

УДК 004.942:539.1

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ GEANT4 ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РЕНТГЕНІВСЬКОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Озерський К.Л.

e-mail: kostiantyn.ozerskyi@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІВТ
м. Харків, Україна

The study is dedicated to analyzing the potential use of the GEANT4 software package for modeling in the field of X-ray radiation dosimetry. Key approaches to integrating GEANT4 with the Python language are examined to simplify the modeling process and data processing. An analysis of the main methods of interaction between GEANT4 and Python has been carried out, enabling work with essential GEANT4 classes and methods, such as geometry creation, physical process modeling, simulation execution, and result processing. It has been determined that the combination of GEANT4 with Python significantly expands the possibilities for scientific research, allowing for the effective utilization of GEANT4's powerful capabilities for physical modeling along with Python's convenient tools for data analysis and visualization.

Моделювання рентгенівського випромінювання відіграє ключову роль у таких сферах, як медицина, матеріалознавство, радіаційна безпека, наукові дослідження тощо. GEANT4 є програмним пакетом для симуляції взаємодії рентгенівського випромінювання з навколишнім середовищем та об'єктами, що в ньому розташовані, тоді як Python може використовуватися для підготовки вхідних даних, обробки результатів і їх візуалізації. У цьому дослідженні розглянуто методологію симуляції рентгенівського випромінювання в GEANT4 та його інтеграцію з Python.

Класичний підхід для симуляції рентгенівського випромінювання наступний:

- вибір фізичного списку: на цьому етапі симуляція рентгенівського випромінювання в GEANT4 здійснюється за допомогою фізичних списків, що містять моделі взаємодії фотонів із матеріалом;
- визначення геометрії середовища та створення геометрії моделі, через яку проходять рентгенівські промені;
- визначення джерела рентгенівського випромінювання, яке може бути точковим, плоским або об'ємним;
- симуляція взаємодії рентгенівських променів, де автоматично враховуються різні типи взаємодії фотонів із речовиною;
- запуск моделювання та визначення кількості подій для моделювання.

Точність моделювання рентгенівського випромінювання в GEANT4 залежить від багатьох факторів, включаючи правильність налаштування фізичних процесів, вибір моделей взаємодії частинок, повноту опису геометрії навколи-

шнього середовища, параметри симуляції та обчислювальні ресурси. Для досягнення високої точності необхідно: забезпечувати максимальну деталізацію фізичної моделі, збільшувати статистичну кількість модельних рішень та порівнювати отримані рішення з експериментальними даними.

GEANT4 враховує утворення вторинних частинок (наприклад, електронів, фотонів, нейтронів) під час взаємодії первинних частинок із речовиною. Для підвищення точності необхідно враховувати всі релевантні процеси утворення вторинних частинок, це є дуже актуальною задачею при використанні рентгенівського випромінювання при променевої діагностиці та терапії.

Для підвищення точності при виборі фізичної моделі різних типів частинок (електрони, фотони, адрони, іони), пропонується використовувати фізичний список QGSP_BERT_HP, який підходить для моделювання рентгенівського випромінювання.

Моделювання рентгенівського випромінювання в GEANT4 дає змогу детально досліджувати його взаємодію з матеріалами, що є ключовим для різних наукових і прикладних задач. Інтеграція з Python спрощує підготовку вхідних даних, аналіз отриманих результатів і їх візуалізацію, що значно підвищує ефективність досліджень. Для забезпечення високої точності (рис. 1) необхідно ретельно налаштовувати фізичні моделі, геометрію та параметри симуляції.

```
G4PhysListFactory factory;  
G4VModularPhysicsList* physicsList = factory.GetReferencePhysList("QGSP_BERT_HP");  
physicsList->SetVerboseLevel(1);  
runManager->SetUserInitialization(physicsList);
```

Рисунок 1 – Підвищення точності в GEANT4 з використанням Python

Список використаних джерел:

1. Martínez Rovira I. Monte Carlo and experimental small-field dosimetry applied to spatially fractionated synchrotron radiotherapy techniques. 2012. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1120179712000381> (дата звернення: 12.02.2025).
2. Томашевський В.Н. Імітаційне моделювання систем та процесів. К.: ІСДО, "ВІПОЛ", 1994. 124 с.
3. Agostinelli S. et al. Geant4: A simulation toolkit. *Nucl. Instrum. Meth. A.* 2003. Vol. 506, No. 3. P. 250–303.
4. GEANT4 User's Guide for Application Developers. Версія 10.7. CERN, 2021. URL: <https://geant4-userdoc.web.cern.ch/UsersGuides/ForApplicationDeveloper/html/> (дата звернення: 12.02.2025).
5. Pia M.G. The Geant4 Object Oriented Simulation Toolkit. //Proc. of the EPS-HEP99 Conference, Tampere, 1999. URL: <https://cds.cern.ch/record/687430> (дата звернення: 12.02.2025).