất cho vùng năng lượng > 400 keV ($\varepsilon_{i,400}$) phải được tính bằng cách sử dụng hiệu quả cho (140 đến 400) keV cộng với vùng năng lượng > 400 keV thu được cho $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ($\varepsilon_{i,\text{SrY}}$) và hiệu suất cho vùng năng lượng beta (140 đến 400) keV được xác định bằng ^{36}Cl ($\varepsilon_{i,\text{Cl}}$). Điều này được thực hiện dưới dạng Công thức sau^[5]:

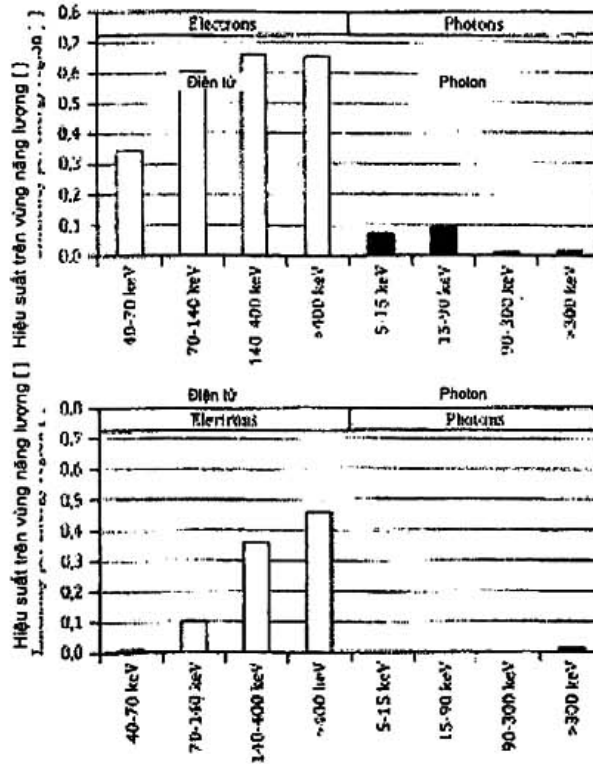
$$\varepsilon_{i,400} = 2 \cdot \left(\varepsilon_{i,\text{SrY}} - \frac{1}{2} \varepsilon_{i,\text{Cl}} \right) \quad (\text{A.2})$$

Tính hiệu suất cho vùng năng lượng photon > 300 keV

Hiệu suất của thiết bị cho vùng năng lượng photon > 300 keV có thể được xác định bằng hai nguồn nhân phóng xạ cơ bản khác nhau. Nếu cả hai nguồn đều sẵn có để đo, hiệu suất trung bình của thiết bị nên được tính theo kết quả hiệu chuẩn cho vùng năng lượng photon > 300 keV thu được với cả hai nguồn chuẩn quy định (Bảng A.1).

A.5 Ví dụ về xác định hiệu suất của thiết bị

Hình A.1 cho thấy kết quả xác định hiệu suất của thiết bị theo A.4 cho hiệu suất của thiết bị đo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt (SCM) hiệu suất cao và hiệu suất của thiết bị đo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt (SCM) hiệu suất thấp.



Hình A.1 – Xác định hiệu suất đo của thiết bị đo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt (SCM) hiệu suất cao (hình trên) và SCM hiệu suất thấp (hình dưới) (chỉ minh họa)

A.6 Tính hệ số hiệu chuẩn hoạt độ và đáp ứng hoạt độ của thiết bị

Định nghĩa về hệ số hiệu chuẩn hoạt độ và đáp ứng hoạt độ của thiết bị, xem Bảng 1 trong 5.2. Hệ số hiệu chuẩn hoạt độ $C(A)_n$ [= 1/I(A)] đối với một nhân phóng xạ n tính được theo Công thức [5]:

$$C(A)_n = \frac{1}{S \cdot \sum_{i,j} (\epsilon_{i,j} \cdot \eta_{i,j} \cdot E_{i,j}^{-1})} \quad (A.3)$$

Trong đó

Trong trường hợp không yêu cầu lấy giá trị trung bình, chỉ số hiển thị của thiết bị:

$S = S_p$ là diện tích hiệu dụng của cửa sổ detector, tính bằng cm^2 ;

Trong trường hợp có yêu cầu lấy giá trị trung bình, chỉ số hiển thị của thiết bị:

$S = S_G$ là diện tích nguồn hiệu chuẩn hoạt động tương đương với diện tích trung bình cho giá trị khuyến cáo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt, tính bằng cm^2 ;

$\epsilon_{i,j}$ là hiệu suất của thiết bị đối với một năng lượng hoặc vùng năng lượng nhất định i và đối với loại bức xạ j (bức xạ alpha hoặc beta hoặc photon);

$\eta_{i,j}$ là dữ liệu tổng cường độ phát xạ đối với một vùng năng lượng nhất định i và đối với loại bức xạ j (bức xạ alpha hoặc beta hoặc photon).

E_{ij}^{-1} là nghịch đảo của hệ số xuất hiện của nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt đối với một năng lượng hoặc vùng năng lượng nhất định i và đối với loại bức xạ j (bức xạ alpha hoặc beta hoặc photon);

Chỉ số tổng là nói đến loại bức xạ và các vùng năng lượng cụ thể của nó.

Tốc độ đếm thực của thiết bị $r_{G,n}$ (tính bằng s^{-1}) tương đương với giá trị khuyến cáo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt của nhân phóng xạ G_n [5] cho một nhân phóng xạ đơn n có thể được biểu thị bằng Công thức:

$$r_{G,n} = \frac{G_n}{C(A)_n} = G_n \cdot I(A)_n \quad (A.4)$$

Trong đó

$S = S_G$ trong Công thức (A.3)

Hoạt độ của nhiễm bẩn phóng xạ bám chặt và không bám chặt của một nhân phóng xạ n , trên bề mặt đang được kiểm tra, có thể tính được bằng cách sử dụng bội số, $M_{G,n}$ của giá trị khuyến cáo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt. Bội số $M_{G,n}$ của giá trị khuyến cáo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt G_n [5] tính được theo Công thức:

$$M_{G,n} = \frac{(\rho_g - \rho_0)}{r_{G,n}} \quad (A.5)$$

Trong đó

ρ_g là tổng tốc độ đếm đo được từ nhiễm xạ bề mặt, tính bằng s^{-1} ;

ρ_0 là tốc độ đếm phông, tính bằng s^{-1} ;

CHÚ THÍCH: Ví dụ bằng số liệu thể hiện việc sử dụng bội số $M_{G,n}$

Lấy giá trị khuyến cáo tốc độ đếm đối với ^{60}Co , $r_{G,\text{Co-60}}$, của thiết bị đo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt đã được hiệu chuẩn, tính được theo Công thức (A.4), là $44 s^{-1}$. Giả sử một phép đo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt bằng thiết bị này, thu được tốc độ đếm thực là $132 s^{-1}$. Bội số của giá trị khuyến cáo $G_{\text{Co-60}}$, $M_{G,\text{Co-60}}$, được tính theo Công thức (A.5) khi đó là $132 s^{-1} / 44 s^{-1} = 3$. Với giá trị khuyến cáo $G_{\text{Co-60}} = 3 \text{ Bq.cm}^{-2}$, thì hoạt độ trên một đơn vị diện tích nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt tương ứng với 3 lần của $3 \text{ Bq.cm}^{-2} = 9 \text{ Bq.cm}^{-2}$.

Một ví dụ về hiệu chuẩn SCM (thiết bị đo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt) cho nhân phóng xạ ^{131}I nêu trong B.6. (Ví dụ 5: Hiệu chuẩn đối với nhân phóng xạ ^{131}I)

A.7 Hiệu suất nguồn của các nguồn nhiễm xạ

Việc áp dụng chính xác hệ số xuất hiện E được xem xét tại Điều 5. Đối với đại lượng này, cách tiếp cận bảo thủ được thảo luận trong phần sau đây.

Cách tiếp cận này chỉ được sử dụng với sự cực kỳ thận trọng, nếu không có hoặc không đủ thông tin liên quan đến bản chất, đặc tính đặc trưng và điều kiện của bề mặt bị nhiễm phóng xạ.

Hiệu suất của một nguồn nhiễm phóng xạ thực tế, được biểu thị bằng giá trị nghịch đảo của hệ số xuất hiện E , rất khó để đánh giá và có thể khác nhau đến hàng chục lần, do có sự khác biệt về cấu trúc của các nguồn thực. Ở đây chỉ cần xem xét sự tự hấp thụ trong nguồn, bởi vì, tán xạ ngược sẽ làm tăng tốc độ đếm, và việc bỏ qua tán xạ ngược lại cho phép có một mức độ an toàn bổ sung, bằng việc sản sinh ra giá trị bảo thủ (cao hơn) đối với hoạt độ trên một đơn vị diện tích.

Giá trị E thu được đối với các chất phát beta thu được bằng cách xem xét các loại nguồn nhiễm phóng xạ sau đây:

- Lớp mỏng các chất phát beta được bao phủ bởi khoảng $2,5 \text{ mg.cm}^{-2}$ vật liệu không hoạt động;
- Các nguồn beta đồng nhất có độ dày bằng một giấy lọc để lấy mẫu thử lau ($\sim 10 \text{ mg.cm}^{-2}$).

Loại nguồn nhiễm phóng xạ đầu tiên có thể xảy ra trong các phép đo trực tiếp, loại nguồn thứ hai chủ yếu trong khi áp dụng phương pháp đo gián tiếp.

Trong cả hai trường hợp, tổn thất hiệu suất của nguồn do sự hấp thụ bên trong nguồn được coi là không đáng kể ($E = 2$) đối với các chất phát xạ beta có giá trị $E_{\beta\text{max}} \geq 0,4 \text{ MeV}$. Các nguồn phát xạ beta với $0,15 \text{ MeV} < E_{\beta\text{max}} < 0,4 \text{ MeV}$ được giả thiết là có hệ số xuất hiện E trung bình là khoảng 4 trong cùng điều kiện.

Việc áp dụng $E = 4$ có thể dẫn đến đánh giá thấp hoạt độ beta được bao phủ bởi vật liệu có độ hấp thụ nhiều hơn, so với quy định ở trên. Tuy nhiên, cần phải lưu ý rằng sự đóng góp của các chất phóng xạ như vậy đồng thời làm giảm rủi ro sự kết hợp, hít phải và bức xạ ngoài.

Trong trường hợp các chất phát alpha, việc đánh giá các giá trị hợp lý và bảo thủ cho hệ số xuất hiện E là khó khăn hơn, vì giá trị E đối với các nguồn nhiễm phóng xạ thực tế có thể dễ dàng đạt tới những con số rất cao. Một giá trị lý thuyết cho một nguồn của một lớp bảo hòa là $E = 4$, và đối với phần lớn các chất phát xạ alpha, độ dày lớp bảo hòa chỉ khoảng 5 mg cm^{-2} . Việc sử dụng giá trị $E = 4$ bao gồm hai loại chất gây nhiễm phóng xạ alpha quan trọng: các lớp có độ dày lên đến độ dày bảo hòa bị nhiễm phóng xạ đồng nhất bởi các chất phát xạ alpha trong trường hợp đo trực tiếp, và các nguồn thu được và đồng nhất trong quá trình lấy mẫu kiểm tra lau.

Tuy nhiên, giá trị $E = 4$ đánh giá thấp hoạt độ trên một đơn vị diện tích khi các chất phát xạ alpha nằm ở độ sâu lớn hơn độ dày bảo hòa, hoặc khi các lớp phát xạ alpha mỏng bị phủ kín bởi vật liệu không hoạt động, chiếm trên 50 % độ dày bảo hòa. Điều này khẳng định tầm quan trọng của việc kiểm tra mẫu lau.

A.8 Hệ quả của hiệu ứng tổng hợp trùng phùng đối với hiệu suất phát hiện của thiết bị

Sự phân rã phóng xạ thường tạo ra phát xạ, gần như đồng thời các hạt và photon. Ví dụ, một nhân sau khi phân rã beta thường ở mức năng lượng kích thích, và trạng thái này được giảm xuống trạng thái cơ

bản bởi sự phát xạ năng lượng photon trong một hoặc vài bước. Một ví dụ khác là điện tử chuyển đổi kết hợp với phát xạ photon.

Các phát xạ kết hợp này không thể tính riêng được, nếu thời gian đáp ứng của detector lớn hơn mức chênh lệch thời gian giữa các phát xạ (hiệu ứng tổng hợp trùng phùng).

Để tính gần đúng tác động tối đa của hiệu ứng tổng hợp trùng phùng, giả định là tất cả các phát xạ kết hợp phát hiện được của các hạt và photon đều được tổng hợp lại. Hiệu ứng tổng hợp được liên hệ tương quan với hiệu suất của thiết bị trong mỗi phân rã, thay vì hiệu suất của thiết bị trên mỗi phát xạ bề mặt. Xác suất P_d đối với một thiết bị đo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt để phát hiện một tầng các bước n có thể được biểu thị theo phân rã dựa trên hiệu suất phát hiện $(\varepsilon_{i,j} \cdot E_{i,j}^{-1} \cdot \eta_{i,j})$ đối với loại phóng xạ j như sau:

$$P_d = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - (\varepsilon_{i,j} \cdot E_{i,j}^{-1} \cdot \eta_{i,j})) \quad (\text{A.6})$$

Đối với một tầng bao gồm một beta phân rã, tiếp theo là một photon phân rã với $\eta_{i,j} = 1$:

$$P_d = 1 - (1 - (\varepsilon_{i,\beta} \cdot E_{i,\beta}^{-1})) (1 - (\varepsilon_{i,\gamma} \cdot E_{i,\gamma}^{-1})) = (\varepsilon_{i,\beta} \cdot E_{i,\beta}^{-1}) + (\varepsilon_{i,\gamma} \cdot E_{i,\gamma}^{-1}) - (\varepsilon_{i,\beta} \cdot E_{i,\beta}^{-1}) (\varepsilon_{i,\gamma} \cdot E_{i,\gamma}^{-1})$$

Do đó, P_d không chính xác là tổng của hiệu suất phát hiện beta và photon, nhưng tổng này bị giảm bởi tích số của các hiệu suất phát hiện tương ứng.

Để tính hệ số hiệu chuẩn (A.3), thì cần thêm vào hiệu suất của thiết bị đối với bức xạ beta và photon nhân với hiệu suất phân rã tương ứng của nhân phóng xạ. Vì vậy, cần đánh giá hiệu ứng tổng hợp trùng phùng ngẫu nhiên.

Việc đánh giá này giả định rằng, có thể bỏ qua việc tổng hợp các phát xạ photon khác nhau. Các hiệu suất phát hiện thu được ở trên được cộng vào ("Tổng" trong Bảng A.2 và Bảng A.3). Một tổng tương tự được tạo riêng cho vùng năng lượng bức xạ beta và photon, và tính được tích của hai tổng ("Sản phẩm" trong Bảng A.2 và Bảng A.3). Bằng cách so sánh "tổng" và "sản phẩm", có thể thu được mức tương đối của hiệu ứng tổng hợp trùng phùng đối với một nhân phóng xạ nhất định.

Phép phân tích được mô tả trên đây đã được thực hiện với tổng số 158 nhân phóng xạ từ một cơ sở dữ liệu về hiệu suất phân rã đối với thiết bị SCM có hiệu suất cao và với tổng số 105 nhân phóng xạ đối với thiết bị SCM có hiệu suất thấp (so sánh Hình A.1)^[5].

Việc phân tích mức độ ảnh hưởng của hiệu ứng tổng hợp trùng phùng đến hiệu suất phát hiện cho thấy rằng, hiệu ứng này không vượt quá 7 % (Bảng A.2 và Bảng A.3). Đối với SCM có hiệu suất thiết bị cao, hiệu ứng tổng hợp trùng phùng trung bình là $(1,5 \pm 0,1) \%$ (mức tin cậy 68 %) và đối với SCM có hiệu suất thấp, hiệu ứng tổng hợp trùng phùng trung bình $(0,8 \pm 0,1) \%$ (Độ tin cậy 68 %)^[5].

Bảng A.2 - Ví dụ về hiệu ứng tổng hợp đối với thiết bị SCM hiệu suất cao (nhân phóng xạ ^{169}Yb)

	Điện tử				Photon				Tổng	Tích số	
	(40 đến 70) keV	(70 đến 140) keV	(140 đến 400) keV	> 400 keV	(5 đến 15) keV	(15 đến 90) keV	(90 đến 300) keV	> 300 keV		$\sum (\varepsilon_{i,j} \cdot E_{i,j}^{-1}) \cdot \eta_{i,j}$	$\sum ((\varepsilon_{i,\beta} \cdot E_{i,\beta}^{-1}) \cdot \eta_{i,\beta}) \cdot \sum ((\varepsilon_{i,\gamma} \cdot E_{i,\gamma}^{-1}) \cdot \eta_{i,\gamma})$
$(\varepsilon_{i,j} \cdot E_{i,j}^{-1})$	0,085	0,151	0,331	0,329	0,035	0,048	0,005	0,008			
$(\eta_{i,j})_{\gamma-169}$	0,560	0,470	0,060	0,000	0,510	0,320	0,930	0,100			
$(\varepsilon_{i,j} \cdot E_{i,j}^{-1}) \cdot \eta_{i,j}$	0,047	0,071	0,019	0,000	0,018	0,110	0,004	0,001	0,272	0,018	6,8 %

Bảng A.3 - Ví dụ về hiệu ứng tổng hợp đối với thiết bị SCM hiệu suất thấp (nhân phóng xạ ^{134}I)

	Điện tử				Photon				Tổng	Tích số	Tích số
	(40 đến 70) keV	(70 đến 140) keV	(140 đến 400) keV	> 400 keV	(5 đến 15) keV	(15 đến 90) keV	(90 đến 300) keV	> 300 keV			
$(\varepsilon_{i,j} \cdot E_{i,j}^{-1})$	0,001	0,026	0,183	0,229	0,000	0,000	0,000	0,008			
$(\eta_{i,j})_{I-134}$	0,000	0,010	0,050	0,960	0,000	0,020	0,090	2,920			
$(\varepsilon_{i,j} \cdot E_{i,j}^{-1}) \cdot \eta_{i,j}$	0,000	0,000	0,010	0,220	0,000	0,000	0,000	0,022	0,253	0,005	2,0 %

A.9 Khả năng áp dụng các loại hệ số hiệu chuẩn hoạt độ khác nhau

Nếu phải tuân thủ các giá trị khuyến cáo về nhiễm bản phóng xạ bề mặt (các quy định quốc gia) hoặc các giới hạn nhiễm bản phóng xạ bề mặt (các công ước quốc tế), thì cần chọn hệ số hiệu chuẩn chính xác để tránh đánh giá thấp kết quả đo. Bảng A.4 đưa ra các nội dung sau: sự phân biệt theo loại hệ số hiệu chuẩn, diện tích hiệu quả cửa sổ detector, diện tích nguồn hiệu chuẩn và diện tích trung bình.

Bảng A.4 – Phân biệt các trường hợp khác nhau đối với ảnh hưởng của loại hệ số hiệu chuẩn đến kết quả đo

Loại hệ số hiệu chuẩn	Diện tích cửa sổ hiệu dụng của detector cm ²	Diện tích nguồn hiệu chuẩn cm ²	Diện tích trung bình cm ²	Kết quả đo		
				Đánh giá thấp	Chính xác	Thận trọng
$C(A)_n$ với	100	100	100		+	
$S = S_p$	150	150	100	+		
	300	300	100	+		
	100	100	300			+
	150	150	300			+
	300	300	300		+	
$C(A)_n$ với	100	100	100		+	
$S = S_p$	150	100	100			+
	300	100	100			+
	100	100	300			+
	150	100	300			+
	300	100	300			+

Từ Bảng A.4, thấy rằng kết quả đo chính xác hoặc kết quả đo bảo thủ sẽ đạt được, nếu sử dụng một thiết bị với hệ số hiệu chuẩn liên quan đến diện tích hiệu dụng của cửa sổ detector hoặc diện tích nguồn hiệu chuẩn không lớn hơn diện tích trung bình yêu cầu.

A.10 Tính hoạt độ trên một đơn vị diện tích đối với nhiễm bản phóng xạ bề mặt của nhân phóng xạ

Hoạt độ trên một đơn vị diện tích $A_{s,n}$ nhiễm bản phóng xạ bám chắc và nhiễm bản phóng xạ không bám chắc của nhân phóng xạ n , liên quan tốc độ đếm đo được, được biểu thị bằng Bq.cm⁻², và được tính theo Công thức (A.7):

$$A_{s,n} = C(A)_n \cdot (p_g - p_0) \quad (\text{A.7})$$

Trong đó

$C(A)_n$ là hệ số hiệu chuẩn hoạt độ của nhân phóng xạ n , tính bằng $(\text{Bq.cm}^{-2})/\text{s}^{-1}$;

p_g là tổng tốc độ đếm từ nhiễm bản phóng xạ bề mặt, tính bằng s^{-1} ;

p_0 là tốc độ đếm phông, tính bằng s^{-1} .

A.11. Xác định các giới hạn đặc trưng theo ISO 11929

Việc tính các giới hạn đặc trưng (ngưỡng quyết định, giới hạn phát hiện và giới hạn của khoảng tin cậy) theo ISO 11929 được đưa ra trong Phụ lục E.

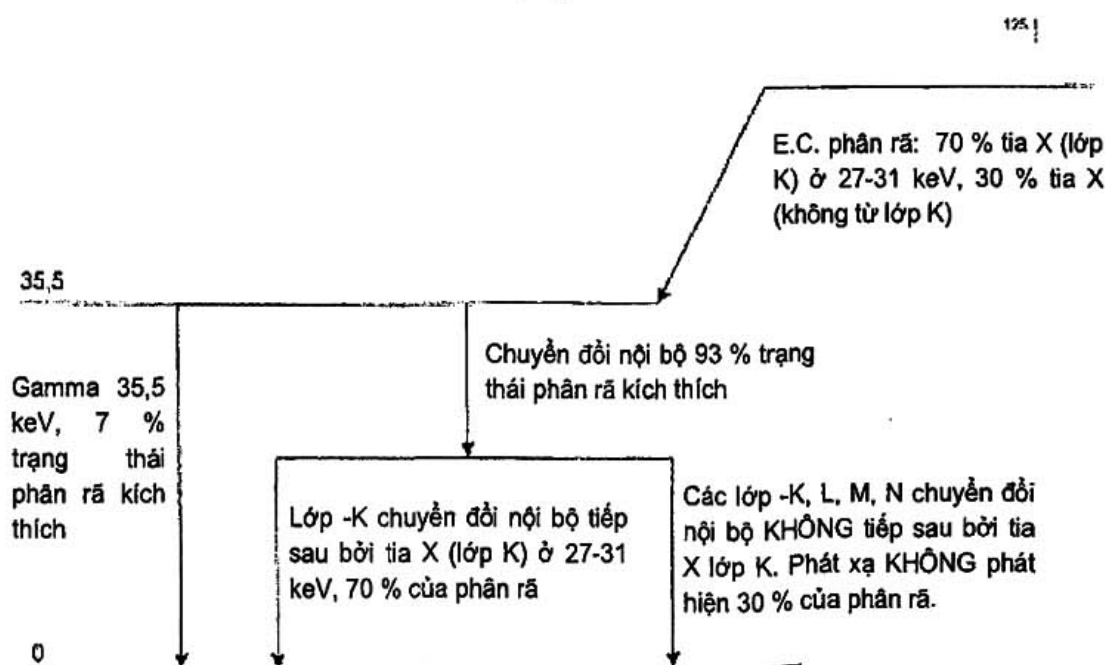
Phụ lục B
(Tham khảo)

Đánh giá nhiễm xạ bề mặt trực tiếp: Ví dụ hiệu chuẩn bằng số

B.1 Tổng quát

Các ví dụ hiệu chuẩn bằng số từ 1 đến 4 được đưa ra trong Phụ lục này dựa trên phương pháp luận hiệu chuẩn cơ bản, bao gồm việc hiệu chỉnh tổng thể (Điều 5) và ví dụ 5 nhằm minh họa việc áp dụng phương pháp hiệu chuẩn được nêu trong Phụ lục A.

B.2 Ví dụ 1: Hiệu chuẩn cho nhân phóng xạ ^{125}I



Hình B.1 – Sơ đồ phân rã ^{125}I

Giá định:

Các điện tử chuyển đổi (~ 30 keV) và không phải là K-alpha tia X được hấp thụ bởi nguồn và/hoặc bởi cửa sổ detector và không được phát hiện.

Hiệu suất của thiết bị đối với gamma và tia X lớp K xấp xỉ như nhau, ϵ_{30} .

Các hệ số E đối với gamma và tia X lớp K xấp xỉ như nhau, $E_{30,\gamma}$.

Bảng B.1 – Hệ số phân nhánh và tích của đường phân rã đối với ^{125}I

Thành phần của đường	Hệ số phân nhánh của đường phân rã	Tích số, k_i
ec K tia X, gamma	$0,7 \times 0,07$	0,049
ec K tia X, chuyển đổi nội bộ K tia X	$0,7 \times 0,93 \times 0,7$	0,456
ec K tia X, chuyển đổi nội bộ không K tia X	$0,7 \times 0,93 \times 0,3$	0,195
ec không K tia X, gamma	$0,3 \times 0,07$	0,021
ec không K tia X, chuyển đổi nội bộ K tia X	$0,3 \times 0,93 \times 0,7$	0,195
ec không K tia X, chuyển đổi nội bộ không K tia X	$0,3 \times 0,93 \times 0,3$	0,084 (không phát hiện được)
ec bắt electron		

Cần lưu ý rằng, đối với đường cuối cùng (ec tia X không từ K, chuyển đổi nội bộ tia X không K), hiệu suất phát hiện bằng không, nghĩa là, không có phát xạ nào được phát hiện.

Do đó

$I(A)_{I-125} = S_p$ nhân xác suất ghi nhận của detector

$$\begin{aligned}
 I(A)_{I-125} = S_p \cdot & \left[0,049 \cdot \left\{ 1 - \left(1 - \frac{\epsilon_{30}}{E_{30,\gamma}} \right)^2 \right\} + 0,456 \cdot \left\{ 1 - \left(1 - \frac{\epsilon_{30}}{E_{30,\gamma}} \right)^2 \right\} + 0,195 \cdot \left\{ 1 - \left(1 - \frac{\epsilon_{30}}{E_{30,\gamma}} \right) \right\} \right] \\
 & + 0,021 \cdot \left\{ 1 - \left(1 - \frac{\epsilon_{30}}{E_{30,\gamma}} \right) \right\} + 0,195 \cdot \left\{ 1 - \left(1 - \frac{\epsilon_{30}}{E_{30,\gamma}} \right) \right\} \quad (B.1) \\
 = S_p \cdot & \left[0,505 \cdot \left\{ 1 - \left(1 - \frac{\epsilon_{30}}{E_{30,\gamma}} \right)^2 \right\} + 0,411 \cdot \left\{ 1 - \left(1 - \frac{\epsilon_{30}}{E_{30,\gamma}} \right) \right\} \right]
 \end{aligned}$$

Xem xét một detector NaI dày 2 mm, cửa sổ Al 14 mg.cm^{-2} , trong đó $\epsilon_{30} = 1$.

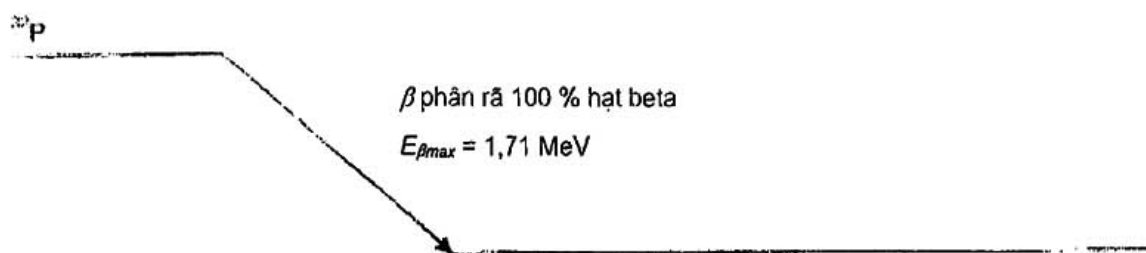
Đối với một nguồn lý tưởng tức là không có sự hấp thụ hoặc suy giảm, $E_{30,\gamma} = 2$, sẽ cho

$$I(A)_{I-125} = 0,58 \cdot S_p$$

Đối với một bề mặt bám dầu mỡ, xốp, có thể ước tính chỉ 70 % của các photon 30 keV được truyền qua lớp bề mặt sao cho $E_{30} = 3$, sẽ cho

$$I(A)_{I-125} = 0,42 \cdot S_p$$

B.3 Ví dụ 2: Hiệu chuẩn đối với nhân phóng xạ ^{32}P



Hình 2 – Sơ đồ phân rã của ^{32}P

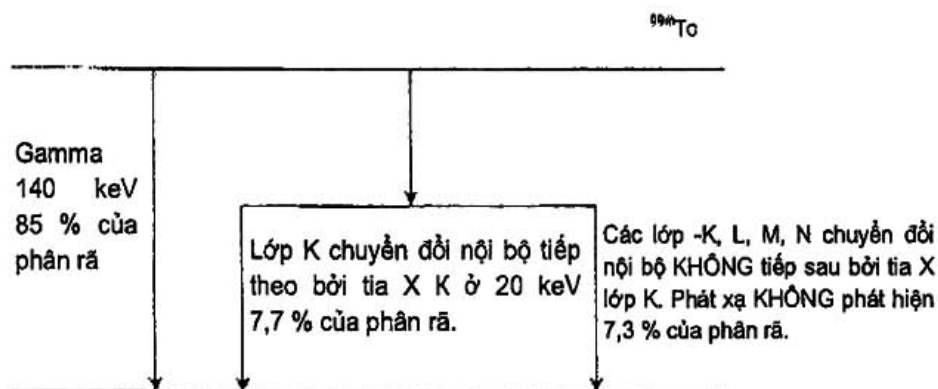
Trong trường hợp này, chỉ có một nhánh phân rã duy nhất và không có phát xạ theo tầng. Do đó, số đáp ứng hoạt độ của thiết bị là:

$$I(A)_{P-32} = S_p \cdot \frac{\varepsilon_{1710}}{E_{1710,\beta}}$$

Sử dụng dữ liệu trong Hình 3 được nêu trong 5.5.1, hiệu suất thiết bị tại 1,71 MeV ước tính là 0,545. Đối với hầu hết các bề mặt, hầu như không có sự hấp thụ và hệ số E có thể lấy bằng 2, sẽ cho:

$$I(A)_{P-32} = \frac{0,545 \cdot S_p}{2} = 0,27 \cdot S_p$$

B.4 Ví dụ 3: Hiệu chuẩn đối với nhân phóng xạ ^{99m}Tc



Hình B.3 – Sơ đồ phân rã của ^{99m}Tc

Các lớp -K, L, M, N chuyển đổi nội bộ KHÔNG tiếp sau bởi tia X lớp K. Phát xạ KHÔNG phát hiện 7,3 % của phân rã.

^{99m}Tc phân rã bởi sự chuyển tiếp đồng phân với phát xạ của một photon 140 keV hoặc sự phát xạ của các điện tử chuyển đổi, tia X và các điện tử Auger theo quá trình chuyển đổi nội bộ. Giả định rằng các điện tử chuyển đổi, các điện tử Auger và tia X các lớp L, M, N, v.v... có năng lượng đủ thấp để chúng không được phát hiện.

Không tính đến phát xạ theo tầng. Do đó, hệ số đáp ứng hoạt độ của thiết bị được tính theo Công thức:

$$I(A)_{Tc-99m} = S_p \cdot \left[0,85 \cdot \left\{ 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_{140}}{E_{140,\gamma}} \right) \right\} + 0,077 \cdot \left\{ 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_{20}}{E_{20,\gamma}} \right) \right\} \right] \quad (B.2)$$

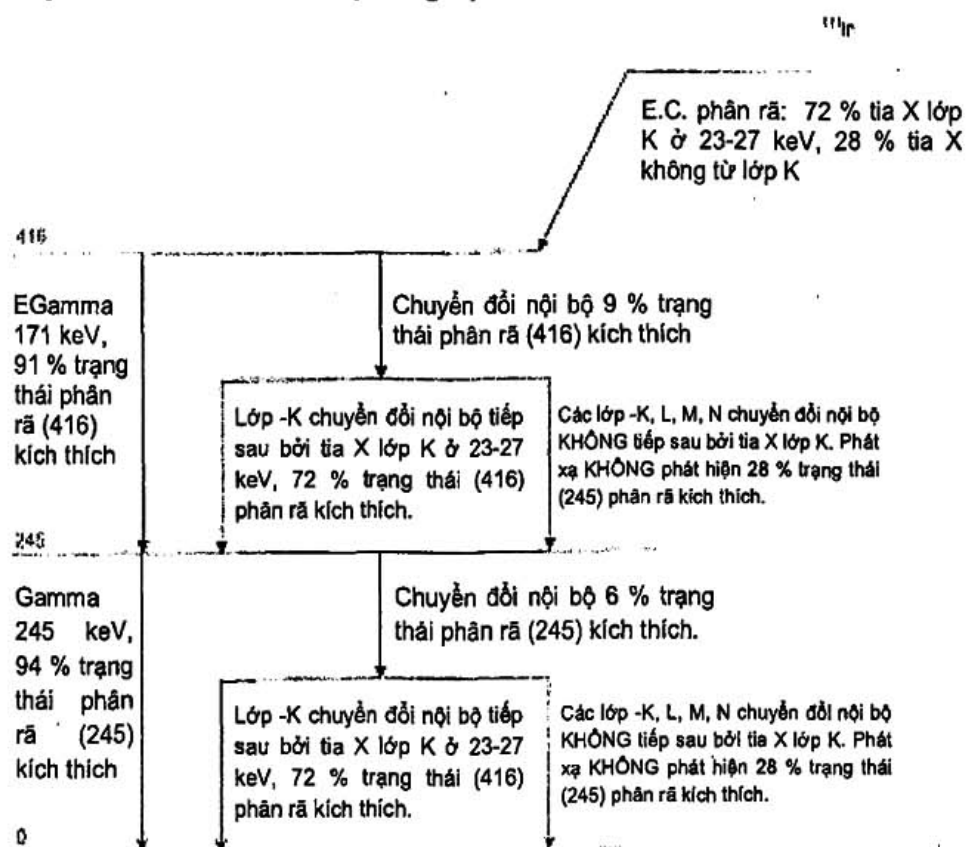
Khi xem xét đến một detector NaI dày 2 mm, cửa sổ Al 14 mg.cm⁻², trong đó $\varepsilon_{20} = 1$ và $\varepsilon_{140} = 0,5$.

Đối với một nguồn lý tưởng, tức là không có sự hấp thụ hoặc suy giảm, $\varepsilon_{20,\gamma} = \varepsilon_{140,\gamma} = 2$, sẽ cho

$$I(A)_{Tc-99m} = 0,25 \cdot S_p$$

Đối với bề mặt xốp, có dầu mỡ, có thể ước tính chỉ có 70 % các photon 20 keV được chuyển qua lớp bề mặt, trong khi các photon 140 keV có hiệu suất chuyển 90 % để $E_{20,\gamma}$ khoảng bằng 3 và $E_{140,\gamma}$ khoảng bằng 2,2 sẽ cho $I(A)_{Tc-99m} = 0,22 \cdot S_p$

B.5 Ví dụ 4: Hiệu chuẩn đối với nhân phóng xạ ¹¹¹In



Hình B.4 – Sơ đồ phân rã của ¹¹¹In

Các lớp -K, L, M, N chuyển đổi nội bộ KHÔNG tiếp theo tia X lớp K. Phát xạ KHÔNG phát hiện 28 % trạng thái (245) phân rã kích thích.

Với các giả định sau:

Tất cả các tia X khác với tia X lớp K được hấp thụ bởi nguồn và/hoặc cửa sổ detector và không được phát hiện.

Các điện tử chuyển đổi được hấp thụ bởi cửa sổ nguồn và detector.

Các chữ viết tắt sau được sử dụng cho các đường riêng lẻ:

ecK sự kiện bắt điện tử ecK dẫn đến kết quả là tia X lớp K

ecL sự kiện bắt điện tử ecL KHÔNG mang lại kết quả là tia X lớp K

g171 171 keV photon

g245 245 keV photon

ic171K chuyển đổi nội bộ từ trạng thái kích thích 416 keV dẫn đến kết quả là tia X lớp K

ic171L chuyển đổi nội bộ từ trạng thái kích thích 416 keV KHÔNG dẫn đến kết quả là tia X lớp K

ic245K chuyển đổi nội bộ từ trạng thái kích thích 245 keV dẫn đến kết quả là tia X lớp K

ic245L chuyển đổi nội bộ từ trạng thái kích thích 245 keV KHÔNG dẫn đến kết quả là tia X lớp K

Có 18 đường phân rã riêng biệt để xem xét (xem Bảng B.2):

Bảng B.2 - Hệ số phân nhánh và tích của đường dẫn phân rã cho ^{111}In

Thành phần của đường	Hệ số phân nhánh của đường phân rã	Tích số, k_i
ecK, g171, g245	$0,72 \times 0,91 \times 0,94$	0,62
ecK, g171, ic245K	$0,72 \times 0,91 \times 0,06 \times 0,72$	0,03
ecK, g171, ic245L	$0,72 \times 0,91 \times 0,06 \times 0,28$	0,01
ecK, ic171K, g245	$0,72 \times 0,09 \times 0,72 \times 0,94$	0,04
ecK, ic171K, ic245K	$0,72 \times 0,09 \times 0,72 \times 0,06 \times 0,72$	0,002
ecK, ic171K, ic245L	$0,72 \times 0,09 \times 0,72 \times 0,06 \times 0,28$	0,001
ecK, ic171L, g245	$0,72 \times 0,09 \times 0,28 \times 0,94$	0,02
ecK, ic171L, ic245K	$0,72 \times 0,09 \times 0,28 \times 0,06 \times 0,72$	0,001
ecK, ic171L, ic245L	$0,72 \times 0,09 \times 0,28 \times 0,06 \times 0,28$	0,001
ecL, g171, g245	$0,28 \times 0,91 \times 0,94$	0,24
ecL, g171, ic245K	$0,28 \times 0,91 \times 0,06 \times 0,72$	0,01
ecL, g171, ic245L	$0,28 \times 0,91 \times 0,06 \times 0,28$	0,004
ecL, ic171K, g245	$0,28 \times 0,09 \times 0,72 \times 0,94$	0,02
ecL, ic171K, ic245K	$0,28 \times 0,09 \times 0,72 \times 0,06 \times 0,72$	0,001
ecL, ic171K, ic245L	$0,28 \times 0,09 \times 0,72 \times 0,06 \times 0,28$	0,0003
ecL, ic171L, g245	$0,28 \times 0,09 \times 0,28 \times 0,94$	0,007
ecL, ic171L, ic245K	$0,28 \times 0,09 \times 0,28 \times 0,06 \times 0,72$	0,0003
ecL, ic171L, ic245L	$0,28 \times 0,09 \times 0,28 \times 0,06 \times 0,28$	0,0001 (không phát hiện được)
ec = bắt điện tử		

Cần lưu ý là, đối với đường cuối cùng (việc bắt electron và chuyển đổi nội bộ, không có tia rơnghen K) thì hiệu suất phát hiện là bằng không, tức là không phát hiện được phát xạ nào.

Biểu thức đầy đủ cho hệ số đáp ứng hoạt độ của thiết bị được chuyển theo cách tương tự như đối với ví dụ ¹²⁵I. Vì lý do không có chỗ, nên việc truyền đầy đủ không được đưa ra ở đây, nhưng để minh họa sẽ đưa ra hai ví dụ đường phân rã.

Đối với đường (ecK, g171, g245), số hạng có liên quan là:

$$S_p \cdot 0,62 \cdot \left\{ 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_{25}}{E_{25,\gamma}} \right) \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{171}}{E_{171,\gamma}} \right) \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{245}}{E_{245,\gamma}} \right) \right\}$$

Đối với đường (ecL, ic171, g245), số hạng có liên quan là:

$$S_p \cdot 0,02 \cdot \left\{ 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_{25}}{E_{25,\gamma}} \right) \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{245}}{E_{245,\gamma}} \right) \right\}$$

Không có số hạng hiệu suất cho ecL vì nó không được phát hiện.

$$\text{Nếu } a = \left(1 - \frac{\varepsilon_{25}}{E_{25,\gamma}} \right), \quad b = \left(1 - \frac{\varepsilon_{171}}{E_{171,\gamma}} \right), \quad \text{và } c = \left(1 - \frac{\varepsilon_{245}}{E_{245,\gamma}} \right)$$

thì biểu thức đầy đủ cho hệ số đáp ứng hoạt độ nhân phóng xạ của thiết bị giảm xuống còn:

$$I(A)_{\ln-111} = S_p \cdot \left[\begin{array}{l} 0,62 \cdot (1 - a \cdot b \cdot c) + 0,03 \cdot (1 - a^2 \cdot b) + 0,04 \cdot (1 - a^2 \cdot c) + 0,03 \cdot (1 - a^2) \\ + 0,002 \cdot (1 - a^3) + 0,02 \cdot (1 - a \cdot b) + 0,04 \cdot (1 - a \cdot c) + 0,24 \cdot (1 - b \cdot c) \\ + 0,001 \cdot (1 - a) + 0,004 \cdot (1 - b) + 0,007 \cdot (1 - c) \end{array} \right] \quad (\text{B.3})$$

Khi xem xét một máy dò NaI dày 2 mm, cửa sổ Al 14 mg.cm⁻², trong đó $\varepsilon_{25} = 0,9$, $\varepsilon_{171} = 0,4$ và $\varepsilon_{245} = 0,15$.

Đối với nguồn lý tưởng, tức là không có sự hấp thụ hoặc suy giảm, $\varepsilon_{25,\gamma} = \varepsilon_{171,\gamma} = \varepsilon_{245,\gamma} = 2$, sẽ cho

$$I(A)_{\ln-111} = 0,52 \cdot S_p$$

Đối với bề mặt xốp, có dầu mỡ, có thể ước tính là $\varepsilon_{25,\gamma}$ xấp xỉ bằng 4, $\varepsilon_{171,\gamma}$ xấp xỉ bằng 2, $\varepsilon_{245,\gamma}$ xấp xỉ bằng 2, sẽ cho

$$I(A)_{\ln-111} = 0,39 \cdot S_p$$

B.6 Ví dụ 5: Hiệu chuẩn đối với nhân phóng xạ ^{131}I

B.6.1 Xử lý dữ liệu nhân phóng xạ

B.6.1.1 Chuẩn bị các xác suất phát xạ beta và photon η_{β} và η_{γ}

Nguồn dữ liệu cho ví dụ này là các tệp dữ liệu NuDat (cung cấp bởi Trung tâm Dữ liệu Hạt nhân Quốc gia, Phòng thí nghiệm Quốc gia Brookhaven) thu được từ ENSDF (Tệp Dữ liệu Cấu trúc Hạt nhân Được đánh giá). Dữ liệu phân rã được chỉnh sửa trước tiên bằng cách xóa bỏ các xác suất phát xạ hoặc cường độ nhỏ hơn 0,1 % (Bảng B.3).

Bảng B.3 - Dữ liệu hạt nhân cho ví dụ nhân phóng xạ ^{131}I

Nhân phóng xạ	Chu kỳ bán rã	Đơn vị	Loại bức xạ	Năng lượng keV	u_E	Cường độ %	u_i
I-131	8,0207	d	Hạt beta	69,36	0,19	2,1	0,03
I-131	8,0207	d	Hạt beta	86,94	0,2	0,651	0,023
I-131	8,0207	d	Hạt beta	96,62	0,2	7,27	0,1
I-131	8,0207	d	Hạt beta	191,58	0,23	89,9	0,8
I-131	8,0207	d	Hạt beta	283,24	0,23	0,48	0,01
I-131	8,0207	d	E AU K	24,6	0	0,6	0,04
I-131	8,0207	d	E AU L	3,43	0	5,1	0,4
I-131	8,0207	d	E CE K	45,6236	0	3,5	0,3
I-131	8,0207	d	E CE K	249,744	0,005	0,252	0,017
I-131	8,0207	d	E CE K	329,928	0,005	1,55	0,2
I-131	8,0207	d	E CE L	74,7322	0	0,46	0,04
I-131	8,0207	d	E CE L	359,036	0,005	0,246	0,022
I-131	8,0207	d	gamma	80,185	0	2,62	0,04
I-131	8,0207	d	gamma	177,214	0	0,27	0,004
I-131	8,0207	d	gamma	284,305	0,005	6,14	0,07
I-131	8,0207	d	gamma	325,789	0,004	0,274	0,022
I-131	8,0207	d	gamma	364,489	0,005	81,7	0,8
I-131	8,0207	d	gamma	503,004	0,004	0,36	0,004
I-131	8,0207	d	gamma	636,989	0,004	7,17	0,01
I-131	8,0207	d	gamma	642,719	0,005	0,217	0,005
I-131	8,0207	d	gamma	722,911	0,005	1,77	0,03
I-131	8,0207	d	X KA1	29,779	0	2,56	0,16
I-131	8,0207	d	X KA2	29,458	0	1,38	0,09
I-131	8,0207	d	X KB	33,6	0	0,91	0,06
I-131	8,0207	d	XL	4,11	0	0,57	0,18

B.6.1.2 Phân loại và bổ sung xác suất phát xạ beta và photon

Trong bước tiếp theo, dữ liệu về cường độ được sắp xếp theo loại bức xạ và năng lượng phát xạ vào các vùng năng lượng (A.3) và dữ liệu về cường độ trên mỗi vùng năng lượng được thêm vào (Bảng B.4). Dữ liệu tổng được chuyển đổi từ phần trăm ra số liệu tuyệt đối tạo thành các giá trị của hạt nhân phóng xạ và loại bức xạ cụ thể $\eta_{i,j}$ (được đánh dấu bằng chữ đậm trong Bảng B.4).

Bảng B.4 – Cường độ gia tăng cho các vùng năng lượng phát xạ beta và photon cho ¹³¹I

Nhân phóng xạ	Chu kỳ bán rã	Đơn vị	Loại bức xạ	Năng lượng keV	Cường độ %	(40 70) keV	(70 đến 140) keV	(140 đến 400) keV	>400 keV	(5 đến 15) keV	(15 đến 90 keV)	(90 đến 300) keV	>300 keV
I-131	8,0207	d	Hạt beta	69,36	2,1	2,1	0	0	0				
I-131	8,0207	d	Hạt beta	86,94	0,651	0	0,651	0	0				
I-131	8,0207	d	Hạt beta	96,62	7,27	0	7,27	0	0				
I-131	8,0207	d	Hạt beta	191,58	89,9	0	0	89,9	0				
I-131	8,0207	d	Hạt beta	283,24	0,48	0	0	0,48	0				
I-131	8,0207	d	E AU K	24,6	0,6	0	0	0	0				
I-131	8,0207	d	E AU L	3,43	5,1	0	0	0	0				
I-131	8,0207	d	E CE K	45,6236	3,5	3,5	0	0	0				
I-131	8,0207	d	E CE K	249,744	0,252	0	0	0,252	0				
I-131	8,0207	d	E CE K	329,928	1,55	0	0	1,55	0				
I-131	8,0207	d	E CE L	74,7322	0,46	0	0,46	0	0				
I-131	8,0207	d	E CE L	359,036	0,246	0	0	0,246	0				
I-131	8,0207	d	gamma	80,185	2,62					0	2,62	0	0
I-131	8,0207	d	gamma	177,214	0,27					0	0	0,27	0
I-131	8,0207	d	gamma	284,305	6,14					0	0	6,14	0
I-131	8,0207	d	gamma	325,789	0,274					0	0	0	0,274
I-131	8,0207	d	gamma	364,489	81,7					0	0	0	81,7
I-131	8,0207	d	gamma	503,004	0,36					0	0	0	0,36
I-131	8,0207	d	gamma	636,989	7,17					0	0	0	7,17
I-131	8,0207	d	gamma	642,719	0,217					0	0	0	0,217
I-131	8,0207	d	gamma	722,911	1,77					0	0	0	1,77
I-131	8,0207	d	X KA1	29,779	2,56					0	2,56	0	0
I-131	8,0207	d	X KA2	29,458	1,38					0	1,38	0	0
I-131	8,0207	d	X KB	33,6	0,91					0	0,91	0	0
I-131	8,0207	d	XL	4,11	0,57					0	0	0	0
I-131						0,0560	0,0838	0,9243	0,0000	0,0000	0,0747	0,0641	0,9149

B.6.2 Tính toán số hạng tổng của Công thức (A.3)

Để minh họa, dữ liệu cần thiết để tính được biểu diễn thành "ma trận" 8 x 4 (Bảng ELS).

Bảng B.5 - Sơ đồ tính số hạng tổng của Công thức (A.3)

	(40 đến 70) keV	(70 đến 140) keV	(140 đến 400) keV	>400 keV	(5 đến 15) keV	(15 đến 90) keV	(90 đến 300) keV	>300 keV
Hiệu suất thiết bị ϵ_j	0,275	0,416	0,485	0,553	0,019	0,003	0,003	0,009
Xác suất phát xạ η_j	0,056 0	0,083 8	0,924 3	0,000 0	0,000 0	0,074 7	0,064 1	0,914 9
Hiệu suất nguồn nhiễm bản phóng xạ E^{-1}_{ij}	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Sản phẩm của cột riêng rẽ	0,003 9	0,008 7	0,224 1	0,000 0	0,000 0	0,000 1	0,000 1	0,004 1

Các số liệu sản phẩm được hình thành cho các cột riêng lẻ được cộng vào để thu được biểu thị tổng

$$\sum_{ij} (\epsilon_j \cdot \eta_j \cdot E^{-1}_{ij}) = 0,241$$

B.6.3 Tính toán hệ số hiệu chuẩn, đáp ứng của thiết bị và tốc độ đếm thực của thiết bị đối với giá trị khuyến cáo

Với diện tích trung bình S_G là 100 cm² cho giá trị khuyến cáo nhiễm bản phóng xạ bề mặt, hệ số hiệu chuẩn hoạt độ cho ¹³¹I trở thành:

$$C(A)_{I-131} = \frac{1}{S_G \cdot \sum_{ij} (\epsilon_{i,j} \cdot \eta_{i,j} \cdot E^{-1}_{i,j})} = 0,041 \text{ (Bq} \cdot \text{cm}^{-2}) / \text{s}^{-1}$$

và đáp ứng của thiết bị được đưa ra bởi Công thức:

$$I(A)_{I-131} = S_G \cdot \sum_{ij} (\epsilon_{i,j} \cdot \eta_{i,j} \cdot E^{-1}_{i,j}) = 24,1 \text{ s}^{-1} / (\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-2})$$

Đối với giá trị khuyến cáo nhiễm bản phóng xạ bề mặt G_{I-131} bằng 3 Bq.cm⁻² tốc độ đếm thực của thiết bị $r_{G,I-131}$ trở thành:

$$r_{G,I-131} = \frac{G_{I-131}}{C(A)_{I-131}} = 73 \text{ s}^{-1}$$

Hiệu ứng tương đối của việc lấy tổng theo A.8 là 1,1% đối với ¹³¹I.

B.7 So sánh các trường hợp

B.7.1 Tổng quát

Tiếp theo sau đây, các kết quả hiệu chuẩn thu được theo Điều 5 được so sánh với các kết quả hiệu chuẩn thu được bằng cách sử dụng phương pháp hiệu chuẩn được đưa ra trong Phụ lục A.

B.7.2 Trường hợp 1: ^{125}I

Ở phần trên của Bảng B.6 a) và b), các tích $\epsilon_{ij} \cdot \eta_{ij} \cdot E^{-1}_{ij}$ được tạo thành cho các vùng năng lượng tương ứng khi sử dụng Công thức (A.3) và được cộng lại trong cột "Tổng". Phép nhân với $S_p = 100 \text{ cm}^2$ cho ra đáp ứng của thiết bị đối với hoạt độ $I(A)$ tính bằng $\text{s}^{-1}/(\text{Bq} \cdot \text{cm}^2)$ và là giá trị nghịch đảo của $I(A)$ là hệ số hiệu chuẩn hoạt độ $C(A)$ tính bằng $(\text{Bq} \cdot \text{cm}^2)/\text{s}^{-1}$. Trong hàng cuối cùng của bảng, phép tính được thực hiện theo Công thức (B.1). Hai kết quả tương ứng đối với $C(A)$ và $I(A)$ trong Bảng B.6 a) là phù hợp.

Bảng B.6 - So sánh việc tính $I(A)$ cho ^{125}I theo Phụ lục A và Phụ lục B

a)	Điện tử				Photon				"Tổng"	C(A)	I(A)
I-125	(40 đến 70) keV	(70 đến 140) keV	(140 đến 400) keV	>400 keV	(5 đến 15) keV	(15 đến 90) keV	(90 đến 300) keV	>300 keV			
ϵ_{ij}	0,339	0,602	0,662	0,659	0,071	0,095	0,009	0,016			
η_{ij}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,400	0,000	0,000			
$1/E_{ij}$	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5			
Phụ lục A	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,067	0,000	0,000	0,067	0,150	6,65
Phụ lục B					$a = \epsilon 30$	0,953			0,066	0,151	6,64
b)	Điện tử				Photon				"Tổng"	C(A)	I(A)
I-125	(40 đến 70) keV	(70 đến 140) keV	(140 đến 400) keV	>400 keV	(5 đến 15) keV	(15 đến 90) keV	(90 đến 300) keV	>300 keV			
ϵ_{ij}	0,339	0,602	0,662	0,659	0,071	1,000	0,009	0,016			
η_{ij}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,400	0,000	0,000			
$1/E_{ij}$	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5			
Phụ lục A	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,700	0,000	0,000	0,700	0,014	70,0
Phụ lục B					$a = \epsilon 30$	0,500			0,584	0,017	58,4

Nếu ϵ_{ij} cho vùng năng lượng photon (15 đến 90) keV được đặt là bằng 1, như được nêu trong B.2, thì khi sử dụng Công thức (A.3) để tính, sẽ thu được đáp ứng hoạt độ của thiết bị cao hơn, so với khi sử dụng Công thức (B.1) [Bảng B.6 b)] để tính. Tuy nhiên, hiệu suất của thiết bị 100 % đối với vùng năng lượng photon (15 đến 90) keV là không thực tế đối với thiết bị đo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt - SCM (A.5).

B.7.3 Trường hợp 3: ^{99m}Tc

Ở phần trên của Bảng B.7 a), b) và c), các tích $\epsilon_{ij} \cdot \eta_{ij} \cdot E_{ij}^{-1}$ được hình thành cho các vùng năng lượng tương ứng khi sử dụng Công thức (A.3) và được cộng lại trong cột "Tổng". Phép nhân với $S_p = 100 \text{ cm}^2$ cho ra đáp ứng của thiết bị đối với hoạt độ $I(A)$ tính bằng $\text{s}^{-1}/(\text{Bq} \cdot \text{cm}^2)$ và là giá trị nghịch đảo của $I(A)$ là hệ số hiệu chuẩn hoạt độ $C(A)$ tính bằng $(\text{Bq} \cdot \text{cm}^2)/\text{s}^{-1}$. Trong hai hàng cuối cùng của Bảng B.7, phép tính được thực hiện theo Công thức (B.2).

Bảng B.7 - So sánh việc tính $I(A)$ cho ^{99m}Tc theo Phụ lục A và Phụ lục B

a)	Điện tử				Photon				"Tổng"	C(A)	I(A)
Tc-99m	(40 đến 70) keV	(70 đến 140) keV	(140 đến 400) keV	>400 keV	(5 đến 15) keV	(15 đến 90) keV	(90 đến 300) keV	>300 keV			
ϵ_{ij}	0,339	0,602	0,662	0,659	0,071	0,095	0,009	0,016			
η_{ij}	0,000	0,114	0,000	0,000	0,000	0,076	0,885	0,000			
$1/E_{ij}$	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5			
Phụ lục A	0,000	0,017	0,000	0,000	0,000	0,004	0,004	0,000	0,025	0,400	2,50
Phụ lục B				$a = \epsilon 20$		0,952					
				$b = \epsilon 140$			0,995		0,008	1,299	0,77
b)	Điện tử				Photon				"Tổng"	C(A)	I(A)
Tc-99m	(40 đến 70) keV	(70 đến 140) keV	(140 đến 400) keV	>400 keV	(5 đến 15) keV	(15 đến 90) keV	(90 đến 300) keV	>300 keV			
ϵ_{ij}	0,339	0,000	0,662	0,659	0,071	0,095	0,009	0,016			
η_{ij}	0,000	0,114	0,000	0,000	0,000	0,076	0,885	0,000			
$1/E_{ij}$	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5			
Phụ lục A	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,004	0,000	0,008	1,283	0,78
Phụ lục B				$a = \epsilon 20$		0,995					
				$b = \epsilon 140$					0,008	1,299	0,77
c)	Điện tử				Photon				"Tổng"	C(A)	I(A)
Tc-99m	(40 đến 70) keV	(70 đến 140) keV	(140 đến 400) keV	>400 keV	(5 đến 15) keV	(15 đến 90) keV	(90 đến 300) keV	>300 keV			
ϵ_{ij}	0,339	0,000	0,662	0,659	0,071	1,000	0,500	0,016			
η_{ij}	0,000	0,114	0,000	0,000	0,000	0,076	0,885	0,000			
$1/E_{ij}$	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5			
Phụ lục A	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,038	0,221	0,000	0,259	0,039	25,9
Phụ lục B				$a = \epsilon 20$		0,500					
				$b = \epsilon 140$			0,750		0,251	0,040	25,1

Nếu ϵ_{ij} cho vùng năng lượng beta (70 đến 140) keV giữ nguyên không thay đổi, thì khi sử dụng Công thức (A.3) để tính, sẽ thu được đáp ứng hoạt độ của thiết bị cao hơn so với khi sử dụng Công thức (A.3) [Bảng B.7 a) để tính.

Nếu ϵ_{ij} cho vùng năng lượng beta (70 đến 140) keV thay đổi thành 0, như được nêu trong B.4, thì hai kết quả tương ứng cho $C(A)$ và $I(A)$ trong Bảng B.7 b) sẽ phù hợp. Điều tương tự cũng sẽ đúng, nếu như, thêm vào đó hiệu suất của thiết bị cho các vùng năng lượng photon (15 đến 90) keV và (90 đến 300) keV được thay đổi tương ứng thành 1 và 0,5, như được nêu trong B.4 [Bảng B.7 c)]. Hiệu suất của thiết bị 100 % cho vùng năng lượng photon (15 đến 90) keV tuy nhiên không thực tế đối với thiết bị đo nhiễm bản phóng xạ bề mặt - SCM (A.5).

B.7.4 Trường hợp 4: ^{111}In

Ở phần trên của Bảng B.8 a), b) và c), các tích $\epsilon_{ij} \cdot \eta_{ij} \cdot E^{-1}_{ij}$ được hình thành cho các vùng năng lượng tương ứng khi sử dụng Công thức (A.3) và được cộng lại trong cột "Tổng". Phép nhân với $S_p = 100 \text{ cm}^2$ cho đáp ứng của thiết bị đối với hoạt độ $I(A)$ tính bằng $\text{s}^{-1}/(\text{Bq} \cdot \text{cm}^2)$ và là giá trị nghịch đảo của $I(A)$ là hệ số hiệu chuẩn hoạt độ $C(A)$ tính bằng $(\text{Bq} \cdot \text{cm}^2)/\text{s}^{-1}$. Trong ba hàng cuối cùng của Bảng B.8, phép tính được thực hiện theo Công thức (B.3).

Bảng B.8 - So sánh việc tính $I(A)$ cho ^{111}In theo Phụ lục A và Phụ lục B

a)	Điện tử				Photon				"Tổng"	$C(A)$	$I(A)$
In-111	(40 đến 70) keV	(70 đến 140) keV	(140 đến 400) keV	>400 keV	(5 đến 15) keV	(15 đến 90) keV	(90 đến 300) keV	>300 keV			
ϵ_{ij}	0,339	0,602	0,662	0,659	0,071	0,095	0,009	0,016			
η_{ij}	0,000	0,000	0,149	0,000	0,000	0,823	1,842	0,000			
$1/E_{ij}$	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5			
Phụ lục A	0,000	0,000	0,049	0,000	0,000	0,039	0,009	0,000	0,097	0,103	9,74
Phụ lục B					$a = \epsilon 25$	0,952					
					$b = \epsilon 171$		0,995				
					$c = \epsilon 245$		0,995		0,048	0,208	4,80
b)	Điện tử				Photon				"Tổng"	$C(A)$	$I(A)$
In-111	(40 đến 70) keV	(70 đến 140) keV	(140 đến 400) keV	>400 keV	(5 đến 15) keV	(15 đến 90) keV	(90 đến 300) keV	>300 keV			
ϵ_{ij}	0,339	0,602	0,000	0,659	0,071	0,095	0,009	0,016			
η_{ij}	0,000	0,000	0,149	0,000	0,000	0,823	1,842	0,000			
$1/E_{ij}$	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5			

Bảng B.8 - So sánh việc tính $I(A)$ cho ^{111}In theo Phụ lục A và Phụ lục B (kết thúc)

Phụ lục A	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,039	0,009	0,000	0,048	0,208	4,80
Phụ lục B				$a = \epsilon 25$		0,952					
				$b = \epsilon 171$			0,995				
				$c = \epsilon 245$			0,995		0,048	0,208	4,80
c)	Điện tử				Photon				"Tổng"	$C(A)$	$I(A)$
In-111	(40 đến 70) keV	(70 đến 140) keV	(140 đến 400) keV	>400 keV	(5 đến 15) keV	(15 đến 90) keV	(90 đến 300) keV	>300 keV			
a_j	0,339	0,602	0,000	0,659	0,071	0,900	0,400	0,016			
η_j	0,000	0,000	0,149	0,000	0,000	0,823	1,842	0,000			
$1/E_j$	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5			
Phụ lục A	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,370	0,368	0,000	0,739	0,014	73,9
Phụ lục B				$a = \epsilon 25$		0,550					
				$b = \epsilon 171$			0,800				
				$c = \epsilon 245$			0,800		0,581	0,017	58,1

Nếu a_j cho vùng năng lượng beta (140 đến 400) keV giữ nguyên không thay đổi, thì khi sử dụng Công thức (A.3) để tính, sẽ thu được đáp ứng hoạt độ của thiết bị cao hơn so với khi sử dụng Công thức (B.3) [Bảng B.8 a) để tính.

Nếu a_j cho vùng năng lượng beta (140 đến 400) keV thay đổi thành 0, như được nêu trong B.5, thì hai kết quả tương ứng cho $C(A)$ và $I(A)$ trong Bảng B.8 b) sẽ phù hợp. Nếu như, thêm vào đó hiệu suất của thiết bị cho các vùng năng lượng photon (15 đến 90) keV và (90 đến 300) keV được thay đổi, tương ứng, thành 0,9 và 0,4, như đã được nêu trong B.5, thì khi sử dụng Công thức (A.3) để tính, thì thu được đáp ứng của thiết bị đối với hoạt độ cao hơn so với khi sử dụng Công thức (B.3) [Bảng B.8 c) để tính. Hiệu suất của thiết bị 90 % cho vùng năng lượng photon (15 đến 90) keV, tuy nhiên, không thực tế đối với thiết bị đo nhiễm bản phóng xạ bề mặt - SCM (A.5).

Phụ lục C

(Tham khảo)

Đánh giá nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt đối với hỗn hợp nhân phóng xạ

C.1 Những xem xét chính

Nếu có nhiều nhân phóng xạ và hoạt độ tương đối chưa biết, thì việc đánh giá hoạt độ của các thành phần riêng lẻ phức tạp hơn. Đầu tiên, các nhân phóng xạ liên quan phải được nhận biết; - thường thì lịch sử của cơ sở là đủ để xác định nội dung này. Trong các trường hợp khác, có thể cần phải sử dụng phương pháp đo phổ gamma hoặc phân tích hóa phóng xạ để xác định các nhân phóng xạ. Ngoài ra, có thể số tình huống có thể áp dụng các quá trình đơn giản với việc sử dụng một máy đo nhiễm bẩn phóng xạ xách tay để thu được những đánh giá với độ không đảm bảo có thể chấp nhận được. Mỗi tình huống cần được đánh giá riêng.

C.2 Phương pháp đánh giá đối với hỗn hợp nhân phóng xạ

C.2.1 Tổng quát

Sau đây, sẽ xem xét hai phương pháp đánh giá nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt.

Nếu xác định các nhân phóng xạ của một hỗn hợp mà không có hiểu biết về thành phần của mỗi nhân phóng xạ tạo thành hỗn hợp, thì có thể áp dụng kỹ thuật (phương pháp) hấp thụ để đánh giá hoạt độ trên một đơn vị diện tích của nhân phóng xạ riêng lẻ.

Nếu biết được thành phần tương quan của nhân phóng xạ trong hỗn hợp và hệ số hiệu chuẩn hoạt độ của mỗi nhân phóng xạ trong hỗn hợp, có thể áp dụng một tính toán để biết được hệ số hiệu chuẩn hoạt độ của hỗn hợp nhân phóng xạ. Ví dụ về một kịch bản như vậy có thể là một thùng vận chuyển thanh nhiên liệu hạt nhân đã qua sử dụng, trong đó vật liệu nhiên liệu phải được vận chuyển với nước bao quanh. Hỗn hợp nhân phóng xạ của nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt sau đó có thể được xác định thông qua việc phân tích hóa phóng xạ của nước bên trong thùng chứa.

C.2.2 Kỹ thuật (phương pháp) hấp thụ

Trong Phụ lục B của TCVN 7078-1 (ISO 7503-1) có đưa ra một ví dụ thực tế, trong đó có thể thực hiện các bước tương đối đơn giản để xác định hoạt độ của các nhân phóng xạ riêng rẽ.

C.2.3 Hệ số hiệu chuẩn để đánh giá các nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt của hỗn hợp nhân phóng xạ

Việc tính toán hệ số hiệu chuẩn cho hỗn hợp nhân phóng xạ dưới đây chỉ áp dụng nếu đã biết các nhân phóng xạ và tỷ lệ của chúng.

Nếu một máy đo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt được sử dụng để đánh giá nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt của một hỗn hợp nhân phóng xạ đã biết các hệ số hiệu chuẩn hoạt độ $C(A)_n$ của n nhân phóng xạ thì có thể sử dụng Công thức (C.1).

Hệ số hiệu chuẩn hoạt độ $C(A)_m [= 1/I(A)_m]$ đối với một hỗn hợp nhân phóng xạ nhất định m mà đã biết được sự đóng góp nhân phóng xạ vào hỗn hợp được tính theo Công thức:

$$C(A)_m = \frac{1}{\sum_{n=1}^N \frac{f_n}{C(A)_n}} \quad (C.1)$$

trong đó

$C(A)_m$ là hệ số hiệu chuẩn hoạt độ của một nhân phóng xạ n tính bằng Bq.cm²/s⁻¹;

f_n là phần nhân phóng xạ n trong hỗn hợp $\sum_{n=1}^N \frac{f_n}{C(A)_n}$

Tốc độ đếm thực của thiết bị $r_{G,m}$ tương đương với giá trị khuyến cáo nhiễm bản phóng xạ bề mặt G_m đối với một hỗn hợp nhân phóng xạ cho trước, đã biết sự đóng góp của nhân phóng xạ vào hỗn hợp, có thể được biểu thị bằng Công thức:

$$r_{G,m} = G_m \cdot \sum_{n=1}^N \left(\frac{f_n}{G_n} \cdot r_{G,n} \right) \quad (C.2)$$

Trong đó

$$G_m = \frac{1}{\sum_{n=1}^N \left(\frac{f_n}{G_n} \cdot r_{G,n} \right)}$$

f_n là phần nhân phóng xạ n trong hỗn hợp $\left(\sum_{n=1}^N f_n = 1 \right)$

$$r_{G,n} = \frac{G_n}{C(A)_n} = G_n \cdot I(A)_n$$

Hoạt độ của nhiễm bản phóng xạ bám chặt và nhiễm bản phóng xạ không bám chặt của hỗn hợp nhân phóng xạ m trên bề mặt đang được kiểm tra có thể được tính bằng cách sử dụng bội số của giá trị khuyến cáo nhiễm bản phóng xạ bề mặt $M_{G,m}$. Bội số $M_{G,m}$ của giá trị khuyến cáo nhiễm bản phóng xạ bề mặt G_m [5] được tính theo Công thức:

$$M_{G,m} = \frac{(\rho_g - \rho_0)}{r_{G,m}} \quad (C.3)$$

Trong đó

ρ_g là tốc độ đếm tổng đo được từ nhiễm bản phóng xạ bề mặt, tính bằng s⁻¹;

ρ_0 là tốc độ đếm phông, tính bằng s⁻¹;

C.3 Tính hoạt độ trên một đơn vị diện tích đối với các nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt với hỗn hợp nhân phóng xạ

Hoạt độ trên một đơn vị diện tích, $A_{s,m}$, của nhiễm bẩn phóng xạ bám chặt và không bám chặt của hỗn hợp nhân phóng xạ m liên quan đến tốc độ đếm đo được, tính bằng Bq.cm⁻² và tính được theo Công thức (C.4):

$$A_{s,m} = C(A)_m \cdot (\rho_g - \rho_0) \quad (C.4)$$

Trong đó

$C(A)_m$ là hệ số hiệu chuẩn của một hỗn hợp nhân phóng xạ m cho trước với phân bố nhân phóng xạ đã biết, tính bằng Bq.cm⁻²/s⁻¹;

ρ_g là tốc độ đếm tổng đo được từ nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt, tính bằng s⁻¹;

ρ_0 là tốc độ đếm phông, tính bằng s⁻¹;

Phụ lục D

(Tham khảo)

Hiệu chuẩn việc đánh giá gián tiếp nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt

D.1 Tổng quát

Đánh giá hoạt độ trên các mẫu lau có thể được thực hiện bằng bất kỳ thiết bị đếm phòng thử nghiệm nào đã được hiệu chuẩn một cách thích hợp. Nói chung, hệ đo đếm phải có hiệu chuẩn có thể liên kết chuẩn với chuẩn quốc gia đối với một nhân phóng xạ hoặc các nhân phóng xạ được đề cập. Nếu không có thiết bị phòng thử nghiệm, có thể sử dụng các thiết bị cầm tay đã được hiệu chuẩn để đo mẫu trong điều kiện về hình học có thể tái lập. Việc tính toán các hệ số hiệu chuẩn cho các thiết bị cầm tay được nêu trong các điều từ D.2 đến D.4.

D.2 Nguồn hiệu chuẩn cho thiết bị cầm tay

Việc hiệu chuẩn thiết bị cầm tay phải được thực hiện bằng nguồn chuẩn loại planchet (nguồn dẹt hình tròn). Diện tích hoạt động của nguồn phải tương ứng với đường kính của vật liệu lau.

D.3 Hình học hiệu chuẩn cho các thiết bị cầm tay

Nguồn hiệu chuẩn cần được đặt ở giữa tâm, bên dưới cửa sổ của detector, trong các điều kiện hình học đã biết. Điều kiện khi hiệu chuẩn càng giống với điều kiện thực tế khi đo trực tiếp vật liệu lau càng tốt sau đó.

D.4 Tính hiệu suất của thiết bị cho phương pháp gián tiếp

Hiệu suất của thiết bị $\epsilon_{i,j}$ đối với một nhân phóng xạ cho trước với loại bức xạ j (bức xạ alpha, beta hoặc photon) hoặc cho một dải năng lượng nhất định được đại diện bởi loại bức xạ j thì tính được theo Công thức:

$$\epsilon_{i,j} = \frac{(\rho_g - \rho_0)}{R_c} \quad (D.1)$$

Trong đó

ρ_g là tốc độ đếm quan sát được từ nguồn hiệu chuẩn, tính bằng s^{-1} ;

ρ_0 là tốc độ đếm phông, tính bằng s^{-1} ;

R_c là suất phát xạ bề mặt đối với loại bức xạ j (bức xạ alpha, beta hoặc photon) của nguồn hiệu chuẩn tính bằng s^{-1} .

D.5 Hệ số hiệu chuẩn phương pháp gián tiếp để đánh giá các nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt

Hệ số hiệu chuẩn $C(A)_n^{ind}$ đối với một nhân phóng xạ n được tính theo Công thức:

$$C(A)_n^{ind} = \frac{1}{S_w \cdot \varepsilon_w \cdot \sum_{i,j} (\varepsilon_{i,j} \cdot \eta_{i,j} \cdot E_{i,j}^{-1})} \quad (D.2)$$

trong đó

S_w là vùng được lau tính bằng cm^2 ;

ε_w là hiệu suất lau.

Nếu hiệu suất lau ε_w không được xác định bằng thực nghiệm, có thể sử dụng giá trị bảo thủ $\varepsilon_w = 0,1$.

$\varepsilon_{i,j}$ là hiệu suất của thiết bị đối với một năng lượng hoặc vùng năng lượng nhất định i và đối với loại bức xạ j (bức xạ alpha hoặc beta hoặc photon);

$\eta_{i,j}$ là dữ liệu cường độ phát xạ tổng cho một vùng năng lượng nhất định i và đối với loại bức xạ j (bức xạ alpha hoặc beta hoặc photon);

$E_{i,j}^{-1}$ là giá trị nghịch đảo của hệ số xuất hiện của một nguồn cho một năng lượng hoặc vùng năng lượng nhất định i và đối với loại bức xạ j (bức xạ alpha hoặc beta hoặc photon).

Chỉ số tổng đề cập đến loại phóng xạ và các vùng năng lượng cụ thể của phóng xạ đó.

Tốc độ đếm thực của thiết bị $r_{G,n}$ tương đương với giá trị khuyến cáo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt nhân phóng xạ G_n cho một nhân phóng xạ n có thể được biểu thị bằng:

$$r_{G,n} = \frac{G_n}{C(A)_n^{ind}} \quad (D.3)$$

Trong đó S_w trong Công thức (D.2) được sử dụng là 100 cm^2 .

Tốc độ đếm thực $r_{L,n}$ của thiết bị tương đương với giới hạn nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt nhân phóng xạ cụ thể L_n có thể được biểu thị bằng:

$$r_{L,n} = \frac{L_n}{C(A)_n^{ind}} \quad (D.4)$$

Nếu tuân thủ các yêu cầu của Tài liệu tham khảo [2] thì hệ số hiệu chuẩn $C(A)_n^{ind}$ phải được tính với diện tích S_w là 300 cm^2 .

D.6 Hệ số hiệu chuẩn của phương pháp gián tiếp để đánh giá nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt của hỗn hợp nhân phóng xạ

Hệ số hiệu chuẩn của kiểm tra lau $C(A)_m^{ind}$ đối với một hỗn hợp nhân phóng xạ cho trước m đã biết sự đóng góp của nhân phóng xạ vào hỗn hợp, và diện tích nguồn hiệu chuẩn bằng diện tích vật liệu lau, được tính theo Công thức:

$$C(A)_m^{ind} = \frac{1}{\sum_{n=1}^N \frac{f_n}{C(A)_n^{ind}}} \quad (D.5)$$

trong đó

$C(A)_m^{ind}$ là hệ số hiệu chuẩn của kiểm tra lau đối với một nhân phóng xạ cho trước n và diện tích nguồn hiệu chuẩn bằng diện tích vật liệu lau, tính bằng $Bq.cm^2/s^{-1}$.

f_n là phần nhân phóng xạ n trong hỗn hợp (đề nghị xem lại công thức)

Tốc độ đếm thực của thiết bị $r_{G,m}$ tương đương với giá trị khuyến cáo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt G_m đối với hỗn hợp nhân phóng xạ nhất định m với đóng góp nhân phóng xạ đã biết vào hỗn hợp có thể được biểu thị như sau:

$$r_{G,m} = G_m \cdot \sum_{n=1}^N \left(\frac{f_n}{G_n} \cdot r_{G,n} \right) \quad (D.6)$$

Trong đó

$$G_m = \frac{1}{\sum_{n=1}^N \frac{f_n}{G_n}}$$

f_n là phần nhân phóng xạ n trong hỗn hợp $\left(\sum_{n=1}^N f_n = 1 \right)$

Tốc độ đếm thực của thiết bị $r_{L,m}$ tương đương với giới hạn nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt L_m đối với hỗn hợp nhân phóng xạ nhất định m với đóng góp nhân phóng xạ đã biết vào hỗn hợp có thể được biểu thị như sau:

$$r_{L,m} = L_m \cdot \sum_{n=1}^N \left(\frac{f_n}{L_n} \cdot r_{L,n} \right) \quad (D.7)$$

Với

$$L_m = \frac{1}{\sum_{n=1}^N \frac{f_n}{L_n}}$$

f_n là phần nhân phóng xạ n trong hỗn hợp $\left(\sum_{n=1}^N f_n = 1\right)$

CHÚ THÍCH Nếu Công thức (D.7) áp dụng cho giới hạn nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt của nhân phóng xạ không cụ thể đối với bức xạ beta và gamma hoặc cho giới hạn nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt của nhân phóng xạ không cụ thể đối với bức xạ alpha (ví dụ giới hạn nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt $L_{\beta,\gamma}$ và L_α được yêu cầu bởi Tài liệu tham khảo [2], sau đó

$$r_{L,m} = \sum_{n=1}^N (f_n \cdot r_{L,n})$$

D.7 Tính hoạt độ trên một đơn vị diện tích đối với kết quả phép đo gián tiếp

Hoạt độ trên một đơn vị diện tích a_r của nhiễm bẩn phóng xạ không bám chặt của bề mặt lau, biểu thị bằng Bq.cm⁻², có thể được tính theo Công thức (D.8):

$$a_r = C(A)_n^{nd} \cdot (\rho_g - \rho_0) \quad (D.8)$$

Trong đó

$C(A)_n^{nd}$ là hệ số hiệu chuẩn kiểm tra lau đối với một nhân phóng xạ đã cho n và đối với một nguồn hiệu chuẩn có diện tích bằng với diện tích vật liệu lau tính bằng Bq.cm⁻²/s⁻¹;

ρ_g là tốc độ đếm tổng đo được tính bằng s⁻¹;

ρ_0 là tốc độ đếm phông tính bằng s⁻¹.

D.8 Xác định giới hạn đặc tính theo ISO 11929

Tính giới hạn đặc tính (ngưỡng quyết định, giới hạn phát hiện và giới hạn của khoảng tin cậy) theo ISO 11929 được nêu trong Phụ lục B.

Phụ lục E
(Tham khảo)

Áp dụng ISO 11929 để đánh giá trực tiếp nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt

E.1 Tổng quát

Cơ quan an toàn bức xạ có thể yêu cầu so sánh thống kê kết quả xác định hoạt độ nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt với giá trị khuyến cáo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt (ví dụ: Tài liệu tham khảo [1] với nhân phóng xạ cụ thể "Các hướng dẫn nồng độ gốc (DCGL) - "Derived Concentration Guideline Levels (DCGL)" hoặc với giới hạn nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt (ví dụ Tài liệu tham khảo [2] với các giới hạn nhân phóng xạ không cụ thể cho việc nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt không bám chặt. Do đó, dưới đây sẽ đưa ra các ví dụ về bảng độ không đảm bảo và các giới hạn đặc trưng theo ISO 11929 để xác định trực tiếp nồng độ hoạt độ bề mặt.

E.2 Biểu thị giá trị đo

Đối với việc kiểm tra nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt bám chặt và không bám chặt của một nhân phóng xạ n bằng cách đo trực tiếp, giá trị đo $A_{s,n}$ là hoạt độ trên một đơn vị diện tích. Mô hình kiểm tra có thể được biểu thị như sau:

$$A_{s,n} \sim y = \frac{\rho_g - \frac{(\rho_0 \cdot t_0 + 1)}{t_0}}{S \cdot F} = \frac{\rho_g - \rho_0 - \frac{1}{t_0}}{S \cdot F} \quad (\text{E.1})$$

với

$$F = \sum_{i,j} \frac{\varepsilon_{i,j} \cdot \eta_{i,j}}{E_{i,j}} \quad (\text{E.2})$$

trong đó

$A_{s,n}$ là hoạt độ trên một đơn vị diện tích nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt bám chặt hoặc không bám chặt của nhân phóng xạ n , tính bằng Bq.cm⁻²;

y là kết quả ban đầu đo được hoạt độ nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt bám chặt hoặc không bám chặt $A_{s,n}$ tính bằng Bq.cm⁻²;

ρ_g là tốc độ đếm tổng, tính bằng s⁻¹;

ρ_0 là tốc độ đếm phông, tính bằng s⁻¹;

t_0 là thời gian đo khi đo tốc độ đếm phông, tính bằng s;

$S = S_p$ là diện tích hiệu dụng cửa sổ của detector, tính bằng cm², trong trường hợp không yêu cầu lấy trung bình giá trị chỉ số đọc được của thiết bị;

$S = S_G$ là diện tích nguồn hiệu chuẩn hoạt động tương đương với diện tích trung bình cho giá trị khuyến cáo nhiệm bản phóng xạ bề mặt, tính bằng cm^2 , trong trường hợp có yêu cầu lấy trung bình giá trị chỉ số đọc của thiết bị;

$\varepsilon_{i,j}$ là hiệu suất của thiết bị đối với một năng lượng hoặc vùng năng lượng nhất định i và đối với loại bức xạ j (bức xạ alpha hoặc beta hoặc photon);

$\eta_{i,j}$ là dữ liệu cường độ phát xạ tổng cho một vùng năng lượng nhất định i và đối với loại bức xạ j (bức xạ alpha hoặc beta hoặc photon);

$E_{i,j}$ là hệ số xuất hiện của một nguồn đối với một năng lượng hoặc vùng năng lượng nhất định i và đối với loại bức xạ j (bức xạ alpha hoặc beta hoặc photon).

CHÚ THÍCH 1: Biểu thức $1/t_0$ trong Công thức (E.1) được sử dụng để xử lý tốc độ đếm phòng rất thấp,

CHÚ THÍCH 2: Việc sử dụng Công thức (E.2). $Sp \cdot F = I(A)$ trong đó $I(A)$ là đáp ứng của thiết bị về hoạt độ trên một đơn vị diện tích, xác định được trong Bảng 1 (xem 5.2).

E.3 Biểu thị của độ không đảm bảo chuẩn

Độ không đảm bảo chuẩn được tính theo:

$$u(y) = \sqrt{\frac{1}{S^2 \cdot F^2} \cdot \left[\frac{\rho_g}{t_g} + \frac{\rho_0}{t_0} \right] + y^2 \left[\frac{u(S)^2}{S^2} + \frac{u(F)^2}{F^2} \right]} \quad (\text{E.3})$$

$$u(F) = \sqrt{\sum_{i,j} \left[\frac{\eta_{i,j}^2}{E_{i,j}^2} \cdot u(\varepsilon_{i,j})^2 + \frac{\varepsilon_{i,j}^2}{E_{i,j}^2} \cdot u(\eta_{i,j})^2 + \varepsilon_{i,j}^2 \cdot \eta_{i,j}^2 \cdot u\left(\frac{1}{E_{i,j}}\right)^2 \right]} \quad (\text{E.4})$$

và

$$\frac{u[I(A)]}{I(A)} = \sqrt{\frac{u(F)^2}{F^2} + \frac{u(S)^2}{S^2}} \quad (\text{E.5})$$

Trong đó

t_g là thời gian đo của tốc độ đếm tổng, tính bằng s.

E.4 Biểu thị ngưỡng quyết định

Ngưỡng quyết định được tính theo:

$$y^* = k_{1-\alpha} \cdot u(y=0) \quad (\text{E.6})$$

Trong đó

$k_{1-\alpha}$ là điểm vi phân của phân bố thường chuẩn đối với xác suất $1-\alpha$, α là xác suất lỗi của loại đầu tiên, tức là, xác suất từ chối giả thuyết, nếu đúng.

Đối với $y = 0$ theo Công thức (E.1) có: $\rho_g = \rho_0 + 1/t_0$

Khi đó, theo Công thức (E.3) và (E.6)

$$y^* = \frac{k_{1-\alpha}}{S \cdot F} \cdot \sqrt{\rho_0 \cdot \left(\frac{1}{t_g} + \frac{1}{t_0} \right) + \frac{1}{t_0 \cdot t_g}} \quad (\text{E.7})$$

Kết quả đo ban đầu xác định được, y_i đối với một giá trị đo không âm chỉ có ý nghĩa, nếu lớn hơn ngưỡng quyết định ($y > y^*$).

E.5 Biểu thị giới hạn phát hiện

Giới hạn phát hiện tính được theo Công thức:

$$y^{\#} = y^* + k_{1-\beta} \cdot u(y = y^{\#}) \quad (\text{E.8})$$

Trong đó

$k_{1-\beta}$ là điểm vi phân của phân bố thường chuẩn đối với xác suất $1-\beta$,

β là xác suất lỗi của loại thứ hai, tức là, xác suất chấp nhận giả thuyết, khi nó là sai.

Đối với $y = y^{\#}$ theo Công thức (E.1) có: $\rho_g = S \cdot F \cdot y^{\#} + \rho_0 + 1/t_0$

Theo Công thức (E.3):

$$u(y = y^{\#})^2 = \left[\frac{u(S)^2}{S^2} + \frac{u(F)^2}{F^2} \right] \cdot y^{\#2} + \frac{1}{S \cdot F \cdot t_g} \cdot y^{\#} + \frac{1}{S^2 \cdot F^2} \cdot \left[\rho_0 \cdot \left(\frac{1}{t_g} + \frac{1}{t_0} \right) + \frac{1}{t_0 \cdot t_g} \right] \quad (\text{E.9})$$

Theo Công thức (E.7):

$$\rho_0 \cdot \left(\frac{1}{t_g} + \frac{1}{t_0} \right) + \frac{1}{t_0 \cdot t_g} = \frac{S^2 \cdot F^2 \cdot y^{*2}}{k_{1-\alpha}^2} \quad (\text{E.10})$$

Công thức (E.9) có thể biểu thị bằng

$$u(y = y^{\#})^2 = \left[\frac{u(S)^2}{S^2} + \frac{u(F)^2}{F^2} \right] \cdot y^{\#2} + \frac{1}{S \cdot F \cdot t_g} \cdot y^{\#} + \frac{y^{*2}}{k_{1-\alpha}^2} \quad (\text{E.11})$$

Biết rằng, theo Công thức (E. 8):

$$u(y = y^{\#})^2 = \frac{y^{\#2}}{k_{1-\beta}^2} - \frac{2 \cdot y^*}{k_{1-\beta}^2} \cdot y^{\#} + \frac{y^{*2}}{k_{1-\beta}^2} \quad (\text{E.12})$$

Bằng cách lấy Công thức (E.11) trừ đi Công thức (E.12) và $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta}$

$$y^{\#} = \frac{2 \cdot y^{\circ} + \frac{k_{1-\beta}^2}{S \cdot F \cdot t_g}}{1 - k_{1-\beta}^2 \cdot \left[\frac{u(S)^2}{S^2} + \frac{u(F)^2}{F^2} \right]} \quad (\text{E.13})$$

và

$$\sqrt{\frac{u(S)^2}{S^2} + \frac{u(F)^2}{F^2}} < \frac{1}{k_{1-\beta}}$$

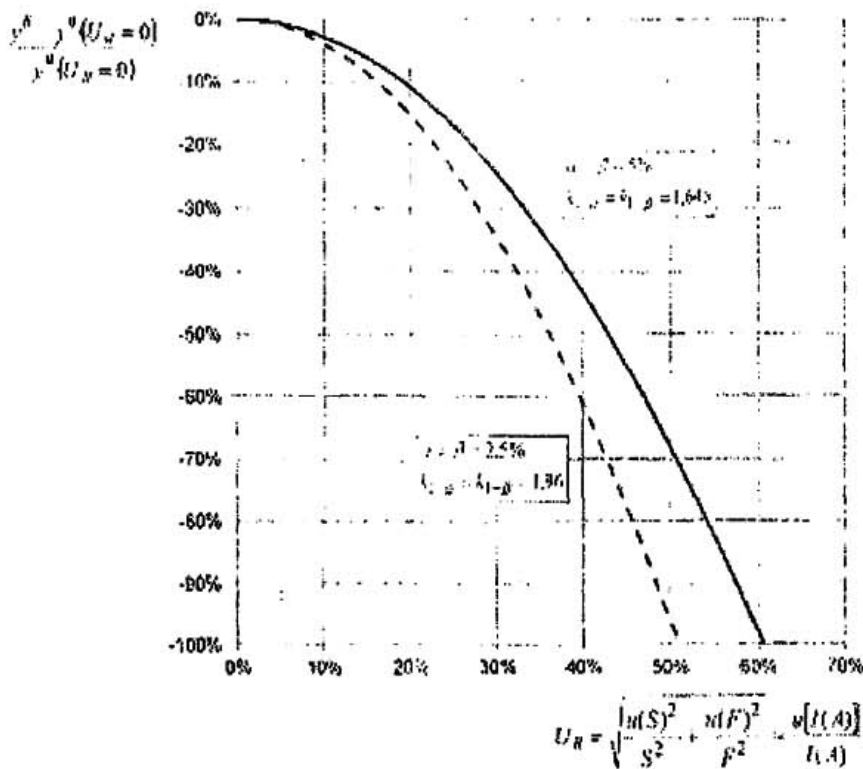
để cho $U_R = \sqrt{\frac{u(S)^2}{S^2} + \frac{u(F)^2}{F^2}}$ (E.14)

Nếu $U_R = 0$ thì Công thức (E.13) trở thành:

$$y^{\#}(U_R = 0) = 2 \cdot y^{\circ} + \frac{k_{1-\beta}^2}{S \cdot F \cdot t_g} \quad (\text{E.15})$$

Hình E.1 hiển thị $\frac{y^{\#} - y^{\#}(U_R = 0)}{y^{\#}(U_R = 0)}$ tính bằng % với U_R tính bằng %. Sẽ xuất hiện:

- với $\alpha = \beta = 2,5\%$ nếu $U_R \leq 15\%$ thì khi đó Công thức (E.15) cho một số xấp xỉ tốt trong khoảng 10 % giới hạn phát hiện,
- với $\alpha = \beta = 5\%$ nếu $U_R \leq 20\%$ thì khi đó Công thức (E.15) cho một số xấp xỉ tốt trong khoảng 10 % giới hạn phát hiện,



Hình E.1 – Tương quan giữa giới hạn phát hiện và độ không đảm bảo tương đối

E.6 Giới hạn của khoảng tin cậy

Các giới hạn của khoảng tin cậy được cho phép tính đến một hiệu ứng vật lý được công nhận như là hiện hữu phù hợp với E.4, theo cách mà khoảng tin cậy sẽ chứa giá trị thực của giá trị đo và với xác suất xác định là $1 - \gamma$. Thông thường giá trị của γ được chọn bằng 0,05, khi đó $k_{1-\gamma/2} = 1,96$.

E.7 Đánh giá kết quả đo

Kết quả đo lần đầu xác định được, y , của giá trị đo phải được so sánh với ngưỡng quyết định y^* . Nếu $y > y^*$, thì hiệu ứng vật lý được định lượng bởi giá trị được đo, được công nhận là hiện hữu. Nếu không, quyết định rằng, không có hiệu ứng vật lý. Khi đó, nếu $y \geq y^*$, thì kết quả đo được đưa ra là $Y = y \pm k_{1-\gamma/2} \cdot u(y)$, và nếu $y < y^*$, thì kết quả đo sẽ là $Y < y^*$.

Nếu giá trị thấp hơn của khoảng tin cậy là âm, thì có thể sử dụng cách tính ước lượng tốt nhất của giá trị được đo và các giới hạn không đối xứng của khoảng tin cậy theo ISO 11929.

E.8 Đánh giá quy trình đo

Quyết định về việc, liệu một quy trình đo đáp ứng được các yêu cầu liên quan đến phát hiện hiệu ứng vật lý, được định lượng bởi giá trị đo, thì được thực hiện bằng cách so sánh giới hạn phát hiện y^h với giá trị khuyến cáo đã định y_r . Nếu $y^h > y_r$, hoặc nếu trong Công thức (E.13) $U_R \geq 1 / k_{1-\beta}$ thì quy trình đo là không phù hợp đối với mục đích đo về khía cạnh các yêu cầu.

Để cải thiện tình huống trong trường hợp $y^{\#} > y_r$ có thể cần phải kéo dài thời gian đo hoặc thực hiện các nghiên cứu cụ thể để giảm các thông số thành phần của U_R . Nếu như, mặc dù đã có biện pháp, nhưng U_R vẫn không giảm được một cách hợp lý, và khi không có đủ kiến thức tốt hơn về giá trị và các độ không đảm bảo của các thông số thành phần bất lợi nhất của U_R , thì có thể sử dụng các giá trị thận trọng hợp lý mà không có độ không đảm bảo liên quan (xem Bảng E.1).

Bảng E.1 - Các giá trị thận trọng hợp lý được sử dụng cho phương pháp đo trực tiếp

Loại phóng xạ j	Alpha	Điện tử				Photon			
		40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300
Vùng năng lượng i , keV	Tất cả								
Hiệu suất nguồn $1/E_{ij}$ ^a	0,05	0,25	0,25	0,05	0,05	0,25	0,05	0,05	0,05

^a Xem 5.3 và A.7.

E.9 Ví dụ

E.9.1 Mục đích

Xác định nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt bám chặt và nhiễm xạ bề mặt không bám chặt bằng phương pháp đo trực tiếp, có tiếp xúc với bề mặt trong 2 s và xác minh rằng, thiết bị đo được sử dụng phù hợp để đo giá trị khuyến cáo 4 Bq cm⁻² trung bình trên diện tích cửa sổ hiệu dụng của detector.

Các nhân phóng xạ có liên quan là: ¹⁴C, ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs / ^{137m}Ba, ¹⁶⁹Er, ¹⁸F, ¹²⁵I, ¹³¹I, ¹⁵³Sm, ⁹⁰Sr/⁹⁰Y và ⁹⁹Tc.

E.9.2 Thiết bị sử dụng

Sử dụng một máy đo nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt với các đặc điểm sau:

- Đầu dò nhấp nháy ZnS (Ag) diện tích hiệu dụng cửa sổ của detector 170 cm²,
- Hiệu suất của thiết bị a_j như được nêu trong Bảng E.2.

Bảng E.2 - Các giá trị thận trọng hợp lý được sử dụng cho phương pháp đo trực tiếp

Loại phóng xạ j	Electron				Photon			
	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300
Vùng năng lượng i , keV	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300
Hiệu suất thiết bị ϵ_{ij}	0,26 ^a	0,6 ^b	0,7 ^c	0,67 ^d	0 ^e	0,1 ^f	0,06 ^g	0,0 ^h
^a Dữ liệu do nhà cung cấp. Nguồn hiệu chuẩn phát xạ bề mặt ¹⁴ C tia beta								
^b Dữ liệu do nhà cung cấp. Nguồn hiệu chuẩn phát xạ bề mặt ⁹⁹ Tc tia beta								
^c Dữ liệu do nhà cung cấp. Nguồn hiệu chuẩn phát xạ bề mặt ³⁶ Cl tia beta								
^d Dữ liệu do nhà cung cấp. Nguồn hiệu chuẩn phát xạ bề mặt ⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y tia beta								
^e Không có giá trị thực nghiệm từ nguồn hiệu chuẩn phát xạ bề mặt ⁵⁵ Fe tia X, do đó, theo cách thận trọng, chọn giá trị bằng không.								
^f Giá trị thực nghiệm từ nguồn hiệu chuẩn phát xạ bề mặt ¹²⁹ I tia gamma (Triệt tiêu phát xạ electron bằng các bộ lọc theo TCVN 10802 (ISO 8769).								
^g Không có giá trị thực nghiệm từ nguồn hiệu chuẩn phát xạ bề mặt ⁵⁷ Co tia gamma, do đó, chọn giá trị trung bình giữa f và h.								
^h Giá trị thực nghiệm từ nguồn hiệu chuẩn phát xạ bề mặt ¹³⁷ Cs tia gamma (Triệt tiêu phát xạ electron bằng các bộ lọc theo TCVN 10802 (ISO 8769).								

E.9.3 Dữ liệu hạt nhân η_{ij}

Các nguồn dữ liệu hạt nhân cho ví dụ này là từ JEFF 3.1 (Joint Evaluated Fission and Fusion File – Tài liệu đánh giá chung việc phân hạch và kết hợp hạt nhân) là thư viện đã được đánh giá và được tạo ra thông qua sự hợp tác quốc tế của các nước thành viên Ngân hàng dữ liệu được điều phối dưới sự bảo trợ của Ngân hàng dữ liệu NEA (Cơ quan năng lượng hạt nhân). Các vùng năng lượng được chọn là năng lượng phát xạ trung bình.

Bảng E.3 - Dữ liệu hạt nhân η_{ij} cho các ví dụ nhân phóng xạ

Hạt nhân phóng xạ ¹⁴ C								
Loại phóng xạ j	Beta				Điện tử			
	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400
Vùng năng lượng i , keV	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400
η_{ij}	1,00E+00							
Loại phóng xạ j	Gamma				Tia X			
	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300
Vùng năng lượng i , keV	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300
η_{ij}								

Bảng E.3 - Dữ liệu hạt nhân η_{ij} cho các ví dụ nhân phóng xạ (tiếp tục)

Hạt nhân phóng xạ ^{60}Co								
Loại phóng xạ j	Beta				Điện tử			
Vùng năng lượng i, keV	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400
η_{ij}		9,99E-01	2,00E-05	1,20E-03			4,15E-07	2,92E-04
Loại phóng xạ j	Gamma				Tia X			
Vùng năng lượng i, keV	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300
η_{ij}				2,00E+00	1,10E-04			
Hạt nhân phóng xạ $^{137}\text{Cs}/^{137}\text{Ba}$								
Loại phóng xạ j	Beta				Điện tử			
Vùng năng lượng i, keV	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400
η_{ij}			1,00E+00					9,05E-02
Loại phóng xạ j	Gamma				Tia X			
Vùng năng lượng i, keV	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300
η_{ij}			5,80E-06	8,52E-01		6,88E-02		
Hạt nhân phóng xạ ^{169}Er								
Loại phóng xạ j	Beta				Điện tử			
Vùng năng lượng i, keV	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400
η_{ij}		1,00E+00			3,02E-05	5,28E-06		
Loại phóng xạ j	Gamma				Tia X			
Vùng năng lượng i, keV	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300
η_{ij}	2,00E-03		1,40E-05		6,98E-06	2,72E-05		

Bảng E.3 - Dữ liệu hạt nhân η_{ij} cho các vi dụ nhân phóng xạ (tiếp tục)

Hạt nhân phóng xạ ^{18}F								
Loại phóng xạ j	Beta				Điện tử			
Vùng năng lượng i, keV	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400
η_{ij}			9,69E-01					
Loại phóng xạ j	Gamma				Tia X			
Vùng năng lượng i, keV	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300
η_{ij}								1,94E+00
Hạt nhân phóng xạ ^{125}I								
Loại phóng xạ j	Beta				Điện tử			
Vùng năng lượng i, keV	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400
η_{ij}								
Loại phóng xạ j	Gamma				Tia X			
Vùng năng lượng i, keV	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300
η_{ij}		6,67E-02				1,40E+00		
Hạt nhân phóng xạ ^{131}I								
Loại phóng xạ j	Beta				Điện tử			
Vùng năng lượng i, keV	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400
η_{ij}	2,11E-02	8,00E-02	8,98E-01		3,53E-02	1,13E-02	2,48E-02	4,55E-04
Loại phóng xạ j	Gamma				Tia X			
Vùng năng lượng i, keV	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300
η_{ij}		2,61E-02	6,41E-02	9,13E-01		5,42E-02		

Bảng E.3 - Dữ liệu hạt nhân η_{ij} cho các ví dụ nhân phóng xạ (kết thúc)

Hạt nhân phóng xạ ^{153}Sm								
Loại phóng xạ j	Beta				Điện tử			
Vùng năng lượng i, keV	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400
η_{ij}	1,27E-03		9,97E-01		4,75E-01	8,82E-02	6,31E-05	
Loại phóng xạ j	Gamma				Tia X			
Vùng năng lượng i, keV	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300
η_{ij}		5,28E-02	3,02E-01	2,06E-03	1,18E-01	6,04E-01		
Hạt nhân phóng xạ $^{90}\text{Sr} / ^{90}\text{Y}$								
Loại phóng xạ j	Beta				Điện tử			
Vùng năng lượng i, keV	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400
η_{ij}			1,00E+00	1,00E+00				1,15E-04
Loại phóng xạ j	Gamma				Tia X			
Vùng năng lượng i, keV	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300
η_{ij}				1,40E-08		7,47E-05		
Hạt nhân phóng xạ ^{99m}Tc								
Loại phóng xạ j	Beta				Điện tử			
Vùng năng lượng i, keV	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400
η_{ij}					1,22E-05	1,08E-01	7,75E-04	
Loại phóng xạ j	Gamma				Tia X			
Vùng năng lượng i, keV	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300
η_{ij}		1,04E-05	8,91E-01	9,69E-07		7,32E-02		

E.9.4 Độ không đảm bảo

Hiệu suất của thiết bị, a_{ij} , thường được xác định bằng cách sử dụng nguồn hiệu chuẩn với độ không đảm bảo chuẩn tương đối được chứng nhận là 5 %. Khi không có thông tin cụ thể về độ không đảm bảo của nhà sản xuất, thì chọn $u(a_{ij})/a_{ij} = 10 \%$.

Độ không đảm bảo chuẩn tương đối của diện tích hiệu dụng cửa sổ detector của thiết bị được đánh giá bằng $u(S_p)/S_p = 10\%$.

Khi không có thông tin cụ thể về hiệu suất của nguồn $1/E_{ij}$, thì các giá trị được đưa ra trong Bảng E.1 được xem xét, và $u(1/E_{ij}) = 0$.

Cũng coi là, độ không đảm bảo liên quan đến dữ liệu hạt nhân là không đáng kể, vì vậy $u(\eta_{ij}) = 0$.

E.9.5 Kết quả và kết luận

Kết quả trong Bảng E.5 cho thấy trong tất cả các trường hợp, thiết bị đo đã sử dụng là phù hợp để đo 4 Bq cm⁻² của mỗi nhân phóng xạ.

Bảng E.4 - Tính toán đáp ứng hoạt độ của thiết bị và độ không đảm bảo liên quan

Ví dụ nhân phóng xạ	$I(A) = S \cdot F = S \cdot \sum_{ij} \frac{\epsilon_{ij} \cdot \eta_{ij}}{E_{ij}} \text{ in } s^{-1} / \text{Bq cm}^{-2}$	$\frac{u[I(A)]}{I(A)} = \sqrt{\frac{u(F)^2}{F^2} + \frac{u(S)^2}{S^2}} = U_R$ (Xem Công thức (E.4) và (E.5))
	$S = S_p$ (xem E.9.2)	$u(S_p)/S_p = 10\%$ (xem E.9.4)
	a_{ij} (xem E.9.2)	$u(a_{ij})/a_{ij} = 10\%$ (xem E.9.4)
	η_{ij} (xem E.9.3)	$u(\eta_{ij}) = 0$ (xem E.9.4)
	$1/E_{ij}$ (xem Table I1)	$u(1/E_{ij}) = 0$ (xem E.9.4)
¹⁴ C	11,1	14 %
⁶⁰ Co	29,0	13 %
¹³⁷ Cs/ ^{137m} Ba	66,7	13 %
¹⁶⁹ Er	25,5	14 %
¹⁸ F	61,0	14 %
¹²⁵ I	12,5	14 %
¹³¹ I	60,4	13 %
¹⁵³ Sm	74,0	13 %
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	116,5	12 %
^{99m} Tc	8,0	12 %

Bảng E.5 - Dữ liệu đầu vào, giá trị trung gian và kết quả

Dữ liệu đầu vào và thông số kỹ thuật			
Chất lượng	Ký hiệu	Giá trị	Độ không đảm bảo chuẩn
Tốc độ đếm, tổng hiệu quả: Tốc độ tổng $\left(\sqrt{\frac{\rho_g}{t_g}}\right)$	ρ_g	15 s ⁻¹	2,74 s ⁻¹
Thời gian đo	t_g	2 s	bỏ qua
Tốc độ đếm, hiệu suất đếm phòng (nền): Tốc độ đếm phòng $\left(\sqrt{\frac{\rho_0}{t_0}}\right)$	ρ_0	12 s ⁻¹	2,45 s ⁻¹
Thời gian đo	t_g	2 s	bỏ qua
Diện tích hiệu dụng cửa sổ của detector	$S = S_p$	170 cm ²	17 cm ²
Hiệu suất của thiết bị	ϵ_{ij}	xem E.9.2	$u(\epsilon_{ij})/\epsilon_{ij} = 10\%$
Đáp ứng của thiết bị đối với hoạt độ trên đơn vị diện tích	$I(A)$	xem Bảng E.4	xem Bảng E.4
Giá trị nghịch đảo của hệ số xuất hiện của một nguồn	$1/E_{ij}$	xem Bảng E.1	0
Cường độ phát xạ tổng	η_{ij}	xem E.9.3	0
Các xác suất:	α, β	2,5 %	-
Xác suất:	γ	5 %	-
Điểm vi phân của phân bố chuẩn thường cho xác suất $1-\alpha$ và $1-\beta$	$k_{1-\alpha} = k_{1-\beta}$	1,96	-
Xác suất $1-\gamma/2$	$\left(k_{1-\frac{\gamma}{2}}\right)$	1,96	-
Giá trị khuyến cáo	γ_r	0,4 Bq cm ⁻²	-
Dữ liệu đầu vào và thông số kỹ thuật			
Các giá trị trung gian			
Số lượng và phép tính		Giá trị	
U_R [Công thức (E.13)]	-	xem Bảng E.4	-
$1/k_{1-\beta}$	-	0,51	-
$U_R < 1/k_{1-\beta}$	-	có	-
Kết quả	Giá trị đo		

Bảng E.5 - Dữ liệu đầu vào, giá trị trung gian và kết quả (tiếp theo)

Số lượng	Ký hiệu	Nhân phóng xạ	Giá trị, Bq cm ⁻²
Kết quả đo lần đầu Công thức (E.1)	y	¹⁴ C	0,23
		⁶⁰ Co	0,09
		¹³⁷ Cs/ ¹³⁷ mBa	0,04
		¹⁶⁹ Er	0,10
		¹⁸ F	0,04
		¹²⁵ I	0,20
		¹³¹ I	0,04
		¹⁵³ Sm	0,03
		⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	0,02
		^{99m} Tc	0,31
		Ngưỡng quyết định: Công thức (E.7)	y*
⁶⁰ Co	0,24		
¹³⁷ Cs/ ¹³⁷ mBa	0,10		
¹⁶⁹ Er	0,27		
¹⁸ F	0,11		
¹²⁵ I	0,55		
¹³¹ I	0,11		
¹⁵³ Sm	0,09		
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	0,06		
^{99m} Tc	0,86		
Có hiệu ứng đo không?	y = y* ?		
Kết quả đo: xem E.7	A _{s,n}	¹⁴ C	< 0,62
		⁶⁰ Co	< 0,24
		¹³⁷ Cs/ ¹³⁷ mBa	< 0,10
		¹⁶⁹ Er	< 0,27
		¹⁸ F	< 0,11
		¹²⁵ I	< 0,55
		¹³¹ I	< 0,11
		¹⁵³ Sm	< 0,09
		⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	< 0,06
		^{99m} Tc	< 0,86

Bảng E.5 - Dữ liệu đầu vào, giá trị trung gian và kết quả (kết thúc)

Kết quả	Giá trị đo		Giá trị, Bq cm ⁻²		
	Số lượng	Ký hiệu	Nhân phóng xạ	Giá trị ^a	Giá trị ^b
Giới hạn phát hiện: Công thức (E.13) và (E.15)		$y^{\#}$	¹⁴ C	1,5	1,4
			⁶⁰ Co	0,6	0,5
Dữ liệu đầu vào và thông số kỹ thuật					
			¹³⁷ Cs/ ^{137m} Ba	0,3	0,2
			¹⁶⁹ Er	0,7	0,6
			¹⁸ p	0,3	0,3
			¹²⁵ I	1,4	1,3
			¹³¹ I	0,3	0,3
			¹⁵³ Sm	0,2	0,2
			⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ y	0,1	0,1
			^{99m} Tc	2,1	2,0
Quy trình đo có phù hợp ?		$y^{\#} \leq y_r ?$		có	có
a $U_R \neq 0$ xem E.5.					
b $U_R = 0$ xem E.5.					

Phụ lục F

(Tham khảo)

Áp dụng ISO 11929 để đánh giá gián tiếp nhiễm phóng xạ bề mặt

F.1 Tổng quát

Thành phần chính của độ không đảm bảo của bất kỳ phép đánh giá nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt không bám chặt nào sẽ bắt nguồn từ hiệu suất lau TCVN 7078-2 (ISO 7503-2), Điều 14. Mặc dù có thực tế này, các cơ quan bảo vệ bức xạ có thể yêu cầu so sánh thống kê kết quả xác định hoạt độ nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt không bám chặt với giá trị khuyến cáo qui định về nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt hoặc với giới hạn nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt. Do đó, dưới đây sẽ đưa ra các ví dụ về bảng tổng hợp độ không đảm bảo và các giới hạn đặc trưng, thu được theo ISO 11929 trong việc xác định nồng độ hoạt độ nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt không bám chặt bằng phương pháp kiểm tra lau. Phương pháp đếm dòng khí tỷ lệ được giả định.

F.2 Biểu thị giá trị được đo

Đối với việc kiểm tra nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt bằng phương pháp kiểm tra lau, giá trị đo Y là nồng độ hoạt độ bề mặt không bám chặt a_r (hoạt độ chia cho diện tích đã lau). Mô hình đánh giá trong trường hợp này có thể được thể hiện như sau:

$$a_r \sim y = \frac{\rho_g - \frac{(\rho_0 \cdot t_0 + 1)}{t_0}}{S_w \cdot \varepsilon_w \cdot F} = \frac{\rho_g - \rho_0 - \frac{1}{t_0}}{S_w \cdot \varepsilon_w \cdot F} \quad (\text{F.1})$$

với

$$F = \sum_{i,j} \frac{\varepsilon_{i,j} \cdot \eta_{i,j}}{E_{i,j}} \quad (\text{F.2})$$

Trong đó

- a_r là hoạt động bề mặt không bám chặt, tính bằng Bq.cm⁻²;
- y là kết quả đo đầu hoạt độ bề mặt không bám chặt a_r , tính bằng Bq.cm⁻²;
- ρ_g là tốc độ đếm tổng, tính bằng s⁻¹;
- ρ_0 là tốc độ đếm phông, tính bằng s⁻¹;
- t_0 là thời gian đo tốc độ đếm phông, tính bằng s;
- S_w là diện tích lau, tính bằng cm²;

- ε_w là hiệu suất lau;
- $\varepsilon_{i,j}$ là hiệu suất của thiết bị cho một năng lượng hoặc vùng năng lượng nhất định i và đối với loại bức xạ j (bức xạ alpha hoặc beta hoặc photon);
- $\eta_{i,j}$ là dữ liệu cường độ phát xạ được tổng hợp cho một vùng năng lượng nhất định i và đối với loại bức xạ j (bức xạ alpha hoặc beta hoặc photon);
- $E_{i,j}$ là hệ số xuất hiện của một nguồn cho một năng lượng hoặc vùng năng lượng nhất định i và đối với loại bức xạ j (bức xạ alpha hoặc beta hoặc photon).

CHÚ THÍCH: Biểu thức $1/t_0$ trong Công thức (E.1) được sử dụng để xử lý tốc độ đếm phong thấp.

F.3 Biểu thị độ không đảm bảo chuẩn

Độ không đảm bảo chuẩn được tính theo:

$$u(y) = \sqrt{\frac{1}{S_w^2 \cdot \varepsilon_w^2 \cdot F^2} \cdot \left[\frac{\rho_g}{t_g} + \frac{\rho_0}{t_0} \right] + y^2 \left[\frac{u(S_w)^2}{S_w^2} + \frac{u(\varepsilon_w)^2}{\varepsilon_w^2} + \frac{u(F)^2}{F^2} \right]} \quad (\text{F.3})$$

và

$$u(F) = \sqrt{\sum_{i,j} \left[\frac{\eta_{i,j}^2}{E_{i,j}^2} \cdot u(\varepsilon_{i,j})^2 + \frac{\varepsilon_{i,j}^2}{E_{i,j}^2} \cdot u(\eta_{i,j})^2 + \varepsilon_{i,j}^2 \cdot \eta_{i,j}^2 \cdot u\left(\frac{1}{E_{i,j}}\right)^2 \right]} \quad (\text{F.4})$$

trong đó

t_g là thời gian đo của tốc độ đếm tổng, tính bằng s.

F.4 Biểu thị ngưỡng quyết định

Ngưỡng quyết định được tính theo:

$$y^* = k_{1-\alpha} \cdot u(y=0) \quad (\text{F.5})$$

Trong đó

$k_{1-\alpha}$ là điểm vi phân của phân bố thường chuẩn cho xác suất $1-\alpha$, α là xác suất lỗi của loại đầu tiên, tức là, xác suất từ chối giả thuyết, nếu đúng.

Đối với $y=0$ theo Công thức (F.1) có: $\rho_g = \rho_0 + 1/t_0$

Khi đó, theo Công thức (F.3) và (F.5)

$$y^* = \frac{k_{1-\alpha}}{S_w \cdot \varepsilon_w \cdot F} \cdot \sqrt{\rho_0 \cdot \left(\frac{1}{t_g} + \frac{1}{t_0} \right) + \frac{1}{t_0 \cdot t_g}} \quad (\text{E.6})$$

Kết quả đo ban đầu xác định được, y , đối với một giá trị đo không âm là có ý nghĩa, nếu lớn hơn ngưỡng quyết định ($y > y^*$).

F.5 Biểu thị giới hạn phát hiện

Giới hạn phát hiện tính được theo Công thức:

$$y^{\#} = y^* + k_{1-\beta} \cdot u(y = y^{\#}) \quad (\text{F.7})$$

Trong đó

$k_{1-\beta}$ là điểm vi phân của phân bố chuẩn thường cho xác suất $1 - \beta$,

β là xác suất lỗi của loại thứ hai, tức là, xác suất chấp nhận giả thuyết, khi sai.

Đối với $y = y^{\#}$ theo Công thức (F.1) có: $\rho_g = S_w \cdot \varepsilon_w \cdot F \cdot y^{\#} + p_0 + 1 / t_0$

Theo Công thức (F.3):

$$u(y = y^{\#})^2 = \left[\frac{u(S_w)^2}{S_w^2} + \frac{u(\varepsilon_w)^2}{\varepsilon_w^2} + \frac{u(F)^2}{F^2} \right] \cdot y^{\#2} + \frac{1}{S_w \cdot \varepsilon_w \cdot F \cdot t_g} \cdot y^{\#} + \frac{1}{S_w^2 \cdot \varepsilon_w^2 \cdot F^2} \cdot \left[\rho_0 \cdot \left(\frac{1}{t_g} + \frac{1}{t_0} \right) + \frac{1}{t_0 \cdot t_g} \right] \quad (\text{F.8})$$

Theo Công thức (F.6) có:

$$\rho_0 \cdot \left(\frac{1}{t_g} + \frac{1}{t_0} \right) + \frac{1}{t_0 \cdot t_g} = \frac{S_w^2 \cdot \varepsilon_w^2 \cdot F^2 \cdot y^{\#2}}{k_{1-\alpha}^2} \quad (\text{F.9})$$

Công thức (F.8) có thể được biểu thị như sau:

$$u(y = y^{\#})^2 = \left[\frac{u(S_w)^2}{S_w^2} + \frac{u(\varepsilon_w)^2}{\varepsilon_w^2} + \frac{u(F)^2}{F^2} \right] \cdot y^{\#2} + \frac{1}{S_w \cdot \varepsilon_w \cdot F \cdot t_g} \cdot y^{\#} + \frac{y^{\#2}}{k_{1-\alpha}^2} \quad (\text{E.10})$$

Biết rằng, theo Công thức (F.7)

$$u(y = y^{\#})^2 = \frac{y^{\#2}}{k_{1-\beta}^2} - \frac{2 \cdot y^*}{k_{1-\beta}^2} \cdot y^{\#} + \frac{y^{*2}}{k_{1-\beta}^2} \quad (\text{E.11})$$

Bằng cách lấy Công thức (F.10) trừ Công thức (F.11) và coi như $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta}$:

$$y^{\#} = \frac{2 \cdot y^* + \frac{k_{1-\beta}^2}{S_w \cdot \varepsilon_w \cdot F \cdot t_g}}{1 - k_{1-\beta}^2 \cdot \left[\frac{u(S_w)^2}{S_w^2} + \frac{u(\varepsilon_w)^2}{\varepsilon_w^2} + \frac{u(F)^2}{F^2} \right]} \quad (\text{E.12})$$

và

$$\sqrt{\frac{u(S_w)^2}{S_w^2} + \frac{u(\varepsilon_w)^2}{\varepsilon_w^2} + \frac{u(F)^2}{F^2}} < \frac{1}{k_{1-\beta}}$$

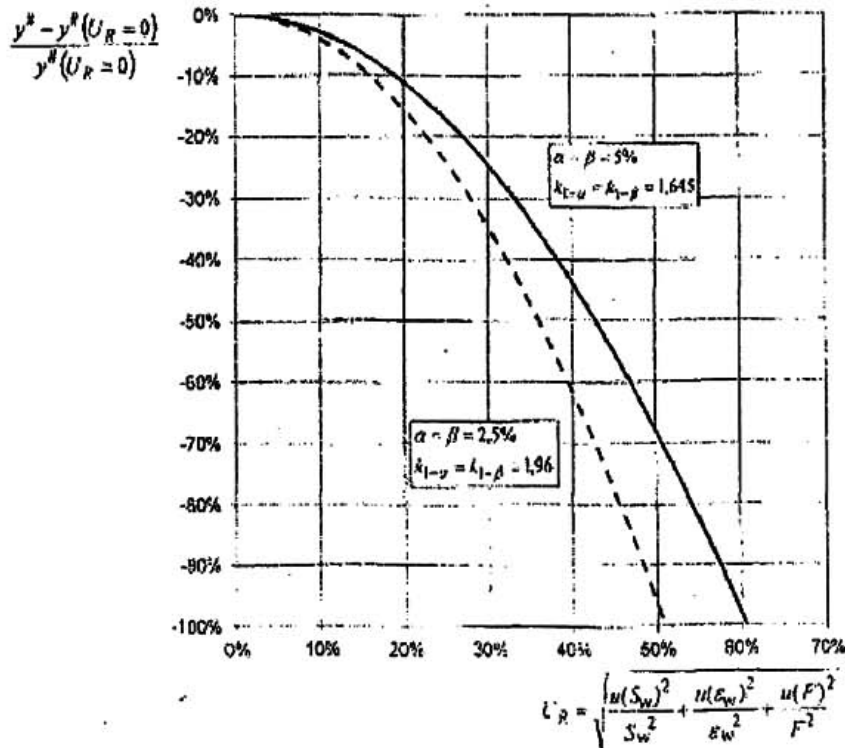
$$\text{để cho } U_R = \sqrt{\frac{u(S_w)^2}{S_w^2} + \frac{u(\varepsilon_w)^2}{\varepsilon_w^2} + \frac{u(F)^2}{F^2}} \quad (\text{E.13})$$

Nếu $U_R = 0$ thì Công thức (F.12) trở thành:

$$y^{\#}(U_R = 0) = 2 \cdot y^* + \frac{k_{1-\beta}^2}{S_w \cdot \varepsilon_w \cdot F \cdot t_g} \quad (\text{E.14})$$

Hình F.1 hiển thị $\frac{y^{\#} - y^{\#}(U_R = 0)}{y^{\#}(U_R = 0)}$ [%] đối lại U_R tính bằng %. Sẽ xuất hiện:

- với $\alpha = \beta = 2,5\%$ nếu $U_R \leq 15\%$ thì khi đó Công thức (F.14) là một số xấp xỉ tốt trong khoảng 10 % giới hạn phát hiện,
- với $\alpha = \beta = 5\%$ nếu $U_R \leq 20\%$ thì khi đó Công thức (F.14) là một số xấp xỉ tốt trong khoảng 10 % giới hạn phát hiện,



Hình F.1 - Tương quan giữa giới hạn phát hiện và độ không đảm bảo tương đối

F.6 Các giới hạn của khoảng tin cậy

Các giới hạn của khoảng tin cậy cho phép tính đến một hiệu ứng vật lý, hiệu ứng này được công nhận là hiện có phù hợp với F.4, theo cách mà khoảng tin cậy chứa giá trị thực của phép đo và với xác suất

xác định là $1 - \gamma$. Thông thường giá trị của γ được chọn là 0,05, khi đó $k_{1-\frac{\gamma}{2}} = 1,96$.

F.7 Đánh giá kết quả đo

Kết quả đo lần đầu được xác định, y , với giá trị được đo được so sánh với ngưỡng quyết định y^* . Nếu $y > y^*$, thì hiệu quả vật lý, được định lượng bởi giá trị đo, được công nhận là có. Nếu không, sẽ được quyết định rằng, không có hiệu quả vật lý. Khi đó, nếu $y \geq y^*$, thì kết quả đo đưa ra là $Y = y \pm k_{1-\frac{\gamma}{2}} \cdot u(y)$, và nếu $y < y^*$, thì kết quả đo sẽ là $Y < y^*$.

Nếu giá trị dưới của khoảng tin cậy là âm, thì có thể sử dụng cách tính ước lượng tốt nhất của giá trị đo và các giới hạn không đối xứng của khoảng tin cậy theo ISO 11929.

F.8 Đánh giá quy trình đo

Quyết định về việc, liệu có một quy trình đo đáp ứng được các yêu cầu liên quan đến phát hiện hiệu quả vật lý, được định lượng bởi giá trị đo, thì được thực hiện bằng cách so sánh giới hạn phát hiện $y^{\#}$ với giá trị khuyến cáo đã định y_r . Nếu $y^{\#} > y_r$, hoặc nếu trong Công thức (F.12) mà $U_R \geq 1/k_{1-\beta}$ thì quy trình đo là không phù đối với mục đích đo đã định về mặt các yêu cầu.

Để cải thiện tình huống trong trường hợp $y^{\#} > y_r$, có thể cần phải kéo dài thời gian đo để tăng một cách hợp lý bề mặt được lau hoặc thực hiện các nghiên cứu cụ thể để giảm các thông số thành phần của U_R . Nếu như, mặc dù đã có biện pháp, nhưng U_R vẫn không giảm được một cách hợp lý, và khi không có đủ kiến thức tốt hơn về giá trị và độ không đảm bảo của các thông số thành phần bất lợi nhất của U_R , thì có thể sử dụng các giá trị thận trọng hợp lý mà không có độ không đảm bảo liên quan (xem Bảng F.1).

Bảng F.1 - Các giá trị thận trọng hợp lý được sử dụng cho phương pháp đo sử dụng mẫu lau

Loại phóng xạ j	Alpha	Điện tử				Photon			
		40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300
Vùng năng lượng i , keV	Tất cả	40 đến 70	70 đến 140	140 đến 400	>400	5 đến 15	15 đến 90	90 đến 300	>300
Hiệu suất nguồn $1/E_{ij}$ ^a	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,25	0,5	0,5	0,5
Hiệu suất lau ϵ_w	0,1								

^a Xem 5.3 và A.7.

F.9 Ví dụ

F.9.1 Mục đích

Xác định hoạt độ nhiễm bẩn phóng xạ bề mặt không bám chặt và xác minh, thiết bị đo đã được sử dụng phù hợp để đo giá trị $0,4 \text{ Bq cm}^{-2}$ của nguồn phát alpha bằng phương pháp kiểm tra lau.

F.9.2 Thiết bị được sử dụng

Đầu dò của detector được làm bằng đầu nhấp nháy ZnS (Ag) kết hợp với máy đo suất liều có các đặc tính được đưa ra trong Bảng F.2.

Bảng F.2 - Đặc điểm động học của máy đo suất liều

Phạm vi đo s^{-1}	Hằng số thời gian phục hồi, τ s	Thời gian đo $t = 2\tau$ s
0 đến 10	5	10
0 đến 100	2	4
0 đến 1000	0,9	1,8
0 đến 10000	0,5	1

Hiệu suất của thiết bị a_{ij} đối với phát xạ alpha (dựa trên suất phát xạ bề mặt của nguồn hiệu chuẩn alpha ^{239}Pu) được đưa ra trong tài liệu kỹ thuật của nhà sản xuất là $0,44 \text{ s}^{-1}/\alpha \text{ s}^{-1}$ (phát xạ 2π steradian) và đầu dò không nhạy cảm với các loại bức xạ khác.

F.9.3 Độ không đảm bảo

Hiệu suất của thiết bị, a_{ij} , là $0,44 \text{ s}^{-1}/\alpha \text{ s}^{-1}$ (phát xạ 2π steradian) được xác định khi sử dụng nguồn hiệu chuẩn với độ không đảm bảo chuẩn tương đối được chứng nhận là 5%. Với giả định rằng, sự đóng góp thống kê vào độ không đảm bảo của thiết bị là không đáng kể, thì $u(a_{ij})/a_{ij} = 0,022$.

Khi không có thông tin cụ thể về hiệu suất của nguồn $1/E_{ij}$, thì sử dụng các giá trị được đưa ra trong Bảng F.1 là $1/E_{ij} = 0,25$ và $u(1/E_{ij}) = 0$.

Điều đó cũng được coi là độ không đảm bảo liên quan đến dữ liệu hạt nhân là không đáng kể, vì vậy $\eta_{ij} = 1$ và $u(\eta_{ij}) = 0$.

Hiệu suất lau ε_w của việc kiểm tra lau đã biết từ các phép đo trước đó sẽ được phân phối ngẫu nhiên từ 0,12 đến 0,6. Điều này mang lại ước lượng trung bình $\varepsilon_w = 0,36$ và độ không đảm bảo chuẩn $u(\varepsilon_w) = \Delta\varepsilon_w/\sqrt{12} = 0,14$ bằng cách xác định sự phân bố hình chữ nhật trên khu vực các giá trị có thể của ε_w với độ rộng $\Delta\varepsilon_w = 0,48$ (xem ISO 11929, 5.2.2 đoạn cuối cùng).

Hiệu suất lau $\Delta\varepsilon_w$ có độ không đảm bảo chuẩn tương đối lớn hơn $u(\varepsilon_w)/\varepsilon_w = 0,39$ và do đó, có thể có ảnh hưởng lớn đến giới hạn phát hiện [xem Công thức (F.12)]

Độ không đảm bảo chuẩn tương đối của diện tích lau $S_w = 300 \text{ cm}^2$ được lấy là 10 % theo kinh nghiệm, sẽ dẫn đến $u(S_w) = 30 \text{ cm}^2$.

F.9.4 Kết quả và kết luận

Kết quả trong Bảng F.3 cho thấy, trong tất cả mọi trường hợp, thiết bị đo được sử dụng là phù hợp để đo nguồn phát alpha $0,4 \text{ Bq cm}^{-2}$.

Bảng F.3 – Dữ liệu đầu vào, giá trị trung gian và kết quả

Dữ liệu đầu vào và thông số kỹ thuật			
Chất lượng	Ký hiệu	Giá trị	Độ không đảm bảo chuẩn
tốc độ đếm tổng hiệu quả: $\left(\sqrt{\frac{\rho_g}{t_g}} \right)$ tốc độ đếm tổng:	ρ_g	2 s^{-1}	$0,45 \text{ s}^{-1}$
hằng số thời gian phục hồi (Bảng F.2)	τ	5 s	bỏ qua
thời gian đo	t_g	10s	bỏ qua
tốc độ đếm, hiệu suất đếm phòng: $\left(\sqrt{\frac{\rho_0}{t_0}} \right)$ tốc độ đếm phòng	ρ_0	0 s^{-1}	0 s^{-1}
hằng số thời gian phục hồi (Bảng F.2)	τ	5 s	bỏ qua
thời gian đo	t_0	10 s	bỏ qua
diện tích lau	S_w	300 cm^2	30 cm^2
hiệu suất lau	ε_w	0,36	0,14
hiệu suất phát hiện của thiết bị	ε_{ij}	$0,44 \text{ s}^{-1}$	$0,022 \text{ s}^{-1}$
hiệu suất của nguồn (Bảng F.1)	$1/E_{ij}$	0,25	0
xác suất phát xạ của ^{239}Pu	η_{ij}	1	0
hệ số [Công thức (F.2)]	F	0,11	0,0055
Các xác suất:	α, β	2,5 %	-
xác suất:	γ	5%	-
điểm vi phân của phân bố chuẩn thường cho xác suất $1-\alpha$ và $1-\beta$	$k_{1-\alpha} = k_{1-\beta}$	1,96	-
xác suất $1 - \frac{\gamma}{2}$	$k_{1-\frac{\gamma}{2}}$	1,96	-
giá trị khuyến cáo	y_r	$0,4 \text{ Bq.cm}^{-2}$	-

Bảng F.3 - Dữ liệu đầu vào, giá trị trung gian và kết quả (kết thúc)

Các giá trị trung gian				
Số lượng và phép tính		Giá trị		
U_R [Công thức (F.13)]		0,405		
$\frac{1}{k_{1-\beta}}$		0,51		
$U_R < \frac{1}{k_{1-\beta}}$		có		
Dữ liệu đầu vào và thông số kỹ thuật				
Kết quả	Giá trị được đo	Giá trị, tính bằng Bq cm ⁻²		
Số lượng	Ký hiệu	a_r^a	a_r^b	
Kết quả đo lần đầu Công thức (F.1)	y	0,160 (0,576)	0,576	
Độ không đảm bảo chuẩn liên quan đến y . Công thức (F.3)	$u(y)$	0,075 (0,150)	0,135	
Ngưỡng quyết định: Công thức (F. 6)	y^*	0,0165 (0,06)	0,06	
Có hiệu quả đo không?	$y > y^* ?$	có (có)		có
Giới hạn phát hiện: Công thức (F.12) hoặc Công thức (F.14)	$y^\#$	0,176 (0,247)	0,235	
Qui trình đo có phù hợp không?	$y^\# \leq y_r ?$	có (có)		có
Kết quả đo: xem F.7	Y	0,160 ± 0,147 (0,576 ± 0,294)	0,576 ± 0,266	
a $U_R \neq 0$ và trong ngoặc $ew = 0,1$ (xem Bảng F.1)				
b $U_R = 0$ và $ew = 0,1$ (xem Bảng F.1)				

Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION *Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual (MARSSIM), Revision 1* Report NUREG-1575, Rev. 1; August 2000
 - [2] IAEA SAFETY STANDARDS SERIES No SSR-6 *Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material - 2012 Edition*. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2012
 - [3] NATIONAL PHYSICAL LABORATORY MEASUREMENT GOOD PRACTICE GUIDE NO. 14 *The Examination, Testing and Calibration of Portable Radiation Protection Instruments* National Physical Laboratory, Teddington, UK, ISSN 1368-6550, March 1999
 - [4] P.H. Burgess *Handbook on measurement methods and strategies at very low levels and activities* European Commission Report EUR 17624, 1998
 - [5] CH. Schuler, G. Butterweck, C. Wernli, F. Bochud, J.-F. Valley *Calibration and Verification of Surface Contamination Meters – Procedures and Techniques* Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland, PSI Report No. 07-01, ISSN 1019-0643, March, 2007
 - [6] IAEA SAFETY REPORTS SERIES No 72 *Monitoring for Compliance with Remediation Criteria for Sites*. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2012
 - [7] TCVN 7469 (ISO 11932), *An toàn bức xạ - Đo hoạt độ vật liệu rắn được coi như chất thải không phóng xạ để tái chế, tái sử dụng hoặc chôn lấp*
 - [8] TCVN 7870-1 (ISO 80000-1), *Đại lượng và đơn vị – Phần 1: Quy định chung*.
 - [9] TCVN 7870-10 (ISO 80000-10), *Đại lượng và đơn vị – Phần 10: Vật lý nguyên tử và hạt nhân*;
 - [10] TCVN 9595-3 (ISO/IEC Guide 98-3), *Độ không đảm bảo đo – Phần 3: Hướng dẫn trình bày độ không đảm bảo đo (GUM:1995)*
 - [11] TCVN 6165 (ISO/IEC Guide 99), *Từ vựng quốc tế về đo lường học – Khái niệm, thuật ngữ chung và cơ bản (VIM)*.
-