

MÔ PHÒNG VÀ ĐO ĐẠC MỘT SỐ ĐẶC TRƯNG VẬT LÝ CỦA CHÙM TIA PHOTON 6 MV TRÊN MÁY GIA TỐC TUYẾN TÍNH XẠ TRỊ TRUEBEAM STX

N. D. TON¹, B. D. LINH¹, Q.T. PHAM²

¹ *Institute for Nuclear Science and Technology, 179 Hoang Quoc Viet, Cau Giay, Ha Noi*

² *Department of Radiation Oncology and Radiosurgery, 108 Military Central Hospital, Hanoi*

nguyenducton92@gmail.com

Tóm Tắt: Ngày nay, phương pháp mô phỏng Monte Carlo được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau như trong vật lý, y tế... Công cụ mô phỏng Monte Carlo GEANT4/GATE đã được phát triển để phục vụ bài toán xây dựng, chẩn đoán hình ảnh y học hạt nhân, xạ trị và sinh học bức xạ. Trong báo cáo này, chúng tôi sẽ trình bày kết quả mô phỏng một phần đầu máy gia tốc tuyến tính xạ trị TrueBeam STx sử dụng công cụ mô phỏng GEANT4/GATE. Các đặc trưng vật lý của chùm photon 6 MV bao gồm liều sâu phần trăm trong nước, liều sâu cách tâm thu được từ kết quả mô phỏng được so sánh và kiểm chứng với kết quả đo đạc trên máy TrueBeam STx tại Bệnh viện 108.

Từ khóa: Mô phỏng Monte Carlo, GEANT4/GATE, Xạ trị, TrueBeam STx, PDD, Profile.

I. Giới thiệu

Những năm gần đây, công nghệ máy gia tốc đã được đưa vào sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu khoa học cũng như các lĩnh vực triển khai - ứng dụng, trong đó có lĩnh vực y tế. Phương pháp xạ trị ngoài sử dụng máy gia tốc tuyến tính dần trở thành công cụ hữu hiệu và phổ biến trong việc điều trị ung thư với các hệ thống xạ trị sử dụng máy gia tốc tuyến tính (LINAC) được sử dụng phổ biến tại hầu hết các bệnh viện, cơ sở y tế. Máy gia tốc với sự đa dạng về loại bức xạ và các mức năng lượng, dải liều chiếu, trường chiếu, góc quay cũng như khả năng đảm bảo liều chiếu chính xác... cùng với sự hỗ trợ của các phần mềm tính toán lập kế hoạch điều trị giúp đảm bảo được liều chiếu phù hợp, ổn định, giảm thời gian chiếu và cho phép điều trị các loại khối u với kích thước, tính chất và vị trí khác nhau trong cơ thể.

Theo các thống kê sơ bộ, số lượng máy gia tốc xạ trị trong y tế ở Việt Nam hiện nay là khoảng 56 máy và số lượng này còn có thể tăng thêm trong những năm tới. Từ năm 2017, máy gia tốc xạ trị TrueBeam STx đã được đưa vào sử dụng trong điều trị lâm sàng tại Bệnh viện Trung ương Quân đội 108. Đây là một trong những máy gia tốc xạ trị thuộc thế hệ mới nhất hiện nay được sản xuất bởi công ty VARIAN. Với ưu điểm nổi bật về suất liều lên đến 1400 MU/phút đối với mức năng lượng 6 MV FFF và 2400 MU/phút đối với mức năng lượng 10 MV FFF, TrueBeam STx cho phép đạt được kết quả điều trị tốt hơn mặc dù thời gian điều trị. Bên cạnh đó, máy TrueBeam STx còn có thể sử dụng với các kỹ thuật xạ trị đặc biệt như điều biến liều (IMRT), xạ trị điều biến liều thể tích cung tròn (VMAT), xạ trị dưới hướng dẫn của hình ảnh (IGRT). Đối với chùm photon máy có chế độ lọc phẳng (FF) ở 6, 8, 10, 15 MV và chế độ không lọc phẳng (FFF) ở 6 MV, 10 MV.

Nhằm nâng cao hiệu quả xạ trị đồng thời hạn chế ảnh hưởng của bức xạ đến các mô lành và tính toán che chắn an toàn bức xạ, một số công trình nghiên cứu về máy gia tốc trong xạ trị đã được thực hiện như: Tính toán mô phỏng và đo thực nghiệm nhằm khảo sát phân bố suất liều electron, photon, sự tồn tại của neutron đối với máy gia tốc tuyến tính làm cơ sở để khuyến cáo cần thiết về mặt an toàn bức xạ cho nhân viên vận hành, bệnh nhân và công chúng quanh khu vực xạ trị. Phần lớn các nghiên cứu trước đây chủ yếu sử dụng chương trình MCNP để tính toán mô phỏng vào mục đích tối ưu hóa công tác xạ trị giảm tổn thương đến

mô phỏng xung quanh và đưa ra khuyến cáo về an toàn bức xạ nhằm đảm bảo liều hấp thụ bức xạ đối với các đối tượng bị ảnh hưởng.

Trong báo cáo này, chúng tôi trình bày các kết quả của quá trình sử dụng gói công cụ GEANT4/GATE trong mô phỏng chùm tia photon với năng lượng 6 MV ở đầu ra của máy TrueBeam STx qua đó xác định các đại lượng như liều sâu phần trăm trong nước, liều sâu cách tâm. Đây là các đại lượng đặc trưng của chùm photon trên máy gia tốc xạ trị thể hiện các tính chất vật lý của chùm tia và cũng là cơ sở dữ liệu được sử dụng lập kế hoạch xạ trị cho bệnh nhân.

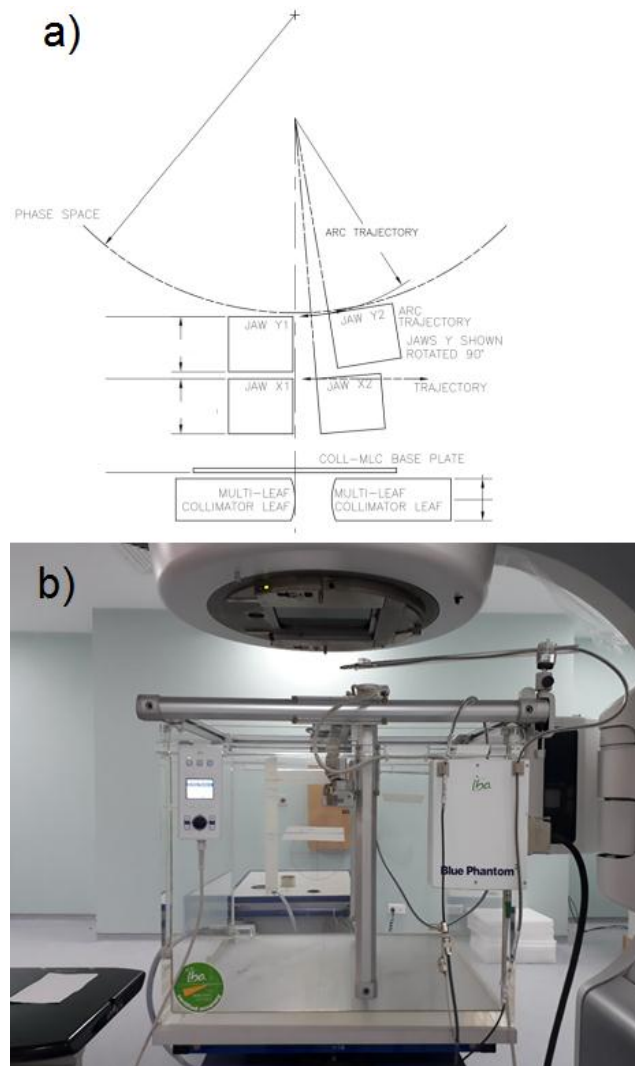
II. Chương trình GEANT4/GATE và cấu hình mô phỏng, đo đạc.

1. Chương trình GEANT4/GATE

Các chương trình thường được sử dụng trong lĩnh vực tính toán mô phỏng vận chuyển và tương tác của bức xạ với vật chất như MCNP [2], FLUKA [3], GEANT4 [4]. Trong đó, FLUKA (FLUKtuierende KAskade) là chương trình ít phổ biến. MCNP (Monte Carlo N-Particle) là chương trình mà người dùng chỉ đưa vào các thông số hình học, loại hạt tương tác để thu được số liệu đầu ra đã được chương trình định nghĩa trước. Trong khi đó, GEANT4 (GEometry ANd Tracking) là một code mô phỏng cho phép người dùng can thiệp trực tiếp vào lõi của chương trình để tùy biến theo bài toán cần nghiên cứu. Code này yêu cầu người dùng phải hiểu biết rõ về các quá trình vận chuyển tương tác của hạt để có thể đưa vào các mô hình vật lý đúng. Trong các dự án lớn ứng dụng GEANT4 trong y học hạt nhân thì GATE (GEANT4 Application for Tomographic Emission) là một trong những dự án thành công và có lượng người sử dụng lớn [6]. GATE được thiết kế riêng để mô phỏng xạ trị và có thể sử dụng để tính toán liều trong các thí nghiệm xạ trị với ưu điểm đặc biệt là hỗ trợ người dùng chạy chương trình mô phỏng với một hệ thống siêu máy tính có khoảng vài nghìn CPU [7].

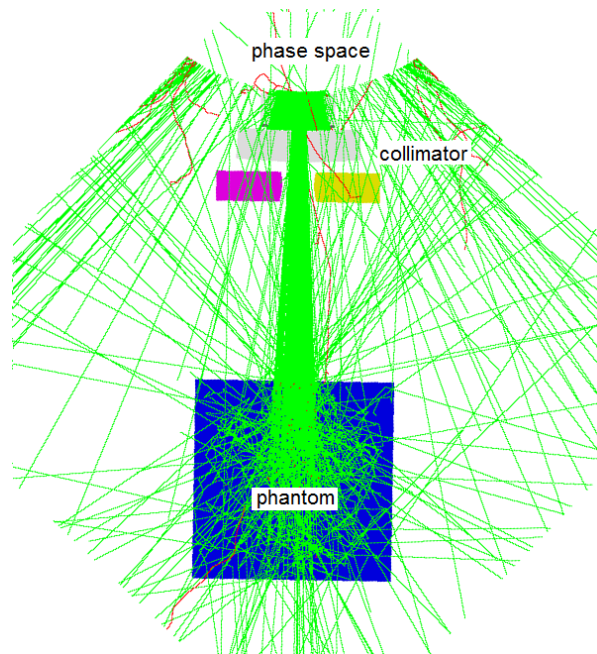
2. Cấu hình mô phỏng máy gia tốc xạ trị TrueBeam STx

Cho đến nay, các chi tiết về cấu hình hệ thống máy gia tốc xạ trị TrueBeam STx vẫn là bí mật công nghệ thuộc sở hữu của VARIAN. Thay vì việc công bố cấu



Hình 1. (a)-sơ đồ cấu tạo phần collimator đa lá phía dưới của không gian pha (phase space) của máy TrueBeam [8]; (b)-phantom nước dùng để đo và mô phỏng

hình chi tiết, các thông tin về phần gia tốc điện tử, bia, cặp buồng ion hóa, tấm lọc ... của TrueBeam STx được cung cấp thông qua tệp tin không gian pha (phase space). Tệp tin này được coi như một nguồn thứ cấp dùng cho các nghiên cứu về TrueBeam và chứa các thông tin về chùm hạt được phát ra: vị trí, năng lượng - thông lượng theo không gian 3 chiều phía trên phần chuẩn trực đa lá (Muti Leaf Collimator - MLC). Hình 1-a thể hiện sơ đồ cấu tạo của đầu máy TrueBeam trong tài liệu chuyển giao cùng máy. Phase space cho photon 6 MV được tải từ trang web của IAEA [9], đối với các loại năng lượng khác thì phải liên hệ trực tiếp với hãng. Các thông tin đầu vào cho bài toán mô phỏng, đo đạc bao gồm: chùm photon 6MV kích thước $10 \times 10 \text{ cm}^2$, phantom đồng nhất “Blue Phantom 2” của IBA Dosimetry, Germany (hình 1-b) [10] với kích thước vùng đo và độ phân giải điểm đo lần lượt là $480\text{mm} \times 480\text{mm} \times 480\text{mm}$ và 0.1 mm được sử dụng là môi trường đo đạc. Buồng ion hóa CC13 và đầu dò RAZOR của IBA Dosimetry được sử dụng để ghi nhận số liệu và đo liều lượng. Thể tích nhạy, bán kính đo của CC13 và RAZOR tương ứng là 0.13 cm^3 , 6 mm và 0.01 cm^3 , 1 mm . Bề mặt nước của phantom được đặt cách nguồn 1 khoảng 100 cm (tính liều theo phương pháp $\text{SSD} = 100\text{cm}$).



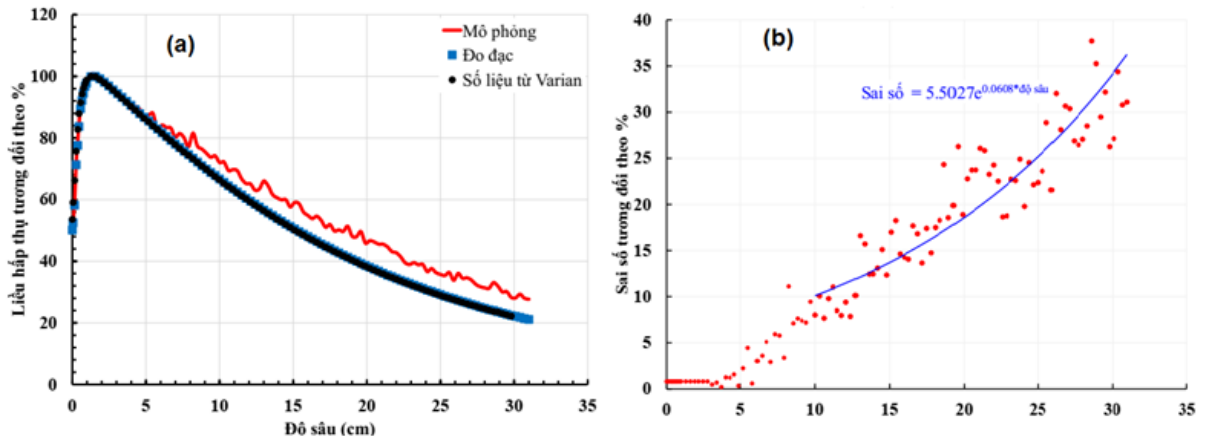
Hình 2. Kết quả hiển thị hình học trong chương trình mô phỏng với 5000 sự kiện.

Dựa vào cấu hình đo được mô tả như trên, cấu hình máy trong tài liệu chuyển giao và tệp tin phase space từ nhà sản xuất, chúng tôi đã xây dựng hình học của đầu máy gia tốc. Gói vật lý “emstandard_opt3” được sử dụng để mô phỏng cho các quá trình tương tác của photon với không khí, các collimator đa lá và phantom. Thể tích mỗi điểm đo (VoxelSize) là $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$. Hình 2 là kết quả hiển thị của hình học mô phỏng với 5000 photon được phát ra: quỹ đạo các photon và hạt sản phẩm không mang điện là các đường màu xanh lá, các hạt có điện tích như electron màu đỏ; phantom nước màu xanh nước biển, collimator có màu hồng, vàng và xám.

3. Kết quả mô phỏng, so sánh với thực nghiệm

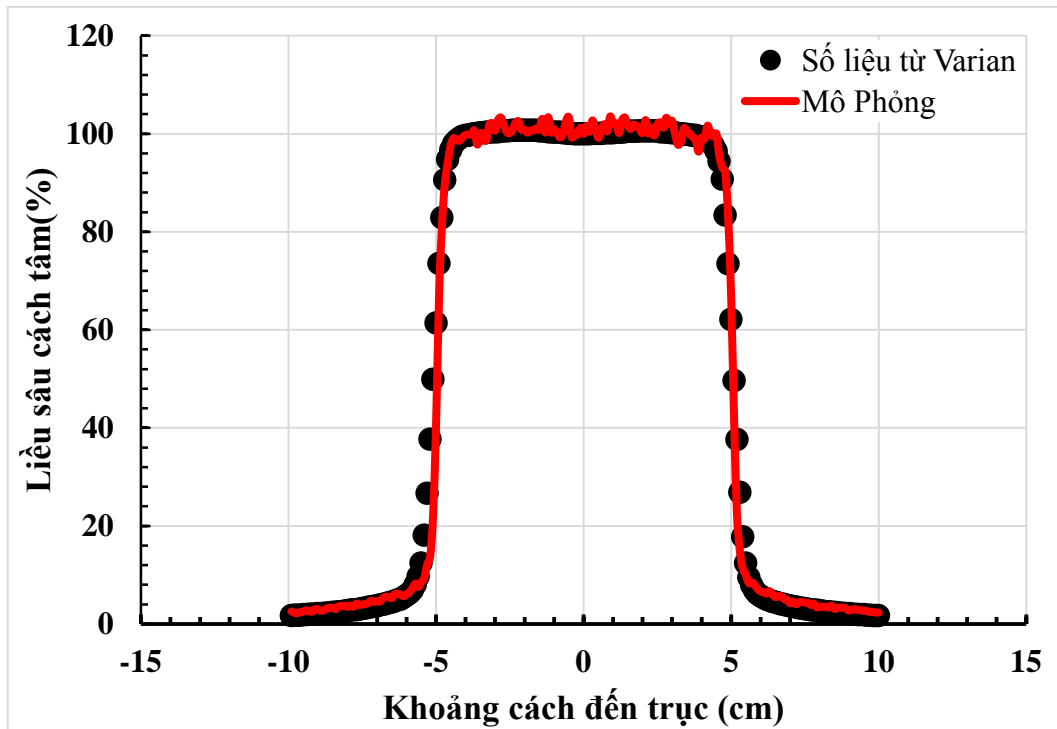
Các thông tin về cấu hình đo đạc và mô phỏng đã được trình bày trong phần 2. Phân tiếp theo, kết quả thu được từ quá trình đo đạc, mô phỏng sẽ được trình bày và thảo luận. Bên cạnh đó, các dữ liệu được so sánh với bộ số liệu chuẩn của Varian chuyển giao cùng với máy TrueBeam STx ở Bệnh viện 108. Hình 3 trình bày kết quả liều hấp thụ tương đối theo % ở các

độ sâu khác nhau đối với chùm photon 6 MV ở trường chiếu $10 \times 10 \text{ cm}^2$ trong đó kết quả đo đạc và số liệu từ Varian tương đối trùng khớp. Về các kết quả thu được từ mô phỏng: ở độ sâu từ 0 đến 10 cm, kết quả mô phỏng cho thấy sự phù hợp tốt với số liệu đo đạc và số liệu của Varian: sai số tương đối giữa mô phỏng và thực nghiệm trong khoảng độ sâu này nhỏ hơn 10 %. Ở độ sâu từ 10 cm đến 30 cm, sai số tương đối giữa hai số liệu bắt đầu tăng từ 10 % đến 32%. Nguyên nhân chính của sự chênh lệch này có thể được lý giải là do thống kê trong mô phỏng không đủ: hạn chế về tài nguyên máy tính cũng như thời gian, mô phỏng được chạy với 10^9 photon được phát ra. Khi càng đi sâu vào phantom số lượng photon càng giảm do bị hấp thụ nên dẫn đến số đếm thống kê tại các điểm đo ở sâu bị thiếu hụt.

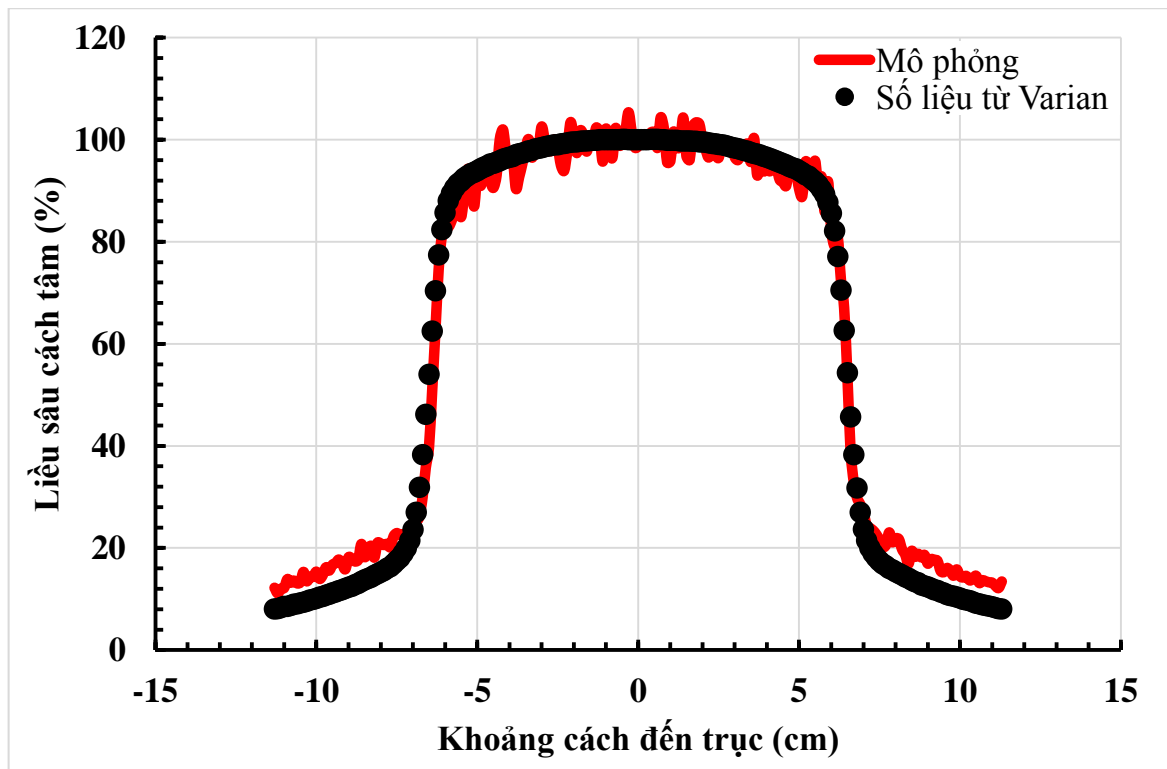


Hình 3. (a) - kết quả so sánh liều sâu phân trăm – PDD(%) và (b) – sai số tương đối giữa mô phỏng và thực nghiệm ở các độ sâu khác nhau

Sai số này có dạng hàm mũ – tương tự như quy luật về sự suy giảm của bức xạ trong vật chất (hình 3 – b). Kết quả so sánh liều hấp thụ tương đối theo % của các điểm có khoảng cách khác nhau đối với trục trung tâm ở độ sâu 1.5 cm và 30 cm được hiển thị ở các hình 4, 5. So sánh kết quả hiển thị trên các hình này có thể thấy khi độ sâu càng tăng thì sự chênh lệch giữa mô phỏng và thực nghiệm ở vùng ngoài trường chiếu càng lớn. Bên cạnh đó, ta thấy sự thẳng giáng của liều hấp thụ tương đối của mô phỏng trong 2 hình này cũng tăng dần ở độ sâu 1,5 cm và 30 cm.



Hình 4. Phân bố liều sâu cách tâm (%) – Profile của chùm photon 6 MV trường chiếu $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ở độ sâu 1.5 cm



Hình 5. Phân bố liều sâu cách tâm (%) – Profile của chùm photon 6 MV trường chiếu $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ở độ sâu 30 cm

Kết quả so sánh liều hấp thụ tương đối theo trục trung tâm ở độ sâu 1.5 cm được trình bày trong hình 4 với mức độ chênh lệch liều tương đối giữa hai mô phỏng và thực nghiệm là khá nhỏ. Hình 5 thể hiện kết quả liều hấp thụ tương đối theo trục trung tâm ở độ sâu 30 cm, khu vực gần vùng biên của trường chiếu, đường cong mô phỏng có khuynh hướng dốc hơn đường thực nghiệm. Từ hình 4 và hình 5, chúng ta thấy khu vực bên càng gần trục trung tâm mức độ trên lệch liều tương đối giữa hai mô phỏng và thực nghiệm nhỏ hơn nhiều khu vực nằm gần bên ngoài trường chiếu và sự chênh lệch tăng khi độ sâu tăng. Một nguyên nhân khác có thể gây ra sự chênh lệch giữa mô phỏng và thực nghiệm là do dải đo của liều kế. Đối với đo đặc thì vùng không gian đo của đầu dò có dạng hình cầu, còn trong mô phỏng, chúng tôi tạo các khối lập phương (voxel) để tính liều. Ngoài ra sự nhiễm bẩn electron trong chùm photon của máy gia tốc (hình 2) cũng là một trong những nguyên nhân gây ra sự sai khác.

III. Kết luận

Trong báo cáo này, các kết quả tính toán mô phỏng sử dụng công cụ GEANT4/GATE và so sánh với số liệu đo đặc chùm photon 6 MV với trường chiếu $10 \times 10 \text{ cm}^2$ của máy gia tốc xạ trị TrueBeam STx tại Bệnh viện Trung ương Quân đội 108 đã được trình bày. Bên cạnh đó, một số nguyên nhân dẫn đến sự sai lệch giữa mô phỏng và thực nghiệm cũng đã được đề cập, điều này giúp việc định hướng tính toán mô phỏng trong các nghiên cứu tiếp theo và trong lập kế hoạch điều trị. Các kết quả trong báo cáo là cơ sở để nhóm tiếp tục thực hiện các nghiên cứu tiếp theo trên máy TrueBeam STx ở năng lượng khác nhau và các phantom có môi trường không đồng nhất.

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn các cán bộ của Khoa Xạ trị- Xạ phẫu - Bệnh viện Trung ương Quân đội 108 đã tạo điều kiện và phối hợp thực hiện các nghiên cứu. Báo cáo được sự hỗ trợ của đề tài cấp cơ sở mã số CS/19/04-02.

Tài liệu tham khảo

- [1] Jaafar EL Bakkali, Tarek EL Bardouni, “Validation of Monte Carlo Geant4 code for a 6 MV Varian linac”, Journal of King Saud University – Science 29, 106–113 (2017).
- [2] J.F. Briesmeister, et al., “MCNP: a general Monte Carlo code for neutron and photon transport Version 3A Revision 2 (LA--7396-M-Rev2).”, NM (USA), (1986).
- [3] T.T. Bohlen et al., "The FLUKA Code: Developments and Challenges for High Energy and Medical Applications", Nuclear Data Sheets, 120, 211-214 (2014)
- [4] S. Agostinelli, et al., “GEANT4- A simulation toolkit”, Nucl. Instruments Methods Phys. Res. A 506 250–303 (2003)
- [5] D. Sardari, et al., “Measurement of depth-dose of linear accelerator and simulation by use of Geant4 computer code”, reports of practical oncology and radiotherapy 15, 64–68 (2010).
- [6] Jan, S et al. “GATE: a simulation toolkit for PET and SPECT.” *Physics in medicine and biology* vol. 49,19 (2004): 4543-61.
- [7] <http://vip.creatis.insa-lyon.fr>
- [8] “TrueBeam Monte Carlo Data Package” – Tài liệu lưu hành nội bộ khi chuyển giao máy gia tốc TrueBeam STx
- [9] “Phase-space database for external beam radiotherapy”, IAEA–NDS, <https://www-nds.iaea.org/phsp/phsp.htmlx>
- [10] <https://www.iba-dosimetry.com>

SIMULATION AND MEASUREMENT SOME PHYSICAL CHARACTERISTICS OF 6 MV PHOTON BEAM CHARACTERISTICS BY LINEAR ACCELERATOR FOR RADIOTHERAPY TRUEBEAM STx

N. D. TON¹, B. D. LINH¹, PHAM QUANG TRUNG²

¹ *Institute for Nuclear Science and Technology, 179 Hoang Quoc Viet, Cau Giay, Ha Noi*

² *Department of Radiation Oncology and Radiosurgery, 108 Military Central Hospital, Hanoi*

nguyenducton92@gmail.com

Abstract: Today, Monte Carlo simulation is widely used for many applications in various fields such as physics, medical. Monte Carlo GEANT4/GATE software has been developed for the simulation in imaging diagnostic, nuclear medicine, radiotherapy, and radiation biology. In this report, we will present details about simulation results of the head of TrueBeam STx have been performed using Monte Carlo GEANT4/GATE. Physical characteristics of 6 MV photon beam including percentage depth dose (PDD), central axis depth dose from simulation will be extracted and compared with measurement values in a water phantom by using a TrueBeam STx medical linear accelerator at the 108 Military Central Hospital.

Keyword: Monte Carlo simulation, GEANT4/GATE, radiotherapy ,TrueBeam STx, PDD, Profile