

MÔ PHÒNG MONTE CARLO ĐƯỜNG CONG HIỆU SUẤT ĐỈNH CỦA ĐẦU DÒ HPGE TRONG HỆ PHỔ KẾ GAMMA MÔI TRƯỜNG SỬ DỤNG CHƯƠNG TRÌNH MCNP4C2

**Trương Thị Hồng Loan, Mai Văn Nhơn, Đặng Nguyên Phương,
Trần Ái Khanh và Trần Thiện Thanh**
Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

1. GIỚI THIỆU

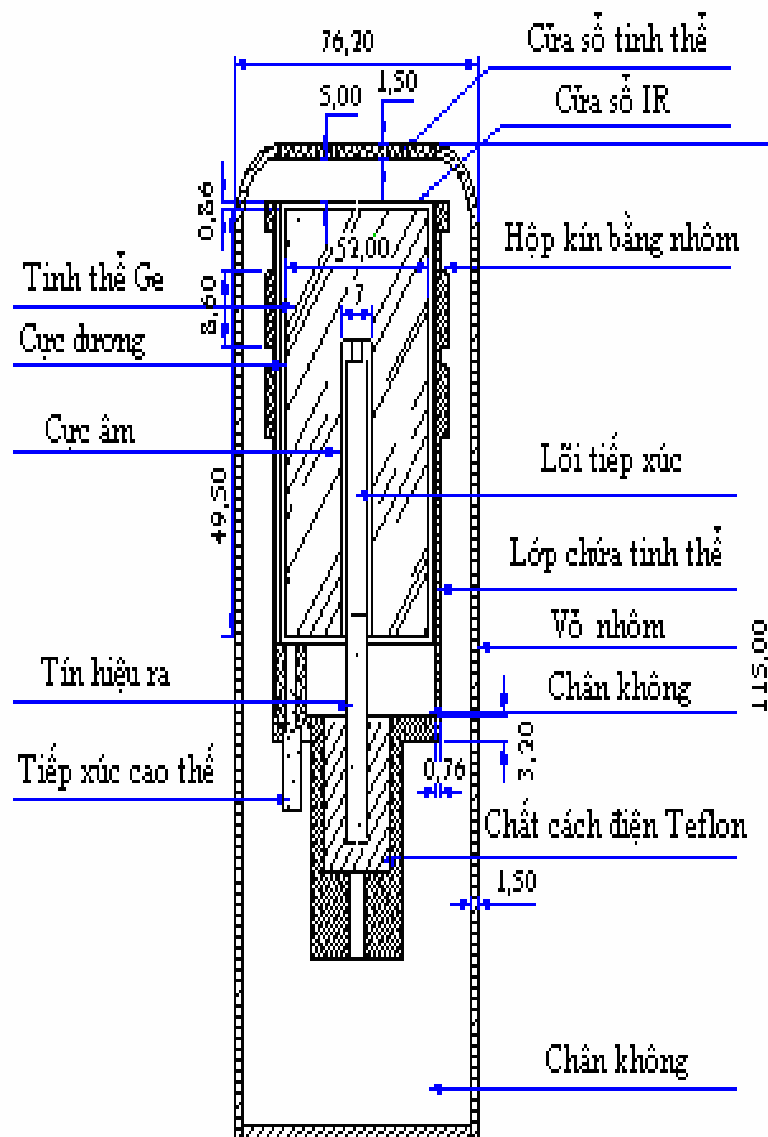
Bộ môn Vật lý hạt nhân Trường Đại học Khoa học Tự nhiên Tp.HCM có hệ phổ kế gamma dùng đầu dò germanium siêu tinh khiết dạng đồng trục của hãng Canberra năm 2004. Để sử dụng hệ phổ kế này cần khảo sát các đặc trưng cơ bản của đầu dò như đường chuẩn năng lượng, đường chuẩn hiệu suất, hiệu ứng che chắn phòng.... Vì Bộ môn không có được nhiều nguồn chuẩn với năng lượng trải đều trong khoảng cho phép của đầu dò loại này tương ứng năng lượng từ 50 keV đến hơn 2000keV nên song song với việc đo đạc thực nghiệm với các nguồn có được như Cs-137 (661,7 keV), Na-22 (1274,5 keV), và Co-60 (1173,3 keV và 1332,5 keV) của Trung tâm Đào tạo, Viện nghiên cứu hạt nhân Đà Lạt, trong công trình này còn tiến hành xây dựng mô phỏng hệ đo thêm với các nguồn giả định Am-241 (59,5 keV), Co-57 (122,1 keV), Se-75 (96,7 keV), Ba-133 (81,0 keV ;356,0 keV), Eu-152 (1408,0 keV) theo tiêu chuẩn của ^{[3], [4]} có hình học giống với các nguồn chuẩn đã nêu trên để có đủ các số liệu cho việc xác định đường cong hiệu suất theo năng lượng trên toàn miền năng lượng cho phép. Ngoài ra chúng tôi còn khảo sát sự thay đổi của đường cong hiệu suất này theo khoảng cách nguồn và đầu dò.

Để tài này sử dụng chương trình MCNP phiên bản 4C2. Để đánh giá hiệu suất ghi của đầu dò, ta cần mô phỏng phổ năng lượng tương ứng. Trong MCNP để đánh giá độ cao xung này ta sử dụng Tally F8. Bước đầu tiên chúng tôi xác định độ tin cậy của chương trình mô phỏng bằng cách so sánh kết quả hiệu suất ghi bằng thực nghiệm và bằng mô phỏng với các nguồn có thực Cs-137, Na-22, Co-60. Khi chương trình đủ tin cậy chúng tôi tiếp tục mô phỏng tiếp với một số nguồn giả định đã nêu ở trên và xây dựng đường cong hiệu suất hoàn chỉnh.

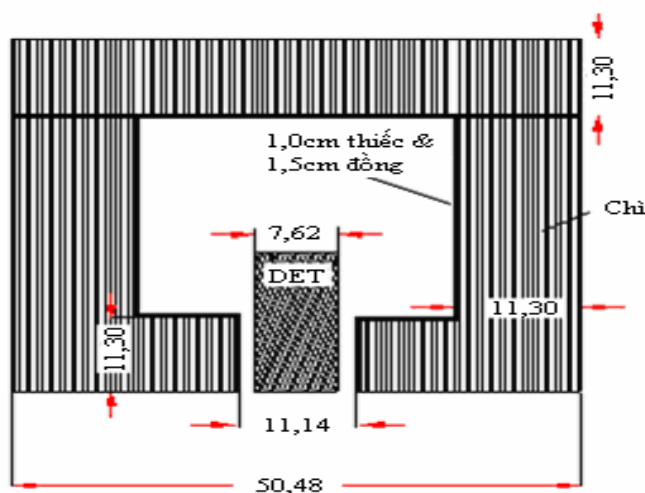
2. CẤU TRÚC HỆ NGUỒN - ĐẦU DÒ – BUỒNG CHÌ DÙNG TRONG MÔ PHÒNG VÀ THỰC NGHIỆM

Đầu dò HPGe ở Bộ môn Vật lý Hạt nhân, có ký hiệu GC2018, là loại đầu dò đồng trục có dạng như Hình 1.a bao gồm khối Ge hình trụ chữ U có đường kính ngoài 52mm, chiều cao 49,5mm. Bên trong tinh thể có một hốc hình trụ đường kính 7mm, độ sâu của hốc là 35mm. Mặt ngoài tinh thể là lớp tiếp xúc loại n (lớp Lithium) nối với điện cực dương, mặt trong hốc tinh thể là lớp tiếp xúc loại p (lớp Boron) nối với điện cực âm. Đầu dò được đựng trong một hộp kín bằng nhôm với bề dày 1,5mm.

Hình 1.b là sơ đồ cắt dọc của hệ đầu dò và buồng chì. Các kích thước được cho như trên hình vẽ. Chúng ta biết rằng tương tác của tia gamma với chì tạo ra các tia X có năng lượng trong khoảng 75 – 85 KeV. Các tia X này của chì có thể được ghi nhận bởi đầu dò và làm cho phổ gamma bị nhiễu. Để hạn chế điều này người ta đã lót bên trong buồng chì các lớp đồng và thiếc có bề dày tương ứng là 1,5mm và 1mm. Qua khảo sát ^[6] cho thấy một lớp thiếc dày 1mm có thể hấp thụ được khoảng 95% các tia X của chì. Và sự có mặt của 1,5mm Cu đã làm tăng khả năng hấp thụ lên tới 98,5% đối với các tia X của chì.



Hình 1.a. Cấu trúc của đầu dò HPGe (kích thước tính theo mm)



Hình 1.b. Sơ đồ cắt dọc của hệ đầu dò-buồng chì (kích thước tính theo cm)

Tất cả 3 nguồn chuẩn Cs-137, Na-22, Co-60 được mượn từ Trung tâm đào tạo Viện nghiên cứu hạt nhân Đà Lạt, đều thuộc Model Cal2601 Gamma Standard. Nguồn có dạng trụ nhỏ, với đường kính 1mm, chiều cao 1mm được bao phủ bởi lớp plastic dày 2,7mm, có đường kính toàn phần 25,4mm, chiều cao toàn phần 6,4mm. Các thông số khác của nguồn như hoạt độ, chu kỳ bán rã, năng lượng, hiệu suất phát được cho trong [3].

3. MÔ PHỎNG ĐƯỜNG CONG HIỆU SUẤT ĐỈNH CỦA ĐẦU DÒ HPGE

3.1.Xác định độ tin cậy của chương trình

Trước khi khảo sát, ta phải xác định được độ tin cậy của chương trình mô phỏng. Cách so sánh tốt nhất là so sánh với các số liệu thực nghiệm đo được trong thực tế. Việc mô phỏng trước hết được tiến hành với các nguồn mà ta đã đo được trong thực nghiệm. Chúng ta sẽ so sánh kết quả hiệu suất của đầu dò HPGe trong mô phỏng với hiệu suất thu được trong thực nghiệm.

Hiệu suất thực nghiệm cần xác định ở đây là hiệu suất đỉnh được định nghĩa: $\epsilon(E) = \frac{S}{Abt}$.

Trong đó: S - số đếm diện tích đỉnh toàn phần, A - hoạt độ của nguồn phóng xạ ở thời điểm đang đo; b - xác suất phát gamma; và t - thời gian đo.

Kết quả tính toán hiệu suất thực nghiệm đo được ở khoảng cách 15.3 cm đối với các nguồn Cs-137, Na-22, và Co-60 mô tả ở trên được cho trong Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả thực nghiệm hiệu suất đỉnh của đầu dò với các nguồn Cs-137, Mn-54, Na-22, Co-60

Nguồn	Năng lượng (keV)	Hiệu suất thực nghiệm
Cs-137	661,7	$(11,72 \pm 0,43) \cdot 10^{-4}$
Co-60	1173,2	$(7,17 \pm 0,27) \cdot 10^{-4}$
Na-22	1274,5	$(6,72 \pm 0,22) \cdot 10^{-4}$
Co-60	1332,5	$(6,41 \pm 0,24) \cdot 10^{-4}$

Bảng 2. Hiệu suất mô phỏng đối với các nguồn Cs-137, Na-22, Co-60

Nguồn	Năng lượng (keV)	Hiệu suất mô phỏng
Cs-137	661,7	$(10,82 \pm 0,10).10^{-4}$
Co-60	1173,7	$(6,66 \pm 0,08).10^{-4}$
Na-22	1274,5	$(6,35 \pm 0,08).10^{-4}$
Co-60	1332,5	$(6,00 \pm 0,08).10^{-4}$

Kết quả hiệu suất mô phỏng với cấu hình hệ đo tương tự như của thực nghiệm được trình bày ở Bảng 2. Tỉ số so sánh giữa hiệu suất mô phỏng với hiệu suất thực nghiệm được cho ở Bảng 3. Ta thấy rằng các số liệu về hiệu suất thu được bằng chương trình MCNP là phù hợp với các số liệu thu được từ thực nghiệm (tỉ số là trên 0,9).

Đây là một kết quả rất tốt, kết quả này đạt được chính là nhờ sự tính toán mô phỏng chính xác của chương trình MCNP cũng như sự mô tả hình học của hệ đo một cách chi tiết và tỉ mỉ của người sử dụng. Kết quả này cho thấy chương trình mô phỏng mà chúng tôi xây dựng dựa trên mã nguồn MCNP4C2 là đủ tin cậy cho phép chúng ta tiếp tục mô phỏng hiệu suất của các nguồn giả định tiếp theo.

Bảng 3. So sánh giá trị hiệu suất thực nghiệm và mô phỏng

Năng lượng (keV)	Hiệu suất thực nghiệm (ϵ_{tn})	Hiệu suất mô phỏng (ϵ_{mp})	Tỉ số ($\epsilon_{mp} / \epsilon_{tn}$)
661,7	$(11,72 \pm 0,43).10^{-4}$	$(10,82 \pm 0,10).10^{-4}$	0,9232
1173,3	$(7,17 \pm 0,27).10^{-4}$	$(6,66 \pm 0,08).10^{-4}$	0,9289
1274,5	$(6,72 \pm 0,22).10^{-4}$	$(6,35 \pm 0,08).10^{-4}$	0,9449
1332,5	$(6,41 \pm 0,24).10^{-4}$	$(6,00 \pm 0,08).10^{-4}$	0,9360

3.2. Hoàn thiện đường cong hiệu suất theo năng lượng bằng mô phỏng

Đầu tiên ta phải xác định những nguồn phát gamma cần được mô phỏng thêm. Các nguồn này được mô phỏng dựa trên cơ sở là các nguồn trước đó đã được kiểm chứng là phù hợp với thực nghiệm.

Dạng hình học của nguồn và cách bố trí thí nghiệm được thiết lập hoàn toàn giống với các nguồn trước.

Các nguồn được chọn ^[3] để mô phỏng thêm bao gồm:

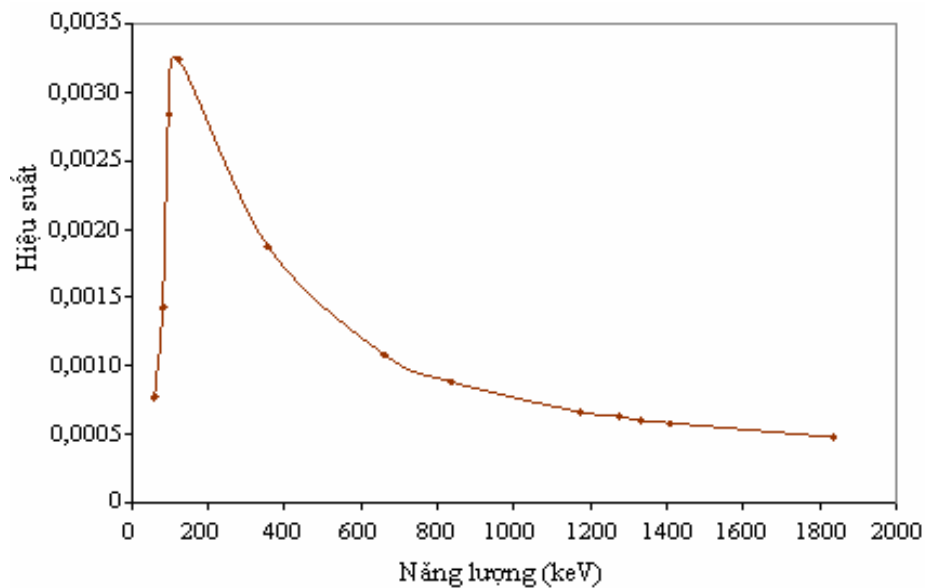
- Am-241 (59,5 keV – 36%)
- Co-57 (122,1 keV – 98%)
- Se-75 (96,7 keV – 3,41%)
- Ba-133 (81,0 keV – 34,11%; 356,0 keV – 61,94%)
- Eu-152 (1408,0 keV – 20,85%)
- Y-88 (1836,1 keV – 99,36%)

Kết quả mô phỏng của các nguồn còn lại này được trình bày ở Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả mô phỏng hiệu suất với các nguồn giả định

Nguồn	Năng lượng (keV)	Hiệu suất
-------	------------------	-----------

Am-241	59,5	$(7,74 \pm 0,09).10^{-4}$
Ba-133	81,0	$(14,30 \pm 0,12).10^{-4}$
Se-75	96,7	$(28,40 \pm 0,17).10^{-4}$
Co-57	122,1	$(32,37 \pm 0,18).10^{-4}$
Ba-133	356,0	$(18,75 \pm 0,14).10^{-4}$
Mn-54	834,8	$(8,87 \pm 0,09).10^{-4}$
Eu-152	1408,0	$(5,86 \pm 0,08).10^{-4}$
Y-88	1836,1	$(4,81 \pm 0,07).10^{-4}$



Hình 3. Đường cong hiệu suất theo năng lượng khi khoảng cách nguồn - đầu dò 15,3 cm.

Các hiệu suất này cùng với các hiệu suất mô phỏng thu được với các nguồn trước đủ để ta thiết lập một đường cong hiệu suất theo năng lượng (xem Hình 3).

Làm khớp các số liệu trên theo ^[5] ta được kết quả:

- Năng lượng thấp (dưới 120 keV): $\ln(\epsilon) = -54,39 + 19,52 \ln(E) - 1,954 \ln^2(E)$

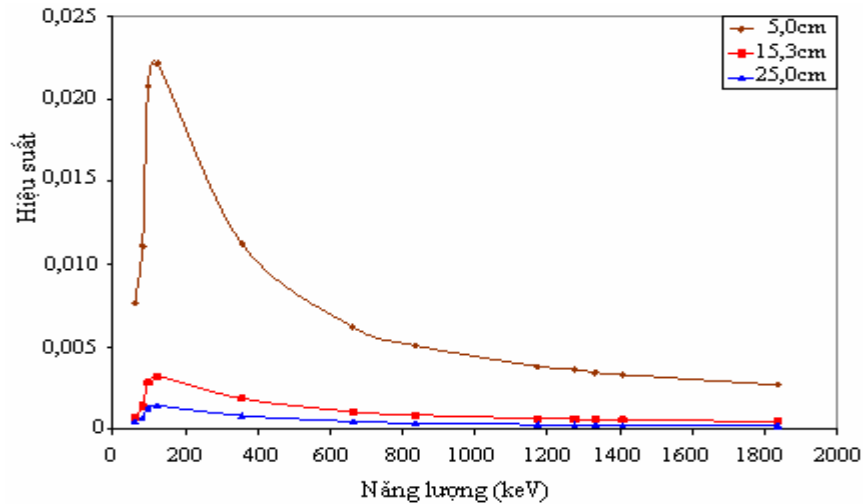
- Năng lượng cao (trên 120 keV):

$$\ln(\epsilon) = -56 + 28,79 \ln(E) - 5,546 \ln^2(E) + 0,3535 \ln^3(E) + 0,00672 \ln^4(E) - 0,001087 \ln^5(E)$$

3.3. Sự phụ thuộc của đường cong hiệu suất vào khoảng cách giữa nguồn và đầu dò

Để khảo sát sự phụ thuộc theo khoảng cách, chúng tôi mô phỏng đường cong hiệu suất theo năng lượng ứng với các khoảng cách khác nhau 5 cm; 15,3 cm và 25 cm. Kết quả được cho ở Bảng 5 và trình bày minh họa so sánh ở Hình 4.

Chúng ta thấy rằng đường cong hiệu suất theo năng lượng thay đổi khá rõ khi chúng ta thay đổi khoảng cách từ nguồn đến đầu dò. Hiệu suất càng lớn khi khoảng cách càng gần. Hiệu suất ở khoảng cách 5cm là khác biệt nhiều so với khoảng cách 15,3cm hay 25,0cm. Điều này được giải thích là do khi nguồn để xa đầu dò góc khối thu nhận bức xạ giảm và ngoài ra còn do sự hấp thụ bức xạ của không khí trên đường đi nhiều. Đặc biệt tại năng lượng 1332 keV của Co-60 khi khoảng cách nguồn – đầu dò 25cm hiệu suất tuyệt đối mô phỏng cho giá trị $2,76.10^{-4}$ tương đương với hiệu suất tương đối 23.0% mà nó sai biệt 2,7% so với hiệu suất danh định của nhà sản xuất (22,4%). Sai biệt này là không đáng kể và được coi như là nằm trong thăng giáng thống kê. Có nhiều nguyên nhân gây nên thăng giáng này ví dụ cấu hình nguồn Co-60 giả điểm của nhà sản xuất là không biết được và có thể khác chút ít so với cấu hình nguồn giả điểm trong mô phỏng của nhóm tác giả.



Hình 4. Đường cong hiệu suất ở các khoảng cách 5 cm; 15.3 cm và 25 cm.

Bảng 5 Hiệu suất theo năng lượng ứng với các khoảng cách 5 cm; 15,3 cm và 25 cm

Năng lượng (keV)	Hiệu suất mô phỏng		
	5 cm	15.3 cm	25 cm
59,5	$(7,65 \pm 0,03).10^{-3}$	$(7,74 \pm 0,09).10^{-4}$	$(4,80 \pm 0,07).10^{-4}$
81,0	$(11,09 \pm 0,03).10^{-3}$	$(14,30 \pm 0,12).10^{-4}$	$(6,94 \pm 0,08).10^{-4}$
96,7	$(20,77 \pm 0,05).10^{-3}$	$(28,40 \pm 0,17).10^{-4}$	$(13,16 \pm 0,11).10^{-4}$
122,1	$(22,14 \pm 0,05).10^{-3}$	$(32,37 \pm 0,18).10^{-4}$	$(14,39 \pm 0,12).10^{-4}$
356,0	$(11,22 \pm 0,03).10^{-3}$	$(18,75 \pm 0,14).10^{-4}$	$(8,40 \pm 0,09).10^{-4}$
661,7	$(6,21 \pm 0,02).10^{-3}$	$(10,82 \pm 0,10).10^{-4}$	$(4,86 \pm 0,07).10^{-4}$
834,8	$(5,08 \pm 0,02).10^{-3}$	$(8,87 \pm 0,09).10^{-4}$	$(3,91 \pm 0,06).10^{-4}$
1173,7	$(3,82 \pm 0,02).10^{-3}$	$(6,66 \pm 0,08).10^{-4}$	$(3,00 \pm 0,05).10^{-4}$
1274,5	$(3,64 \pm 0,02).10^{-3}$	$(6,35 \pm 0,08).10^{-4}$	$(2,87 \pm 0,05).10^{-4}$
1332,5	$(3,44 \pm 0,02).10^{-3}$	$(6,00 \pm 0,08).10^{-4}$	$(2,76 \pm 0,05).10^{-4}$
1408,0	$(3,32 \pm 0,02).10^{-3}$	$(5,86 \pm 0,08).10^{-4}$	$(2,66 \pm 0,05).10^{-4}$

1836,1	$(2,69 \pm 0,02).10^{-3}$	$(4,81 \pm 0,07).10^{-4}$	$(2,14 \pm 0,05).10^{-4}$
--------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này chương trình MCNP4C2 được dùng để khảo sát đường cong hiệu suất đỉnh theo năng lượng của hệ đầu dò HPGe của Bộ môn Vật lý Hạt nhân, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên Tp.HCM. Đầu tiên chúng tôi xác định độ tin cậy của chương trình mô phỏng bằng cách so sánh hiệu suất ghi thực nghiệm và mô phỏng với các nguồn có thực Cs-137 (661,7 keV), Na-22 (1274,5 keV), và Co-60 (1173,3 keV và 1332,5 keV) được mượn ở Trung tâm đào tạo, Viện nghiên cứu hạt nhân Đà Lạt. Kết quả tỷ số giữa các hiệu suất mô phỏng và thực nghiệm với các năng lượng khác nhau đều cao hơn 0,9 cho thấy chương trình mô phỏng mà chúng tôi xây dựng được dựa trên mã nguồn MCNP 4C2 là đủ tin cậy để nghiên cứu bằng phương pháp mô phỏng những vấn đề liên quan đến hệ phổ kế HPGe này. Do đó chúng tôi tiếp tục hoàn thiện đường cong hiệu suất bằng cách mô phỏng tiếp với một số nguồn giả định theo như Am-241 (59,5 keV), Co-57 (122,1 keV), Se-75 (96,7 keV), Ba-133 (81,0 keV ; 356,0 keV), Eu-152 (1408,0 keV). Sau đó chúng tôi tiến tới khảo sát sự thay đổi của đường cong hiệu suất theo khoảng cách từ nguồn đến đầu dò. Kết quả cho thấy khi đặt nguồn ở khoảng cách gần đầu dò thì ta thu được hiệu suất ghi đầu dò cao.

Như vậy phương pháp mô phỏng với chương trình MCNP4C2 có thể hỗ trợ cho người làm thực nghiệm xây dựng đường cong hiệu suất theo năng lượng đủ chính xác cho hệ đo khi ta không có nhiều nguồn chuẩn. Đó cũng là một trong những ưu điểm của việc mô phỏng này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Glenn F. Knoll. *Radiation detection and measurement*. John Wiley and Sons, Third Edition (1999)
- [2]. J.F. Briesmeister, Ed. *MCNP4C2- Monte Carlo N-particle Transport Code System*. LA-13709-M (June 2001)
- [3]. *X-ray and gamma-ray standards for detector calibration*. IAEA-TECDOC-619, IAEA (1991)
- [4]. Jagdish K. Tuli. *Nuclear Wallet Cards*. National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory (April 2005).
- [5]. *Genie 2000 Tutorials Manual*. Canberra Industries, Inc. (2004)
- [6]. <http://www.canberra.com>