

การออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของกล่องมืด (Dark Chamber) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนทางแสงในระบบสเปกโทรสโกปีรังสีแกมมาด้วยผลึก LYSO

กิตติพงษ์ เสียงเสนาะ¹, ศุภรัตน์ ทักษิณเจริญ^{1*}, ภูติท เจตเกษรการณ¹, พัทธรา เชิดเชื้อ¹,
ภัสดาพร ดอนปัญญาไพร¹ และ วุฒิชัย ไชยภักษา²

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

²สาขาวัสดุและอุปกรณ์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

*patpat2808@gmail.com

บทคัดย่อ

การตรวจวัดและวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาด้วยระบบหัววัดชนิดผลึกซินทิลเลเตอร์ (Scintillation Detector) ร่วมกับหลอดทวีคูณแสง (Photomultiplier Tube: PMT) มีความไวต่อความผันผวนของสัญญาณรบกวนจากแสงในย่านที่ตามองเห็น (Visible light noise) อย่างยิ่ง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ สร้าง และประเมินประสิทธิภาพของกล่องมืด (Dark Chamber) ชนิดประกอบเอง เพื่อใช้เป็นสภาวะควบคุมการวัดรังสีระดับต่ำให้ปราศจากการแทรกสอดของโฟตอนจากสิ่งแวดล้อมภายนอก กล่องมืดถูกสร้างขึ้นจากแผ่นไม้หนา 5 เซนติเมตร ขนาด 70 x 50 x 20 เซนติเมตร ภายในด้วยวัสดุดูดซับแสงสีดำด้านและผ้ากำมะหยี่ เพื่อป้องกันแสงรั่วไหลร้อยละ 100 (100% Light Tightness)

การทดสอบประสิทธิภาพกระทำโดยใช้ผลึก LYSO ประคบเข้ากับ PMT รุ่น 9266KB และเชื่อมต่อบริเวณอิเล็กทรอนิกส์นิวเคลียร์มาตรฐาน (Canberra 2022 Amplifier และ Tukan 8K MCA) ทำการวัดสเปกตรัมพลังงานของไอโซโทปรังสี 3 ชนิด เพื่อให้ครอบคลุมย่านพลังงานที่แตกต่างกัน ได้แก่ Am-241 (59.5 keV), Ba-133 (356 keV) และ Cs-137 (662 keV) โดยเปรียบเทียบระหว่างสภาวะภายนอกและภายในกล่องมืด ผลการทดลองพบว่า กล่องมืดสามารถจัดการเลื่อนของช่องสัญญาณ (Channel Shift) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และปรับปรุงค่าความแยกชัดพลังงาน (Energy Resolution: %R) ได้ อย่างมีนัยสำคัญในทุกย่านพลังงาน โดยเฉพาะในรังสีพลังงานต่ำอย่าง Am-241 ที่ %R มีความคมชัดขึ้นจาก 34.33% เป็น 26.39% อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้แสดงให้เห็นถึงเสถียรภาพระดับสูง มีต้นทุนต่ำ และเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการวิจัยวัสดุซินทิลเลชันหรือการวิจัยฟิสิกส์ขั้นสูงที่ต้องการความแม่นยำสูงในอนาคต

คำสำคัญ: กล่องมืด รังสีแกมมา ผลึก LYSO หลอดทวีคูณแสง

Design and Performance Evaluation of a Dark Chamber for Optical Noise Eradication in Gamma-ray Spectroscopy using LYSO Scintillator

K., Siengsanoh¹, S., Tuscharoen^{1,*}, P., jetkasatkan¹, P., Cherdchuea¹, P., Donpanyaphai¹,
and W. Chaiphaksa²

¹Physics Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University

²Medical Material and Equipment, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University

*patpat2808@gmail.com

Abstract

The measurement and analysis of gamma-ray spectra using a scintillation detector system coupled with a photomultiplier tube (PMT) are highly sensitive to fluctuations from visible light noise. This research aims to design, construct, and evaluate the performance of a custom-built Dark Chamber to serve as a controlled environment for low-level radiation measurements, completely free from external photon interference. The dark chamber was constructed using 5-cm-thick wooden boards with dimensions of 70 x 50 x 20 cm. The interior was lined with matte black light-absorbing materials and velvet fabric seal design at the joints to ensure 100% light tightness.

The performance evaluation was conducted using a LYSO scintillator crystal coupled to a 9266KB PMT, connected to standard nuclear electronics (Canberra 2022 Amplifier and Tukan 8K MCA). Energy spectra of three radioactive isotopes were measured to cover various energy ranges: Am-241 (59.5 keV), Ba-133 (356 keV), and Cs-137 (662 keV), comparing the conditions outside and inside the dark chamber. The experimental results revealed that the dark chamber successfully eliminated the channel shift. Furthermore, it significantly improved the energy resolution (%R) across all energy ranges. Specifically, for low-energy radiation such as Am-241, the %R improved from 34.33% to 26.39%. This developed equipment demonstrated high stability and low cost, making it highly suitable for future advanced scintillation material or high energy physics research requiring high precision.

Keywords: Dark Chamber, Gamma-ray, LYSO, Photomultiplier Tube

1. บทนำ

ระบบสเปกโทรสโกปีรังสีแกมมา (Gamma-ray Spectroscopy) เป็นเครื่องมือพื้นฐานที่สำคัญในงานวิจัยทางฟิสิกส์ นิวเคลียร์ วัสดุศาสตร์ และฟิสิกส์การแพทย์ โดยเฉพาะการศึกษาคุณสมบัติของผลึกสซินทิลเลเตอร์ (Scintillation Crystals) และแก้วเรืองแสง (Luminescent Glasses) กลไกการตรวจจับสนี่ของระบบนี้เป็นกระบวนการแปลงพลังงานหลายขั้นตอน เริ่มจากการที่อนุภาครังสีแกมมาตกกระทบและทำปฏิกิริยากับสารภายในผลึก (ผ่านปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก,

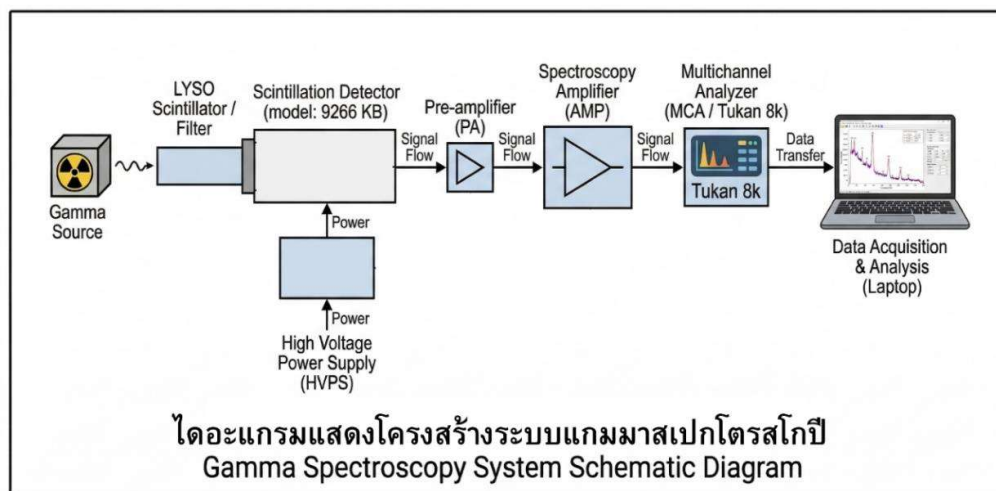
การกระเจิงคอมป์ตัน หรือการผลิตคู่) ถ่ายทอดพลังงานจนให้อิเล็กตรอนในผลึก จากนั้นอิเล็กตรอนทุติยภูมิเหล่านี้จะกระตุ้นอะตอมในโครงสร้างผลึก (Excitation) ทำให้เกิดการคายพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนของแสงในย่านที่ตามองเห็น (Visible light) หรืออัลตราไวโอเล็ต ในการวิจัยนี้ เลือกใช้ผลึก LYSO (Lutetium-Yttrium Oxyorthosilicate) เนื่องจากคุณสมบัติที่โดดเด่น ทั้งความหนาแน่นที่สูงถึง 7.1 g/cm^3 ซึ่งช่วยเพิ่มภาคตัดขวางการเกิดปฏิกิริยา (Cross-section) ระยะเวลาการสลายตัวที่รวดเร็ว (Decay time $\sim 40 \text{ ns}$) และให้ค่าผลผลิตแสงที่สูง (High Light Yield) [1-3]

โฟตอนที่เกิดจากผลึก LYSO จะเดินทางเข้าสู่หลอดทวีคูณแสง (Photomultiplier Tube: PMT) ตกกระทบที่ขั้วโฟโตแคโทด (Photocathode) และปลดปล่อยโฟโตอิเล็กตรอนออกมา จากนั้นอิเล็กตรอนจะถูกเร่งผ่านสนามไฟฟ้าเข้าสู่ชุดขั้วไดโนด (Dynodes) ซึ่งในแต่ละชั้นจะเกิดการทวีคูณจำนวนอิเล็กตรอนแบบทวีคูณ (Secondary Emission) จนกระทั่งถึงขั้วแอโนด (Anode) ทำให้สัญญาณถูกขยายขึ้นนับล้านเท่า อย่างไรก็ตาม กลไกการทำงานของ PMT ถูกออกแบบมาให้มีความไว (Sensitivity) สูงมากในย่านแสงที่ตามองเห็น เพื่อให้สามารถตรวจจับโฟตอนเดี่ยว (Single photon) ได้ การนำระบบเซนเซอร์ที่ละเอียดอ่อนระดับนี้มาใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีแสงสว่างปกติ (Ambient Light) หรือแม้กระทั่งแสงสัวัว จึงก่อให้เกิดปัญหาขึ้นวิกฤต โฟตอนจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์หรือแสงอาทิตย์ที่หลุดรอดผ่านวัสดุห่อหุ้มเข้าไปใน PMT เพียงเล็กน้อย จะทำให้เกิดกระแสอิเล็กตรอนอย่างต่อเนื่องที่ขั้วแอโนด (Continuous Anode Current) ซึ่งก่อให้เกิดปัญหา 2 ประการหลัก ได้แก่ การลดทอนการแยกชัดพลังงาน และการเลื่อนของช่องสัญญาณ [4-5]

เพื่อแก้ปัญหาทางกายภาพและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อออกแบบ และทดสอบเชิงฟิสิกส์ของกล่องมิด ศึกษาผลกระทบของแสงรบกวนภายนอกต่อรูปร่างของสเปกตรัมรังสีแกมมา โดยใช้หัววัดรังสีแกมมาชนิด LYSO ในการวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัมรังสีแกมมา โดยใช้ไอโซโทปมาตรฐาน ได้แก่ Am-241 (59.5 keV), Ba-133 (356 keV), และ Cs-137 (662 keV)

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การออกแบบและสร้างโครงสร้างกล่องมิด โดยรายละเอียดโครงสร้างจะใช้ ขนาด $50 \times 70 \times 20$ เซนติเมตร ความหนาของฝาปิด 5 เซนติเมตร (ออกแบบเพื่อป้องกันการรั่วไหลของแสง 100%) วัสดุโครงสร้างไม่อัดคุณภาพสูง ทาสีเทาเพื่อลดการสะท้อนภายในบุภายในด้วยผ้าดำ เพื่อปิดรอยต่อและลดการรั่วของแสงตามช่องสายสัญญาณ และโฟมยาง EVA ขนาด 3×3 เซนติเมตร เป็นส่วนที่ใช้ในการห่อหุ้มสายไฟทุกส่วนที่ทำหน้าที่ผ่านเข้ากล่อง Dark Chamber โดยทั้งหมดจะใช้วัสดุที่มีต้นทุนต่ำที่มีราคารวมไม่เกิน 1000 บาท ในส่วนของไดอะแกรมการวัด Gamma Spectroscopy ใน Dark Chamber ด้วยผลึก LYSO แสดงดังภาพที่ 2.1



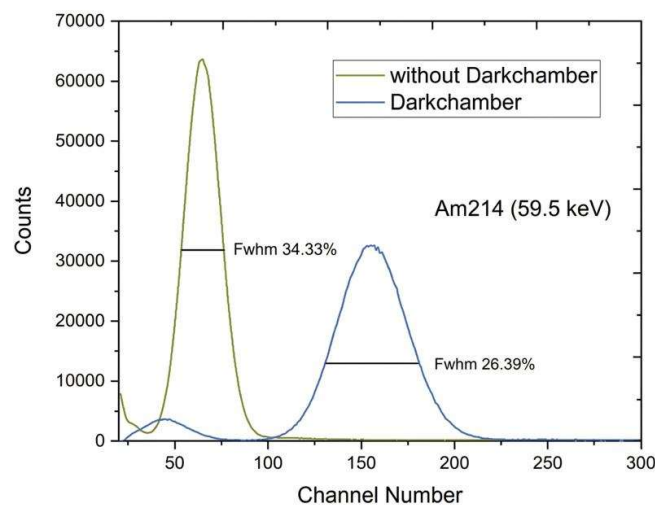
ภาพที่ 2.1 ไดอะแกรมการวัด Gamma Spectroscopy ใน Dark Chamber ด้วยผลึก LYSO

ระบบตรวจวัดรังสีจะใช้หัววัดรังสีแบบซินเทิลเลชันผลึก LYSO Scintillator ที่หุ้มด้วย Teflon (Reflector) และเทปดำเพื่อป้องกันแสงรบกวน โดยผลึกจะเชื่อมต่อกับ PMT รุ่น 9266KB ของ Enterprise สัญญาณแสงจะถูกขยายที่ PMT ก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์หลังจากนั้นสัญญาณจะเข้าสู่ภาคขยายโดยปรีแอมป์และแอมป์ไฟร์เออร์ หลังจากนั้นสัญญาณจะโวลต์สเปกตรัมรังสีแกมมาที่ Multichannel analyzer (MCA) เป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนจะนำไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางซินเทิลเลชันต่อไป ซึ่งการวัดจะใช้ไอโซโทปรังสีมาตรฐานได้แก่ Am-241 (59.5 keV), Ba-133 (356 keV), และ Cs-137 (662 keV)

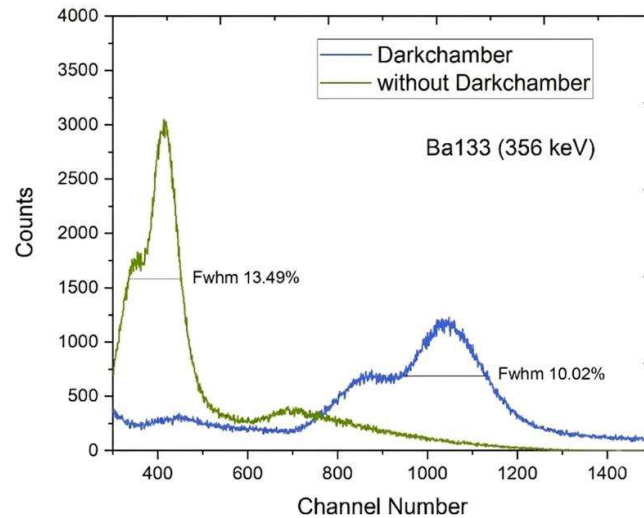
3 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการทดสอบระบบสเปกโทรสโกปีรังสีแกมมาโดยการวัดเปรียบเทียบระหว่างสภาวะแวดล้อมที่ได้รับแสง (Without Dark Chamber) และสภาวะภายในกล่องมืด (Dark Chamber) ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมอย่างมีนัยสำคัญในแง่ของตำแหน่งพิกัด ความสูงของจำนวนนับ และความกว้างของฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian width) ผลการวัดรังสีพลังงานต่ำโดยอเมริกัน-241 (Am-241, 59.5 keV) ในกรณีของการวัดรังสีระดับพลังงานต่ำอย่าง Am-241 สัญญาณรบกวนทางแสงจะสร้างผลกระทบต่อผลลัพธ์อย่างมีนัยสำคัญที่สุด กราฟสเปกตรัมแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ในสภาวะแวดล้อมที่ได้รับแสงพิคพลังงานหลักของ Am-241 ถูกผลักให้เลื่อนย้ายไปยังฝั่งซ้ายมือ รูปร่างของพิกมีลักษณะขยายออกโดยมีค่าความกว้าง FWHM กว้างถึง 34.33% ในทางตรงกันข้าม เมื่อระบบถูกบรรจุไว้ในสภาวะ Dark Chamber รูปแบบของสเปกตรัมเปลี่ยนแปลงไปพิคพลังงานมีการเลื่อนกลับไปยังตำแหน่งช่องสัญญาณที่สูงขึ้นอย่างถูกต้องตามสัดส่วนของพลังงาน 59.5 keV มีลักษณะเป็นเส้นโค้งระฆังคว่ำที่สมมาตรอย่างเด่นชัด และสามารถลดความกว้าง FWHM ลงเหลือเพียง 26.39% ซึ่งส่งผลให้ค่าความแยกชัดพลังงาน (Energy Resolution) มีค่าที่ถูกต้องมากขึ้น และทำให้สามารถระบุ Photoppeak ของรังสีพลังงานต่ำได้อย่างแม่นยำมากขึ้น ดังแสดงภาพที่ 3.1

ภาพที่ 3.2 ผลการวัดด้วยไอโซโทป Ba-133 ซึ่งเป็นรังสีที่มีโครงสร้างสเปกตรัมหลายพิก (Multiple peaks) เผยให้เห็นปรากฏการณ์เลื่อนของช่องสัญญาณ เมื่อระบบปราศจากกล่องป้องกันแสง พิคพลังงาน 356 keV เลื่อนตำแหน่งลงไปยังที่ช่องสัญญาณที่ต่ำกว่าความเป็นจริงหลายร้อยช่อง (Channels) และมีค่า FWHM ขยายตัวกว้างอยู่ที่ 13.49% อย่างไรก็ตาม เมื่อดำเนินการวัดภายในกล่องมืด พิคพลังงานหลักกลับมาที่ตำแหน่งช่องสัญญาณที่สอดคล้องกับเส้นแนวโน้มการสอบเทียบพลังงาน และสามารถลดความกว้าง FWHM ลงเหลือ 9.90%

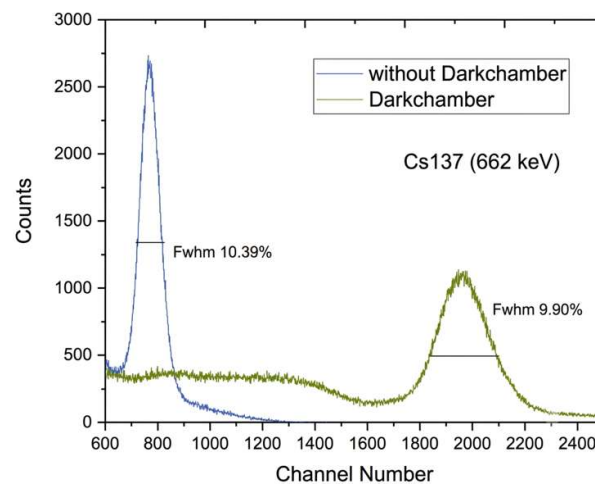


ภาพที่ 3.1 สเปกตรัมของ Am-241 ระหว่างสภาวะแวดล้อมที่ได้รับแสง และสภาวะภายในกล่องมืด



ภาพที่ 3.2 สเปกตรัมของ Ba-133 ระหว่างสภาวะแวดล้อมที่ได้รับแสง และสภาวะภายในกล่องมืด

ภาพที่ 3.3 รังสีแกมมาพลังงาน 662 keV จาก Cs-137 เป็นมาตรฐานที่ใช้ทดสอบหัววัดทั่วไป กราฟยังคงแสดงให้เห็นว่าแสงภายนอกส่งผลให้เกิด Channel Shift เช่นเดียวกัน พิกพลังงานจะเลื่อนมาทางซ้ายมือเมื่อเทียบกับระบบที่มีกล่องป้องกันแสง การใช้ Dark Chamber ส่งผลให้พีคสเปกตรัมมีค่า FWHM จาก 10.39% ลงเหลือ 9.90% ทำให้ Photopeak ของ Cs-137 มีความคมชัดสูงสุดและเหมาะสมต่อการเป็นตัวสอบเทียบมาตรฐานให้กับระบบ จากผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องกันทั้ง 3 พลังงานรังสีแกมมา ระหว่างสภาวะแวดล้อมที่ได้รับแสง และสภาวะภายในกล่องมืด โดยสรุปไว้ดังตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.3 สเปกตรัมของ Cs-137 ระหว่างสภาวะแวดล้อมที่ได้รับแสง และสภาวะภายในกล่องมืด



ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบค่าแยกชัดพลังงานระหว่างสภาวะแวดล้อมที่ได้รับแสง และสภาวะภายในกล่องมืด

ไอโซโทป (Isotope)	พลังงานรังสี (Energy)	%FWHM (Without Dark Chamber)	%FWHM (Dark Chamber)
Am-241	59.5 keV	34.33%	26.39%
Ba-133	356 keV	13.49%	10.02%
Cs-137	662 keV	10.39%	9.90%

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบ และประเมินประสิทธิภาพของกล่องมืด (Dark Chamber) ต้นทุนต่ำ เพื่อใช้งานร่วมกับระบบวัดรังสีที่มีความละเอียดอ่อนสูงอย่างผลึกซินทิลเลเตอร์ชนิด LYSO และหลอดทวิคูณแสง PMT การทดสอบระบบด้วยรังสีแกมมาครอบคลุม 3 ช่วงพลังงาน (Am-241: 59.5 keV, Ba-133: 356 keV และ Cs-137: 662 keV) โดยพบว่าโครงสร้างของกล่องสามารถสร้างสภาวะมืดสนิท ช่วยป้องกันการแทรกสอดจากโฟตอนภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพการใช้ Dark Chamber ส่งผลดีอย่างยิ่งในการกำจัดปรากฏการณ์ช่องสัญญาณเลื่อนผิดตำแหน่ง (Channel Shift) ได้อย่างดี ซึ่งเพียงพอที่จะถูกนำไปบรรจุเป็นเครื่องมือมาตรฐานขั้นต้นสำหรับห้องปฏิบัติการ เพื่อรองรับการวิจัยทางวัสดุศาสตร์นิวเคลียร์ การคิดค้นแก้วเรืองแสงชนิดใหม่ๆ และการวัดค่าผลผลิตแสง ในงานวิจัยขั้นสูงระดับแนวหน้าต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Knoll, G. F. (2010). Radiation Detection and Measurement (4th ed.). John Wiley & Sons.
- [2] Kaewkhao, J., Chanthima, N., & Limsuwan, P. (2010). Luminescence and scintillation properties of glasses for radiation detection. Journal of Physics: Conference Series, 245(1), 012022.
- [3] Lecoq, P., Annenkov, A., Gektin, A., Korzhik, M., & Pedrini, C. (2006). Inorganic Scintillators for Detector Systems: Physical Principles and Crystal Engineering. Springer.
- [4] Leo, W. R. (1994). Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments: A How-to Approach (2nd ed.). Springer-Verlag.
- [5] Moszynski, M., Ludziejewski, T., Nassalski, A., & Bizarri, G. (2004). Energy resolution of scintillation detectors. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, 537(1-2), 347-353.