

## Bài báo nghiên cứu

# KHẢO SÁT HỆ SỐ HIỆU CHUẨN VÀ ĐÁP ỨNG NĂNG LƯỢNG CỦA CÁC DÒNG MÁY ĐO SUẤT LIỀU CẦM TAY INSPECTOR, AT6130C VÀ AT1121

Lê Hữu Lợi<sup>1\*</sup>, Ông Quang Sơn<sup>1</sup>, Nguyễn Hoàng Long<sup>1</sup>, Hồ Văn Doanh<sup>1</sup>,  
Trịnh Thị Thảo Quyên<sup>1</sup>, Đoàn Thị Thanh Nhân<sup>1</sup>,  
Nguyễn Văn Hoài Nam<sup>1</sup>, Đào Văn Hoàng<sup>1</sup>, Hoàng Đức Tâm<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trung tâm Hạt nhân Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

<sup>2</sup>Trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

\*Tác giả liên hệ: Lê Hữu Lợi – Email: [loilhph@gmail.com](mailto:loilhph@gmail.com)

Ngày nhận bài: 26-02-2024; ngày nhận bài sửa: 21-5-2024; ngày duyệt đăng: 03-6-2024

## TÓM TẮT

Nghiên cứu này trình bày về hiệu chuẩn và đánh giá đáp ứng năng lượng đối với 03 dòng máy đo suất liều cầm tay (PSM) sử dụng chùm bức xạ gamma phát ra từ nguồn <sup>137</sup>Cs và chùm bức xạ tia X phổ hẹp (N-40, N-60, N-80, N-100, N-120). Kết quả thu được cho thấy dòng máy Inspector dùng ống đếm Geiger-Müller (GM) đáp ứng tốt với bức xạ gamma, tuy nhiên đối với các phẩm chất bức xạ tia X phổ hẹp thì dòng thiết bị này có tỉ số tương đối R trong khoảng  $1,94 \div 3,21$  lần, cho thấy giá trị bức xạ ghi nhận và hiển thị lớn hơn vài lần so với giá trị bức xạ tham chiếu. Trong khi đó, dòng thiết bị AT6130C dùng ống đếm GM với tầm lọc đáp ứng tốt với bức xạ gamma và một số phẩm chất bức xạ tia X phổ hẹp như N-80, N-100, N-120. Đối với dòng máy chất lượng cao AT1121 dùng đầu dò nhấp nháy sử dụng tinh thể plastic, kết quả cho thấy chúng đáp ứng năng lượng tốt cho tất cả các loại bức xạ được khảo sát. Kết quả này là cơ sở cho việc tìm kiếm và thiết kế vật liệu che chắn cho dòng máy Inspector để có thể hiệu chuẩn tốt cho cả hai loại bức xạ gamma và tia X (đặc biệt là N-80).

**Từ khóa:** hiệu chuẩn; đáp ứng năng lượng, gamma và tia X; máy đo suất liều cầm tay

## 1. Giới thiệu

Bức xạ ion hoá được ứng dụng rộng rãi trong các kỹ thuật chẩn đoán và điều trị bệnh nhân, trong các ứng dụng công nghiệp, nông nghiệp liên quan khác (Ngo, 2004). Việc xác định liều bức xạ và cảnh báo an toàn cho nhân viên bức xạ, bệnh nhân, dân chúng được thực hiện dựa trên những máy đo liều, suất liều bức xạ, liều kế cá nhân, liều kế điện tử, bút đo liều... Trong quá trình sử dụng, các thiết bị này cần được hiệu chuẩn tại các phòng thí nghiệm chuẩn liều cấp 2 (Secondary Standards Dosimetry Laboratories – SSDL) theo tiêu chuẩn

*Cite this article as:* Le Huu Loi, Ong Quang Son, Nguyen Hoang Long, Ho Van Doanh, Trinh Thi Thao Quyen, Doan Thi Thanh Nhan, Nguyen Van Hoai Nam, Dao Van Hoang, & Hoang Duc Tam (2024). A study on calibration factor and energy response of models inspector, AT6130C and AT1121. *Ho Chi Minh City University of Education Journal of Science*, 21(6), 1156-1166.

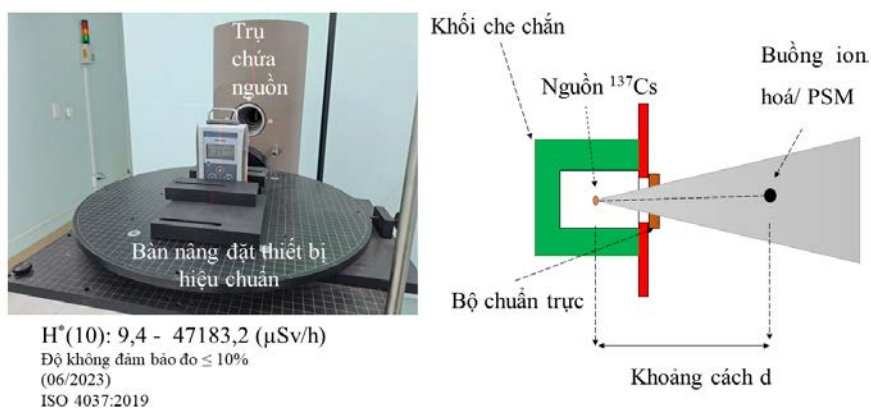
4037:2019 nhằm đảm bảo tính chính xác theo quy chuẩn kỹ thuật chung của quốc tế (IAEA, 2000; ISO 4037-3:2019, 2019; Le et al., 2022; Nguyen et al., 2020-2021; NCRP, 1978).

Nghiên cứu này trình bày về việc hiệu chuẩn và đánh giá đáp ứng năng lượng cho 3 dòng thiết bị Inspector, AT6130C và AT1121. Kết quả khảo sát cho thấy rằng dòng thiết bị Inspector dùng ống đếm GM đáp ứng tốt với bức xạ gamma của nguồn  $^{137}\text{Cs}$ , tuy nhiên lại bị bội nhân lớn hơn gấp vài lần khi hiệu chuẩn với tia X phổ hẹp. Trong khi đó, dòng máy AT6130C với cùng loại đầu dò (có tấm che chắn cửa sổ) nhưng lại có đáp ứng tốt với cả bức xạ gamma của nguồn  $^{137}\text{Cs}$  và một số phẩm chất bức xạ tia X phổ hẹp như N-80, N-100, N-120 với cao thế tương ứng lần lượt là 80 kV, 100 kV, 120 kV (ISO 4037-1:2019, 2019). Trong số các dòng máy đo liều, suất liều, AT1121 là dòng máy chất lượng cao với đầu dò nhấp nháy sử dụng tinh thể plastic, dòng máy này đo có thể sử dụng để đo đặc rất tốt cho cả bức xạ gamma và tia X, đáp ứng toàn bộ các phẩm chất bức xạ đã được khảo sát, bao gồm: N-40, N-60, N-80, N-100, N-120,  $^{137}\text{Cs}$ . Kết quả nghiên cứu cho thấy việc hiệu chuẩn các thiết bị đo suất liều Inspector, AT6130C và AT1121 và đánh giá khả năng đáp ứng năng lượng của chúng là quan trọng, từ đó đưa ra các khuyến nghị trong việc lựa chọn thiết bị phù hợp với mục đích sử dụng cho việc đo suất liều photon. Bên cạnh đó, nếu chỉ dùng thiết bị Inspector cho cả 2 mục đích hiệu chuẩn gamma và tia X thì cần can thiệp về mặt kỹ thuật điện tử hoặc thiết kế vật liệu che chắn phù hợp, để dòng thiết bị này có thể đáp ứng tốt cả hai loại bức xạ với một chi phí hợp lý là điều đáng để quan tâm nghiên cứu tiếp theo.

## 2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

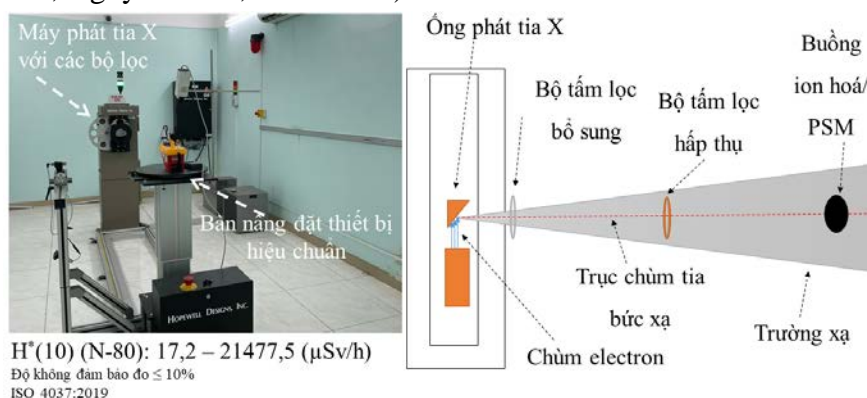
### 2.1. Phòng chuẩn gamma nguồn $^{137}\text{Cs}$ và nguồn tia X phổ hẹp

Phòng chuẩn liều cấp 2 sử dụng nguồn bức xạ gamma tại Trung tâm Hạt nhân Thành phố Hồ Chí Minh (CNT) được xây dựng dựa trên tiêu chuẩn ISO 4037:2019 với thiết kế 600 cm × 380 cm × 385 cm (Hình 1) với độ dày của các bức tường bê tông cốt thép là 47 cm. Suất liều bức xạ ngoài phòng chuẩn khi nguồn phát ở chế độ mạnh nhất là 0,25  $\mu\text{Sv/h}$ , đảm bảo an toàn bức xạ với nhân viên bức xạ và dân chúng xung quanh (National standard – TCVN 6866: 2001, 2008). Nguồn  $^{137}\text{Cs}$  có hoạt độ 26,973 Ci (13/05/2019) được đặt trong trụ chứa nguồn (HopeWell Design INC. Model: CS-0 20, SN: 013) tại phòng chuẩn liều gamma, có thời gian hoạt động được khuyến nghị là 10 năm theo chứng chỉ chất lượng nguồn bức xạ (Eckert & Ziegler, 2019) kèm theo của nhà sản xuất. Khi không hoạt động, suất liều bức xạ tối đa xung quanh trụ chứa nguồn (cách bề mặt trụ nguồn 30 cm) là không quá 5  $\mu\text{Sv/h}$ . Trụ chứa nguồn có 3 tấm chì được điều khiển bằng tay với các mức suy giảm bức xạ là 4 lần, 10 lần, 25 lần. Hệ thống laser 3 chiều được sử dụng để xác định vị trí đặt buồng ion hoá hoặc thiết bị ghi đo suất liều cầm tay. Phòng được trang bị hệ thống cảnh báo an toàn nhiều lớp. Trường liều gamma sử dụng nguồn bức xạ gamma phát ra từ nguồn  $^{137}\text{Cs}$  tại Phòng chuẩn liều cấp 2 của CNT được xây dựng dựa trên tiêu chuẩn ISO 4037:2019 với dải suất liều nằm trong khoảng 9,4-47183,2  $\mu\text{Sv/h}$  (12/2021) (Nguyen et al., 2020-2021).



**Hình 1.** Phòng chuẩn liều cấp 2 với nguồn  $^{137}\text{Cs}$

Tương tự phòng chuẩn liều gamma, phòng chuẩn liều tia X (Hình 2) tại Phòng chuẩn liều cấp 2 của CNT được thiết kế và xây dựng theo tiêu chuẩn ISO 4037:2019 với kính thước 760 cm  $\times$  380 cm  $\times$  385 cm. Tường được thiết kế và xây dựng đảm bảo an toàn bức xạ cho nhân viên bức xạ và dân chúng xung quanh với suất liều đo ngoài phòng khi phát ở chế độ cao nhất là 0,28  $\mu\text{Sv/h}$  (National standard – TCVN 6866: 2001, 2008). Hệ phát tia X (model X80-160-E, Hopewell Design, Inc.) gồm: máy phát tia X với dải cao thế sử dụng là 5kV-160 kV, dòng phát cực đại là 30 mA (Hopewell Designs Inc., 2019). Hệ thống che chắn, hệ thống làm mát, bộ lọc chùm bức xạ làm bằng vật liệu Al và Cu cùng có độ tinh khiết 99,99%, trong khi Sn và Pb có độ tinh khiết lần lượt là 99,95% và 99,97% (CAMEX spol. s.r.o., 2019). Bộ cân chỉnh laser 3 chiều và hệ thống cảnh báo an toàn thụ động và chủ động. Trường chuẩn liều tia X được thiết lập dựa trên tiêu chuẩn ISO 4037:2019 có dải suất liều nằm trong khoảng 17,2-21477,5  $\mu\text{Sv/h}$  (tương ứng cho phẩm chất tia X phổ hẹp N-80) (Le et al., 2022; Nguyen et al., 2020-2021).

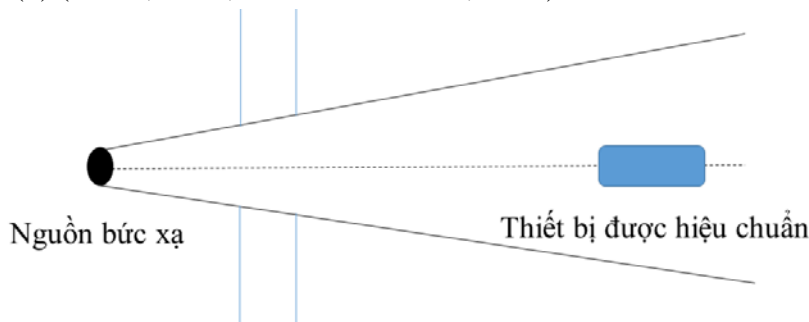


**Hình 2.** Phòng chuẩn liều cấp 2 với nguồn tia X phổ hẹp

**2.2. Phương pháp hiệu chuẩn thiết bị đo suất liều và đánh giá đáp ứng năng lượng**

Tại CNT, việc hiệu chuẩn các thiết bị PSM được thực hiện bằng phương pháp hiệu chuẩn thiết bị trong trường bức xạ đã biết (Hình 3) (IAEA, 2000; ISO 4037-3:2019, 2019). Trường bức xạ đã được biết rõ qua việc xây dựng trường chuẩn liều gamma và tia X (Le et al., 2022; Nguyen et al., 2020-2021). Các thiết bị cần hiệu chuẩn được đặt vào vị trí trên trục

chùm tia mà ta đã biết được suất liều chuẩn tham chiếu, bức xạ được bật phát và thiết bị được hiệu chuẩn ghi nhận suất liều và kết quả được ghi nhận qua camera quan sát trực tiếp (Hình 4). Suất liều ghi nhận này được hiệu chỉnh bởi ảnh hưởng của áp suất nhiệt độ môi trường, sau đó được so sánh với suất liều chuẩn tham chiếu, khi đó ta thu được hệ số chuẩn qua công thức (1) (IAEA, 2000; ISO 4037-3:2019, 2019).



**Hình 3.** Thiết bị được hiệu chuẩn trong trường liều đã biết

Hệ số hiệu chuẩn cho thiết bị đo suất liều cầm tay và hệ số hiệu chuẩn trung bình được xác định như sau (IAEA, 2000; ISO 4037-3:2019, 2019; IAEA, 2008; Hoang, 2019):

$$CF_{PSM\_i} = \frac{H_i^*(10)}{M_{raw\_i}^{PSM} - M_{raw0\_i}^{PSM}} \left( \frac{T_0}{273,15 + t^{PSM}} \frac{p^{PSM}}{p_0} \right) k_t \quad (1)$$

$$CF_{mean} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{U_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{U_i^2}} \quad (2)$$

$$U_{mean} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{U_i^2}} \quad (3)$$

trong đó:

$CF_{PSM\_i}$  : hệ số hiệu chuẩn cho suất liều thứ  $i$ ;

$CF_{PSM}$  : hệ số hiệu chuẩn trung bình;

$H_i^*(10)$  : giá trị suất tương đương liều môi trường thứ I được sử dụng hiệu chuẩn;

$M_{raw\_i}^{PSM}$  : giá trị đọc của thiết bị PSM với suất liều  $H_i^*(10)$  ;

$M_{raw0\_i}^{PSM}$  : giá trị đọc của thiết bị PSM với suất liều thông;

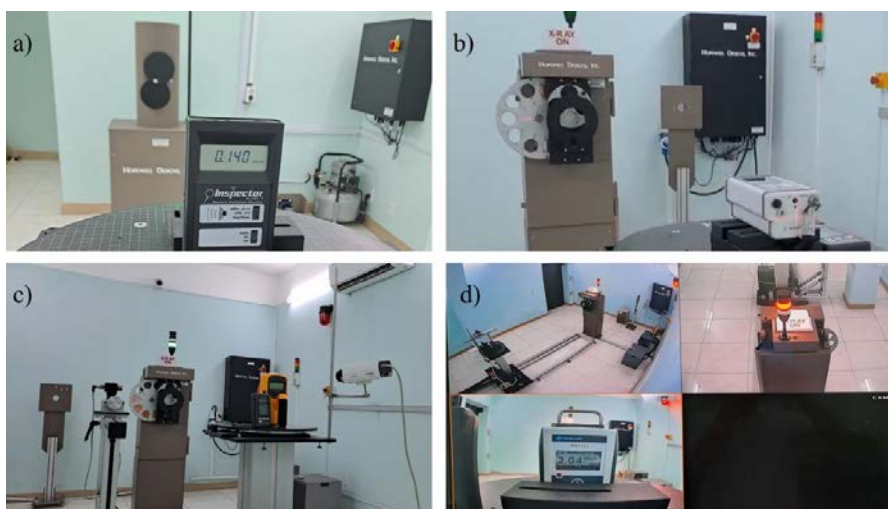
$t^{PSM}, p^{PSM}$  : giá trị nhiệt độ (°C) và áp suất (hPa) khi hiệu chuẩn PSM với suất liều thứ  $i$ ;

$k_t$  : hệ số phân rã phóng xạ của nguồn gamma  $^{137}\text{Cs}$ ;

$n$  : số mức suất liều dùng hiệu chuẩn PSM;

$U_i$  : độ không đảm bảo đo của  $CF_{PSM\_i}$  ;

$U_{mean}$  : độ không đảm bảo đo trung bình của  $n$  giá trị  $U_i$  .



**Hình 4.** Thiết lập hiệu chuẩn và đánh giá đáp ứng năng lượng của các thiết bị PSM

Bảng 2 trình bày dải liều photon và mức năng lượng ghi nhận của các dòng thiết bị Inspector, AT6130C và AT1121 (Data Sheet Specification of AT1121-AT1123, 2024; Data Sheet Specification of AT6130C, 2024; Data Sheet Specification of Inspector, 2024). Các mức suất liều được chọn để hiệu chuẩn các thiết bị ghi đo bức xạ photon (gamma và tia X) tại CNT gồm: 3 mức cơ bản 1/3, 1/2, 2/3 so với giá trị cao nhất của dải liều, trường hợp suất liều trường chuẩn không đủ, sẽ chọn giá trị lớn nhất tương ứng mức 2/3. Bên cạnh 3 mức trên, Phòng chuẩn liều cấp 2 tại CNT chọn thêm 2 mức thấp  $L_1$  và  $L_2$  tương ứng mức thường gặp trong hoạt động công việc liên quan bức xạ thông thường (trong công tác hiệu chuẩn tại phòng chuẩn liều cấp 2 suất liều áp dụng không thấp hơn  $10 \mu\text{Sv/h}$  vì giới hạn của thiết bị hệ chuẩn) (IAEA, 2000; ISO 4037-1:2019, 2019; ISO 4037-2:2019, 2019; ISO 4037-3:2019, 2019; IAEA, 2008).

**Bảng 1.** Đánh giá hệ số CF cho việc hiệu chuẩn PSM

Đơn vị viện dẫn	Dải chấp nhận CF	Ghi chú
ANSI N323-1978	0,90-1,10	Tiêu chuẩn quốc gia Hoa Kỳ về kiểm tra và hiệu chuẩn thiết bị an toàn bức xạ, 1978 (IEEE/ANSI N323-1978, 1978).
IAEA, Handbook 133	0,90-1,10	Sổ tay Hiệu chuẩn thiết bị giám sát an toàn bức xạ, 1971 (IAEA, 1971).
Ủy ban An toàn hạt nhân Canada	0,80-1,20	Thông tin công bố trên website của ủy ban an toàn hạt nhân Canada "Canadian Nuclear Safety Commission" - Mục 3.5 – Expectations for survey meter calibration (Canadian Nuclear Safety Commission, 2019).

Báo cáo số 57 của Hội đồng Quốc gia về Bảo vệ và Đo lường Bức xạ (NCRP) Hoa Kỳ	0,95 – 1,05, khi $H^*(10) > 1000 \mu\text{Sv/h}$ ; 0,90 – 1,10, với $50 \mu\text{Sv/h} < H^*(10) < 1000 \mu\text{Sv/h}$ ; 0,80 – 1,20, với $10 \mu\text{Sv/h} < H^*(10) < 50 \mu\text{Sv/h}$ ; 0,70 – 1,30, khi $H^*(10) < 10 \mu\text{Sv/h}$	Dành cho phòng chuẩn liều thiết bị đo khảo sát bức xạ (NCRP, 1978).
CNT	0,75-1,25	Khi tiến hành hiệu chuẩn máy PSM với bức xạ photon theo quy trình hiệu chuẩn của phòng thí nghiệm, mỗi một phòng thí nghiệm có thể đưa ra độ chính xác (độ lệch) đối với một thiết bị PSM được hiệu chuẩn, khi đó cần tham khảo độ chính xác của PSM theo đặc trưng kỹ thuật do nhà sản xuất đưa ra. Hồ sơ cấp phép đăng kí hoạt động dịch vụ hỗ trợ ứng dụng năng lượng nguyên tử tại Trung tâm Hạt nhân Thành phố Hồ Chí Minh (CNT) chọn dải chấp nhận cho CF là $0,75 \div 1,25$ .

**Bảng 2.** Thông tin kỹ thuật và suất liều hiệu chuẩn cho một số thiết bị ghi đo bức xạ

Loại thiết bị	Đầu dò	Dải năng lượng ghi nhận	Dải đo ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Mức suất liều hiệu chuẩn ( $\mu\text{Sv/h}$ )				
				L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	1/3	1/2	2/3
Inspector	Ống Geiger-Mueller đập tắt halogen với tấm che cửa sổ là nhựa MICA	Nhỏ nhất 0,01MeV	0,01 – 1000	15	42	333	500	667
AT6130C	Ống Geiger-Muller	50 keV – 3 MeV	0,01– 1000	15	42	333	500	667
AT1121	Plastic nhấp nháy với phụ gia kim loại nặng	0,015 - 10 MeV	0,05 – 10.000	13	45	23500	35250	4700 0

Đáp ứng năng lượng của các thiết bị đo suất liều là khả năng ghi nhận bức xạ với các mức năng lượng khác nhau thông qua tỉ số tương đối R. Tỉ số R là thương số giữa kết quả đọc của thiết bị đo suất liều sau khi đã trừ phông ( $M_{\text{read}} - M_{\text{background}}$ ,  $\mu\text{Sv/h}$ ) so với giá trị tham chiếu đặt vào ( $H^*(10)_{\text{reference}}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ )). Giá trị R được xác định theo công thức (4):

$$R = \frac{1}{CF} = \frac{M_{\text{read}} - M_{\text{background}}}{H^*(10)_{\text{reference}}} \tag{4}$$

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Kết quả hiệu chuẩn các thiết bị đo suất liều

Các dòng thiết bị Inspector, AT6130C, AT1121 được khảo sát và thống kê theo lượt máy hiệu chuẩn. Các lượt hiệu chuẩn cho mỗi dòng máy là hiệu chuẩn với các thiết bị khác

nhau hoặc cùng thiết bị khi hiệu chuẩn với các năm khác nhau. Số lượt hiệu chuẩn cho các dòng thiết bị Inspector, AT6130C, AT1121 được thể hiện trong Bảng 3.

**Bảng 3.** Số lượt hiệu chuẩn cho các dòng thiết bị Inspector, AT6130C, AT1121

Dòng thiết bị	Số lượt khảo sát thiết bị với các phẩm chất bức xạ					<sup>137</sup> Cs
	N-40	N-60	N-80	N-100	N-120	
Inspector			5			
AT6130C	2		4		2	5
AT1121			5			

Kết quả hiệu chuẩn 3 dòng máy Inspector, AT6130C, AT1121 tại phòng chuẩn liều cấp 2 được trình bày như trong Bảng 4. Qua khảo sát chúng tôi nhận thấy rằng dòng thiết bị Inspector dùng ống đếm GM có thể được hiệu chuẩn tốt với bức xạ gamma nguồn <sup>137</sup>Cs (CF= 0,95) với độ không đảm bảo đo là 24,08%, với hệ số phủ là 2. Tuy nhiên, khi hiệu chuẩn với các phẩm chất của tia X phổ hẹp (N-40, N-60, N-80, N-100, N-120) kết quả CF nằm trong khoảng 0,32 ÷ 0,51. Rõ ràng rằng các giá trị này nằm ngoài khoảng chấp nhận, nên kết quả hiệu chuẩn đối với tia X phổ hẹp vì thế là không đạt. Với 5 lượt máy được khảo sát khi hiệu chuẩn với bức xạ gamma nguồn <sup>137</sup>Cs và bức xạ tia X phổ hẹp N-80, độ không đảm bảo đo trung bình có giá trị lần lượt là 24,08% và 24,39%, với k = 2. Các phẩm chất bức xạ còn lại được khảo sát với 2 lượt máy, do đó độ không đảm bảo đo trung bình có giá trị lớn, có thể lên đến 138,03%.

**Bảng 4.** Kết quả hệ số hiệu chuẩn của các dòng thiết bị PSM

Phẩm chất bức xạ (Radiation quality)	Năng lượng trung bình (keV)	Inspector			AT6130C			AT1121		
		CF	R	U (% k=2)	CF	R	U (% k=2)	CF	R	U (% k=2)
N-40	33,3	0,32	3,12	60,15	17,24	0,06	17,93	1,14	0,88	11,35
N-60	47,9	0,34	2,95	138,30	2,48	0,40	11,32	0,95	1,05	11,32
N-80	65,2	0,34	2,92	24,39	1,03	0,97	5,73	0,91	1,09	4,71
N-100	83,3	0,41	2,45	69,14	0,92	1,09	11,55	0,99	1,01	11,55
N-120	100	0,51	1,94	80,46	1,03	0,97	11,26	1,01	0,99	11,26
<sup>137</sup> Cs	661,7	0,95	1,06	24,08	0,99	1,01	3,14	0,95	1,05	2,99

Trong khi đó, với cùng đầu dò là ống đếm GM như Inspector, dòng máy ghi đo suất liều bức xạ AT6130C có hệ số hiệu chuẩn đáp ứng tốt cho các phẩm chất bức xạ N-80, N-100, N-120 và gamma nguồn <sup>137</sup>Cs. Điều này cho thấy rằng với cùng loại đầu dò và cùng loại bức xạ tới, khả năng đáp ứng của các dòng thiết bị khác nhau là khác nhau. Tương tự như dòng máy Inspector, ta nhận thấy rằng dòng máy AT6130C với 4 hoặc 5 lượt khảo sát thì độ không đảm bảo đo trung bình có giá trị nhỏ hơn so với khi khảo sát 2 lượt. Độ không đảm bảo đo cho mỗi dòng thiết bị được đánh giá dựa trên độ không đảm bảo đo của mỗi lần hiệu chuẩn và dựa trên sự khác nhau của các hệ số CF<sub>i</sub> của mỗi lượt hiệu chuẩn. Vậy tăng số lượt hiệu chuẩn sẽ giúp tăng số lượt thống kê CF<sub>i</sub> và sẽ giảm độ không đảm bảo đo cho CF trung bình của dòng thiết bị.



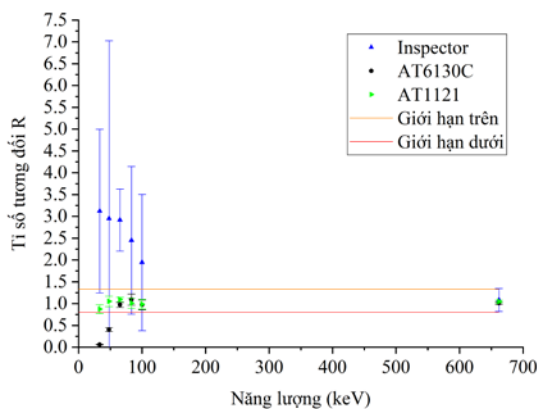
Tuy nhiên, do các lượt hiệu chuẩn khác nhau có  $CF_i$  khác nhau, dẫn đến CF trung bình luôn tồn tại độ không đảm bảo đo U (CF) đặc trưng cho dòng thiết bị đó.

Với dòng máy đo liều, suất liều chất lượng cao như AT1121 dùng đầu dò plastic nhấp nháy với phụ gia kim loại nặng, dòng thiết bị này có đáp ứng rất tốt với tất cả các phẩm chất bức xạ được khảo sát gồm gamma nguồn  $^{137}\text{Cs}$ , tia X phổ hẹp với phẩm chất từ N-40 đến N-120. Với tất cả các phẩm chất bức xạ được khảo sát, dòng thiết bị này có hệ số chuẩn trong khoảng 0,91 đến 1,14 và có độ không đảm bảo đo có giá trị rất thấp khi thống kê khảo sát đủ 5 lượt máy với độ không đảm bảo đo bằng 2,99% cho gamma và bằng 4,71% cho tia X N-80. Kết quả cho thấy được dòng máy này có hệ số hiệu chuẩn và độ ổn định rất tốt so với hai dòng máy còn lại được khảo sát.

Qua kết quả Bảng 4, ta thấy được không chỉ với Inspector và AT6130C mà với cả dòng thiết bị AT1121 khi khảo sát với 2 lượt thiết bị sẽ có U(CF) lớn hơn đáng kể so với khi được khảo sát 5 lượt ở các phẩm chất khác. Kết quả trên ta thấy được rằng các thiết bị có đầu dò plastic nhấp nháy AT1121 có kết quả hiệu chuẩn tốt với cả gamma và tia X năng lượng thấp (33,3 keV). Bên cạnh đó, với cùng dòng đầu dò là ống đếm GM nhưng có kết quả hiệu chuẩn khác nhau, dòng máy AT6130C đáp ứng tốt với tia X N-80, N-100, N-120 và tia gamma (phát ra từ nguồn  $^{137}\text{Cs}$ ), trong khi đó dòng máy Inspector chỉ có kết quả hiệu chuẩn tốt với tia gamma mà không đạt khi hiệu chuẩn với tia X.

### 3.2. Đánh giá đáp ứng năng lượng các thiết bị đo suất liều

Tỉ số tương đối R của suất liều thiết bị ghi nhận và suất liều tham chiếu được tính qua công thức (4) và được trình bày như trong Bảng 4. Qua so sánh 3 dòng thiết bị Inspector, AT6130C và AT1121 ta thấy được dòng máy AT1121 với đầu dò plastic nhấp nháy có đáp ứng rất tốt về năng lượng photon vùng khảo sát 33,3, 47,9, 65,2, 83,3, 100, và 661,7 keV. Dòng máy AT6130C với đầu dò GM có đáp ứng tốt về năng lượng photon ở các mức khảo sát 65,2, 83,3, 100, và 661,7 keV tương ứng với các phẩm chất bức xạ N-40, N-60, N-80, N-100, N-120,  $^{137}\text{Cs}$ . Dòng Inspector với đầu dò GM, có đáp ứng tốt về năng lượng photon mức khảo sát 661,7 keV, ở vùng năng lượng thấp (33,3 - 100 keV) tỉn hiệu ghi nhận được bị bội nhân vài lần so với giá trị tham chiếu. Kết quả được minh họa như trên Hình 4.



**Hình 4.** Đáp ứng năng lượng của các dòng máy đo suất liều Inspector, AT6130C và AT1121 (Giới hạn trên, giới hạn dưới được lấy theo dải chấp nhận CF tại CNT nêu trong Bảng 1)



Kết quả trên cho thấy rằng thiết bị AT1121 có thể ghi nhận và đáp ứng tốt với tất cả phẩm chất bức xạ được khảo sát như N-40, N-60, N-80, N-100, N-120,  $^{137}\text{Cs}$ . Trong khi đó, dòng thiết bị AT6130C có thể ghi nhận và đáp ứng tốt một phần vùng năng lượng thấp và tốt hơn ở vùng năng lượng cao. Cuối cùng, dòng thiết bị Inspector chỉ có thể đáp ứng tốt vùng năng lượng cao, với vùng năng lượng thấp đáp ứng là không tốt. Các kết quả hiệu chuẩn và đánh giá đáp ứng năng lượng của 3 dòng thiết bị trên phù hợp với tài liệu kỹ thuật được cung cấp từ hãng thiết bị (Data Sheet Specification of AT1121-AT1123, 2024; Data Sheet Specification of AT6130C, 2024; Data Sheet Specification of Inspector, 2024). Bên cạnh đó, độ không đảm bảo đo của dòng thiết bị này là lớn nhất trong 3 dòng máy được khảo sát. Ở vùng năng lượng thấp, Inspector hiển thị suất liều ghi nhận lớn gấp vài lần so với suất liều tham chiếu và có độ không đảm bảo đo lớn. Như vậy, một trong những điểm thú vị mà chúng tôi nhận ra trong quá trình các thiết bị được hiệu chuẩn ở trên là cần một giải pháp nghiên cứu để tối ưu hóa chi phí và chất lượng ghi đo, có thể xem xét đến giải pháp can thiệp điện tử hoặc vật liệu che chắn phù hợp cho các dòng thiết bị đáp ứng thấp như thiết bị Inspector nhằm nâng cao hiệu quả ghi đo suất liều mà ít ảnh hưởng đến kết quả ở năng lượng 661,7 keV.

#### 4. Kết luận

Dòng thiết bị đo liều, suất liều AT1121 sử dụng đầu dò plastic nhấp nháy có khả năng ghi nhận và đáp ứng năng lượng rất tốt với các phẩm chất bức xạ được khảo sát gồm gamma  $^{137}\text{Cs}$ , tia X phổ hẹp (N-40, N-60, N-80, N-100, N-120), từ đó cho kết quả hiệu chuẩn đạt theo dải giới hạn CF được đưa ra.

Thiết bị có đầu dò là ống đếm GM: dòng thiết bị với tấm lọc che cửa sổ (AT6130C) có đáp ứng năng lượng tốt với bức xạ gamma nguồn  $^{137}\text{Cs}$  và một số phẩm chất tia X phổ hẹp như N-80, N-100, N-120 có hệ số hiệu chuẩn đạt. Dòng thiết bị Inspector chỉ đáp ứng năng lượng tốt với bức xạ gamma nguồn  $^{137}\text{Cs}$ , tuy nhiên bị bội nhân khoảng  $1,94 \div 3,21$  lần đối với các bức xạ tia X phổ hẹp được khảo sát.

Đối với các thiết bị có đầu dò GM, hiển thị suất liều bị bội nhân, vượt suất liều tham chiếu vùng năng lượng thấp, cần nghiên cứu can thiệp điện tử hoặc vật liệu che chắn phù hợp để suất liều hiển thị gần bằng suất liều tham chiếu mà ít ảnh hưởng đến kết quả ở năng lượng 661,7 keV.

❖ **Tuyên bố về quyền lợi:** Các tác giả xác nhận hoàn toàn không có xung đột về quyền lợi.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- CAMEX spol. s.r.o. (2019). *Certificate of analysis No. 102019*. Měšice Czech Republic: CAMEX spol. s.r.o.
- Canadian Nuclear Safety Commission. (2019, April 01). Regulatory Expectations for Calibration of Survey Meters. Retrieved from Canadian Nuclear Safety Commission: <https://www.cnsccsn.gc.ca/eng/nuclear-substances/licensing-class-ii-nuclear-facilities-and-prescribed-equipment/information-class-ii-licensed-facilities/regulatory-expectations-calibration-survey-meters/>
- Data Sheet Specification of AT1121-AT1123, D. o. (2024, 04 25). AT1121, AT1123 X RAY AND GAMMA RADIATION DOSIMETERS. <https://atomtex.com/sites/default/files/datasheets/at11211123.pdf>
- Data Sheet Specification of AT6130C, D. o. (2024, April 25). AT6130C RADIATION MONITOR. <https://atomtex.com/sites/default/files/datasheets/at6130s.pdf>
- Data Sheet Specification of Inspector, I. (2024, April 25). SE International Inspector Handheld Digital Radiation Alert Detector. [https://site.jjstech.com/pdf/SE-International/Inspector\\_Datasheet.pdf](https://site.jjstech.com/pdf/SE-International/Inspector_Datasheet.pdf)
- Eckert & Ziegler. (2019). Certificate of Quality for sealed radioactive source. Leipzig/Germany: Gamma-Service Recycling GmbH.
- Hoang, D. T. (2019). *Phan tich sai so thuc nghiem [Error analysis of experimental data]*. Ho Chi Minh City University of Education Publishing House.
- Hopewell Designs Inc. (2019). *Operations & Maintenance Manual Models: X80-160-E Irradiator, Linear Positioning System and Ancillary Equipment*. Hopewell Designs, Inc.
- IAEA. (1971). *Handbook on Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments*. IAEA.
- IAEA. (2000). *Calibration of radiation protection monitoring instruments*. Austria.
- IAEA. (2008). *Measurement Uncertainty - A Practical Guide for Secondary Standards Dosimetry Laboratories, IAEA-TECDOC-1585*. Austria.
- IEEE/ANSI N323-1978. (1978). *American National Standard Radiation Protection Instrumentation Test and Calibration*. American National Standards Institute.
- ISO 4037-1:2019. (2019). *Radiological protection - X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy - Part 1: Radiation characteristics and production methods*. International Standard.
- ISO 4037-2:2019. (2019). *Radiological protection - X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy — Part 2: Dosimetry for radiation protection over the energy ranges from 8 keV to 1,3 MeV and 4 MeV to 9 MeV*. Switzerland: International Standard.
- ISO 4037-3:2019. (2019). *Radiological protection — 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*. Switzerland: International Standard.
- Le, H. L., Nguyen, H. L., Ong, Q. S., Ho, M. D., Dao, V. H., Truong, T. S., Vo, V. T., & Le, Q. V. (2022). Establishment and quality assessment of X-ray narrow spectrum series according to ISO 4037:2019 at SSDL of Center for Nuclear Technologies. *Nuclear Science and Technology*, 01-11. <https://doi.org/10.53747/nst.v12i1.374>

- National standard – TCVN 6866: 2001. (2008). Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 6866:2001 về An toàn bức xạ – Giới hạn liều đối với nhân viên bức xạ và dân chúng [Radiation safety - Dose limits for radiation workers and the general public]. Ministry of Science and Technology & Ministry of Natural Resources and Environment. Retrieved from <https://caselaw.vn/van-ban-phap-luat/257057-tieu-chuan-quoc-gia-tcvn-6866-2001-ve-an-toan-buc-xa-gioi-han-lieu-doi-voi-nhan-vien-buc-xa-va-dan-chung-nam-2001>.
- NCRP. (1978). *Report No. 057 - Instrumentation and Monitoring Methods for Radiation Protection*. United States: The National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP).
- Ngo, Q. H. (2004). *An toàn bức xạ ion hóa [Ionizing radiation safety]*. Hanoi Science and Technology Publishing House.
- Nguyen, H. L., Ong, Q. S., Ho, M. D., Nguyen, V. M., Dao, V. H., Ninh, D. T., Nguyen, V. T. B., Nguyen, V. H. N., Nguyen, T. N. H., Le, H. L., & Dang, M. P. (2020-2021). *Nhiệm vụ khoa học công nghệ cấp Bộ: Nghiên cứu thiết lập trường chuẩn liều đối với bức xạ gamma và tia X mức an toàn phù hợp tiêu chuẩn ISO 4037 tại Trung tâm Hạt nhân Tp. Hồ Chí Minh [Ministry-level science and technology tasks: Research to establish standard dose fields for gamma radiation and X-rays at safe levels in accordance with ISO 4037 at the Center for Nuclear Technologies of Ho Chi Minh City]*. National Agency for Science and Technology Information.

---

**A STUDY ON CALIBRATION FACTOR AND ENERGY RESPONSE  
OF MODELS INSPECTOR, AT6130C AND AT1121**

**Le Huu Loi<sup>1\*</sup>, Ong Quang Son<sup>1</sup>, Nguyen Hoang Long<sup>1</sup>,  
Ho Van Doanh<sup>1</sup>, Trinh Thi Thao Quyen<sup>1</sup>, Doan Thi Thanh Nhan<sup>1</sup>,  
Nguyen Van Hoai Nam<sup>1</sup>, Dao Van Hoang<sup>1</sup>, Hoang Duc Tam<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Center for Nuclear Technologies, Hochiminh City, Vietnam

<sup>2</sup>Ho Chi Minh City University of Education, Vietnam

\*Corresponding author: Le Huu Loi – Email: loilhph@gmail.com

Received: February 26, 2024; Revised: May 21, 2024; Accepted: June 03, 2024

**ABSTRACT**

*This paper presents the calibration of gamma radiation using <sup>137</sup>Cs source and narrow-spectrum series X-ray qualities (N-40, N-60, N-80, N-100, N-120) for Portable radiation survey meters (PSM) in Secondary Standards Dosimetry Laboratories (SSDL) at the Center for Nuclear Technologies (CNT). The results show that the Inspector equipment with a Geiger-Müller counter (GM) responds well to gamma radiation. However, for the narrow-spectrum series X-ray qualities, this equipment showed poor reliability with a relative ratio of R in the range of 1.94 ÷ 3.21 times higher than radiation field reference, leading to unsatisfactory calibration results for narrow-spectrum X-rays. The AT6130C equipment using a GM counter detector and a filter, responded well to gamma radiation and some narrow spectra such as N-80, N-100, and N-120. As for the high-quality model AT1121 using a plastic scintillation detector, the results indicate that it can provide good energy responses for all investigated radiation qualities. Therefore, further research will find and design shielding materials for the Inspector equipment aiming to calibrate well against gamma radiation and X-rays, particularly N-80, in a cost-effective manner.*

**Keywords:** calibration; energy response; gamma and X-ray; portable radiation survey meter