

**BỘ GIÁO DỤC  
VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC  
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

**HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ**

---



**Đoàn Thị Ngọc Nở**

**NGHIÊN CỨU KHẢO SÁT CÁC ĐẶC TRƯNG ĐỊNH LIỀU  
BỨC XẠ PHOTON ĐỐI VỚI VẬT LIỆU NHIỆT PHÁT QUANG  
 $K_2GdF_5:Tb$ .**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ NGUYÊN TỬ VÀ HẠT NHÂN**

**Hà Nội – 2023**

**BỘ GIÁO DỤC  
VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC  
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

**HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ**



**Đoàn Thị Ngọc Nở**

**NGHIÊN CỨU KHẢO SÁT CÁC ĐẶC TRƯNG ĐỊNH LIỀU BỨC  
XẠ PHOTON ĐỐI VỚI VẬT LIỆU NHIỆT PHÁT QUANG  
 $K_2GdF_5:Tb$ .**

Chuyên ngành : Vật lý nguyên tử và hạt nhân

Mã số : 8440106

**LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ**

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

PGS.TS. Nguyễn Văn Hùng

**Hà Nội – 2023**

## LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan luận văn này là công trình nghiên cứu của cá nhân tôi, được thực hiện dưới sự hướng dẫn khoa học của PGS.TS. Nguyễn Văn Hùng – Viện Nghiên cứu hạt nhân (Đà Lạt).

Các số liệu thực nghiệm được thực hiện tại Trung tâm An toàn bức xạ, thuộc Viện Nghiên cứu hạt nhân. Thời gian thực hiện thực nghiệm từ tháng 05/2023 đến tháng 10/2023.

Những kết quả nghiên cứu của tác giả khác và các thông tin, số liệu được trích dẫn trong luận văn đều được chú thích đầy đủ.

Tôi xin hoàn toàn chịu trách nhiệm về sự cam đoan này.

*Hà Nội, ngày tháng năm 202*

**Tác giả luận văn**

**Đoàn Thị Ngọc Nở**

## LỜI CẢM ƠN

Sau một thời gian nghiên cứu miệt mài và nghiêm túc, luận văn đã được hoàn thành tại Viện Nghiên cứu hạt nhân (Đà Lạt). Tôi xin trân trọng cảm ơn Lãnh đạo Viện Nghiên cứu hạt nhân, ThS. Phan Văn Toàn ở Trung tâm An toàn bức xạ (Viện Nghiên cứu hạt nhân) đã luôn quan tâm, tạo điều kiện, giúp đỡ tôi trong quá trình học tập, nghiên cứu và hoàn thành luận văn.

Tôi xin chân thành cảm ơn quý Thầy, Cô giáo, các Khoa, Phòng của Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã tận tình giảng dạy và tạo điều kiện để tôi hoàn thành chương trình thạc sỹ.

Tôi xin chân thành cảm ơn quý Thầy, Cô giáo của Viện Nghiên cứu và Ứng dụng Công nghệ Nha Trang đã nhiệt tình và tạo điều kiện thuận lợi để giúp tôi hoàn thành khóa học.

Đặc biệt, tôi xin bày tỏ lòng kính trọng, biết ơn sâu sắc nhất tới PGS.TS Nguyễn Văn Hùng - người thầy đã tận tình hướng dẫn, giúp đỡ tôi trong suốt thời gian nghiên cứu và thực hiện luận văn. Sự tâm huyết và động viên của thầy đã giúp tôi tập trung vào đúng hướng, tự tin và kiên định hơn trong nghiên cứu, giúp luận văn thành công tốt đẹp.

Bên cạnh đó, tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới gia đình, bạn bè thân hữu và các đồng nghiệp tại đơn vị công tác đã luôn bên cạnh động viên, chia sẻ, hỗ trợ và tạo điều kiện tốt nhất cho tôi trong quá trình học tập và hoàn thành luận văn.

Trân trọng cảm ơn!

*Hà Nội, ngày tháng năm 202*

**Tác giả luận văn**

**Đoàn Thị Ngọc Nữ**

# MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN

LỜI CẢM ƠN

MỤC LỤC

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ

MỞ ĐẦU .....	1
Chương 1. TỔNG QUAN .....	5
1.1. LÝ THUYẾT NHIỆT PHÁT QUANG .....	5
1.1.1. Hiện tượng nhiệt phát quang.....	5
1.1.2. Cơ chế nhiệt phát quang.....	5
1.1.3. Vật liệu nhiệt phát quang .....	7
1.2. TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU .....	8
1.2.1. Tình hình nghiên cứu ở thế giới.....	8
1.2.2. Tình hình nghiên cứu ở Việt Nam .....	9
1.3. MỘT SỐ ĐẶC TRƯNG ĐỊNH LIỀU CỦA VẬT LIỆU .....	11
1.3.1. Độ lặp lại .....	11
1.3.2. Ngưỡng liều cực tiểu.....	11
1.3.3. Dải đáp ứng liều tuyến tính.....	12
1.3.4. Độ tự chiếu xạ theo thời gian khi lưu trữ vật liệu.....	12
1.3.5. Sự suy giảm tín hiệu TL theo thời gian (fading).....	13
1.3.6. Tiêu chuẩn đánh giá các đặc trưng của liều kế .....	14
1.4. MỘT SỐ ĐẠI LƯỢNG VÀ ĐƠN VỊ DÙNG TRONG ĐỊNH LIỀU .....	14
1.4.1. Liều hấp thụ D.....	14
1.4.2. Liều tương đương.....	15

1.4.3. Liều hiệu dụng.....	15
1.4.4. Tương đương liều cá nhân .....	16
Chương 2. PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM .....	17
2.1. VẬT LIỆU VÀ TRANG THIẾT BỊ .....	17
2.1.1. Vật liệu .....	17
2.1.2. Hệ chiếu chuẩn tia X.....	17
2.1.3. Hệ chiếu chuẩn gamma Cs-137 .....	18
2.1.4. Hệ chiếu chuẩn gamma Co-60 .....	19
2.1.5. Hệ đọc tín hiệu nhiệt phát quang Rexion UL-320 .....	19
2.1.6. Cân điện tử .....	21
2.1.7. Lò nung .....	21
2.2. CHIẾU XẠ VÀ KHẢO SÁT CÁC ĐẶC TRUNG CỦA VẬT LIỆU ....	22
2.2.1. Bố trí thí nghiệm chiếu xạ mẫu vật liệu .....	22
2.2.2. Chuẩn bị mẫu vật liệu .....	22
2.2.3. Chiếu mẫu vật liệu .....	24
2.2.3.1. Chiếu mẫu bằng hệ chiếu chuẩn tia-X .....	24
2.2.3.2. Chiếu mẫu bằng hệ chiếu chuẩn Cs-137.....	24
2.2.3.3. Chiếu mẫu bằng hệ chiếu chuẩn Co-60 .....	25
2.3.4. Khảo sát đáp ứng TL trên máy đọc liều Rexion UL-320.....	26
2.3.4.1. Bố trí thí nghiệm .....	26
2.3.4.2. Đo cường độ tín hiệu TL.....	26
2.3.4.3. Khảo sát đáp ứng các đường cong TL trên máy đọc liều .....	30
2.3.5. Khảo sát các đặc trưng của vật liệu.....	32
2.3.5.1. Độ lặp lại về liều bức xạ .....	32
2.3.5.2. Ngưỡng liều cực tiểu.....	33
2.3.5.3. Dải liều tuyến tính.....	34
2.3.5.4. Sự phụ thuộc của liều bức xạ vào năng lượng photon.....	34

2.3.5.5. Độ tự chiếu xạ theo thời gian khi lưu trữ vật liệu.....	35
2.3.5.6. Sự giảm tín hiệu TL theo thời gian (fading) .....	36
Chương 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN .....	37
3.1. ĐỘ LẶP LẠI VỀ LIỀU .....	37
3.1.1. Bức xạ tia-X .....	37
3.1.2. Bức xạ gamma (nguồn Co-60).....	38
3.2. NGƯỠNG LIỀU CỰC TIỂU .....	39
3.3 DẢI ĐÁP ỨNG LIỀU TUYẾN TÍNH .....	40
3.3.1. Bức xạ tia-X .....	41
3.3.2. Bức xạ gamma.....	43
3.4. SỰ PHỤ THUỘC CỦA LIỀU BỨC XẠ VÀO NĂNG LƯỢNG PHOTON..	45
3.5. ĐỘ TỰ CHIẾU XẠ THEO THỜI GIAN KHI LƯU TRỮ VẬT LIỆU..	46
3.6. SỰ GIẢM TÍN HIỆU TL THEO THỜI GIAN (FADING) .....	47
3.6.1. Bức xạ tia-X .....	48
3.6.2. Bức xạ gamma.....	49
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	51
1. KẾT LUẬN.....	51
1.1. Về lý thuyết .....	51
1.2. Về thực nghiệm .....	51
2. KIẾN NGHỊ .....	52
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	53
DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ.....	57
PHỤ LỤC 1	
PHỤ LỤC 2	
PHỤ LỤC 3	
PHỤ LỤC 4	

## DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT

<b>Ký hiệu</b>	<b>Tiếng Anh</b>	<b>Tiếng Việt</b>
CV	Coefficient of deviation	Hệ số biến thiên (thăng giáng)
HV	High Voltage	Cao thế (đơn vị đo: kV)
IAEA	International Atomic Energy Agency	Cơ quan Năng lượng nguyên tử quốc tế
IEC	International Electrotechnical Commission	Ủy ban Kỹ thuật điện quốc tế
KH&CN	Science and Technology	Khoa học và công nghệ
min	Minute	Đơn vị đo thời gian (Phút)
NCHN	Nuclear Research	Nghiên cứu hạt nhân
SD	Standard Deviation	Độ lệch chuẩn
Sv	Equivalent dose (in Sievert)	Đơn vị liều tương đương (1 Sv = 1 J/kg)
TL	Thermoluminescence	Nhiệt phát quang
TLD	Thermoluminescence Dosimeter	Liều kế nhiệt phát quang



## DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

Bảng 2.1. Một số đặc trưng chính của máy phát tia X “RF-200EGM2”.....	17
Bảng 2.2. Thông số kỹ thuật cơ bản của hệ đọc liều Rexion UL-320 .....	20
Bảng 2.3. Thời gian chiếu tương ứng với các mức liều khác nhau từ nguồn gamma Co-60 .....	25
Bảng 3.1. Tổng hợp số liệu đo trung bình của 10 lần đo khảo sát độ lặp lại (đối với tia-X).....	37
Bảng 3.2. Tổng hợp số liệu đo trung bình của 10 lần đo khảo sát độ lặp lại (đối với tia gamma) .....	38
Bảng 3.3. Ngưỡng liều cực tiểu của vật liệu.....	39
Bảng 3.4. Số liệu đo mẫu vật liệu $K_2GdF_5:Tb$ đối với 04 mức liều chiếu mẫu khác nhau (0,1 – 20 mSv) của bức xạ tia-X (100 kV) .....	41
Bảng 3.5. Kết quả đáp ứng tuyến tính liều của mẫu vật liệu $K_2GdF_5:Tb$ đối với bức xạ tia-X (100 kV) .....	42
Bảng 3.6. Số liệu đo mẫu vật liệu $K_2GdF_5:Tb$ đối với 04 mức liều chiếu mẫu khác nhau (0,1 – 20 mSv) của bức xạ gamma Co-60 (1250 keV).....	43
Bảng 3.7. Kết quả đáp ứng tuyến tính liều của mẫu vật liệu $K_2GdF_5:Tb$ đối với bức xạ gamma Co-60 (1250 keV).....	44
Bảng 3.8. Kết quả khảo sát sự phụ thuộc năng lượng của mẫu vật liệu $K_2GdF_5:Tb$ đối với bức xạ photon .....	45
Bảng 3.9. Độ tự chiếu xạ của vật liệu theo thời gian khi lưu trữ.....	47
Bảng 3.10. Kết quả khảo sát độ suy giảm tín hiệu theo thời gian của vật liệu $K_2GdF_5:Tb$ đối với bức xạ tia-X .....	48
Bảng 3.11. Kết quả khảo sát độ suy giảm tín hiệu theo thời gian của vật liệu $K_2GdF_5:Tb$ đối với bức xạ gamma.....	49

## DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ

Hình 1.1. Mô hình đơn giản TL gồm 2 mức đối với hạt tải điện là điện tử .....	6
Hình 2.1. Hệ phát tia X “RF-200EGM2” .....	17
Hình 2.2. Hệ chiếu chuẩn gamma dùng Cs-137 .....	18
Hình 2.3. Hệ chiếu chuẩn gamma dùng Co-60 .....	19
Hình 2.4. Hệ đọc tín hiệu nhiệt phát quang REXON UL-320 .....	20
Hình 2.5. Cân phân tích điện tử 4 số .....	21
Hình 2.6. Lò nung mẫu vật liệu .....	22
Hình 2.7. Sơ đồ bố trí thí nghiệm chiếu xạ mẫu trên máy phát tia-X .....	22
Hình 2.8. Sơ đồ bố trí thí nghiệm chiếu xạ mẫu trên các hệ chiếu chuẩn Cs-137 và Co-60 .....	23
Hình 2.9. Mẫu vật liệu được chuẩn bị cho chiếu xạ. ....	24
Hình 2.10. Bố trí thí nghiệm chiếu mẫu tia-X .....	24
Hình 2.11. Bố trí thí nghiệm chiếu mẫu với bức xạ gamma (Cs-137) .....	25
Hình 2.12. Bố trí thí nghiệm chiếu mẫu với bức xạ gamma (Co-60) .....	26
Hình 2.13. Màn hình đăng nhập của REXON UL-320 .....	26
Hình 2.14. Màn hình điều khiển chính của REXON UL-320 .....	27
Hình 2.15. Màn hình cài thông số chu trình TLD .....	28
Hình 2.16. Tạo tập tin Analysis .....	29
Hình 2.17. Màn hình kết quả đo .....	30
Hình 2.18. Chu trình đo phổ TL của vật liệu $K_2GdF_5:Tb$ .....	31
Hình 2.19. Phổ tín hiệu TL của $K_2GdF_5:Tb$ chiếu xạ tia-X .....	31
Hình 2.20. Phổ tín hiệu TL của $K_2GdF_5:Tb$ chiếu xạ gamma .....	32
Hình 3.1. Đồ thị biểu diễn đáp ứng tuyến tính liều bức xạ của mẫu vật liệu $K_2GdF_5:Tb$ đối với bức xạ tia-X (100 kV) (dải liều từ 0,1 – 20 mSv) .....	42

Hình 3.2. Đồ thị biểu diễn đáp ứng tuyến tính liều bức xạ của mẫu vật liệu $K_2GdF_5:Tb$ đối với gamma Co-60 (1250 keV) với dải liều từ 0,1 – 20 mSv .	44
Hình 3.3. Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc năng lượng photon của mẫu vật liệu $K_2GdF_5:Tb$ .....	46
Hình 3.4. Đồ thị biểu diễn độ suy giảm tín hiệu theo thời gian của vật liệu $K_2GdF_5:Tb$ đối với bức xạ tia-X .....	48
Hình 3.5. Đồ thị biểu diễn độ suy giảm tín hiệu theo thời gian của vật liệu $K_2GdF_5:Tb$ đối với bức xạ gamma.....	49

## MỞ ĐẦU

### 1. Lý do chọn đề tài

Để định liều bức xạ (Radiation dosimetry), người ta đã nghiên cứu sử dụng nhiều phương pháp dựa trên cơ chế tương tác của bức xạ với vật liệu, như: Cơ chế ion hóa, cơ chế phát quang [nhấp nháy, nhiệt phát quang (Thermo-Stimulated Luminescence – TSL, là phát quang cưỡng bức bởi nhiệt, viết gọn là Thermoluminescence – TL, nhiệt phát quang), quang phát quang (Optically Stimulated Luminescence – OSL, là quang kích thích phát quang), sự hóa màu của thủy tinh và chất dẻo, v.v.], cơ chế phim ảnh, cơ chế nhiệt lượng, cơ chế phản ứng hóa học. Dụng cụ thụ động (Passive tool - bao gồm vật liệu, vỏ, tấm lọc, ...) chế tạo dựa vào các cơ chế ở trên để định liều bức xạ được gọi là liều kế (Dosimeter).

Để định liều bức xạ cá nhân (Personal dosimetry) trong lĩnh vực an toàn bức xạ, phổ biến hiện nay là người ta nghiên cứu chế tạo liều kế cá nhân thụ động - là loại liều kế nhiệt phát quang (TL dosimeter – TLD) dựa trên cơ chế TL, trong đó thành phần chính là vật liệu TL. TLD có các ưu điểm là: độ nhạy cao, hay ngưỡng liều cực tiểu/ngưỡng xác định là nhỏ đối với bức xạ ion hóa; sự phụ thuộc nhỏ của hiệu suất phát quang vào suất liều bức xạ; dải liều tuyến tính rộng; sự suy giảm tín hiệu TL theo thời gian (Fading) nhỏ; độ lặp lại tốt; hiệu ứng tự chiếu xạ nhỏ; độ ổn định cao đối với bức xạ; bền về nhiệt và hóa học; TLD có thể sử dụng được nhiều lần; kích thước liều kế nhỏ (dạng bột, chip, dây/dải, đĩa, viên, ...); giá thành chế tạo liều kế thấp, v.v. và có nhiều loại vật liệu có thể dùng làm chất TL (còn gọi là TL detector).

Có nhiều loại TLD đã được nghiên cứu chế tạo với việc sử dụng các vật liệu TL như:  $\text{LiF:Mg,Ti}$  (TLD-100);  $\text{CaF}_2:\text{Dy}$  (TLD-200);  $\text{CaF}_2:\text{Mn}$  (TLD-400);  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  (TLD-900);  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ ;  $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ ;  $\text{CaSO}_4:\text{Mn}$ ; ... Chủ yếu các loại liều kế này dùng để định liều bức xạ photon (tia-X, gamma) do chúng nhạy với loại bức xạ này. Do có nhiều ưu điểm nên TLD được ứng dụng trong một số lĩnh vực như: Định liều bức xạ cá nhân, định liều bức xạ môi trường, định tuổi niên đại cổ vật, xác định trường liều bức xạ, đánh giá liều chẩn đoán và xạ trị cho bệnh nhân y tế, v.v.

Ngoài những loại TLD nhạy với bức xạ photon đã nói ở trên, hiện nay trên thế giới, người ta bắt đầu quan tâm đến các tính chất mới của vật liệu TL có tiết diện bắt neutron ( $\sigma$ ) lớn để hướng tới nghiên cứu chế tạo TLD ứng dụng trong định liều bức xạ, bao gồm cả bức xạ neutron. Nhưng mới chỉ có một số rất ít nghiên cứu ban đầu về các đặc trưng của vật liệu TL chứa nguyên tố Gadolinium (Gd) pha tạp (hoạt hóa) với ion Dysprosium (Dy) hay Terbium (Tb) và đưa ra khả năng ứng dụng trong định liều bức xạ beta, photon và neutron (trước những năm 2009, tất cả các tài liệu về định liều TL hoàn toàn không thấy nói về vật liệu TL chứa nguyên tố Gd).

Hiện nay, vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  hay  $K_2GdF_5:Dy$  được tổng hợp (từ 3 loại vật liệu  $KF$ ,  $GdF_3$ ,  $TbF_3/DyF_3$ ) theo phương pháp thủy nhiệt (Hydrothermal method) hay phương pháp phản ứng pha rắn (Solide-state reaction method) với những nồng độ pha tạp ion Tb hay Dy khác nhau. Vật liệu này có nhiều đặc điểm quan trọng, đó là độ hấp thụ neutron của Gd là cao nhất trong số các nguyên tố tự nhiên, do tương tác của vật liệu  $K_2GdF_5$  với chùm neutron là rất mạnh.

Ở Việt Nam, một số năm trở lại đây đã có một số cơ sở như: Viện Khoa học Vật liệu, Viện Vật lý, Viện Nghiên cứu và Ứng dụng công nghệ Nha Trang (NITRA) – Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VAST), Đại học Huế, ... đã và đang nghiên cứu về một số vật liệu TL nhằm hướng tới ứng dụng trong định liều bức xạ (chủ yếu là đối với bức xạ photon) trên cơ sở nghiên cứu và chế tạo một số vật liệu như:  $LiF:Mg,Cu,Na,Si$ ;  $Li_2B_4O_7:Cu$ ;  $Sr_3B_2O_6:Eu^{2+}$ ;  $K_2YF_5:Tb^{3+}$ ; ... Đây mới chỉ là những nghiên cứu, chưa đưa ra được sản phẩm thương mại dạng TLD. Viện Nghiên cứu hạt nhân Đà Lạt (DNRI) đã chế tạo được TLD loại  $CaSO_4:Dy$  (hợp chất  $CaSO_4$  pha tạp với Dy), đã đưa áp dụng định liều cá nhân và môi trường cho các cơ sở bức xạ, nhưng chúng chỉ nhạy với bức xạ photon.

Liên quan đến vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  nhằm hướng tới ứng dụng trong định liều bức xạ, lần đầu tiên ở Việt Nam, Viện Nghiên cứu và Ứng dụng công nghệ Nha Trang đã bước đầu nghiên cứu và chế tạo thành công vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  dạng bột (với nồng độ pha tạp 10% Tb) theo phương pháp phản ứng pha rắn (do không có phòng thí nghiệm để chế tạo theo phương pháp thủy nhiệt ở điều kiện nhiệt độ và áp suất cao). Kết quả nghiên cứu bước đầu

(chiếu xạ vật liệu ở những dải liều cao) cho thấy vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  này có khả năng dùng làm TLD để định liều bức xạ photon cũng như các loại bức xạ khác (alpha, beta, neutron) trong tương lai. Quy trình chế tạo vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  dạng bột theo phương pháp phản ứng pha rắn sau đó được áp dụng triển khai ở Viện Nghiên cứu hạt nhân (NCHN).

Để có thể tiến tới trong tương lai việc chế tạo liều kế cá nhân dùng vật liệu này thì phải nghiên cứu chi tiết hơn về toàn bộ các đặc trưng định liều. Do đó, trong khuôn khổ thời gian có hạn của luận văn nên chỉ thực hiện việc nghiên cứu khảo sát chi tiết một số các đặc trưng chính về định liều bức xạ photon đối với vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  dạng bột này [Trong chiếu xạ ngoài (External exposure) thì mối quan tâm nhất về mặt an toàn bức xạ là bức xạ photon và neutron, do chúng có độ đâm xuyên lớn, gây nguy hiểm cao].

## **2. Mục tiêu của đề tài**

Mục tiêu của đề tài là khảo sát chi tiết một số đặc trưng chính về định liều bức xạ photon đối với vật liệu nhiệt phát quang  $K_2GdF_5:Tb$  dạng bột.

## **3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu**

- Đối tượng nghiên cứu: Vật liệu nhiệt phát quang  $K_2GdF_5:Tb$  dạng bột đã được chế tạo ở Viện NCHN.

- Phạm vi nghiên cứu: Khảo sát chi tiết một số đặc trưng chính về định liều bức xạ photon đối với vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$ , bao gồm: Độ lặp lại về liều, ngưỡng liều cực tiểu, dải đáp ứng liều tuyến tính (ở mức liều thấp), sự phụ thuộc của liều bức xạ vào năng lượng photon, độ tự chiếu xạ theo thời gian khi lưu trữ vật liệu, sự giảm tín hiệu TL theo thời gian (fading).

## **4. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài nghiên cứu**

- Ý nghĩa khoa học: Đề tài nghiên cứu về việc khảo sát một số đặc trưng chính về định liều bức xạ photon đối với vật liệu nhiệt phát quang  $K_2GdF_5:Tb$  có ý nghĩa trong việc góp phần đi sâu về tính chất của vật liệu mới được chế tạo lần đầu tiên ở Việt Nam trong lĩnh vực an toàn bức xạ.

- Ý nghĩa thực tiễn: Vật liệu nhiệt phát quang  $K_2GdF_5:Tb$  có ý nghĩa trong việc hướng tới nghiên cứu chế tạo TLD trong tương lai để ứng dụng định liều bức xạ cá nhân đối với bức xạ photon cho nhân viên bức xạ, cũng

như khảo sát trường liều của các nguồn bức xạ photon ở các cơ sở bức xạ và hạt nhân với mục đích bảo đảm an toàn bức xạ cho nhân viên và dân chúng. Kết hợp với những nghiên cứu về đặc trưng định liều neutron thì có thể nghiên cứu chế tạo TLD để định liều cả bức xạ photon và neutron – Một sản phẩm hoàn hảo trong tương lai.

## **5. Bố cục của luận văn**

Về bố cục, ngoài các phần mở đầu, kết luận và kiến nghị, tài liệu tham khảo và phần phụ lục, luận văn được trình bày với ba chương chính như sau:

Chương 1 trình bày tổng quan về hiện tượng và cơ chế nhiệt phát quang, vật liệu nhiệt phát quang, tình hình nghiên cứu trên thế giới và Việt Nam về vật liệu nhiệt phát quang  $K_2GdF_5:Tb$ . Các đặc trưng định liều của vật liệu nhiệt phát quang cũng như một số đại lượng và đơn vị dùng trong định liều.

Chương 2 trình bày về trang thiết bị phục vụ nghiên cứu trong luận văn (hệ chiếu chuẩn tia-X, hệ chiếu chuẩn tia gamma Cs-137 và Co-60, máy đọc liều nhiệt phát quang Rexion UL-320, cân điện tử, lò nung, v.v.), các phương pháp để khảo sát các đặc trưng định liều bức xạ photon đối với vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$ .

Chương 3 trình bày kết quả nghiên cứu đạt được và thảo luận.

## Chương 1. TỔNG QUAN

### 1.1. LÝ THUYẾT NHIỆT PHÁT QUANG

#### 1.1.1. Hiện tượng nhiệt phát quang

Hiện tượng nhiệt phát quang (TL) là hiện tượng phát xạ ánh sáng của một vật liệu (chất bán dẫn hoặc điện môi) sau khi chiếu xạ bằng các bức xạ ion hóa như: alpha ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ), photon [tia-X, tia gamma ( $\gamma$ )] hay neutron khi bị nung nóng [1].

Cụ thể, hiện tượng TL xảy ra khi vật liệu tồn tại các mức năng lượng nằm trong vùng cấm (bẫy điện tử và lỗ trống). Chiếu xạ bức xạ ion hóa vào vật liệu thì điện tử (electron) bị bắt tại bẫy và lỗ trống bị bắt tại tâm phát quang. Trong quá trình nung nóng vật liệu bằng kích thích nhiệt, điện tử sẽ nhận được nhiệt năng và thoát ra khỏi bẫy, để phát ra photon ánh sáng, sau đó điện tử sẽ tái hợp với lỗ trống tại tâm tái hợp. Nếu thực hiện nâng nhiệt một lần nữa thì điện tử thoát ra khỏi bẫy và không phát quang.

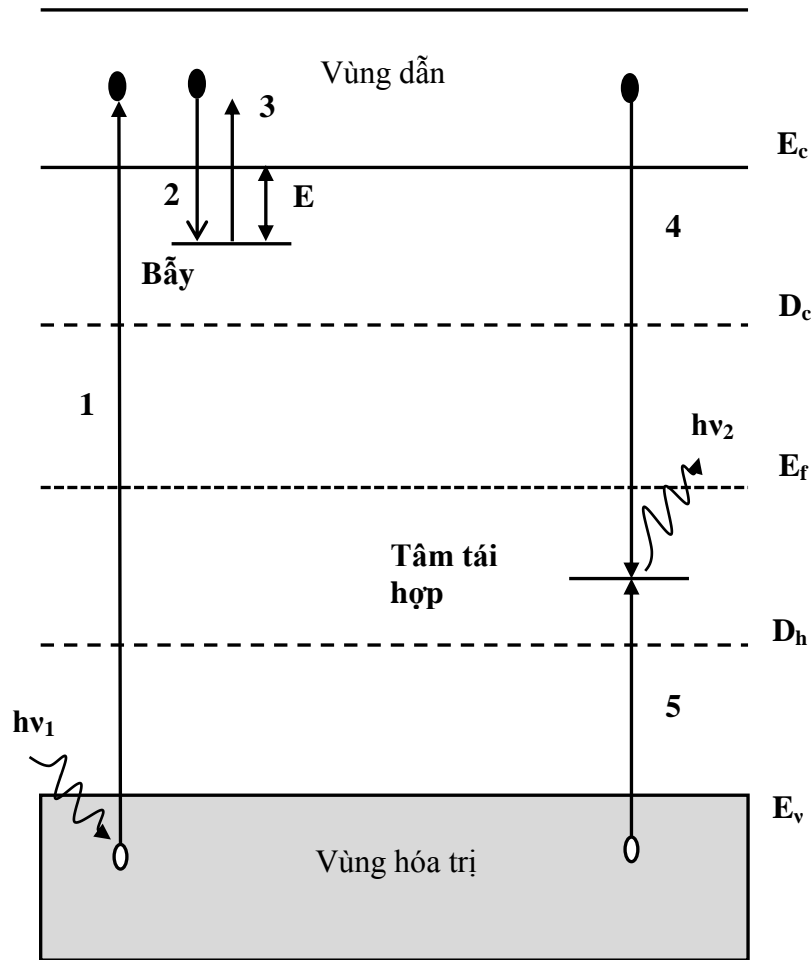
Hai quá trình vật lý có liên quan đến hiện tượng TL của các vật liệu đó là [2]:

- Quá trình hình thành các khuyết tật trong mạng tinh thể đóng vai trò các bẫy và tâm tái hợp trong vật liệu.
- Quá trình tích lũy của các điện tích trong bẫy do chiếu xạ và quá trình tái hợp điện tử - lỗ trống do cường độ bức xạ TL.

#### 1.1.2. Cơ chế nhiệt phát quang

Để giải thích các tính chất TL, có thể sử dụng lý thuyết vùng năng lượng của vật rắn [1]. Khi nhiệt độ rất thấp thì một tinh thể bán dẫn hoặc điện môi lý tưởng có các mức năng lượng nằm trong vùng hóa trị sẽ bị chiếm đầy bởi các điện tử. Ở một vùng khác, các mức năng lượng còn trống (nghĩa là chưa bị chiếm bởi các điện tử) gọi là vùng dẫn; vùng này tách khỏi vùng hóa trị bởi một khe năng lượng (xem Hình 1.1).





**Hình 1.1.** Mô hình đơn giản TL gồm 2 mức đối với hạt tải điện là điện tử

+ Mức T – bẫy điện tử (Electron trap), chỉ có khả năng bắt điện tử trong vùng dẫn bẫy điện tử (Trap) nằm ở phía trên mức Fermi –  $E_f$  cân bằng và trước khi mẫu bị chiếu xạ mức này ở trạng thái hoàn toàn bị trống.

+ Mức R (Recombination Center – RC) – bẫy lỗ trống, có khả năng bắt lỗ trống trong vùng hóa trị và bắt điện tử từ vùng dẫn nên đóng vai trò tâm tái hợp.

Các dịch chuyển cho phép trên Hình 1.1 là:

- (1) Quá trình ion hoá.
- (2), (5) Quá trình bẫy điện tử, lỗ trống tương ứng.
- (3) Quá trình giải thoát điện tử ra khỏi bẫy bằng nhiệt.
- (4) Quá trình phát quang khi tái hợp.

Khi chiếu xạ bởi các tia bức xạ (tia UV, X, gamma, neutron...) vào vật liệu thì các bức xạ ion hóa nguyên tử trung hòa, làm bật điện tử lên vùng dẫn,

để lại vùng hóa trị một lỗ trống và tạo ra cặp điện tử và lỗ trống (dịch chuyển 1). Trong vùng dẫn, vùng hóa trị, điện tử và lỗ trống chuyển động tự do và bị bắt tại các bẫy. Điện tử muốn giải phóng khỏi bẫy, thì cần đốt nóng vật liệu lên một nhiệt độ nhất định, khi đó năng lượng của các điện tử tăng lên đủ năng lượng để thoát ra khỏi bẫy và nhảy lên trên vùng dẫn (dịch chuyển 3). Điện tử sẽ không thể tồn tại lâu trên vùng dẫn mà phải tái hợp với lỗ trống. Quá trình tái hợp và bức xạ ion hoá (dịch chuyển ngược với 1) tại tâm phát quang (dịch chuyển 4), hay tái bẫy (dịch chuyển 2) sẽ có các hạt mang điện tự do tham gia. Điện tử, lỗ trống tự do tái hợp trực tiếp, năng lượng được giải phóng ra dưới dạng bức xạ sóng điện từ (photon). Có thể xảy ra trường hợp một phần năng lượng được giải phóng ra dùng để kích thích một tâm huỳnh quang (tâm này có thể trùng với tâm tái hợp). Tâm huỳnh quang phát xạ ánh sáng trở về trạng thái cơ bản và tham gia hai quá trình chính: quá trình tái hợp với lỗ trống tại tâm phát quang để phát bức xạ ion hoá và quá trình tái bẫy.

Khi các điện tử tự do bị tái bẫy thì chỉ sinh ra nhiệt mà không phát quang. Do đó, sự phát quang chủ yếu là do sự tái hợp với lỗ trống tại tâm phát quang (dịch chuyển 4, 5).

Tóm lại, khi có sự đảo mật độ từ trạng thái cân bằng nhiệt động sang trạng thái nửa bền và hồi phục cưỡng bức nhiệt về trạng thái cân bằng ban đầu thì hiện tượng TL xảy ra.

### **1.1.3. Vật liệu nhiệt phát quang**

Vật liệu TL là vật liệu có khả năng hấp thụ và tích lũy năng lượng ion hóa trong quá trình bị phơi chiếu bởi các bức xạ như tia-X,  $\alpha$ ,  $\beta$  hoặc  $\gamma$ . Khi bị đốt nóng, năng lượng sẽ được giải phóng dưới dạng photon ánh sáng.

Với mục đích hướng tới chế tạo liều kế (TLD), các vật liệu TL phải có một số đặc tính sau [1, 3]:

- Đường cong tích phân biểu diễn mối liên hệ giữa cường độ TL và nhiệt độ (gọi là đường cong TL – TL flow curve) có cấu trúc đỉnh chính rõ ràng, và nhiệt độ của đỉnh chính trong đo liều bức xạ nằm trong khoảng từ 150 °C đến 400 °C.

- Cường độ TL phải tỉ lệ tuyến tính tốt với liều chiếu bức xạ. Hiệu suất phát xạ cao và ngưỡng liều thấp để có được độ nhạy cao. Sự ổn định của giá trị đo khi lưu trữ ở nhiệt độ phòng hay fading nhỏ (mật độ điện tử bị bắt trong bẫy sẽ suy giảm theo thời gian, khả năng lưu trữ năng lượng từ lúc bức xạ đến lúc đo sẽ giảm gây nên sai số trong đo liều). Cường độ TL ít phụ thuộc vào năng lượng của bức xạ.

- Vật liệu có nồng độ pha tạp tối ưu để có độ nhạy TL cao nhất.

- Vật liệu phải đồng nhất (đồng đều mẫu), không chịu ảnh hưởng của môi trường, có khả năng tái sử dụng.

## 1.2. TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU

### 1.2.1 Tình hình nghiên cứu ở thế giới

Ngoài những loại TLD nhạy với bức xạ photon đã nói ở phần “Mở đầu”, hiện nay trên thế giới, người ta bắt đầu quan tâm đến các tính chất mới của vật liệu TL có tiết diện bắt neutron lớn để hướng tới nghiên cứu chế tạo TLD ứng dụng trong định liều bức xạ, bao gồm cả bức xạ neutron. Một số nghiên cứu ban đầu như:

- Edna C. Silva et al. (2007) [4] đã nghiên cứu về đáp ứng TL của tinh thể  $K_2GdF_5$  pha tạp với  $Dy^{3+}$  đối với bức xạ photon: Tổng hợp tinh thể  $K_2GdF_5$  và  $K_2GdF_5:Dy^{3+}$  bằng phương pháp thủy nhiệt; đáp ứng tuyến tính với bức xạ gamma Cs-137 là từ 0,1 - 200 mGy; giới hạn xác định tìm được tương đương với chip LiF:Mg,Ti (TLD-100) thương mại, tức là giữa 0,01 và 0,1 mGy; fading là nhỏ hơn 10%/6 tháng.

- J.Azorín-Nieto et al. (2007) [5] đã nghiên cứu về tính phát quang của các hợp chất F hai thành phần pha tạp với ion Tb: Các hợp chất  $K_2YF_5$ ,  $K_2GdF_5$  và  $K_2LuF_5$  pha tạp với  $Tb^{3+}$ , có đáp ứng với nguồn bức xạ beta, UV và gamma.

- Edna C. Silva et al. (2009) [6] đã nghiên cứu về đáp ứng TL của tinh thể  $K_2GdF_5$  pha tạp với  $Dy^{3+}$  đối với bức xạ photon và neutron: Tổng hợp tinh thể  $K_2GdF_5$  và  $K_2GdF_5:Dy^{3+}$  bằng phương pháp thủy nhiệt; chiếu xạ riêng biệt từ các nguồn bức xạ photon (Cs-137, Co-60, tia-X); sử dụng TLD-700 để đo so sánh trong cùng một điều kiện.

- E.C. Silva et al., (2013) [7] đã nghiên cứu sơ khởi về TL của vật liệu  $K_2GdF_5:Dy^{3+}$  được chiếu với bức xạ photon và neutron: Chiếu xạ từ nguồn gamma, tia-X; đáp ứng TL của bức xạ tia-X lớn hơn 18 lần so với gamma; đã xác định đóng góp của thành phần bức xạ gamma trong đường cong TL.

Những nghiên cứu trên cho thấy: Về tính chất TL, các hợp chất Fluoride (F) pha tạp với các ion đất hiếm (Rare earth - RE) có độ nhạy TL khá cao, trong đó có vật liệu  $K_2GdF_5$ . Việc pha tạp các ion đất hiếm có thể nâng cao hiệu suất phát quang, nên hướng nghiên cứu chế tạo vật liệu phát quang  $K_2GdF_5$  pha tạp Tb hay Dy để có thể dùng làm TLD để định liều bức xạ có ý nghĩa thực tiễn. Do đó, việc nghiên cứu chế tạo vật liệu TL với nền Fluoride pha tạp nguyên tố RE là vật liệu đầy hứa hẹn nhằm phát triển phương pháp đo liều bức xạ ion hóa.

Hiện nay, vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  hay  $K_2GdF_5:Dy$  được tổng hợp (từ 3 loại vật liệu  $KF$ ,  $GdF_3$ ,  $TbF_3/DyF_3$ ) theo phương pháp thủy nhiệt hay phương pháp phản ứng pha rắn với những nồng độ pha tạp ion Tb hay Dy khác nhau. Vật liệu này có nhiều đặc điểm quan trọng, đó là độ hấp thụ neutron của Gd là cao nhất trong số các nguyên tố tự nhiên, do đó tương tác của vật liệu  $K_2GdF_5$  với chùm neutron là rất mạnh.

### 1.2.2. Tình hình nghiên cứu ở Việt Nam

Ở Việt Nam, một số năm trở lại đây đã có một số cơ sở như: Viện Khoa học Vật liệu, Viện Vật lý, Viện Nghiên cứu và Ứng dụng công nghệ Nha Trang (NITRA) – Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VAST), Viện Nghiên cứu hạt nhân, Đại học Huế, ... đã và đang nghiên cứu về một số vật liệu TL nhằm hướng tới ứng dụng trong định liều bức xạ (chủ yếu là đối với bức xạ photon) trên cơ sở nghiên cứu và chế tạo một số vật liệu như:  $CaSO_4:Dy$ ;  $LiF:Mg,Cu,Na,Si$ ;  $Li_2B_4O_7:Cu$ ;  $Sr_3B_2O_6:Eu^{2+}$ ;  $K_2YF_5:Tb^{3+}$ ; ... [8-20]. Đây mới chỉ là những nghiên cứu, chưa đưa ra được sản phẩm thương mại dạng TLD.

Liên quan đến vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  nhằm hướng tới ứng dụng trong định liều bức xạ, Viện Nghiên cứu và Ứng dụng công nghệ Nha Trang đã bước đầu nghiên cứu và chế tạo được vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  dạng bột theo phương pháp phản ứng pha rắn. Kết quả nghiên cứu bước đầu cho thấy vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$

này có khả năng dùng làm TLD để đo bức xạ photon cũng như các loại bức xạ khác (alpha, beta, neutron). Một số kết quả nghiên cứu bước đầu như sau:

- Huỳnh Kỳ Hạnh và cộng sự (phối hợp với phía Nga) (2010) [21] đã nghiên cứu các tính chất TL của các tinh thể  $K_2YF_5$  và  $K_2GdF_5$  pha tạp với  $Tb^{3+}$  khi chiếu bức xạ  $\alpha$ ,  $\beta$  và tia-X: Tổng hợp các tinh thể  $K_2YF_5:Tb^{3+}$  và  $K_2GdF_5:Tb^{3+}$  và chuyển thành dạng bột bằng phương pháp thủy nhiệt (thực hiện ở Nga); sử dụng  $LiF:Mg^{2+},Ti^{4+}$  (TLD-100) để đo so sánh trong cùng một điều kiện; đã khảo sát phổ phát xạ TL (đường cong TL) của vật liệu này.

- Hà Xuân Vinh và cộng sự (2014) [22] đã nghiên cứu các hiệu ứng của bức xạ gamma và beta đối với vật liệu chế tạo  $K_2YF_5$  và  $K_2GdF_5$ : Tổng hợp vật liệu  $K_2YF_5$  và  $K_2GdF_5$  pha tạp với Tb, Pr, Sm và Dy bằng phương pháp phản ứng pha rắn; chiếu xạ gamma từ nguồn Co-60;  $K_2GdF_5$  pha tạp với  $Tb^{3+}$ ,  $Pr^{3+}$  có độ nhạy TL rất cao; cường độ TL của  $K_2GdF_5:Tb$  cao hơn 7 lần so với  $K_2GdF_5:Pr$  và cao hơn cỡ 10 lần so với  $K_2YF_5:Tb$ ; đường cong TL của  $K_2GdF_5:Tb$  có dạng đơn giản với đỉnh định liều chính tại nhiệt độ 196 °C (tốc độ gia nhiệt 2 °C/s); độ nhạy TL của  $K_2GdF_5:Tb$  là cao hơn 5 lần so với TLD-900 ( $CaSO_4:Dy$ ) đối với gamma tại liều 0,12 mGy; fading của  $K_2GdF_5:Tb$  (2%) là 24% sau 51 ngày.

- Hà Xuân Vinh và cộng sự (2018) [23] đã nghiên cứu đặc trưng TL của  $K_2GdF_5:Tb^{3+}$ : Vật liệu  $K_2GdF_5$  pha tạp với Tb được tổng hợp bằng phương pháp phản ứng pha rắn; chiếu xạ vật liệu trên nguồn gamma Co-60; so sánh cường độ TL tại các nồng độ pha tạp Tb khác nhau của  $K_2GdF_5:Tb$  với  $CaSO_4:Dy$  cho thấy cường độ TL cao hơn so với  $CaSO_4:Dy$  và tại 10%Tb thì có cường độ TL cao nhất.

- Hà Xuân Vinh và cộng sự (2019) [24] đã nghiên cứu các đặc trưng cấu trúc và phát quang của vật liệu  $K_2GdF_5:Tb^{3+}$  tổng hợp bằng phương pháp phản ứng pha rắn: chiếu xạ gamma dùng nguồn Co-60; kết quả đo nhiễu xạ tia-X (XRD) cho thấy  $K_2GdF_5:Tb^{3+}$ (10%) có các đỉnh rõ ràng với cường độ cao nhất; cường độ TL của  $K_2GdF_5:Tb^{3+}$ (10%) là cao hơn so với liều kế  $CaSO_4:Dy^{3+}$  thông thường, từ đó chọn được nồng độ pha tạp tối ưu là 10% $Tb^{3+}$ .

### 1.3. MỘT SỐ ĐẶC TRƯNG ĐỊNH LIỀU CỦA VẬT LIỆU

#### 1.3.1. Độ lặp lại

Độ lặp lại (Reproducibility) là một trong những đặc trưng cơ bản của TLD. Đặc trưng này giúp đánh giá sự ổn định của vật liệu sau nhiều lần đọc và đánh giá mức độ gần nhau của các kết quả thu được của một nhóm có n liều kể với cùng một giá trị liều trong cùng một điều kiện đo liều. Chỉ số độ lặp lại R là đại lượng đánh giá độ lặp lại của TLD và phải thỏa mãn công thức sau [25, 26]:

$$R = \frac{\overline{SE_j} + l_j}{E_j} \leq 0,075 \quad (1.1)$$

Trong đó:  $\overline{SE_j}$  là độ lệch chuẩn sau n lần thí nghiệm;  $\overline{E_j}$  là giá trị trung bình sau n lần thí nghiệm;  $l_j$  là khoảng tin cậy của  $\overline{SE_j}$  sau n lần thí nghiệm;  $S_i = \overline{SE_j}$  là độ lệch chuẩn của giá trị trung bình.

#### 1.3.2. Ngưỡng liều cực tiểu

Ngưỡng nhạy (Detection threshold/ Limit of detection - LOD) của vật liệu TLD hay giá trị liều thấp nhất có thể đo được, là một hàm thống kê biến đổi của những tín hiệu phóng thu được từ những mẫu vật liệu không được chiếu. Ngưỡng nhạy được xác định bằng ba lần độ lệch chuẩn tập hợp phóng nội tại của mẫu  $\delta_{BG}$  [27]:

$$D_L = 3\delta_{BG} \quad (1.2)$$

$$\delta_{BG} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ph_i - \overline{ph})^2}{n-1}}$$

$$\overline{ph} = \sum_{i=1}^n \frac{ph_i}{n}$$

Trong đó:  $\delta_{BG}$  là độ lệch chuẩn tập hợp phóng nội tại của mẫu vật liệu;  $ph_i$  là phóng nội tại của mẫu thứ i;  $\overline{ph}$  là phóng trung bình của n mẫu.

Theo tiêu chuẩn IEC 1066:1991, kết quả khảo sát ngưỡng liều cực tiểu phải thoả mãn điều kiện như sau :

$$\left(t \frac{\alpha}{2} . SD\right) \leq H; \quad \text{với } H = 0,1 \text{ mSv}$$

### 1.3.3. Dải đáp ứng liều tuyến tính

Một trong những tiêu chí quan trọng nhất khi chế tạo các vật liệu làm liều kế là sự đáp ứng liều bức xạ của vật liệu và khoảng tuyến tính của nó (Linearity response). Để kiểm tra độ chính xác của mẫu vật liệu ta phải xét mối quan hệ tuyến tính giữa mức liều hấp thụ thực mà vật liệu đã bị chiếu với giá trị liều ta đo được từ vật liệu đó. Ở đây, ta xét chính là mối quan hệ giữa liều tương đương thực chiếu với mức liều đo được từ vật liệu.

Đối với vật liệu TL, việc khảo sát độ tuyến tính của chúng là cần thiết về dải hoạt động tin cậy của vật liệu đó. Độ tuyến tính của vật liệu TL phải thoả mãn công thức sau [28, 29]:

$$0,9 \leq \frac{\overline{E}_i \pm l_i}{C_i} \leq 1,1 \quad (1.3)$$

Trong đó,  $\overline{E}_i$  là giá trị trung bình của n liều kế ở một mức liều (mSv),  $C_i$  là giá trị liều chuẩn (mSv),  $l_i$  là độ rộng một nửa khoảng tin cậy của giá trị trung bình  $\overline{E}_i$  trong  $n_i$  phép đo.

### 1.3.4. Độ tự chiếu xạ theo thời gian khi lưu trữ vật liệu

Khảo sát mức độ tự chiếu xạ (Self- irradiation) của vật liệu nhằm khảo sát hiện tượng vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  bị chiếu xạ bởi các tác nhân phóng xạ có trong hoặc bị lẫn vào các thành phần cấu tạo nên vật liệu. Tiêu chuẩn đánh giá mức độ tự chiếu xạ của vật liệu LD dựa trên công thức sau:

$$(\overline{E} + l_s) - C_b \leq H \quad (1.4)$$

Trong đó,  $\overline{E}$  là giá trị trung bình tự chiếu xạ của n mẫu;  $C_b$  là phong giám sát tương ứng với khoảng thời gian lưu giữ của mẫu vật liệu;  $l_s$  là một nửa giá trị tin cậy của  $\overline{E}$ .

Đối với bức xạ photon [Hp(10)] thì giá trị tự chiếu xạ không vượt quá 0,1 mSv/tháng, giá trị đó tăng lên với cùng một hệ số tăng của thời gian đánh giá mức độ tự chiếu xạ. Ví dụ: khi thời gian đánh giá là 2 tháng thì giá trị tiêu chuẩn tự chiếu xạ sẽ không được vượt quá  $0,5 \times 2 = 1$  mSv.

Giá trị Hp(10) giá trị tiêu chuẩn tự chiếu xạ H không được vượt quá 0,2 mSv trong 2 tháng.

### 1.3.5. Sự suy giảm tín hiệu TL theo thời gian (fading)

Sự suy giảm tín hiệu theo thời gian (Fading) là sự mất tín hiệu không mong muốn hay là sự giải phóng tùy ý những electron (điện tử) ra khỏi bẫy trước khi quá trình đọc được thực hiện. Các quá trình nhiệt hoặc quang kích thích sự giải phóng điện tử chính là nguyên nhân gây ra quá trình suy giảm này. Cụ thể hơn, sự suy giảm tín hiệu là do nhiệt độ. Xác suất điện tử được giải phóng khỏi các tâm bẫy do nhiệt tuân theo phân bố Boltzman như sau [27]:

$$p = \frac{1}{\tau} = s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (1.5)$$

Trong đó: p là xác suất thoát khỏi bẫy của điện tử trong thời gian một giây ( $s^{-1}$ ), s là hệ số liên quan đến khuyết tật mạng, E là độ sâu của bẫy (eV), k là hằng số Boltzmann ( $k = 8,6 \cdot 10^{-5} \text{ eV} \cdot \text{K}^{-1}$ ), T là nhiệt độ của mẫu tính theo thang nhiệt độ tuyệt đối (K).

Thời gian bán rã của bẫy này là  $T_{1/2}$ , đây cũng là thời gian bán rã của đỉnh đường cong phát xạ tương ứng, nó được xác định là thời gian để số điện tử bị bẫy giảm đi một nửa giá trị ban đầu :

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{p} = \frac{\ln 2}{s \cdot e^{-\frac{E}{kT}}} \quad (1.6)$$

Sự suy giảm do nhiệt diễn ra mạnh đối với các điện tử bị bẫy ở các mức bẫy nông gần đáy của vùng dẫn.

Việc mất tín hiệu theo thời gian là một vấn đề quan trọng trong ứng dụng của liều kế nên cần được xem xét một cách kỹ càng để định rõ đặc trưng của từng loại vật liệu TL. Thông thường, việc nghiên cứu fading được khảo



sát trong khoảng từ 15 đến 30 ngày là đủ kết quả cho việc tính toán ra hệ số fading, tuy nhiên vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  được chế tạo mới hoàn toàn nên thời gian khảo sát cần dài hơn (90 ngày).

### 1.3.6. Tiêu chuẩn đánh giá các đặc trưng của liều kế

Tiêu chuẩn kỹ thuật được áp dụng để đánh giá các đặc trưng của TLD dựa trên các tiêu chuẩn của Ủy ban Kỹ thuật điện quốc tế (IEC) và các khuyến cáo của IAEA, ICRP. Tiêu chuẩn kỹ thuật áp dụng đối với các liều kế cá nhân thụ động TLD là IEC 1066:1991. Đến nay tiêu chuẩn kỹ này cũng đã được chỉnh sửa, tái bản và cập nhật (như tiêu chuẩn IEC 62387:2012). Việc đánh giá các đặc trưng của vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  trong luận văn sẽ sử dụng kết hợp hai tiêu chuẩn kỹ thuật này.

## 1.4. MỘT SỐ ĐẠI LƯỢNG VÀ ĐƠN VỊ DÙNG TRONG ĐỊNH LIỀU

### 1.4.1. Liều hấp thụ D

Liều hấp thụ D (Absorbed dose) là đại lượng đánh giá mức độ hấp thụ lượng bức xạ, được định nghĩa là phần năng lượng  $d\bar{\epsilon}$  được hấp thụ trong một đơn vị khối lượng vật chất [28, 29]:

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} \quad (1.7)$$

Trong đó:  $d\bar{\epsilon}$  là năng lượng trung bình mà bức xạ ion hóa truyền cho vật chất trong một thể tích nguyên tố,  $dm$  là khối lượng vật chất của thể tích đó.

Đơn vị liều hấp thụ trong hệ SI là Gray (Gy). Một Gy bằng năng lượng 1 J truyền cho 1 kg vật chất. Đơn vị cũ của liều hấp thụ là rad (Radiation absorbed dose) với  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad}$ .

Suất liều hấp thụ là liều hấp thụ tính trong một đơn vị thời gian, được tính bằng tỉ số:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \quad (1.8)$$

Với  $dD$  là sự thay đổi của liều hấp thụ trong khoảng thời gian  $dt$  (Gy/s hoặc Gy/min) [28, 29].

### 1.4.2. Liều tương đương

Liều tương đương (Equivalent dose –  $H_{T,R}$ ) - còn gọi là tương đương liều, là đại lượng dùng để đánh giá liều bức xạ trong một tổ chức mô/ cơ quan của cơ thể người và được xác định theo công thức như sau:

$$H_{T,R} = D_{T,R} \times W_R \quad (1.9)$$

Trong đó:  $D_{T,R}$  là liều hấp thụ do loại bức xạ R gây ra, lấy trung bình trên cơ quan hoặc tổ chức mô T;  $W_R$  là trọng số bức xạ của bức xạ loại R ( $W_R = 1$  đối với bức xạ photon, điện tử).

Đơn vị cũ của liều tương đương trong hệ SI là Rem (1 Rem = 0,01 J/kg) và đơn vị mới là Sievert (Sv); 1 Sv = 100 Rem = 1 J/kg.

Suất liều tương đương (Equivalent dose rate) là liều tương đương trên một đơn vị thời gian.

$$\dot{H} = \frac{dH_{T,R}}{dt} \quad (1.10)$$

### 1.4.3. Liều hiệu dụng

Liều hiệu dụng (Effective dose - E) là tổng liều tương đương của từng mô nhân với trọng số mô tương ứng tính cho tất cả các mô/cơ quan trong cơ thể, được xác định theo công thức (1.11) như sau :

$$E = \sum_T W_T H_T = \sum_T W_T \left( \sum_R W_R D_{T,R} \right) \quad (1.11)$$

Trong đó:  $H_T$  là liều tương đương của mô T,  $W_T$  là trọng số mô của mô T. Tổng được lấy cho tất cả các mô/cơ quan trong cơ thể ( $\sum W_T = 1$ ).

Liều hiệu dụng có đơn vị như liều tương đương (J/kg) và được gọi là Sievert (Sv); 1 Sv = 1 J/kg.

Suất liều hiệu dụng (Effective dose rate) là liều tương đương trên một đơn vị thời gian (đơn vị đo là J/kg/s hay Sv/s).

$$\dot{E} = \frac{dE}{dt} \quad (1.12)$$

#### 1.4.4. Tương đương liều cá nhân

Tương đương liều cá nhân (Personal dose equivalent) -  $H_p(d)$ , còn gọi là liều cá nhân tương đương, là tương đương liều trong mô mềm nằm dưới một điểm xác định của cơ thể người tại độ sâu thích hợp  $d$ .

Đối với bức xạ đâm xuyên yếu,  $d = 0,07$  mm được khuyến cáo để kiểm soát liều da thì tương đương liều cá nhân  $H_p(d)$  được viết là  $H_p(0,07)$  và  $d = 3$  mm để kiểm soát liều thủy tinh thể của mắt thì tương đương liều cá nhân  $H_p(d)$  được viết là  $H_p(3)$ .

Độ sâu  $d = 10$  mm được khuyến cáo đối với bức xạ đâm xuyên mạnh, tương đương liều cá nhân  $H_p(d)$  được viết thành  $H_p(10)$ . Trong lĩnh vực định liều cá nhân chiếu ngoài,  $H_p(10)$  được coi như liều hiệu dụng toàn thân.  $H_p(d)$  có thể được đo bằng một liều kế đeo trên bề mặt cơ thể (thường đeo ở phía trước ngực) và được bao phủ bằng vật liệu tương đương mô có độ dày thích hợp.

Trong nghiên cứu của luận văn, mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  (với nồng độ pha tạp 10%Tb) được chiếu xạ photon với các giá trị liều tương đương môi trường  $[H^*(d)]$  với độ đâm xuyên lớn ( $d = 10$  mm), hay  $H^*(10)$ .

## Chương 2. PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

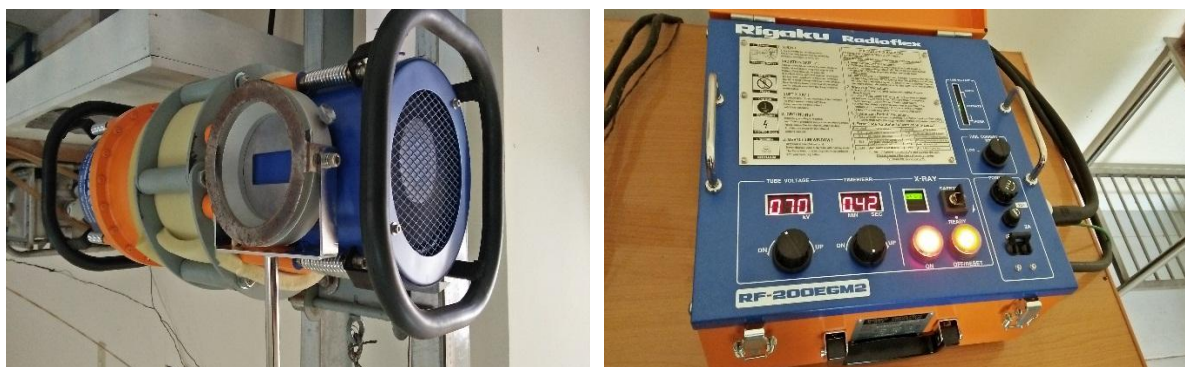
### 2.1. VẬT LIỆU VÀ TRANG THIẾT BỊ

#### 2.1.1. Vật liệu

Vật liệu nhiệt phát quang  $K_2GdF_5:Tb$  pha tạp với nồng độ 10% Tb được tổng hợp thành dạng bột bằng phương pháp phản ứng pha rắn tại Viện NCHN.

#### 2.1.2. Hệ chiếu chuẩn tia X

Hệ phát tia-X “RF-200EGM2” (hãng/nước: Rikaku/Nhật Bản) [26] được đặt tại Phòng chuẩn liều bức xạ cấp cơ sở (TSDL) của Viện NCHN (xem Hình 2.1), có một số đặc trưng chính được nêu trong Bảng 2.1.



*Hình 2.1. Hệ phát tia X “RF-200EGM2”*

*Bảng 2.1. Một số đặc trưng chính của máy phát tia X “RF-200EGM2”*

Điện cao áp	70 ~ 200 kV (bước thay đổi 2 kV)
Cường độ dòng điện	STD mode: 5 mA
	LOW mode ~ 4 mA
Cấu hình đầu bóng phát tia-X	Ống tia-X: Ceramic Kích thước tiêu điểm (danh định): 2x2 mm <sup>2</sup>
Tấm lọc tia cố định	Al 2mm + Be 1mm
Thời gian phát tia liên tục tối đa	9 min 59 s
Nguồn cấp	1 pha - AC 190–240 V 50/60Hz

### 2.1.3. Hệ chiếu chuẩn gamma Cs-137

Hệ chiếu chuẩn liều gamma dùng nguồn Cs-137 được đặt tại TSDL, bao gồm: Nguồn chuẩn gamma Cs-137, hệ định vị vị trí chiếu mẫu/đầu dò đo bằng tia laze, bàn chiếu chuẩn (xem Hình 2.2).

- Nguồn gamma Cs-137: Hoạt độ cỡ  $6,6 \cdot 10^9$  Bq hay 178,38 mCi (1982), và giảm còn cỡ  $2,56 \cdot 10^9$  Bq hay 69,19 mCi vào năm 2023. Nguồn này (dạng hình trụ cao 12,6 mm và đường kính 5,8 mm) được đặt ở tâm của khối che chắn (container) chì. Cửa sổ chì đóng/mở tự động bằng hệ thống điện tử ở phòng điều khiển bên ngoài.

- Hệ định vị vị trí bằng tia laze: Hệ này gồm hai đèn laze chiếu vuông góc nhau giúp xác định đúng tâm vị trí đặt mẫu/đầu dò sao cho trùng với tâm của nguồn chuẩn gamma.

- Bàn chiếu chuẩn: Bàn được làm bằng vật liệu gỗ, cao 1 m. Trên mặt bàn có kẻ các đường lưới dạng hình vuông, gồm 9x5 ô, mỗi ô vuông cạnh 20 cm, thể hiện tọa độ theo trục OX và OY. Trên bàn có dán thẻ đánh dấu vị trí tọa độ và sẽ được ghi như sau: X<số thứ tự ô theo trục OX>Y<số thứ tự ô theo trục OY>, điểm có tọa độ X6Y3 là tâm của bàn. Bàn được gắn trên hệ thống bánh xe, có đánh dấu vị trí tâm bàn ở chân bàn và có thể trượt trên một đường ray.



*Hình 2.2. Hệ chiếu chuẩn gamma dùng Cs-137*

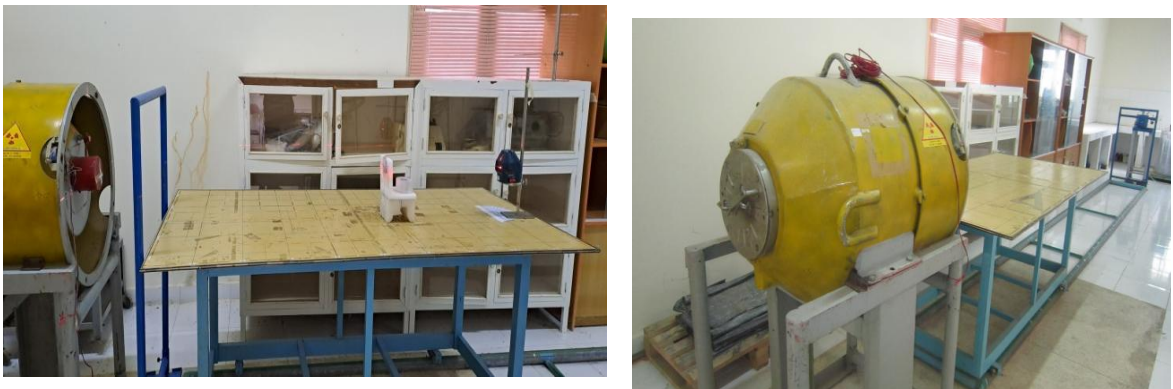
### 2.1.4. Hệ chiếu chuẩn gamma Co-60

Hệ chiếu chuẩn liều gamma dùng nguồn Co-60 được đặt tại TSDL (xem Hình 2.3), bao gồm:

- Nguồn Co-60 là một thỏi dạng trụ có đường kính 1,1 cm và cao 8 cm (được lấy từ thiết bị chiếu xạ “Issledovachel” của Liên Xô cũ). Hoạt độ nguồn cỡ 592 Ci (9/1985), và giảm còn cỡ 4,69 Ci (9/2022).

- Khối che chắn chì chứa nguồn là container chứa các nguồn của Liên Xô cũ. Ống chuẩn trực (tự tạo trước đây) có đường kính cỡ 2,5 cm và dài cỡ 25 - 30 cm. Nguồn được khi kéo lên vị trí tâm ống chuẩn trực để chiếu xạ mẫu bằng tay gạt.

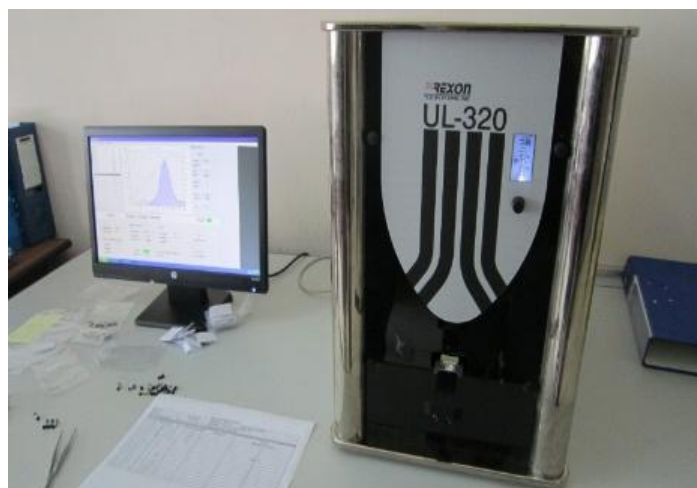
- Hệ định vị vị trí bằng tia laze: Hệ này gồm hai đèn laze chiếu vuông góc nhau giúp xác định đúng tâm vị trí đặt mẫu/đầu dò sao cho trùng với tâm của nguồn gamma.



*Hình 2.3. Hệ chiếu chuẩn gamma dùng Co-60*

### 2.1.5. Hệ đọc tín hiệu nhiệt phát quang Rexon UL-320

Hệ thiết bị đọc tín hiệu nhiệt phát quang Rexon UL-320 kết nối với phần mềm xử lý phổ TL chuyên dụng WinRex-320 (gọi tắt là hệ đọc liều Rexon UL-320).



**Hình 2.4.** Hệ đọc tín hiệu nhiệt phát quang Rexion UL-320

Hệ đọc liều Rexion UL-320 (Hãng Rexion, USA) (xem Hình 2.4) bao gồm: một máy đọc tín hiệu TL và một máy tính chạy hệ điều hành Windows XP có cài đặt phần mềm điều khiển, một màn hình VGA. Hệ này dùng để xác định liều bức xạ ( $\beta$ ,  $\gamma$ , neutron và tia-X) và được ứng dụng trong việc định liều bức xạ cá nhân. Hệ đọc liều Rexion UL-320 dùng cho các dạng vật liệu TL như dạng bột, dạng viên nén, dạng que, .... Phần mềm kèm theo chạy trên Windows XP cung cấp khả năng kiểm soát, cài đặt nhiều thông số khác nhau đối với các chất nhiệt phát quang khác nhau và khả năng xử lý, quản lý tập tin lưu trữ. Phần mềm có thể sử dụng độc lập với hệ đọc liều này, giúp việc phân tích số liệu đã đo chủ động hơn. Mẫu TL được đo tự động, nhiệt độ trong quá trình đo được xác định bằng cảm biến hồng ngoại. Khi chu trình TL hoàn thành, đường cong TL, nhiệt độ, số đếm sẽ được hiển thị và lưu trữ trong các tập tin phân tích. Hệ đọc liều Rexion UL-320 ghi nhận số tín hiệu photon ánh sáng (signal, count – hay còn gọi là số đếm) từ ống nhân quang điện của hệ đo mà không phải ghi nhận số điện tích (đơn vị là nC) như một số hệ đo liều TL khác.

Các thông số kỹ thuật cơ bản của hệ đọc liều Rexion UL-320 được trình bày trong Bảng 2.2.

**Bảng 2.2.** Thông số kỹ thuật cơ bản của hệ đọc liều Rexion UL-320

TT	Đặc tính kỹ thuật	Thông số
1	Nguồn điện, dòng	230 VAC/50 Hz, 0,7 A
2	Vật liệu TLD	Chíp, que, đĩa, viên, bột
3	Thời gian chu trình TLD	0 – 3 phút. Có thể điều chỉnh trong

TT	Đặc tính kỹ thuật	Thông số
		khoảng 1 s.
4	Hệ thống nung chất TL	Nung nóng trực tiếp với TTP 10 nút Độ chia nhiệt độ nhỏ nhất: 1 °C Dải nhiệt độ: đến 500 °C Kiểm soát nhiệt độ: 10 điểm Độ chính xác: 1 °C
5	Báo cáo số liệu TLD	Đường cong TL với độ chia 100 ms
6	Cao thế	0 – 2000 VDC
7	Điều kiện môi trường: Nhiệt độ Độ ẩm	5 °C đến 40 °C 5 – 95% không ngưng tụ
8	Lập trình chu kỳ nhiệt độ	Người dùng kiểm soát, có thể lập trình chu kỳ 10 điểm.

### 2.1.6. Cân điện tử

Mẫu vật liệu được cân bằng cân phân tích điện tử 4 số BP121S (độ chính xác  $d = 0,1$  mg, lượng cân tối đa là 220 gam) do hãng OCE sản xuất.



*Hình 2.5. Cân phân tích điện tử 4 số*

### 2.1.7. Lò nung

Lò nung của Hãng Nabertherm (Đức) có dải nung nhiệt độ từ 30 °C đến 1280 °C được trình bày trên Hình 2.6.



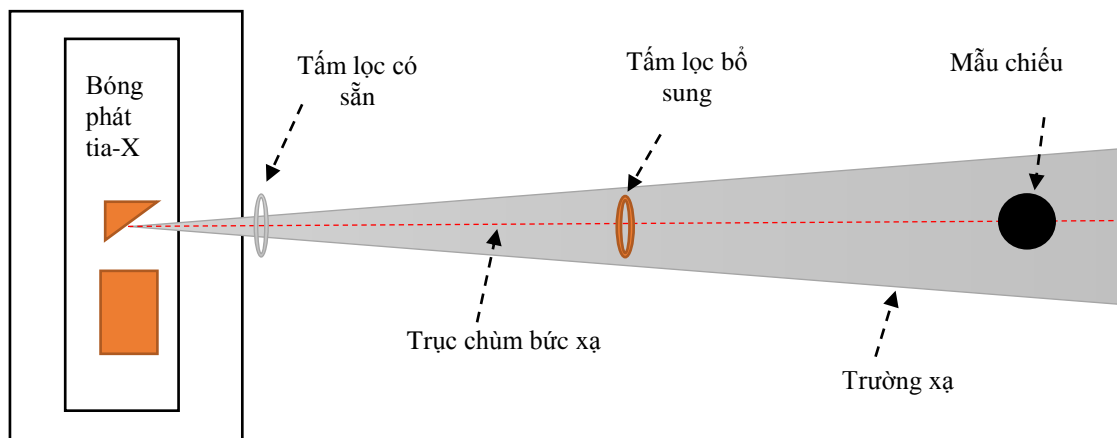


**Hình 2.6.** Lò nung mẫu vật liệu

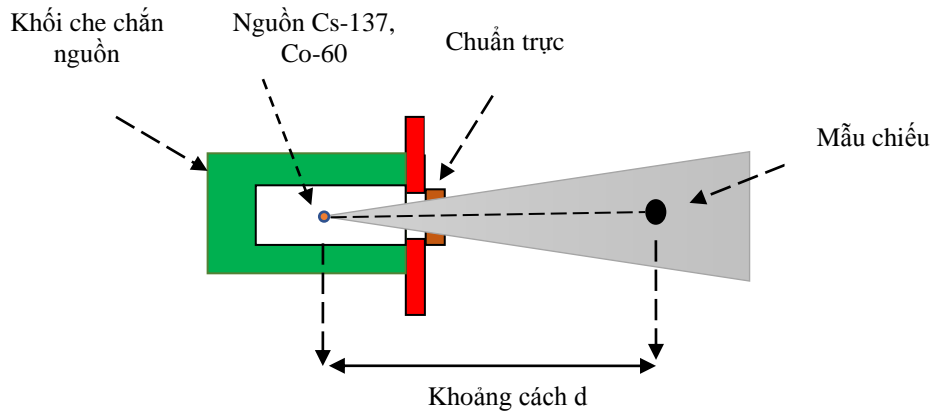
## 2.2. CHIẾU XẠ VÀ KHẢO SÁT CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA VẬT LIỆU

### 2.2.1. Bố trí thí nghiệm chiếu xạ mẫu vật liệu

Sơ đồ bố trí thí nghiệm chiếu xạ mẫu vật liệu trên máy phát tia-X “RF-200EGM2”, các hệ chiếu chuẩn gamma (Cs-137, Co-60) tại TSDL được trình bày tương ứng trên Hình 2.7 và Hình 2.8.



**Hình 2.7.** Sơ đồ bố trí thí nghiệm chiếu xạ mẫu trên máy phát tia-X.



**Hình 2.8.** Sơ đồ bố trí thí nghiệm chiếu xạ mẫu trên các hệ chiếu chuẩn Cs-137 và Co-60.

### 2.2.2. Chuẩn bị mẫu vật liệu

- Ủ nhiệt vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  dạng bột bằng lò nung ở nhiệt độ  $450\text{ }^\circ\text{C}$  với thời gian 10 giờ để xóa tín hiệu dư, sau đó cho mẫu nguội một cách tự nhiên đến nhiệt độ phòng và tiến hành nạp vật liệu vào tuýp mẫu.

- Các mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  dạng bột dùng để đo các đường cong TL (gọi tắt là phổ TL) đối với bức xạ photon. Vật liệu này đã được nghiên cứu chế tạo ở Viện NCHN và đã được sấy khô, được cân khối lượng bằng cân phân tích điện tử 4 số BP121S. Mỗi mẫu sau khi cân có khối lượng khoảng 20 mg (để phù hợp về hình học chứa mẫu bột trong khay đo của máy đọc liều Rexion UL-320), được đưa vào tuýp nhựa đen hình trụ có nắp (chiều cao ngoài 14 mm, đường kính ngoài 5 mm, chiều cao trong 8 mm, đường kính trong 2 mm) và được đánh số theo thứ tự. Sau đó, các tuýp nhựa chứa mẫu vật liệu (gọi tắt là mẫu) được chứa trong túi nilon để thực hiện chiếu xạ. Mỗi túi nilon (gọi là mẻ mẫu) chứa một số mẫu và chiếu với một loại bức xạ cần khảo sát (xem Hình 2.9). Khi chiếu xạ, các mẫu trong túi nilon được xếp sát nhau theo cùng một mặt phẳng để bảo đảm khi chiếu xạ thì các mẫu có cùng khoảng cách tính từ nguồn bức xạ, nằm trong trường xạ và được chiếu xạ với cùng một liều.



**Hình 2.9.** Mẫu vật liệu được chuẩn bị cho chiếu xạ.

### 2.2.3. Chiếu mẫu vật liệu

#### 2.2.3.1. Chiếu mẫu bằng hệ chiếu chuẩn tia-X

Sau khi chuẩn bị mẫu vật liệu, ta đặt mẫu vật liệu lên giá chiếu mẫu và đặt vào tâm trường chiếu máy phát tia-X “RF-200GM2” tại khoảng cách 1 m tính từ tâm của đầu máy phát tia-X.

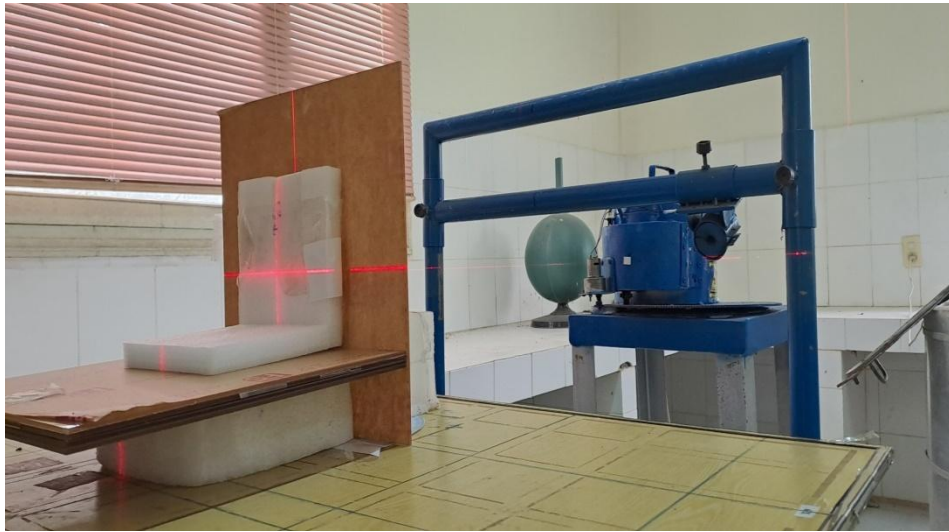
Để vận hành thiết bị ta phải cấp nguồn cho máy phát tia-X đảm bảo ổn định và đáp ứng công suất. Đối với máy phát tia-X ta thay đổi các thông số [điện áp (kV), thời gian t(s), dòng phát tia (mA), tấm lọc chùm tia (mmAl)] để thay đổi năng lượng và suất liều bức xạ của chùm tia-X phát ra từ ống phát tia. Trong luận văn này, thông số dòng phát không thay đổi (5 mA).



**Hình 2.10.** Bố trí thí nghiệm chiếu mẫu tia-X

#### 2.2.3.2. Chiếu mẫu bằng hệ chiếu chuẩn Cs-137

Sau khi chuẩn bị mẫu vật liệu, ta đặt mẫu vật liệu lên vị trí cố định và vào đúng tâm trường chiếu của nguồn Cs-137 tại khoảng cách 1 m tính từ tâm của đầu nguồn Cs-137.



**Hình 2.11.** *Bố trí thí nghiệm chiếu mẫu với bức xạ gamma (Cs-137)*

### 2.2.3.3. *Chiếu mẫu bằng hệ chiếu chuẩn Co-60*

Sau khi chuẩn bị mẫu vật liệu, ta đặt mẫu vật liệu lên giá chiếu mẫu và đặt vào tâm trường xạ của nguồn Co-60 tại khoảng cách xác định tính từ tâm của nguồn Co-60.

Mức liều càng lớn thì đặt mẫu vật liệu càng gần và thời gian chiếu càng lâu nhưng khoảng cách tối thiểu là 1 m để tránh tán xạ của thành ống chuẩn trực. Ta tính toán thời gian tương ứng với mỗi mức liều để có thời gian chiếu phù hợp với thời gian chiếu theo Bảng 2.3.

**Bảng 2.3.** *Thời gian chiếu tương ứng với các mức liều khác nhau từ nguồn gamma Co-60*

Mức liều (mSv)	1	5	10	15	20
Thời gian (s)	420	1680	4140	6300	8400



**Hình 2.12.** *Bố trí thí nghiệm chiếu mẫu với bức xạ gamma (Co-60)*

### **2.3.4. Khảo sát đáp ứng TL trên máy đọc liều Rexion UL-320**

#### *2.3.4.1. Bố trí thí nghiệm*

Các mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  sau khi đã chiếu xạ được đo phổ TL trên máy đọc liều Rexion UL-320 để khảo sát các đặc trưng về dải nhiệt độ/nhiệt độ đỉnh, cường độ TL/cường độ đỉnh và tốc độ gia nhiệt.

#### *2.3.4.2. Đo cường độ tín hiệu TL*

Các mẫu sau khi cân và nạp vào tuýp nhựa đen, sau đó thực hiện chiếu xạ với liều đã xác định, rồi đo trên máy đọc liều Rexion UL-320. Để nâng cao độ chính xác cũng như độ ổn định của hệ thống, cần bảo quản máy tránh độ ẩm cao và bật máy ít nhất 30 phút trước khi đo.

1. Đầu tiên để thực hiện một chu trình đo TLD ta phải đăng nhập vào hệ thống (xem Hình 2.13). Dùng tên đăng nhập mặc định “A1” và mật khẩu mặc định “1A” để đăng nhập.



**Hình 2.13.** *Màn hình đăng nhập của Rexion UL-320*

2. Sau các bước đăng nhập, màn hình điều khiển chính sẽ xuất hiện. Phía bên phải màn hình hiển thị trạng thái hiện tại của hệ thống (các trường System, N2, Drawer, Process File Name, Analysis File Name) (xem Hình 2.13).

System: 320-ONLINE: Máy đọc liều đang kết nối thành công với máy tính qua cổng RS232.

BIT-OK.

STATUS-OK.

N<sub>2</sub>: REQD (Nitrogen Required): “YES/NO”

VALVE: CLOSE

FLOW: OFF

Drawer:

Gồm 2 nút công cụ ”CLOSE” và “OPEN” dùng để “đóng” và “mở” giá đặt khay chứa mẫu.

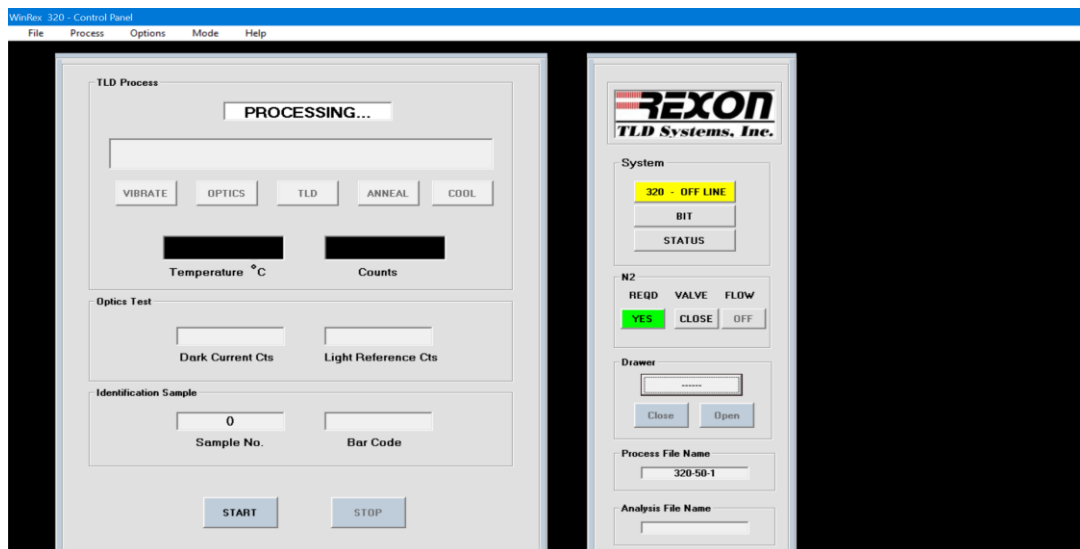
Process File Name:

Chọn File mẫu cho một chu trình TLD ( Có đuôi .TYP)

Analysis File Name:

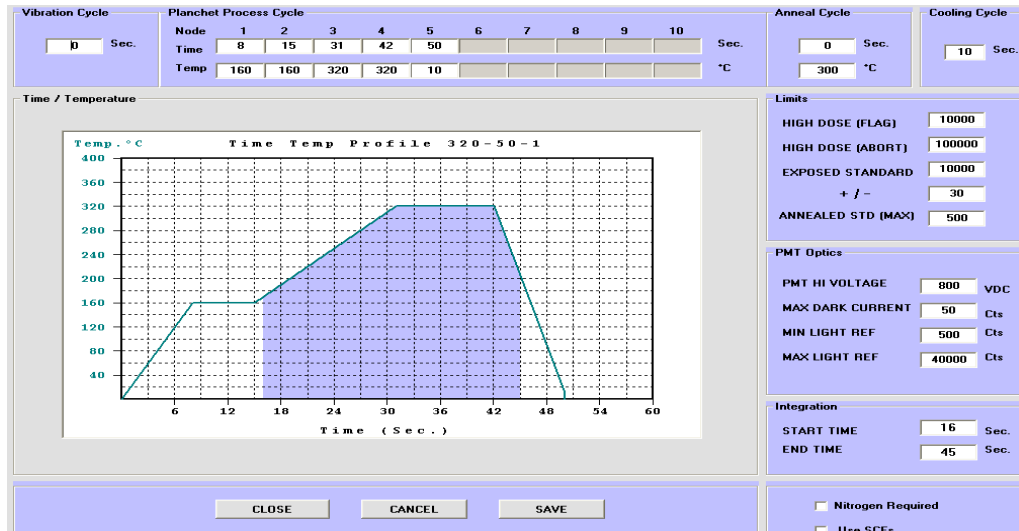
Chọn File Analysis cho một chu trình TLD, File này là nơi lưu lại thông tin các lần đo TLD (Có đuôi. ANL).

Màn hình bên trái hiển thị các số liệu đo của hệ thống theo thời gian đo: nhiệt độ, số đếm, mã số mẫu, mã số đĩa, ...



**Hình 2.14.** Màn hình điều khiển chính của Rexion UL-320

3. Tiếp theo, ta cài đặt các thông số TLD tùy vào từng loại và dạng vật liệu TL khác nhau. Trong màn hình điều khiển chính chọn Process, Process Definition. Màn hình sau sẽ được hiển thị (xem Hình 2.15).



**Hình 2.15.** Màn hình cài thông số chu trình TLD

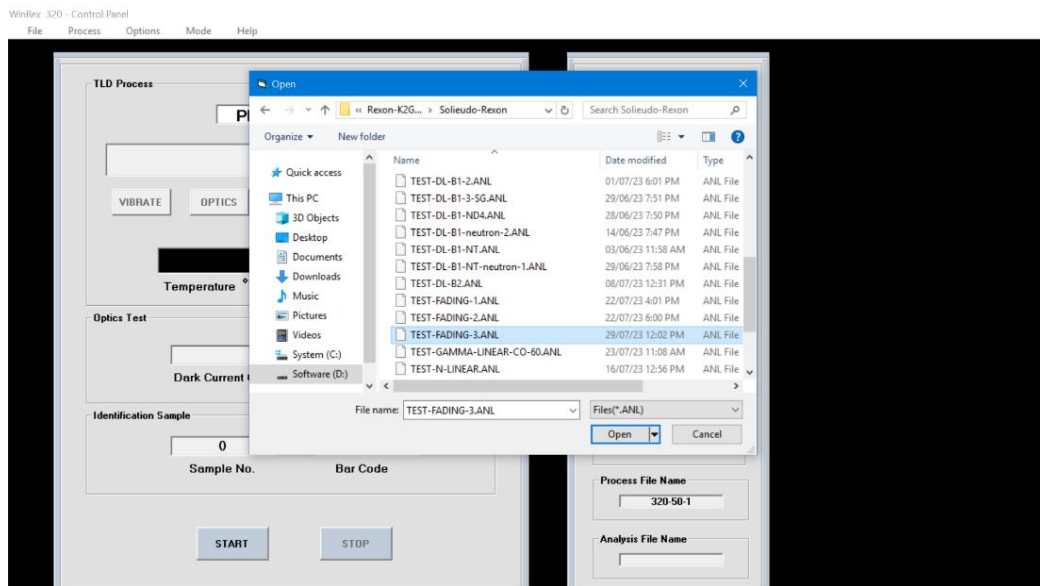
Thông số của một chu trình TLD như sau:

- Vibration Cycle (thời gian rung khay): 0-5 giây.
- Planchet Process Cycle: Cài đặt hồ sơ thời gian-nhiệt độ (Time-Temperature Profile, TTP) với 10 nút thời gian-nhiệt độ tương ứng. Với mỗi nút thời gian-nhiệt độ cài đặt, hồ sơ thời gian-nhiệt độ ở giữa màn hình sẽ thay đổi.
- Anneal Cycle: Cài đặt thời gian (giây) và nhiệt độ nung chất nhiệt quang trong máy.
- Colling Cycle: Cài đặt thời gian (giây) cho chu trình làm nguội chất nhiệt quang trong máy trước khi khay chứa mẫu đưa mẫu TLD đã đo ra ngoài.
- Integration: Cho phép cài đặt thời gian (giây) bắt đầu đếm (START TIME) và thời gian kết thúc đếm (END TIME) trong phép tính tích phân cường độ TL.

Khi các thông số trên thay đổi thì chúng phải được lưu lại với tên mới (đuôi .TYP). Để lưu lại với tên mới chọn “SAVE” và nhập tên file mới. Sau khi lưu chọn ”CLOSE” để quay về màn hình trước.

4. Sau khi đã cài đặt các thông số xong ta chọn vị trí để lưu tập tin số liệu sau khi đo và đặt tên cho tập tin đó. Chọn File, Open Analysis File (hoặc click vào ô trống Analysis File Name) một cửa sổ xuất hiện, tại đây cho phép người điều khiển xác định vị trí lưu tập tin và đặt tên cho tập tin.

Nhập tên tập tin Analysis mới vào ô File name và nhấn “OK” (Để dễ dàng hơn trong việc quản lý tập tin Analysis, tên tập tin thường đặt theo cấu trúc TLD DD-MM-YY và có đuôi .ANL). Phần mềm sẽ tạo tập tin mới và hiển thị trong trường Analysis File Name ở màn hình điều khiển chính (xem Hình 2.15).



**Hình 2.16.** Tạo tập tin Analysis

5. Bước cuối cùng chính là chu trình chạy mẫu. Vì thông tin chứa trong chất nhiệt phát quang chỉ được đo một lần duy nhất cho nên trước khi chạy chu trình đo TLD nên kiểm tra lại tất cả các thông số đã cài đặt phía trên.

Trên thanh công cụ, chọn Mode, Run Sample. Màn hình chạy mẫu sẽ xuất hiện và ta nhấn tiếp nút “RUN SAMPLE” màn hình sẽ chuyển sang màn hình điều khiển chính và hiển thị các thông tin, trạng thái của chu trình TLD (nhiệt độ, số đếm, ...).

Kết thúc chu trình đo, màn hình chính sẽ chuyển sang màn hình chạy mẫu và kết quả đo TLD được thêm vào danh sách bên trái màn hình.

Phần bên trái màn hình chạy mẫu hiển thị kết quả tất cả các lần đo. Chọn vào một trong các kết quả này thì toàn bộ thông tin trong lần đo đó sẽ hiển thị trên màn hình như: đường cong TL, số xung tín hiệu TL tổng, số xung tín hiệu TL tại đỉnh đo liều và những thông tin cơ bản khác...





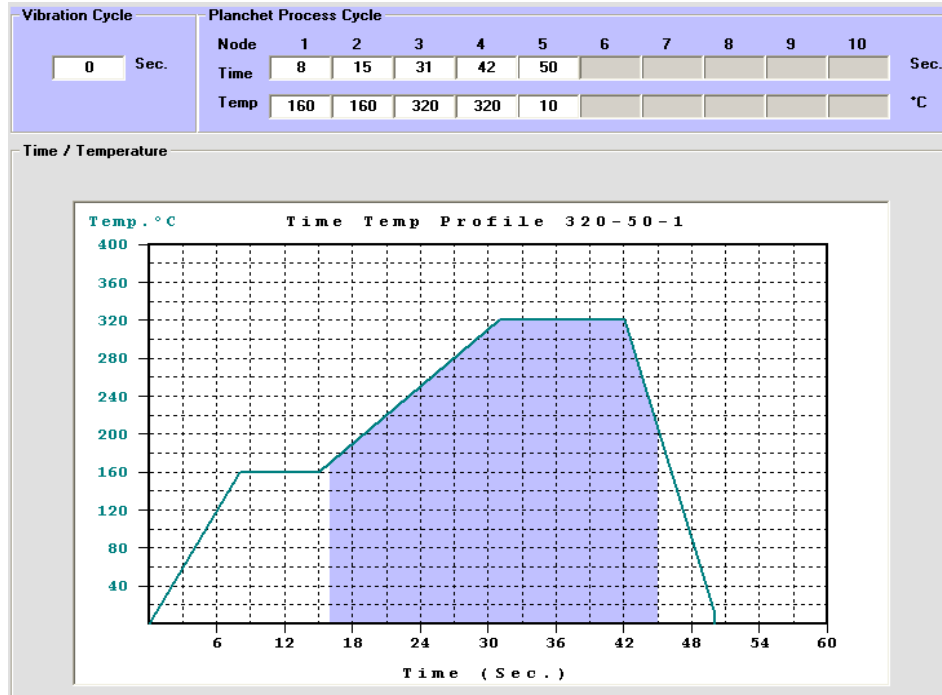
**Hình 2.17.** Màn hình kết quả đo

### 2.3.4.3. Khảo sát đáp ứng các đường cong TL trên máy đọc liều

Sau khi khảo sát các phổ TL của vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  chưa chiếu xạ (mẫu phong) và đã chiếu xạ, chu trình đo phổ TL tối ưu được chọn với những thông tin như sau:

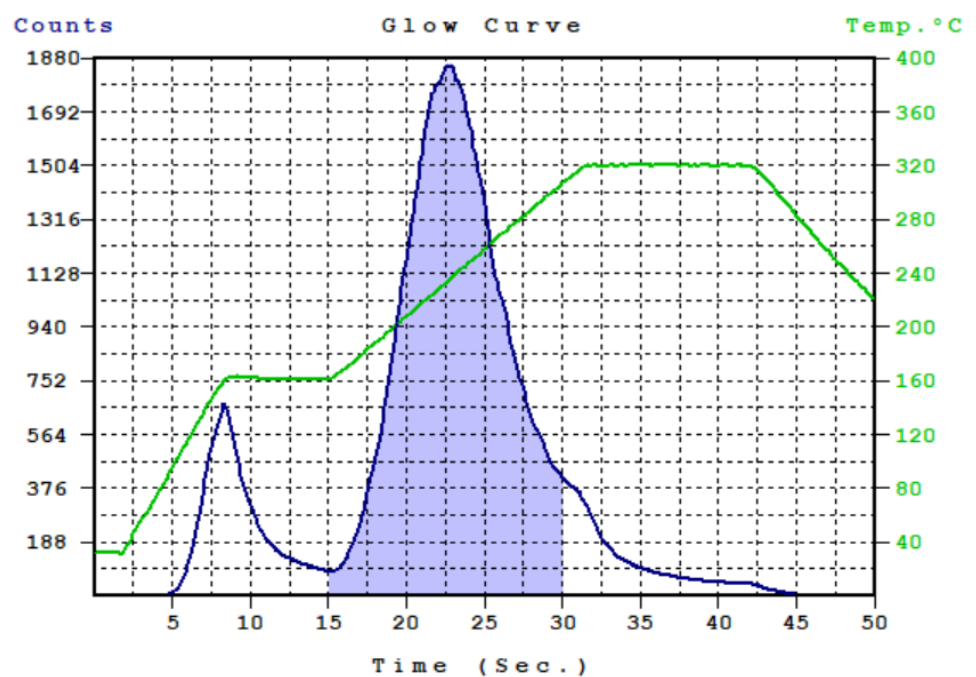
- Chu trình đo phổ TL gồm 5 bước (node):
  - + Bước 1 với thời gian 8 giây (s) để tăng nhiệt độ từ nhiệt độ môi trường đến  $160\text{ }^\circ\text{C}$  (tốc độ gia nhiệt là  $17,5\text{ }^\circ\text{C/s}$ );
  - + Bước 2 với thời gian 7 s để giữ nhiệt độ ở  $160\text{ }^\circ\text{C}$ ;
  - + Bước 3 với thời gian 5 s tăng nhiệt độ từ  $160\text{ }^\circ\text{C}$  đến  $320\text{ }^\circ\text{C}$  (tốc độ gia nhiệt là  $10\text{ }^\circ\text{C/s}$  – Đây là bước gia nhiệt chính);
  - + Bước 4 với thời gian 11 s để giữ nhiệt độ ở  $320\text{ }^\circ\text{C}$ ;
  - + Bước 5 với thời gian 8 s để giảm nhiệt độ từ  $320\text{ }^\circ\text{C}$  đến nhiệt độ môi trường (tốc độ giảm nhiệt là  $37,5\text{ }^\circ\text{C/s}$ ).

Chu trình đo phổ này được sử dụng để đo phổ TL các mẫu vật liệu tiếp theo. Kết quả khảo sát phổ TL của các mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  đối với bức xạ photon (tia-X, Cs-137, Co-60).

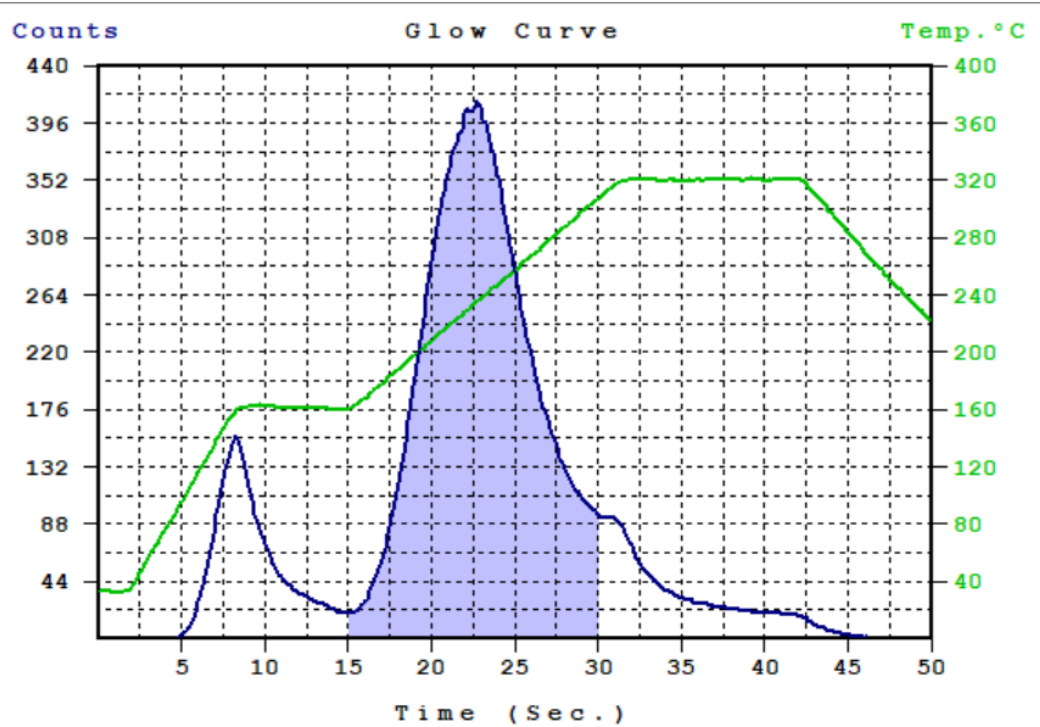


**Hình 2.18.** Chu trình đo phổ TL của vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$ .

Áp dụng chu trình đo như Hình 2.18 để đo mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  đã được chiếu xạ photon (tia-X, gamma), kết quả thu nhận được phổ tín hiệu TL của mẫu đáp ứng với photon như Hình 2.19 (phổ TL đối với tia-X), Hình 2.20 (phổ TL đối với gamma).



**Hình 2.19.** Phổ tín hiệu TL của  $K_2GdF_5:Tb$  chiếu xạ tia-X



**Hình 2.20.** Phổ tín hiệu TL của  $K_2GdF_5:Tb$  chiếu xạ gamma

Thông qua hình ảnh các phổ tín hiệu TL của mẫu đối với bức xạ photon, ta nhận thấy rằng phổ TL gồm 02 đỉnh (đỉnh phụ và đỉnh chính): đỉnh phụ xuất hiện tại nhiệt độ khoảng  $160\text{ }^\circ\text{C}$  và đỉnh chính tại nhiệt độ khoảng  $230\text{ }^\circ\text{C}$ . Đỉnh phổ chính nằm trong dải nhiệt độ thường áp dụng để định liều bức xạ. Hình dạng đỉnh khá cân đối giữa sườn lên và sườn xuống của đỉnh phổ.

### 2.3.5. Khảo sát các đặc trưng của vật liệu

#### 2.3.5.1. Độ lặp lại về liều bức xạ

Việc khảo sát độ lặp lại về liều xạ theo những giá trị liều photon chiếu chuẩn khác nhau được tiến hành với các bước như sau:

Chuẩn bị 02 nhóm mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  đã được ủ nhiệt để xoá hết tín hiệu nội tại trong mẫu với số lượng 10 mẫu/nhóm với khối lượng bằng nhau ( $20\text{ mg/mẫu}$ ).

- Lấy nhóm mẫu thứ nhất chiếu bức xạ tia-X (tại  $100\text{ kV}$  hay  $83,3\text{ keV}$ ) và nhóm mẫu thứ hai chiếu bức xạ gamma (nguồn Co-60, năng lượng  $1250\text{ keV}$ ) với cùng một mức liều bức xạ là  $10\text{ mSv}$ .

- Hoàn thành quá trình chiếu mẫu, lưu cả hai nhóm mẫu vào buồng chì trong khoảng thời gian 24 giờ để chờ mẫu chiếu đạt trạng thái ổn định.

- Thực hiện đo tín hiệu TL của các mẫu đã được chiếu xạ bằng hệ đọc Rexion UL-320.

- Sau đó ủ nhiệt tất cả các mẫu để xoá hết tín hiệu dư trong mẫu đo.

- Tiến hành lặp lại việc chiếu xạ và đo mẫu và quá trình này được lặp lại 10 lần.

- Xử lý số liệu đo đạc và kết quả của việc khảo sát phải đáp ứng tiêu chí về độ lặp lại được quy định trong tiêu chuẩn IEC 1066:1991 (nhỏ hơn hoặc bằng 7,5%).

#### 2.3.5.2. Ngưỡng liều cực tiểu

Việc xác định ngưỡng liều cực tiểu (ngưỡng xác định) cho phép biết được mức liều nhỏ nhất mà hệ đo có thể ghi nhận được từ vật liệu. Quá trình xác định ngưỡng liều cực tiểu được tiến hành với các bước như sau:

- Chuẩn bị 01 nhóm mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  đã được ủ nhiệt để xoá hết tín hiệu nội tại trong mẫu với số lượng 10 mẫu/nhóm với khối lượng bằng nhau (20 mg/mẫu).

- Sau khi hoàn thành quá trình ủ nhiệt các mẫu, chờ khoảng thời gian 24 giờ để chờ mẫu chiếu đạt trạng thái ổn định và tiến hành đọc mẫu lần thứ nhất bằng hệ đọc Rexion UL-320.

- Lưu mẫu đã đo và bảo quản mẫu tại nơi đảm bảo không ảnh hưởng bởi nhiệt độ, ánh sáng, độ ẩm.

- Sau khoảng thời gian 30 ngày, tiến hành đo các mẫu lần thứ hai.

- Thực hiện đo tín hiệu TL của các mẫu đã được chiếu xạ bằng hệ đọc tín Rexion UL-320.

- Tập hợp số liệu của hai lần đo để xử lý số liệu đo đạc và kết quả của việc khảo sát phải đáp ứng tiêu chí về ngưỡng liều cực tiểu được quy định trong tiêu chuẩn IEC 1066:1991 (nhỏ hơn hoặc bằng 0,1 mSv).

### 2.3.5.3. Dải liều tuyến tính

Việc khảo sát độ đáp ứng tuyến tính liều bức xạ photon của vật liệu được tiến hành với các bước như sau:

- Chuẩn bị 08 nhóm mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  đã được ủ nhiệt để xoá hết tín hiệu nội tại trong mẫu với số lượng 10 mẫu/nhóm với khối lượng bằng nhau (20 mg/mẫu).

- Lấy 04 nhóm mẫu đầu tiên (nhóm 1 – nhóm 4) chiếu bức xạ tia-X (100 kV) với các mức liều bức xạ lần lượt là 0,1 mSv, 1 mSv, 10 mSv và 20 mSv.

- Tiếp tục lấy 04 nhóm mẫu còn lại (nhóm 5 – nhóm 8) chiếu bức xạ gamma (nguồn Co-60, năng lượng trung bình 1250 keV) với các mức liều bức xạ lần lượt là 0,1 mSv, 1 mSv, 10 mSv và 20 mSv.

- Hoàn thành quá trình chiếu mẫu, lưu cả hai nhóm mẫu vào buồng chì trong khoảng thời gian 24 giờ để chờ mẫu chiếu đạt trạng thái ổn định.

- Thực hiện đo tín hiệu TL của các mẫu đã được chiếu xạ bằng hệ đọc REXON UL-320.

- Xử lý số liệu đo đạc và kết quả của việc khảo sát phải đáp ứng tiêu chí về độ đáp ứng tuyến tính liều bức xạ photon được quy định trong tiêu chuẩn IEC 1066:1991 ( $0,9 \leq R_{esp-linear} \leq 1,1$ ).

- Vẽ đồ thị biểu diễn độ đáp ứng tuyến tính liều bức xạ photon của vật liệu theo liều chiếu xạ

### 2.3.5.4. Sự phụ thuộc của liều bức xạ vào năng lượng photon

Do bản chất của vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  có số nguyên tử hiệu dụng ( $Z_{eff} > 20$ ) lớn hơn số nguyên tử hiệu dụng của mô cơ thể người ( $Z_{eff} \approx 7,4$ ) nên trong lĩnh vực an toàn bức xạ cần phải xác định thông số độ phụ thuộc năng lượng của vật liệu đối với các loại bức xạ có năng lượng khác nhau. Quá trình này được thực hiện như sau:

- Để thực hiện khảo sát thông số này đối với bức xạ photon, ta chuẩn bị 08 nhóm mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$ , mỗi nhóm gồm 10 mẫu với khối lượng bằng nhau (20 mg).

- Thực hiện chiếu xạ lần lượt 08 nhóm mẫu này với 08 phẩm chất bức xạ photon có năng lượng khác nhau (mỗi nhóm mẫu chỉ chiếu một phẩm chất bức xạ): bức xạ tia-X (N40, N60, N80, N100, N120 và N170 tương ứng với các mức năng lượng trung bình là 33,3; 47,9; 65,2; 83,3; 109 và 149 keV), bức xạ gamma của nguồn Cs-137 (662 keV) và bức xạ gamma của nguồn Co-60 (1250 keV).

- Sau đó tiến hành đo tất cả các nhóm mẫu đã được chiếu xạ photon và xử lý số liệu đo để so sánh độ chênh lệch giữa số đếm của mẫu được chiếu xạ đối với bức xạ gamma của nguồn phóng xạ Cs-137 (662 keV) và các số đếm của mẫu được chiếu xạ đối với bức xạ tia-X (N40, N60, N80, N100, N120 và N170), bức xạ gamma của nguồn phóng xạ Co-60 (năng lượng 1250 keV).

- Vẽ đồ thị biểu diễn độ phụ thuộc năng lượng của vật liệu đối với các loại bức xạ có năng lượng khác nhau của vật liệu.

#### 2.3.5.5. Độ tự chiếu xạ theo thời gian khi lưu trữ vật liệu.

Khảo sát độ tự chiếu xạ theo thời gian của vật liệu được tiến hành với các bước như sau:

- Chuẩn bị 02 nhóm mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  đã được ủ nhiệt để xóa hết tín hiệu nội tại trong mẫu với số lượng 10 mẫu/nhóm với khối lượng bằng nhau (20 mg/mẫu);

○ Nhóm mẫu thứ nhất (nhóm 1) đóng vai trò là mẫu phong, được lưu trữ trong buồng chì cùng với mẫu khảo sát;

○ Nhóm mẫu thứ hai (nhóm 2) đóng vai trò là mẫu khảo sát độ tự chiếu xạ, được lưu trữ trong buồng chì cùng với mẫu phong;

- Lưu giữ cả hai nhóm mẫu trong buồng chì trong khoảng thời gian 30 ngày;

- Thực hiện đo tín hiệu TL của cả hai nhóm mẫu bằng hệ đọc tín hiệu nhiệt phát quang REXON UL-320;

- Xử lý số liệu đo đạc và kết quả của việc khảo sát phải đáp ứng tiêu chí về độ tự chiếu xạ của vật liệu được quy định trong tiêu chuẩn IEC 1066:1991 (nhỏ hơn hoặc bằng 0,1 mSv).

### 2.3.5.6. Sự giảm tín hiệu TL theo thời gian (fading)

Ta thực hiện đánh giá được mức độ suy giảm tín hiệu không mong muốn do bản chất của vật liệu cũng như các điều kiện ảnh hưởng của môi trường. Đối với vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  ta thực hiện khảo sát ít nhất 90 ngày để đảm bảo kết quả (có thể khảo sát với thời gian dài hơn nếu có điều kiện về thời gian).

- Chuẩn bị 07 nhóm mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  đã được ủ nhiệt để xóa hết tín hiệu nội tại trong mẫu với số lượng 10 mẫu/nhóm với khối lượng bằng nhau (20 mg/mẫu); Các mẫu được lưu trữ trong buồng chì để tránh tác động đến từ bức xạ môi trường.

- Thực hiện chiếu bức xạ của nguồn tia-X (100 kV hay 83,3 keV) và nguồn gamma Co-60 (1250 keV) với cùng một giá trị liều chuẩn là 3 mSv.

- Hoàn thành quá trình chiếu mẫu, lưu các nhóm mẫu vào buồng chì trong khoảng thời gian 24 giờ để chờ mẫu chiếu đạt trạng thái ổn định;

- Thực hiện đo tín hiệu TL của các nhóm mẫu bằng hệ đọc liều Rexion UL-320 tại các thời điểm khác nhau, cụ thể như sau:

- + Nhóm 1: 1 ngày sau khi chiếu.
- + Nhóm 2: 7 ngày sau khi chiếu.
- + Nhóm 3: 14 ngày sau khi chiếu.
- + Nhóm 4: 21 ngày sau khi chiếu.
- + Nhóm 5: 30 ngày sau khi chiếu.
- + Nhóm 6: 60 ngày sau khi chiếu.
- + Nhóm 7: 90 ngày sau khi chiếu.

Sau khi hoàn thành quá trình đo tất cả các mẫu khảo sát, tiến hành xử lý số liệu để xác định tỉ lệ phần trăm và vẽ đồ thị biểu diễn độ suy giảm tín hiệu nhiệt phát quang theo thời gian của vật liệu.

### Chương 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. ĐỘ LẶP LẠI VỀ LIỀU

Sử dụng hệ thống đọc liều Rexion UL-320 đo các mẫu  $K_2GdF_5:Tb$  để khảo sát độ lặp lại của mẫu. Kết quả đo của 10 lần đo lặp lại được trình bày tại phần Phụ lục 1 (kí hiệu M: Mẫu chiếu). Tất cả các mẫu vật liệu đều lấy khối lượng 20 mg và mức liều là 10 mSv. Sau đây là bảng kết quả số đo trung bình của 10 lần đo đối với mẫu chiếu tia-X và tia gamma.

##### 3.1.1. Bức xạ tia-X

*Bảng 3.1. Tổng hợp số liệu đo trung bình của 10 lần đo khảo sát độ lặp lại (đối với tia-X)*

Stt	Tên mẫu	Số đếm trung bình (counts)
1	Lần đo thứ 01	122.700
2	Lần đo thứ 02	121.011
3	Lần đo thứ 03	123.437
4	Lần đo thứ 04	126.684
5	Lần đo thứ 05	124.309
6	Lần đo thứ 06	122.774
7	Lần đo thứ 07	128.540
8	Lần đo thứ 08	124.124
9	Lần đo thứ 09	123.450
10	Lần đo thứ 10	123.097
	<b>Trung bình (counts)</b>	<b>124.013</b>
	<b>SD</b>	<b>2037</b>
	<b>CV (%)</b>	<b>1,64</b>
	<b>Độ lặp lại</b>	<b>0,020</b>



**Nhận xét:**

- Kết quả tính toán độ lặp lại số đo của các mẫu chiếu tia-X qua mỗi lần đo đều đáp ứng tiêu chí quy định theo tiêu chuẩn IEC 1066:1991 (độ lặp lại  $\leq 0,075$ ).

- Kết quả tính toán độ lặp lại số đo trung bình của các mẫu chiếu tia-X qua 10 lần đo lặp lại cũng đáp ứng tiêu chí quy định theo tiêu chuẩn IEC 1066:1991 (độ lặp lại  $\leq 0,075$ ).

**3.1.2. Bức xạ gamma (nguồn Co-60)**

Đo tất cả nhóm mẫu vật liệu 10 lần, kết quả 10 lần đo được nêu tại Phụ lục 2. Bảng 3.2 trình bày kết quả trung bình của 10 lần đo.

**Bảng 3.2.** Tổng hợp số liệu đo trung bình của 10 lần đo khảo sát độ lặp lại (đối với tia gamma)

<b>Stt</b>	<b>Tên mẫu</b>	<b>Số đếm trung bình (counts)</b>
1	Lần đo thứ 01	17.904
2	Lần đo thứ 02	17.981
3	Lần đo thứ 03	17.929
4	Lần đo thứ 04	18.026
5	Lần đo thứ 05	18.011
6	Lần đo thứ 06	17.289
7	Lần đo thứ 07	18.338
8	Lần đo thứ 08	18.225
9	Lần đo thứ 09	17.788
10	Lần đo thứ 10	18.360
	<b>Trung bình (counts)</b>	<b>17.985</b>
	<b>SD</b>	<b>293</b>
	<b>CV (%)</b>	<b>1,63</b>
	<b>Độ lặp lại</b>	<b>0,020</b>

**Nhận xét:**

- Kết quả tính toán độ lặp lại số đo của các mẫu chiếu bức xạ gamma qua mỗi lần đo đều đáp ứng tiêu chí quy định theo tiêu chuẩn IEC 1066:1991 (độ lặp lại  $\leq 0,075$ ).

- Kết quả tính toán độ lặp lại số đo trung bình của các mẫu chiếu bức xạ gamma qua 10 lần đo lặp lại cũng đáp ứng tiêu chí quy định theo tiêu chuẩn IEC 1066:1991 (độ lặp lại  $\leq 0,075$ ).

**3.2. NGUỠNG LIỀU CỰC TIỂU**

Thực hiện khảo sát ngưỡng liều cực tiểu của vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$ , ta chuẩn bị 01 nhóm mẫu vật liệu gồm 10 mẫu đã được ủ nhiệt để xoá hết tín hiệu nội tại trong mẫu. Sau khi hoàn thành ủ mẫu, chờ khoảng 24 giờ và tiến hành đọc mẫu lần thứ nhất bằng hệ đọc liều REXON UL-320. Lần đo thứ hai được thực hiện sau thời gian 30 ngày.

**Bảng 3.3. Ngưỡng liều cực tiểu của vật liệu**

Stt	Tên mẫu	Số đo N1 - lần đo thứ nhất (counts)	Số đếm N2 - lần đo thứ hai (sau 30 ngày) (counts)	Số đếm tính cho 01 ngày (counts)
1	Mẫu -01	15.38	34.036	1.135
2	Mẫu -02	1.485	33.763	1.125
3	Mẫu -03	1.493	33.563	1.119
4	Mẫu -04	1.515	33.669	1.122
5	Mẫu -05	1.531	34.057	1.135
6	Mẫu -06	1.578	33.167	1.106
7	Mẫu -07	1.583	33.510	1.117
8	Mẫu -08	1.501	34.434	1.148
9	Mẫu -09	1.501	34.767	1.159
10	Mẫu -10	1.697	33.351	1.112
	<b>Trung bình <math>\bar{N}_{30days}</math>(counts)</b>		<b>33.832</b>	<b>1.128</b>

	<b>Độ lệch chuẩn SD<sub>30 days</sub></b> (counts)		<b>495</b>	<b>17</b>
	<b>Trung bình/tháng</b> $\bar{N}_{\text{month}}$ (counts)		<b>34.301</b>	
	<b>Độ lệch chuẩn SD/tháng</b> <b>SD<sub>month</sub></b> (counts)		<b>502</b>	
	<b>SD<sub>month</sub> * SD<sub>30 days</sub> / <math>\bar{N}_{30\text{days}}</math></b> (counts)		<b>7,357</b>	
	<b>Độ không đảm bảo đo</b> <b>Uc (counts)</b>	<b>502,402</b>		
	<b>Ngưỡng số đếm phát hiện cực</b> <b>tiểu (counts)</b>	<b>1135,429</b>		
	<b>Ngưỡng liều phát hiện cực</b> <b>tiểu (mSv)</b>	<b>0,095</b>		

**Nhận xét:** Kết quả khảo sát và tính toán ngưỡng phát hiện cực tiểu đối với liều bức xạ của vật liệu K<sub>2</sub>GdF<sub>5</sub>:Tb đã thỏa mãn tiêu chí quy định của tiêu chuẩn quốc tế IEC 1066:1991:

$$\left(t \frac{\alpha}{2} .SD\right) = 0,095 \text{ mSv} \leq H; \text{ với } H = 0,1 \text{ mSv}$$

### 3.3 DẢI ĐÁP ỨNG LIỀU TUYẾN TÍNH

Sau khi cho 03 nhóm mẫu vật liệu K<sub>2</sub>GdF<sub>5</sub>:Tb với số lượng 10 mẫu/nhóm (khối lượng 20 mg/mẫu) chiếu xạ với bức xạ tia-X và tia gamma với các mức liều lần lượt là 0,1 mSv, 1 mSv, 10 mSv và 20 mSv, rồi đo tín hiệu TL của các mẫu đã được chiếu xạ.

### 3.3.1. Bức xạ tia-X

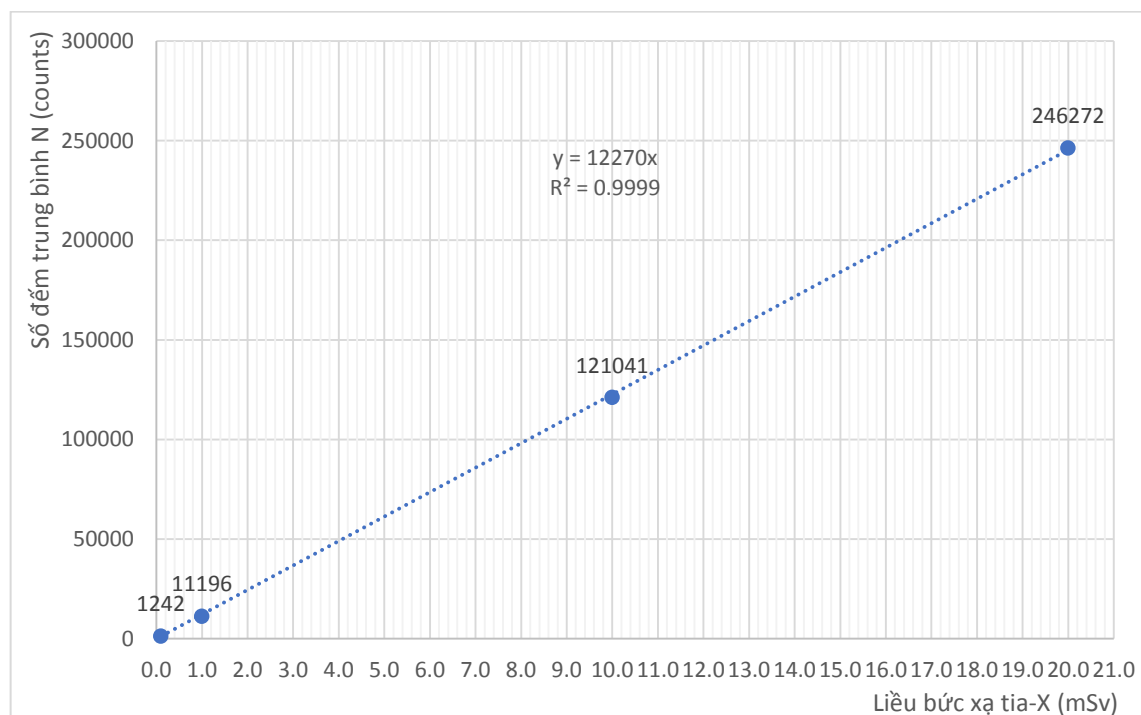
**Bảng 3.4.** Số liệu đo mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  đối với 04 mức liều chiếu mẫu khác nhau (0,1 – 20 mSv) của bức xạ tia-X (100 kV)

STT	Tên mẫu vật liệu	Khối lượng (mg)	Số đo N đối với các mức liều chiếu chuẩn khác nhau (counts)			
			0,1 mSv	1 mSv	10 mSv	20 mSv
1	M-X-ray-01	20	1.310	11.016	126.319	217.897
2	M-X-ray-02	20	1.348	10.708	115.994	249.172
3	M-X-ray-03	20	1.161	11.622	123.866	245.859
4	M-X-ray-04	20	1.247	12.287	125.592	242.966
5	M-X-ray-05	20	1.199	12.556	116.523	256.830
6	M-X-ray-06	20	1.233	11.527	119.995	244.553
7	M-X-ray-07	20	1.129	10.581	121.816	231.622
8	M-X-ray-08	20	1.297	10.164	123.061	264.795
9	M-X-ray-09	20	1.240	11.597	115.693	254.722
10	M-X-ray-10	20	1.258	9.901	121.551	254.304
<b>Trung bình</b>			1.242	11.196	121.041	246.272
<b>Độ lệch chuẩn SD</b>			67	875	3.903	13.469

**Bảng 3.5.** Kết quả đáp ứng tuyến tính liều của mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  đối với bức xạ tia-X (100 kV)

Stt	Liều chiếu mẫu (mSv)	Số đếm trung bình $\bar{N}$ (counts)	Độ lệch chuẩn SD (counts)	Độ rộng một nửa khoảng tin cậy 95% $l$ (counts)	Số đếm quy ước C (counts)	Tiêu chí IEC 1066:1991	
						$\frac{\bar{N} - l}{C} \geq 0,9$	$\frac{\bar{N} + l}{C} \leq 1,1$
1	0,1	1.242	67	48	1.227	0,97	1,05
2	1,0	11.196	875	625	12.270	0,86	0,96
3	10,0	121.041	3.903	2.789	122.700	0,96	1,01
4	20,0	246.272	13.469	9.626	245.400	0,96	1,04

Từ số liệu của Bảng 3.5, vẽ được đồ thị biểu diễn đáp ứng tuyến tính liều bức xạ tia-X, được trình bày trên Hình 3.1.



**Hình 3.1.** Đồ thị biểu diễn đáp ứng tuyến tính liều bức xạ của mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  đối với bức xạ tia-X (100 kV) (dài liều từ 0,1 – 20 mSv)

**Nhận xét:** Quan sát Hình 3.1, ta thấy rằng đồ thị biểu diễn đáp ứng tuyến tính liều có hệ số tương quan  $R^2$  xấp xỉ bằng 1 ( $R^2 = 0,9999$ ), điều này chứng tỏ là vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  đáp ứng tuyến tính tốt về liều bức xạ và kết quả tính toán khoảng tin cậy 95% giá trị trung bình của số đếm ứng với các mức liều tia-X từ 0,1 mSv đến 20 mSv đều thỏa mãn tiêu chí đáp ứng tuyến tính liều của tiêu chuẩn IEC 1066:1991.

### 3.3.2. Bức xạ gamma

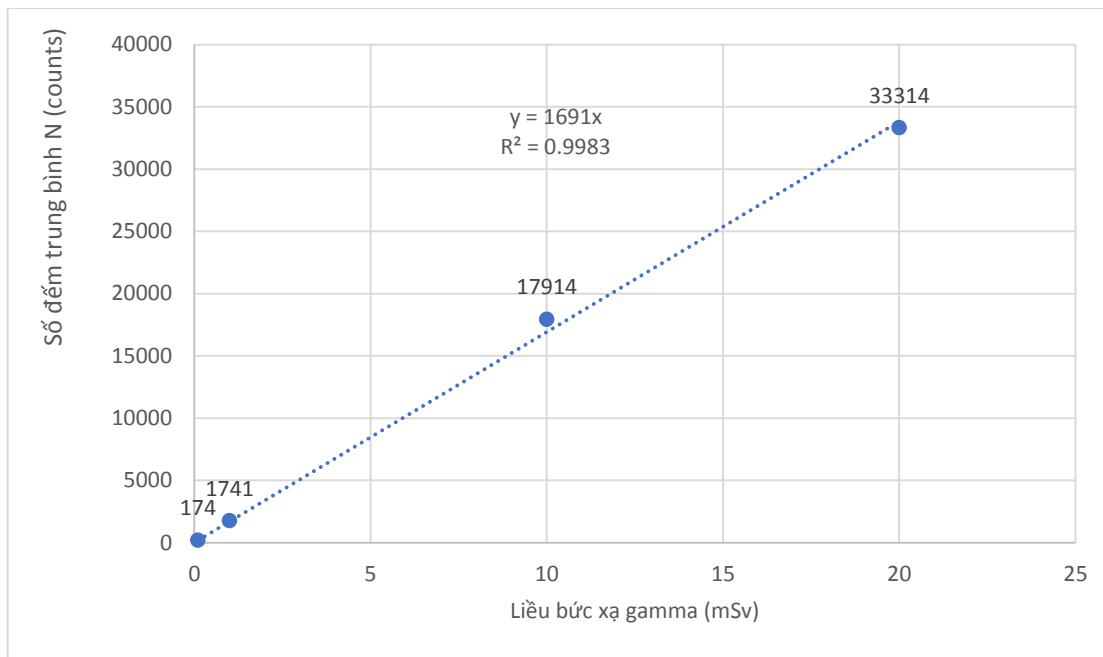
**Bảng 3.6.** Số liệu đo mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  đối với 04 mức liều chiếu mẫu khác nhau (0,1 – 20 mSv) của bức xạ gamma Co-60 (1250 keV)

STT	Tên mẫu vật liệu	Khối lượng (mg)	Số đo N đối với các mức liều chiếu chuẩn khác nhau (counts)			
			0,1 mSv	1 mSv	10 mSv	20 mSv
1	M-Gamma-01	20	157	1.878	17.881	33.561
2	M-Gamma-02	20	196	1.638	19.063	32.868
3	M-Gamma-03	20	176	1.440	17.344	33.462
4	M-Gamma-04	20	144	1.836	17.318	32.769
5	M-Gamma-05	20	167	1.735	18.406	32.571
6	M-Gamma-06	20	176	1.737	18.992	34.452
7	M-Gamma-07	20	178	1.935	18.196	33.561
8	M-Gamma-08	20	197	1.836	16.814	32.670
9	M-Gamma-09	20	194	1.836	17.670	33.165
10	M-Gamma-10	20	152	1.539	17.459	34.056
<b>Trung bình</b>			174	1.741	17.914	33.314
<b>Độ lệch chuẩn SD</b>			19	158	743	621

**Bảng 3.7.** Kết quả đáp ứng tuyến tính liều của mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  đối với bức xạ gamma Co-60 (1250 keV)

Stt	Liều chiếu mẫu (mSv)	Số đếm trung bình $\bar{N}$ (counts)	Độ lệch chuẩn SD (counts)	Độ rộng một nửa khoảng tin cậy 95% $l$ (counts)	Số đếm quy ước C (counts)	Tiêu chí IEC 1066:1991	
						$\frac{\bar{N} - l}{C} \geq 0,9$	$\frac{\bar{N} + l}{C} \leq 1,1$
1	0,1	174	19	13	170	0,94	1,10
2	1,0	1.741	158	113	1.700	0,96	1,09
3	10,0	17.914	743	531	17.000	1,02	1,09
4	20,0	33.314	621	444	34.000	0,97	0,99

Từ số liệu của Bảng 3.7, vẽ được đồ thị biểu diễn đáp ứng tuyến tính liều bức xạ gamma (Hình 3.2).



**Hình 3.2.** Đồ thị biểu diễn đáp ứng tuyến tính liều bức xạ của mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  đối với gamma Co-60 (1250 keV) với dải liều từ 0,1 – 20 mSv

**Nhận xét:** Quan sát Hình 3.2 ta thấy rằng đồ thị biểu diễn đáp ứng tuyến tính liều có hệ số tương quan  $R^2$  rất tốt ( $R^2 = 0,9983$ ) - điều này chứng tỏ là vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  có độ đáp ứng tuyến tính liều bức xạ gamma rất tốt

và kết quả tính toán ở khoảng tin cậy 95% với giá trị trung bình của số đếm ứng với các mức liều gamma từ 0,1 mSv đến 20 mSv đều thoả mãn tiêu chí đáp ứng tuyến tính liều của tiêu chuẩn IEC 1066:1991.

### 3.4 SỰ PHỤ THUỘC CỦA LIỀU BỨC XẠ VÀO NĂNG LƯỢNG PHOTON.

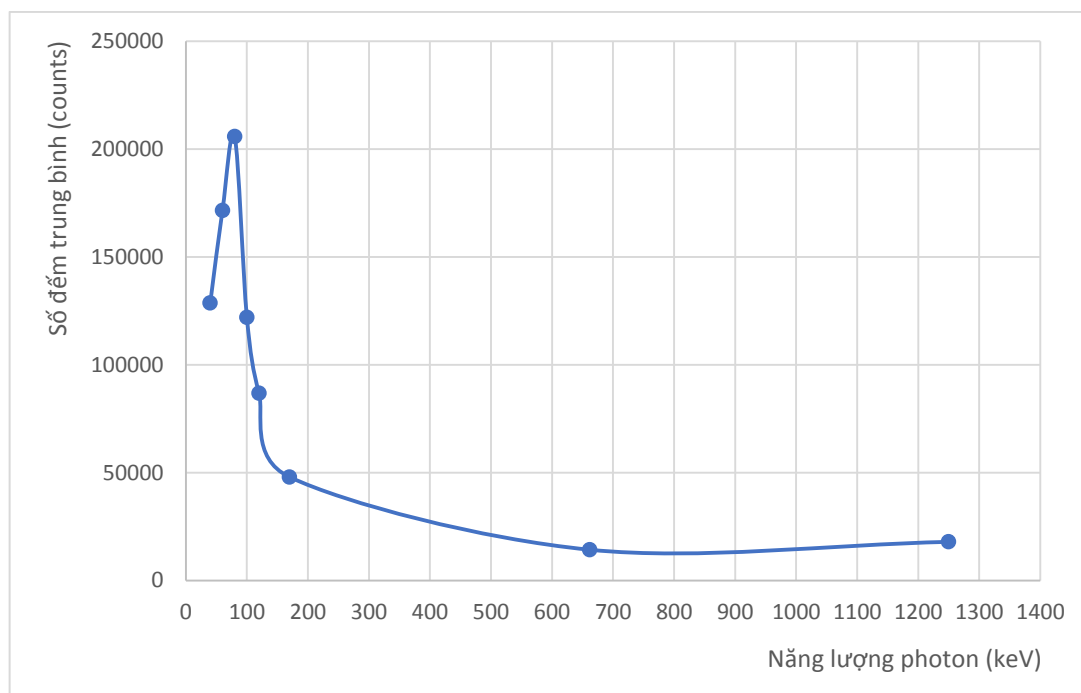
Sau khi chiếu xạ lần lượt 08 nhóm mẫu vật liệu đối với 08 phẩm chất bức xạ photon có năng lượng khác nhau: bức xạ tia-X, bức xạ gamma của nguồn Cs-137 (662 keV) và bức xạ gamma của nguồn Co-60 (1250 keV).

Tiến hành đo các mẫu vật liệu đã chiếu xạ và xử lý số liệu, ta có số liệu về sự phụ thuộc năng lượng của mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  đối với photon.

**Bảng 3.8.** Kết quả khảo sát sự phụ thuộc năng lượng của mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  đối với bức xạ photon

Năng lượng photon (keV)	Số đếm trung bình N (counts)	Hệ số chênh lệch đối với Cs-137
Tia-X (33,3)	128.648	9,04
Tia-X (47,9)	171.525	12,05
Tia-X (65,2)	205.868	14,46
Tia-X (83,3)	121.965	8,57
Tia-X (109)	86.767	6,09
Tia-X (149)	47.944	3,37
Cs-137 (662)	14.237	1,00
Co-60 (1250)	17.904	1,26





**Hình 3.3.** Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc năng lượng photon của mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$

**Nhận xét:** Từ bảng số liệu và đồ thị ta thấy số đếm (liều) phụ thuộc vào năng lượng khá lớn vì vật liệu có số nguyên tử hiệu dụng lớn so với số nguyên tử hiệu dụng của mô cơ thể người. Sự phụ thuộc này thể hiện cụ thể như sau:

- Với năng lượng thấp thì hệ số chênh lệch nhỏ nhất là 3,37 và lớn nhất là 14,46 - chứng tỏ rằng ở dải năng lượng thấp của tia-X thì vật liệu có sự phụ thuộc vào năng lượng khá cao (ở năng lượng thấp thì vật liệu hấp thụ năng lượng càng mạnh).

- Đối với năng lượng cao hơn thì sự phụ thuộc năng lượng giảm xuống (Xác suất hấp thụ năng lượng của vật liệu giảm theo năng lượng của bức xạ tới). Riêng đối với bức xạ gamma thì hệ số chênh lệch là 1,26 - nghĩa là có sự phụ thuộc vào năng lượng nhưng rất ít.

### 3.5. ĐỘ TỰ CHIẾU XẠ THEO THỜI GIAN KHI LƯU TRỮ VẬT LIỆU.

Để khảo sát độ tự chiếu xạ theo thời gian, chuẩn bị 02 nhóm mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  với số lượng 10 mẫu/nhóm và lưu trữ trong buồng chì. Sau thời gian lưu trữ 30 ngày, thực hiện đo tín hiệu nhiệt phát quang của các mẫu.

Theo tiêu chuẩn IEC 1066:1991, kết quả khảo sát độ tự chiếu xạ phải thoả mãn điều kiện như sau:

$$(\bar{N} + l) - N_{BG} \leq H; \quad \text{với } H = 0,1 \text{ mSv}$$

Kết quả của việc khảo sát được trình bày ở Bảng 3.9.

**Bảng 3.9.** Độ tự chiếu xạ của vật liệu theo thời gian khi lưu trữ

Stt	Tên mẫu	Số đếm N (counts)	Tên mẫu	Số đếm N (counts)
1	Mẫu khảo sát-01	19.512	Mẫu phong-01	19.211
2	Mẫu khảo sát-02	20.943	Mẫu phong-02	19.109
3	Mẫu khảo sát-03	18.694	Mẫu phong-03	18.304
4	Mẫu khảo sát-04	18.070	Mẫu phong-04	19.623
5	Mẫu khảo sát-05	20.165	Mẫu phong-05	19.243
6	Mẫu khảo sát-06	19.512	Mẫu phong-06	19.175
7	Mẫu khảo sát-07	18.943	Mẫu phong-07	19.843
8	Mẫu khảo sát-08	20.694	Mẫu phong-08	19.803
9	Mẫu khảo sát-09	18.070	Mẫu phong-09	19.510
10	Mẫu khảo sát-10	20.165	Mẫu phong-10	19.946
	$\bar{N}$ (counts)	<b>19.477</b>	$\bar{N}$ (counts)	<b>19.377</b>
	SD (counts)	<b>972</b>		
	$l$ (counts)	<b>690</b>		
	$(\bar{N} + l) - N_{BG}$ (counts)	<b>1.072</b>	$(\bar{N} + l) - N_{BG}$ (mSv)	<b>0,093</b>

Thoả mãn tiêu chí độ tự chiếu xạ của IEC 1066:1991:  $(\bar{N} + l) - E_{BG} = 0,093 \leq H$ ; với  $H = 0,1 \text{ mSv}$ .

### 3.6 SỰ GIẢM TÍN HIỆU TL THEO THỜI GIAN (FADING)

Các mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  được chiếu xạ tia-X (100 kV hay 83,3 keV) và bức xạ gamma của nguồn Co-60 (1250 keV) với cùng một giá trị liều

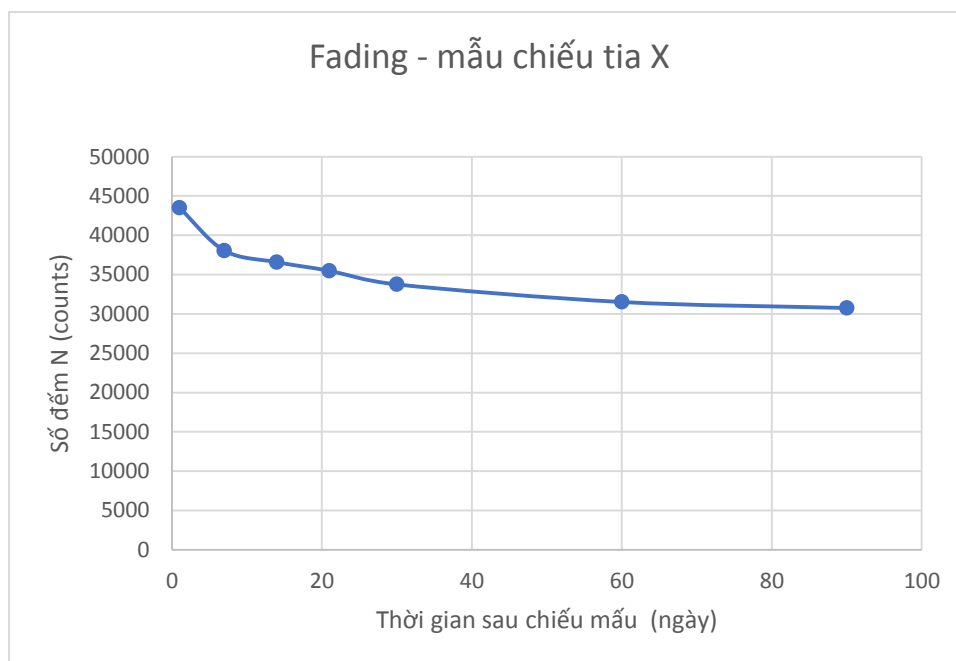
chuẩn là 3 mSv. Tiến hành đo mẫu vật liệu đã được chiếu xạ bằng hệ đọc liều Rexion UL-320.

### 3.6.1 Bức xạ tia-X

Số liệu khảo sát Fading sau 7 lần đo các mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  được chiếu bức xạ tia-X được thể hiện ở Phụ lục 3.

**Bảng 3.10.** Kết quả khảo sát độ suy giảm tín hiệu theo thời gian của vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  đối với bức xạ tia-X

Số ngày sau chiếu mẫu	Số đo N (counts)	Tỉ lệ suy giảm tín hiệu (%)
1	43.498	0,00
7	38.047	12,53
14	36.579	15,91
21	35.481	18,43
30	33.747	22,42
60	31.512	27,56
90	30.747	29,31



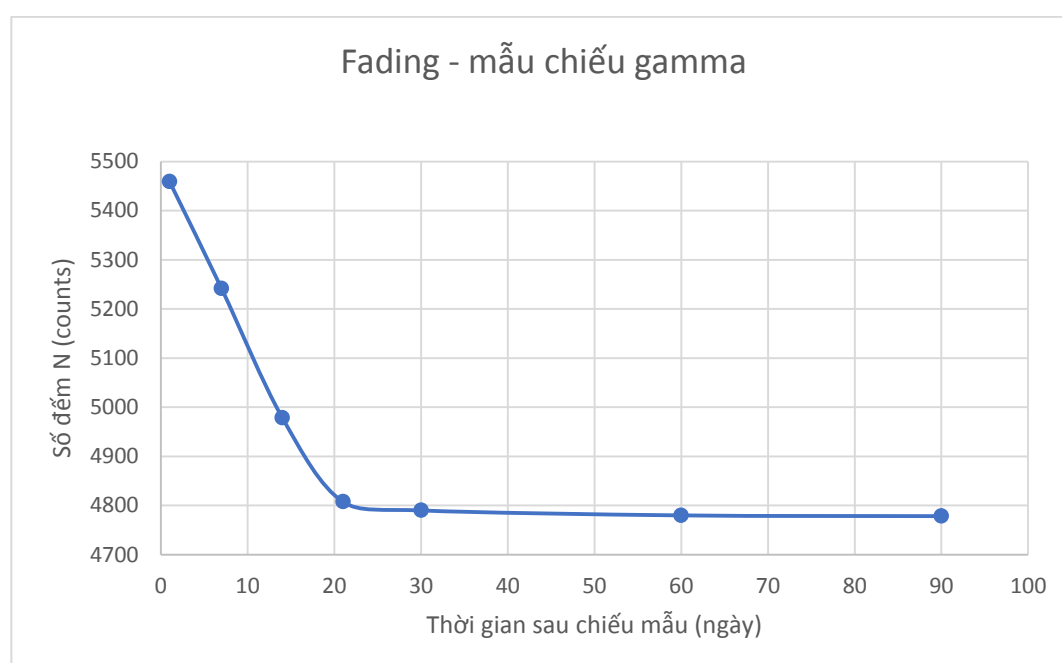
**Hình 3.4.** Đồ thị biểu diễn độ suy giảm tín hiệu theo thời gian của vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  đối với bức xạ tia-X

### 3.6.2 Bức xạ gamma

Số liệu khảo sát fading sau 7 lần đo các mẫu vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  được chiếu bức xạ gamma được thể hiện ở Phụ lục 4.

**Bảng 3.11.** Kết quả khảo sát độ suy giảm tín hiệu theo thời gian của vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  đối với bức xạ gamma

Số ngày sau chiếu mẫu	Số đo N (counts)	Tỉ lệ suy giảm tín hiệu (%)
1	5.459	
7	5.241	3,99
14	4.978	8,80
21	4.807	11,93
30	4.790	12,25
60	4.780	12,44
90	4.778	12,46



**Hình 3.5.** Đồ thị biểu diễn độ suy giảm tín hiệu theo thời gian của vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  đối với bức xạ gamma

**Nhận xét:** Từ Bảng 3.11 và Hình 3.5 cho thấy có độ suy giảm tín hiệu TL theo thời gian của vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  (do hiện ứng thay đổi nhiệt độ) – Đây cũng là tính chất chung fading của các loại vật liệu TL. Đối với vật liệu này thì fading giảm còn cỡ 12,5% sau 90 ngày (3 tháng) – Thỏa mãn tiêu chí về sự giảm tín hiệu TL theo tiêu chuẩn IEC 1066:1991.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 1. KẾT LUẬN

Sau thời gian thực hiện, Luận văn đã hoàn thành mục tiêu và thu được các kết quả chính như sau:

#### 1.1. Về lý thuyết

Luận văn đã tìm hiểu về các khái niệm và đặc điểm của hiện tượng nhiệt phát quang cũng như giải thích về tính chất của nhiệt phát quang; tìm hiểu một số khái niệm các đại lượng và đơn vị đo dùng trong định liều bức xạ; một số đặc trưng chính về định liều của vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$  cần khảo sát; các trang thiết bị và cách bố trí thí nghiệm liên quan; qui trình đo và phương pháp xác định một số đặc trưng chính của vật liệu dựa trên các tiêu chuẩn quốc tế IEC 1066:1991 (và IEC 62387:2012).

#### 1.2. Về thực nghiệm

Luận văn đã tiến hành thí nghiệm khảo sát một số đặc trưng chính về định liều bức xạ photon (tia-X, gamma) đối với vật liệu  $K_2GdF_5:Tb$ . Sau đó tiến hành đánh giá và so sánh với tiêu chuẩn IEC 1066:1991 (và IEC 62387:2012), và thu được một số kết quả như sau:

- Về giá trị độ lặp lại về liều: Thực hiện chiếu xạ bức xạ photon trên nguồn tia-X và nguồn gamma (Co-60) với cùng một mức liều bức xạ 10 mSv. Sau đó tính toán độ lặp lại số đo trung bình của các mẫu chiếu bức xạ photon qua 10 lần đo lặp lại là  $R = 0,02$  và thỏa mãn tiêu chí quy định theo tiêu chuẩn IEC 1066:1991.

- Về ngưỡng phát hiện cực tiểu/ngưỡng xác định: Đo mẫu vật liệu phông (không chiếu xạ), từ đó xác định được ngưỡng phát hiện 0,095 mSv, đã thỏa mãn tiêu chí quy định của tiêu chuẩn IEC 1066:1991.

- Về đáp ứng liều tuyến tính: Đo tín hiệu nhiệt phát quang theo những giá trị liều bức xạ photon tăng dần ở dải liều thấp (từ 0,1 mSv đến 20 mSv). Kết quả cho thấy có đáp ứng tuyến tính trong dải liều này và thỏa mãn tiêu chí của tiêu chuẩn IEC 1066:1991.

- Về độ tự chiếu xạ theo thời gian khi lưu trữ vật liệu: Kết quả khảo sát cho thấy thoả mãn tiêu chí độ tự chiếu xạ theo tiêu chuẩn IEC 1066:1991.

- Về sự suy giảm tín hiệu nhiệt phát quang theo thời gian (fading): Kết quả khảo sát fading cho thấy mức độ suy giảm tín hiệu sau khoảng 90 ngày nằm trong giới hạn cho phép của IEC 1066:1991.

## 2. KIẾN NGHỊ

Vì thời gian có hạn nên luận văn chưa khảo sát đầy đủ và chi tiết các đặc trưng của vật liệu này đối với bức xạ photon (tia-X, gamma) để hướng tới nghiên cứu chế tạo liều kế cá nhân dùng vật liệu này trong tương lai, như:

- Khảo sát và tính toán hệ số tán xạ và hấp thụ của bức xạ photon lên vật liệu khi dùng các phantom (PMMA và nước).

- Đánh giá độ không bảo đảm đo về các đặc trưng định liều bức xạ photon đối với vật liệu.

- Khảo sát và đánh giá tỷ lệ đóng góp về liều của bức xạ photon so với thành phần neutron (nếu biết được liều neutron).

- Khảo sát các đặc trưng của vật liệu đối với bức xạ photon năng lượng cao (như: máy gia tốc tuyến tính LINAC).

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Claudio Furetta, 2003, Handbook of Thermoluminescence, *Rome University “La Sapienza” – Italy*, World Scientific Publishing Co.Pte. Ltd, Singapore 596224, pp.424-444, ISBN 9812382402.
2. Bùi Thế Huy, 2009, Nghiên cứu điều chế và tính chất quang của vật liệu nhiệt phát quang có chứa Lithium để sử dụng trong thiết bị đo liều, *Luận án tiến sĩ Vật lý*, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam (VAST).
3. H.X.Vinh, V.Hao, T.V.Tuat, D.P.T.Tien, V.T.T.HA, B.T.Huy, 2011, Thermoluminescent properties of  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ . Nha Trang, Workshop, pp. 226–233.
4. Edna Carla da Silva, Nicholas M. Khaidukov and Luiz Oliveira de Faria, 2007, Study on the thermoluminescence response of  $\text{K}_2\text{GdF}_5$  crystals doped with  $\text{Dy}^{3+}$  trivalent ions to X and gamma radiation fields, *2007 International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2007*, Santo, SP, Brazil, September 30 to October 5, 2007, ISBN 978-85-99141-02-1.
5. J. Azorín-Nieto, N. M. Khaidukov, A. Sánchez-Rodríguez, J. C. Azorín-Vega, 2007, Thermoluminescence of terbium-doped double fluorides, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam interactions with Materials and Atoms*, 263(1), pp.36-40. Elsevier, <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2007.04.082>.
6. Edna Carla da Silva, Nicholas M. Khaidukov, Joelan A. L. Santos, Eudice C. Vilela and Luiz Oliveira de Faria, 2009, Investigation of the thermoluminescent response of  $\text{K}_2\text{GdF}_5:\text{Dy}^{3+}$  crystals to photon radiation and neutron fields, *2009 International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2009*, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, September 27 to October 2, 2009, ISBN 978-85-99141-03-8.
- 7 E. C. Silva, N. M. Khaidukov, E. C. Vilela, L. O. Faria, 2013, Preliminary TL Studies of  $\text{K}_2\text{GdF}_5:\text{Dy}^{3+}$  exposed to photon and neutron radiation fields, *Radiation measurements*, Vol.59, December 2013, pp.119-122, Elsevier, <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2013.06.005>.
8. Phan Văn Độ, 2016, Nghiên cứu tính chất quang của ion đất hiếm  $\text{Sm}^{3+}$  và  $\text{Dy}^{3+}$  trong một số vật liệu quang học họ florua và oxit, *Luận án tiến sĩ Vật lý*, Viện Khoa học Vật liệu, VAST.



9. Bế Kim Giáp, 2006, Nghiên cứu huỳnh quang cưỡng bức nhiệt, cưỡng bức quang của vật liệu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  và ứng dụng trong đo liều bức xạ, *Luận án tiến sĩ Vật lý*, Viện Khoa học Vật liệu, VAST.
10. Vũ Thị Thái Hà, 2010, Nghiên cứu chế tạo, tính chất và khả năng ứng dụng vật liệu nhiệt phát quang họ LiF, *Luận án tiến sĩ Vật lý*, Viện Khoa học Vật liệu, VAST.
11. Võ Thị Thu Hà, 2003, Chế tạo và nghiên cứu tính chất nhiệt phát quang của vật liệu  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$  ứng dụng trong đo liều xạ trị, *Luận văn thạc sĩ*, Viện Vật lý, VAST.
12. Nguyễn Văn Hùng và cộng sự, 2014, Nghiên cứu, chế tạo liều kế nhiệt phát quang loại  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  dạng bột để định liều bức xạ tại Viện Nghiên cứu hạt nhân, *Báo cáo tổng kết Nhiệm vụ khoa học cấp Cơ sở năm 2014* (Viện NCHN).
13. Bùi Thế Huy, 2009, Nghiên cứu điều chế và tính chất quang của vật liệu nhiệt phát quang có chứa Lithium để sử dụng trong thiết bị đo liều, *Luận án tiến sĩ Vật lý*, VAST.
14. Bùi Thế Huy, Vũ Xuân Quang, Bùi Minh Lý, Ngô Văn Tâm, Phan Tiến Dũng, 2007, Chế tạo và nghiên cứu tính chất nhiệt huỳnh quang vật liệu  $\text{LiF}:\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P}$ , *Tuyển tập báo cáo Hội nghị “Vật lý chất rắn toàn quốc lần thứ V”*, TP. Vũng Tàu, Tr.1019-1022.
15. Ngô Quang Thành, 2009, Nghiên cứu hiện tượng phát quang cưỡng bức nhiệt của một số vật liệu rắn nhằm ứng dụng trong đo liều bức xạ, *Luận án tiến sĩ Vật lý*, Viện Vật lý, VAST.
16. Đỗ Thanh Tiến, Nguyễn Mạnh Sơn, 2020, Đặc trưng quang phổ của vật liệu phát quang  $\text{M}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7:\text{Eu}(\text{M}:\text{Sr}, \text{Ca})$ , *Tạp chí Khoa học tự nhiên*, Đại học Huế, Tập 129, Số 1A, Tr.79–86, ISSN 1859-1388, eISSN 2615-9678.
17. Nguyễn Ngọc Trác, 2015, Vai trò của các tâm, bẫy và các khuyết tật trong vật liệu lân quang dài  $\text{CaAl}_2\text{O}_4$  pha tạp các ion đất hiếm, *Luận án tiến sĩ Vật lý*, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế.
18. Hồ Quang Tuyên, 2017, Nghiên cứu chế tạo và tính chất quang của vật liệu Borate  $\text{Sr}_3\text{B}_2\text{O}_6:\text{Eu}^{3+}$ ,  $\text{Sr}_3\text{B}_2\text{O}_6:\text{Eu}^{2+}$ , *Luận án tiến sĩ Vật lý*, VAST.

19. Lê Văn Tuất, Ngô Quang Khoa, Ngô Quang Thành, 2007, Chế tạo liều kế nhiệt phát quang  $\text{CaSO}_4$ :Dy dạng viên nén dùng trong đo liều bức xạ, *Tạp chí Khoa học – Chuyên san Khoa học tự nhiên*, Đại học Huế, Số 35, Tr.61-68.
20. Hà Xuân Vinh và cộng sự, 2014, Nghiên cứu chế tạo liều kế từ vật liệu  $\text{K}_2\text{YF}_5$  và  $\text{K}_2\text{GdY}_5$ , *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*, Đại học Duy Tân, ISSN 1859–4905, Tập 4, số 13, Tr.77-84.
21. Huynh Ky Hanh, Nicholas M. Khaidukov, Vladimir N. Makhov, Vu Xuan Quang, Nguyen Trong Thanh and Vu Phi Tuyen, 2010, Thermoluminescence properties of isostructural  $\text{K}_2\text{YF}_5$  and  $\text{K}_2\text{GdF}_5$  crystals doped with  $\text{Tb}^{3+}$  in response to  $\alpha$ ,  $\beta$  and X-ray irradiation, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B (NIM B)*, 268, pp.3344–3350, doi: 10.1016/j.nimb.2010.06.141.
22. Ha Xuan Vinh, Doan Phan Thao Tien, Nguyen Chi Thang, 2014, Effects of gamma and beta radiations to dosimeters fabricated from  $\text{K}_2\text{YF}_5$  and  $\text{K}_2\text{GdF}_5$ , *Nuclear Science and Technology*, VAES-VINATOM, Vol.4, No.3, pp.47-54, ISSN 1810–5408.
23. Ha Xuan Vinh, Nguyen Chi Thang, Doan Phan Thao Tien and Tran Hoan Vu, 2018, Study on thermoluminescence properties of  $\text{K}_2\text{GdF}_5:\text{Tb}^{3+}$ , *Vietnam Journal of Science and Technology*, VAST, 56 (1A), pp.102-109.
24. Ha Xuan Vinh, Nguyen Chi Thang, Doan Phan Thao Tien and Bui The Huy, 2019, Structure and luminescence properties of  $\text{K}_2\text{GdF}_5:\text{Tb}^{3+}$  synthesized by solid-state reaction method, *Publication: Bulletin Materials Science*, 42:70, Indian Academy of Sciences, <https://doi.org/10.1007/s12034-019-1765-9>
25. IEC 1066: 1991, Thermoluminescence dosimetry system for personal and environmental monitoring, IEC 1066:1999, IEC publication.
26. IEC 62387, 2012, *Passive integrating dosimetry systems for personal and environmental monitoring of photon and beta radiation*, IEC 62387:2012, IEC publication.
27. Eduardo G.Yukihara, Stephen W. S. McKeever, 2011, *Optical Stimulated Luminescence, Fundamentals and applications*, Elsevier Science B.V,

- Oklahoma State University, USA, pp. 1-14, 21-25, 115-116, 123-140, 146-150.
28. Nguyễn Nhị Điền, 2015, *Các bài giảng về An toàn bức xạ: Tập 1 – An toàn bức xạ trong y tế*, NXB Đại học quốc gia Hà Nội.
  29. IAEA, 2005, *Radiation oncology physics: A handbook for teachers and student*, Vienna, Austria, pp. 48-50, 57-59, 72-74, 101-102, 149-150, 161.

**DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ**

Phan Van Toan, Nguyen Van Hung, Le Viet Phong, Pham Van Dung, Pham Hung Thai, **Doan Thi Ngoc No**, Dinh Thi Quynh Giang, 2023, STUDYING A HOMOGENEITY FOR MANUFACTURED BATCHES OF THERMOLUMINESCENCE MATERIAL OF  $K_2GdF_5:Tb$  FOR PHOTON AND NEUTRON RADIATION, *Tuyển tập Báo cáo Hội nghị Khoa học và Công nghệ hạt nhân toàn quốc lần thứ 15 (VINANST-15)*, ngày 9-11/8/2023 tại Nha Trang, Khánh Hòa, tr. 220-224, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

**PHỤ LỤC 1**  
(Đối với tia-X)

TT	Kết quả đo lần 1		Kết quả đo lần 2	
	Tên mẫu	Số đếm N (counts)	Tên mẫu	Số đếm N (counts)
1	M-tia X-01	125.888	M-tia X-11	131.284
2	M-tia X-02	110.746	M-tia X-12	122.280
3	M-tia X-03	127.716	M-tia X-13	119.384
4	M-tia X-04	125.592	M-tia X-14	110.581
5	M-tia X-05	113.434	M-tia X-15	121.243
6	M-tia X-06	119.995	M-tia X-16	111.284
7	M-tia X-07	124.158	M-tia X-17	125.384
8	M-tia X-08	122.663	M-tia X-18	125.480
9	M-tia X-09	135.261	M-tia X-19	119.384
10	M-tia X-10	121.551	M-tia X-20	123.806
	<b><math>\bar{N}</math> (counts)</b>	<b>122.700</b>		<b>121.011</b>
	<b>SD (counts)</b>	<b>6.641</b>		<b>6.023</b>
	<b>CV (%)</b>	<b>5,41</b>		<b>4,98</b>
	<b>Độ lặp lại</b>	<b>0,067</b>		<b>0,062</b>

TT	Kết quả đo lần 3		Kết quả đo lần 4	
	Tên mẫu	Số đếm N (counts)	Tên mẫu	Số đếm N (counts)
1	M-tia X-21	128.976	M-tia X-31	117.834
2	M-tia X-22	130.284	M-tia X-12	122.970
3	M-tia X-03	120.934	M-tia X-13	121.093
4	M-tia X-04	110.345	M-tia X-14	137.934
5	M-tia X-05	120.345	M-tia X-15	129.145
6	M-tia X-06	123.901	M-tia X-16	120.934
7	M-tia X-07	117.893	M-tia X-17	128.903
8	M-tia X-08	123.092	M-tia X-18	138.902
9	M-tia X-09	138.934	M-tia X-19	120.191
10	M-tia X-30	119.670	M-tia X-40	128.934
	<b><math>\bar{N}</math> (counts)</b>	<b>123.437</b>		<b>126.684</b>
	<b>SD (counts)</b>	<b>7.418</b>		<b>7.003</b>
	<b>CV (%)</b>	<b>6,01</b>		<b>5,53</b>
	<b>Độ lặp lại</b>	<b>0,074</b>		<b>0,068</b>

TT	Kết quả đo lần 5		Kết quả đo lần 6	
	Tên mẫu	Số đếm N (counts)	Tên mẫu	Số đếm N (counts)
1	M-tia X-41	129.045	M-tia X-51	139.024
2	M-tia X-42	119.034	M-tia X-52	120.923
3	M-tia X-43	127.890	M-tia X-53	120.932
4	M-tia X-44	118.903	M-tia X-54	129.034
5	M-tia X-45	139.345	M-tia X-55	122.940
6	M-tia X-46	119.032	M-tia X-56	120.892
7	M-tia X-47	120.839	M-tia X-57	111.903
8	M-tia X-48	119.083	M-tia X-58	123.019
9	M-tia X-49	120.981	M-tia X-59	118.935
10	M-tia X-50	128.934	M-tia X-60	120.142
	<b><math>\bar{N}</math> (counts)</b>	<b>124.309</b>		<b>122.774</b>
	<b>SD (counts)</b>	<b>6.466</b>		<b>6.735</b>
	<b>CV (%)</b>	<b>5,20</b>		<b>5,49</b>
	<b>Độ lặp lại</b>	<b>0,064</b>		<b>0,068</b>

TT	Kết quả đo lần 7		Kết quả đo lần 8	
	Tên mẫu	Số đếm N (counts)	Tên mẫu	Số đếm N (counts)
1	M-tia X-61	120.127	M-tia X-71	118.903
2	M-tia X-62	129.034	M-tia X-72	129.034
3	M-tia X-63	127.893	M-tia X-73	137.893
4	M-tia X-64	139.034	M-tia X-74	129.031
5	M-tia X-65	120.131	M-tia X-75	118.903
6	M-tia X-66	129.034	M-tia X-76	112.796
7	M-tia X-67	128.934	M-tia X-77	129.034
8	M-tia X-68	125.963	M-tia X-78	120.939
9	M-tia X-69	137.893	M-tia X-79	123.784
10	M-tia X-70	127.359	M-tia X-80	120.920
	<b><math>\bar{N}</math> (counts)</b>	<b>128.540</b>		<b>124.124</b>
	<b>SD (counts)</b>	<b>5.901</b>		<b>6.821</b>
	<b>CV (%)</b>	<b>4,59</b>		<b>5,50</b>
	<b>Độ lặp lại</b>	<b>0,057</b>		<b>0,068</b>

TT	Kết quả đo lần 9		Kết quả đo lần 10	
	Tên mẫu	Số đếm N (counts)	Tên mẫu	Số đếm N (counts)
1	M-tia X-81	123.789	M-tia X-91	111.890
2	M-tia X-82	119.083	M-tia X-92	121.856
3	M-tia X-83	139.835	M-tia X-93	118.934
4	M-tia X-84	120.734	M-tia X-94	120.572
5	M-tia X-85	127.894	M-tia X-95	118.935
6	M-tia X-86	121.940	M-tia X-96	120.845
7	M-tia X-87	110.912	M-tia X-97	128.934
8	M-tia X-88	120.923	M-tia X-98	139.028
9	M-tia X-89	120.457	M-tia X-99	129.045
10	M-tia X-90	128.934	M-tia X-100	120.935
	<b><math>\bar{N}</math> (counts)</b>	<b>123.450</b>		<b>123.097</b>
	<b>SD (counts)</b>	<b>7.209</b>		<b>7.079</b>
	<b>CV (%)</b>	<b>5,84</b>		<b>5,75</b>
	<b>Độ lặp lại</b>	<b>0,072</b>		<b>0,071</b>

**PHỤ LỤC 2**  
(Đối với gamma Co-60)

TT	Kết quả đo lần 1		Kết quả đo lần 2	
	Tên mẫu	Số đếm $N$ (counts)	Tên mẫu	Số đếm $N$ (counts)
1	M-gamma-01	17.552	M-gamma-11	17.455
2	M-gamma-02	19.142	M-gamma-12	18.567
3	M-gamma-03	17.356	M-gamma-13	17.456
4	M-gamma-04	17.613	M-gamma-14	17.459
5	M-gamma -05	18.406	M-gamma-15	17.845
6	M-gamma-06	18.978	M-gamma-16	17.834
7	M-gamma-07	18.604	M-gamma-17	18.756
8	M-gamma-08	16.196	M-gamma-18	16.136
9	M-gamma-09	17.703	M-gamma-19	18.735
10	M-gamma-10	17.492	M-gamma-20	19.567
	<b><math>\bar{N}</math> (counts)</b>	<b>17.904</b>		<b>17.981</b>
	<b>SD (counts)</b>	<b>840</b>		<b>911</b>
	<b>CV (%)</b>	<b>4,69</b>		<b>5,07</b>
	<b>Độ lặp lại</b>	<b>0,058</b>		<b>0,063</b>

TT	Kết quả đo lần 3		Kết quả đo lần 4	
	Tên mẫu	Số đếm $N$ (counts)	Tên mẫu	Số đếm $N$ (counts)
1	M-gamma-21	17.648	M-gamma-31	18.734
2	M-gamma-22	19.178	M-gamma-32	17.934
3	M-gamma-23	16.145	M-gamma-33	17.237
4	M-gamma-24	18.731	M-gamma-34	16.712
5	M-gamma-25	19.024	M-gamma-35	17.897
6	M-gamma-26	17.834	M-gamma-36	19.056
7	M-gamma-27	18.726	M-gamma-37	18.239
8	M-gamma-28	17.834	M-gamma-38	18.934
9	M-gamma-29	17.145	M-gamma-39	17.623
10	M-gamma-30	17.027	M-gamma-40	17.893
	<b><math>\bar{N}</math> (counts)</b>	<b>17.929</b>		<b>18.026</b>
	<b>SD (counts)</b>	<b>935</b>		<b>706</b>
	<b>CV (%)</b>	<b>5,22</b>		<b>3,92</b>
	<b>Độ lặp lại</b>	<b>0,064</b>		<b>0,048</b>



TT	Kết quả đo lần 5		Kết quả đo lần 6	
	Tên mẫu	Số đếm N (counts)	Tên mẫu	Số đếm N (counts)
1	M-gamma-41	17.628	M-gamma-51	17.624
2	M-gamma-42	18.723	M-gamma-52	16.783
3	M-gamma-43	19.357	M-gamma-53	16.701
4	M-gamma-44	17.236	M-gamma-54	17.245
5	M-gamma-45	19.234	M-gamma-55	16.015
6	M-gamma-46	18.342	M-gamma-56	17.823
7	M-gamma-47	17.256	M-gamma-57	17.835
8	M-gamma-48	18.723	M-gamma-58	16.783
9	M-gamma-49	17.367	M-gamma-59	19.356
10	M-gamma-50	16.247	M-gamma-60	16.723
	<b><math>\bar{N}</math> (counts)</b>	<b>18.011</b>		<b>17.289</b>
	<b>SD (counts)</b>	<b>963</b>		<b>882</b>
	<b>CV (%)</b>	<b>5,35</b>		<b>5,10</b>
	<b>Độ lặp lại</b>	<b>0,066</b>		<b>0,063</b>

TT	Kết quả đo lần 7		Kết quả đo lần 8	
	Tên mẫu	Số đếm N (counts)	Tên mẫu	Số đếm N (counts)
1	M-gamma-61	17.893	M-gamma-71	17.734
2	M-gamma-62	16.982	M-gamma-72	18.934
3	M-gamma-63	18.492	M-gamma-73	16.723
4	M-gamma-64	18.923	M-gamma-74	17.834
5	M-gamma-65	18.723	M-gamma-75	18.723
6	M-gamma-66	17.623	M-gamma-76	17.894
7	M-gamma-67	19.673	M-gamma-77	17.834
8	M-gamma-68	17.629	M-gamma-78	18.923
9	M-gamma-69	19.845	M-gamma-79	19.834
10	M-gamma-70	17.593	M-gamma-80	17.813
	<b><math>\bar{N}</math> (counts)</b>	<b>18.338</b>		<b>18.225</b>
	<b>SD (counts)</b>	<b>904</b>		<b>831</b>
	<b>CV (%)</b>	<b>4,93</b>		<b>4,56</b>
	<b>Độ lặp lại</b>	<b>0,061</b>		<b>0,056</b>

TT	Kết quả đo lần 9		Kết quả đo lần 10	
	Tên mẫu	Số đếm N (counts)	Tên mẫu	Số đếm N (counts)
1	M-gamma-81	18.912	M-gamma-91	17.834
2	M-gamma-82	16.835	M-gamma-92	17.493
3	M-gamma-83	18.345	M-gamma-93	17.294
4	M-gamma-84	16.784	M-gamma-94	18.992
5	M-gamma -85	16.734	M-gamma-95	17.983
6	M-gamma-86	17.845	M-gamma-96	18.723
7	M-gamma-87	17.982	M-gamma-97	19.801
8	M-gamma-88	17.623	M-gamma-98	18.924
9	M-gamma-89	17.834	M-gamma-99	17.824
10	M-gamma-90	18.987	M-gamma100	18.729
	<b><math>\bar{N}</math> (counts)</b>	<b>17.788</b>		<b>18.360</b>
	<b>SD (counts)</b>	<b>782</b>		<b>752</b>
	<b>CV (%)</b>	<b>4,39</b>		<b>4,10</b>
	<b>Độ lặp lại</b>	<b>0,054</b>		<b>0,051</b>

**PHỤ LỤC 3**  
(Đối với tia-X)

<b>TT</b>	<b>Tên mẫu Khảo sát</b>	<b>Số đếm N sau 1 ngày</b>	<b>Số đếm N sau 7 ngày</b>	<b>Số đếm N sau 14 ngày</b>	<b>Số đếm N sau 21 ngày</b>	<b>Số đếm N sau 30 ngày</b>	<b>Số đếm N sau 60 ngày</b>	<b>Số đếm N sau 90 ngày</b>
1	M-01	41.644	36.481	36.152	35.460	33.360	32.460	32.785
2	M-02	42.430	37.267	37.712	34.125	33.215	32.125	27.959
3	M-03	42.841	38.237	37.301	36.337	32.957	31.448	33.605
4	M-04	41.869	39.654	34.289	36.003	34.103	31.933	29.928
5	M-05	43.717	38.597	37.512	34.695	34.695	32.987	29.461
6	M-06	45.514	35.020	36.152	35.695	33.575	30.528	30.975
7	M-07	43.477	37.247	37.712	35.117	35.117	31.207	29.996
8	M-08	42.451	39.310	37.301	36.631	32.531	30.931	33.141
9	M-09	45.446	39.702	34.289	35.759	32.929	30.269	29.938
10	M-10	45.592	38.953	37.512	34.991	34.991	31.231	29.684
<b>Số đếm trung bình (counts)</b>		<b>43.498</b>	<b>38.047</b>	<b>36.593</b>	<b>35.481</b>	<b>33.747</b>	<b>31.512</b>	<b>30.747</b>
<b>Độ lệch chuẩn SD (counts)</b>		<b>1.529</b>	<b>1.525</b>	<b>1.342</b>	<b>766</b>	<b>924</b>	<b>860</b>	<b>1.843</b>
<b>CV (%)</b>		<b>3,52</b>	<b>4,01</b>	<b>3,67</b>	<b>2,16</b>	<b>2,74</b>	<b>2,73</b>	<b>5,99</b>

**PHỤ LỤC 4**  
(Đối với tia gamma )

<b>TT</b>	<b>Tên mẫu Khảo sát</b>	<b>Số đếm N sau 1 ngày</b>	<b>Số đếm N sau 7 ngày</b>	<b>Số đếm N sau 14 ngày</b>	<b>Số đếm N sau 21 ngày</b>	<b>Số đếm N sau 30 ngày</b>	<b>Số đếm N sau 60 ngày</b>	<b>Số đếm N sau 90 ngày</b>
1	M-01	5.238	5.339	4.853	4.972	4.842	4.758	4.660
2	M-02	5.427	5.147	4.782	4.664	4.818	4.871	4.922
3	M-03	5.682	5.151	5.128	4.783	4.692	4.799	4.729
4	M-04	5.481	5.424	5.509	4.706	4.838	4.721	4.865
5	M-05	5.488	5.148	4.895	4.663	4.738	4.636	4.735
6	M-06	5.294	5.093	4.988	4.901	4.771	4.825	4.886
7	M-07	5.433	5.472	4.881	4.885	4.806	4.707	4.583
8	M-08	5.457	5.289	4.861	4.905	4.824	4.904	4.832
9	M-09	5.593	5.002	4.991	4.957	4.668	4.850	4.890
10	M-10	5.499	5.348	4.890	4.637	4.907	4.730	4.678
<b>Số đếm trung bình (counts)</b>		<b>5.459</b>	<b>5.241</b>	<b>4.978</b>	<b>4.807</b>	<b>4.790</b>	<b>4.780</b>	<b>4.778</b>
<b>Độ lệch chuẩn SD (counts)</b>		<b>128</b>	<b>154</b>	<b>210</b>	<b>131</b>	<b>73</b>	<b>84</b>	<b>116</b>
<b>CV (%)</b>		<b>2,35</b>	<b>2,95</b>	<b>4,22</b>	<b>2,73</b>	<b>1,53</b>	<b>1,76</b>	<b>2,43</b>