

# TÍNH TOÁN PHÂN BỐ SUẤT LIỀU BÊN NGOÀI BUỒNG CHIẾU XẠ VÀ HIỆU ỨNG SKYSHINE CỦA MÁY GIA TỐC CHÙM TIA ĐIỆN TỬ UERL-10-15S2

NGUYỄN ANH TUẤN, CAO VĂN CHUNG,  
*Trung tâm Nghiên cứu và Triển khai Công nghệ Bức xạ*

**Tóm tắt:** Nhằm đánh giá an toàn về phương diện suất liều khi máy gia tốc chùm tia điện tử UERL-10-15S2 năng lượng 10 MeV vận hành, nhóm tác giả đã sử dụng chương trình MCNP để tính toán và xây dựng bản đồ liều bên ngoài buồng chiếu xạ và dân cư xung quanh. Suất liều tại không gian bên ngoài do chùm bức xạ hãm được tạo ra trong buồng chiếu khi các electron va đập vào hàng hóa, băng tải, tường bê tông... còn liều dân cư do hiệu ứng skyshine gây bởi đầu quét thứ hai từ dưới thẳng đứng, hướng lên. Kết quả cho thấy suất liều bên ngoài buồng chiếu xạ thấp hơn rất nhiều ( $10^{-3}$  lần) so với bản đánh giá sơ bộ của hãng thiết kế và cung cấp máy gia tốc [3], còn suất liều dân cư vẫn ở mức cho phép (1 mSv/năm).

**Từ khóa:** *MCNP, skyshine, liều giới hạn*

## I. MỞ ĐẦU

Dự án xây dựng và lắp đặt máy gia tốc chùm tia điện tử ứng dụng trong lĩnh vực chiếu xạ khử trùng tại Trung tâm Nghiên cứu và Triển khai Công nghệ Bức xạ đang được tiến hành, vì vậy việc tính toán phân bố suất liều bên ngoài buồng chiếu xạ là rất cần thiết. Khả năng xuyên sâu của chùm electron năng lượng 10 MeV rất thấp, nhưng chúng sinh ra chùm bức xạ hãm năng lượng cao khi va đập vào các vật chất bên trong buồng chiếu xạ. Năng lượng chùm bức xạ hãm tạo thành phổ với xác suất cao tập trung trong khoảng  $0 \div 1$  MeV. Suất liều bên ngoài buồng chiếu xạ gây bởi chùm bức xạ hãm này cần phải được tính toán trước để so sánh với suất liều giới hạn của từng nhóm đối tượng làm việc xung quanh buồng chiếu xạ. Ngoài ra, đối với đầu phát electron thẳng đứng, hướng lên của máy gia tốc UERL-10-15S2 có khả năng gây ra hiệu ứng skyshine cho dân cư xung quanh, vì vậy suất liều xung quanh Trung tâm cần thiết phải được đánh giá. Trong báo cáo này, công cụ để thực hiện việc tính toán là chương trình MCNP4c2 [2]. Tuy nhiên, do suất liều bên ngoài buồng chiếu xạ và khu dân cư được dự đoán là rất nhỏ nên để có kết quả đáng tin cậy (sai số  $< 10\%$ ), nhóm tác giả đã nghiên cứu các phương pháp tính hợp lý nhằm giảm sai số.

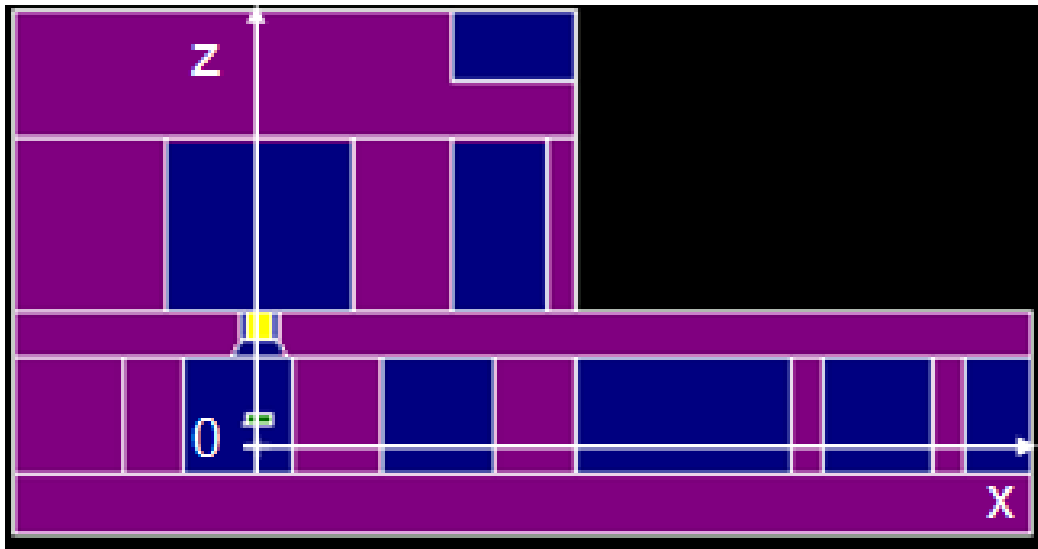
## II. NỘI DUNG

### 1. Mô tả hình học

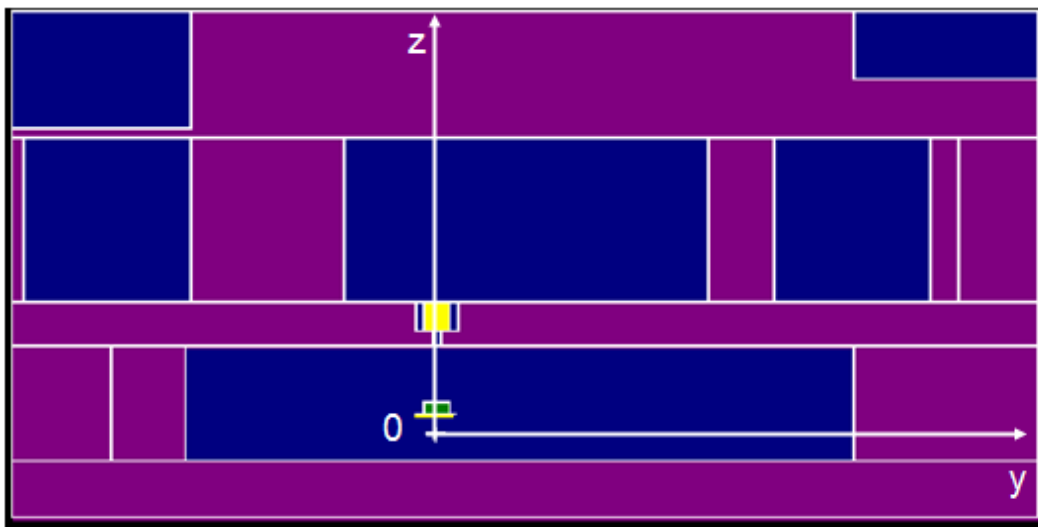
Cấu trúc bê tông che chắn phóng xạ được mô tả lại bằng MCNP theo đúng bản thiết kế của hãng cung cấp thiết bị CORAD SERVICE – Nga. Theo bản thiết kế và đang được tiến hành xây dựng thì bề dày bê tông tối thiểu 2,6 m để che chắn phóng xạ từ nguồn ra bên ngoài buồng chiếu. Các lớp bê tông được hãng thiết kế và cung cấp thiết bị tính toán dựa theo lý thuyết về sự truyền bức xạ trong vật chất. Các tính toán dựa trên nhiều phương pháp xấp xỉ nên không phản ánh đúng quá trình tương tác và truyền bức xạ trong vật chất. Vì vậy nhóm nghiên cứu của Trung tâm đã sử dụng chương trình MCNP mô phỏng và tính toán suất liều bên ngoài buồng chiếu xạ từ nguồn phát electron đơn năng 10 MeV.

Góc tọa độ tính trong MCNP được chọn tại vị trí thẳng đứng của chùm electron tại mặt sàn. Trục Ox đặt song song với chiều quét chùm tia trong scanning horn, trục Oy vuông góc với scanning horn, trục Oz thẳng đứng, hướng lên. Các mặt và các ô được định nghĩa theo tọa độ của hệ trục Oxyz này để mô tả các vật chất cấu thành buồng chiếu xạ.

Nguồn electron từ hai đầu phát ngược chiều nhau được mô tả bằng MCNP dưới dạng hai nguồn phát đẳng hướng. Cả hai đầu phát electron đều chiếu trực tiếp vào hàng hóa (thực phẩm đông lạnh mật độ  $0,4 \text{ g/cm}^3$ ) và sinh ra chùm bức xạ hãm. Cấu trúc bê tông che chắn và vị trí hai đầu phát mô tả bằng MCNP được minh họa trong hình 1.1 và hình 1.2.



**Hình 1.1:** Mặt cắt vuông góc trục  $Oy$  tại gốc tọa độ



**Hình 1.2:** Mặt cắt vuông góc trục  $Ox$  tại gốc tọa độ

## 2. Phương pháp tính suất liều photon tạo ra từ đầu phát electron

Chùm electron phát ra từ máy gia tốc đơn năng  $10 \text{ MeV}$  không thể xuyên qua bê dày bê tông (tối thiểu  $2,6 \text{ m}$ ) được thiết kế và xây dựng tại Trung tâm nghiên cứu và Triển khai Công nghệ Bức xạ. Do đó, suất liều bên ngoài buồng chiếu xạ không có sự đóng góp của chùm electron mà toàn bộ là suất liều photon. Chùm photon được tạo ra do các electron bị hãm lại trong hàng hóa chiếu xạ. Quá trình sinh bức xạ hãm rất phức tạp và các công thức toán học không thể tính toán một cách chi tiết mà phải sử dụng rất nhiều phương pháp xấp xỉ [4]. Trong đó phải kể đến việc giả sử chùm bức xạ hãm sinh ra là đơn năng thì các tính toán lý thuyết mới có thể thực hiện được. Trong thực tế, chùm bức xạ hãm sinh ra không phải là đơn năng mà năng lượng của chúng có dạng phổ, vì vậy các sự sai lệch giữa tính toán và thực

té là không thể tránh khỏi. Để khắc phục những sai lệch này, nhóm tác giả đã sử dụng phương pháp mô phỏng Monte – Carlo thông qua chương trình MCNP.

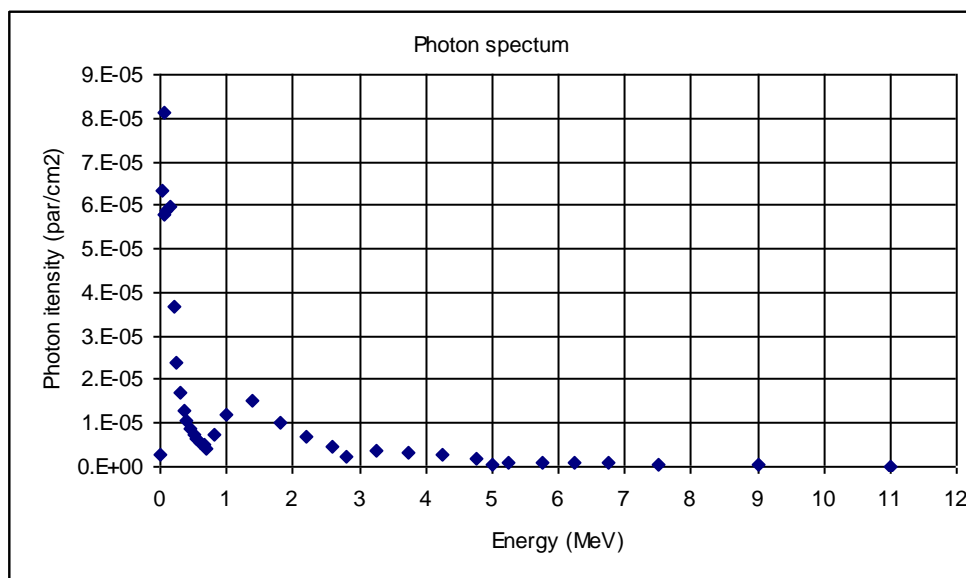
Chương trình MCNP mô tả toàn bộ quá trình tương tác của bức xạ với vật chất và cho phép tính toán thông lượng photon (hạt/cm<sup>2</sup>) tại một vị trí bên ngoài buồng chiếu xạ. Để chuyển từ thông lượng qua suất liều (μSv/h), kết quả phải được nhân thêm một hệ số chuyển đổi  $f_m$ . Việc tính toán hệ số nhân  $f_m$  khá phức tạp vì ta phải tính toán suất liều photon từ đầu phát electron. Các tính toán gồm các bước sau:

- Cường độ dòng trung bình của một đầu phát electron:  $0,75 \text{ mA} \approx 1 \text{mC/s} \approx 0,75/1,6 \cdot 10^{-16}$  (hạt/s)
- Giá trị suất liều được ghi nhận là lượng điện tích để lại trong một đơn vị khối lượng và sự mất năng lượng qua nhiều lần. Vì vậy, ứng với mỗi mức năng lượng có một hệ số nhân khác nhau nên ta cần chia các mức năng lượng của chùm photon tới thành các khoảng nhỏ và gán hệ số nhân tương ứng.

Để tính hiệu ứng skyshine gây ra liều cho dân cư xung quanh, nhóm tác giả đã phải sử dụng các phương pháp giảm sai số trong MCNP để có kết quả đáng tin cậy. Trong đó phải kể đến phương pháp chia vùng không gian và sử dụng nguồn mặt tương đương.

### III. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

#### 3.1. Phổ photon tạo ra trong hàng hóa chiếu xạ

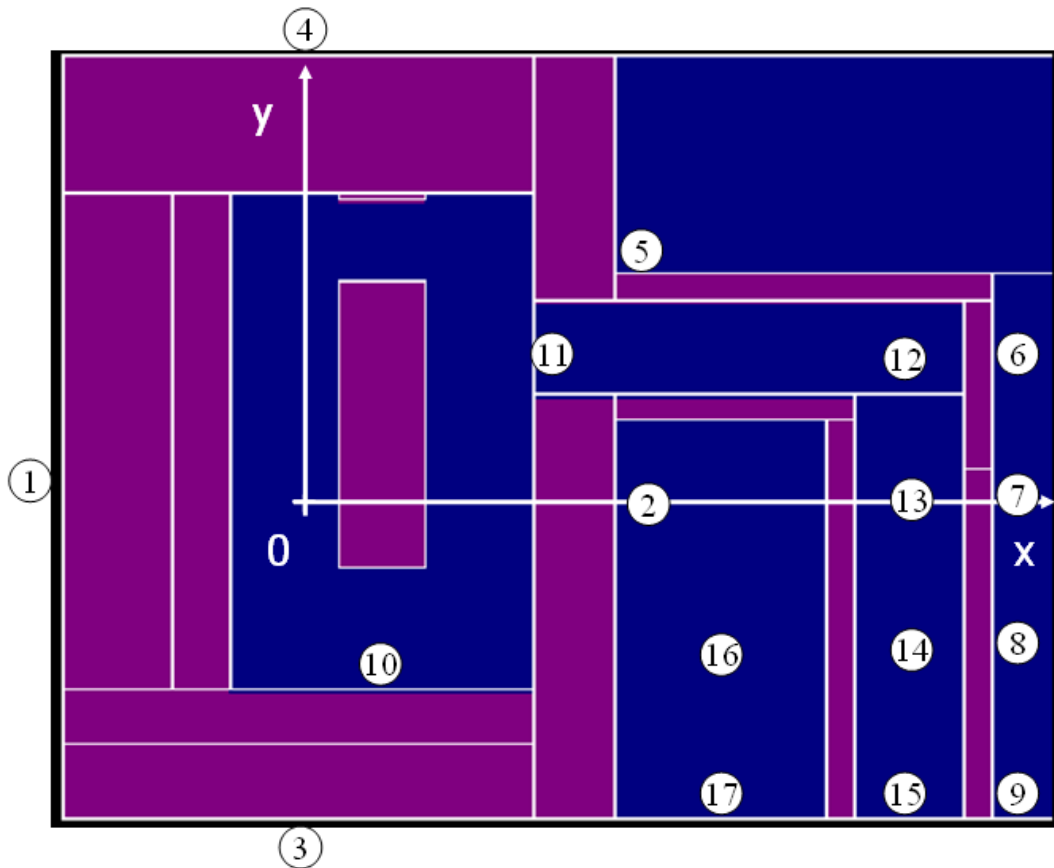


**Hình 3.1:** Phổ photon trong hàng chiếu xạ

Hình dạng phổ photon trong hàng hóa có dạng như trong hình 3.1 theo đó, xác suất tạo ra chùm photon năng lượng xấp xỉ năng lượng chùm electron (10 MeV) rất thấp. Chùm photon sinh ra có năng lượng chủ yếu từ 0,01 ÷ 2 MeV.

#### 3.2. Kết quả tính phân bố suất liều xung quanh buồng chiếu xạ

Suất liều được tính toán dọc theo đường vận chuyển hàng trên băng tải, các điểm trong phòng điều khiển và không gian bên ngoài buồng chiếu xạ của máy gia tốc chùm tia điện tử. Số liệu tính toán có ý nghĩa quan trọng trong việc đánh giá an toàn về phương diện suất liều khi thiết bị chiếu xạ này vận hành. Phân bố các điểm tính suất liều được minh họa trong hình 3.2. Kết quả tính toán tại các điểm tương ứng được cho trong bảng 3.1.



Hình 3.2: Phân bố các điểm tính suất liều tại độ cao 100 cm so với đất

Bảng 3.1: Kết quả tính suất liều xung quanh buồng chiếu xạ

| Điểm | Suất liều (mSv/h) | Sai số (%) | Điểm | Suất liều (mSv/h) | Sai số (%) |
|------|-------------------|------------|------|-------------------|------------|
| 0    | 1,5E+09           | 0,02       | 9    | 7,42E-08          | 0,05       |
| 1    | 1,86E-03          | 0,18       | 10   | 1,04E+08          | 0,02       |
| 2    | 8,06E-04          | 0,05       | 11   | 1,14E+05          | 0,05       |
| 3    | 7,05E-03          | 0,06       | 12   | 2,23E+03          | 0,09       |
| 4    | 1,12E-03          | 0,03       | 13   | 1,16E-05          | 0,04       |
| 5    | 1,35E-07          | 0,12       | 14   | 5,95E-06          | 0,04       |
| 6    | 1,76E-03          | 0,13       | 15   | 2,67E-06          | 0,05       |
| 7    | 1,01E-06          | 0,03       | 16   | 8,64E-04          | 0,08       |
| 8    | 1,60E-07          | 0,04       | 17   | 1,24E-04          | 0,15       |

Kết quả trong bảng 3.1 cho thấy suất liều trong phòng điều khiển và không gian bên ngoài thấp hơn rất nhiều (từ  $10^{-3} \div 10^{-6}$  lần) so với suất liều cho phép đối với nhân viên bức xạ ( $6 \mu\text{Sv/h}$ ) và đối với khách vãng lai ( $1 \mu\text{Sv/h}$ ) [1].

### 3.3. Kết quả tính suất liều dân cư

Suất liều gây ra cho dân cư xung quanh Trung tâm do hiệu ứng skyshine từ đầu phát electron thẳng đứng, hướng lên. Kết quả tính từ khoảng cách 30 m đến 100 m quanh Trung tâm được cho trong bảng 3.2.

Bảng 3.2: Kết quả tính skyshine

| $d_{0x}$<br>(m) | Suất liều<br>(mSv/h) | Sai số<br>(%) | $d_{0y}$<br>(m) | Suất liều<br>(mSv/h) | Sai số<br>(%) |
|-----------------|----------------------|---------------|-----------------|----------------------|---------------|
| -90             | 1,82E-04             | 0,02          | -90             | 2,30E-04             | 0,16          |
| -80             | 1,43E-04             | 0,01          | -80             | 1,43E-04             | 0,02          |
| -70             | 1,14E-04             | 0,01          | -70             | 1,16E-04             | 0,02          |
| -60             | 9,07E-05             | 0,02          | -60             | 9,08E-05             | 0,01          |
| -50             | 7,21E-05             | 0,01          | -50             | 7,34E-05             | 0,02          |
| -40             | 5,77E-05             | 0,01          | -40             | 5,78E-05             | 0,01          |
| -30             | 4,55E-05             | 0,01          | -30             | 4,56E-05             | 0,01          |
| 30              | 1,94E-04             | 0,06          | 30              | 1,69E-04             | 0,01          |
| 40              | 1,48E-04             | 0,01          | 40              | 1,35E-04             | 0,01          |
| 50              | 1,15E-04             | 0,01          | 50              | 1,12E-04             | 0,01          |
| 60              | 9,59E-05             | 0,02          | 60              | 9,30E-05             | 0,04          |
| 70              | 7,51E-05             | 0,01          | 70              | 7,16E-05             | 0,01          |
| 80              | 6,07E-05             | 0,01          | 80              | 5,76E-05             | 0,01          |
| 90              | 4,73E-05             | 0,01          | 90              | 4,64E-05             | 0,02          |

Theo kết quả trong bảng 3.1, suất liều tại các điểm dân cư thấp ngang mức phóng xạ. Điều này khẳng định rằng khi máy gia tốc chùm tia điện tử vận hành chiếu xạ tại Trung tâm Nghiên cứu và Triển khai Công nghệ Bức xạ không gây ảnh hưởng đến dân cư xung quanh.

#### IV. KẾT LUẬN

Với việc sử dụng chương trình MCNP để mô tả cấu trúc buồng chiếu xạ và tính toán suất liều, kết quả thu được trong báo cáo này phản ánh đúng thực tế trường liều bên ngoài máy gia tốc chiếu xạ công nghiệp. Theo đó, năng lượng chùm photon được tạo ra do chùm electron bị hãm trong hàng hóa có dạng phổ và tập trung tại mức năng lượng  $< 2$  MeV. Kết quả tính toán suất liều thu được thấp hơn  $10^{-3}$  lần so với suất liều giới hạn cho từng nhóm đối tượng làm việc bên ngoài buồng chiếu. Liều dân cư xung quanh Trung tâm do hiệu ứng skyshine gây ra cao nhất là  $10^{-4}$   $\mu$ Sv/h thấp hơn rất nhiều suất liều cho phép. Do đó, theo kết quả tính toán trong báo cáo này, máy gia tốc chùm tia điện tử 10 MeV tại Trung tâm Nghiên cứu và Triển khai Công nghệ Bức xạ đảm bảo an toàn về suất liều khi vận hành chiếu xạ.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Introduction to Health Physics, Pergamon International Library of Science, Technology, Engineering and Social Studies, Publisher: Robert Maxwell, M.C
- [2] Los Alamos National Laboratory, Monte Carlo N-Particle Code System, Los Alamos, New Mexico, 2000.
- [3] *Preliminary Calculation of Radiation Shielding for Electron Beam System Delivered Under Contract No. 01/12-08-2*, Corad service, 2009
- [4] *Radiation Protection Design Guidelines For 0.1 – 100 MeV Particle Accelerator Facilities*, NCRP Report No. 51, 1997.

## CALCULATION DISTRIBUTION DOSE RATE OUTSIDE IRRADIATION ROOM AND SKYSHINE EFFECT OF LINEAR ACCELERATOR ELECTRON BEAM UERL-10-15S2

NGUYEN ANH TUAN, CAO VAN CHUNG

*Research and Development centre for Radiation Technology*

**Abstract:** Necessary safety assessment about dose rate for linear accelerator electron beam UERL-10-15S2 with energy of 10 MeV has been operating, MCNP code was used for calculating distribution dose rate and making dose mapping outside irradiation room and populated area. Outside dose was collected by bremsstrahlung from inside irradiation room and population dose by skyshine effect from second scanning vertical. The result shown that outside dose rate was less than ( $10^{-3}$  times) preliminary estimate of design and manufacture accelerator technology, and population dose rate less than limit (1 mSv/year).

**Keywords:** *MCNP, skyshine, shielding radiation*