



PHÂN TÁCH THÀNH PHẦN BỨC XẠ VŨ TRỤ CHO DETECTOR NHẬP NHÁY KÍCH THƯỚC LỚN SỬ DỤNG THIẾT BỊ SỐ HÓA DRS-4 (2GSPS)

Ngô Vũ Thiên Quang¹, Võ Hồng Hải²,
Nguyễn Quốc Hùng², Phạm Nguyễn Thành Vinh^{1*}

¹Trường Đại học Sư phạm TP Hồ Chí Minh

²Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – ĐHQG TP HCM

Ngày nhận bài: 30-10-2017; ngày nhận bài sửa: 16-11-2017; ngày duyệt đăng: 20-12-2017

TÓM TẮT

Trong bài báo này, chúng tôi thực hiện phân tách thành phần bức xạ vũ trụ trong thí nghiệm trùng phùng hai detector nhấp nháy plastic kích thước lớn (40cm x 80cm x 3cm dày). Kỹ thuật phân tách thành phần bức xạ vũ trụ từ thông nền dựa vào phân tích dạng xung tín hiệu được ghi nhận (đã được số hóa) từ hai detector. Thiết bị điện tử số hóa DRS-4 với thời gian số hóa 2GSPS (tương ứng độ phân giải thời gian 0,5ns) được sử dụng trong việc số hóa xung tín hiệu từ các detector. Trong nghiên cứu này, chúng tôi phân tách thành phần bức xạ vũ trụ tương tác với với bảng nhấp nháy (40cm x 80cm). Trước hết, chúng tôi phân tích các bức xạ tương tác trong bảng nhấp nháy và trong bảng dẫn sáng dựa vào đánh giá độ rộng xung 10%, 20% và 50%. Kế đến, phân tích mối tương quan năng lượng giữa hai detector để phân tách thành phần bức xạ vũ trụ từ thông nền.

Từ khóa: bức xạ vũ trụ, detector nhấp nháy plastic, bộ số hóa DRS-4.

ABSTRACT

Cosmic-rays/background discrimination by using 2GSPS digitizer for a coincident two large-size plastic scintillation detectors

In this article, we carried out to study the discrimination of cosmic-rays component from the radiation background for a coincident experiment of the two large-size plastic scintillation detectors with 40cm x 80cm x 3cm of each. The technique we used based on the analysis the pulse shape of the digitized pulse signals recorded for two detectors. DRS-4 digitizer with sampling rate of 2GSPS (i.e. 0.5nsec time resolution) is employed for digitizing the pulse signals. In this work, we studied the discrimination of the interactive cosmic-ray component in the scintillation plate of 40cm x 80cm. To do that, firstly, the pulse width of 10%, 20% and 50% is analyzed to discriminate the interactive radiation in the scintillation plate from the guide-light plate. Secondly, energy correlation between two detectors is analyzed to discriminate the cosmic-ray component from the radiation background.

Keywords: cosmic rays, plastic scintillation detector, DRS-4 digitizer.

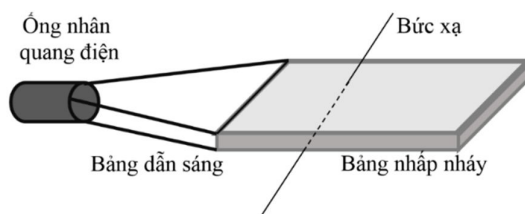
1. Giới thiệu

Bức xạ vũ trụ được phát hiện vào năm 1912 bởi nhà Vật lý người Úc Victor Hess. Từ đó đến nay đã có rất nhiều thí nghiệm trên thế giới nghiên cứu các đặc tính, tính chất vật lý của bức xạ vũ trụ cũng như nghiên cứu ảnh hưởng của bức xạ vũ trụ tác động lên Trái Đất và con người. Bức xạ vũ trụ đến Trái Đất từ không gian bên ngoài còn được gọi là bức xạ vũ trụ sơ cấp. Đối với hạt tới là các hạt mang điện thì có đến khoảng 90% proton, 9% alpha và các hạt

* Email: vinhpham@hcmup.edu.vn

nhân nặng khác chiếm 1%, và có năng lượng rất lớn từ 10^9eV đến 10^{20}eV [2]. Bức xạ vũ trụ sơ cấp khi đi vào bầu khí quyển của Trái Đất sẽ tương tác với các nguyên tử chủ yếu là oxy và nitơ tạo thành “mưa rào” các bức xạ thứ cấp. Tại vị trí mặt đất, các bức xạ thứ cấp bao gồm bức xạ muon, pion, electron, gamma, neutron, v.v. [2]. Ở đó muon chiếm tỉ lệ cao với khoảng 60% thành phần và có năng lượng trung bình khoảng 400MeV [3].

Để thực hiện ghi nhận bức xạ vũ trụ tại vị trí mặt đất, một số thí nghiệm [1,4-7] sử dụng các detector nhấp nháy plastic dạng nhấp nháy hữu cơ, vì detector nhấp nháy có đáp ứng thời gian nhanh và dễ dàng tạo kích thước có diện tích lớn. Detector nhấp nháy plastic thường được thiết kế như Hình 1, bao gồm các bộ phận như bảng nhấp nháy, bảng dẫn sáng và ống nhân quang điện. Ở đó bảng nhấp nháy là vùng chủ định ghi nhận bức xạ, bảng dẫn sáng được dùng để “phối hợp kích thước” giữa bảng nhấp nháy và ống nhân quang điện. Khi bức xạ tương tác với bảng nhấp nháy, các photon nhấp nháy được sinh ra và được ghi nhận bởi ống nhân quang điện. Xung tín hiệu điện tử ló ra từ ống nhân quang điện thể hiện năng lượng của bức xạ để lại trong detector. Để ghi nhận bức xạ vũ trụ, kĩ thuật thường sử dụng là kĩ thuật trùng phùng giữa các detector nhấp nháy với nhau. Thành phần bức xạ vũ trụ được xác định thông qua vùng năng lượng ghi nhận trên các detector và tín hiệu trùng phùng.

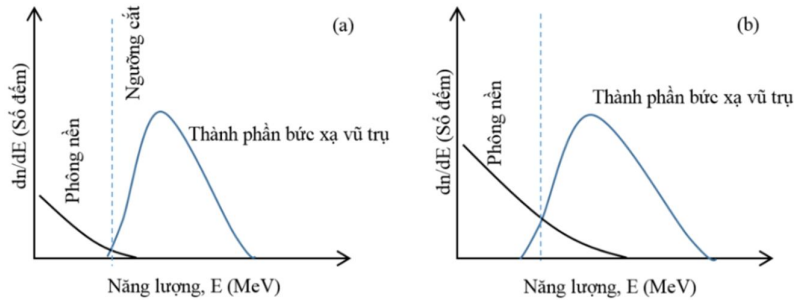


Hình 1. Thiết kế cơ bản của detector nhấp nháy plastic ghi nhận bức xạ

Ngày nay, việc nghiên cứu ghi đo bức xạ vũ trụ vẫn được quan tâm không những xác định về tính chất vật lí mà còn nâng cao khả năng phát triển các hệ thống detector và kĩ thuật điện tử sao cho việc xác định thành phần bức xạ vũ trụ được chính xác và cải tiến. Tại Phòng Thí nghiệm Vật lí Hạt nhân, thuộc Bộ môn Vật lí Hạt nhân, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – ĐHQG TPHCM, đã và đang thực hiện các thí nghiệm nghiên cứu liên quan đến bức xạ vũ trụ như: Đo thông lượng bức xạ vũ trụ theo phân bố góc [4], đo thời gian sống muon sử dụng các detector nhấp nháy plastic; đo ảnh hưởng của bức xạ vũ trụ lên các hệ phổ kế gamma NaI(Tl) hay HPGe [5], thí nghiệm phân biệt vùng bức xạ vũ trụ tương tác trên bảng nhấp nháy hay bảng dẫn sáng của detector nhấp nháy plastic kích thước lớn [6].

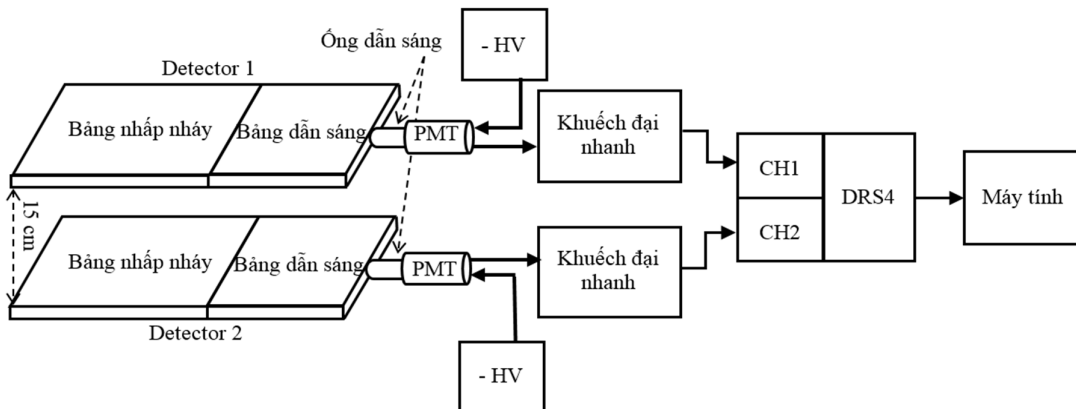
Trong bài báo này, chúng tôi thực hiện nghiên cứu phân biệt thành phần bức xạ vũ trụ từ bức xạ phong nền cho hệ đo trùng phùng hai detector nhấp nháy plastic kích thước lớn. Việc phân tách vùng bức xạ vũ trụ được dựa vào kĩ thuật phân tích dạng xung tín hiệu từ hai detector. Ở công trình [4], đối với detector nhấp nháy kích thước nhỏ, việc xác định thành phần bức xạ vũ trụ dựa vào phổ năng lượng để tách thành phần bức xạ vũ trụ ra khỏi phong nền (như mô tả ở Hình 2a). Đối với detector nhấp nháy kích thước lớn, thành phần phong nền và thành phần bức xạ vũ trụ sẽ lẫn vào nhau, do chịu ảnh hưởng không những của độ phân

giải năng lượng mà còn của vị trí bức xạ tương tác với vùng hoạt (vùng nhấp nháy) của detector (như mô tả ở Hình 2b). Hơn nữa, thành phần phông nền còn được đóng góp bởi những bức xạ tương tác với chất dẫn sáng (do hiệu ứng phát xạ Cherenkov). Ở nghiên cứu trước [6], chúng tôi đã nghiên cứu cho detector nhấp nháy kích thước lớn để phân tách thành phần bức xạ vũ trụ giữa bảng dẫn sáng và bảng nhấp nháy plastic, dựa vào độ rộng xung. Giá trị độ rộng xung thể hiện sự khác biệt giữa tín hiệu nhấp nháy do bảng nhấp nháy gây ra, và tín hiệu nhấp nháy (hiệu ứng phát xạ Cherenkov) do bảng dẫn sáng gây ra. Trong bài báo này, chúng tôi thực hiện nghiên cứu phân tách thành phần bức xạ vũ trụ từ phông nền. Việc phân tách này dựa vào kết hợp hai kĩ thuật: (1) mối tương quan giữa năng lượng và độ rộng xung cho từng detector và (2) mối tương quan năng lượng giữa hai detector. Trong thí nghiệm này, hai detector nhấp nháy plastic kích thước lớn là 40cm x 80cm x 3cm dày được đặt song song. Xung tín hiệu điện tử ló ra từ hai detector được khuếch đại nhanh và được ghi nhận bởi thiết bị điện tử số hóa DRS-4 [11] với tốc độ số hóa được thiết lập 2GSPS (tương đương với độ phân giải thời gian là 0,5ns). Với tốc độ số hóa 2GSPS, dạng xung tín hiệu từ hai detector có thể ghi nhận. Thí nghiệm được tiến hành tại Bộ môn Vật lí Hạt nhân, Khoa Vật lí – Vật lí kĩ thuật, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQG TPHCM.

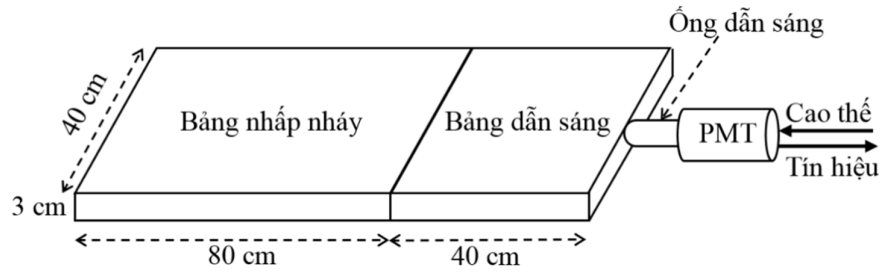


Hình 2. Phổ năng lượng để lại khi đo trùng phùng hai detector nhấp nháy plastic ghi nhận bức xạ vũ trụ đối với (a) detector có kích thước nhỏ và (b) detector có kích thước lớn

Thiết lập thí nghiệm



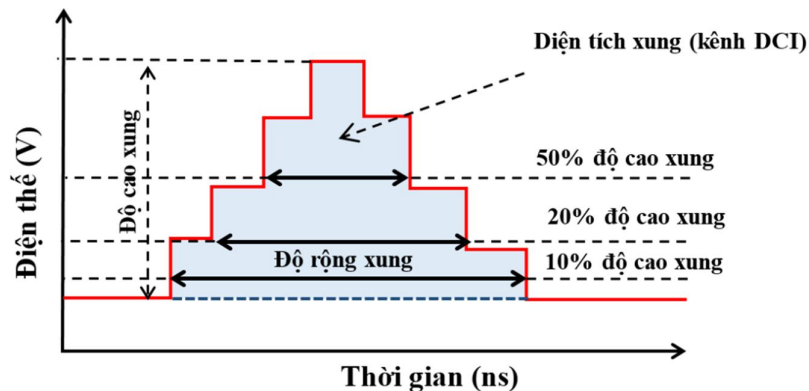
Hình 3. Sơ đồ khối thiết lập hệ đo trùng phùng hai detector nhấp nháy plastic



Hình 4. Sơ đồ khối của detector nhấp nháy plastic kích thước lớn

Để xây dựng hệ đo ghi nhận bức xạ vũ trụ, chúng tôi sử dụng hai detector nhấp nháy kích thước lớn và đặt song song với nhau với khoảng cách là 15cm. Hình 3 trình bày sơ đồ khối bố trí thí nghiệm đo trùng phùng hai detector ghi nhận bức xạ vũ trụ. Khi bức xạ tương tác với bảng nhấp nháy, các photon ánh sáng được sinh ra từ bảng nhấp nháy qua bảng dẫn sáng và đến ống nhân quang điện (Photo Multiplier Tube – PMT). PMT được sử dụng trong hệ đo này là R329 – 02 sản xuất bởi hãng Hamamatsu [9], và được nuôi bởi bộ nguồn cao thế âm Opton NC do hãng Matsusada Precision Inc. [8]. Tín hiệu ra từ hai detector được khuếch đại nhanh bởi thiết bị TFA 2111 của hãng Canberra [12], và trùng phùng và số hóa bởi thiết bị DRS-4 [11]. Tốc độ số hóa được thiết lập là 2GSPS (tương ứng với độ phân giải thời gian là 0,5ns). Mỗi detector nhấp nháy (như trình bày ở Hình 4) có kích thước 40cm x 120cm x 3cm dày, trong đó diện tích bảng nhấp nháy là 40cm x 80cm và diện tích của bảng dẫn sáng là 40cm x 40cm [10]. Vật liệu nền của bảng nhấp nháy là polyvinyltoluene có khối lượng riêng là $\rho = 1,032\text{g/cm}^3$. Với bề dày là 3cm, bức xạ vũ trụ sẽ để lại năng lượng vào khoảng 7MeV. Ở đó, độ mất năng lượng của hạt mang điện năng lượng cao là $dE/dx \sim 2,3\text{MeVcm}^2/\text{g}$ [3] (tương đương 2,3MeV/cm với khối lượng riêng 1g/cm^3). Giá trị năng lượng 7MeV này khá lớn so với vùng năng lượng của gamma môi trường.

Phân tích và thảo luận

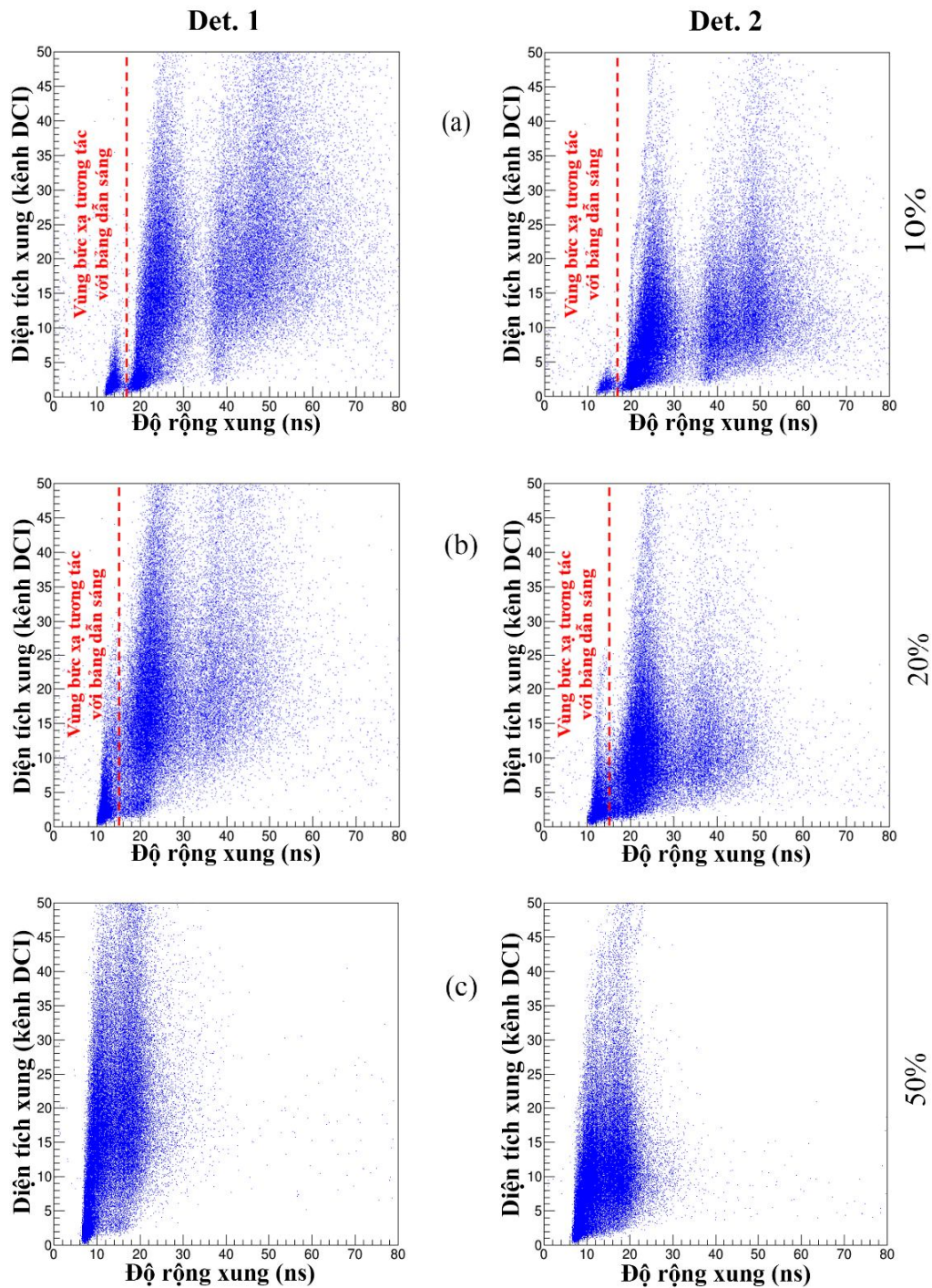


Hình 5. Dạng xung tín hiệu được số hóa

Dữ liệu đo từ thiết bị số hóa DRS-4 sẽ cho thông tin về dạng xung tín hiệu. Hình 5 minh họa dạng xung được số hóa cả về thời gian và điện thế. Trong bài báo này, với dạng đáp ứng xung có được, chúng tôi phân tích mối tương quan giữa các độ rộng xung (ứng với giá trị thời gian) theo diện tích xung (tương ứng với giá trị năng lượng để lại) để từ đó có thể phân tích bức xạ tương tác ở bảng dẫn sáng cũng như tương tác ở bảng nhấp nháy. Chúng tôi phân tích cho các độ rộng xung 10%, 20% và 50%. Ở đó, độ rộng xung 10%, 20%, 50% là khoảng thời gian tương ứng với vị trí độ cao xung là 10%, 20% và 50% so với độ cao đỉnh. Diện tích xung được lấy tổng theo thời gian trong khoảng 200ns. Diện tích xung có đơn vị là kênh DCI (Digital Charge Integration). Để xác định thành phần bức xạ vũ trụ từ phong nền, chúng tôi phân tích: (1) mối tương quan giữa năng lượng và độ rộng xung cho từng detector và (2) mối tương quan giữa năng lượng-năng lượng của hai detector.

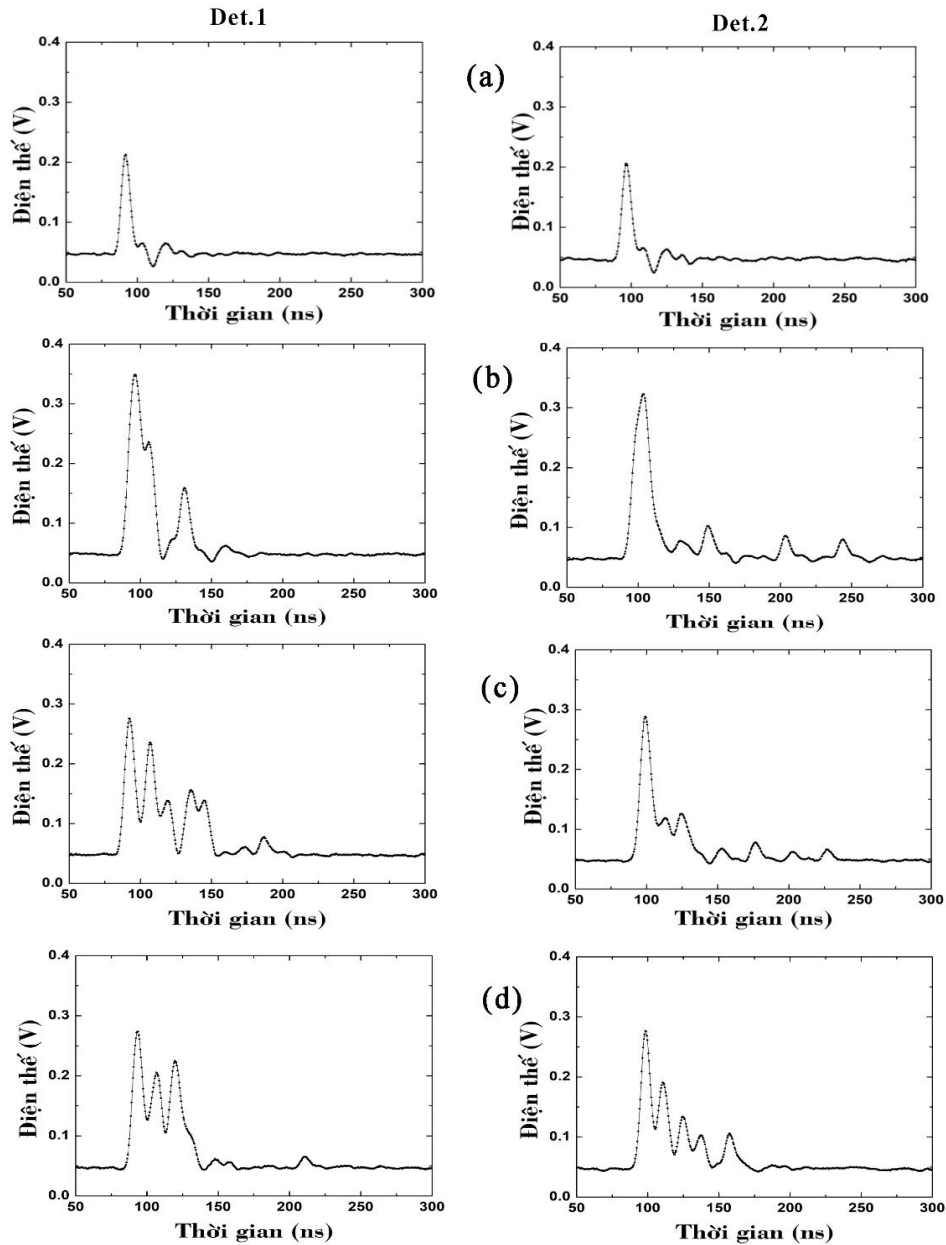
❖ Mối tương quan giữa độ rộng xung theo diện tích xung của hai detector

Chúng tôi phân tích mối tương quan giữa độ rộng xung theo diện tích xung cho hai detector (detector 1 và detector 2). Các độ rộng xung được phân tích bao gồm 10%, 20% và 50%. Hình 6 trình bày các kết quả phân tích tương ứng với các độ rộng 10% (Hình 6a), 20% (hình 6b) và 50% (hình 6c). Kết quả phân tích ở độ rộng xung 10% (Hình 6a) cho thấy, vùng bức xạ tương tác với bảng dẫn sáng có thể được xác định với độ rộng xung nhỏ hơn 17ns. Nguyên nhân là do ánh sáng Cherenkov có được khi bức xạ năng lượng cao (bức xạ vũ trụ) tương tác tại bảng dẫn sáng và được ghi nhận trực tiếp bởi PMT, do đó thời gian đuôi xung thường rất ngắn dẫn đến độ rộng xung nhỏ. Hình 7a trình bày một sự kiện với độ rộng xung nhỏ hơn 17ns cho detector 1 và detector 2, tương ứng với bức xạ tương tác ở bảng dẫn sáng. Những sự kiện này được xem là phong nền. Ngược lại, đối với các sự kiện có độ rộng xung lớn hơn 17ns, chính là tín hiệu từ sự tương tác của bức xạ với bảng nhấp nháy. Với detector có kích thước lớn, kết quả cho thấy độ rộng xung ở vùng bảng nhấp nháy có phân bố rất rộng từ 20ns đến 60ns. Điều này có thể được giải thích là do các photon ánh sáng nhấp nháy có thời gian nhấp nháy kéo dài cũng như do cơ chế phản xạ từ các mặt cạnh của bảng nhấp nháy kích thước lớn. Hơn nữa, độ rộng xung trong Hình 6a thể hiện sự phân tách rõ ràng giữa các vùng phân bố: vùng 25ns, 40ns và 50ns. Dạng xung ở các vùng tương ứng này được thể hiện cụ thể trong các Hình 7b, 7c, 7d cho các detector 1 và detector 2. Đối với phân tích cho độ rộng xung 20%, như trình bày ở hình 6b, kết quả thể hiện tương tự như trường hợp độ rộng xung 10%, nghĩa là đều có thể xác định được vùng bức xạ tương tác ở bảng dẫn sáng và bảng nhấp nháy. Đối với kết quả phân tích độ rộng xung 50% (hình 6c), độ phân giải của sự phân tách giữa bảng dẫn sáng và bảng nhấp nháy là kém hơn rất nhiều so với hai trường hợp đã xem xét (độ rộng xung 10% trong hình 6a và 20% trong Hình 6b). Từ đây chúng tôi rút ra kết luận có thể sử dụng độ rộng xung 10% và 20% chọn lọc các sự kiện bức xạ vũ trụ ghi nhận trên bảng nhấp nháy.



Hình 6. Mối tương quan giữa diện tích xung và độ rộng xung

- (a) Trường hợp độ rộng xung 10%.
- (b) Trường hợp độ rộng xung 20%.
- (c) Trường hợp độ rộng xung 50%

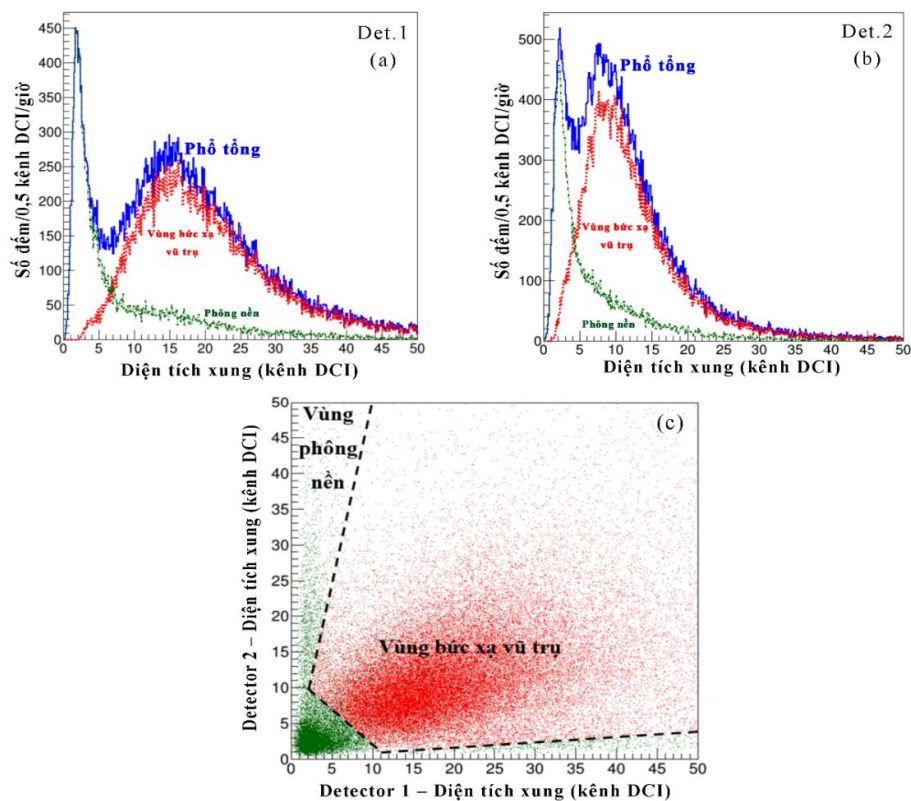


Hình 7. Dạng xung ghi nhận trên hai detector trùng phùng bởi thiết bị số hóa DRS-4 với tốc độ lấy mẫu 2GSPS. Số liệu được vẽ tương ứng các vùng thời gian ở độ rộng xung 10% trong Hình 6a. (a) Dạng xung có độ rộng xung nhỏ hơn 17ns. (b) Dạng xung có độ rộng xung trong vùng 25ns. (c) Dạng xung có độ rộng xung trong vùng 40ns. (d) Dạng xung có độ rộng xung trong vùng 50ns.

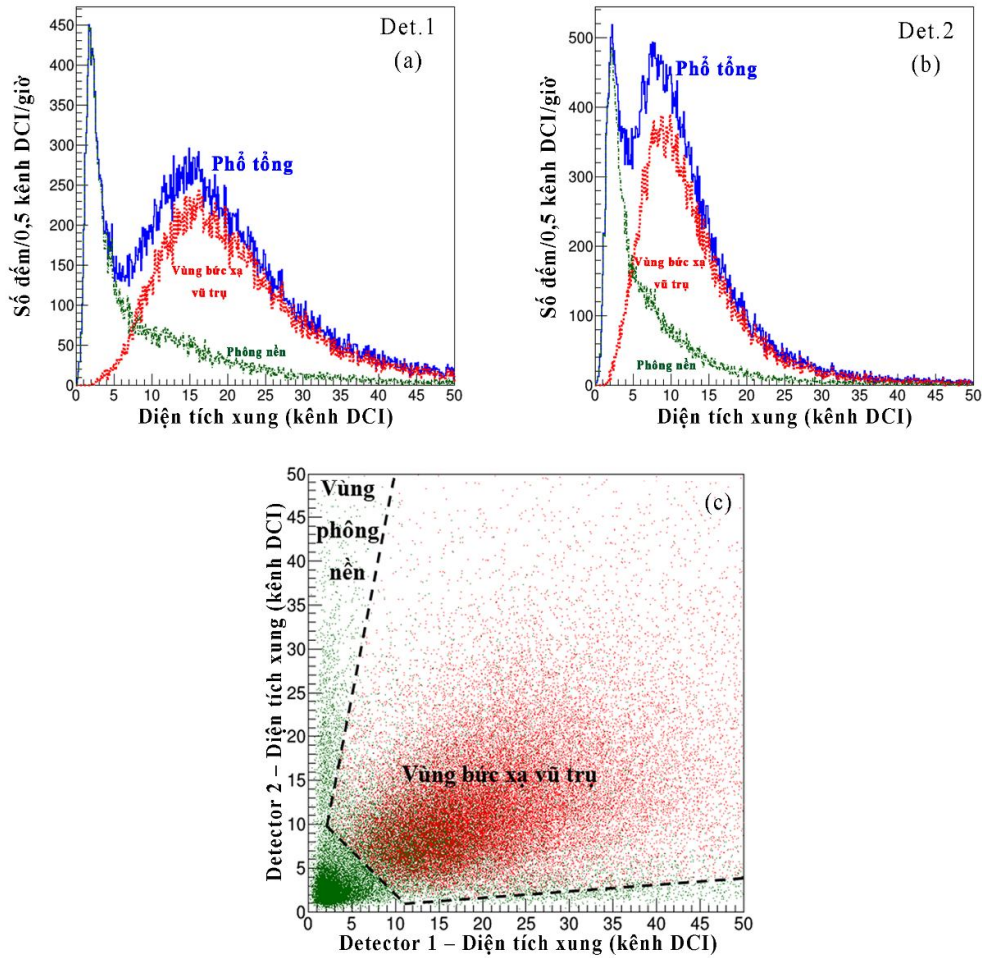
❖ Xác định vùng bức xạ vũ trụ trên bảng nhấp nháy plastic

Để xác định vùng phổ năng lượng để lại của bức xạ vũ trụ tương tác tại bảng nhấp nháy (phần diện tích 40cm x 80cm), chúng tôi phân tích mối tương quan năng lượng ghi nhận giữa detector 1 và detector 2, và kết hợp loại bỏ các sự kiện tương tác ở bảng dẫn

sáng (đã được thảo luận ở 3.1). Chúng tôi phân tích cho hai trường hợp có độ rộng xung 10% và 20%. Hình 8 (trường hợp độ rộng xung 10%) và Hình 9 (trường hợp độ rộng xung 20%) trình bày kết quả phân tích khi loại bỏ vùng các sự kiện có độ rộng xung nhỏ hơn 17ns (các sự kiện ở vùng băng dẫn sáng). Phổ tổng (màu xanh dương) ở các Hình 8a, 8b và 9a, 9b tương ứng với detector 1 và detector 2, cho thấy phong nền và vùng bức xạ vũ trụ có chồng chập lên nhau (như dự đoán của chúng tôi được thể hiện trong hình 2b). Do đó, để có thể phân tách vùng bức xạ vũ trụ từ phong nền, chúng tôi dựa vào mối tương quan năng lượng giữa hai detector như trình bày ở các Hình 8c và 9c. Để phân tách vùng bức xạ vũ trụ, các vùng cắt (đường đứt nét) được chọn lọc. Kết quả cho thấy, thành phần bức xạ vũ trụ sau khi cắt (màu đỏ) có thể được tách ra từ phong nền (xanh lá). Đáp ứng phổ của bức xạ vũ trụ (đường màu đỏ) trên hai detector nhấp nháy được ghi nhận (Hình 8a, 8b, 9a, 9b), thể hiện dạng phổ đặc trưng của bức xạ vũ trụ tương tác trên detector nhấp nháy plastic. Đối với kết quả phân tích cho độ rộng xung 20%, có nhiều sự kiện nằm trong vùng ghi nhận trong vùng nhấp nháy (Hình 9c) bị loại bỏ, điều này sẽ làm “thất thoát” sự ghi nhận bức xạ vũ trụ trong vùng băng nhấp nháy. Việc phân tích độ rộng xung 10% cho kết quả tốt hơn.



Hình 8. Xét cho độ rộng xung 10%, phân biệt vùng bức xạ vũ trụ (màu đỏ) từ phổ tổng (màu xanh dương). (Ở đó, đường nét đứt là vùng cắt phân biệt giữa vùng bức xạ vũ trụ và phông nền (màu xanh lá)). (a) Phân tích phổ cho detector 1. (b) Phân tích phổ cho detector 2. (c) Mối tương quan năng lượng (diện tích xung) giữa detector 1 và detector 2.



Hình 9. Xét cho độ rộng xung 20%, phân biệt vùng bức xạ vũ trụ (màu đỏ) từ phổ tổng (màu xanh dương). (Ở đó, đường nét đứt là vùng cắt phân biệt giữa vùng bức xạ vũ trụ và phông nền (màu xanh lá)). (a) Phân tích phổ cho detector 1. (b) Phân tích phổ cho detector 2. (c) Mối tương quan năng lượng (diện tích xung) giữa detector 1 và detector 2.

2. Kết luận

Chúng tôi đã phân tích độ rộng xung và phân tích mối tương quan năng lượng giữa hai detector để tách thành phần bức xạ vũ trụ tương tác với bảng nhấp nháy (40cm x 80cm). Kết quả phân tích cho thấy đối với trường hợp độ rộng xung 10% và 20%, vùng bức xạ tương tác với bảng dẫn sáng có độ rộng xung nhỏ hơn 17ns, và với bảng nhấp nháy có độ rộng xung trải rộng từ vùng lớn hơn 17ns đến 60ns. Cùng với kết hợp phân tích mối tương quan năng lượng giữa hai detector 1 và detector 2, vùng bức xạ vũ trụ ở bảng nhấp nháy đã được tách từ phông nền. Kết quả phân tích cũng cho thấy, số liệu phân tích cho độ rộng xung 10% cho kết quả tốt hơn so với số liệu phân tích với độ rộng xung 20% và 50%.

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

❖ **Lời cảm ơn:**

Chúng tôi gửi lời cảm ơn đến GS. Masaharu Nomachi, Trường Đại học Osaka Nhật Bản đã hỗ trợ thiết bị số hóa DRS-4. Chúng tôi gửi lời cảm ơn GS. Pierre Darriulat trong việc hỗ trợ hai detector nhấp nháy plastic và Bộ môn Vật lý Hạt nhân, Khoa Vật lý – Vật lý kỹ thuật, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – ĐHQG TPHCM đã tạo điều kiện trong việc triển khai các thí nghiệm.

Phần kinh phí đề tài nằm trong tài trợ của Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia Nafosted, mã số đề tài: 103.04-2015.103.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Dinh P. N. et al., “Measurement of the vertical cosmic muon flux in a region of large rigidity cutoff,” *Nuclear Physics B*, **627** (1), pp. 29 – 42, 2002.
- [2] Gaisser T. K., Engel R., and Resconi E., *Cosmic rays and particle physics.*, Cambridge University Press, 2016.
- [3] Groom D. E., Mokhov N. V., and Striganov S. I., “Muon stopping power and range tables 10 MeV – 100 TeV,” *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, **78** (2), pp. 183 – 356, 2001.
- [4] Hai V. H., Dao N. Q., and Nomachi M., “Cosmic ray angular distribution employing plastic scintillation detectors and flash-ADC/FPGA-based readout systems,” *Kernntechnik*, **77** (6), pp. 462 – 464, 2002.
- [5] Hung N. Q., Hai V. H., and Nomachi M., “Investigation of cosmic-ray induced background of Germanium gamma spectrometer using GEANT4 simulation,” *Applied Radiation and Isotopes*, **121**, pp. 87 – 90, 2017.
- [6] Hung N. Q. et al., “Discrimination of cosmic-ray in scintillation region and light-guide for plastic scintillation detectors using 5GSPS readout system,” *Nuclear Science and Technology*, **5** (3), pp. 33 – 37, 2015.
- [7] Laurec J. et al., “A new low background gamma spectrometer equipped with an anti-cosmic device,” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, **369** (2-3), pp. 566 – 571, 1996.
- [8] Opton NC Specifications, *Matsusada Precision Inc.*, [online] Available at <http://www.matsusada.com/>
- [9] Photo Multiplier Tube R329_02 Specifications, *Hamamatsu Corp.*, [pdf] Available at http://hamamatsu.com/resources/pdf/etd/R32902_TPMH1254E.pdf
- [10] Pierre Darriulat, large-size plastic scintillator detector. The collaboration program between Institute for nuclear science and technology Hanoi and Department of Nuclear Physics, University of Science – VNU HCM.
- [11] Ritt S. (2014), “DRS-4 evaluation board User’s manual”, Paul Scherrer Institute, [pdf] Available: https://www.psi.ch/drs/DocumentationEN/manual_rev51.pdf
- [12] TFA 2111 Specifications, *Canberra*, [online] Available at <http://www.canberra.com/>