

ỨNG DỤNG ĐẦU DÒ GAMMA NaI(Tl) – SILICON PHOTOMULTIPLIER (SiPM) TRONG CHỤP ẢNH CẮT LỚP ĐIỆN TOÁN CẤU HÌNH MỘT NGUỒN – MỘT ĐẦU DÒ

Lại Viết Hải⁽¹⁾, Đặng Nguyễn Thế Duy⁽¹⁾, Đặng Quốc Triệu⁽¹⁾

(1) Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp

Ngày nhận bài: 28/4/2022; Ngày gửi phản biện: 29/4/2022; Chấp nhận đăng: 30/5/2022

Liên hệ Email: laivietthai@gmail.com; hailv@canti.vn;

<https://doi.org/10.37550/tdmu.VJS/2022.03.300>

Tóm tắt

Chụp cắt lớp điện toán kiểm tra khuyết tật trong công nghiệp là kỹ thuật sử dụng tia bức xạ để tạo ra hình ảnh cấu trúc 3D bên trong của đối tượng tâm soát từ các ảnh chiếu từng phần 2D dựa trên thuật toán tái tạo hình ảnh. Trong đó, hệ chụp cắt lớp điện toán công nghiệp sử dụng đầu dò NaI(Tl) kết hợp ống nhân quang (PMT) gặp nhiều hạn chế như không sử dụng được trong điều kiện môi trường có từ trường, PMT được chế tạo từ ống thủy tinh chân không nên rất dễ vỡ, sử dụng cao thế để hoạt động làm cho hệ đo trở nên tốn kém. Nhằm cải tiến độ bền cơ học và tính thích ứng với điều kiện làm việc công nghiệp của hệ đo, ứng dụng đầu dò NaI(Tl) kết hợp nhân quang điện silicon (SiPM) trong ghi đo bức xạ hạt nhân của hệ chụp cắt lớp điện toán đã được đề xuất trong bài báo này. Hệ đo chụp ảnh cắt lớp điện toán cấu hình một nguồn – một đầu dò, sử dụng đầu dò NaI(Tl)+SiPM để thu nhận tín hiệu được thiết lập tại Phòng thí nghiệm Điện tử của Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp. Thực nghiệm đánh giá hệ đo được thực hiện bằng cách chụp ảnh cắt lớp các mẫu vật, đã chứng minh được khả năng đáp ứng của đầu dò NaI(Tl)+SiPM trong chụp ảnh cắt lớp điện toán.

Từ khóa: chụp cắt lớp điện toán, CT công nghiệp, đầu dò NaI(Tl)+ SiPM, hình ảnh hạt nhân

Abstract

APPLICATION OF NaI(Tl) - SILICON PHOTOMULTIPLIER (SIPM) GAMMA DETECTOR IN COMPUTED TOMOGRAPHY SETUP WITH SINGLE - SOURCE AND SINGLE-DETECTOR

Industrial computed tomography in defect inspection is a technique that uses irradiation to generate 3D images of the internal structure of scanned objects from 2D partial projection images based on image reconstruction algorithms. In particular, the industrial computed tomography system using the NaI(Tl) detector combined with a photomultiplier tube (PMT) has many limitations such as being unusable in environmental conditions with the magnetic field, PMT is very fragile, using high voltage to operate making the measuring system expensive. In order to improve the mechanical strength and adaptability to industrial

working conditions of the measuring system, the application of NaI(Tl) detector combined with a silicon photomultiplier (SiPM) in nuclear radiation measurement of the industrial computed tomography system was proposed in this paper. The computed tomography system with single-source and single detector configuration using NaI(Tl)+SiPM detector for the signal acquisition was established at the Electronics Laboratory of the Center for Application of Nuclear technique in Industry. Experimental evaluation of the measurement system is carried out by taking tomographic images of the specimens.

1. Đặt vấn đề

Hình ảnh hạt nhân là một phương pháp kiểm tra không phá hủy hoặc không xâm lấn, sử dụng các đồng vị phóng xạ để tạo ra hình ảnh bên trong các cấu trúc công nghiệp, cơ thể sinh học hoặc các đối tượng không thể sử dụng phương pháp xâm lấn. Đồng vị phóng xạ trải qua quá trình phân rã sẽ phát ra các tia gamma và các hạt hạ nguyên tử. Tia gamma đi ra khỏi đối tượng sẽ được ghi nhận bởi đầu dò, kết hợp các thuật toán tạo nên hình ảnh cấu trúc hoặc trạng thái bên trong đối tượng khảo sát.

Kỹ thuật hình ảnh trong y học hạt nhân có hai loại chính là chụp cắt lớp phát xạ đơn photon (SPECT) và chụp cắt lớp phát xạ positron (PET). Đối với SPECT, sử dụng các dược chất phóng xạ phát gamma, trong khi PET sử dụng dược chất phóng xạ phát positron. Các kỹ thuật này thường được kết hợp với các kỹ thuật khác như chụp cộng hưởng từ (MRI) để tạo ra các hệ thống hình ảnh đa phương phức như PET/MRI hoặc SPECT/MRI. Đây là các hệ thống phổ biến và đã được ứng dụng rộng rãi trong nghiên cứu ung thư. Các hệ thống đa phương thức cho phép liên kết thông tin chức năng với cấu trúc giải phẫu, làm cho việc chuẩn đoán và điều trị bệnh tốt hơn cũng như tiết kiệm chi phí hơn (<https://www.radiologyinfo.org>; Noordzij và cs., 2015; Kharfi, 2013).

Trong công nghiệp việc sử dụng các kỹ thuật này cũng đã có những bước phát triển đặt biệt là phương pháp CT đã được ứng dụng trong khảo sát đường ống dẫn dầu dưới đáy biển (Derek Watson) hoặc các thiết bị micro CT có thể cho hình ảnh ở kích thước micromet được sử dụng để kiểm tra các mẫu vật trong nghiên cứu cổ sinh vật học hoặc kiểm tra ảnh hưởng của việc nạp xả điện đối với cấu trúc của pin điện (<https://www.microphotonics.com>).

Tại Việt Nam, việc nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật hình ảnh hạt nhân trong công nghiệp đã có những thành tựu đáng kể, điển hình như: Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp – CANTI đã nghiên cứu chế tạo thành công thiết bị chụp cắt lớp công nghiệp thế hệ thứ nhất và đã được IAEA đặt mua để viện trợ cho sáu nước thành viên (<https://tiasang.com.vn>), ngoài ra CANTI cũng đã nghiên cứu chế tạo thành công nhiều hệ chụp cắt lớp cụ thể như hệ cấu hình chùm quạt, hệ chụp cắt lớp kích thước lớn nhằm phục vụ cho việc kiểm tra các tháp chưng cất trong các nhà máy lọc hóa dầu, các hệ đo SPECT như SPECT nhanh phục vụ cho việc khảo sát các pha trong hệ thống công nghiệp (Nguyễn Văn Chuẩn và cs., 2020); hệ mini SPECT ứng dụng trên mẫu chuột phục vụ mục đích y khoa.

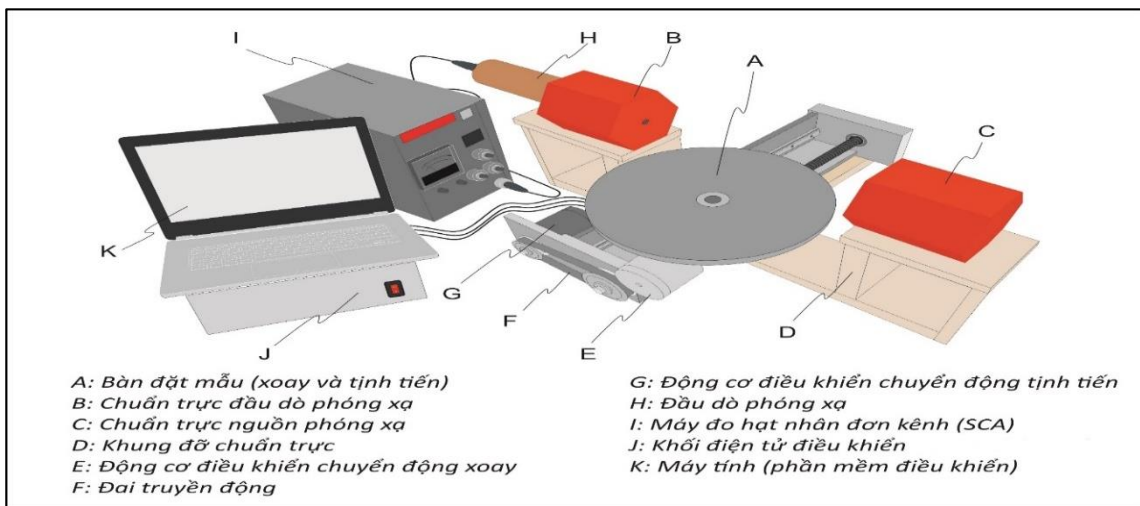
Để nghiên cứu và cải tiến kỹ thuật chụp cắt lớp trong công nghiệp, việc nghiên cứu ứng dụng các công nghệ đầu dò mới trong ghi đo bức xạ là thực sự cần thiết. Hiện tại nhóm điện tử thuộc phòng Kỹ thuật hạt nhân, trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp đang xây dựng hệ đo gamma đơn kênh với đầu dò NaI(Tl) + SiPM (Lại Viết Hải và cs., 2022).

Trong bài báo này, chúng tôi đã thiết lập một hệ chụp ảnh cắt lớp điện toán với cấu hình một nguồn và một đầu dò, sử dụng đầu dò NaI(Tl)+SiPM để thu nhận tín hiệu. Hệ đo được đánh giá bằng cách chụp các mẫu vật gọi là phantom.

2. Vật liệu và phương pháp

Cấu hình cắt lớp điện toán một nguồn và một đầu dò là cấu hình đơn giản nhất trong số các cấu hình chụp cắt lớp điện toán. Trong cấu hình này nguồn phát gamma và đầu dò được đặt đối diện nhau, vật thể cần chụp sẽ chuyển động tịnh tiến qua giữa đầu dò và nguồn. Với mỗi bước dịch chuyển sẽ ghi lại số đếm gamma trong một khoảng thời gian nhất định. Sau khi di chuyển hết một hành trình đối tượng chụp sẽ được xoay một góc và thực hiện lại các bước ban đầu. Hệ chụp ảnh cắt lớp điện toán gồm ba phần: hệ chuyển động; hệ ghi đo bức xạ, thuật toán dựng ảnh.

Hệ chuyển động: điều khiển chuyển động tịnh tiến và chuyển động xoay của đối tượng đo. Hệ gồm hai motor bước, bộ điện tử điều khiển motor, khối chuẩn trục bằng chì, phần mềm điều khiển.



Hình 1. Sơ đồ hệ chụp cắt lớp điện toán cấu hình một nguồn – một đầu dò

Hệ ghi đo bức xạ: Gồm đầu dò NaI(Tl)+SiPM, máy đo đơn kênh, phần mềm điều khiển máy đơn kênh.

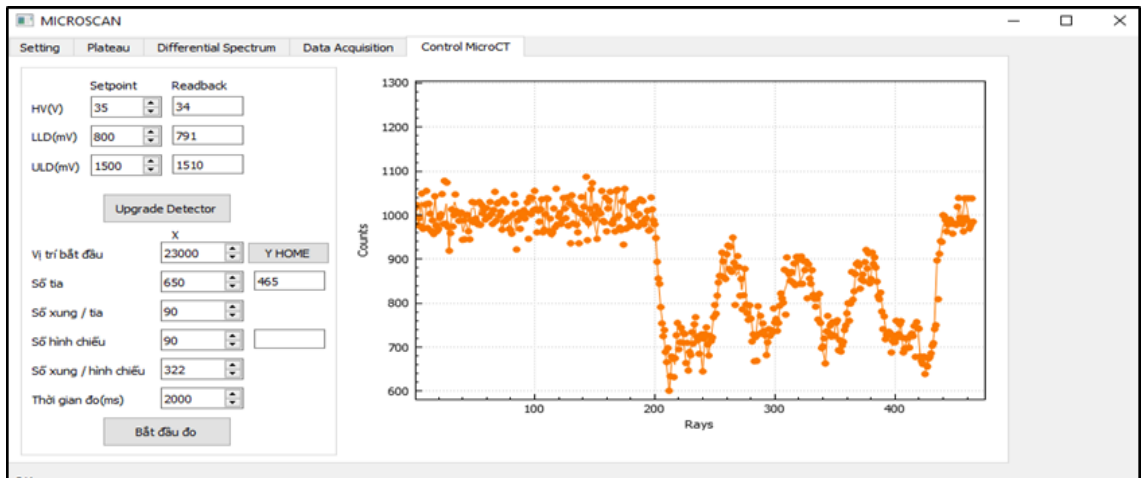
Đầu dò NaI(Tl)+SiPM: Tinh thể có kích thước 0,5inch × 1inch, tái chế từ đầu dò hỏng; SiPM có kích thước 6mm × 6mm, loại MICROFC-60035-SMT-TR1 của hãng Onsemi (<https://www.onsemi.com>).



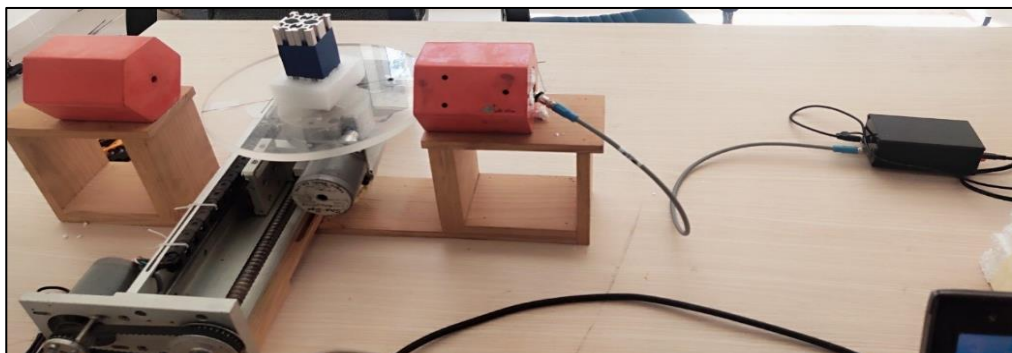
Hình 2. Máy đo đơn kênh (trái) và đầu dò (phải)

Máy đo đơn kênh: Máy đo đơn kênh cung cấp điện áp cho đầu dò hoạt động, khuếch đại và xử lý tín hiệu từ đầu dò.

Phần mềm điều khiển: Gồm hai phần: điều khiển máy đo đơn kênh để thu thập dữ liệu và điều khiển hệ chuyển động, phần mềm được viết bằng ngôn ngữ C++. Các giá trị điều khiển máy đo đơn kênh gồm giá trị điện áp cấp cho đầu dò, giá trị ngưỡng phân biệt biên độ đơn kênh. Các giá trị điều khiển chuyển động gồm số hình chiếu, số tia chiếu, thời gian đo.



Hình 3. Giao diện điều khiển máy đo đơn kênh và hệ chuyển động



Hình 4. Bố trí hệ đo thực tế

Thuật toán dựng ảnh: Sử dụng thuật toán chiếu ngược có lọc Filtered back project (FBP) (Kak và cs., 2001) để tái tạo lại hình ảnh của lát cắt, thuật toán chiếu ngược có lọc dựa trên công thức Radon nghịch đảo (1).

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi g_\theta \cdot (x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta) \cdot d\theta \quad (1)$$

Trong đó, $f(x, y)$ là giá trị điểm ảnh được tái tạo tại tọa độ (x, y) ; g_θ là giá trị đo tại góc chiếu θ .

3. Kết quả nghiên cứu

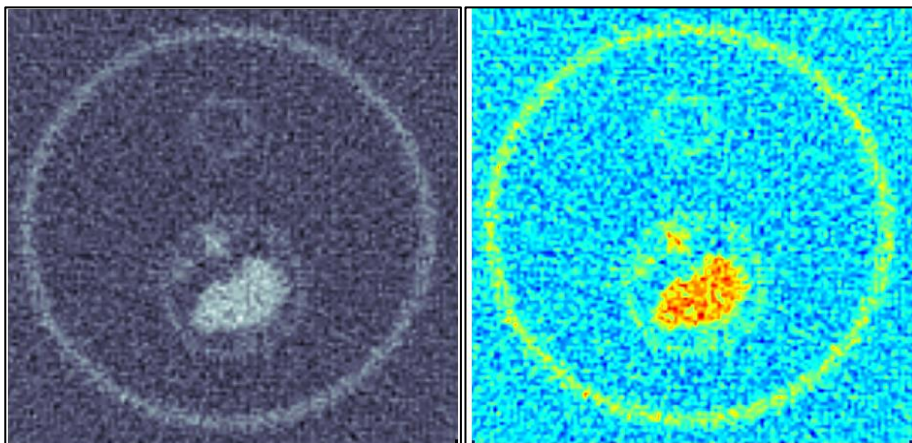
Hệ đo được bố trí như Hình 1 và Hình 4, sử dụng nguồn ^{137}Cs , hoạt độ 1mCi. Thời gian của mỗi lần ghi dữ liệu là 1 giây.

Kết quả chụp cắt lớp cấu hình một nguồn một đầu dò, sử dụng loại đầu dò NaI(Tl)+SiPM được thể hiện trong các Hình 6, 8 và 10.

Mẫu vật 1: vật liệu ống nhựa PVC đường kính ngoài 15cm, bên trong có hai ống nhựa PVC đường kính lần lượt là 3cm và 1cm, chứa sỏi xây dựng.

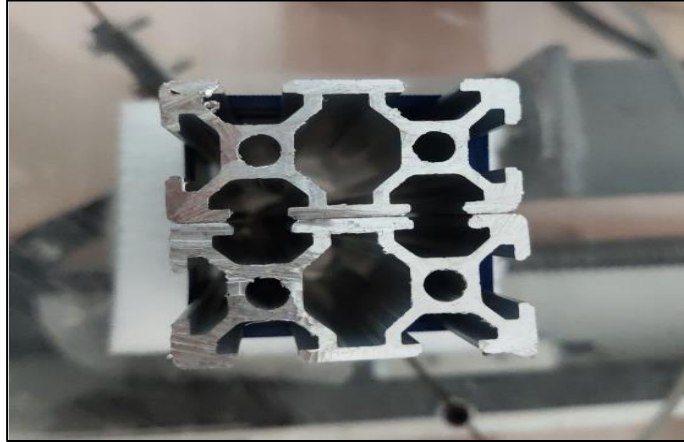


Hình 5. Mẫu ống nhựa và sỏi xây dựng

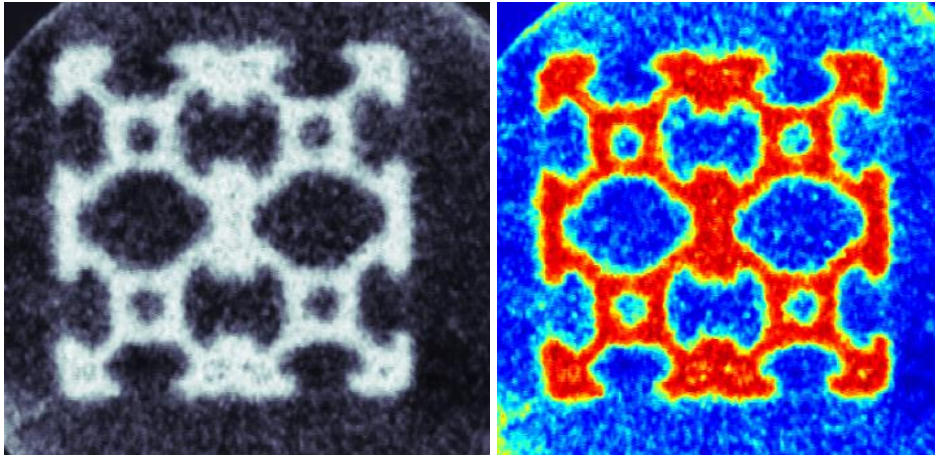


Hình 6. Ảnh tái tạo của mẫu vật 1

Mẫu vật 2: Đây là một đoạn nhôm định hình thường sử dụng trong kỹ thuật, kích thước 50mm × 50mm, vật liệu hợp kim nhôm.

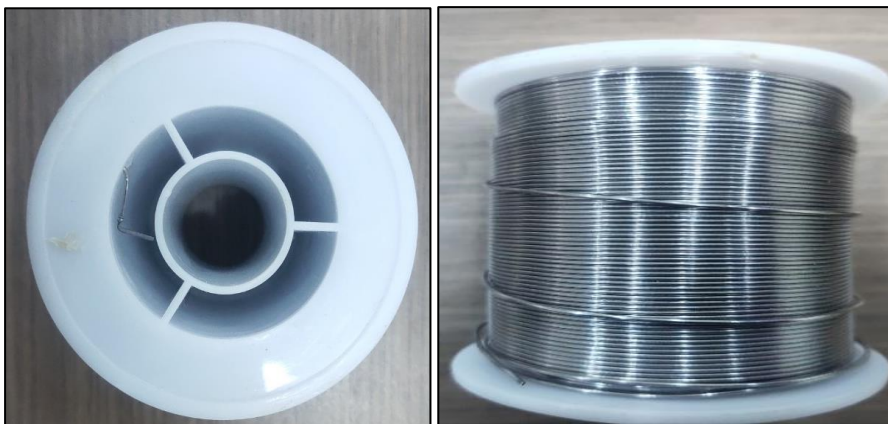


Hình 7. Mẫu nhôm định hình kích thước 50mm × 50mm

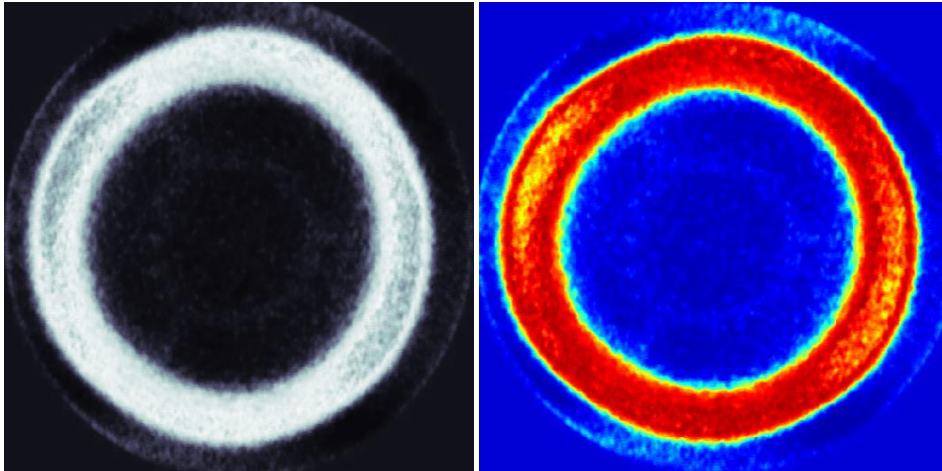


Hình 8. Ảnh tái tạo của mẫu vật 2

Mẫu vật 3: Là một ống hình trụ đường kính ngoài 60mm, bên trong có ống trụ đồng tâm dày 1,5mm, vật liệu thiết hàn và nhựa PVC.



Hình 9. Mẫu vật 3



Hình 10. Ảnh tái tạo của mẫu vật 3

Kết quả ảnh chụp cắt lớp điện toán có thể xác định được cấu trúc của các mẫu vật. Tuy nhiên hình ảnh chụp của mẫu vật 1 chưa được rõ nét, do kích thước mẫu vật lớn, hoạt độ nguồn thấp nên số đếm thống kê không cao. Mẫu vật 3 do có bề dày thiết hàn lớn (thiết hàn có 63% chì), khả năng hấp thụ khá cao dẫn đến các thông tin về vật liệu nhựa bị che mờ. Để khắc phục hiện tượng trên cần sử dụng hoạt độ nguồn cao hơn. Đối với mẫu vật 2, hình ảnh chụp cắt lớp thể hiện rất rõ nét cấu trúc.

4. Kết luận

Trong bài báo này, các tác giả đã sử dụng đầu dò NaI(Tl)+SiPM để chụp ảnh cắt lớp điện toán cho ba mẫu vật. Kết quả ảnh chụp cắt lớp điện toán của các mẫu vật đều xác định được cấu trúc bên trong. Từ đó khẳng định, đầu dò NaI(Tl)+SiPM hoàn toàn có thể sử dụng trong việc nghiên cứu và phát triển kỹ thuật chụp cắt lớp điện toán cũng như hình ảnh hạt nhân trong công nghiệp tại Cantí.

Lời cảm ơn

Công trình này được thực hiện tại Phòng thí nghiệm Điện tử - Tự động hóa của Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp với kinh phí do Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam cấp thông qua đề tài mã số CS/21/06-01. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] C. Kak and Malcolm Slaney (2001). *Principles of Computerized Tomographic Imaging*. Society of Industrial and Applied Mathematics.
- [2] Derek Watson, Lee Robins. Tracerco discovery™ – subsea ct (computed tomography) helps to optimise your operational pigging campaign and verify ili results: technology for pipeline integrity and flow assurance visualization, Tracerco, UK

- [3] <https://tiasang.com.vn/-doi-moi-sang-tao/viet-nam-che-tao-thanh-cong-thiet-bi-chup-cat-lop-dien-toan-cong-nghiep-4296>
- [4] <https://www.microphotonics.com>
- [5] <https://www.onsemi.com/>
- [6] <https://www.radiologyinfo.org/>
- [7] Kharfi, F. . (2013). Principles and Applications of Nuclear Medical Imaging: A Survey on Recent Developments. In: Kharfi, F., editor. *Imaging and Radioanalytical Techniques in Interdisciplinary Research - Fundamentals and Cutting Edge Applications* [Internet]. London: IntechOpen: Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/43519> doi: 10.5772/54884
- [8] Lại Viết Hải và cộng sự (2022). Xây dựng hệ đo gamma đơn kênh sử dụng công nghệ silicon photomultiplier (SiPM). *Tạp chí Khoa học Đại học Thủ Dầu Một*, số 1(56).
- [9] Nguyễn Văn Chuẩn và cộng sự (2020). Xây dựng cấu hình chụp ảnh cắt lớp phát xạ đơn photon (spect) phục vụ các thí nghiệm đánh dấu nghiên cứu mô hình dòng chảy. *Tạp chí Khoa học Đại học Thủ Dầu Một*, <http://doi.org/10.37550/tdmu.VJS/2021.05.237>.
- [10] Noordzij, W., Glaudemans, A.W.J.M. (2015). Nuclear Medicine Imaging Techniques. In: Glaudemans, A., Dierckx, R., Gielen, J., Zwerver, J. (eds). *Nuclear Medicine and Radiologic Imaging in Sports Injuries*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-46491-5_3