

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

**TCVN 10804-2:2015
ISO 12789-2:2008**

**TRƯỜNG BỨC XẠ CHUẨN - TRƯỜNG NƠTRON ĐƯỢC
MÔ PHỎNG TẠI NƠI LÀM VIỆC - PHẦN 2: CÁC NGUYÊN
TẮC HIỆU CHUẨN LIÊN QUAN ĐẾN ĐẠI LƯỢNG CƠ BẢN**

*Reference radiation fields - Simulated workplace neutron fields -
Part 2: Calibration fundamentals related to the basic quantities*

HÀ NỘI - 2015

Lời nói đầu

TCVN 10804-2:2015 hoàn toàn tương đương với ISO 12789-2:2008.

TCVN 10804-2:2015 do Ban kỹ thuật Tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC 35 *Năng lượng hạt nhân* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố

36 bộ tiêu chuẩn **TCVN 10804 (ISO 12789)**, *Trường bức xạ chuẩn – Trường neutron được mô phỏng tại nơi làm việc*, gồm các phần sau:

- TCVN 10804-1:2015 (ISO 12789-1:2008), Phần 1: Đặc trưng của trường neutron và phương pháp tạo trường chuẩn;
- TCVN 10804-2:2015 (ISO 12789-2:2008), Phần 2: Các nguyên tắc hiệu chuẩn liên quan đến đại lượng cơ bản.

Lời giới thiệu

Trong hầu hết các trường hợp, trường neutron thường có ở nơi làm việc có bức xạ khá khác biệt so với các trường hiệu chuẩn được sử dụng thường ngày được tạo ra từ các phóng xạ đồng vị chuẩn được sử dụng trong các phòng chuẩn có mức tán xạ thấp. Độ đáp ứng tương đương liều của liều kế neutron cá nhân và thiết bị đo kiểm tra diện tích bức xạ neutron phụ thuộc vào sự phân bố năng lượng của trường neutron tại nơi sử dụng các thiết bị và trong trường hợp liều của liều kế cá nhân cụ thể còn phụ thuộc vào góc tới của neutron. Do đó, hiệu chuẩn các thiết bị này trong các trường neutron chuẩn như được mô tả trong ISO 8529 (tất cả các phần) không mang lại hệ số hiệu chuẩn phù hợp trong hầu hết các trường hợp. Vì lý do này, một vài phòng thí nghiệm đã phát triển trường neutron được mô phỏng tại nơi làm việc nhằm mô phỏng các đặc điểm của các loại trường cụ thể cần để thực hiện các phép đo liều kế cá nhân và phép đo thiết bị đo kiểm tra diện tích. Các trường này tạo ra cơ sở mà năng lực thực hiện của các thiết bị này trong các trường làm việc có thể được điều tra, và trong một số trường hợp cụ thể, có thể đóng vai trò như phòng chuẩn. Vì trường neutron nơi làm việc phụ thuộc vào cấu trúc vật lý của mỗi nơi làm việc nên tiêu chuẩn này được viết để mô tả phương pháp tạo ra và xác định đặc trưng của các trường neutron được mô phỏng tại nơi làm việc hơn là để chuẩn hóa trường chuẩn như là cách viết trong tiêu chuẩn đồng hành, ISO 8529 (tất cả các phần).

Tiêu chuẩn này liên quan chặt chẽ với TCVN 10804-1 (ISO 12789-1), tiêu chuẩn mô tả các cơ sở và phương pháp hiện nay được sử dụng để tạo ra các trường bức xạ neutron được mô phỏng tại nơi làm việc. Các trường này được tạo lập một cách đặc biệt để làm chậm các neutron nguồn và tính gộp các neutron được phát ra từ cấu trúc và thiết bị xung quanh để mô phỏng môi trường làm việc. Tiêu chuẩn này mô tả phương pháp được sử dụng để xác định các giá trị quy ước của các đại lượng tác nghiệp đặc trưng cho trường neutron nơi làm việc thực tế.

Các đại lượng tác nghiệp được sử dụng trong tiêu chuẩn này là tương đương liều môi trường, $H^*(10)$ và tương đương liều cá nhân $H_p(10)$. Đối với các trường bức xạ chuẩn, nên xác định các giá trị quy ước của chúng từ dòng neutron hoặc suất dòng như một hàm của năng lượng neutron và đối với trường hợp $H_p(10)$, nên xác định các giá trị quy ước của chúng từ việc sử dụng hệ số chuyển đổi được liệt kê trong Phụ lục A. Trong một số trường hợp, việc sử dụng hệ số chuyển đổi không khả thi cho việc xác định $H_p(10)$ thì khi đó cần tính trực tiếp giá trị này.

Hiện tại, không có phương pháp đơn giản nào tạo ra được sự liên kết chuẩn các đại lượng tác nghiệp từ một viện tiêu chuẩn quốc gia tới trường neutron được mô phỏng tại nơi làm việc. Quá trình xác định các đại lượng tác nghiệp từ dòng như được mô tả trong tiêu chuẩn này sinh ra độ không đảm bảo bổ sung.

Tiêu chuẩn này kết hợp các phương pháp được chấp nhận cho xác định độ không đảm bảo liên quan tới giá trị của các đại lượng tác nghiệp và đưa ra thông tin mới đối với độ không đảm bảo liên quan đến phép suy luận sự phân bố theo năng lượng của dòng neutron bằng cách sử dụng các kỹ thuật trải phổ được chấp nhận. Độ không đảm bảo trong việc xác định $H_p(10)$ sử dụng thông tin từ sự phân bố hướng của dòng neutron có thể lớn nhưng hiện tại, việc định lượng độ không đảm bảo từ nguồn này chưa được giải quyết.

Trường bức xạ chuẩn – Trường neutron được mô phỏng tại nơi làm việc –

Phần 2: Các nguyên tắc hiệu chuẩn liên quan đến đại lượng cơ bản

Reference radiation fields – Simulated workplace neutron fields –

Part 2: Calibration fundamentals related to the basic quantities

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này mô tả việc xác định các đặc trưng của trường neutron nơi làm việc mô phỏng tạo ra bằng phương pháp được mô tả trong TCVN 10804-1 (ISO 12789-1). Tiêu chuẩn này quy định các quy trình được sử dụng cho việc thiết lập các điều kiện hiệu chuẩn của các thiết bị bảo vệ bức xạ trong trường neutron do các cơ sở này tạo ra, đặc biệt vào neutron bị tán xạ. Do các trường neutron nơi làm việc rất đa dạng nên một vài cơ sở đặc biệt đã được xây dựng để mô phỏng các trường này trong phòng thí nghiệm. Trong tiêu chuẩn này, các đặc trưng của trường bức xạ neutron được phân loại bởi đại lượng tác nghiệp. Phương pháp chung cho việc xác định đặc điểm của trường neutron được mô phỏng tại nơi làm việc được khuyến nghị áp dụng.

2 Thuật ngữ và định nghĩa

Tiêu chuẩn này sử dụng các thuật ngữ và định nghĩa sau.

2.1

Chỉ thị (indication)

Số đọc (reading)

M

Giá trị của một đại lượng cung cấp bởi một thiết bị đo hoặc một hệ thống đo.

CHÚ THÍCH 1: Một chỉ thị có thể được thể hiện dưới dạng âm học hoặc hình ảnh hoặc có thể được truyền sang thiết bị khác. Chỉ số thường được đưa ra bởi vị trí của một kim chỉ trên bảng hiện thị cho kết quả xuất ra dạng tương tự, một số được hiển thị hoặc in ra cho kết quả xuất ra dạng số, một mẫu mã số cho kết quả xuất ra dạng mã số, hoặc một giá trị đại lượng được ấn định để đo vật liệu.

CHÚ THÍCH 2: Chỉ số và giá trị tương ứng của đại lượng được đo không nhất thiết là các giá trị của các đại lượng cùng loại.

[Hướng dẫn ISO/IEC 99:2007, 4.1]

2.2

Giá trị đại lượng quy ước (conventional quantity value)

Giá trị quy ước của đại lượng (conventional value of a quantity)

Giá trị đại lượng quy cho đại lượng bằng sự thỏa thuận đối với một mục đích đã cho.

VÍ DỤ 1: Gia tốc rơi tự do chuẩn (trước đây gọi là "gia tốc trọng trường chuẩn"), $g_n = 9,806\ 65\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

VÍ DỤ 2: Giá trị đại lượng quy ước của hằng số Josephson, $K_{J-90} = 483\ 597,9\ \text{GHz}\cdot\text{V}^{-1}$.

VÍ DỤ 3: Giá trị đại lượng quy ước của một chuẩn khối lượng đã cho, $m = 100,003\ 47\ \text{g}$.

CHÚ THÍCH 1: Thuật ngữ "giá trị đại lượng thực quy ước" đôi khi được sử dụng cho khái niệm này, nhưng không khuyến nghị sử dụng.

CHÚ THÍCH 2: Đôi khi giá trị đại lượng quy ước là một ước lượng của giá trị đại lượng thực.

CHÚ THÍCH 3: Giá trị đại lượng quy ước nói chung được chấp nhận khi gắn với độ không đảm bảo đo nhỏ phù hợp, có thể bằng không.

[Hướng dẫn ISO/IEC 99:2007, 2.12]

2.3

Dòng nơtron (neutron fluence)

Φ

Thương số của dN với da , trong đó dN là số nơtron tới đi qua một hình cầu có diện tích cắt ngang là da , như được tính theo Công thức (1):

$$\Phi = \frac{dN}{da} \quad (1)$$

CHÚ THÍCH: Đơn vị của dòng nơtron là mét mũ âm 2 (m^{-2}).

2.4

Suất dòng nơtron (neutron fluence rate)

φ

Thương số của $d\Phi$ với dt , và $d\Phi$ là sự gia tăng của dòng nơtron trong khoảng thời gian dt , như được tính theo Công thức (2):

$$\varphi = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d^2N}{dadt} \quad (2)$$

CHÚ THÍCH 1: Đơn vị của suất dòng neutron là mét mũ âm 2 nhân với giây mũ âm 1 ($m^{-2} s^{-1}$).

CHÚ THÍCH 2: Đại lượng này cũng được gọi là mật độ thông lượng neutron.

2.5

Phân bố theo năng lượng của dòng neutron (energy distribution of the neutron fluence)

Φ_E

Thương số của $d\Phi$ với dE , trong đó $d\Phi$ là độ gia tăng của dòng neutron trong dải năng lượng từ E đến $E + dE$, như được tính theo Công thức (3):

$$\Phi_E = \frac{d\Phi}{dE} \quad (3)$$

CHÚ THÍCH: Đơn vị phân bố theo năng lượng của dòng neutron là mét mũ trừ 2 nhân với nghịch đảo jun ($m^{-2} J^{-1}$).

2.6

Phân bố theo năng lượng và hướng của dòng neutron (energy and direction distribution of the neutron fluence)

$\Phi_{E,\Omega}$

Thương số của $d\Phi$ với dE và $d\Omega$, trong đó $d\Phi$ là độ gia tăng của dòng neutron trong dải năng lượng từ E đến $E + dE$ và khoảng góc khối giữa Ω và $\Omega + d\Omega$, như được tính theo Công thức (4):

$$\Phi_{E,\Omega} = \frac{d^2\Phi}{dE d\Omega} \quad (4)$$

CHÚ THÍCH: Đơn vị của phân bố theo năng lượng và hướng của dòng neutron là mét mũ âm 2 nhân với nghịch đảo jun nhân với nghịch đảo steradian ($m^{-2} J^{-1} sr^{-1}$).

2.7

Tương đương liều môi trường độ sâu 10 mm (ambient dose equivalent at 10 depth)

$H'(10)$

Tương đương liều tại một điểm trong trường bức xạ được tạo bởi một trường bức xạ định hướng mở rộng tương đương trong một khối cầu ICRU tại độ sâu 10 mm trên bán kính ngược với hướng của trường xạ định hướng.

CHÚ THÍCH: Đơn vị của tương đương liều môi trường là jun nhân với nghịch đảo kilogam ($J.kg^{-1}$) thường được gọi là Sievert (Sv).

2.8

Tương đương liều cá nhân tại độ sâu 10 mm (personal dose equivalent at 10 depth)

$H_p(10)$

Tương đương liều trong mô mềm tại độ sâu 10 mm dưới một điểm cụ thể trên cơ thể.

CHÚ THÍCH: Đơn vị của tương đương liều cá nhân là jun nhân với nghịch đảo của kilogram ($J.kg^{-1}$) thường được gọi là Sievert (Sv).

CHÚ THÍCH: Báo cáo ICRU 47⁽¹²⁾, ICRU coi định nghĩa tương đương liều cá nhân là bao gồm cả tương đương liều tại độ sâu d trong một phantom có thành phần tương đương mô ICRU. Do đó, $H_p(10)$ cho hiệu chuẩn liều kế cá nhân là tương đương liều tại độ sâu 10 mm trong một phantom có thành phần tương đương mô của ICRU, nhưng kích thước và hình dáng của phantom được sử dụng để hiệu chuẩn (hình trụ có kích thước 30 cm x 30 cm x 15 cm) và hệ số chuyển đổi, $h_{p,slab}(10)$ được tính cho cấu hình này.

2.9

Hệ số chuyển đổi dòng neutron – tương đương liều (neutron fluence-to-dose-equivalent conversion coefficient)

h_ϕ

Thương của tương đương liều neutron, H , với dòng neutron ϕ tại một điểm trong trường bức xạ, như được tính theo Công thức (5):

$$h_\phi = \frac{H}{\phi} \quad (5)$$

CHÚ THÍCH: Một phát biểu về hệ số chuyển đổi dòng neutron – tương đương liều yêu cầu khẳng định loại tương đương liều, ví dụ tương đương liều môi trường h^*_ϕ hoặc tương đương liều cá nhân $h_{p,slab,\phi}$.

2.10

Độ đáp ứng (response)

R

(của một thiết bị đo) chỉ số hoặc số đọc chia cho giá trị quy ước của đại lượng gây ra độ đáp ứng.

CHÚ THÍCH: Loại đáp ứng cần được chỉ rõ, ví dụ "đáp ứng dòng", như được tính theo Công thức (6):

$$R_\phi = \frac{M}{\phi} \quad (6)$$

hoặc "đáp ứng tương đương liều", như được tính theo Công thức (7):

$$R_H = \frac{M}{H} \quad (7)$$

Nếu M là số đo của một suất dòng hoặc suất liều thì các đại lượng dòng ϕ và tương đương liều H được thay thế tương ứng bởi suất dòng $\dot{\phi}$ và suất tương đương liều \dot{H} .

2.11

Hệ số hiệu chuẩn (calibration factor)

N

Nghịch đảo của độ đáp ứng khi xác định dưới các điều kiện tham chiếu.

CHÚ THÍCH: Hệ số hiệu chuẩn là hệ số mà số đọc M nhân với hệ số đó thì thu được giá trị của đại lượng cần đo.

2.12

Sự phụ thuộc năng lượng của độ đáp ứng năng lượng khi xác định dòng (energy dependence of response with respect to fluence)

$R_{\phi}(E)$

Độ đáp ứng R khi xác định dòng ϕ như hàm của năng lượng của neutron E .

2.13

Sự phụ thuộc năng lượng của độ đáp ứng năng lượng khi xác định tương đương liều (energy dependence of response with respect to dose equivalent)

$R_H(E)$

Độ đáp ứng R khi xác định tương đương liều H như hàm của năng lượng neutron E .

2.14

Điểm kiểm tra (point of test)

Điểm trong trường bức xạ mà tại đó giá trị quy ước của một đại lượng đang được đo sẽ được xác định.

2.15

Điểm tham chiếu (reference point)

(của một thiết bị) điểm được đặt tại điểm kiểm tra cho mục đích hiệu chuẩn hoặc kiểm tra.

3 Ký hiệu

Φ Dòng neutron

ϕ Suất dòng neutron

Φ_E Phân bố theo năng lượng của dòng neutron tự do trong không khí tại điểm kiểm tra

Φ_{E_s} Phân bố theo năng lượng của dòng neutron tại điểm trong phantom mà tại đó đại lượng tác nghiệp được định nghĩa.

TCVN 10804-2:2015

$\Phi_{\varepsilon,\Omega}$	Phân bố theo năng lượng và hướng của dòng neutron tại điểm kiểm tra với sự hiện diện của phantom
E	Năng lượng neutron
$\langle h_{\phi} \rangle$	Hệ số chuyển đổi dòng neutron trung bình theo năng lượng -tương đương liều
$h^*_{\phi}(E)$	Hệ số chuyển đổi dòng sang tương đương liều môi trường như hàm số của năng lượng neutron E
$h_{p,slab\phi}(E,\alpha)$	Hệ số chuyển đổi dòng sang tương đương liều cá nhân như hàm số của năng lượng neutron E và góc tới α
H	Tương đương liều
$H^*(10)$	Tương đương liều môi trường tại độ sâu 10 mm
$H_p(10)$	Tương đương liều cá nhân tại độ sâu 10 mm dưới một điểm cụ thể trên cơ thể
$H_{p,slab}(10)$	Tương đương liều cá nhân tại độ sâu 10 mm trong một lớp mô ICRU
k_f	Hệ số kerma
M	Chỉ số (của thiết bị đo) hoặc số đọc
μ_a/ρ	Hệ số truyền năng lượng khối
N	Hệ số hiệu chuẩn
Q_n	Hệ số chất lượng trung bình cho các hạt tích điện thứ cấp sinh ra bởi neutron
R	Độ đáp ứng của thiết bị dò neutron
R_H	Độ đáp ứng tương đương liều (tương tự, $R_H(E)$ khi sử dụng liên quan đến dòng năng lượng, xem 2.13)
R_{ϕ}	Độ đáp ứng dòng [tương tự, $R_{\phi}(E)$ khi sử dụng liên quan đến dòng năng lượng, xem 2.12]
ψ_{ε_T}	Dòng năng lượng tại một điểm trong phantom mà tại điểm đó đại lượng tác nghiệp được định nghĩa.

4 Đặc điểm của cơ sở trường neutron được mô phỏng tại nơi làm việc

Tiêu chuẩn này đề cập đến trường neutron được mô phỏng tại nơi làm việc giống như trường được mô tả trong TCVN 10804-1 (ISO 12789-1) và được tạo ra phù hợp với TCVN 10804-1 (ISO 12789-1). Khi thiết lập hoặc lựa chọn một trường neutron được mô phỏng tại nơi làm việc thì cần xem xét các tính năng (ví dụ như sự phân bố năng lượng và hướng) của trường neutron được mô phỏng và tính năng đáp ứng của các thiết bị được sử dụng để xác định phân bố neutron.

Có ba phương pháp cơ bản tạo neutron cho trường neutron được mô phỏng tại nơi làm việc: các cơ sở chiếu xạ được xây dựng để dùng các nguồn neutron đồng vị phóng xạ, các máy gia tốc và lò phản ứng. Trong mỗi trường hợp, có rất nhiều loại vật liệu tán xạ, hấp thụ và chuyển đổi có thể được đặt giữa nguồn thứ cấp và điểm kiểm tra để cải biên sự phân bố theo năng lượng nguồn ban đầu và trường neutron được mô phỏng tại nơi làm việc. Trong khi các khuyến nghị của TCVN 10804-1 (ISO 12789-1) và tiêu chuẩn này qui định các phương pháp làm giảm các hiệu ứng của neutron bị tán xạ trên phổ dòng neutron tham chiếu, TCVN 10804-1 (ISO 12789-1) mô tả trường bức xạ đặc biệt sử dụng các vật liệu cụ thể để tạo ra sự tán xạ, hấp thụ bổ sung và bức xạ thứ cấp. Mỗi trường bức xạ chuẩn được mô tả trong TCVN 10804-1 (ISO 12789-1) sử dụng các vật liệu như nước nhẹ (H_2O), nước nặng (D_2O), polyethylene, graphite, sắt, bê tông và urani.

Cần phải xác định đại lượng đặc trưng cho trường bức xạ mô phỏng tại điểm kiểm tra (phân bố theo năng lượng và hướng của dòng neutron) và tất cả các hệ số hiệu chỉnh cần có để đánh giá các hệ số chuyển đổi thích hợp.

Phương pháp xác định hệ số chuyển đổi thích hợp bao gồm phép đo và tính toán sự phân bố theo năng lượng và hướng neutron tại điểm kiểm tra và việc sử dụng sự phân bố này để xác định tương đương liều môi trường hoặc cá nhân cho mỗi năng lượng hoặc mỗi năng lượng và góc tại 10 mm tương ứng trong khối cầu hoặc phantom ICRU.

Hệ số chuyển đổi được cho làm hàm của năng lượng và góc trong Phụ lục A gắn với trường neutron song song và rộng. Nếu trường neutron đủ rộng và đồng nhất, tức là đồng nhất trên toàn bộ bề mặt trước của phantom hoặc trên thiết bị đang được hiệu chuẩn thì có thể áp dụng các hệ số chuyển đổi này mà không cần xem xét gì thêm. Nếu các giả định không được thỏa mãn thì $H_p(10)$ phải được tính trực tiếp bằng việc tính năng lượng neutron và phân bố hướng tại điểm kiểm tra và sử dụng sự phân bố đó để xác định tương đương liều tại 10 mm trong phantom tẩm ICRU. Các nội dung này được trình bày kỹ hơn trong 5.4.2 của tiêu chuẩn này.

Cấu hình hình học và kích thước của khu vực xung quanh điểm kiểm tra cần được bố trí để sự chiếu xạ có tái lập ở mức độ chính xác nhất. Cần sử dụng tất cả các biện pháp để cho phép thực hiện đặt lại chính xác các thiết bị được sử dụng để xác định tính năng trường hiệu chuẩn cũng như để cho phép thực hiện việc đặt lại chính xác các thiết bị được hiệu chuẩn. Cần phải xem xét sự khác biệt thực tế trong phân bố theo năng lượng và hướng của neutron giữa điểm tham chiếu và điểm kiểm tra. Điều này có thể được giải quyết bằng cách sử dụng độ không đảm bảo bổ sung có tính đến trường không đồng nhất hoặc sử dụng hệ số hiệu chỉnh bổ sung.

Khi có thể thì nên thực hiện thêm phép đo xác nhận có sử dụng thiết bị giám sát khu vực hoặc liều kế cá nhân nếu sự phụ thuộc năng lượng và góc của độ đáp ứng của các thiết bị này đã được biết rõ trong toàn bộ dải năng lượng và góc từ các phép đo và các tính toán hiệu chuẩn. Thiết bị có sự phụ thuộc nhỏ về năng lượng và góc của độ đáp ứng là rất thích hợp cho mục đích này.

5 Xác định đặc trưng của các trường được mô phỏng tại neutron nơi làm việc

5.1 Khái quát

Mục đích chính của việc xác định đặc điểm của trường neutron nơi làm việc là để xác định dòng neutron và sự phân bố theo năng lượng và hướng, từ đó rút ra được giá trị quy ước của các đại lượng tác nghiệp, tức là $H'(10)$ hoặc $H_p(10)$, tại điểm kiểm tra. Như được mô tả trong Điều 4, việc xác định giá trị tương đương liều yêu cầu hiểu biết cụ thể về phân bố năng lượng neutron và trong trường hợp tương đương liều cá nhân, phân bố hướng neutron, vì các hệ số chuyển đổi phụ thuộc nhiều vào các phân bố này.

5.2 Xác định phân bố theo năng lượng và hướng của dòng neutron

Sự phân bố theo năng lượng và hướng của dòng neutron được xác định bằng cách kết hợp đo đạc và tính toán.

Phép đo phổ neutron là một lĩnh vực phức tạp trong công nghệ đòi hỏi nhiều nỗ lực và kiến thức để có thể của phép đo phổ và sử dụng phổ kế^[1]. Các hệ thống đo phổ đa cầu chủ động hoặc thụ động được tăng cường bằng các detector nhấp nháy hoặc detector proton giạt lùi, hoặc cả hai, nên được sử dụng trong phép đo.

Phần lớn kỹ thuật được sử dụng rộng rãi để đo sự phân bố theo năng lượng của dòng neutron trong một trường được mô phỏng tại nơi làm việc là phổ kế đa cầu, thường được gọi là phổ kế cầu Bonner. Loại thiết bị này chứa có khoảng mười hoặc hơn mười khối cầu điều hòa làm bằng polyetylen với các đường kính khác nhau và có một cảm biến neutron nhiệt đặt tại trung tâm mỗi khối cầu. Có thể thêm khối cầu có kim loại để mở rộng dải năng lượng đến mức năng lượng neutron cao hơn. Quan trọng nhất là phổ kế này bao quát toàn bộ dải năng lượng được quan tâm từ mức năng lượng nhiệt đến hàng chục hoặc hàng trăm MeVs. Các phổ kế đa cầu cũng có đáp ứng đẳng hướng nên các phổ kế đa cầu này có thể đo sự phân bố năng lượng neutron mà không bị ảnh hưởng bởi sự phân bố hướng của trường. Điều kiện tiên quyết để sử dụng kỹ thuật này là phải có các hàm đáp ứng đã được thiết lập và sử dụng các phương pháp phổ quát thích hợp (ví dụ, các chương trình phổ quát như: STAY'SL, MAXED, SAND-II, GRAVEL, LOUHI VÀ BUNKI) để giải các hệ phương trình có số phương trình ít hơn số ẩn^{[1], [2]}. Có thể tham vấn các kho chương trình máy tính quốc gia hoặc quốc tế như Ngân hàng dữ liệu RSICC hoặc NEA, để nhận được các chương trình tính toán. Có thể sử dụng các chương trình tính toán phổ quát được lập trình chuyên biệt nếu như các chương trình đó đã được kiểm tra trước trong các trường chuẩn và so sánh với các chương trình đã được thừa nhận. Trong Tài liệu tham khảo [1] có mô tả chi tiết hơn về các kỹ thuật được sử dụng để xác định phân bố năng lượng của dòng. Thành phần nhiệt của sự phân bố năng lượng neutron có thể được kiểm chứng bằng cách sử dụng một kỹ thuật độc lập, ví dụ như lá kích hoạt, nếu dòng neutron nhiệt đóng góp đáng kể vào tương đương liều.

Các phổ kế đa hình cầu không cung cấp phép đo có độ phân giải cao và vì lý do đó nếu có thể nên sử dụng detector nhấp nháy và/hoặc thực hiện phép đo proton giạt lùi trong dải năng lượng cao hơn (~ 50 keV đến 20 MeV) nơi mà xuất hiện phần lớn các giá trị liều (và sự biến thiên hệ số chuyển đổi là

đáng kể). Các phép đo có độ phân giải năng lượng tốt trong vùng mà hệ số chuyển đổi dòng thành tương đương liều thay đổi nhanh theo năng lượng (khoảng 10 keV đến 1 MeV) là đặc biệt hữu ích, nhưng rất khó để mở rộng dải đo của các phổ kế có độ phân giải cao xuống dưới khoảng 50 keV.

Các phổ kế có sẵn trên thị trường được tích hợp các chương trình tính toán phổ quát có thể được sử dụng nếu đã biết khả năng hoạt động của chúng trong dải năng lượng quan tâm và độ không đảm bảo của các phổ kế.

Phép đo đồng thời sự phân bố năng lượng và hướng là một vấn đề phức tạp và vẫn còn là một vấn đề đang được nghiên cứu^{[1],[3]}. Trong khi các phương pháp thực tế như gắn các liều kế lên các bề mặt khác nhau của một phantom tẩm có thể phù hợp cho phép đo liều thường xuyên tại nơi làm việc thì cần phải có các phương pháp chính xác hơn để xác định đặc điểm của một trường được mô phỏng tại nơi làm việc. Mặc dù có những thành tựu gần đây, ví dụ như sử dụng một bộ gồm sáu phổ kế trên một phantom hình cầu^[4], những phương pháp này thường chỉ nên sử dụng kết hợp với kết quả từ các tính toán vận chuyển.

Có một số công cụ tính toán để tính dòng neutron theo hàm năng lượng và hướng. Việc biết rõ quá trình tạo ra neutron và hình học của cơ sở cho phép việc sử dụng tin cậy các tính toán vận chuyển. Các tính toán cần được thực hiện bằng các chương trình tính toán đã được công nhận và do người có kinh nghiệm thực hiện. Các chương trình rất phù hợp như các chương trình của hệ MCNPTM¹, sử dụng dữ liệu tiết diện được đánh giá, cập nhật mới nhất, cho tính toán tới hình học ba chiều của cơ sở. Để đánh giá độ không đảm bảo của các kết quả từ các tính toán này cần phân tích độ không đảm bảo từ tất cả các thông số đầu vào trong mô hình tính toán. Việc đánh giá sau có thể được thực hiện bằng nghiên cứu độ nhạy, ví dụ như áp dụng phương pháp toán tử vi phân^[5].

Như được nêu trong Điều 4, phương pháp xác định hệ số chuyển đổi phù hợp bao gồm cả đo đạc và tính toán sự phân bố năng lượng và hướng neutron tại điểm kiểm tra và sử dụng các phân bố này để xác định tương đương liều môi trường cho mỗi năng lượng, hoặc cho mỗi năng lượng và góc, tại độ sâu 10 mm trong khối cầu hoặc phantom ICRU.

5.3 Xác định $H^*(10)$

Giá trị quy ước của tương đương liều môi trường hoặc suất tương đương liều môi trường tại điểm kiểm tra được xác định bằng cách sử dụng (góc khối được tích hợp) giá trị phân bố theo năng lượng của dòng neutron, Φ_E và hệ số chuyển đổi dòng-tương đương liều phù hợp.

Trong thực tế, tích số của dòng, Φ tự do trong không khí tại điểm kiểm tra với hệ số chuyển đổi trung bình theo năng lượng $\langle h^*_\phi \rangle$ sẽ cho đại lượng tác nghiệp được nêu trong Công thức (8):

$$H^*(10) = \langle h^*_\phi \rangle \Phi \quad (8)$$

¹ MCNPTM là ví dụ về một sản phẩm phù hợp có sẵn trên thị trường. Thông tin này được đưa ra để tạo sự thuận tiện cho người sử dụng tiêu chuẩn này và không phải là xác nhận của tiêu chuẩn về sản phẩm này.

Trong đó:

$$\langle h^*_{\phi} \rangle = \frac{\int h^*_{\phi}(E) \Phi_E dE}{\Phi} \quad (9)$$

Trong đó:

Φ_E là phân bố dòng tự do trong không khí theo năng lượng tại điểm kiểm tra;

$h^*_{\phi}(E)$ là hệ số chuyển đổi dòng-tương đương liều môi trường theo hàm của năng lượng của neutron E , được cho trong Phụ lục A.

Cần phải nội suy năng lượng cho các hệ số trong bảng bằng cách sử dụng kỹ thuật nội suy Lagrange bốn điểm theo thang log-log.

5.4 Xác định $H_{p,slab}(10)$

5.4.1 Khái quát

Để xác định $H_{p,slab}(10)$ cần phải biết cả về sự phân bố theo năng lượng và sự phân bố theo hướng của dòng neutron. Các phân bố này được xác định với sự hiện diện của phantom, vật chất có thể làm xáo trộn trường neutron tới. Phương pháp xác định giá trị quy ước của $H_{p,slab}(10)$ phụ thuộc vào độ đồng nhất của trường bức xạ và việc liệu nó có chỉ tới trên bề mặt trước của phantom hay không. Nên sử dụng các tính toán và/hoặc đo đạc để đánh giá độ đồng nhất, tùy theo mức độ không đảm bảo được yêu cầu. Hai phương pháp được đề xuất và phương pháp thứ nhất (xem 5.4.2) là chung và áp dụng cho tất cả các trường neutron. Phương pháp thứ hai (xem 5.4.3) là áp dụng cho trường hợp đặc biệt của một trường đồng đều (rộng và song song hoặc chồng chập của một số trường như vậy) tới trên mặt trước của phantom. Trong trường hợp này thì có thể sử dụng các hệ số chuyển đổi nêu trong Phụ lục A.

5.4.2 Trường neutron không đồng đều

Trường neutron và hình học chiếu xạ phải được mô phỏng bằng các tính toán vận chuyển. Các phân bố năng lượng của dòng neutron và photon được xác định tại điểm mà đại lượng được định nghĩa, tức là tại độ sâu 10 mm bên trong tấm ICRU. Ví dụ, sử dụng độ xấp xỉ kerma và hệ số chất lượng phụ thuộc LET của các hạt tích điện thứ cấp sinh ra bởi neutron, đại lượng tác nghiệp được tính như trong Công thức (10) ^[6]:

$$H_{p,slab}(10) = \int_{E_n} \Phi_{E_n} Q_n(E_n) k_f(E_n) dE_n + \int_{E_\gamma} \psi_{E_\gamma} \frac{\mu_a(E_\gamma)(1-g)}{\rho} dE_\gamma \quad (10)$$

Trong đó:

Φ_{E_n} là phân bố dòng neutron theo năng lượng tại điểm mà đại lượng được định nghĩa;

Q_n là hệ số chất lượng trung bình cho các hạt tích điện thứ cấp sinh ra bởi neutron⁽⁷⁾;

k_f là hệ số kerma;

ψ_{E_r} là dòng năng lượng của các photons sinh ra bởi neutron tại điểm mà đại lượng được định nghĩa;

μ_{tr}/ρ là hệ số truyền năng lượng khối photon;

g là phần trong năng lượng electron thứ cấp ban đầu được phát ra như bức xạ hãm.

5.4.3 Trường neutron đồng đều

Đối với các điều kiện chiếu xạ đồng đều, tức là trong một trùm neutron rộng, song song hoặc trong một trường mà có thể coi như bao gồm một số các chùm như vậy, từ khoảng không gian nửa phía trước, giá trị quy ước của tương đương liều cá nhân hoặc suất tương đương liều cá nhân tại điểm kiểm tra được xác định bằng cách sử dụng các phân bố dòng neutron theo năng lượng và hướng, và hệ số chuyển đổi dòng – tương đương liều được cho như là một hàm của năng lượng và góc tới trong Phụ lục A. Các điều kiện này thường đạt được nếu khoảng cách giữa nguồn/ kết cấu làm chậm và phantom là lớn so với kích thước của các vật thể này. Một yêu cầu nữa là sự hiện diện của phantom phải có ảnh hưởng nhỏ đối với dòng neutron tới tại điểm kiểm tra.

Thực tế, tích số của tổng dòng, Φ , va chạm trên phantom tại điểm kiểm tra với hệ số chuyển đổi lấy trung bình theo năng lượng và góc $\langle h_{p,slab} \rangle$ sẽ cho đại lượng tác nghiệp như theo Công thức (11):

$$H_{p,slab}(10) = \langle h_{p,slab\Phi} \rangle \Phi \quad (11)$$

Trong đó:

$$\langle h_{p,slab\Phi} \rangle = \frac{\int \int h_{p,slab\Phi}(E, \alpha) \Phi_{E,\Omega} dE d\Omega}{\Phi} \quad (12)$$

Trong đó:

$\Phi_{E,\Omega}$ là phân bố năng lượng và hướng của dòng neutron tới tại điểm kiểm tra;

$h_{p,slab\Phi}(E, \alpha)$ là hệ số chuyển đổi dòng – tương đương liều cá nhân như hàm của năng lượng neutron, E , và góc tới α được cho trong Phụ lục A.

Cần nội suy năng lượng và góc cho các hệ số trong bảng bằng cách sử dụng kỹ thuật nội suy Lagrangian bốn điểm theo thang log-log.

5.5 Xác định sự đóng góp do các loại bức xạ khác

Việc tạo ra trường bức xạ chuẩn được mô phỏng tại nơi làm việc liên quan đến việc sử dụng các vật liệu tán xạ, hấp thụ và chuyển đổi. Các vật liệu này được sử dụng để thay đổi sự phân bố năng lượng

dòng neutron ban đầu để làm cho giống hơn với phân bố năng lượng được thấy trong một nơi làm việc điển hình. Các vật liệu này tạo ra bức xạ thứ cấp như photon. Bức xạ thứ cấp cũng có thể sinh ra từ nguồn neutron. Sự đóng góp của bức xạ này vào tương đương liều tại điểm kiểm tra trong trường được mô phỏng tại nơi làm việc cần được đánh giá. Thành phần photon có thể ước tính bằng cách mô phỏng với các chương trình tính toán được công nhận hoặc bằng đo đạc.

Các thiết bị phù hợp để đánh giá sự đóng góp của photon và các loại bức xạ thứ cấp khác vào giá trị tương đương liều bao gồm buồng ion hóa, ống đếm tỷ lệ, ống đếm Geiger-Muller và các detector trạng thái rắn trong số nhiều loại thiết bị khác^[1].

5.6 Liên kết chuẩn

Hiện tại, không có phương pháp đơn giản nào để thiết lập liên kết chuẩn tới các chuẩn quốc tế hoặc quốc gia vì các trường neutron được mô phỏng tại nơi làm việc không giống hoàn toàn các trường hiệu chuẩn trong phòng thí nghiệm chuẩn đầu. Việc xác định đặc điểm của trường neutron được mô phỏng tại nơi làm việc dựa trên các thiết bị đo phân bố năng lượng dòng neutron. Liên kết chuẩn đến các chuẩn đầu do đó chỉ có thể thực nghiệm bằng cách hiệu chuẩn các thiết bị dùng để đo phân bố năng lượng và độ phụ thuộc của góc tại một phòng thí nghiệm chuẩn đầu. Liên kết chuẩn đến các chuẩn đầu quốc tế cũng có thể đạt được bằng cách tổ chức các bài tập so sánh giữa một số các phòng thí nghiệm chuẩn đầu bên ngoài.

5.7 Giám sát dòng và kiểm soát chất lượng

Giám sát suất dòng trong một phòng chuẩn sử dụng các nguồn neutron đồng vị thường không được yêu cầu vì suất dòng là cố định, sau khi tính đến thời gian bán rã.

Phải cung cấp thiết bị giám sát phù hợp cho các nguồn dựa trên máy gia tốc vì suất dòng trong các cơ sở này có thể thay đổi theo thời gian. Ví dụ, người sử dụng một máy gia tốc có thể không thể kiểm soát được các thông số vận hành của máy gia tốc để điều chỉnh theo độ mòn của bia. Các thiết bị giám sát có thể bao gồm các detector trạng thái rắn, buồng ion hóa hoặc phân hạch hoặc các detector dòng của bia. Các thiết bị giám sát này cần cho người sử dụng một tín hiệu tỷ lệ với dòng neutron hoặc suất dòng tại điểm kiểm tra. Nếu sự hiện diện của thiết bị đang bị chiếu xạ tại điểm kiểm tra làm che mất một thiết bị giám sát hoặc làm tán xạ neutron vào thiết bị giám sát thì cần áp dụng việc hiệu chỉnh hoặc sự đóng góp bổ sung vào độ không đảm bảo được thêm vào để tính đến các hiệu ứng này. Khuyến nghị sử dụng nhiều hơn một thiết bị giám sát để định lượng các tác động này, lý tưởng nhất là các thiết bị giám sát với độ đáp ứng phụ thuộc vào năng lượng khác nhau. Các thiết bị giám sát dòng chùm hạt máy gia tốc không chịu các tác động này nhưng có thể có các vấn đề riêng của thiết bị giám sát như sự di chuyển các điểm hội tụ của chùm hạt trên bia.

Giám sát các trường neutron được mô phỏng tại nơi làm việc dựa trên lò phản ứng có thể được thực hiện bằng cách áp dụng mức công suất phản ứng mặc dù việc sử dụng các detector neutron để kiểm

tra chéo được khuyến nghị. Ví dụ các thiết bị phù hợp là các lá kích hoạt hoặc detector chủ động, như các buồng phân hạch.

Độ đáp ứng của thiết bị giám sát, theo nghĩa dòng hoặc đại lượng đo liều, cần tuyến tính với suất dòng hoặc suất đại lượng đo liều và hệ số hiệu chỉnh phù hợp (ví dụ thời gian chết) cần được sử dụng.

Sự phụ thuộc năng lượng và hướng của trường tại điểm kiểm tra cần được xác nhận sau mỗi khoảng thời gian đều đặn trong dòng đời của cơ sở để đảm bảo không xảy ra sự thay đổi nào vì mọi sự thay đổi có thể làm thay đổi phân bố năng lượng và hướng của dòng neutron tại điểm kiểm tra.

6 Độ không đảm bảo

6.1 Giới thiệu

Cần sử dụng một giá trị cho hệ số hiệu chuẩn (hoặc độ đáp ứng) kèm theo việc công bố độ không đảm bảo dưới dạng giá trị số. Cần xác định các độ không đảm bảo theo Hướng dẫn ISO/IEC 98^[8]. Chúng thường được gọi là độ không đảm bảo tiêu chuẩn với hệ số phủ $k = 1$ hoặc độ không đảm bảo mở rộng với hệ số phủ $k = 2$. Điều này hàm ý rằng, nhìn chung, hệ số hiệu chuẩn (hoặc độ đáp ứng) nằm trong dải giá trị ấn định với xác suất phủ tương ứng là khoảng 68 % và 95 %. Trong tiêu chuẩn này, tất cả các độ không đảm bảo là độ không đảm bảo tiêu chuẩn với hệ số phủ $k = 1$.

6.2 Các thành phần của độ không đảm bảo đo áp dụng cho hiệu chuẩn

Các thành phần khác nhau đóng góp vào độ không đảm bảo toàn bộ trong việc xác định các giá trị quy ước của các đại lượng tác nghiệp được nêu trong các điều từ 6.2.1 đến 6.2.6. Các thành phần của độ không đảm bảo phát sinh từ thiết bị phải được xem xét nhưng không được giải quyết trong tiêu chuẩn này. Có thể còn có các nguồn của độ không đảm bảo khác không được xem xét ở đây. Cần sử dụng các phán quyết trong việc xác định độ không đảm bảo với các xem xét được nêu ở dưới đây. Cần phải nhấn mạnh rằng cách tiếp cận hệ thống đối với độ không đảm bảo là tương đối mới và vẫn còn là chủ đề đang được nghiên cứu. Vì vậy, trong khi một số thành phần của độ không đảm bảo đã được xác lập tốt thì một số thành phần khác (tại thời điểm công bố tiêu chuẩn này) chỉ là giá trị ước tính dựa trên các kinh nghiệm chung và một số các phép đo cụ thể.

6.2.1 Độ không đảm bảo trong cường độ nguồn neutron

Cường độ nguồn neutron được sử dụng như một thông số đầu vào cho tính toán vận chuyển và nếu được biết thì phân bố năng lượng tính được có thể được rút ra trên một thang tuyệt đối. Vì các kết cấu được sử dụng để tạo trường được mô phỏng tại nơi làm việc bao gồm số lượng lớn các vật liệu tán xạ và làm chậm, độ không đảm bảo của cường độ nguồn neutron không đóng góp đáng kể vào độ không đảm bảo toàn bộ của các giá trị quy ước. Thay vào đó, độ không đảm bảo của dòng neutron tổng thể được ước tính từ việc xem xét cả tính toán vận chuyển và kỹ thuật đo.

Độ không đảm bảo tương đối trong cường độ nguồn neutron có thể thay đổi từ khoảng 1 % cho các phóng xạ đồng vị đến vài phần trăm cho các nguồn dựa trên máy gia tốc hoặc dựa trên lò phản ứng. Vì

vậy, đây thường là một trong những thành phần nhỏ hơn của độ không đảm bảo tổng hợp trong các giá trị tại điểm kiểm tra

6.2.2 Độ không đảm bảo trong dòng neutron

Kỹ thuật được sử dụng rộng rãi nhất để đo dòng neutron tổng (cũng như phân bố năng lượng tích hợp góc khối) trong một trường được mô phỏng tại làm việc là phổ kế đa hình cầu ^[1]. Tính phổ biến của độ không đảm bảo và đánh giá độ không đảm bảo phép đo cho kỹ thuật này vẫn là một chủ đề đang được nghiên cứu. Dựa trên kinh nghiệm, đặc biệt từ các kết quả của các đợt so sánh liên phòng thí nghiệm, tổng dòng neutron có thể được xác định với độ không đảm bảo trong mức 5 % đến 10 % với điều kiện là ma trận đáp ứng của phổ kế được xác định cẩn thận bằng tính toán vận chuyển và bằng hiệu chuẩn trong các bức xạ neutron chuẩn^[9]. Độ không đảm bảo này có thể giảm đi nếu dòng được tính được sử dụng như phân bố năng lượng đầu vào cho việc biểu thị các kết quả thí nghiệm hoặc nếu có sẵn các thông tin từ các phổ kế có độ phân giải cao.

6.2.3 Độ không đảm bảo trong phân bố năng lượng và hướng của dòng

Để xác định phân bố năng lượng và hướng cần có các phương pháp thực nghiệm và tính toán. Độ không đảm bảo trong các kết quả đo phổ kế phụ thuộc vào phương pháp được sử dụng và các chi tiết của việc tạo ra neutron và tán xạ neutron. Hiện tại thì không thể thực hiện phân tích chặt chẽ về độ không đảm bảo.

Độ không đảm bảo trong phân bố năng lượng và hướng ảnh hưởng đến các hệ số chuyển đổi trung bình. Nguồn không đảm bảo này được nêu trong 6.2.4.

6.2.4 Độ không đảm bảo trong giá trị của hệ số chuyển đổi dòng-tương đương liều được lấy trung bình theo phân bố năng lượng

Nhìn chung, độ không đảm bảo này đóng góp chủ yếu vào độ không đảm bảo toàn bộ. Hệ số chuyển đổi cho các trường neutron rộng, song song được đưa trong bảng tại Phụ lục A. Cần phải nội suy các hệ số này với việc sử dụng kỹ thuật nội suy Lagrange bốn điểm theo thang log-log và sau đó kết hợp với dòng neutron như là một hàm của năng lượng và hướng.

Dòng năng lượng tích hợp góc khối là cần cho tương đương liều môi trường. Dựa trên kinh nghiệm, đặc biệt từ các kết quả của một đợt so sánh liên phòng thí nghiệm ^[9], có thể xác định được hệ số chuyển đổi trung bình với độ không đảm bảo tiêu chuẩn là khoảng 15 % nếu phân bố năng lượng của dòng neutron được xác định chỉ với một hệ phổ kế đa hình cầu. Có thể đạt được các độ không đảm bảo nhỏ hơn nếu có sẵn thông tin suy diễn chi tiết từ các tính toán ^[1] hoặc bằng cách sử dụng một phổ kế có độ phân giải cao cho dải năng lượng từ khoảng 10 keV đến 1 MeV (trong đó các hệ số chuyển đổi cho thấy sự phụ thuộc năng lượng mạnh).

Phân bố năng lượng và hướng của dòng là cần cho tương đương liều cá nhân. Các phổ kế cho nhiệm vụ này vẫn đang được nghiên cứu để tạo ra^[11] nhưng cách tiếp cận thông thường để rút ra thông tin này là bằng tính toán. Hiện tại, độ không đảm bảo trong hệ số chuyển đổi dòng trung bình theo năng

lượng và theo góc khối – tương đương liều cá nhân trong trường nơtron được mô phỏng tại nơi làm việc là khoảng 20 %.

6.2.5 Độ không đảm bảo thời gian

Nhìn chung, độ không đảm bảo trong thời gian chiếu xạ chỉ có ý nghĩa khi chiếu xạ một thiết bị tích hợp tương đương liều như liều kế thụ động. Trong trường hợp này, độ không đảm bảo là hàm của thời gian cần để ổn định trường nơtron tại điểm kiểm tra. Độ không đảm bảo này cần được làm cho trở nên không đáng kể bằng cách để thời gian chiếu xạ dài so với thời gian chuyển trạng thái này.

6.2.6 Độ không đảm bảo phát sinh từ việc sử dụng một thiết bị giám sát trường nơtron

Nếu sử dụng một thiết bị giám sát (xem 5.7) thì độ không đảm bảo phát sinh từ số đọc và độ lệch giữa độ đáp ứng của thiết bị giám sát và dòng nơtron tại điểm kiểm tra cần được đưa vào độ không đảm bảo tổng.

Phụ lục A

(Qui định)

Hệ số chuyển đổi

Bảng A.1 nêu các hệ số chuyển đổi dòng – tương đương liều môi trường $h^*_{\phi}(10)$, và hệ số chuyển đổi dòng-tương đương liều cá nhân, $h_{p,slab\phi}(10,\alpha)$ cho các neutron đơn năng tới tương ứng trên khối cầu ICRU và phantom tương đương lớp mô ICRU:

Bảng A.1

Năng lượng MeV	$h^*_{\phi}(10)$ pSv.cm ²	$h_{p,slab\phi}(10,0^{\circ})$ pSv.cm ²	$h_{p,slab\phi}(10,15^{\circ})$ pSv.cm ²	$h_{p,slab\phi}(10,30^{\circ})$ pSv.cm ²	$h_{p,slab\phi}(10,45^{\circ})$ pSv.cm ²	$h_{p,slab\phi}(10,60^{\circ})$ pSv.cm ²	$h_{p,slab\phi}(10,75^{\circ})$ pSv.cm ²
1,00 x 10 ⁻⁹	6,60	8,19	7,64	6,57	4,23	2,61	1,13
1,00 x 10 ⁻⁸	9,00	9,97	9,35	7,90	5,38	3,37	1,50
2,53 x 10 ⁻⁸	10,6	11,4	10,6	9,11	6,61	4,04	1,73
1,00 x 10 ⁻⁷	12,9	12,6	11,7	10,3	7,84	4,70	1,94
2,00 x 10 ⁻⁷	13,5	13,5	12,6	11,1	8,73	5,21	1,12
5,00 x 10 ⁻⁷	13,6	14,2	13,5	11,8	9,40	5,65	2,31
1,00 x 10 ⁻⁶	13,3	14,4	13,9	12,0	9,56	5,82	2,40
2,00 x 10 ⁻⁶	12,9	14,3	14,0	11,9	9,49	5,85	2,46
5,00 x 10 ⁻⁶	12,0	13,8	13,9	11,5	9,11	5,71	2,48
1,00 x 10 ⁻⁵	11,3	13,2	13,4	11,0	8,65	5,47	2,44
2,00 x 10 ⁻⁵	10,6	12,4	12,6	10,4	8,10	5,14	2,35
5,00 x 10 ⁻⁵	9,90	11,2	11,2	9,42	7,32	4,57	2,16
1,00 x 10 ⁻⁴	9,40	10,3	9,85	8,64	6,74	4,10	1,99
2,00 x 10 ⁻⁴	8,90	9,84	9,41	8,22	6,21	3,91	1,83
5,00 x 10 ⁻⁴	8,30	9,34	8,66	7,66	5,67	3,58	1,68
1,00 x 10 ⁻³	7,90	8,78	8,20	7,29	5,43	3,46	1,66
2,00 x 10 ⁻³	7,70	8,72	8,22	7,27	5,43	3,46	1,67
5,00 x 10 ⁻³	8,00	9,36	8,79	7,46	5,71	3,59	1,69
1,00 x 10 ⁻²	10,5	11,2	10,8	9,18	7,09	4,32	1,77
2,00 x 10 ⁻²	16,6	17,1	17,0	14,6	11,6	6,64	2,11
3,00 x 10 ⁻²	23,7	24,9	24,1	21,3	16,7	9,81	2,85
5,00 x 10 ⁻²	41,1	39,0	36,0	34,4	27,5	16,7	4,78
7,00 x 10 ⁻²	60,0	59,0	55,8	52,6	42,9	27,3	8,10
1,00 x 10 ⁻¹	88,0	90,6	87,8	81,3	67,1	44,6	13,7
1,50 x 10 ⁻¹	132	139	137	126	106	73,3	24,2

Bảng A.1 (kết thúc)

Năng lượng MeV	$h_{\phi}(10)$ pSv.cm ²	$h_{p,slab\phi}(10,0^{\circ})$ pSv.cm ²	$h_{p,slab\phi}(10,15^{\circ})$ pSv.cm ²	$h_{p,slab\phi}(10,30^{\circ})$ pSv.cm ²	$h_{p,slab\phi}(10,45^{\circ})$ pSv.cm ²	$h_{p,slab\phi}(10,60^{\circ})$ pSv.cm ²	$h_{p,slab\phi}(10,75^{\circ})$ pSv.cm ²
2,00 x 10 ⁻¹	170	180	179	166	141	100	35,5
3,00 x 10 ⁻¹	233	246	244	232	201	149	58,5
5,00 x 10 ⁻¹	322	335	330	326	291	226	102
7,00 x 10 ⁻¹	375	386	379	382	348	279	139
9,00 x 10 ⁻¹	400	414	407	415	383	317	171
1,00 x 10 ⁰	416	422	416	426	395	332	180
1,20 x 10 ⁰	425	433	427	440	412	355	210
2,00 x 10 ⁰	420	442	438	457	439	402	274
3,00 x 10 ⁰	412	431	429	449	440	412	306
4,00 x 10 ⁰	408	422	421	440	435	409	320
5,00 x 10 ⁰	405	420	418	437	435	409	331
6,00 x 10 ⁰	400	423	422	440	439	414	345
7,00 x 10 ⁰	405	432	432	449	448	425	361
8,00 x 10 ⁰	409	445	445	462	460	440	379
9,00 x 10 ⁰	420	461	462	478	476	458	399
1,00 x 10 ¹	440	480	481	497	493	480	421
1,20 x 10 ¹	480	517	519	536	529	523	464
1,40 x 10 ¹	520	550	552	570	561	562	503
1,50 x 10 ¹	540	564	565	584	575	579	520
1,60 x 10 ¹	555	576	577	597	588	593	535
1,80 x 10 ¹	570	595	593	617	609	615	561
2,00 x 10 ¹	600	600	595	619	615	619	570
3,00 x 10 ¹	-	-	-	-	-	-	-
5,00 x 10 ¹	-	-	-	-	-	-	-
7,50 x 10 ¹	-	-	-	-	-	-	-
1,00 x 10 ²	-	-	-	-	-	-	-
1,25 x 10 ²	-	-	-	-	-	-	-
1,50 x 10 ²	-	-	-	-	-	-	-
1,75 x 10 ²	-	-	-	-	-	-	-
2,01 x 10 ²	-	-	-	-	-	-	-

-: Không có giá trị.

Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] THOMAS, D.J. and KLEIN, H., Eds. (2003): Neutron and photon spectrometry techniques for radiation protection. *Radiat. Prot. Dosim.* **107** Nos. 1/3.
- [2] ICRU Report 66 (2002): Determination of Operational Dose Equivalent Quantities for Neutrons – International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.
- [3] BARTLETT, D.T., DRAKE, P., D'ERRICO, F., LUSZIK-BHADRA, M., MATZKE, M. and TANNER, R.J. (2002): The importance of the direction distribution of neutron fluence, and methods of determination. *Nucl. Instrum. Meth. in Phys. Res. A* **476**, pp. 386-394.
- [4] LUSZIK-BHADRA, M. REGINATTO, M. and LACOSTE, V. (2004): Measurement of energy and direction distribution of neutron and photon fluences in workplace fields. *Radiat. Prot. Dosim.* **110**, pp. 237-241.
- [5] SIEBERT, B.R.L. (2002): Assessment of sensitivities and uncertainties in Monte Carlo particle transport calculations for neutron spectrometry. *Nucl. Instrum. Meth. in Phys. Res. A* **476**, pp. 256-262.
- [6] SCHUHMACHER, H., HOLLNAGEL, R. and SIEBERT, B.R.L. (1994): Sensitivity Study of Parameters Influencing Calculations of Fluence-to-Ambient Dose Equivalent Conversion Coefficients for Neutrons. *Radiat. Prot. Dosim.* **54**, pp. 221-225.
- [7] SCHUHMACHER, H. and SIEBERT, B.R.L. (1992): Quality Factors and Ambient Dose Equivalent for Neutrons Based on the New ICRP Recommendation. *Radiat. Prot. Dosim.* **40**, pp. 85-89.
- [8] ISO/IEC Guide 98, *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*.
- [9] THOMAS, D.J., CHARTIER, J.-L., KLEIN, H., NAISMITH, O.F., POSNY, F. and TAYLOR, G.C. (1997): Results of a Large Scale Neutron Spectrometry and Dosimetry Comparison Exercise at the Cadarache Moderator Assembly. *Radiat. Prot. Dosim.* **70**, No. 1/4, pp. 313-322.
- [10] GRESSIER V., LACOSTE V., LEBRETON L., MULLER H., PELCOT G., BAKALI ., FERNÁNDEZ F., TÓMAS M., ROBERTS N.J., THOMAS D.J., REGINATTO M., WIEGEL B. and WITTSTOCK J. (2004): Characterization of the IRSN Facility CANEL/T400 producing realistic neutron fields for calibration and test purposes, *Radiat. Prot. Dosim.* **110** (1-4), pp. 523-527.
- [11] LUSZIK-BHADRA M., BOLOGNESE-MILSZTAJN T., BOSCHUNG M., COECK M., CURZIO G., d'ERRICO F., FIECHTNER A., LACOSTE V., LINDBORG L., REGINATTO M., SCHUHMACHER H., TANNER R. and VANHAVERE F. (2005): Direction distributions of neutrons and reference values of the personal dose equivalent in workplace fields. *Radiation Protection Dosimetry*, Vienna 2005 Special Issue (Advance Access published on March 15, 2007, doi:10.1093/rpd/ncm189).
- [12] ICRU Report 47:1992, *Measurement of Dose Equivalents from External Photon and Electron Radiations* – International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.

- [13] ICRP Publication 60:1991, *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection – Annals of the ICRP, 21(1-3)* – International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, Oxford.
- [14] ICRP Publication 74:1997, *Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation – Annals of the ICRP, 26(3)* – International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, Oxford.
- [15] ICRU Report 39:1985, *Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources* – International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.
- [16] ICRU Report 51:1993, *Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry* – International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.
- [17] ICRU Report 57:1998, *Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection Against External Radiation* – International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.
- [18] ICRU Report 60:1998, *Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation* – International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.
- [19] ISO 8529 (all parts), Reference neutron radiations.
- [20] ISO/IEC Guide 99:2007, *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*.
-