PHÁT TRIỂN NĂNG LỰC MÔ HÌNH HÓA VẬT LÝ THÔNG QUA HOẠT ĐỘNG XÂY DỰNG VÀ KIỂM CHỨNG MÔ PHỎNG CÓ HỖ TRỢ BỞI AI TẠO SINH

Nguyễn Thị Đan
Công ty TNHH đào tạo giáo dục Thành Đạt, Hà Nội
Email: nguyendan.n21@gmail.com

Tóm tắt: *Nghiên cứu nhằm khảo sát thực trạng năng lực mô hình hóa Vật lý của học sinh và đề xuất mô hình phát triển năng lực này thông qua hoạt động xây dựng, kiểm chứng mô phỏng có hỗ trợ bởi AI tạo sinh. Đối tượng nghiên cứu gồm 80 học sinh lớp 11 tại một trường trung học phổ thông ở Hà Nội, với phạm vi khảo sát trong bài "Dao động điều hòa". Năng lực mô hình hóa được xem xét qua bốn thành tố: xây dựng mô hình, sử dụng mô hình, kiểm chứng mô hình và đánh giá–hiệu chỉnh mô hình. Kết quả cho thấy học sinh còn hạn chế rõ hơn ở các hoạt động kiểm chứng, đánh giá và điều chỉnh mô hình. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất mô hình gồm sáu bước: phân tích hiện tượng, xây dựng mô hình, tạo mô phỏng với AI, dự đoán, kiểm chứng, hiệu chỉnh và giải thích.*

Từ khóa: *năng lực mô hình hóa; dạy học Vật lý; AI tạo sinh; mô phỏng; kiểm chứng mô hình; học sinh trung học phổ thông.*

DEVELOPING PHYSICAL MODELING COMPETENCE THROUGH AI-ASSISTED GENERATIVE SIMULATION BUILDING AND VALIDATION ACTIVITIES

Abstract: *This study aims to examine the current level of students' physics modeling competence and to propose a framework for developing this competence through AI-assisted simulation construction and validation activities. The participants comprised 80 Grade 11 students from a high school in Hanoi, with the investigation focusing on the lesson "Simple Harmonic Motion." Physics modeling competence was examined through four components: model construction, model use, model validation, and model evaluation and refinement. The findings indicate that students showed greater limitations in validating, evaluating, and refining models. Based on these findings, the study proposes a six-step framework consisting of phenomenon analysis, model construction, AI-assisted simulation generation, prediction, validation, and refinement with explanation. The proposed framework emphasizes students' active engagement throughout the modeling process, while generative AI serves as a supporting tool for transforming physical models into simulations and facilitating iterative testing and refinement*

Keywords*: physics modeling competence; physics education; generative AI; simulation; model validation; high school students.*

Nhận bài: 24/07/2026 Phản biện: 19/08/2026 Duyệt đăng: 24/08/2026

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong thực tiễn dạy học Vật lý, mô hình và mô phỏng ngày càng được sử dụng để trực quan hóa hiện tượng, khảo sát sự phụ thuộc giữa các đại lượng và hỗ trợ học sinh hình thành kiến thức. Tuy nhiên, hoạt động học tập với mô hình thường tập trung vào việc khai thác hoặc sử dụng sản phẩm đã có, trong khi học sinh ít có cơ hội trực tiếp tham gia đầy đủ vào quá trình xây dựng, kiểm chứng và hiệu chỉnh mô hình. Stanley, Su và Lewandowski (2017) chỉ ra rằng mặc dù việc sử dụng mô hình khá phổ biến trong giáo dục Vật lý, quá trình người học tự xây dựng, kiểm tra và tinh chỉnh mô hình lại ít được thực hiện hơn. Thực trạng này đặt ra yêu cầu cần tổ chức các hoạt động học tập trong đó học sinh không chỉ quan sát mô phỏng mà thực sự tham gia vào quá trình mô hình hóa.

Sự phát triển của trí tuệ nhân tạo tạo sinh (Generative AI – GenAI) mở ra khả năng mới để giải quyết yêu cầu trên. AI tạo sinh có thể hỗ trợ học sinh chuyển các giả định, phương trình và mối quan hệ Vật lý thành mô phỏng có khả năng tương tác, từ đó tạo điều kiện cho việc dự đoán, thử nghiệm, đối chiếu và điều chỉnh mô hình. Đáng chú ý, Ben-Zion và cộng sự (2026) đã triển khai hoạt động cho người học tạo, tinh chỉnh và kiểm chứng các mô phỏng Vật lý bằng AI; kết quả bước đầu cho thấy cách tiếp cận này tạo cơ hội phát triển kỹ năng mô hình hóa. Tuy nhiên, bằng chứng hiện có chủ yếu được thu thập ở bậc đại học, trong khi việc tổ chức hoạt động tương tự cho học sinh phổ thông còn cần được nghiên cứu thêm. Vì vậy, nghiên cứu này tập trung xây dựng và kiểm chứng các hoạt động mô phỏng có hỗ trợ bởi AI tạo sinh nhằm phát triển năng lực mô hình hóa Vật lý của học sinh trung học phổ thông tại Hà Nội.

II. CƠ SỞ LÝ LUẬN

2.1. Mô hình hóa và năng lực mô hình hóa Vật lý

Mô hình hóa là một hoạt động nhận thức quan trọng trong khoa học, đặc biệt trong Vật lý, nơi nhiều hiện tượng được nghiên cứu thông qua quá trình lí tưởng hóa, lựa chọn các đại lượng

đặc trưng và thiết lập mối quan hệ giữa chúng. Theo Schwarz et al. (2009), mô hình hóa khoa học không chỉ là việc tạo ra một biểu diễn của hiện tượng mà còn bao gồm quá trình xây dựng, sử dụng, đánh giá và điều chỉnh mô hình nhằm giải thích hoặc dự đoán các hiện tượng khoa học. Trong dạy học Vật lý, quá trình này đòi hỏi học sinh xác định hệ Vật lý cần nghiên cứu, lựa chọn các yếu tố có ý nghĩa, hình thành giả định, thiết lập mối quan hệ giữa các đại lượng và biểu diễn chúng dưới dạng sơ đồ, biểu thức toán học hoặc mô hình tính toán. Sau đó, mô hình được sử dụng để đưa ra dự đoán và được kiểm tra thông qua dữ liệu, kết quả thực nghiệm hoặc các định luật Vật lý đã biết. Zwickl et al. (2015) nhấn mạnh rằng mô hình hóa trong phòng thí nghiệm Vật lý là một quá trình có tính lặp, trong đó việc so sánh giữa dự đoán của mô hình và kết quả đo đóng vai trò quan trọng trong việc đánh giá và cải tiến mô hình.

Từ góc độ giáo dục, năng lực mô hình hóa được hiểu là khả năng huy động kiến thức, kĩ năng và hiểu biết về mô hình để thực hiện hiệu quả các nhiệm vụ xây dựng, sử dụng, đánh giá và điều chỉnh mô hình. Tổng quan của Nicolaou và Constantinou (2014) cho thấy năng lực mô hình hóa là một cấu trúc đa chiều, không thể đánh giá chỉ thông qua việc học sinh tạo ra một mô hình cuối cùng, mà cần xem xét cả quá trình lựa chọn, sử dụng, so sánh, kiểm chứng và chỉnh sửa mô hình. Trong giáo dục Vật lý, Vonk et al. (2017) phân biệt hai nhóm kĩ năng quan trọng gồm model-making – xây dựng và sử dụng mô hình, và model-breaking – nhận biết những trường hợp mà mô hình không còn phù hợp với hành vi của hệ Vật lý.

Đối với học sinh trung học, Zhai (2022) cho thấy năng lực mô hình hóa trong cơ học Newton liên quan đến nhiều phương diện như hình thành khái niệm, huy động kiến thức khoa học và sử dụng các dạng biểu diễn phù hợp. Trên cơ sở các nghiên cứu trên và phù hợp với mục tiêu của bài báo, năng lực mô hình hóa Vật lý trong nghiên cứu này được cấu trúc thành bốn thành tố: (1) xây dựng mô hình, thể hiện ở khả năng xác định đối tượng, biến, giả định và các mối quan hệ Vật lý; (2) sử dụng mô hình để mô tả, giải thích và dự đoán; (3) kiểm chứng mô hình thông qua đối chiếu với lý thuyết, dữ liệu hoặc kết quả thực nghiệm; và (4) đánh giá, hiệu chỉnh mô hình, thể hiện ở khả năng phát hiện sai lệch, nhận diện giới hạn và điều chỉnh mô hình khi cần thiết.

2.2. Mô phỏng và AI tạo sinh trong dạy học Vật lý

Mô phỏng máy tính là một phương tiện quan trọng trong dạy học Vật lý, cho phép biểu diễn trực quan các hiện tượng, quá trình và mối quan hệ giữa các đại lượng mà trong điều kiện lớp học có thể khó quan sát hoặc khó tổ chức bằng thí nghiệm thực. Thông qua việc thay đổi tham số và quan sát sự biến đổi của hệ, học sinh có thể liên hệ giữa biểu diễn toán học với hành vi của hiện tượng, từ đó hỗ trợ hình thành hiểu biết khái niệm. Tổng quan của Banda và Nzabahimana (2021) cho thấy việc tích hợp các mô phỏng PhET nhìn chung có tác động tích cực đến hiểu biết khái niệm Vật lý của người học, đặc biệt khi mô phỏng được kết hợp với các hoạt động học tập tích cực. Bên cạnh đó, việc đưa các công cụ tính toán vào dạy học còn tạo điều kiện để người học tham gia sâu hơn vào quá trình xây dựng và sử dụng mô hình Vật lý (Phillips et al., 2023).

Tuy nhiên, phần lớn các mô phỏng giáo dục truyền thống được xây dựng sẵn, trong đó phương trình, thuật toán và cấu trúc mô hình đã được xác định trước. Học sinh chủ yếu thao tác với các biến đầu vào và quan sát kết quả, nên cơ hội trực tiếp tham gia vào quá trình chuyển từ mô hình Vật lý sang mô hình tính toán còn hạn chế. Sự phát triển của trí tuệ nhân tạo tạo sinh mở ra một khả năng mới khi người học có thể mô tả hiện tượng, xác định biến, phương trình và điều kiện ban đầu bằng ngôn ngữ tự nhiên, sau đó sử dụng AI để hỗ trợ tạo mã và xây dựng mô phỏng tương tác. Ben-Zion et al. (2025) cho thấy các mô hình ngôn ngữ lớn có thể hỗ trợ tạo nhanh các mô phỏng Vật lý, qua đó giảm yêu cầu về năng lực lập trình ban đầu của người học.

Dù vậy, sản phẩm do AI tạo ra không mặc nhiên chính xác về phương diện khoa học. Kortemeyer (2023) chỉ ra rằng ChatGPT có thể đưa ra những câu trả lời có hình thức thuyết phục nhưng vẫn chứa sai sót hoặc lập luận chưa phù hợp về Vật lý. Vì vậy, mô phỏng do AI tạo sinh cần được xem như một đối tượng để học sinh kiểm tra, đối chiếu và hiệu chỉnh thay vì tiếp nhận thụ động. Ben-Zion et al. (2026) đã triển khai hoạt động trong đó người học trực tiếp tạo, tinh chỉnh và kiểm chứng các mô phỏng Vật lý có hỗ trợ bởi AI, qua đó cho thấy tiềm năng của cách tiếp cận này đối với việc phát triển hiểu biết khái niệm và kĩ năng mô hình hóa. Trên cơ sở đó, nghiên cứu này xem AI tạo sinh là công cụ hỗ trợ học sinh tham gia vào chu trình xây dựng mô hình – tạo mô phỏng – dự đoán – kiểm chứng – phát hiện sai lệch – hiệu chỉnh, qua đó góp phần phát triển năng lực mô hình hóa Vật lý.

2.3. Hoạt động xây dựng và kiểm chứng mô phỏng có hỗ trợ bởi AI nhằm phát triển năng lực mô hình hóa

Phát triển năng lực mô hình hóa Vật lý đòi hỏi học sinh không chỉ sử dụng các mô hình hoặc mô phỏng có sẵn mà cần trực tiếp tham gia vào quá trình xây dựng, sử dụng, kiểm chứng và điều chỉnh mô hình. Zwickl et al. (2015) cho rằng lập luận dựa trên mô hình trong học tập Vật lý bao gồm các hoạt động như xây dựng mô hình, đưa ra dự đoán, thu thập và diễn giải dữ liệu, so sánh kết quả với mô hình, nhận diện sai lệch và điều chỉnh mô hình khi cần thiết. Quá trình này có tính lặp và phản ánh bản chất của hoạt động khoa học.

Trong bối cảnh AI tạo sinh, quá trình mô hình hóa có thể được mở rộng thông qua việc sử dụng AI như một công cụ hỗ trợ chuyển các giả định, phương trình và mối quan hệ Vật lý thành mô phỏng có khả năng tương tác. Tuy nhiên, vai trò của học sinh cần được duy trì ở vị trí trung tâm. Trước khi yêu cầu AI tạo mô phỏng, học sinh phải phân tích hiện tượng, xác định hệ Vật lý, lựa chọn biến, thiết lập giả định và xây dựng mô hình lý thuyết. Sau đó, học sinh sử dụng AI để hỗ trợ hiện thực hóa mô hình dưới dạng mô phỏng. Kết quả mô phỏng không được tiếp nhận như một đáp án hoàn chỉnh mà cần được so sánh với dự đoán lý thuyết, các định luật Vật lý, dữ liệu thực nghiệm hoặc các trường hợp giới hạn.

Hoạt động kiểm chứng giữ vai trò đặc biệt quan trọng vì mô phỏng do AI tạo ra có thể chứa sai sót về phương trình, điều kiện ban đầu hoặc logic Vật lý. Khi phát hiện sự không phù hợp, học sinh cần xác định nguyên nhân và tiến hành hiệu chỉnh mô hình, yêu cầu đầu vào hoặc cấu trúc mô phỏng. Ben-Zion et al. (2026) cho thấy việc để người học trực tiếp xây dựng, tinh chỉnh và kiểm chứng mô phỏng có hỗ trợ bởi AI có tiềm năng tạo ra những cơ hội học tập liên quan đến hiểu biết khái niệm và kĩ năng mô hình hóa.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu này đề xuất chu trình gồm sáu hoạt động: phân tích hiện tượng – xây dựng mô hình – tạo mô phỏng với AI – dự đoán – kiểm chứng – hiệu chỉnh và giải thích. Chu trình này tạo điều kiện để học sinh đồng thời huy động các thành tố xây dựng, sử dụng, kiểm chứng và điều chỉnh mô hình.

III. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu được thực hiện theo hướng mô tả kết hợp đề xuất mô hình phát triển năng lực mô hình hóa Vật lý. Đối tượng khảo sát gồm 80 học sinh lớp 11 tại một trường trung học phổ thông trên địa bàn Hà Nội. Phạm vi nghiên cứu tập trung vào bài "Dao động điều hòa", trong đó học sinh thực hiện các nhiệm vụ xác định đại lượng, thiết lập mối quan hệ Vật lý, xây dựng mô hình, dự đoán và kiểm chứng kết quả mô phỏng. Năng lực mô hình hóa được đánh giá thông qua rubric gồm bốn thành tố: xây dựng mô hình, sử dụng mô hình, kiểm chứng mô hình và đánh giá–hiệu chỉnh mô hình. Dữ liệu được phân tích bằng thống kê mô tả, gồm điểm trung bình (M), độ lệch chuẩn (SD), tần suất và tỷ lệ phần trăm theo từng thành tố và mức năng lực. Trên cơ sở kết quả khảo sát thực trạng, phân tích sản phẩm học tập và cơ sở lý luận, nghiên cứu đề xuất mô hình phát triển năng lực gồm các bước: phân tích hiện tượng – xây dựng mô hình – tạo mô phỏng với AI – dự đoán – kiểm chứng – hiệu chỉnh và giải thích.

IV. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

4.1. Thực trạng năng lực mô hình hóa Vật lý của học sinh

Kết quả khảo sát 80 học sinh lớp 11 cho thấy năng lực mô hình hóa Vật lý nhìn chung mới đạt mức trung bình, với điểm trung bình chung là 2,18/4,00 (SD = 0,54). Trong bốn thành tố được đánh giá, năng lực sử dụng mô hình có điểm trung bình cao nhất (M = 2,46; SD = 0,61), tiếp đến là năng lực xây dựng mô hình (M = 2,31; SD = 0,58). Trong khi đó, năng lực kiểm chứng mô hình đạt mức thấp hơn (M = 2,05; SD = 0,64) và năng lực đánh giá, hiệu chỉnh mô hình có điểm thấp nhất (M = 1,90; SD = 0,67).

Bảng 1. Thực trạng năng lực mô hình hóa Vật lý của học sinh

Thành tố năng lực	M	SD
Xây dựng mô hình	2,31	0,58
Sử dụng mô hình	2,46	0,61
Kiểm chứng mô hình	2,05	0,64
Đánh giá và hiệu chỉnh mô hình	1,90	0,67
Năng lực mô hình hóa chung	**2,18**	**0,54**

Kết quả này cho thấy học sinh tương đối thuận lợi khi sử dụng các mô hình hoặc công thức đã được xác lập để mô tả và dự đoán hiện tượng. Tuy nhiên, các em còn gặp khó khăn khi phải tự kiểm tra mức độ phù hợp của mô hình, phát hiện sai lệch và đề xuất cách điều chỉnh. Độ lệch chuẩn ở hai thành tố kiểm chứng và hiệu chỉnh cũng cao hơn, phản ánh sự khác biệt tương đối lớn giữa các học sinh ở những nhiệm vụ đòi hỏi mức độ tư duy cao hơn. Thực trạng trên cho thấy cần có các hoạt động học tập tạo cơ hội cho học sinh không chỉ sử dụng mô hình mà còn trực tiếp xây dựng, kiểm chứng và hiệu chỉnh mô hình, làm cơ sở cho việc đề xuất mô hình phát triển năng lực ở phần tiếp theo.

4.2. Những hạn chế chủ yếu trong năng lực mô hình hóa của học sinh

Kết quả khảo sát cho thấy hạn chế nổi bật của học sinh tập trung ở các hoạt động đòi hỏi mức độ chủ động và tư duy phản biện cao trong quá trình mô hình hóa. Trước hết, ở thành tố xây dựng mô hình, một bộ phận học sinh có thể nhận diện được các đại lượng Vật lý liên quan nhưng còn gặp khó khăn khi xác định giả định, điều kiện áp dụng và lựa chọn những yếu tố cần được đơn giản hóa.

Ở thành tố kiểm chứng mô hình, nhiều học sinh chủ yếu quan sát kết quả cuối cùng mà chưa hình thành thói quen đối chiếu kết quả với dự đoán lý thuyết, định luật Vật lý hoặc các trường hợp giới hạn. Điều này thể hiện ở điểm trung bình tương đối thấp của thành tố kiểm chứng (M = 2,05; SD = 0,64). Học sinh còn có xu hướng xem kết quả mô phỏng là đúng nếu hình ảnh hoặc đồ thị có vẻ hợp lý, thay vì sử dụng các căn cứ khoa học để xác nhận.

Hạn chế rõ nhất thuộc về thành tố đánh giá và hiệu chỉnh mô hình (M = 1,90; SD = 0,67). Khi xuất hiện sai lệch giữa mô hình và kết quả quan sát, học sinh thường khó xác định nguyên nhân xuất phát từ giả định, phương trình, điều kiện ban đầu hay cách thiết lập mô phỏng. Khả năng đề xuất phương án điều chỉnh vì thế còn hạn chế.

4.3. Đề xuất mô hình phát triển năng lực mô hình hóa thông qua hoạt động xây dựng và kiểm chứng mô phỏng có hỗ trợ bởi AI tạo sinh

Ở bước 1, học sinh phân tích hiện tượng Vật lý, xác định đối tượng nghiên cứu, các đại lượng liên quan, điều kiện và phạm vi cần xem xét. Hoạt động này tạo cơ sở cho việc lựa chọn những yếu tố cần thiết và loại bỏ các yếu tố thứ yếu. Ở bước 2, học sinh thiết lập các giả định, mối quan hệ giữa các đại lượng và biểu diễn chúng dưới dạng sơ đồ, phương trình hoặc mô hình toán học. Hai bước đầu tập trung phát triển thành tố xây dựng mô hình.

Ở bước 3, học sinh sử dụng AI tạo sinh để chuyển mô hình Vật lý thành mô phỏng có khả năng tương tác. AI có thể hỗ trợ viết mã, xây dựng đồ thị, tạo giao diện và thiết lập các tham số, nhưng học sinh phải chịu trách nhiệm về tính đúng đắn khoa học của mô hình. Bước 4 yêu cầu học sinh đưa ra dự đoán trước khi vận hành mô phỏng, qua đó phát triển khả năng sử dụng mô hình để suy luận và dự báo.

Ở bước 5, kết quả mô phỏng được đối chiếu với phương trình Vật lý, dự đoán lý thuyết, dữ liệu thực nghiệm hoặc các trường hợp giới hạn. Đây là bước trực tiếp phát triển năng lực kiểm chứng mô hình. Cuối cùng, ở bước 6, nếu xuất hiện sai lệch, học sinh xác định nguyên nhân, điều chỉnh giả định, phương trình, tham số, prompt hoặc cấu trúc mô phỏng, sau đó tiến hành kiểm chứng lại.

Như vậy, mô hình đề xuất không xem sản phẩm do AI tạo ra là kết quả cuối cùng, mà biến nó thành đối tượng để học sinh phân tích, phản biện và cải tiến. Chu trình có tính lặp, cho phép học sinh quay trở lại bước xây dựng mô hình khi kết quả kiểm chứng chưa phù hợp. Đây là cơ sở để đồng thời phát triển bốn thành tố năng lực gồm xây dựng, sử dụng, kiểm chứng và đánh giá–hiệu chỉnh mô hình Vật lý.

Hình 1. Mô hình phát triển năng lực mô hình hóa Vật lý thông qua hoạt động xây dựng và kiểm chứng mô phỏng có hỗ trợ bởi AI tạo sinh



Mô hình gồm sáu bước, trong đó mỗi bước gắn với các hoạt động học tập cụ thể và góp phần phát triển một hoặc nhiều thành tố của năng lực mô hình hóa Vật lý. Mối liên hệ giữa các bước của mô hình và các thành tố năng lực được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Mối liên hệ giữa các bước của mô hình và các thành tố năng lực mô hình hóa

Bước	Hoạt động chính	Thành tố năng lực được phát triển
Phân tích hiện tượng	Xác định vấn đề, hệ Vật lý, các đại lượng và điều kiện liên quan	Xây dựng mô hình
Xây dựng mô hình	Đề xuất giả định, đơn giản hóa và thiết lập các mối quan hệ Vật lý hoặc phương trình	Xây dựng mô hình
Tạo mô phỏng với AI	Mô tả yêu cầu cho AI, tạo và tinh chỉnh mô phỏng theo mô hình đã xác lập	Xây dựng mô hình; sử dụng mô hình
Dự đoán	Đưa ra dự đoán dựa trên mô hình và xác định các trường hợp cần khảo sát	Sử dụng mô hình
Kiểm chứng	So sánh kết quả mô phỏng với dự đoán, lý thuyết hoặc dữ liệu; phân tích sai lệch	Kiểm chứng mô hình
Hiệu chỉnh và giải thích	Xác định nguyên nhân sai lệch, điều chỉnh mô hình hoặc mô phỏng và rút ra kết luận	Đánh giá và hiệu chỉnh mô hình

Mô hình đề xuất có tính chu trình và có thể được vận dụng linh hoạt trong các nội dung khác nhau của Vật lý trung học phổ thông. Trong quá trình thực hiện, kết quả ở bước kiểm chứng có thể làm xuất hiện nhu cầu quay trở lại điều chỉnh giả định, phương trình hoặc cấu trúc của mô hình.

V. KẾT LUẬN

Nghiên cứu cho thấy năng lực mô hình hóa Vật lý của học sinh còn một số hạn chế, đặc biệt ở các hoạt động kiểm chứng, đánh giá và hiệu chỉnh mô hình. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất mô hình phát triển năng lực mô hình hóa gồm sáu bước: phân tích hiện tượng – xây dựng mô hình – tạo mô phỏng với AI – dự đoán – kiểm chứng – hiệu chỉnh và giải thích. Mô hình nhấn mạnh vai trò chủ động của học sinh trong toàn bộ quá trình, còn AI tạo sinh được xem là công cụ hỗ trợ xây dựng và thử nghiệm mô phỏng. Cách tiếp cận này tạo điều kiện để học sinh tham gia sâu hơn vào quá trình mô hình hóa, từ đó góp phần phát triển năng lực xây dựng, sử dụng, kiểm chứng và điều chỉnh mô hình Vật lý. Nghiên cứu tiếp theo cần tiến hành thực nghiệm sư phạm để đánh giá hiệu quả và khả năng vận dụng mô hình trong các nội dung Vật lý khác

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Banda, H. J., & Nzabahimana, J. (2021). Effect of integrating physics education technology simulations on students' conceptual understanding in physics: A review of literature. Physical Review Physics Education Research, 17(2), Article 023108. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.023108

Ben-Zion, Y., Zarzecki, R. E., Glazer, J., & Finkelstein, N. D. (2025). Leveraging AI for rapid generation of physics simulations in education: Building your own virtual lab. The Physics Teacher, 63(6), 424–427. https://doi.org/10.1119/5.0252343

Ben-Zion, Y., Carroll, T. K., West, C. G., Wong, J., & Finkelstein, N. D. (2026). Leveraging generative artificial intelligence for simulation-based physics experiments: A new approach to virtual learning about the real world. Physical Review Physics Education Research, 22(1), Article 010109. https://doi.org/10.1103/s8dy-kqy5

Kortemeyer, G. (2023). Could an artificial-intelligence agent pass an introductory physics course? Physical Review Physics Education Research, 19(1), Article 010132. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.010132

Nicolaou, C. T., & Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. Educational Research Review, 13, 52–73. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2014.10.001

Phillips, A. M., Gouvea, E. J., Gravel, B. E., Beachemin, P.-H., & Atherton, T. J. (2023). Physicality, modeling, and agency in a computational physics class. Physical Review Physics Education Research, 19(1), Article 010121. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.010121

Stanley, J. T., Su, W., & Lewandowski, H. J. (2017). Using lab notebooks to examine students' engagement in modeling in an upper-division electronics lab course. Physical Review Physics Education Research, 13(2), Article 020127. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020127

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. Journal of Research in Science Teaching, 46(6), 632–654. https://doi.org/10.1002/tea.20311

Vonk, M., Bohacek, P., Militello, C., & Iverson, E. (2017). Developing model-making and model-breaking skills using direct measurement video-based activities. Physical Review Physics Education Research, 13(2), Article 020106. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020106

Zhai, X. (2022). Assessing high-school students' modeling performance on Newtonian mechanics. Journal of Research in Science Teaching, 59(8), 1313–1353. https://doi.org/10.1002/tea.21758

Zwickl, B. M., Hu, D., Finkelstein, N., & Lewandowski, H. J. (2015). Model-based reasoning in the physics laboratory: Framework and initial results. Physical Review Special Topics–Physics Education Research, 11(2), Article 020113. https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.020113