

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO MẪU THIẾT BỊ ĐO MỨC CẦM TAY SỬ DỤNG ỐNG ĐẾM GEIGER-MULLER

Phạm Quỳnh Giang⁽¹⁾, Đặng Quốc Triệu⁽²⁾, Vương Đức Phụng⁽²⁾, Lại Việt Hải⁽²⁾

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

(2) Viện Nghiên cứu hạt nhân, Lâm Đồng

Ngày nhận bài 27/12/2022; Ngày gửi phản biện 28/12/2022; Chấp nhận đăng 03/02/2023

Liên hệ email: phamquynhgiang1220@gmail.com

<https://doi.org/10.37550/tdmu.VJS/2023.01.373>

Tóm tắt

Bài báo trình bày nghiên cứu, thiết kế, chế tạo thiết bị đo mức cầm tay sử dụng ống đếm Geiger-Muller bằng phương pháp gamma truyền qua, ứng dụng trong việc giảng dạy học tập. Mục đích của nghiên cứu, chế tạo là phục vụ công tác đào tạo giảng dạy, giúp học sinh, sinh viên nắm vững cơ chế tương tác của bức xạ với vật chất góp phần phổ biến kiến thức ứng dụng năng lượng nguyên tử và nâng cao chất lượng bài thuyết trình tại Trung tâm Đào tạo Viện Nghiên cứu hạt nhân. Kết quả bước đầu đã chế tạo một thiết bị đo mức cầm tay sử dụng ống đếm Geiger-Muller sử dụng nguồn gamma Cs-137 hoạt độ $10\mu\text{Ci}$, hiển thị số đếm bằng màn hình LCD 16×2 và nguồn nuôi 9VDC dễ thao tác và an toàn khi sử dụng. Đây là tiền đề để tiếp tục nghiên cứu phát triển thiết bị đo mức bằng bức xạ, nhằm tăng mức độ trực quan, sinh động của các bài giảng về ứng dụng năng lượng nguyên tử, ứng dụng phương pháp gamma truyền qua mà không cần sử dụng các thiết bị phức tạp, đắt tiền và đảm bảo được an toàn bức xạ tại Trung tâm Đào tạo.

Từ khóa: NDT, thiết bị đo mức

Abstract

STUDY DESIGN AND PRODUCTION OF A PROTOTYPE EQUIPMENT DETECTING LEVEL OF LIQUID USED GEIGER-MULLER DETECTOR

The paper presents study, design, and production of equipment for detecting level of liquid used geiger-muller detector by gamma transmission method, application in teaching and learning. The purpose of research and manufacturing is to serve the teaching and training, to help students master the mechanism of radiation interaction with matter, contributing to disseminating knowledge of atomic energy application and enhancement high-quality presentations at the Nuclear Research Institute Training Center. Initial results have produced a handheld level measuring device using a Geiger-Muller counter tube using gamma source Cs-137- $10\mu\text{Ci}$, displaying the counter by a 16×2 LCD screen and a power supply 9VDC that is easy to operate and safe when in operator. This is the premise for further research and development of radiation level measurement equipment to increase the visual of lectures on atomic energy application,

application of transmitted gamma method without using complicated, expensive equipment, and ensuring radiation safety at the Training Center.

1. Giới thiệu

Sử dụng ống đếm GM kết hợp với kỹ thuật vi xử lý tiêu thụ công suất thấp để thiết kế, chế tạo thiết bị cầm tay đo báo mức chất lỏng. Toàn bộ thiết bị được chế tạo nhỏ gọn dưới dạng một chiếc gậy cầm tay để người sử dụng dễ dàng kiểm tra mức chất lỏng trong các lon nước giải khát. Thiết bị nhằm mục đích giới thiệu cho học sinh, sinh viên ứng dụng của kỹ thuật đo gamma truyền qua trong đo mức chất lỏng, góp phần phổ biến kiến thức ứng dụng năng lượng nguyên tử và nâng cao chất lượng bài thuyết trình tại Trung tâm Đào tạo nói riêng và Viện Nghiên cứu hạt nhân nói chung.

Sáng kiến nghiên cứu, thiết kế, chế tạo thiết bị đo mức sử dụng đầu dò GM ứng dụng trong việc giảng dạy học tập nhằm giúp cho học sinh, sinh viên nắm vững cơ chế tương tác của các bức xạ giúp cho học sinh, sinh viên việc lựa chọn các loại bức xạ phù hợp cho từng bài toán cụ thể áp dụng trong thực tế vào các ngành kinh tế để đạt được những kết quả hữu hiệu nhất cũng đóng vai trò hết sức quan trọng. Bên cạnh đó, hiểu cơ chế tương tác của các loại bức xạ với vật chất là một nhu cầu hết sức cần thiết cho học sinh, sinh viên trong giải đoán các bài toán nghiên cứu và triển khai ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp, môi trường nói riêng và trong các ngành kinh tế nói chung. Từ việc chế tạo các thiết bị ghi đo bức xạ; nghiên cứu bức xạ, tìm hiểu tính chất của mỗi loại bức xạ và điều kiện thực nghiệm... mà lựa chọn mỗi loại detector và các hệ thống thiết bị điện tử kèm theo sao cho phù hợp.

Việc sử dụng Arduino Nano CH340 trong xử lý tín hiệu thiết bị đo mức cầm tay sử dụng đầu dò GM có rất nhiều ưu điểm như: giá thành thấp, đơn giản dễ sử dụng (hiện nay Arduino Nano CH340 được bán trên thị trường với giá 80,000 VNĐ). Trước đây, để làm các thí nghiệm cơ chế tương tác của các bức xạ với vật chất cho học sinh, sinh viên Trung tâm thường sử dụng máy đo liều Aloka, để sử dụng máy Aloka thì người sử dụng phải được đào tạo và có kinh nghiệm sử dụng máy, vì máy rất dễ hỏng và giá thành rất cao. Nhưng với sáng kiến này việc chế tạo một máy đo mức sử dụng đầu dò GM với giá thành thấp và rất phù hợp cho ứng dụng đào tạo học sinh sinh viên vì máy dễ sử dụng.

Đây là một sáng kiến có tính mới khi thiết kế chế tạo thiết bị đo mức cầm tay sử dụng vi xử lý Arduino Nano kết hợp với ống đếm GM7124 phục vụ công tác đào tạo học sinh sinh viên.

2. Phương pháp nghiên cứu

Khi chùm bức xạ gamma truyền vuông góc với lớp vật chất bề dày dx , sự suy giảm của cường độ bức xạ đi được biểu thị bằng công thức:

$$I = I_0 e^{-\mu \cdot \rho \cdot x} \quad (1)$$

Trong đó:

I: cường độ chùm tia gamma đi qua lớp vật chất (số đếm phóng xạ)

I_0 : cường độ chùm tia gamma phát ra từ nguồn (số đếm phóng xạ)

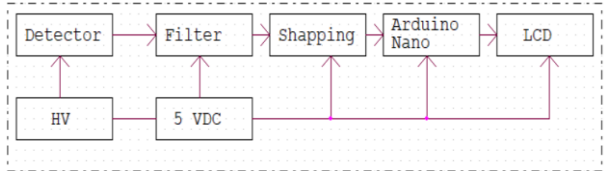
μ : hệ số suy giảm khối (cm^2/g)

ρ : mật độ khối của vật chất gây suy giảm (g/cm^3)

x: độ dày vật chất (cm)

Dựa vào nguyên lý này, phương pháp gamma truyền qua có thể được áp dụng để đo mực chất lỏng, mức vật liệu... trong các chai hoặc lon bia và nước giải khát ở các nhà máy. Sơ đồ khối mẫu thiết bị đo mức cảm dò Geiger-Muller bằng phương pháp gamma truyền qua như Hình 1. Tín hiệu ra từ đầu dò GM7124 (Detector), sản xuất bởi LND INC vào khoảng 5-12 Volt. Tín hiệu lỗi ra sau đó đưa qua mạch lọc và mạch hình thành xung. Xung tín hiệu được lọc nhiễu và hình thành xung sau đó được chuyển thành xung TTL. Tín hiệu TTL được đếm trên

bộ đếm được thiết kế lập trình trên nền Arduino Nano và hiển thị số liệu trên màn hình LCD 16×2 . Bên cạnh đó, để đầu dò và mạch điện tử có thể hoạt động được, một bộ cao thế và nguồn nuôi thế thấp cũng được nghiên cứu chế tạo. Bộ cao thế có thể nâng điện áp từ nguồn thế thấp lên đến 500 volt cung cấp cho đầu dò GM7124.

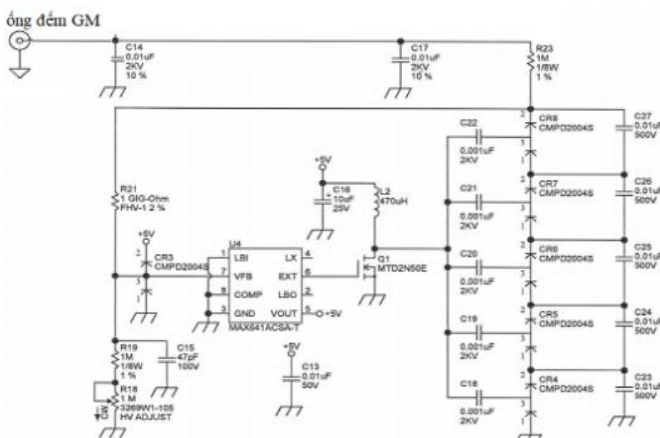


Hình 1. Sơ đồ khối mẫu thiết bị đo mức cảm tay sử dụng đầu dò Geiger-Muller bằng phương pháp gamma truyền qua

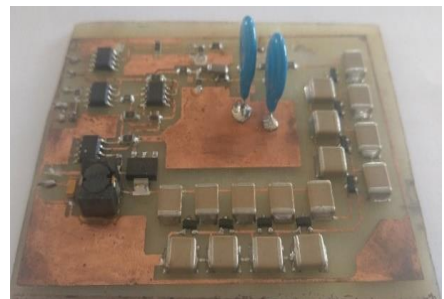
2.1. Thiết kế hệ đo

2.1.1. Thiết kế chế tạo mạch cao thế

Cao thế làm việc ổn định của ống đếm GM7124 theo khuyến cáo nhà sản xuất là 450-600 Volt. Để đáp ứng điều đó, một mạch cao thế Step-up đa tầng gồm IC chuyển đổi điện áp Max641, cuộn cảm L2, Mosfet MTD2N50E và mạch nhân thế diode – tụ được thiết kế chế tạo để nhân điện thế 5V từ nguồn thế thấp thành nguồn cao thế 0-600 Volt để cấp cho ống đếm, sơ đồ nguyên lý như Hình 2.



Hình 2a. Sơ đồ nguyên lý mạch cao thế 600 Volt.



Hình 2b. Mạch cao thế 600 Volt.

2.1.2. Mạch tạo dạng xung

Tín hiệu từ ống đếm GM7124 được lọc nhiễu với mạch khuếch đại lặp sử dụng IC TLC271CP tại đây biên độ tín hiệu lỗi ra khoảng 4.9VDC. Tín hiệu đưa qua mạch tạo dạng xung sử dụng IC SN74123N, tín hiệu được xử lý sao cho độ rộng xung τ_w đáp ứng được 150ns, và được tính bằng công thức:

$$\tau_w = K.R_{11}.C_{10}$$

Khi $C_{10} \geq 1\mu F$, tín hiệu lỗi ra có độ rộng $\tau_w = 0.33.R_{11}.C_{10}$

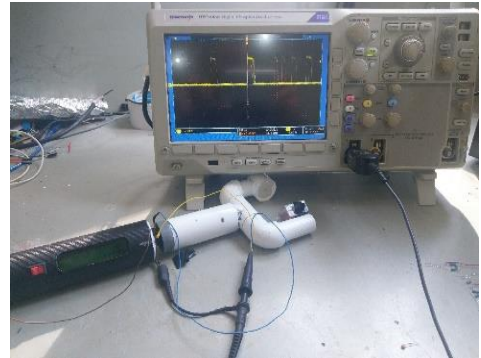
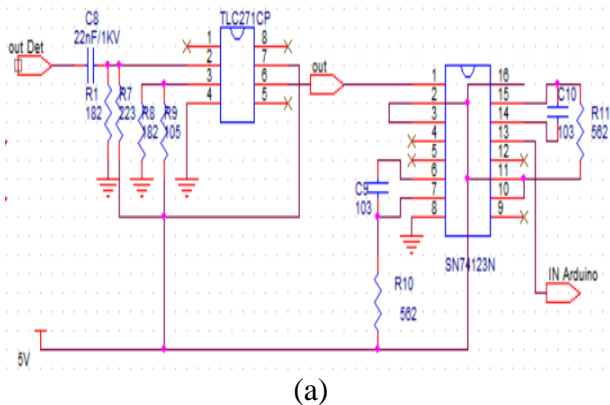
Trong đó:

K là hệ số nhân ~ 0.33 ;

R_{11} là điện trở ngoài ($k\Omega$) ;

C_{10} tụ ngoài (nF) ;

τ_w độ rộng xung (ns).

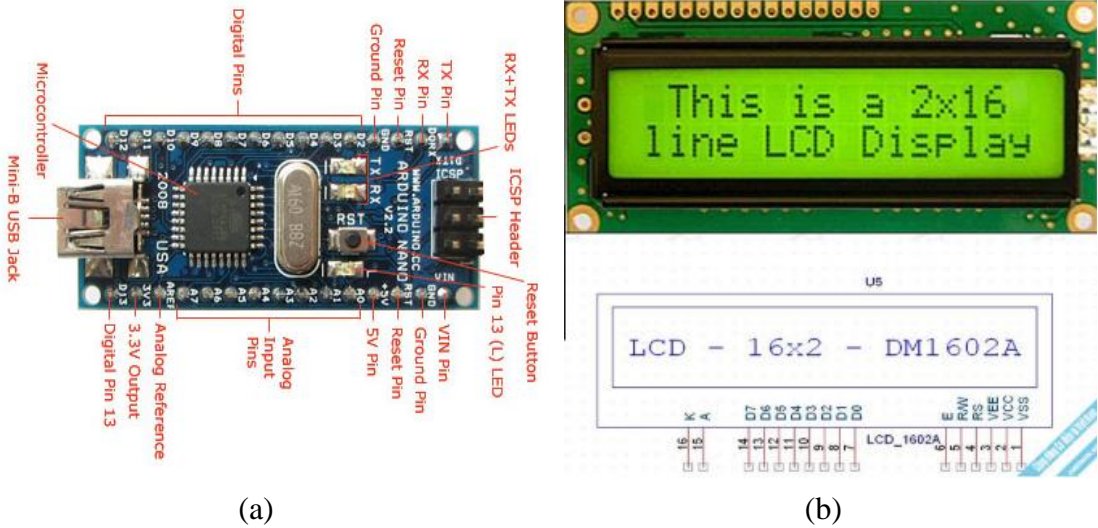


Hình 3. Sơ đồ nguyên lý mạch tạo dạng xung;

(a) Sơ đồ nguyên lý; (b) Xung tín hiệu ở lỗi ra mạch tạo dạng.

2.1.3. Thiết kế, lập trình xử lý và hiển thị dữ liệu

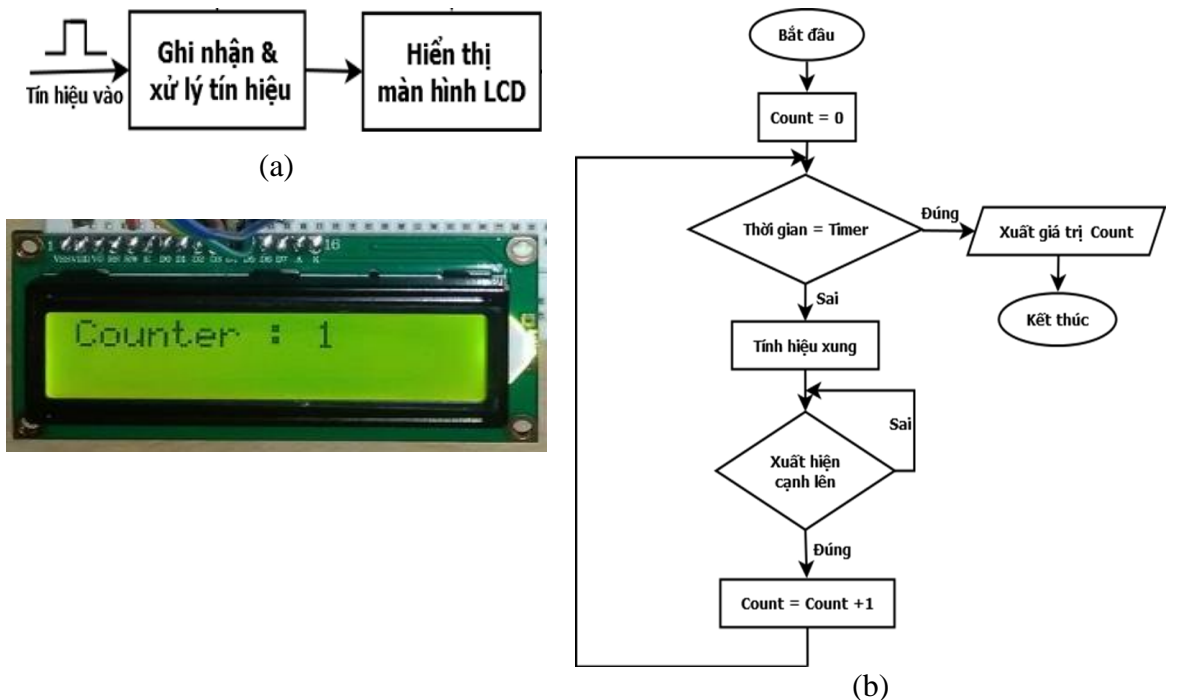
Bên cạnh việc chế tạo thiết bị cầm tay đo báo mức chất lỏng sử dụng ống đếm GM, sáng kiến còn tập trung nghiên cứu, lập trình xử lý, hiển thị số liệu đo được trên màn hình LCD thông qua việc sử dụng vi xử lý Arduino Nano tiêu thụ công suất thấp. Trong nước và trên thế giới đã chế tạo và thương mại thiết bị đo mức chất lỏng sử dụng ống đếm GM nhưng hầu hết phần xử lý tín hiệu vẫn sử dụng vi xử lý PIC hoặc FPGA... Sáng kiến chế tạo thiết bị cầm tay đo báo mức chất lỏng sử dụng ống đếm GM kết hợp với kỹ thuật vi xử lý này Arduino Nano CH340 là kỹ thuật mới. Arduino Nano có kích thước nhỏ gọn sử dụng mạch tích hợp MCU ATmega328P-AU dán, mạch có 22 chân I/O, 8 analog đầu vào, 14 chân digital (6 chân PWM), vi xử lý nạp và giao tiếp 1 UART, sử dụng thạch anh 16 Mhz, kết nối cổng USB và một phím reset. Tín hiệu sau khi xử lý sẽ cho ra màn hình LCD 16x2 có độ phân giải 2 dòng x 16 cột. Điều khiển màn hình LCD là vi điều khiển HD44780, dữ liệu được truyền trên cả 8 đường với bit MSB là bit DB7. Mô-đun màn hình được hỗ trợ trực tiếp gắn vào board mạch Arduino Nano.



Hình 4. Linh kiện phần cứng, (a) Module Arduino Nano; (b) Màn hình LCD 16×2.

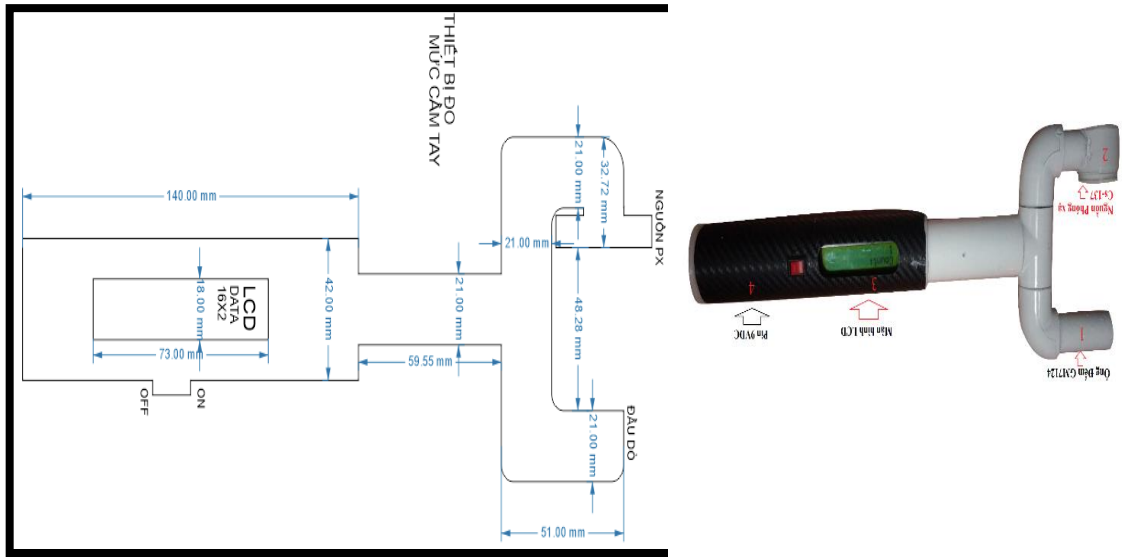
2.1.4. Lập trình xử lý và hiển thị dữ liệu đo

Chương trình cho thiết bị gồm có hai phần lập trình chính: ghi nhận và xử lý tín hiệu, hiển thị màn hình LCD được trình bày trong sơ đồ khối như Hình 5a. Khối ghi nhận & xử lý tín hiệu có chức năng ghi nhận tín hiệu TTL lỗi ra từ hệ điện tử và xử lý thành số đếm thập phân. Khi phát hiện cạnh lên của tín hiệu xung chuẩn TTL thì biến số đếm (count) sẽ tăng lên “1” đơn vị. Chúng tiếp tục cộng dồn các biến đếm cho đến khi đủ thời gian cài đặt thì sẽ kích hoạt ngắt tràn trong bộ định thời gian (Timer). Sơ đồ và code lập trình của phần này được thể hiện trong Hình 5b.



Hình 5. Lập trình xử lý và hiển thị dữ liệu (a) Sơ đồ nguyên lý; (b) Mạch in linh kiện.

2.1.5 Thiết kế, chế tạo bộ khung vỏ thiết bị đo mức cầm tay



Hình 6. Bản vẽ thiết kế và thiết bị đo mức cầm tay

2.2. Khảo sát độ ổn định của thiết bị đo mức cầm tay

2.2.1 Mô tả phương pháp

Độ ổn định được khảo sát bằng cách sử dụng thiết bị đo mức cầm tay ghi nhận cường độ phóng xạ theo thời gian, từ đó đánh giá độ ổn định thông qua giá trị R là tỉ lệ giữa độ lệch chuẩn tính theo Công thức (2.3) và từ căn bậc 2 của số đếm trung bình qua các lần đo.

Độ lệch chuẩn của phép đo theo công thức:

$$\sigma_{exp} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (n_i - \bar{n})^2}{M-1}} \quad (2.1)$$

Số đếm trung bình của các lần đo được qua thực nghiệm:

$$\bar{n}_{exp} = \frac{\sum_{i=1}^M n_i}{M} \quad (2.2)$$

Trong đó:

- + M là số phép đo
- + n: là số đếm gamma của phép đo

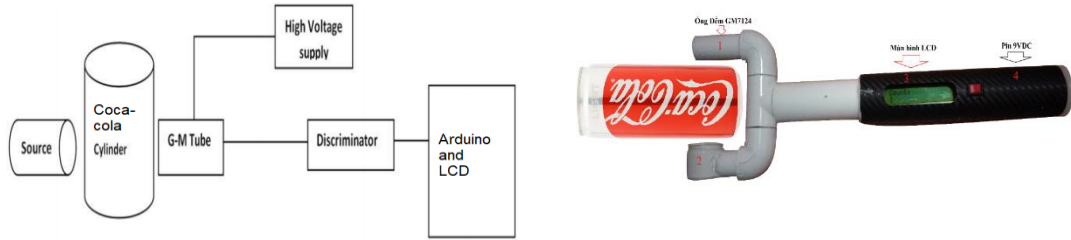
$$\text{Gọi } R = \frac{\sigma_{exp}}{\sqrt{\bar{n}_{exp}}} \quad (2.3)$$

Số đếm hạt nhân ghi nhận tuân thủ theo hàm Poisson $\sigma^2 = \bar{n}$, do đó R sẽ xoay quanh giá trị 1.

2.2.2. Tiến hành khảo sát

a. Mô tả thí nghiệm

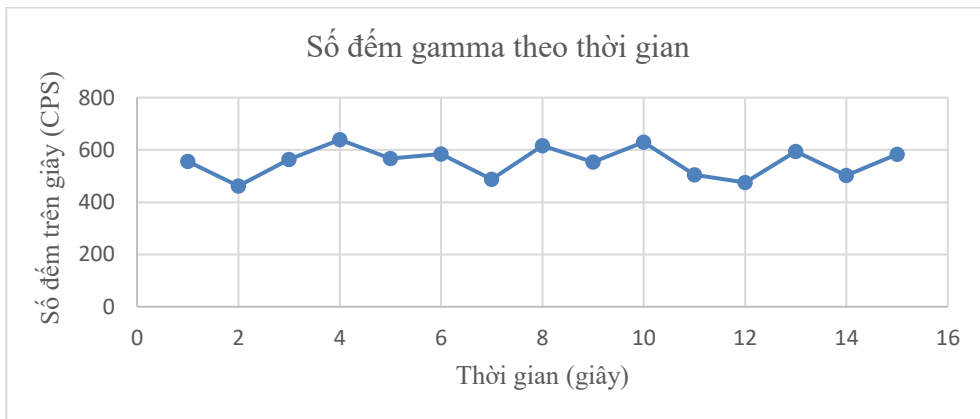
Hệ đo được khảo sát trên cầu hình đo lon nước Coca-cola. Mỗi phép đo được thực hiện trong 1 giây và được khảo sát trong 15 giây với nguồn Cs-137 10 μ Ci.



Hình 7. Bố trí thí nghiệm khảo sát thiết bị đo mức cầm tay sử dụng ống đếm GM7124

b. Tiến hành thí nghiệm

Hệ đo được khảo sát trên cấu hình đo lon nước Coca-cola. Mỗi phép đo được thực hiện trong 1 giây và được khảo sát trong 15 giây với nguồn Cs-137 10 μ Ci. Số liệu ghi nhận được trình bày trong hình 8 sau:



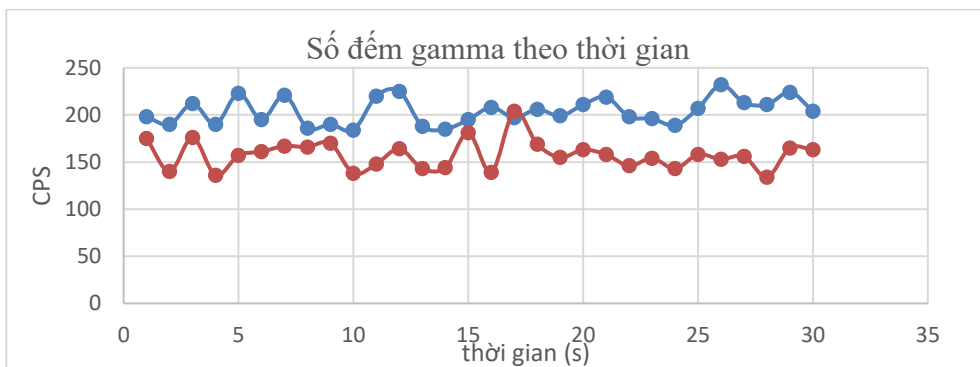
Hình 8. Số liệu khảo sát độ ổn định của máy đo mức

c. Tiến hành thí nghiệm trong 2 trường hợp lon có nước và không có nước

- Sử dụng 1 nguồn Cs-137 có hoạt độ 10 μ Ci
- Sử dụng 2 nguồn Co-60 có hoạt độ 10 μ Ci và Cs-137 có hoạt độ 10 μ Ci.

Mỗi phép đo thực hiện trong 30s.

❖ Trường hợp 1: Cs-137

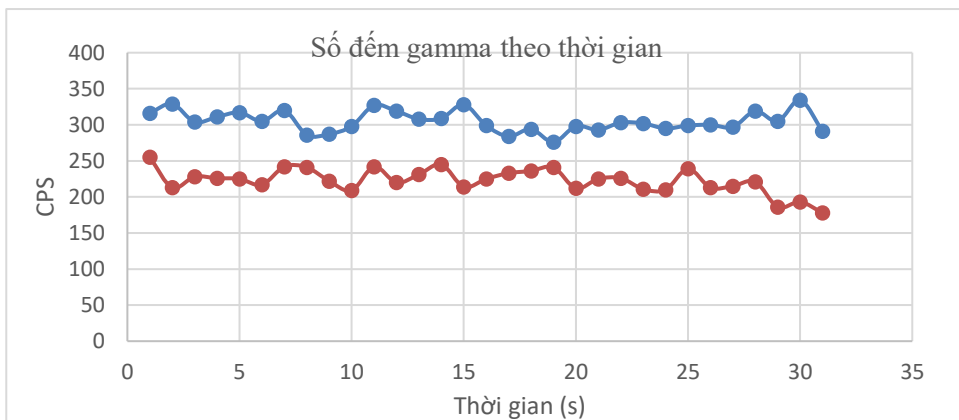


Hình 9. Đồ thị so sánh giữa lon có nước và không có nước trong trường hợp sử dụng 1 nguồn Cs-137 có hoạt độ 10 μ Ci.

Bảng 1. Số liệu đo khi sử dụng 1 nguồn Cs-137 có hoạt độ 10 μ Ci

Không có nước	Độ lệch chuẩn	Có nước	Độ lệch chuẩn
198	14.07	175	13.23
190	13.78	140	11.83
212	14.56	176	13.27
190	13.78	136	11.66
223	14.93	157	12.53
195	13.96	161	12.69
221	14.87	167	12.92
186	13.64	166	12.88
190	13.78	170	13.04
184	13.56	138	11.75
220	14.83	148	12.17
225	15.00	164	12.81
188	13.71	143	11.96
185	13.60	144	12.00
195	13.96	181	13.45
208	14.42	139	11.79
197	14.04	204	14.28
206	14.35	169	13.00
199	14.11	155	12.45
211	14.53	163	12.77
219	14.80	158	12.57
198	14.07	146	12.08
196	14.00	154	12.41
189	13.75	143	11.96
207	14.39	158	12.57
232	15.23	153	12.37
213	14.59	156	12.49
211	14.53	134	11.58
224	14.97	165	12.85
204	14.28	163	12.77

❖ Trường hợp 2: Co-60 và Cs-137



Hình 10. Đồ thị so sánh giữa lon có nước và lon không có nước trong trường hợp sử dụng 2 nguồn Co-60 có hoạt độ 10 μ Ci và nguồn Cs-137 có hoạt độ 10 μ Ci.

Bảng 2. Số liệu đo khi sử dụng 2 nguồn Co-60 và Cs-137 có hoạt độ 10 μ Ci

Không có nước	Độ lệch chuẩn	Có nước	Độ lệch chuẩn
316	17.78	255	15.97
329	18.14	213	14.59
304	17.44	228	15.10
311	17.64	226	15.03
317	17.80	225	15.00
305	17.46	217	14.73
320	17.89	242	15.56
286	16.91	241	15.52
287	16.94	222	14.90
298	17.26	209	14.46
327	18.08	242	15.56
319	17.86	220	14.83
308	17.55	231	15.20
309	17.58	245	15.65
328	18.11	214	14.63
299	17.29	225	15.00
284	16.85	233	15.26
294	17.15	236	15.36
276	16.61	241	15.52
298	17.26	212	14.56
293	17.12	225	15.00
303	17.41	226	15.03
302	17.38	211	14.53
295	17.18	210	14.49
299	17.29	239	15.46
300	17.32	213	14.59
297	17.23	215	14.66
319	17.86	221	14.87
305	17.46	186	13.64
334	18.28	193	13.89

d. Đánh giá

Số đếm hạt nhân ghi nhận tuân thủ theo hàm Poisson $\sigma^2 = \bar{n}$, do đó R sẽ xoay quanh giá trị 1. Hệ đo được đánh giá là ổn định khi giá trị R nằm trong khoảng từ 0,8 đến 1,2. Dựa vào số liệu khảo sát và áp dụng công thức ta tính (2.1-2.3), tính được R đạt giá trị 1.4. Qua đó cho thấy hệ đo làm việc chưa ổn định, nguyên nhân do hiệu suất ống đếm GM7124 thấp và kích thước đầu dò bé.

Đối với thí nghiệm kiểm tra trường hợp lon có nước và không có nước dựa trên bảng số liệu và đồ thị có thể thấy rõ giá trị độ lệch chuẩn của trường hợp 1 nguồn nhỏ hơn so với giá trị của trường hợp sử dụng 2 nguồn. Điều này cho thấy đối với nguồn có hoạt độ thấp độ ổn định của máy cao hơn. Tuy nhiên giá trị so sánh để nhận biết lon có nước và không có nước ở trường hợp 2 nguồn sẽ rõ ràng hơn.

e. Nhận xét

Thiết bị đo mức cầm tay sử dụng ống đếm GM7124 được thiết kế chế tạo và hoàn thiện tốt, việc đánh giá độ ổn định thiết bị cần tiến hành thêm một số khảo sát với khuyến cáo như sau:

- + Sử dụng nguồn Cs-137 với hoạt độ $>10\mu\text{Ci}$;
- + Sử dụng ống đếm GM có hiệu suất cao hơn (Thể tích ống đếm lớn hơn GM7124)
- + Sử dụng ống đếm nhấp nháy NaI(Tl) thay thế.

3. Kết quả và thảo luận

Đã nghiên cứu, chế tạo một thiết bị đo mức cầm tay sử dụng ống đếm GM bao gồm: (1) Hệ điện tử ghi nhận tín hiệu từ ống đếm GM7124 bao gồm mạch lọc, mạch tạo dạng, khối cao thế và khối nguồn nuôi; (2) Lập trình nền tảng Arduino đếm tín hiệu TTL từ hệ điện tử vừa chế tạo và hiển thị số liệu lên màn hình LCD; (3) Thiết kế, chế tạo bộ giá lắp nguồn Cs-137 và ống đếm GM7124, phục vụ công tác đào tạo cho học sinh sinh viên về tương tác của bức xạ gamma với vật chất từ đó cho thấy cần thiết kế, chế tạo một thiết bị đo có tính di động cao, gọn nhẹ và dễ sử dụng.

4. Kết luận

Thiết bị đo mức sử dụng ống đếm GM là một công cụ tốt phục vụ việc đào tạo cho sinh viên. Tăng mức độ trực quan, sinh động của các bài giảng về ứng dụng năng lượng nguyên tử, ứng dụng phương pháp gamma truyền qua mà không cần sử dụng các thiết bị phức tạp, đắt tiền và đảm bảo được an toàn bức xạ tại Trung tâm Đào tạo. Ứng dụng trong giảng dạy và giới thiệu nguyên lý đo truyền qua trong đo báo mức chất lỏng tại Viện Nghiên cứu hạt nhân hoặc các cơ sở giảng dạy khác.

Kiến nghị: Thiết kế chế tạo một thiết bị đo mức cầm tay sử dụng ống đếm GM7124 hiện vẫn còn một số hạn chế về độ nhạy thiết bị. Vì vậy, để hoàn thiện thiết bị đo mức cần phải lựa chọn ống đếm hiệu suất cao như: ống đếm nhấp nháy NaI(Tl), linh kiện điện tử chuẩn... Việc này cần phải được đầu tư về kinh phí cũng như thời gian, nếu được sự thông qua của cấp trên, sẽ tiến hành đề xuất đề tài cấp cơ sở cho sáng kiến “Thiết kế, chế tạo mẫu thiết bị đo mức sử dụng ống đếm nhấp nháy NaI(Tl) 0.5 inch” để hoàn thiện mẫu thiết bị ứng dụng trong giảng dạy đào tạo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Angel Humberto Cruz Silva (2009). *Neutron Backscattering Technique for the Detection of Buried Organic Objects*. Colombia.
- [2] Automatic Control Systems (Benjamin C.Kuo - Farid Golnaraghi)
- [3] E. Bardal. *Corrosion and Protection (Engineering materials and process)*. Springer.
- [4] Glenn F. Knoll (2000). *Radiation Detection and Measurement*. John Wiley & Sons, Inc, USA.
- [5] IAEA (2005). Development of protocols for corrosion and deposits evaluation in pipes by radiography.
- [6] Midwest Insulation Contractors Association (1983). Commercial and Industrial Insulation Standards Omaha, NE. Plate No. 1-50.
- [7] National Board Inspection Code. NB-23, Rev. 6. Columbus, OH: The National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors (1987).
- [8] Phạm Văn Ất. *Kỹ thuật lập trình C cơ sở và nâng cao*. NXB Khoa học và Kỹ thuật
- [9] The Bubba Oscillator: An Op Amp Sine Wave Generator By Hunter Scott
- [10] Việt Hùng Vũ (chủ biên), Đậu Trọng Hiền (2008). *Vẽ và thiết kế mạch Orcad 10*. NXB Giao thông vận tải.