MÔ PHỎNG MONTE CARLO BẰNG CHƯƠNG TRÌNH MCNP VÀ KIỂM CHỨNG THỰC NGHIỆM PHÉP ĐO CHIỀU DÀY VẬT LIỆU ĐỐI VỚI HỆ CHUYÊN DỤNG MYO-101

Hoàng Sỹ Minh Phương, Nguyễn Văn Hùng

Viện Nghiên cứu hạt nhân Tp. Đà Lạt

TÓM TẮT: *Hiện nay, phép đo chiều dày vật liệu dựa trên hiệu ứng tán xạ ngược gamma được ứng dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp ở nước ta. Báo cáo trình bày việc khảo sát chiều dày một số vật liệu như giấy, plastic, nhôm và thép trên hệ đo chuyên dụng MYO-101 (sử dụng đầu dò nhấp nháy YAP(Ce) và tia gamma 60 keV của nguồn Am-241) bằng phép mô phỏng Monte-Carlo sử dụng chương trình MCNP và đã được kiểm chứng bằng phép đo thực nghiệm. Nghiên cứu này rất có ích cho công tác đào tạo nhằm phát triển nguồn nhận lực về lĩnh vực ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp ở Việt Nam.*

Từ khóa: *Mô phỏng Monte-Carlo, MCNP, gamma tán xạ ngược, đầu dò nhấp nháy, kỹ thuật hạt nhân.*

1. MỞ ĐẦU

Hiện nay, phương pháp tán xạ bức xạ được ứng dụng trong các ngành công nghiệp để đo chiều dày vật liệu nhẹ, như ở các nhà máy giấy với việc sử dung hệ đo chuyên dụng dùng nguồn phóng xạ beta hay gamma mềm. Ưu điểm của phương pháp này là đo chiều dày vật liệu chỉ cần dùng một phía của vật liệu (nguồn phóng xạ và detector ở cùng môt phía, thuận lợi trong hệ thống băng chuyền công nghiệp), tốt với vật liệu nhẹ nhưng hiệu suất xác định thấp [4]. Tuy nhiên về mặt lý thuyết, việc hiểu bản chất một cách trực quan về hiệu ứng tán xạ Compton còn là điều khó khăn đối với học viên khi tiến hành các bài thực tập về đo cường độ và chiều dày vật liệu sử dụng bức xạ tán xạ. Vì vậy, để hỗ trợ và so sánh với kết quả đo thực nghiệm, trong báo cáo này đã áp dụng phương pháp nghiên cứu mô phỏng Monte Carlo bằng chương trình MCNP (Monte Carlo N-Particles) đối với phép đo chiều dày một số liệu nhẹ khác nhau dựa trên hiệu ứng bức xạ tán xạ ngược gamma [1,2].

Thiết bị thực nghiệm là hệ đo chiều dày vật liệu chuyên dụng MYO-101 dựa trên hiệu ứng gamma tán xạ ngược, được NuTEC/JAEA, Nhật Bản viện trợ năm 2007. Hệ này dùng nguồn kín Am-241 (hoạt độ 370 MBq, năng lượng gamma 60 keV) được đặt cố định trong detector nhấp nháy chuyên dụng YAP(Ce) [Yttrium Aluminum Perovskite with activated Cerium], đã được sử dụng đo thực nghiệm trong một số khóa huấn luyện về "Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp và môi trường" phối hợp với NuTEC/JAEA tổ chức tại Viện Nghiên cứu hạt nhân. Nội dung của báo cáo này gồm 2 phần: phần mô phỏng lý thuyết

phép đo cường độ chiều dày vật liệu trên hệ MYO-101 bằng chương trình MCNP, phần đo thực nghiệm số liệu chiều dày một số vật liệu nhẹ (như giấy, plastic, nhôm và thép), và kết qủa so sánh giữa số liệu mô phỏng lý thuyết và kết quả đo thực nghiệm [2,5,7].

Đối với hiệu ứng tán xạ ngược, cường độ I của gamma tán xạ là hàm của chiều dày x của vật liệu như sau:

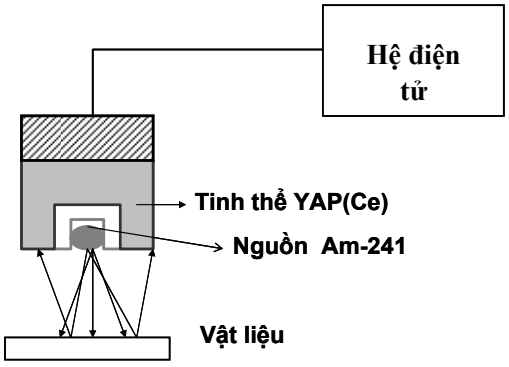
$$I(x) = I_0 + I_s[1 - \exp(-\mu x)] \quad (1)$$

trong đó I_0 là cường độ bức xạ tán xạ phông (khi không có vật liệu); $I_s=C/(\mu_1 + \mu_2)$, $I_s[1 - \exp(-\mu x)]$ là cường độ bức xạ tán xạ của vật liệu; $\mu = \mu_1 + \mu_2$ với C là hằng số, μ_1, μ_2 là hệ số hấp thụ khối sơ cấp và thứ cấp của vật liệu, và x là chiều dày khối của vật liệu (g/cm^2) [2].

2. THỰC NGHIỆM

Thí nghiệm mô phỏng sử dụng nguồn Am-241 hình trụ, đặt trong detector nhấp nháy chuyên dụng YAP(Ce) của hệ MYO-101 để đo chiều dày vật liệu nhẹ (giấy trắng, giấy vàng, plastic, nhôm và thép) dựa trên hiệu ứng tán xạ ngược gamma.

Các tấm vật liệu chuẩn (kích thước 10x10 cm^2/tấm) với chiều dày khác nhau được đặt đối diện và xuyên tâm so với nguồn Am-241 (sát bề mặt nguồn). Sau đó đo tốc độ đếm xung khi tăng dần các tấm vật liệu của mỗi loại. Bề dày các loại vật liệu này được tăng dần đến khi số đếm thu được đạt mức bão hòa [2].



Hình 1. Sơ đồ khối phương pháp đo tán xạ ngược

Hệ đo chuyên dụng MYO-101 bao gồm các khối sau: detector với tinh thể nhấp nháy YAP(Ce) hình giếng (đường kính ngoài 60 mm; đường kính trong 15 mm; dày 1 mm; cửa sổ bằng nhôm dày 0,3 mm) và ống nhân quang làm việc ở cao thế 1300 V; nguồn Am-241 dạng đĩa (đường kính ngoài 8 mm và cao 5 mm; đường kính nguồn 4,2 mm; cửa sổ berilli dày 1 mm) với hoạt độ 370 MBq (10 mCi), được đặt trong giếng của tinh thể. Hình ảnh của detector có hình học được mô phỏng bằng phần mềm MCNP (có thêm phần chì che chắn phía bên, trước tinh thể) được thể hiện trên Hình 3 [1].

PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG MCNP

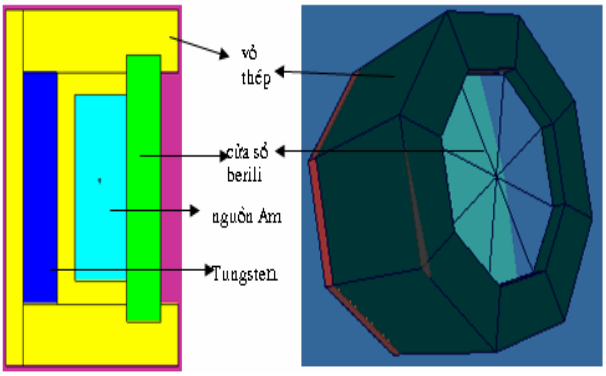
Phương pháp mô phỏng Monte Carlo đã và đang được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực khác nhau của vật lý hạt nhân lý thuyết cũng như thực nghiệm. Có thể nói rằng những thí nghiệm vật lý hạt nhân hiện đại ngày càng trở nên phức tạp và chi phí tốn kém. Vì vậy trước khi tiến hành những thí nghiệm này, cần phải thiết kế chúng một cách cẩn thận với việc sử dụng các kỹ thuật mô phỏng khác nhau. Do tính chất phức tạp của các thiết bị dùng trong thí nghiệm nên phương pháp Monte Carlo thường xuyên được sử dụng vì nó tỏ ra ưu việt hơn hẳn các phương pháp mô phỏng khác. Hơn nữa, khi phân tích số liệu thực nghiệm trong ghi nhận bức xạ, để thu được các kết quả chính xác ta cần tính đến hàng loạt hiệu chính khác nhau. Những hiệu chính này thường là phức tạp và khó xác định bằng thực nghiệm. Chúng thường được đánh giá bằng phương pháp Monte Carlo. Để xét đoán quy luật vật lý chi phối kết quả đo thực nghiệm, đôi khi cũng cần mô phỏng lại hiện tượng vật lý bằng phương pháp Monte Carlo rồi so sánh kết quả mô phỏng với kết quả đo thí nghiệm để rút ra những kết luận vật lý. Vì vậy có thể nói phương pháp Monte Carlo đóng một vai trò rất quan trọng trong nghiên cứu thực nghiệm.

MCNP là phần mềm ứng dụng phương pháp Monte Carlo mô phỏng các quá trình vật lý hạt nhân đối với neutron, photon, electron mang tính thống kê (các quá trình phân rã hạt nhân, tương tác giữa hạt nhân với vật chất, thông lượng neutron …).

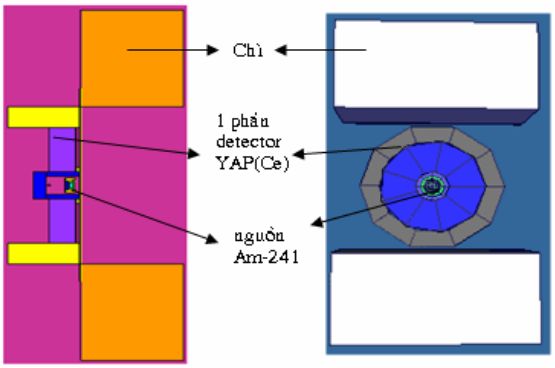
Để xây dựng file Input thích hợp cho chương trình hoạt động, ngoài các thông số vật lý và thông số vật lý và các thông số thu được từ khảo sát trên MCNP để đáp ứng mục tiêu tính toán, một vấn đề quan trọng được đặt ra là phải thành lập được bộ số liệu hình học chính xác của mô hình tính toán, đây là yếu tố mang tính chất mấu chốt để nâng cao độ tin cậy của kết quả.

Với mô hình là một phần detector với tinh thể nhấp nháy YAP(Ce), hệ che chắn và vật liệu thực nghiệm sẽ được mô phỏng trong không gian là phòng chứa hệ thiết bị. Với mỗi vật liệu sẽ được mô phỏng bằng 1 file Input và sử dụng Tally F8 để thu nhận số liệu thông qua việc tính số xung trên cell cần đánh giá.

Ưu thế ở đây là ta có thể trực tiếp so sánh giữa kết quả mô phỏng bằng MCNP và thực nghiệm đo được trong thực tế nên có thể đánh giá được độ sai lệch giữa 2 phép đo và rút ra được hệ số hiệu chỉnh nhằm tiến hành thử nghiệm trên các vật liệu giả định khác trước khi chế tạo mẫu thật.



Hình 2. Sơ đồ 3D nguồn Am-241 mô phỏng bằng MCNP (xz).



Hình 3. Sơ đồ cắt dọc của hệ gamma tán xạ ngược mô phỏng bằng MCNP (xz).

Thông qua mô hình là hệ đo MYO-101, cho chương trình chạy 50.000.000 hạt gieo thì thu được bảng số liệu tính toán từ MCNP và so sánh với kết quả tiến hành đo thực nghiệm [3].

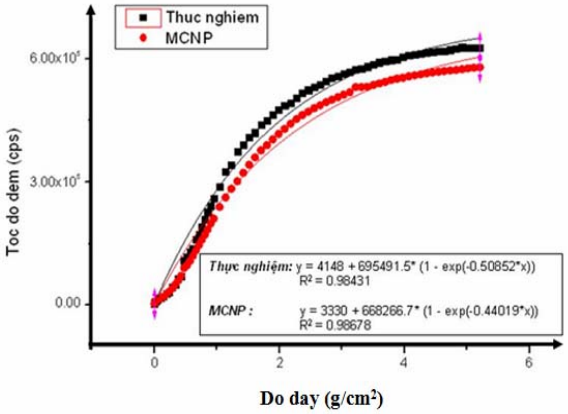
KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Qua các bảng số liệu thu được từ thực nghiệm và mô phỏng thông quan MCNP, có thể xây dựng các đồ thị và phương trình làm khớp cửa từng loại vật liệu khác nhau. Việc xử lý kết quả đo và vẽ đồ thị được thực hiện bằng phần mềm Origin. Kết quả phương trình làm khớp, chiều dày bão hòa 97% cho mỗi loại vật liệu được nêu trong Bảng 1, trong đó ký hiệu I là tốc độ đếm xung (cps) và x là chiều dày khối (g/cm^2).

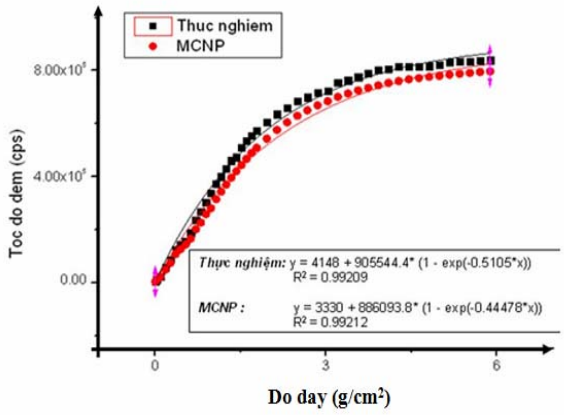
Bảng 1. So sánh đặc trưng vật liệu được đo từ thực nghiệm trên hệ MYO-101 và mô phỏng bằng phần mềm MCNP

TT	*Vật liệu*	*Thực nghiệm*		*MCNP*		*Độ lệch (%)*
		Phương trình làm khớp	*Chiều dày bão hòa (g/cm^2)*	*Phương trình làm khớp*	*Chiều dày bão hòa (g/cm^2)*	
1	Giấy viết trắng	$I = 4148 + 695491,45000.(1 - e^{-0,50852x})$	6,90	$I = 3330 + 668266,66900.(1 - e^{-0,44019x})$	7,97	13,44
2	Giấy bìa vàng	$I = 4148 + 905544,35000.(1 - e^{-0,51050x})$	6,87	$I = 3330 + 886093,84900.(1 - e^{-0,44478x})$	7,88	12,87
3	Plastic	$I = 4148 + 489372,92700.(1 - e^{-0,62533x})$	5,61	$I = 3330 + 481098,74900.(1 - e^{-0,57446x})$	6,10	8,14
4	Nhôm	$I = 4148 + 572493,67600.(1 - e^{-0,51549x})$	6,80	$I = 3330 + 541572,29600.(1 - e^{-0,49389x})$	7,10	4,19
5	Thép	$I = 4148 + 23348,31840.(1 - e^{-3,28105x})$	1,07	$I = 3330 + 21567,2562.(1 - e^{-3,17505x})$	1,10	3,23

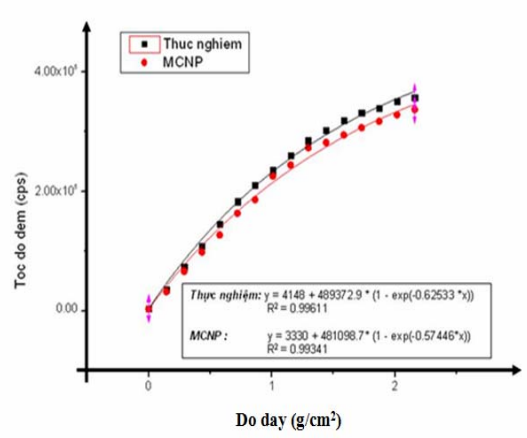
Đồ thị mô tả sự phụ thuộc giữa tốc độ đếm theo chiều dày khối được trình bày trên Hình 4 đối với giấy trắng, Hình 5 đối với giấy vàng, Hình 6 đối với plastic, Hình 7 đối với nhôm và Hình 8 đối với thép



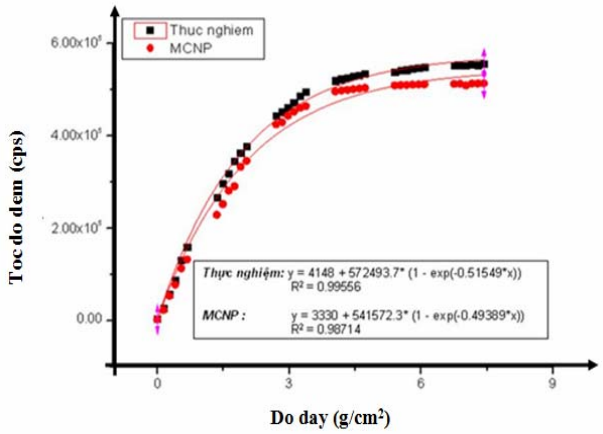
Hình 4. Đồ thị so sánh tốc độ đếm theo bề dày giữa mô phỏng bằng MCNP và thực nghiệm đối với giấy trắng.



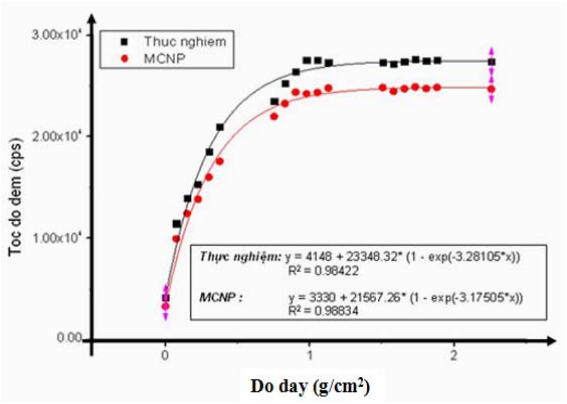
Hình 5. Đồ thị so sánh tốc độ đếm theo bề dày giữa mô phỏng bằng MCNP và thực nghiệm đối với giấy bìa.



Hình 6. Đồ thị so sánh tốc độ đếm theo bề dày giữa mô phỏng bằng MCNP và thực nghiệm đối với plastic.



Hình 7. Đồ thị so sánh tốc độ đếm theo bề dày giữa mô phỏng bằng MCNP và thực nghiệm đối với nhôm.



Hình 8. Đồ thị so sánh tốc độ đếm theo bề dày giữa mô phỏng bằng MCNP và thực nghiệm đối với thép.

So sánh số liệu giữa thực nghiệm và tính toán bằng MCNP có thể rút ra hệ số chuyển đổi đối với một số loại vật liệu cho hệ đo MYO-101 như chỉ ra trong Bảng 2 [3].

Bảng 2. Hệ số chuyển đổi giữa hệ số hấp thụ μ của thực nghiệm và hệ số hấp thụ μ của MCNP đối với một số loại vật liệu cho hệ đo MYO-101.

TT	*Vật liệu*	*μ của thực nghiệm*	*μ của MCNP*	*Hệ số chuyển đổi giữa μ của thực nghiệm và μ của MCNP*
1	Giấy viết trắng	0,51	0,44	1,16
2	Giấy bìa vàng	0,51	0,44	1,15
3	Plastic	0,62	0,57	1,09
4	Nhôm	0,52	0,49	1,04
5	Thép	3,28	3,18	1,03
Trung bình				1,09

Từ việc so sánh giữa kết quả mô phỏng và thực nghiệm cho thấy khi bề dày vật liệu càng lớn, cường độ tán xạ ngược càng tăng. Tuy nhiên cường độ gamma tán xạ ngược chỉ tăng đến một mức nào đó và không tăng nữa khi tăng thêm bề dày. Trong trường hợp ở đây với nguồn Am-241 thì vật liệu nhẹ thường dùng để đo chiều dày dựa trên hiệu ứng tán xạ ngược là giấy trắng, giấy vàng, plastic, nhôm và thép. Khi tăng bề dày vật liệu đến ngưỡng xác định như trong Bảng 1 thì số đếm không tăng nữa ta xem như đây là bề dày bão hòa của tán xạ ngược đối với từng loại vật liệu (vật liệu càng nặng thì chiều dày bão hòa càng nhỏ) với năng lượng và góc tán xạ theo bố trí hình học của hệ đo chiều dày vật liệu MYO-101. Điều này được giải thích là do khi tăng bề dày vật liệu thì tia gamma sẽ có cơ hội gây tán xạ nhiều hơn và khi đó nó bị quá trình hấp thụ trong vật liệu gây cạnh tranh và khi tăng bề dày tới một giá trị nào đó thì hai quá trình tán xạ và hấp thụ sẽ bù trừ nhau. Do đó số tia gama tán xạ ngược có thể thoát ra khỏi vật liệu để đến tinh thể detector là không đổi nữa và tạo nên vùng bão hòa [4,5,6].

Từ Bảng 2 ta thấy rằng, độ lệch tương đối giữa kết quả tính toán mô phỏng và đo thực nghiệm nằm trong dải 3,3 - 15,5% và độ lệch tăng dần từ vật liệu thép (3,3%) đến giấy trắng (15,5%). Điều này cũng dễ hiểu vì đối với vật liệu nhẹ nhất là giấy, phải sử dụng nhiều tấm khi tăng chiều dày nhưng trong MCNP đã bỏ qua các lớp không khí mỏng giữa 2 tấm liền nhau nên có sự sai khác nhiều hơn so với các vật liệu nặng hơn như thép hay nhôm.

KẾT LUẬN

Qua kết quả so sánh giữa tính toán MCNP và đo đạc bằng thực nghiệm, có thể thấy tính ưu việt của chương trình MCNP trong quá trình mô phỏng hiệu ứng gamma tán xạ ngược đối với hệ đo chuyên dụng MYO-101 sử dụng detector nhấp nháy YAP(Ce). Kết quả bước đầu thực hiện trên một số loại vật liệu như giấy trắng, giấy vàng, plastic, nhôm và thép đã xác định được hệ số chuyển đổi từ MCNP qua thực nghiệm. Các kết quả này sẽ là cơ sở giúp cho quá trình nghiên cứu các vật liệu nhẹ khác bằng mô phỏng nhằm dự đoán hệ số hấp thụ tuyến tính, dự đoán bề dày bão hòa trước khi tiến hành thực nghiệm. Ngoài ra, kết quả nghiên

cứu này còn rất có ích đối với công tác đào tạo cán bộ cũng như sinh viên về lĩnh vực ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp.

MONTE CARLO SIMULATION BY CODE OF MCNP AND EXPERIMENTAL CHECK FOR MEASURING THICKNESS OF MATERIALS FOR THE SPECIALIZING SYSTEM OF MYO-101

Hoang Sy Minh Phuong, Nguyen Van Hung
Nuclear Research Institute (Dalat)

ABSTRACT*: At present, thickness measurement of materials based on effect of backscattering gamma has been used widely in industry in our country. This report presents research in thickness of some materials such as paper, plastic, aluminum and steel using the specialized system of MYO-101 (with using scintillation detector of YAP(Ce) and gamma-ray of 60 keV of source of Am-241) by Monte-Carlo simulation with using the code of MCNP, and the simulation was checked by experimental measurements. The results show that the experiment and the simulation are in agreement in the error limit. This research can be useful for training activities in the field of application of nuclear technique in industry in Vietnam.*

Keywords*: Monte-Carlo simulation, Monte Carlo N-Particle, Backscattering gamma, Scintillation detector, Nuclear technique.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Kunihiro Ishii, *Gamma-ray Gauge: Model MYO-101*, Ohyo Keken Kogyo Co.Ltd, Japan (2006).

[2]. Hiroshi Tominaga, *Experimental practice for nucleonic thickness gauge*, NuTEC/JAEA, Japan (2007).

[3]. I.F. Briesmeister, Ed., *MCNP4C2 - Monte Carlo N-Particle Transport Code System*, CCC-701 (2001).

[4]. IAEA-TECDOC-1459, *Technical data on nucleonic gauges*, IAEA (2005).

[5]. Glen F. Knoll, *Radiation Detection and Measurement*, Third edition, John Wiley & Sons (1999).

[6]. Gordon R.Gilmore, *Practical Gamma-ray Spectrometry*, Second Edition, Nuclear Training Services Ltd Warrington, UK, John Wiley & Sons Ltd (2008).

[7]. Syed Naeem Ahmed, *Physics and Engineering of Radiation Detection*, First edition, Academic Press Inc, Published by Elsevier (2007).