

УДК 004.942:539.1

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ GEANT4 ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ У ГАЛУЗІ ДОЗИМЕТРІЇ ГАМА ВИПРОМІНЮВАНЬ

Пустовий А.С.

e-mail: andrii.pustovyi@nure.ua

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

The work is devoted to evaluating the application of the GEANT4 software package for modeling in the field of dosimetry of gamma radiation. The main approaches to integrating GEANT4 with Python for convenient modeling and data analysis are considered. An analysis of the primary methods of integrating GEANT4 with Python has been conducted, providing access to the main classes and methods of GEANT4, such as geometry creation, definition of physical processes, simulation execution, and data collection. It has been established that the integration of GEANT4 with Python opens up vast opportunities for scientific research, allowing the combination of GEANT4's powerful capabilities for modeling physical processes with Python's convenience for data analysis and visualization.

Моделювання розповсюдження гама-випромінювання у просторі та взаємодія його з навколишнім середовищем є важливим завданням у таких галузях, як ядерна фізика, медицина (радіаційна терапія та променева діагностика), радіаційна безпека та інші галузі. GEANT4 є потужним інструментом для моделювання взаємодії гама-променів з навколишнім простором та різноманітними об'єктами, а Python може бути використаний для підготовки вхідних даних, аналізу результатів та візуалізації.

Основні етапи моделювання гама-випромінювання у GEANT4:

- вибір фізичного списку, де для моделювання гама-випромінювання у GEANT4 використовуються фізичні списки, які включають моделі взаємодії фотонів із речовиною;
- створення геометрії й визначення геометрії середовища, через яке проходять гама-промені (наприклад, детектори, захисні бар'єри, біологічні тканини);
- визначення джерела гама-випромінювання, яке може бути точковим, плоским або об'ємним;
- моделювання взаємодії гама-променів: на цьому етапі GEANT4 автоматично враховує різні типи взаємодії фотонів із речовиною (фотоефект, комптон-ефект, утворення пар), а також проводиться підвищення точності за рахунок використання детальних моделей, таких як Livermore або Penelope;
- збір даних тобто реєстрація гама-променів (вимірювання енергії, дози опромінення);
- запуск моделювання (останній етап), який визначає кількість подій для моделювання.

Інтеграція GEANT4 з Python забезпечує підготовку вхідних даних, аналіз результатів та візуалізації. Алгоритм використання Python для аналізу даних, отриманих у GEANT4 наступний:

- збереження даних;
- аналіз даних у Python, тобто використання бібліотек, таких як pandas, numpy та matplotlib, для обробки та візуалізації даних;
- візуалізація траєкторій гама-променів за допомогою бібліотеки matplotlib для візуалізації траєкторій;
- розрахунок дози опромінення.

На рис. 1 наведено лістинг використання бібліотеки matplotlib для візуалізації траєкторій.

```
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

# Припустимо, що дані про траєкторії збережені у файлі
trajectories = pd.read_csv("gamma_trajectories.csv")

# Візуалізація траєкторій
fig = plt.figure()
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
ax.plot(trajectories["x"], trajectories["y"], trajectories["z"])
ax.set_xlabel("X (см)")
ax.set_ylabel("Y (см)")
ax.set_zlabel("Z (см)")
plt.title("Траєкторії гама-променів")
plt.show()
```

Рисунок 1 – Використання бібліотеки matplotlib для візуалізації траєкторій

Моделювання гама-випромінювання у GEANT4 дозволяє детально досліджувати його взаємодію з речовиною, що є важливим для багатьох наукових та прикладних задач. Інтеграція з Python дозволяє автоматизувати підготовку вхідних даних, аналіз результатів та візуалізацію, що значно підвищує ефективність роботи. Для досягнення високої точності необхідно ретельно налаштовувати фізичні моделі, геометрію та параметри симуляції.

Список використаних джерел:

1. Agostinelli S. et al. Geant4: A simulation toolkit. *Nucl. Instrum. Meth. A*. 2003. Vol. 506, No. 3. P. 250–303.
2. Basaglia T. et. al. Geant4: A Game Changer in High Energy Physics and Related Applicative Fields. 2024. URL: https://arxiv.org/abs/2405.12159?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 15.02.2025).
3. GEANT4 User's Guide for Application Developers. Версія 10.7. CERN, 2021. URL: <https://geant4-userdoc.web.cern.ch/UsersGuides/ForApplicationDeveloper/html/> (дата звернення: 15.02.2025).
4. 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: 15.02.2025).