

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 7174 : 2002

ISO 12794 : 2000

**NĂNG LƯỢNG HẠT NHÂN - AN TOÀN BỨC XẠ -
LIỀU KẾ NHIỆT PHÁT QUANG DÙNG CHO CÁ NHÂN
ĐỂ ĐO LIỀU BỨC XẠ CÁC ĐẦU CHI VÀ MẮT**

*Nuclear energy – Radiation protection –
Individual thermoluminescencedosemeters for extremities and eyes*

HÀ NỘI - 2008

Lời nói đầu

TCVN 7174 : 2002 hoàn toàn tương đương với ISO 12794 : 2000.

TCVN 7174 : 2002 do Ban kỹ thuật Tiêu chuẩn TCVN/TC 85 “Năng lượng hạt nhân” biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ ban hành.

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

Năng lượng hạt nhân – An toàn bức xạ – Liều kế nhiệt phát quang dùng cho cá nhân để đo liều bức xạ các đầu chi và mắt

Nuclear energy – Radiation protection – Individual thermoluminescence dosimeters for extremities and eyes

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này quy định các chuẩn cứ về tính năng và phép thử để xác định tính năng của liều kế nhiệt phát quang dự định dùng để đo liều bức xạ cho mắt và các đầu chi (các ngón tay, và các chi được xác định như bàn tay, bàn chân, cẳng tay bao gồm khuỷu tay, và cẳng chân bao gồm xương bánh chè) đối với photon từ 15 keV đến 3 MeV và bức xạ beta từ 0,5 MeV đến 3 MeV. Tiêu chuẩn này quy định điều kiện để sử dụng một hệ đọc, các quy trình và thiết bị phụ trợ thích hợp. Tiêu chuẩn này không bao gồm việc tiếp cận thông tin và xử lý số liệu.

Tiêu chuẩn này quy định các chuẩn cứ về tính năng và phép thử cho các liều kế dự định dùng để đo tương đương liều ở độ sâu 7 mg.cm^{-2} trong mô ngón tay và các chi; và 300 mg.cm^{-2} trong mô mắt, bao gồm cả quy định đối với việc sử dụng các liều kế dự định chỉ dùng một lần. Các phantom và hệ số chuyển đổi liều thích hợp được khuyến cáo sử dụng, nhưng không loại bỏ các loại khác.

Trong mọi trường hợp, tính năng được đánh giá trong điều kiện phòng thí nghiệm mà các điều kiện này có thể không mô phỏng đầy đủ các điều kiện thực tế xảy ra khi đo liều cá nhân. Ví dụ, có thể cần khử khuẩn các liều kế đối với ứng dụng y tế. Do đó, cần chú ý khi áp dụng những kết quả của các phép thử tính năng này trong hoàn cảnh thực tế.

2 Tiêu chuẩn viện dẫn

TCVN 6398–0 : 1998, Đại lượng và đơn vị – Phần 0: Nguyên tắc chung (ISO 31 – 0 : 1992, Quantities and units – Part 0: general principles).

ISO 4037–3 :1999 X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy – Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence (Tia X và bức xạ Gamma tham chiếu để chuẩn hoá các liều kế và máy đo suất liều và để xác

TCVN 7174 : 2002

định đường đặc trưng của chúng theo hàm số của năng lượng photon – Phần 3: Hiệu chuẩn các liều kế đo bề mặt và cá nhân và đo đường đặc trưng của chúng theo hàm số của năng lượng và góc tới).

ISO 6980, Reference beta radiations for calibrating dosimeters and dose-rate meters and for determining their response as a function of beta-radiation energy (Bức xạ beta tham chiếu để hiệu chuẩn các liều kế và máy đo suất liều và để xác định đường đặc trưng theo hàm số của năng lượng bức xạ beta).

3 Định nghĩa

Các định nghĩa sau đây được sử dụng trong tiêu chuẩn này:

3.1 Nhiệt phát quang/ nhiệt phát quang bức xạ/ TL (thermoluminescence/ radiothermoluminescence/ TL)

Tính chất của một số chất nhất định, đó là sự phát sáng do bị nung nóng sau khi bị chiếu bởi bức xạ ion hoá hoặc tia cực tím

Chú thích – Nói một cách chặt chẽ, tính chất này cần được gọi là nhiệt phát quang bức xạ, và thường gọi tắt là “nhiệt phát quang”.

3.2 Vật liệu nhiệt phát quang/ vật liệu TL (thermoluminescence material/ TL material)

Vật liệu có tính chất nhiệt phát quang.

3.3 Đầu dò nhiệt phát quang/ đầu dò TL/ đầu dò (thermoluminescence detector / TL detector / detector)

Lượng quy định của vật liệu TL, hoặc là vật liệu này kết hợp với vật liệu không phát quang khác tạo thành một vật liệu tổ hợp, được xác định bằng khối lượng, hình dạng hoặc kích thước hoặc khối lượng của chất kết hợp trong vật liệu tổ hợp này.

3.4 Liều kế nhiệt phát quang/ liều kế TL/ liều kế (thermoluminescence dosimeter/ TL dosimeter/ dosimeter)

Dụng cụ thụ động gồm một hoặc nhiều đầu dò TL, có thể được lắp đặt vào một hộp chứa (thích hợp để sử dụng), để đeo trên cơ thể người hoặc đặt vào môi trường nhằm mục đích đánh giá tương đương liều thích hợp ở tại hoặc ở gần nơi nó được bố trí.

3.5 Đầu đọc của liều kế nhiệt phát quang/ Đầu đọc của liều kế TL/ Đầu đọc (thermoluminescence dosimeter reader/ TL dosimeter reader/ reader)

Máy dùng để đo ánh sáng phát ra từ các đầu dò trong liều kế nhiệt phát quang; về cơ bản gồm có một dụng cụ nung nóng, một thiết bị đo ánh sáng và hệ điện tử kèm theo.

3.6 Liều kế chân tay (extremity dosimeter)

Liều kế được đeo vào ngón tay hoặc chi [bàn tay, bàn chân, cánh tay (gồm khuỷu tay) và cẳng chân dưới (gồm xương bánh chè)]

3.7 Liều kế mắt (eye dosimeter)

Liều kế được đeo ở gần mắt.

3.8 Liều kế có thể dùng lại (reusable dosimeter)

Liều kế dự định sử dụng lại, ngược lại với loại liều kế bỏ đi sau một lần sử dụng.

Chú thích: Khi sử dụng trong các ứng dụng y tế, việc khử khuẩn thích hợp có thể cần thiết.

3.9 Mẻ (batch)

Tập hợp các đầu dò hoặc liều kế được chế tạo theo một thiết kế hoặc đặc điểm kỹ thuật cụ thể và có cùng các đặc trưng tính năng phù hợp với các yêu cầu tương ứng của tiêu chuẩn này.

3.10 Ủ (annealing)

Việc xử lý nhiệt độ được kiểm soát của một đầu dò TL hoặc liều kế TL trong hoặc sau quá trình đọc.

3.11 Chuẩn bị/ chuẩn bị lại (prepare/ reprepare)

Việc xử lý bình thường như ủ, làm sạch, ... mà các liều kế hoặc đầu dò cần được xử lý để sử dụng thường quy.

3.12 Quá trình đọc (readout)

Quá trình đo ánh sáng phát ra khi một đầu dò TL hoặc liều kế được nung nóng trong đầu đọc.

3.13 Giá trị đọc (readout value), m

Giá trị hiển thị trên đầu đọc TL sau quá trình đọc của một đầu dò hoặc liều kế được biểu thị bằng các đơn vị tương thích với đơn vị đầu ra của đầu đọc.

3.14 Liều hấp thụ (absorbed dose), D

Thương số của $d_{\bar{\varepsilon}}$ và dm trong đó $d_{\bar{\varepsilon}}$ là năng lượng trung bình mà bức xạ iôn hoá truyền cho khối vật chất dm .

Chú thích 1 – Tên riêng của đơn vị liều hấp thụ là gray (Gy) ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$). Trong tiêu chuẩn này, liều hấp thụ được tính bằng gray.

Chú thích 2 – Ở những ngữ cảnh rõ ràng, thuật ngữ "liều hấp thụ" có thể được viết tắt là "liều"

3.15 Kerma (kerma), K

Thương số của $d\bar{\varepsilon}_{tr}$ và dm trong đó $d\bar{\varepsilon}_{tr}$ là tổng động năng ban đầu của tất cả các hạt mang điện ion hoá được giải phóng bởi các hạt ion hoá không mang điện trong khối vật chất dm .

$$K = \frac{d\bar{\varepsilon}_{tr}}{dm}$$

3.16 Tương đương liều (dose equivalent), H

Tích số của D và Q tại điểm quan tâm trong mô, trong đó D là liều hấp thụ và Q là hệ số chất lượng.

$$H = DQ$$

Chú thích: Đơn vị SI của H và D là jun trên kilogam. Tên riêng của đơn vị tương đương liều là sivr (Sv):
(1 Sv = 1 J.kg⁻¹).

3.17 Tương đương liều cá nhân (personal dose equivalent), $H_p(d)$

Tương đương liều trong mô mềm dưới một vị trí quy định tại một độ sâu thích hợp, d .

Chú thích – Đơn vị SI của $H_p(d)$ là jun trên kilogam. Tên riêng là sivr (Sv): (1 Sv = 1 J.kg⁻¹).

3.18 Giá trị ước định (evaluated value), E

Giá trị của đại lượng quan tâm, ví dụ như tương đương liều (H), kerma không khí (K_a), liều hấp thụ trong không khí (D_a) nhận được khi áp dụng một hệ số ước định thích hợp (F_e) cho giá trị hoặc các giá trị đọc được (m)

3.19 Giá trị thực quy ước (conventional true value), C

Giá trị ước tính tốt nhất của của đại lượng quan tâm tại điểm đó, ví dụ như tương đương liều (H), kerma không khí (K_a), liều hấp thụ trong không khí (D_a).

Chú thích – Thuật ngữ này là một thuật ngữ tiêu chuẩn hoá được sử dụng rộng rãi. Thuật ngữ đồng nghĩa chính xác về ngữ pháp là **Conventionally True Value**.

3.20 Hệ số ước định (evaluation coefficient), F_e

Hệ số hoặc tập hợp các hệ số được dùng để chuyển đổi giá trị hoặc các giá trị đọc (m) thành giá trị ước định quan tâm (E).

Chú thích – Xem phụ lục D.

3.21 Phần dư (residue)

Tín hiệu đọc có được ở lần đọc thứ hai tiếp theo các quy trình đọc và ủ bình thường.

3.22 Hệ số chuyển đổi (conversion coefficient), F_e

Hệ số dùng để chuyển đổi từ kerma không khí hoặc liều hấp thụ trong không khí thành tương đương liều tương ứng.

Chú thích: Xem phụ lục E.

3.23 Độ đáp ứng (response, R)

Thương số của giá trị ước định chia cho giá trị thực quy ước.

3.24 Tự chiếu xạ (self-irradiation)

Sự chiếu xạ của đầu dò bởi các chất phóng xạ ngay trong hộp đựng liều kế hoặc trong đầu dò.

3.25 Phantom (phantom)

Một vật xác định dùng để mô phỏng toàn bộ hoặc một phần cơ thể con người trên phương diện tán xạ và hấp thụ bức xạ gamma và beta.

3.26 Điểm “0” (zero point)

Giá trị ước định của một liều kế hoặc đầu dò không bị chiếu xạ được chuẩn bị để đo.

3.27 Phong đầu đọc (reader background)

Giá trị ước định tương ứng với giá trị đọc có được khi đầu đọc hoạt động mà không có liều kế hoặc đầu dò.

3.28 Ngưỡng phát hiện (detection threshold)

Giá trị ước định tối thiểu mà đối với nó giá trị đọc của một liều kế hoặc một đầu dò có sự khác biệt đáng kể (ở mức tin cậy là 95 %) so với giá trị đọc của một liều kế hoặc đầu dò không bị chiếu xạ.

3.29 Hệ số biến đổi (coefficient of variation)

Tỷ số của độ lệch chuẩn, s , với trung bình số học \bar{x} của n lần đo x_i ; được cho bằng công thức sau:

$$V = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Chú thích: Hệ số biến đổi thường được biểu thị bằng phần trăm.

3.30 Thử nghiệm kiểm soát chất lượng, QT (quality control test, QT)

Thử nghiệm được thực hiện trên một số hệ liều kế TL, đầu dò TL hoặc đầu đọc TL của một mẻ hoặc một đợt sản xuất dự kiến để bảo đảm việc kiểm soát chất lượng.

3.31 Thử nghiệm điển hình (type test), TT

Thử nghiệm được thực hiện trên một số ít hệ liều kế TL, đầu dò TL hoặc đầu đọc TL của một kiểu đã cho để xác định đặc tính của kiểu đó.

4 Đơn vị

Tiêu chuẩn này sử dụng hệ đơn vị SI. Tuy nhiên, các đơn vị sau có tầm quan trọng thực tiễn để đo thời gian được sử dụng khi cần thiết như: ngày (d), giờ (h). Các ký hiệu đơn vị thời gian được quy định trong TCVN 6398 – 0 (ISO 31–0).

5 Điều kiện thử nghiệm chung

5.1 Điều kiện thử nghiệm

Mọi thử nghiệm phải được thực hiện trong các điều kiện thử nghiệm tiêu chuẩn (xem phụ lục A), trừ khi có các điều kiện khác được thiết lập. Các liều kế phải tuân thủ các quy trình ủ, làm sạch và thao tác theo khuyến cáo của nhà sản xuất.

5.2 Bức xạ tham chiếu

Các nguồn bức xạ quy định ở ISO 4037–3 và ISO 6980 phải được sử dụng theo quy cách được quy định trong các tiêu chuẩn này. Các bức xạ tham chiếu photon sử dụng để kiểm tra độ đáp ứng phổ phải được chọn từ cột đầu tiên của bảng 1 trong ô thứ 4 của ISO 4037–3:1999. Các nguồn đo độ đáp ứng phổ beta phải là ^{90}Sr (cân bằng với ^{90}Y), ^{106}Ru và ^{204}Tl . Việc hiệu chuẩn nguồn bức xạ phải được so với các chuẩn đầu và chuẩn thứ thích hợp.

6 Phân loại

Liều kế phải được phân loại theo bộ phận cơ thể và độ sâu dự định đo, và phương pháp dự định sử dụng, gồm các loại sau:

- F(7)D Ngón tay, độ sâu 7 mg.cm^{-2} , dùng một lần;
- F(7)R Ngón tay, độ sâu 7 mg.cm^{-2} , dùng lại được;
- L(7)D Chi, độ sâu 7 mg.cm^{-2} , dùng một lần;
- L(7)R Chi, độ sâu 7 mg.cm^{-2} , dùng lại được;
- E(300)D Mắt, độ sâu 300 mg.cm^{-2} , dùng một lần;
- E(300)R Mắt, độ sâu 300 mg.cm^{-2} , dùng lại được

7 Yêu cầu về tính năng

Các chuẩn cứ về tính năng được liệt kê tại Bảng 1. Tất cả các giá trị liều được liệt kê trong các chuẩn cứ này là tương đương liều trong mô tại độ sâu định đo. Giá trị thực quy ước của tương đương liều, C , đối với bất kỳ thử nghiệm cụ thể nào, có thể nhận được bằng cách sử dụng các hệ số chuyển đổi được quy định trong phụ lục E, đối với mỗi kiểu đo dự định (ngón tay, chi hoặc mắt). Trong tiêu chuẩn này, hệ số chuyển đổi chỉ quy định cho độ sâu mô từ 7 mg.cm^{-2} đến 300 mg.cm^{-2} .

Phụ lục E gồm hệ số chuyển đổi đối với loại phantom được lựa chọn cho bức xạ photon và beta. Các phantom được lựa chọn này là một ống đặc hình trụ có đường kính 19 mm bằng PMMA (que PMMA theo ISO) dùng cho ngón tay, một ống chứa đầy nước có đường kính 73 mm bằng PMMA (cột nước theo ISO) cho các chi cả hai loại phantom trên có chiều dài 300 mm, quả cầu ICRU hoặc một tấm PMMA đổ đầy nước có kích thước 30 cm x 30 cm x 15 cm (tấm nước theo ISO) cho mắt. Không loại trừ việc sử dụng các hệ số và phantom khác nhưng phải có sự thỏa thuận giữa nhà sản xuất và người mua. Giá trị ước định của tương đương liều, (E) , phải được xác định từ giá trị đọc theo phụ lục E. Tuy nhiên, trong trường hợp thử nghiệm so sánh đơn thuần (tức là tất cả các trường hợp loại trừ thử nghiệm đáp ứng năng lượng và tính đẳng hướng), các giá trị đọc được có thể sử dụng thay cho các giá trị ước định.

Yêu cầu tính về năng được xác định trong Bảng 1 là thử nghiệm điển hình (T) hoặc thử nghiệm kiểm soát chất lượng (Q). Các thử nghiệm điển hình nhằm chứng tỏ tính năng cơ bản của kiểu liều kế và các thử nghiệm kiểm soát chất lượng nhằm xác nhận tính năng của một lần sản xuất hoặc một mẻ liều kế được cung cấp.

Số lượng liều kế sử dụng cho mỗi thử nghiệm hoặc các thử nghiệm lặp lại phải để đủ chứng tỏ các yêu cầu về tính năng đo được với độ tin cậy 95 %. Số lượng n liều kế (hoặc số lần chiếu xạ) được sử dụng cho mọi thử nghiệm không cần phải như nhau đối với mỗi thử nghiệm, nhưng có thể được xác định bằng cách sử dụng phụ lục B. Tuy nhiên, để thuận tiện, có thể dùng tùy ý, 5, 10 hoặc 20 liều kế (hoặc lần chiếu xạ) trong trường hợp đó giá trị t Student nhận được từ phụ lục B, bảng B.1, tương ứng sẽ là 2,78, 2,26 và 2,09.

Khi độ đáp ứng với neutron lớn hơn 1 % của độ đáp ứng với photon, xác định bằng tương đương liều, nhà sản xuất phải lưu ý người sử dụng yếu tố này và cung cấp thông tin định lượng thích hợp.

Yêu cầu về tính năng được quy định theo tương đương liều tại các độ sâu mô thích hợp, giá trị thực quy ước trong mọi thử nghiệm được xác định bằng cách sử dụng các hệ số chuyển đổi cho các phantom thích hợp. Một số ý kiến đề xuất rằng đại lượng này cần gọi là $H_p(d)$, tương tự với các số đo trên cơ thể. Tuy nhiên, cả ICRP (Ủy ban Quốc tế về Bảo vệ chống Phóng xạ) lẫn ICRU (Ủy ban Quốc tế về Đơn vị Bức xạ) đều đã không nêu ra một cách cụ thể nào về vấn đề tên gọi cho đại lượng đo đối với tay chân. Do đó đại lượng đo quy định trong tiêu chuẩn này bằng cách đã được mô tả chứ không phải bằng tên gọi.

8 Phương pháp thử

Phụ lục C nêu các thử nghiệm được đề xuất để kiểm chứng sự tuân thủ các yêu cầu về tính năng đã nêu ra. Các phép thử khác chứng minh sự tuân thủ như nhau thì cũng được sử dụng

9 Chứng nhận

Nhà sản xuất công bố sự tuân thủ (hoặc tuân thủ một phần) các yêu cầu về tính năng trong tiêu chuẩn này cần đưa ra một chứng chỉ có chữ ký gồm những nội dung sau:

- a) tên và địa chỉ của nhà sản xuất và các phòng thử nghiệm;
- b) mô tả/ đặc trưng của các liều kế được xem xét, bao gồm cả việc phân loại liều kế;
- c) mô tả đầu đọc, quy trình và thiết bị phụ trợ sử dụng để thử nghiệm (kiểu loại, số,...);
- d) công bố về sự chứng nhận phù hợp kết quả của mỗi lần thử nghiệm và ngày thực hiện (các báo cáo thử nghiệm cần sẵn có để người mua kiểm tra);
- e) công bố về độ đáp ứng định lượng đối với nơtron, nếu có yêu cầu;
- f) các chi tiết về hệ số chuyển đổi và phantom được thỏa thuận giữa nhà sản xuất và người mua, khi không sử dụng các hệ số chuyển đổi và phantom quy định ở tiêu chuẩn này.

Chú thích: Trong trường hợp khi mà tất cả các thử nghiệm không thực hiện trong cùng một cơ sở, chứng chỉ cần xác định rõ từng phòng thử nghiệm đối với mỗi thử nghiệm.

Bảng 1 – Các yêu cầu về tính năng đối với liều kế đo các đầu chi và liều kế đo mắt

Số TT	Đặc điểm về tính năng	Loại liều kế	Các yêu cầu về tính năng	Loại thử nghiệm ^a
1.	Tính đồng đều của mẻ	R/D	Hệ số biến đổi của giá trị ước định cho n liều kế không được quá 15 % đối với liều 10 mSv hoặc nhỏ hơn	Q
2.	Độ tái lập	R D	Hệ số biến đổi của giá trị ước định cho n liều kế không được quá 10 % cho từng liều kế riêng biệt đối với liều 10 mSv hoặc nhỏ hơn Không yêu cầu	Q
3.	Độ tuyến tính	R/D	Độ đáp ứng không thay đổi quá 10 % trên khoảng tương đương liều từ 1 mSv đến 1 Sv	T
4.	Khả năng ổn định của liều kế dưới các điều kiện khí hậu khác nhau	R/D	Các giá trị ước định của liều kế bị chiếu xạ tại thời điểm bắt đầu hoặc kết thúc của một thời kỳ lưu giữ phải không được khác với giá trị thực quy ước quá 5% đối với 30 ngày lưu giữ trong điều kiện thử nghiệm tiêu chuẩn, hoặc 10 % đối với 48 giờ lưu giữ ở nhiệt độ 40 °C và độ ẩm tương đối khoảng 90 %	T
5.	Ngưỡng phát hiện	R/D	Ngưỡng phát hiện phải không được vượt quá 1 mSv	T
6.	Tự chiếu xạ	R/D	Sau thời kỳ lưu giữ 60 ngày, điểm “không” không được vượt quá 2 mSv	T
7.	Phần dư	R	Sau khi chiếu xạ với giá trị thực quy ước 100 mSv, giới hạn ngưỡng phát hiện không được vượt quá và độ đáp ứng phải được duy trì trong khuôn khổ yêu cầu về độ tuyến tính tại mức liều 2 mSv	T
8.	Ảnh hưởng của sự phơi sáng đến liều kế	R/D	Theo kết quả chiếu 1.000 W.m ⁻² tương đương với ánh sáng chói của mặt trời (295 nm đến 769 nm) trong 1 ngày, điểm “0” không được thay đổi quá 1 mSv và, đối với chiếu trong một tuần, giá trị ước định không được thay đổi quá 10 % giá trị ước định của liều kế giữ trong bóng tối.	T
9.	Tính đẳng hướng (photon)	R/D	Khi bị chiếu xạ bằng photon (60 ± 5) keV, giá trị trung bình của độ đáp ứng tại các góc tới 0°, 20°, 40° và 60° đối với góc thẳng không được sai khác quá 15 % so với độ đáp ứng tương ứng góc tới thẳng góc	T
10	Độ đáp ứng năng lượng (photon)	R/D	Khi chiếu xạ bằng photon trong dải năng lượng từ 15 keV đến 3 MeV, độ đáp ứng không được sai khác quá ± 50 %	T
11	Độ đáp ứng năng lượng (bức xạ beta)	R/D	Khi chiếu xạ bằng bức xạ beta trong dải năng lượng (E_{max}) từ 0,5 MeV đến 3 MeV, độ đáp ứng không được sai khác quá ± 50 %	T

^a T: điển hình
Q: kiểm soát chất lượng (QC)

Phụ lục A

(quy định)

Các điều kiện tham chiếu và các điều kiện thử nghiệm tiêu chuẩn

Đại lượng ảnh hưởng	Các điều kiện tham chiếu (nếu không có quy định của nhà sản xuất)	Các điều kiện thử nghiệm tiêu chuẩn (nếu không có quy định của nhà sản xuất)
Bức xạ photon tham chiếu	Phù hợp với ISO 4037-3	Phù hợp với ISO 4037-3
Bức xạ beta tham chiếu	Phù hợp với ISO 6980	Phù hợp với ISO 6980
Nhiệt độ môi trường	20 °C	18 °C đến 22 °C
Độ ẩm tương đối	65 %	55 % đến 75 %
Phông bức xạ gamma	$\leq 0,2 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$	$\leq 0,2 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$
Mức độ nhiễm các nguyên tố phóng xạ	Có thể bỏ qua	Có thể bỏ qua
Cường độ ánh sáng	$50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$<100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$

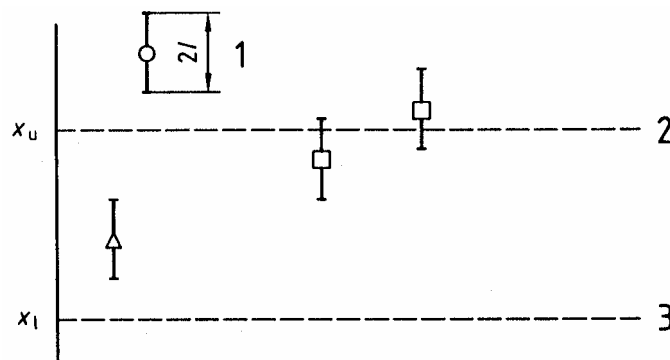
Phụ lục B

(quy định)

Giới hạn tin cậy

B.1 Quy định chung

Nếu độ lớn bất định ngẫu nhiên của giá trị đo được là một phần đáng kể của dung sai cho phép đối với giá trị đo, độ bất định ngẫu nhiên phải được xem xét bằng cách tiến hành nhiều phép đo. Số lượng các phép đo hoặc kích thước mẫu phải được lựa chọn sao cho khoảng tin cậy nhận được cho từng giá trị trung bình, \bar{x} , với mức tin cậy 95 % hoặc nằm trong các giới hạn biến đổi cho phép của giá trị đo trong phép thử nghiệm này (thử nghiệm đạt, các điểm Δ tại Hình B.1) hoặc nằm ngoài các giới hạn này (thử nghiệm hỏng, các điểm \square ở Hình B.1). Nếu một trong các giới hạn biến đổi cho phép, x_u hoặc x_l , nằm trong khoảng tin cậy của trung bình (các điểm \square ở Hình B.1) thì số lượng các phép đo hoặc kích thước mẫu có thể tăng lên để giảm độ rộng $2I$ của khoảng tin cậy của trung bình, \bar{x} , nhằm đạt được một trong hai trường hợp đã đề cập ở trên, cần thiết để quyết định dứt khoát là thử nghiệm có đạt hay không.



Chú giải

- 1 Khoảng tin cậy với độ rộng trung bình $2I$
- 2 Giới hạn biến đổi cho phép trên, x_u
- 3 Giới hạn biến đổi cho phép dưới, x_l

Hình B.1 – Thử nghiệm khoảng tin cậy

Thử nghiệm là đạt nếu khoảng tin cậy của độ rộng $2I$ xung quanh \bar{x} nằm giữa giới hạn biến đổi cho phép trên và giới hạn biến đổi cho phép dưới, x_u và x_l :

$$x_l + I < \bar{x} < x_u - I \quad (\text{B.1})$$

TCVN 7174 : 2002

Trong từng thử nghiệm, nên bắt đầu 10 phép đo cho mỗi liều kế. Nếu thấy cần thiết để giảm độ rộng $2 I$ của khoảng tin cậy của độ lệch chuẩn thực nghiệm, thì số lượng các phép đo cần được tăng lên (xem B.2).

Sẽ tiện lợi hơn, nếu tiến hành một thử nghiệm (chẳng hạn như, một lần chiếu xạ) với một số lượng liều kế nhất định được lấy ngẫu nhiên từ một mẻ liều kế thay cho việc lặp lại nhiều phép đo với cùng một liều kế. Cách làm như vậy không bị phản đối, nhưng tính bất định ngẫu nhiên của các kết quả thử nghiệm có thể tăng lên.

B.2 Khoảng tin cậy đối với độ lệch chuẩn, s

Khoảng tin cậy đối với độ lệch chuẩn của các trung bình s là:

$$(s - I_s, s + I_s) \quad (\text{B.2})$$

trong đó I_s là một nửa độ rộng của khoảng tin cậy s . Nếu s được tính từ n_s phép đo thì giới hạn trên của I_s tại mức tin cậy 95% có thể tính bằng công thức:

$$I_s(n_s) = t_{ns} \cdot s \sqrt{\frac{1}{2(n_s - 1)}} \quad (\text{B.3})$$

trong đó t_{ns} được lấy từ bảng B.1 cho n_s phép đo. Coi như ví dụ $I_s(10) = 0,53 s$ nhận được đối với 10 liều kế.

B.3 Khoảng tin cậy đối với trung bình, \bar{x}

Khoảng tin cậy đối với trung bình \bar{x} là:

$$(\bar{x} - I_i, \bar{x} + I_i) \quad (\text{B.4})$$

trong đó I_i là một nửa độ rộng của khoảng tin cậy x liên quan tới tập hợp i của các phép đo. Khi tính \bar{x} từ n_i phép đo, một nửa độ rộng của khoảng tin cậy này có thể tính bằng công thức:

$$I_i = \frac{t_n s_i}{\sqrt{n_i}} \quad (\text{B.5})$$

trong đó s_i là độ lệch chuẩn cho nhóm phép đo i , và t_n được lấy từ bảng B.1 cho n_i phép đo.

Ví dụ, cho $n_i = 10$,

$$I_i = \frac{2,26 s_i}{\sqrt{10}} = 0,71 s_i$$

Bảng B.1 – Các giá trị t Student cho khoảng tin cậy là 95 %

n_i	t_n	n_i	t_n
2	12,71	15	2,15
3	4,30	20	2,09
4	3,18	25	2,06
5	2,78	30	2,05
6	2,57	40	2,02
7	2,45	60	2,00
8	2,37	120	1,98
9	2,31	∞	1,96
10	2,26		

B.4 Khoảng tin cậy đối với một đại lượng tổ hợp

Nếu các giới hạn biến đổi được thiết lập cho đại lượng x , giá trị trung bình được tính từ k giá trị trung bình, $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_k$, là:

$$\bar{x} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_k) \quad (\text{B.6})$$

và một nửa độ rộng của khoảng tin cậy của trung bình thứ i là I_i , một nửa độ rộng, I , của khoảng tin cậy đối với \bar{x} được tính như sau:

$$I = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial \bar{x}}{\partial x_i} \right)^2} \times I_i^2 \quad (\text{B.7})$$

VÍ DỤ 1: $\bar{x} = \bar{x}_1 \pm \bar{x}_2$ suy ra $I = \sqrt{(I_1^2 + I_2^2)}$

nói chung $\bar{x} = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i$ suy ra $I = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_i^2}$

VÍ DỤ 2: $\bar{x} = \frac{\bar{x}_1}{\bar{x}_2}$ suy ra $I = \frac{\bar{x}_1}{\bar{x}_2} \sqrt{\left(\frac{I_1}{\bar{x}_1} \right)^2 + \left(\frac{I_2}{\bar{x}_2} \right)^2}$

VÍ DỤ 3: $\bar{x} = \frac{x_1/x_2}{x_1 + x_2}$ suy ra $I = \frac{2}{\bar{x}_1 + \bar{x}_2} \sqrt{\left(\bar{x}_2 I_1 \right)^2 + \left(\bar{x}_1 I_2 \right)^2}$

Phụ lục C
(quy định)

Các thử nghiệm tính năng

C.1 Tính đồng nhất của mẻ (kiểu R và kiểu D)

Chuẩn bị và chiếu xạ n liều kế với cùng giá trị thực quy ước (C) đến khoảng 10 mSv hoặc nhỏ hơn. Xác định giá trị ước định (E) cho từng liều kế và cho biết hệ số biến đổi đối với n liều kế không vượt quá 15%.

C.2 Độ tái lập (kiểu R)

Chuẩn bị, chiếu xạ và đọc n liều kế. Lập lại việc này 10 lần. Giá trị thực quy ước phải đúng như nhau cho mỗi lần thao tác và bằng khoảng 10 mSv hoặc ít hơn.

Với mỗi liều kế trong n liều kế, xác định trung bình giá trị ước định, E_j , và độ lệch chuẩn, s_{Ej} .

Chứng tỏ rằng đối với mỗi liều kế trong n liều kế:

$$\frac{100(s_{Ej} + I_s)}{\bar{E}_j} \leq 10 \quad (\text{C.1})$$

Trong đó I_s được cho ở biểu thức (B.2).

C.3 Độ tuyến tính (Kiểu R và kiểu D)

Chuẩn bị, chiếu xạ và đọc bốn nhóm liều kế. Cho n_i là số liều kế của nhóm i . Các giá trị thực quy ước (C_i) được cho đối với mỗi nhóm phải là 0,001 Sv, 0,01 Sv, 0,1 Sv và 1 Sv.

Tính giá trị ước định trung bình \bar{E}_i tại mỗi mức chiếu xạ và độ lệch chuẩn của chúng $S_{\bar{E}}$.

Chứng tỏ rằng:

$$0,90 \leq \frac{\bar{E}_{i_i} \pm I_i}{C_i} \leq 1,10 \quad (\text{C.2})$$

Trong đó I_i có được từ công thức (B.5) đối với n liều kế. Độ bất định của C_i được xem là không đáng kể.

C.4. Tính ổn định của liều kế trong những điều kiện khí hậu khác nhau (kiểu R và kiểu D)

Chuẩn bị hai nhóm, mỗi nhóm gồm n liều kế. Lưu giữ cả hai nhóm trong 24 giờ trong điều kiện tiêu chuẩn.

Chiếu xạ nhóm 1 đến giá trị thực quy ước đã biết (C) khoảng 10 mSv.

Lưu giữ cả hai nhóm liều kế trong một buồng khí hậu trong đó các điều kiện thử nghiệm tiêu chuẩn chiếm ưu thế.

Sau một khoảng thời gian 30 ngày liên tục, lấy cả hai nhóm liều kế ra khỏi buồng khí hậu. Chiếu xạ nhóm 2 tới cùng giá trị thực quy ước như nhóm 1.

Giữ cả hai nhóm trong 1 ngày trong điều kiện thử nghiệm tiêu chuẩn. Xác định các giá trị ước định (E) cho từng liều kế và tính trung bình các giá trị ước định này (\bar{E}) cho từng nhóm và độ lệch chuẩn tương ứng, s .

Chúng tỏ rằng đối với mỗi nhóm:

$$0,95 \leq \frac{\bar{E}_i \pm I_i}{C_i} \leq 1,05 \quad (\text{C.3})$$

Trong đó I_i được tính theo công thức (B.5)

Lặp lại thử nghiệm với một thời gian bảo quản là 2 ngày, nhưng trong một buồng khí hậu ở đó nhiệt độ là $40^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ và độ ẩm tương đối ít nhất là 90 %.

Chúng tỏ rằng đối với mỗi nhóm:

$$0,90 \leq \frac{\bar{E}_i \pm I_i}{C_i} \leq 1,10 \quad (\text{C.4})$$

Trong đó I_i được tính theo công thức (B.5)

C.5 Ngưỡng phát hiện (kiểu R và kiểu D)

Chuẩn bị và đọc n liều kế.

Xác định giá trị ước định (E) cho từng liều kế (không chiếu xạ) và tính độ lệch chuẩn (s_E) cho tất cả n liều kế.

Chúng tỏ rằng:

$$E + 1 \leq 10 \text{ mSv} \quad (\text{C.5})$$

C.6 Tự chiếu xạ (kiểu R và kiểu D)

Chuẩn bị n liều kế. Giữ các liều kế trong 60 ngày trong điều kiện thử nghiệm tiêu chuẩn tại một vị trí mà suất liều phòng đã được biết.

Đọc các liều kế và xác định giá trị ước định (E). Tính trung bình các giá trị ước định (\bar{E}) cho tất cả n liều kế và độ lệch chuẩn. Xác định giá trị thực quy ước, C_B (phòng), do chiếu xạ phòng trong quá trình lưu giữ.

Chúng tỏ rằng:

$$(\bar{E} + I_i) - C_B \leq 2 \text{ mSv} \quad (\text{C.6})$$

TCVN 7174 : 2002

trong đó I_i là một nửa độ rộng của khoảng tin cậy, xác định theo công thức (B.5).

C.7 Phần dư (Kiểu R)

C.7.1 Ảnh hưởng lên ngưỡng phát hiện

Chuẩn bị, chiếu xạ và đọc n liều kế dùng để thử nghiệm ngưỡng phát hiện. Giá trị thực quy ước (C) phải vào khoảng 100 mSv.

Sử dụng cùng các liều kế, lặp lại thử nghiệm để xác định ngưỡng phát hiện.

C.7.2. Ảnh hưởng lên độ đáp ứng

Chuẩn bị, chiếu xạ và đọc cũng n liều kế được dùng ở trên. Giá trị thực quy ước (C) phải vào khoảng 2 mSv.

Xác định giá trị ước định (E) cho từng liều kế và tính trung bình các giá trị ước định (\bar{E}) và độ lệch chuẩn, s_E .

Chứng tỏ rằng:

$$0,90 \leq \frac{E_i \pm I_i}{C} \leq 1,10 \quad (C.7)$$

Trong đó I_i được tính theo công thức (B.5)

C.8 Hiệu ứng phơi sáng (kiểu R và kiểu D)

C.8.1 Ảnh hưởng lên điểm “không”

Chuẩn bị hai nhóm, mỗi nhóm 20 liều kế.

Phơi sáng nhóm 1 ở độ sáng 1.000 W.m^{-2} trong 1 ngày. Đảm bảo nhiệt độ của các liều kế được duy trì ở dưới 40°C .

Để tạo ra ánh sáng 1.000 W.m^{-2} , sử dụng thiết bị tạo ra ánh sáng có phổ tương đương ánh sáng mặt trời sáng chói (295 nm đến 769 nm), (ví dụ một đèn xenon được trang bị, nếu cần thiết cùng với các bộ lọc thích hợp), hoặc sử dụng một đèn huỳnh quang ánh sáng ban ngày.

Chú thích: Ánh sáng mặt trời 1.000 W.m^{-2} gồm có 60 W.m^{-2} của cực tím (UV)

Giữ các liều kế nhóm 2 trong bóng tối trong một môi trường giống hệt khác. Bảo đảm nhiệt độ của các liều kế nhóm 2 trong khoảng $\pm 5^\circ\text{C}$ nhiệt độ của các liều kế nhóm 1.

Sau 1 ngày, đọc tất cả các liều kế.

Xác định giá trị ước định (\bar{E}) cho từng nhóm và tính trung bình các giá trị ước định (\bar{E}) cho từng nhóm trong hai nhóm và độ lệch chuẩn tương ứng của chúng.

Chúng tỏ rằng:

$$|(\bar{E}_{\text{nhóm 1}} - \bar{E}_{\text{nhóm 2}})| \pm I \leq 1,0 \text{ mSv} \quad (\text{C.8})$$

trong đó I được tính theo công thức (B.7) đối với hiệu số của hai giá trị trung bình.

C.8.2 Ảnh hưởng lên độ đáp ứng

Chuẩn bị và chiếu xạ hai nhóm, mỗi nhóm 20 liều kế. Giá trị thực quy ước (C) phải vào khoảng 10 mSv.

Chiếu và lưu giữ nhóm 1 và nhóm 2 tương ứng như trên.

Sau một tuần, đọc tất cả các liều kế.

Xác định giá trị ước định (E) cho từng nhóm và tính trung bình các giá trị ước định (\bar{E}) cho từng nhóm trong hai nhóm và độ lệch chuẩn tương ứng của chúng.

Chúng tỏ rằng:

$$0,90 \leq \frac{\bar{E}_{\text{nhóm 1}}}{\bar{E}_{\text{nhóm 2}}} \pm I \leq 1,10 \quad (\text{C.9})$$

trong đó I được tính theo công thức (B.7) đối với thương số của hai giá trị trung bình.

C.9 Tính đẳng hướng (photon) (kiểu R và kiểu D)

Chuẩn bị, chiếu xạ trên một phantom và đọc bốn nhóm, mỗi nhóm gồm n liều kế. Cho n_i là số lượng liều kế của nhóm i . Giá trị thực quy ước C phải vào khoảng 10 mSv sử dụng photon năng lượng (60 ± 5) keV (tia X hoặc ^{241}Am) và cho điều kiện sau:

- nhóm 1: góc tới thẳng;
- nhóm 2: lệch 20° so với hướng thẳng;
- nhóm 2: lệch 40° so với hướng thẳng;
- nhóm 2: lệch 60° so với hướng thẳng.

Đối với mỗi nhóm, góc tới cho n lần chiếu xạ thay đổi theo hướng dương và âm trong hai mặt phẳng vuông góc với nhau và với mặt phẳng của liều kế.

Xác định giá trị ước định (E) cho từng liều kế (xem Bảng E.1) và tính trung bình các giá trị ước định (\bar{E}) cho từng nhóm trong bốn nhóm và độ lệch chuẩn tương ứng.

Chúng tỏ rằng:

$$0,85 \leq \frac{\sum \bar{E}_i}{4 \bar{E}_i} \pm I_i \leq 1,15 \quad (\text{C.10})$$

trong đó I được xác định theo công thức (B.7).

C.10 Độ đáp ứng năng lượng (photon) (kiểu R và kiểu D)

Chuẩn bị, chiếu xạ trên một phantom và đọc bốn nhóm, mỗi nhóm gồm n liều kế. Giá trị thực quy ước (C) phải vào khoảng 10 mSv với các bức xạ tham chiếu sau đây:

- nhóm 1: 15,8 keV;
- nhóm 2: trong dải từ 30 đến 40 keV;
- nhóm 3: trong dải từ 80 đến 100 keV
- nhóm 4: ^{137}Cs hoặc ^{60}Co

Chú thích: Đây là các yêu cầu tối thiểu để tuân thủ tiêu chuẩn này. Có thể sử dụng các loại bức xạ chuẩn bổ sung.

Xác định giá trị ước định (E) cho từng liều kế (xem Bảng E.2) và tính trung bình các giá trị ước định (\bar{E}) cho từng nhóm và độ lệch chuẩn tương ứng.

Đối với từng nhóm trong 4 nhóm, chứng tỏ rằng:

$$0,5 \leq \frac{\bar{E}_i \pm I_i}{C} \leq 1,5 \quad (\text{đối với } i = 1,2,3,4) \quad (\text{C.11})$$

Trong đó I_i được xác định theo công thức (B.5).

C.11 Độ đáp ứng năng lượng (bức xạ beta) (kiểu R và kiểu D)

Chuẩn bị, chiếu xạ trên một phantom và đọc hai nhóm, mỗi nhóm n liều kế. Giá trị thực quy ước (C) phải vào khoảng 10 mSv với các bức xạ sau đây:

- nhóm 1: $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$;
- nhóm 2: ^{204}Tl .

Xác định giá trị ước định (E) cho từng liều kế (xem Bảng E.3) và tính trung bình của các giá trị ước định (\bar{E}) cho từng nhóm trong 2 nhóm.

Đối với từng nhóm, chứng tỏ rằng:

$$0,5 \leq \frac{\bar{E}_i \pm I_i}{C} \leq 1,5 \quad (\text{C.12})$$

Trong đó I_i được xác định theo công thức (B.5).

Phụ lục D

(tham khảo)

Xác định giá trị ước định (E) từ các giá trị đọc được

Để xác định giá trị ước định về liều của một liều kế dự định dùng để đo, phải đọc ít nhất một đầu dò TL và đôi khi vài đầu dò TL trong đầu đọc TL để có được một giá trị đọc hoặc vài giá trị đọc. Nhằm thu được kết quả các giá trị đọc được này (m) thành kết quả cuối cùng, phải tiến hành một số bước tùy thuộc vào hệ TLD được sử dụng và cách sử dụng hệ TLD. Sơ đồ sau được coi là một ví dụ cho những bước cần phải tiến hành.

Giá trị đọc được (m) →

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> – Hiệu chỉnh phong – Hệ số ổn định của đầu đọc – Hệ số độ nhạy của đầu dò – Hệ số hiệu chỉnh khác (ví dụ sự phai, không tuyến tính) – Hệ số hiệu chuẩn (ví dụ sử dụng ^{60}Co và ^{137}Cs) – Thuật toán (tính toán liều quan tâm và, nếu có thể, kết hợp kết quả của nhiều đầu dò) |
| Hệ số ước định (F_e) |

→ Giá trị ước định (E)

Trong mọi tình huống cụ thể, một vài trong các hệ số này có thể không cần thiết và các hệ số khác có thể phải được đưa ra. Vì lý do đó, trong tiêu chuẩn này một hệ số duy nhất được cho là để thay thế cho toàn bộ quy trình, đó là hệ số ước định (F_e) – hệ số chuyển đổi giá trị đọc được (m) thành giá trị ước định (E).

Phụ lục E

(quy định)

Các bảng chuyển đổi

Bảng E.1 – Hệ số chuyển đổi – Kerma không khí thành tương đương liều trong mô với photon đơn năng hoặc bức xạ tia X phổ hẹp ISO năng lượng trung bình 60 ± 5 keV(Sv/Gy)

Độ sâu trong mô	7 mg.cm ⁻²	7 mg.cm ⁻²	300 mg.cm ⁻²
Góc tới ^a	Ngón tay ^b	Chi ^b	Mắt ^c
0°	1,14	1,39	1,81
20°	1,14	1,39	1,78
40°	1,14	1,38	1,74
60°	1,14	1,33	1,54

^a Hướng tới lệch theo trục của ống trụ
^b Grosswendt, *Radiat.Prot.Dosim.* **59**, (3), trang 195–203 (1995), Bảng 1 và 2
^c Grosswendt, *Radiat.Prot.Dosim.* **35**, (4), trang 221–235 (1991), Bảng 1

Bảng E.2 – Hệ số chuyển đổi – Kerma không khí thành tương đương liều trong mô đối với photon tới trực giao (Sv/Gy)

Độ sâu trong mô	7 mg.cm ⁻²	7 mg.cm ⁻²	300 mg.cm ⁻²
Năng lượng photon	Ngón tay ^a	Chi ^a	Mắt ^b
15 keV	0,98	0,98	0,683
30 keV	1,06	1,18	1,223
40 keV	1,09	1,29	1,496
80 keV	1,16	1,38	1,809
100 keV	1,17	1,35	1,743
¹³⁷ Cs	1,12	1,15	1,226
⁶⁰ Co	1,11	1,12	1,182

^a Grosswendt, *Radiat.Prot.Dosim.* **59**, (3), trang 165–179 (1995), Bảng 1 (mô ICRU)
^b Grosswendt, *Radiat.Prot.Dosim.* **35**, (4), trang 221–235 (1991), Bảng 1 (tám mô ICRU)

**Bảng E.3 – Hệ số chuyển đổi – Liều hấp thụ trong không khí
thành tương đương liều trong mô đối với tia beta hướng tới thẳng góc**

Độ sâu trong mô	7 mg.cm^{-2}	7 mg.cm^{-2}	300 mg.cm^{-2}
Năng lượng beta	Ngón tay^a	Chi^a	Mắt^b
$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	1,25	1,25	0,6
^{204}Tl	1,22	1,22	Không

^a Ủy ban Đơn vị Bức xạ Anh quốc (BCRU), *Radiat.Prot.Dosim.* **14**, (4), trang 337–343 (1986),
Bảng 3, cho quả cầu ICRU nhưng giả thiết giá trị với các phantom nhỏ hơn.

^b Độ truyền qua của hạt beta ^{240}Tl qua 300 mg.cm^{-2} là zero.

Tài liệu tham khảo

- [1] IEC 1066:1991, *Thermoluminescence dosimetry systems for personal and environmental monitoring.*
 - [2] ICRP¹⁾ Publication 60:1991 *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.*
 - [3] ICRU²⁾ Report 33 :1980 *Radiation quantities and units.*
 - [4] ICRU Report 39 :1985 *Determination of dose equivalent resulting from external radiation sources.*
 - [5] ICRU Report 43 :1988 *Determination of Dose Equivalents from External Radiation Sources – Part 2.*
 - [6] ICRU Report 47:1992 *Measurement of Dose Equivalents from External Photon and Electron Radiations.*
 - [7] ICRU Report 51 : 1993 *Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry.*
-