

# Chế tạo đầu đo nhấp nháy CsI(Tl) ghép nối quang điốt ghi đo bức xạ gamma

Phạm Đình Khang<sup>1\*</sup>, Đinh Tiên Hùng<sup>2</sup>, Đinh Kim Chiến<sup>2</sup>,  
Cao Văn Hiệp<sup>2</sup>, Nguyễn Xuân Hải<sup>3</sup>, Nguyễn Ngọc Anh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

<sup>2</sup>Viện Hóa học và Môi trường Quân sự

<sup>3</sup>Viện Nghiên cứu Hạt nhân Đà Lạt, Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam

Ngày nhận bài 1/10/2020; ngày chuyển phân biện 5/10/2020; ngày nhận phân biện 2/11/2020; ngày chấp nhận đăng 18/11/2020

## Tóm tắt:

Đầu đo nhấp nháy là loại đầu đo có hiệu suất ghi cao, sử dụng đơn giản, giải quyết tốt được mục tiêu của nhiều nghiên cứu, ứng dụng và đào tạo. Vì thế việc nội địa hóa quá trình chế tạo đầu đo sẽ mang lại nhiều ích lợi. Việc sử dụng quang điốt thác lũ thay cho ống nhân quang điện (PMT) cho phép tiết kiệm năng lượng, rút gọn thể tích đầu đo và loại bỏ khối cao áp công suất lớn. Tổ hợp chất nhấp nháy CsI(Tl), quang điốt thác lũ, tiền khuếch đại nhạy điện tích, hệ thống khuếch đại dải rộng và hệ nguồn nuôi đã được tích hợp trong đầu đo. Bài nghiên cứu này đưa ra một số kết quả mới trong việc chế tạo thử nghiệm đầu đo nhấp nháy sử dụng quang điốt thác lũ. Các đầu đo này có thể được sử dụng trong các trạm quan trắc môi trường, các hệ trình sát bức xạ, các bệnh viện và các phòng thí nghiệm hạt nhân của các trường đại học phục vụ đào tạo và huấn luyện sinh viên...

**Từ khóa:** detector nhấp nháy, hệ khuếch đại, quang điốt thác lũ, tiền khuếch đại nhạy điện tích.

**Chỉ số phân loại:** 2.3

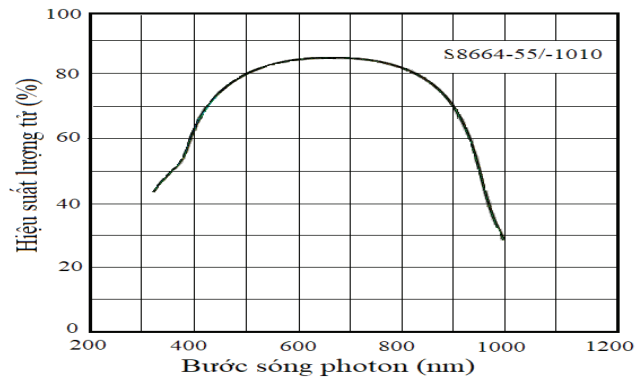
## Mở đầu

Các hệ trình sát bức xạ cầm tay và các hệ lắp trên xe chỉ huy tác chiến của quân đội rất cần có các đầu đo nhấp nháy ghi đo gamma gọn nhẹ, có hiệu suất ghi cao, bền với môi trường và tiết kiệm năng lượng. Trong nhiều trường hợp, các đầu đo nhấp nháy sử dụng ống nhân quang điện (PMT) đã không được sử dụng do đòi hỏi có khối cao áp công suất lớn, chất lượng cao và kích thước hệ đo dùng ống PMT lớn. Với sự phát triển của công nghệ vật liệu bán dẫn, việc sử dụng quang điốt thác lũ thay thế cho PMT trong đầu đo nhấp nháy ghi đo gamma là một giải pháp tốt nhằm để có các hệ đo. Xuất phát từ hướng đi đó, công việc chế tạo đầu đo nhấp nháy CsI(Tl) ghép nối với quang điốt đã được triển khai với sự hợp tác của các cán bộ khoa học của Trường Đại học Bách khoa Hà Nội; Viện Hóa học và Môi trường Quân sự và Viện Nghiên cứu Hạt nhân thuộc Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam.

## Thực nghiệm

### Ghép tinh thể nhấp nháy và quang điốt thác lũ

Trên thế giới đã có một số nghiên cứu thay thế ống PMT và thử nghiệm với một số loại nhấp nháy mới mà tiêu biểu là ở các công bố [1-4]. Tinh thể nhấp nháy CsI(Tl) là một trong số các loại nhấp nháy phù hợp với việc sử dụng hệ biến đổi quang điện - các quang điốt thác lũ được chế tạo từ Si [4]. Cụ thể, dải bước sóng các photon được CsI(Tl) phát ra nhiều nhất chủ yếu nằm ở vùng có hiệu suất lượng tử cao nhất của quang



Hình 1. Hiệu suất lượng tử của quang điốt thác lũ S8664-55 [5].

điốt. Có nhiều loại quang điốt, nhưng để ghép với tinh thể nhấp nháy thì chỉ có một số loại có tốc độ nhanh để hình thành những xung điện cỡ  $\mu s$ , điện dung thấp, dòng rò nhỏ và ít thay đổi theo nhiệt độ là phù hợp, ví dụ như các loại quang điốt S3590, S8664, S3204...[5]. Các quang điốt thương mại dùng trong đầu đo nhấp nháy có hình vuông với tiết diện cỡ  $cm^2$ , vì vậy các tinh thể nhấp nháy cũng được chọn lựa có kích thước và hình dạng tương đương. Trong thực nghiệm của bài báo này, nhóm nghiên cứu đã sử dụng tinh thể CsI(Tl) kích thước  $1 \times 1 \times 3$  cm ghép với quang điốt S8664-55 với kích thước  $5 \times 5$  mm. S8664-55 thuộc loại quang điốt thác lũ, có hiệu suất lượng tử phụ thuộc bước sóng ánh sáng tới (hình 1). Các photon do

\* Tác giả liên hệ: Email: phamkhang@spt.vn

# Designing and setting up the scintillation detector using CsI(Tl) crystals and avalanche photodiode for gamma-ray measurement

Dinh Khang Pham<sup>1\*</sup>, Tien Hung Dinh<sup>2</sup>, Kim Chien Dinh<sup>2</sup>,  
Van Hiep Cao<sup>2</sup>, Xuan Hai Nguyen<sup>3</sup>, Ngoc Anh Nguyen<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hanoi University of Science and Technology

<sup>2</sup>Military Institute of Chemical and Environmental Engineering

<sup>3</sup>Dalat Nuclear Research Institute, Vietnam Atomic Energy Institute

Received 1 October 2020; accepted 18 November 2020

## Abstract:

Localization of the scintillation detectors manufacturing process has many benefits because of the high detection efficiency of the detectors, user-friendly, and consistent with general research objectives. Using a photodiode instead of a photomultiplier tube (PMT) allows saving energy, shortening the detector volume, and removing high voltage power supply and amplifier. The combination of CsI(Tl) scintillator, avalanche photodiode, charge sensitive preamplifier, wide range amplifier, and power supply system has been integrated into the detector. This study presents new results in manufacturing a home-made scintillation detector using avalanche photodiode. The detectors of this type can be used in hospitals, in the nuclear laboratory of universities for the students training, etc.

**Keywords:** amplifier module (system), avalanche photodiode, charge sensitive preamplifier, scintillation detector.

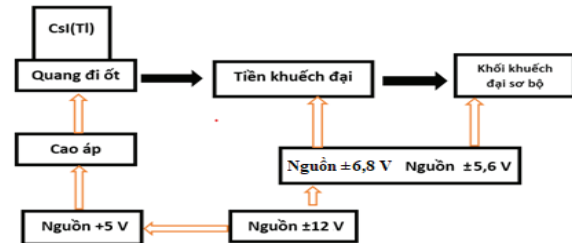
**Classification number:** 2.3

CsI(Tl) phát ra có bước sóng chủ yếu nằm ở dải 430 đến 730 nm và trùng với vùng hiệu suất lượng tử đạt giá trị trên 70% của S8664-55.

Có nhiều loại keo dẫn quang để ghép tinh thể nhấp nháy với quang điốt. Để vừa dẫn quang tốt, vừa gắn chặt quang điốt với tinh thể nhấp nháy, nhóm nghiên cứu đã sử dụng loại keo dẫn quang OE-6662 gồm 2 thành phần chất dẫn quang và chất hóa rắn, trộn theo tỷ lệ 10:1. Sau khi ghép xong, đặt cụm tinh thể quang điốt thắp lử vào buồng âm, sấy trong 24 giờ để keo dẫn quang hóa rắn. Cụm tinh thể nhấp nháy - quang điốt thắp lử được đặt gần sát tiền khuếch đại để giảm điện dung ký sinh trên mạch vào của tiền khuếch đại.

## Hệ thống nguồn nuôi và mạch điện

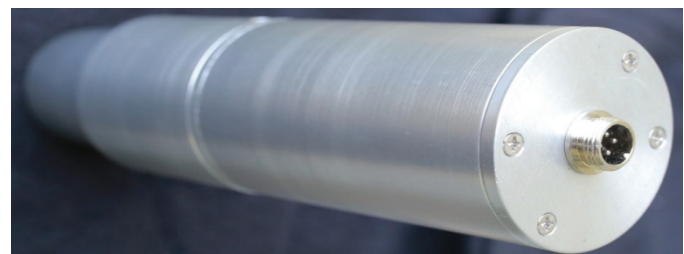
Hệ thống nguồn nuôi, mạch điện trong đầu đo được thể hiện ở hình 2. Các điện áp cung cấp cho quang điốt, mạch tiền khuếch đại và khối khuếch đại sơ bộ được tạo ra từ các mạch tạo điện áp và ổn định độc lập để tránh ảnh hưởng lẫn nhau. Điện áp cung cấp cho các mạch biến đổi điện áp nêu trên là  $\pm 12$  V.



Hình 2. Sơ đồ khối của đầu đo.

Điện áp +5 V được tạo nên từ +12 V bằng LM7805. Nguồn 5 V cung cấp năng lượng để tạo nên điện áp 380 V nhờ linh kiện tổ hợp C10940-53 do Hãng Hamamatsu sản xuất. Điện trở bias nối với quang điốt có giá trị 200 M $\Omega$  - như vậy công suất tiêu thụ của mạch chỉ vào khoảng 2 mW, dòng tiêu thụ nhỏ hơn 10 nA. Tiền khuếch đại được sử dụng là CR110-R2 của Hãng Cremat. Tiền khuếch đại được ghép với quang điốt thắp lử theo kiểu ghép AC để đảm bảo tốc độ đếm xung cao [6] và loại trừ ảnh hưởng của dòng dò. Khối khuếch đại sơ bộ là hệ khuếch đại dải rộng để bảo toàn dạng xung và quy chuẩn tín hiệu ra từ đầu đo đạt biên độ 200 mV khi tia gamma có năng lượng 662 keV bị hấp thụ hoàn toàn ở nhấp nháy CsI(Tl). Hệ thống quy chuẩn này là cần thiết nhằm ghép nối đầu đo với các hệ phân tích biên độ xung sử dụng kỹ thuật xử lý số. ADC lấy mẫu trong hệ xử lý số có dải biên độ 0÷1 V tương ứng dải đo 0÷3 MeV.

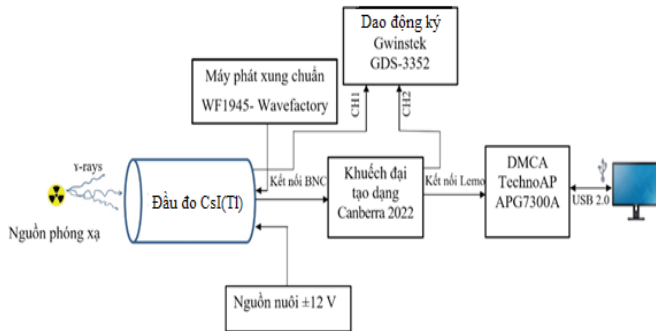
Toàn bộ hệ nhấp nháy, quang điốt thắp lử và hệ điện tử được đặt trong vỏ nhôm, nhằm chống nhiễu điện từ tác động đến dạng và biên độ xung ra (hình 3). Đầu đo được chế tạo với hai ngăn, ngăn thứ nhất gồm tinh thể nhấp nháy, quang điốt thắp lử và mạch gắn tiền khuếch đại; ngăn thứ 2 chứa hệ nguồn nuôi, tạo cao áp và hệ khuếch đại sơ bộ - kiểu thiết kế này cho phép giảm ảnh hưởng của hệ thống điện tử tới mạch tiền khuếch đại. Để tăng độ bền và độ cách điện, vỏ đầu đo được anot hóa, cách xử lý như vậy cho phép vỏ đầu đo chịu được hóa chất, nước biển mà không tổn hao hay có dấu hiệu hỏng hóc, suy giảm chất lượng.



Hình 3. Hình ảnh đầu đo được chế tạo.

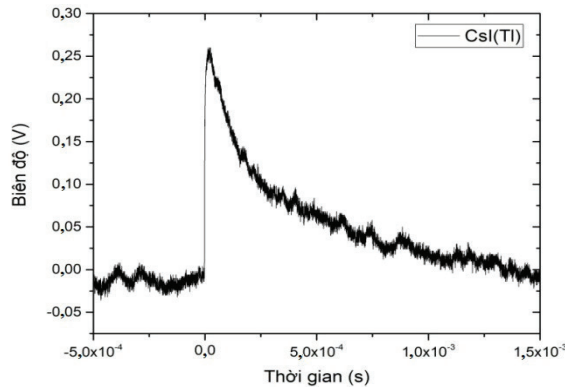
**Các đặc trưng của đầu đo**

Hệ thống thực nghiệm xác định các đặc trưng của đầu đo được đưa ra ở hình 4.



**Hình 4.** Sơ đồ thực nghiệm xác định các đặc trưng của đầu đo.

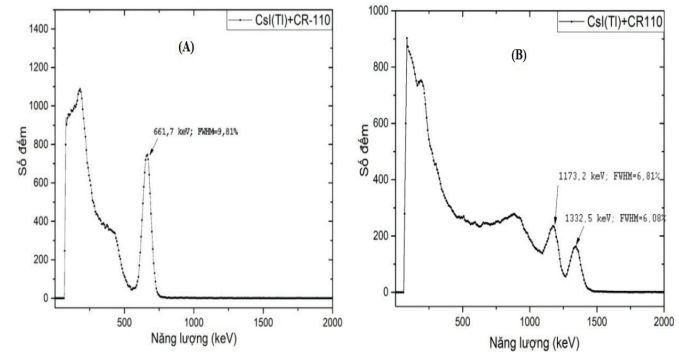
**Dạng xung ở lối ra:** sử dụng dao động ký Gwinstek model GDS-3352 để thu dạng xung lối ra của đầu đo (kênh CH1). Tiền khuếch đại CR110-R2 có hằng số thời gian  $C_f R_f = 140 \mu s$ , với  $C_f$  và  $R_f$  là điện dung của tụ phản hồi và điện trở phản hồi của tiền khuếch đại. Mật tầng của xung ra bằng [6] trong trường hợp xung điện tích đi vào tiền khuếch đại có mật tầng cỡ vài chục ns. Trong trường hợp ghép với tinh thể CsI(Tl), thời hằng của chớp sáng là cỡ  $1 \mu s$  và phải hết khoảng 5 lần thời hằng thì mới có thể coi là toàn bộ các điện tích do các photon tạo ra được nạp lên tụ  $C_f$ . Vì vậy, mật tầng xung ra của đầu đo vào khoảng  $5 \mu s$ , còn mật tầng có thời hằng cỡ  $140 \mu s$  như ở hình 5.



**Hình 5.** Dạng xung ra của đầu đo (sau khối khuếch đại sơ bộ).

**Độ phân giải năng lượng:** phổ tia gamma thu được thể hiện ở hình 6A và 6B, đo với nguồn  $^{137}Cs$  và  $^{60}Co$ . Các giá trị độ phân giải năng lượng với các đỉnh 661,7; 1173,2 và 1332,5 keV tương ứng là 9,81; 6,81 và 6,08%. Việc so sánh với các kết quả của Martín Gascón [7] (tinh thể CsI(Tl)  $1x1x1 \text{ cm}^3$  bọc teflon + lá nhôm; quang điốt S8664-1010; tiền khuếch đại IH 142 ORTEC) cho thấy độ phân giải năng lượng ở [7] là 4,42%, tốt hơn hẳn so với công bố này. Điều đó có thể lý giải là do việc bọc teflon và lá nhôm cộng với sử dụng S8664-1010 đã hạn chế

mất photon do CsI(Tl) phát ra khi lượng tử gamma tương tác với nhấp nháy; tiền khuếch đại IH 142 ORTEC có hệ số khuếch đại vòng hở  $\geq 40000$  lần [8], còn của CR-110 chỉ là 3000 lần. Sự khác biệt về hệ số khuếch đại này dẫn đến tiếng ồn ENC của tiền khuếch đại ORTEC nhỏ hơn nên độ phân giải của hệ tốt hơn. Tuy nhiên, sự gọn nhẹ của CR-110 lại dẫn đến khả năng sử dụng chế tạo đầu đo gamma cao hơn và trong thực tế, kết quả của công bố này là với đầu đo nhấp nháy sử dụng quang điốt thác lũ thay cho ống PMT đã chế tạo được. Độ phân giải năng lượng của đầu đo hiện tại tương đương như của đầu đo nhấp nháy gắn ống PMT. Những ghép nối các khối như trong [7] để tổ hợp thành một đầu đo bức xạ còn cần có một giai đoạn khá dài để tối ưu các vấn đề vật lý, điện tử...



**Hình 6.** Phổ  $^{137}Cs$  (A) và phổ  $^{60}Co$  (B).

**Hiệu suất ghi nội toàn phần và hiệu suất ghi nội quang điện:** việc đo đạc thực nghiệm hiệu suất ghi được thực hiện theo hệ thống thực nghiệm (hình 4) với bộ nguồn chuẩn do IAEA cung cấp, khoảng cách nguồn - đầu đo là 20 cm và có so sánh với kết quả tính toán mô phỏng hiệu suất ghi theo các thông số thiết kế của đầu đo. Hiệu suất ghi nội toàn phần được xác định bằng tỷ số xung ghi nhận được và số lượng tử tới bề mặt detector theo công thức 1 [9]:

$$\epsilon_{ins-p} = \frac{N_c}{N_d} \tag{1}$$

trong đó  $\epsilon_{ins}$  là hiệu suất ghi nội toàn phần,  $N_c$  là số xung ghi nhận được,  $N_d$  là số lượng tử gamma đi đến bề mặt đầu đo.

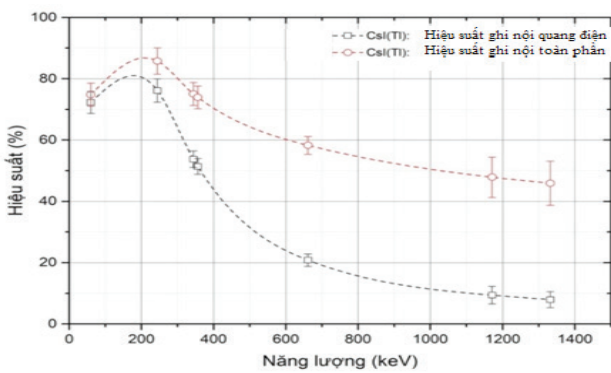
Hiệu suất ghi nội quang điện được xác định bằng tỷ số xung ghi nhận tại đỉnh năng lượng hấp thụ toàn phần và số lượng tử gamma đi tới bề mặt đầu đo theo công thức 2 [4]:

$$\epsilon_{ins-p} = \frac{N_{photoppeak}}{N_d} \tag{2}$$

trong đó,  $\epsilon_{ins-p}$  là hiệu suất ghi nội quang điện,  $N_{photoppeak}$  là diện tích đỉnh năng lượng hấp thụ toàn phần,  $N_d$  là số lượng tử gamma đi tới bề mặt đầu đo. Kết quả được thể hiện ở bảng 1 và hình 7.

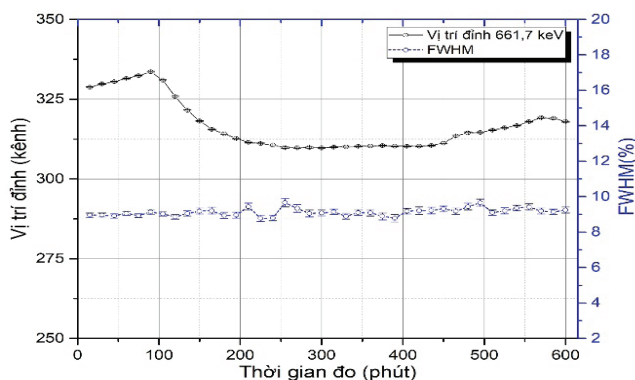
**Bảng 1.** Các giá trị thực nghiệm của hiệu suất ghi nội toàn phần, hiệu suất ghi nội quang điện.

Đồng vị	Năng lượng phát (keV)	Detector CsI(Tl)	
		Hiệu suất ghi nội toàn phần (%)	Hiệu suất ghi nội quang điện (%)
Am-241	59,5	74,8±3,0	72,3±6,5
Ba-133	356,0	73,9±5,2	51,4±2,6
Eu-152	244,7	85,8±4,3	76,2±3,8
	344,3	75,0±3,8	53,7±1,6
Cs-137	661,6	58,3±3,5	20,8±1,6
Co-60	1173,2	47,9±4,3	9,4±0,3
	1332,5	45,9±3,2	7,9±0,6



**Hình 7.** Hiệu suất ghi nội toàn phần và hiệu suất ghi nội quang điện của đầu đo.

**Độ ổn định:** mức độ ổn định của hệ số chuyển đổi năng lượng tia bức xạ sang vị trí kênh của đỉnh hấp thụ quang điện được đánh giá bằng sự thay đổi của vị trí đỉnh theo thời gian đo. Nhằm đánh giá độ ổn định phổ đầu đo được chế tạo nêu trên, thực nghiệm khảo sát độ ổn định phổ theo thời gian dài đã được thực hiện. Thời gian thử nghiệm là 10 giờ, bước chia 15 phút/phổ để đánh giá sự ổn định của vị trí đỉnh phổ <sup>137</sup>Cs và độ phân giải năng lượng. Đo theo điều kiện môi trường, với nhiệt độ biến thiên từ 25°C lúc 8g00 sáng và đạt cực đại 35°C lúc 13g00. Kết quả khảo sát sự ổn định phổ của đầu đo CsI(Tl) được thể hiện ở hình 8.



**Hình 8.** Khảo sát sự ổn định phổ của detector CsI(Tl) theo thời gian.

Có thể thấy độ phân giải năng lượng không thay đổi nhiều theo thời gian đo, còn vị trí đỉnh thay đổi từ kênh 335 đến 310 (25 kênh, cỡ 8%). Cũng có thể do ở khoảng giữa thời gian thực nghiệm, nhiệt độ môi trường đã tăng lên nên hệ số khuếch đại của S8664-55 đã giảm đi và 8% đó là do ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường tới đầu đo. Như vậy, việc khảo sát này sẽ cần được thực hiện lại với đảm bảo chắc chắn không có sự thay đổi của nhiệt độ môi trường.

**Năng lượng tiêu thụ:** nguồn nuôi cho đầu đo là ±12 V, cường độ dòng điện là 49 và 26 mA tương ứng. Như vậy, tổng công suất tiêu thụ của đầu đo là 900 mW.

**Kết luận**

Nghiên cứu này được tiến hành gần tương tự như các nghiên cứu [1-3]. Các số liệu kết quả cho thấy nghiên cứu này đã đạt được những kết quả tích cực, độ phân giải detector có thể so với giá trị ~6,4% ở 1,17 MeV và 5,5% ở 1,33 MeV trong nghiên cứu [3], nếu tiếp tục cải thiện có thể mang lại khả năng thương mại hóa các đầu đo nhấp nháy sử dụng quang điốt thác lũ. Có thể đánh giá đây là một thành công của việc nội địa hóa trang thiết bị ghi đo bức xạ hạt nhân của Việt Nam. Các thử nghiệm với tiền khuếch đại có độ nhạy cao hơn sẽ được thực hiện trong thời gian tới để nâng cao độ phân giải năng lượng và hạ thấp ngưỡng đo dưới của đầu đo.

**LỜI CẢM ƠN**

Các tác giả trân trọng cảm ơn Trường Đại học Bách khoa Hà Nội đã tài trợ cho nghiên cứu này thông qua đề tài T2018-PC-124.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1] Jin Hyoung Bai, Joo Ho Whang (2011), “The optimization of CsI(Tl)-PIN photodiode for high-energy gamma-ray detection”, *Nuclear Science and Technology*, **1**, pp.308-311.

[2] Y.T. Vydai, et al. (2006), “Stability of spectrometric characteristics of CsI:Tl detectors depending on the surface treatment method”, *Instruments and Experimental Techniques*, **49(3)**, pp.314-317.

[3] R. Scafè, R. Pani, R. Pellegrini, G. Iurlaro, L. Montani & M. Nerina Cinti (2007), “Si-APD readout for LaBr3:Ce scintillator”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, **571(1-2)**, pp.355-357.

[4] G. Knoll (2000), *Radiation Detection and Measurement*, John Wiley & Sons, Ltd.

[5] Hamamatsu Photonics (2017), *Si APD S8664 series data sheet*, 6pp.

[6] <https://www.cremat.com/CR-110-R2.1.pdf>.

[7] Martín Gascón, et al. (2008), “Optimization of energy resolution obtained with CsI(Tl) crystals for the R3B calorimeter”, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, **55(3)**, pp.1259-1262.

[8] <https://www.ortec-online.com/>.

[9] G.R. Gilmore (2008), *Practical Gamma-ray Spectrometry*, John Wiley & Sons, Ltd.