

PHẦN MỀM MÔ PHỎNG HIỆN TƯỢNG PHÂN RÃ HẠT NHÂN PHỤC VỤ GIẢNG DẠY

Nguyễn Ngọc Anh

Viện Nghiên cứu tiên tiến Phenikaa, Đại học Phenikaa

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 17/10/2025

Ngày phân biện: 19/10/2025

Ngày duyệt đăng: 02/12/2025

*Tác giả chính:

anh.nguyennhoc1@phenikaa-uni.edu.vn

DOI:

<https://doi.org/10.70879/uihiU>

NgJb

Title:

Educational Simulation Tool for Nuclear Decay Processes

Từ khóa:

Phóng xạ hạt nhân, công cụ giảng dạy, vật lý hạt nhân, mô phỏng bằng python, mô phỏng trong dạy học vật lý.

Keywords:

Nuclear decay, educational tool, nuclear physics, python programming, simulation in teaching physics.

TÓM TẮT: Nghiên cứu này giới thiệu một phần mềm mô phỏng phân rã hạt nhân phục vụ giảng dạy, được phát triển bằng Python với các thư viện đơn giản như Tkinter, Matplotlib và NumPy. Phần mềm cho phép nhập tham số, điều khiển mô phỏng và hiển thị trực quan quá trình phân rã, so sánh kết quả mô phỏng với lý thuyết và phân tích sai khác. Công cụ này giúp sinh viên hiểu rõ bản chất xác suất của hiện tượng, hiện tượng thăng giáng số liệu và hiệu ứng tiệm cận lý thuyết khi số lượng hạt lớn. Phần mềm có cấu trúc dễ bảo trì, hiệu quả trong giảng dạy và sẽ được cung cấp miễn phí cho độc giả quan tâm khi liên hệ với tác giả. Tuy nhiên, bài báo này chỉ tập trung vào thiết kế và thực thi chương trình, các đánh giá hiệu quả trong giảng dạy thực tế sẽ được thực hiện trong tương lai.

ABSTRACT: This study presents the development of a nuclear decay simulation tool designed for educational purposes. The software is implemented in Python using simple and widely available libraries such as Tkinter, Matplotlib, and NumPy. It provides an interactive interface that allows users to input parameters, control the simulation, and visualize the decay process in real time. The program displays the simulated decay curve alongside the theoretical prediction and highlights discrepancies between them, helping students understand the probabilistic nature of radioactive decay, statistical fluctuations in measurements, and the convergence toward theoretical behavior with large sample sizes. The tool is easy to maintain, effective for teaching nuclear physics concepts, and offers potential for future enhancements. The software will be provided free of charge to interested readers upon direct request to the author. Nevertheless, this paper focuses on the design and implementation of the tool; the evaluation in teaching practice will be conducted in future.

1. Giới thiệu vấn đề nghiên cứu

Phân rã phóng xạ là một hiện tượng nền tảng trong vật lý hạt nhân, đóng vai trò quan trọng trong việc giải thích các quá trình tự nhiên cũng như cơ chế làm việc của nhiều ứng dụng thực tiễn, như định tuổi bằng đồng vị phóng xạ, y học hạt nhân và năng lượng nguyên tử [1, 2]. Tuy nhiên, trong môi trường giảng dạy truyền thống, sinh viên thường tiếp cận chủ đề này chủ yếu thông qua các phương trình toán học, đặc biệt là hàm mũ mô tả sự suy giảm số lượng hạt nhân theo thời gian. Việc chỉ dựa vào lý thuyết khiến cho bản chất ngẫu nhiên của quá trình phân rã bị che khuất,

có thể là nguyên nhân làm giảm khả năng hình dung và liên hệ thực tế của người học.

Thực tế giảng dạy (dựa trên giờ giảng thực tế và các giờ dự giảng của tác giả) cho thấy, sinh viên gặp nhiều khó khăn khi phải kết nối giữa các khái niệm toán học và hiện tượng vật lý thực tế. Các bài giảng thường tập trung vào việc giải bài toán tính số hạt còn lại, xác định chu kỳ bán rã, mà chưa khai thác sâu yếu tố xác suất và sự biến thiên thực tế của từng hạt nhân. Hơn nữa, việc tổ chức các thí nghiệm phân rã phóng xạ thực tế trong môi trường học đường gặp nhiều hạn chế liên quan đến tính an toàn và chi phí khấu hao lớn của các nguồn phóng xạ. Điều này dẫn đến việc sinh

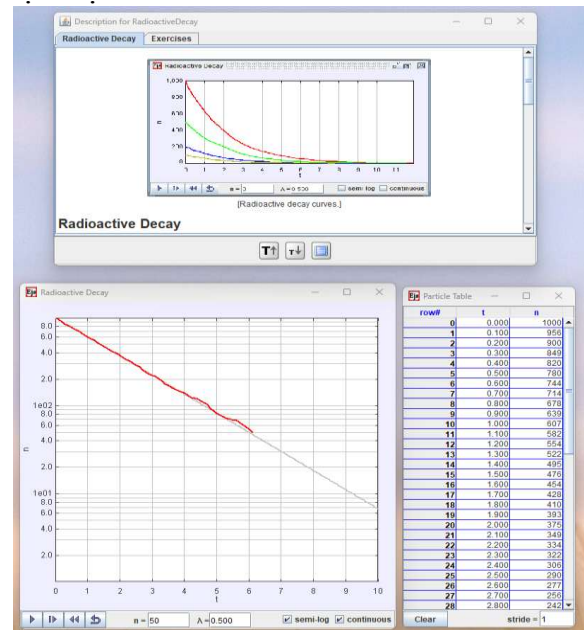
viên ít có cơ hội quan sát trực tiếp hoặc thực hành mô phỏng quá trình phân rã, từ đó làm giảm hiệu quả tiếp thu kiến thức.

Trong bối cảnh đó, việc phát triển các công cụ mô phỏng trực quan, tương tác trở nên hết sức cần thiết. Công cụ mô phỏng không chỉ giúp sinh viên chủ động quan sát, thao tác và kiểm chứng lý thuyết mà còn nâng cao khả năng tư duy, phân tích và sáng tạo [3]. Thông qua mô phỏng, sinh viên được kỳ vọng có thể nhận thấy sự khác biệt giữa đường cong lý thuyết và kết quả thực nghiệm, hiểu rõ ý nghĩa của chu kỳ bán rã, xác suất phân rã và các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình này. Đồng thời, công cụ hứa hẹn sẽ khuyến khích sinh viên tự học, tự nghiên cứu bằng cách cho phép thay đổi tham số, lưu dữ liệu và phân tích kết quả, từ đó phát triển kỹ năng nghiên cứu khoa học.

Việc ứng dụng công nghệ thông tin, lập trình và mô phỏng vào giảng dạy vật lý là xu hướng tất yếu của giáo dục hiện đại. Báo cáo của Hiệp hội giáo viên Vật lý Mỹ năm 2016 đã chỉ ra nhiều ưu điểm khi ứng dụng mô phỏng vào giảng dạy mà các phương pháp giảng dạy truyền thống không thể thực hiện được [4]. Ở Việt Nam, Thủ tướng chính phủ cũng đã phê duyệt Đề án “Tăng cường ứng dụng công nghệ thông tin và chuyển đổi số trong giáo dục và đào tạo giai đoạn 2022-2025, định hướng đến năm 2030”, trong đó nhấn mạnh vai trò ứng dụng công nghệ thông tin trong giảng dạy [5]. Các phần mềm mô phỏng giúp bài học trở nên sinh động, hấp dẫn và hiệu quả hơn, đồng thời tạo điều kiện cho sinh viên tiếp cận kiến thức một cách trực quan, thực tế và chủ động. Chính vì vậy, nghiên cứu và phát triển công cụ mô phỏng phân rã hạt nhân phục vụ giảng dạy là một hướng đi cần thiết, góp phần nâng cao chất lượng đào tạo và phát triển năng lực nghiên cứu khoa học cho sinh viên.

Để minh họa cho quá trình phân rã phóng xạ của hạt nhân phục vụ giáo dục, một số chương trình mô phỏng đã được thực hiện [6, 7, 8]. Tuy nhiên, các chương trình này đều có chung hạn chế về tính minh họa, nặng về biểu diễn toán học. Ví dụ giao diện của chương trình RadioactiveDecay [8] được đưa ra trong Hình 1 cho thấy sự hạn chế trong khả năng minh họa của nó. Ngoài ra các chương trình này cũng đều có giao diện bằng tiếng anh, sử

dụng các gói phần mềm thương mại phải trả phí [6] hoặc đã cũ không được cập nhật và cải tiến [7]. Ngoài ra các chương trình này cũng chỉ có giao diện bằng tiếng Anh. Đây là các trở ngại khi áp dụng vào giảng dạy, đặc biệt tại Việt Nam.



Hình 1. Giao diện của chương trình RadioactiveDecay [8] (ảnh chụp màn hình).

Mục tiêu chính của nghiên cứu này là phát triển một công cụ mô phỏng quá trình phân rã hạt nhân có tính tương tác cao, dễ sử dụng và phù hợp với môi trường giảng dạy đại học, cao đẳng. Công cụ hướng tới việc hỗ trợ sinh viên và giảng viên trong việc trực quan hóa quá trình phân rã phóng xạ, giúp người học hiểu sâu sắc hơn về bản chất xác suất của hiện tượng này, cũng như ý nghĩa của các đại lượng vật lý như chu kỳ bán rã, hàm phân rã mũ. Ngoài ra, phần mềm còn cho phép lưu trữ dữ liệu mô phỏng để phục vụ phân tích, thực hành và nghiên cứu khoa học.

Cụ thể, nghiên cứu đặt ra các mục tiêu sau:

- Xây dựng một phần mềm mô phỏng có giao diện thân thiện, cho phép người dùng dễ dàng nhập các tham số như số hạt ban đầu, chu kỳ bán rã, thời gian mô phỏng, bước thời gian.

- Tích hợp các chức năng điều khiển như bắt đầu, dừng/tạm dừng, tiếp tục mô phỏng, thay đổi seed ngẫu nhiên, lưu dữ liệu kết quả.

- Hiện thị trực quan quá trình phân rã từng hạt nhân, so sánh kết quả mô phỏng với lý thuyết, và thể hiện sai khác giữa hai giá trị này.

- Hỗ trợ xuất dữ liệu ra file CSV để sinh viên có thể tự phân tích, vẽ đồ thị hoặc kiểm chứng lý thuyết ngoài lớp học.

- Đảm bảo phần mềm dễ cài đặt, sử dụng và có thể mở rộng cho các bài toán vật lý khác trong tương lai.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1. Cơ sở lý thuyết

Phân rã phóng xạ là hiện tượng một hạt nhân không bền tự động biến đổi thành một hạt nhân khác, thường kèm theo sự phát bức xạ như alpha, beta, hoặc gamma. Đây là một quá trình ngẫu nhiên nhưng tuân theo quy luật xác suất, được mô tả bằng định luật phân rã phóng xạ. Số lượng hạt nhân chưa phân rã tại thời điểm t được xác định bởi biểu thức

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

trong đó N_0 và λ lần lượt là số hạt nhân phóng xạ tại thời điểm ban đầu và hằng số phân rã phóng xạ. Hằng số phân rã phóng xạ đặc trưng cho tốc độ phân rã phóng xạ của chất phóng xạ và có liên hệ với thời gian bán rã, tức là khoảng thời gian để một nửa số hạt ban đầu phân rã, bởi biểu thức

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{\frac{1}{2}}}. \quad (2)$$

Ở đây, cần lưu ý rằng, quá trình phân rã phóng xạ là một quá trình ngẫu nhiên. Hay nói cách khác một hạt nhân phóng xạ có thể tồn tại rất lâu so với thời gian bán rã của nó. Tất nhiên, xác suất để xảy ra điều này là rất nhỏ, nhưng không có nghĩa nó không thể xảy ra.

Xét một hạt nhân phóng xạ, ta không thể dự đoán chính xác khi nào hạt nhân đó sẽ phân rã, nhưng ta có thể xác định xác suất hạt đó sẽ phân rã trong khoảng thời gian Δt

$$p = 1 - e^{-\lambda \Delta t}. \quad (3)$$

Sử dụng mô phỏng Monte Carlo [9], ta có thể giả lập lại quá trình phân rã của hạt nhân trong thực nghiệm. Cụ thể, ta sẽ gán mỗi hạt nhân phóng xạ tại một thời điểm xác định với một giá trị r được sinh ngẫu nhiên trong khoảng từ 0 đến 1. Nếu $r < p$, hạt được coi như là đã phân rã.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Để hiện thực hóa mục tiêu đề ra, chúng tôi đã xây dựng một phần mềm dựa trên ngôn ngữ lập trình Python [10]. Các thư viện chính

được sử dụng bao gồm Tkinter [11] (thiết kế giao diện đồ họa), Matplotlib [12] (biểu diễn đồ thị và hoạt hình), và Numpy [13] (thực thi các tính toán mô phỏng). Kiến trúc tổng thể của chương trình có thể được chia thành ba mô-đun như mô tả trong Hình 2. Mô-đun 1 được thiết kế để cho phép người dùng nhập các tham số mô phỏng, bao gồm:

- Số hạt nhân phóng xạ tại thời điểm ban đầu,

- Chu kỳ bán rã của hạt nhân phóng xạ (theo đơn vị s),

- Thời gian mô phỏng (theo đơn vị s),

- Bước thời gian mô phỏng.

Mô-đun 2 cung cấp các nút chức năng điều khiển, bao gồm:

- Bắt đầu mô phỏng,

- Dừng/Tiếp tục mô phỏng,

- Thiết lập tùy chọn seed ngẫu nhiên hoặc cố định,

- Lưu kết quả ra file CSV.

- Tùy chọn hiển thị đường cong phân rã ở đồ thị theo thang log hoặc thang tuyến tính.

- Tùy chọn ẩn hiện các hạt nhân đã phân rã. Tùy chọn này cần thiết để xem số hạt nhân phóng xạ còn lại trong trường hợp mô phỏng nhiều hạt.

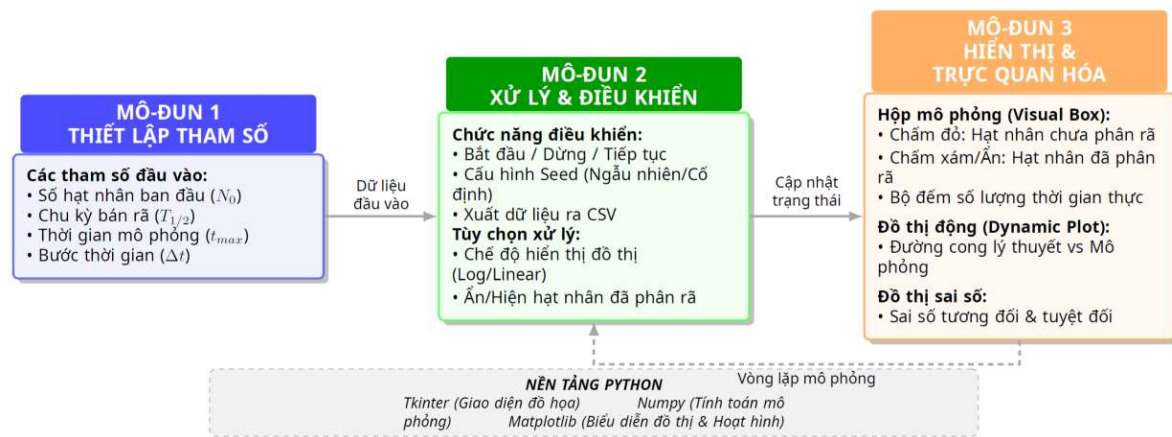
Mô-đun 3 thực hiện các chức năng hiển thị với ba nhóm minh họa chính:

- Hộp giả định chứa hạt nhân phóng xạ (thể hiện bằng các chấm màu đỏ). Khi các hạt nhân phân rã phóng xạ, chúng chuyển thành các chấm màu xám hoặc bị ẩn đi tùy theo lựa chọn của người sử dụng. Số lượng hạt nhân phóng xạ còn trong hộp thể hiện ở phía trên góc trái.

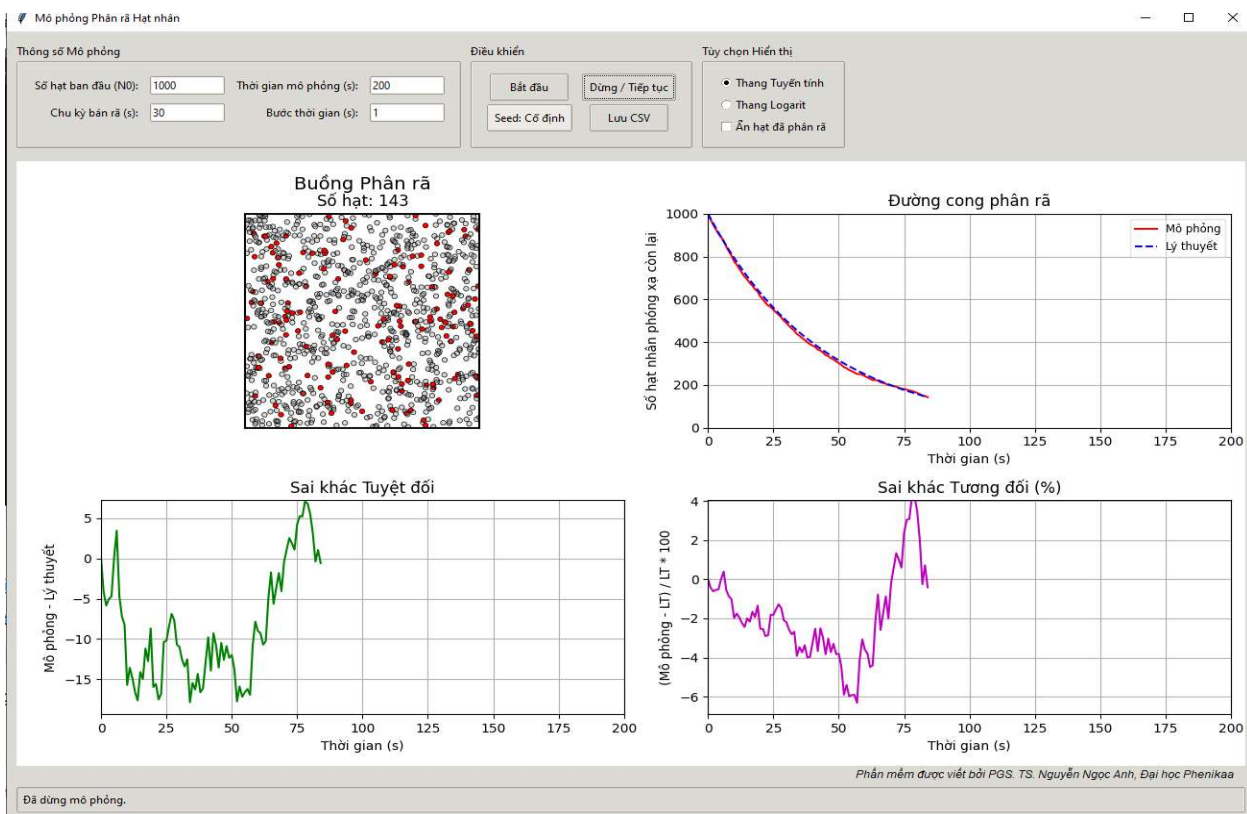
- Đồ thị mô tả đường cong phân rã, tức số hạt nhân phóng xạ còn trong hộp theo thời gian. Đồ thị này sẽ biểu diễn đồng thời kết quả tính toán dựa trên lý thuyết (công thức (1)) và dựa trên mô phỏng (công thức 3). Đồ thị được cho ở dạng động, với các khung hình được cập nhật theo bước thời gian mô phỏng.

- Đồ thị mô tả sự sai khác (bao gồm sai khác tương đối và sai khác tuyệt đối) giữa tính toán mô phỏng (giả định thực nghiệm) với tính toán lý thuyết.

Thử nghiệm cho thấy chương trình có thể hoạt động tốt trên một số máy tính cá nhân có cấu hình cơ bản (chip intel core i3 thế hệ 4 + 4 Gb RAM).



Hình 2. Sơ đồ khối của chương trình phân rã phóng xạ.



Hình 3. Giao diện chương trình mô phỏng phân rã phóng xạ.

3. Kết quả và thảo luận

Hình 3 là giao diện của chương trình mô phỏng phân rã phóng xạ hạt nhân đã được phát triển. Giao diện của phần mềm được thiết kế đơn giản, trực quan, đáp ứng tốt các yêu cầu đề ra cho một công cụ giảng dạy. Các thành phần nhập liệu (số hạt ban đầu, chu kỳ bán rã, thời gian mô phỏng, bước thời gian) được bố trí rõ ràng, dễ thao tác. Các nút điều

khiển như Bắt đầu, Dừng/Tiếp tục, Lưu dữ liệu, và tùy chọn Seed cố định/ngẫu nhiên hoạt động ổn định, đảm bảo tính tương tác trong quá trình mô phỏng. Tính năng hiển thị đồng thời ba biểu đồ - trạng thái phân bố hạt, đường cong phân rã (mô phỏng và lý thuyết), và sai khác - giúp người học quan sát trực quan và phân tích kết quả một cách toàn diện. Việc cho phép chuyển đổi thang hiển thị giữa

tuyên tính và log cũng là một điểm mạnh, hỗ trợ minh họa rõ hơn quy luật phân rã theo hàm mũ. Phần mềm không chỉ đáp ứng yêu cầu mô phỏng mà còn tạo ra môi trường học tập sinh động, giúp người học dễ dàng hình dung nhiều vấn đề vốn phức tạp và dễ hiểu lầm trong giảng dạy truyền thống, ví dụ như:

Hiểu bản chất xác suất của sự phát phóng xạ: người học có thể quan sát thấy sự khác biệt giữa tính toán lý thuyết (mô tả bằng hàm e mũ) và kết quả mô phỏng (giả lập thực nghiệm), từ đó nhận thức được rằng phân rã phóng xạ là hiện tượng ngẫu nhiên, không thể dự đoán được cho từng hạt, nhưng khi có nhiều hạt thì quá trình tuân theo quy luật thống kê. Hình ảnh minh họa sự tồn tại của hạt nhân phóng xạ trong một hộp kín cũng góp phần làm rõ nội dung kể trên. Tùy chọn seed ngẫu nhiên cho phép làm rõ quá trình này hơn. Các lần mô phỏng khác nhau sẽ cho các kết quả khác nhau, cho thấy bản chất xác suất của quá trình phóng xạ hạt nhân.

Thăng giáng trong ghi đo phóng xạ: từ biểu đồ sai khác giữa thực nghiệm và lý thuyết thể hiện được quy luật thăng giáng trong ghi đo bức xạ, vốn được mô tả bằng phân bố Poisson. Đây là điểm quan trọng để sinh viên hiểu rằng, việc ghi đo dữ liệu với bức xạ luôn tồn tại một sự bất định, không liên quan đến các thiết bị ghi đo, mà gắn chặt với bản chất của quá trình phân rã hạt nhân. Sự thăng giáng là ngẫu nhiên về cả hai phía của giá trị lý thuyết được thể hiện rõ hơn khi ta mô phỏng nhiều lần với tùy chọn Seed ngẫu nhiên.

Lý thuyết theo quy luật hàm e mũ là phù hợp khi số hạt nhân phóng xạ lớn: bằng cách thực hiện các tính toán với số hạt phóng xạ ban đầu từ nhỏ tới lớn, người học sẽ được quan sát hiện tượng thăng giáng mạnh khi số hạt nhỏ, và thăng giáng nhỏ dần khi số hạt nhân phóng xạ ban đầu tăng lên. Ngay trong một quá trình phân rã phóng xạ, theo thời gian số hạt nhân phóng xạ giảm dần, điều này cũng thể hiện rõ quy luật.

Tính năng lưu dữ liệu ra tập tin csv cũng cho phép người dạy và người học có thể trích xuất nhiều dữ liệu mô phỏng trong các trường hợp khác nhau để so sánh, quan sát hiệu ứng,

và thực hiện các xử lý chuyên sâu với các phần mềm xử lý số liệu bên ngoài. Chương trình này phù hợp để sử dụng giảng dạy các môn học như Vật lý hạt nhân, An toàn phóng xạ, và Tương tác bức xạ với vật chất, hiện đang được triển khai tại nhiều trường Đại học/Viện nghiên cứu trong cả nước, như Đại học Khoa học tự nhiên Hà Nội, Đại học Khoa học tự nhiên Thành phố Hồ Chí Minh, Đại học Phenikaa, Đại học Bách Khoa Hà Nội, và Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam.

Nhìn chung, phần mềm hiện tại có thể đáp ứng tốt mục tiêu giảng dạy cơ bản, tuy nhiên vẫn tồn tại một số hạn chế cần được xem xét trong quá trình cải tiến. Hiệu năng của chương trình giảm đáng kể khi số lượng hạt mô phỏng tăng lên, nguyên nhân chủ yếu do giới hạn của các thư viện đồ họa như Tkinter và Matplotlib trong việc xử lý số lượng lớn đối tượng động. Bên cạnh đó, toàn bộ quá trình tính toán và hiển thị được thực hiện trên một luồng duy nhất, dẫn đến nguy cơ treo giao diện khi mô phỏng kéo dài. Ngoài ra, phần mềm chưa tích hợp các công cụ phân tích thống kê nâng cao, chẳng hạn như kiểm định phân bố Poisson hoặc tính toán độ lệch chuẩn.

Trong tương lai, phần mềm có thể được phát triển theo nhiều hướng nhằm nâng cao hiệu quả và tính ứng dụng. Một hướng quan trọng là tối ưu hóa hiệu năng bằng cách áp dụng các thư viện đồ họa hiện đại hoặc triển khai kỹ thuật đa luồng để cải thiện tốc độ xử lý và khả năng phản hồi của giao diện. Việc tích hợp các công cụ phân tích thống kê trực tiếp trong phần mềm sẽ người học và người dạy thực hiện các đánh giá định lượng ngay trong quá trình mô phỏng, từ đó tăng giá trị học tập và nghiên cứu. Ngoài ra, phần mềm có thể được mở rộng để mô phỏng các hiện tượng phóng xạ phức tạp hơn, chẳng hạn như chuỗi phân rã hoặc các dạng phân rã khác nhau (alpha, beta, gamma), nhằm đáp ứng nhu cầu giảng dạy ở mức độ nâng cao. Cuối cùng, việc triển khai phần mềm trên nền tảng web hoặc tích hợp vào các hệ thống học tập trực tuyến sẽ mở rộng khả năng tiếp cận, tạo điều kiện cho việc sử dụng trong môi trường giáo dục hiện đại và học tập từ xa.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã phát triển một chương trình mô phỏng quá trình phân rã hạt nhân phục vụ giảng dạy, sử dụng ngôn ngữ Python cùng các thư viện phổ biến như Tkinter, Matplotlib và NumPy. Phần mềm có giao diện trực quan, dễ sử dụng, đáp ứng tốt yêu cầu minh họa bản chất xác suất của hiện tượng phân rã và hỗ trợ phân tích sai khác giữa mô phỏng và lý thuyết. Với cấu trúc đơn giản, dễ bảo trì và khả năng mở rộng, công cụ này có thể được áp dụng hiệu quả trong giảng dạy vật lý hạt nhân, đồng thời mở ra tiềm năng phát triển cho các tính năng nâng cao trong tương lai. Phần mềm sẽ được cung cấp miễn phí cho độc giả quan tâm khi liên hệ trực tiếp với tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Kratz, J.-V., & Lieser, K. H. (2013). Nuclear and Radiochemistry: Fundamentals and Applications. Wiley-VCH.
2. Knoll, G. F. (2010). Radiation Detection and Measurement (4th ed.). Wiley Publisher.
3. Finkelstein, N., Adams, W., Keller, C., Perkins, K. and Wieman, C. (2006). High-tech tools for teaching physics: The physics education technology project. Journal of Online Learning and Teaching, 2(3), pp.110-121.
4. AAPT Recommendations for Computational Physics in the Undergraduate Physics Curriculum (2016), https://www.aapt.org/resources/upload/aapt_uctf_compphysreport_final_b.pdf
5. Quyết định số 131/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ: Phê duyệt Đề án "Tăng cường ứng dụng công nghệ thông tin và chuyển đổi số trong giáo dục và đào tạo giai đoạn 2022 - 2025, định hướng đến năm 2030"
6. Ihab F. Riad, Mohammed El Shazali Sir Elkatim, A radioactive decay simulation (For Education), arXiv:physics/0512274.
7. K. E. Jesse (2003). Computer Simulation of Radioactive Decay, The Physics Teacher, Volume 41 (9).
8. Christian, W. (2009). Radioactive Decay Model (Version 1.0) [Computer software]. Truy cập 5 tháng 12 năm 2025, từ <https://www.compadre.org/Repository/document/ServeFile.cfm?ID=8453&DocID=929>
9. Metropolis, N., & Ulam, S. (1949). The Monte Carlo Method. Journal of the American Statistical Association, 44(247), 335–341.
10. Python Programming, <https://www.python.org/> (version 3.13, truy cập ngày 5 tháng 12 năm 2025)
11. Thư viện đồ họa Tinker, truy cập ngày 5 tháng 12 năm 2025 từ <https://docs.python.org/3/library/tkinter.html>
12. J. D. Hunter (2007), Matplotlib: A 2D Graphics Environment, Computing in Science & Engineering, vol. 9, no. 3, pp. 90-95.
13. Harris, C.R., Millman, K.J., van der Walt, S.J. et al. (2020). Array programming with NumPy. Nature 585, 357–362.