TÁC ĐỘNG CỦA VIỆC KẾT HỢP THÍ NGHIỆM THỰC VÀ MÔ PHỎNG PHET ĐẾN NĂNG LỰC THỰC NGHIỆM VÀ HIỂU BIẾT KHÁI NIỆM TRONG DẠY HỌC VẬT LÝ

Vũ Hải Long
Email: longvuu1901@gmail.com

Tóm tắt: *Nghiên cứu đánh giá tác động của việc kết hợp thí nghiệm thực và mô phỏng PhET đến năng lực thực nghiệm và hiểu khái niệm Vật lý của học sinh. Thiết kế bán thực nghiệm pretest–posttest có nhóm đối chứng được thực hiện với 89 học sinh trong 6 tuần. Năng lực thực nghiệm được đánh giá bằng rubric gồm 5 thành tố, còn hiểu khái niệm được đo bằng bài kiểm tra 20 câu. Kết quả cho thấy nhóm thực nghiệm đạt điểm sau can thiệp cao hơn nhóm đối chứng. Phân tích ANCOVA xác nhận tác động có ý nghĩa thống kê đối với năng lực thực nghiệm ($p < 0,001$; partial $\eta^2 = 0,270$) và hiểu khái niệm Vật lý ($p < 0,001$; partial $\eta^2 = 0,315$). Kết quả khẳng định việc kết hợp PhET với thí nghiệm thực có tiềm năng hỗ trợ học sinh phát triển năng lực thực nghiệm và nâng cao mức độ hiểu các khái niệm Vật lý.*

Từ khóa: *thí nghiệm thực; mô phỏng PhET; năng lực thực nghiệm; hiểu khái niệm; dạy học Vật lý.*

IMPACT OF INTEGRATING REAL EXPERIMENTS AND PHET SIMULATIONS ON EXPERIMENTAL COMPETENCE AND CONCEPTUAL UNDERSTANDING IN PHYSICS EDUCATION

Abstract: *This study evaluates the effects of integrating real experiments and PhET simulations on students' experimental competence and conceptual understanding in physics. A quasi-experimental pretest–posttest design with a control group was conducted with 89 students over a six-week period. Experimental competence was assessed using a rubric comprising five components, while conceptual understanding was measured through a 20-item test. The results showed that the experimental group achieved higher post-intervention scores than the control group. ANCOVA results confirmed statistically significant effects on experimental competence ($p < .001$; partial $\eta^2 = .270$) and conceptual understanding in physics ($p < .001$; partial $\eta^2 = .315$). These findings indicate that integrating PhET simulations with real experiments has the potential to support the development of students' experimental competence while enhancing their understanding of physics concepts.*

Keywords: *real experiments; PhET simulations; experimental competence; conceptual understanding; physics education.*

Nhận bài: 27/07/2026 Phản biện: 21/08/2026 Duyệt đăng: 26/08/2026

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong dạy học Vật lý, thí nghiệm giữ vai trò quan trọng trong việc hình thành kiến thức, kiểm chứng giả thuyết và phát triển năng lực thực hành, tư duy khoa học của người học. Thông qua hoạt động thực nghiệm, học sinh có cơ hội quan sát hiện tượng, đo đạc các đại lượng, xử lý dữ liệu và rút ra kết luận dựa trên bằng chứng. Tuy nhiên, việc tổ chức thí nghiệm thực trong nhà trường còn gặp một số hạn chế liên quan đến thiết bị, thời lượng, độ chính xác của phép đo, điều kiện an toàn và khả năng quan sát các quá trình Vật lý khó tái hiện trực tiếp.

Trong bối cảnh chuyển đổi số giáo dục, các mô phỏng tương tác như PhET mở ra khả năng hỗ trợ trực quan hóa hiện tượng, kiểm soát biến số và cho phép học sinh thực hiện nhiều lần các tình huống thí nghiệm trong môi trường số. Dù vậy, mô phỏng không thể thay thế hoàn toàn thí nghiệm thực, đặc biệt đối với việc hình thành kỹ năng thao tác, đo lường và xử lý sai số. Vì thế, vấn đề có ý nghĩa không nằm ở việc lựa chọn giữa thí nghiệm thực và mô phỏng, mà ở cách tổ chức sự kết hợp giữa hai hình thức nhằm phát huy ưu thế bổ trợ của mỗi phương tiện.

Xuất phát từ đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá tác động của việc kết hợp thí nghiệm thực và mô phỏng PhET đến năng lực thực nghiệm và hiểu biết khái niệm của học sinh trong dạy học Vật lý, qua đó cung cấp cơ sở thực nghiệm cho việc thiết kế các hoạt động dạy học theo hướng tích hợp công nghệ và thực hành khoa học.

II. CƠ SỞ LÝ LUẬN

2.1. Năng lực thực nghiệm trong dạy học Vật lý

Vật lý là khoa học thực nghiệm, vì vậy hoạt động thí nghiệm không chỉ có chức năng minh họa hoặc kiểm chứng kiến thức đã học mà còn tạo môi trường để học sinh tham gia vào quá trình hình thành tri thức khoa học. Theo A Framework for K–12 Science Education, thực hành khoa học bao gồm đặt câu hỏi, lập kế hoạch và tiến hành điều tra, phân tích và diễn giải dữ liệu, xây dựng

lời giải thích và lập luận dựa trên bằng chứng (National Research Council [NRC], 2012). Theo hướng tiếp cận này, năng lực thực nghiệm cần được hiểu rộng hơn khả năng sử dụng dụng cụ hay thực hiện đúng một quy trình có sẵn.

Trong giáo dục Vật lý, Etkina et al. (2006) xem các năng lực khoa học liên quan đến thực nghiệm là khả năng người học thiết kế và tiến hành nghiên cứu, xây dựng và kiểm chứng giả thuyết, xử lý dữ liệu, đánh giá kết quả và sử dụng bằng chứng để đưa ra kết luận. Các tác giả đồng thời nhấn mạnh việc sử dụng nhiệm vụ thực nghiệm và rubric để người học không chỉ thực hiện mà còn tự đánh giá quá trình nghiên cứu của mình. Quan điểm này tương đồng với khuyến nghị của American Association of Physics Teachers (AAPT, 2014), trong đó mục tiêu của hoạt động phòng thí nghiệm Vật lý bao gồm xây dựng kiến thức từ dữ liệu thực, thiết kế thí nghiệm, phát triển kỹ năng kỹ thuật, phân tích và trực quan hóa dữ liệu, đánh giá độ không đảm bảo cũng như trình bày lập luận dựa trên bằng chứng thực nghiệm.

Trên cơ sở đó, trong nghiên cứu này, năng lực thực nghiệm Vật lý được xác định là khả năng huy động kiến thức, kỹ năng và phương pháp khoa học để xây dựng, thực hiện và đánh giá một quá trình nghiên cứu thực nghiệm nhằm giải quyết vấn đề Vật lý. Năng lực này được cấu trúc thành năm thành tố: (1) xác định vấn đề và đề xuất giả thuyết; (2) xây dựng phương án thí nghiệm và xác định các biến cần kiểm soát; (3) tiến hành thí nghiệm, sử dụng dụng cụ và thu thập dữ liệu; (4) xử lý, biểu diễn và phân tích dữ liệu, bao gồm nhận diện sai số hoặc độ không đảm bảo; và (5) giải thích kết quả, đối chiếu với giả thuyết và rút ra kết luận dựa trên bằng chứng. Cách cấu trúc này nhấn mạnh rằng năng lực thực nghiệm bao gồm đồng thời thao tác, tư duy và lập luận khoa học, thay vì chỉ đánh giá mức độ hoàn thành các bước thực hành.

Đáng chú ý, các hoạt động thí nghiệm được hướng dẫn quá chặt có thể hạn chế cơ hội để người học tham gia thực sự vào quá trình ra quyết định khoa học. Wilcox và Lewandowski (2016) cho thấy các hoạt động phòng thí nghiệm mở, trong đó người học có mức độ tự chủ cao hơn về cách khảo sát hiện tượng, có liên hệ với nhận thức mang tính chuyên gia hơn về bản chất của Vật lý thực nghiệm. Vì vậy, phát triển năng lực thực nghiệm đòi hỏi thiết kế nhiệm vụ tạo cơ hội cho học sinh dự đoán, lựa chọn phương án, đo đạc, phân tích và bảo vệ kết luận bằng dữ liệu; đây cũng là cơ sở để nghiên cứu hiện tại đánh giá tác động của việc kết hợp thí nghiệm thực với mô phỏng PhET.

2.2. Sự hiểu biết về khái niệm và vai trò của thí nghiệm trong hình thành kiến thức Vật lý

Hiểu khái niệm (conceptual understanding) là một mục tiêu quan trọng của dạy học Vật lý, phản ánh khả năng người học nhận thức được bản chất, mối quan hệ và điều kiện áp dụng của các khái niệm, nguyên lý và định luật vật lý. Hiểu khái niệm không chỉ thể hiện ở việc ghi nhớ định nghĩa hoặc sử dụng đúng công thức, mà còn ở khả năng giải thích hiện tượng, dự đoán kết quả, nhận diện mối quan hệ giữa các đại lượng và vận dụng kiến thức vào những tình huống khác nhau. Tổng quan của Docktor và Mestre (2014) cho thấy hiểu biết khái niệm là một trong những hướng nghiên cứu trung tâm của giáo dục Vật lý, đồng thời nhấn mạnh sự khác biệt giữa việc thực hiện thành công các thủ tục toán học và việc thực sự hiểu các nguyên lý vật lý chi phối bài toán.

Trong quá trình học Vật lý, học sinh thường hình thành các quan niệm ban đầu từ kinh nghiệm đời sống trước khi tiếp cận kiến thức khoa học chính thức. Một số quan niệm này không phù hợp với mô hình vật lý và có thể tồn tại dai dẳng ngay cả sau quá trình giảng dạy. Qua tổng quan các nghiên cứu về lực và chuyển động, Tomara et al. (2017) chỉ ra rằng những quan niệm thay thế của người học có tính bền vững và việc thay đổi chúng đòi hỏi các hoạt động học tập tạo cơ hội để người học nhận diện, kiểm tra và tái cấu trúc cách giải thích của mình. Vì vậy, mức độ hiểu khái niệm cần được xem xét không chỉ thông qua câu trả lời đúng mà còn qua khả năng giải thích tại sao một hiện tượng xảy ra và sử dụng bằng chứng hoặc nguyên lý vật lý để bảo vệ lập luận.

Việc đánh giá hiểu khái niệm trong giáo dục Vật lý thường sử dụng các bài kiểm tra khái niệm (concept inventories) hoặc các nhiệm vụ yêu cầu người học áp dụng kiến thức trong những tình huống không đơn thuần dựa vào tính toán. Tuy nhiên, Laverty và Caballero (2018) lưu ý rằng nhiều bài kiểm tra khái niệm truyền thống chủ yếu phản ánh mức độ hiểu các ý tưởng cốt lõi, nhưng chưa đánh giá đầy đủ các thực hành khoa học và khả năng sử dụng kiến thức trong những bối cảnh đa dạng. Điều này cho thấy đánh giá hiểu khái niệm cần kết hợp nhiều dạng nhiệm vụ như dự đoán hiện tượng, giải thích lựa chọn, phân tích đồ thị, xác định quan hệ giữa các biến và vận dụng kiến thức vào tình huống mới.

Trong nghiên cứu này, hiểu khái niệm Vật lý được xác định là khả năng của học sinh trong việc nhận biết và giải thích bản chất của hiện tượng, thiết lập mối quan hệ giữa các đại lượng, dự đoán sự thay đổi của hệ vật lý và vận dụng khái niệm để giải quyết các tình huống mới. Cách tiếp cận này phù hợp với xu hướng nghiên cứu hiện nay, trong đó kết quả học tập Vật lý được xem xét vượt ra ngoài khả năng nhớ công thức và thực hiện phép tính, hướng tới sự hiểu biết có ý nghĩa và khả năng sử dụng kiến thức một cách linh hoạt (Banda & Nzabahimana, 2021).

2.3. Kết hợp thí nghiệm thực và mô phỏng PhET trong dạy học Vật lý

Thí nghiệm thực và mô phỏng số là hai hình thức hỗ trợ học tập có những ưu thế khác nhau trong dạy học Vật lý. Thí nghiệm thực tạo điều kiện để học sinh trực tiếp sử dụng dụng cụ, thực hiện phép đo, thu thập dữ liệu, nhận diện sai số và xử lý những yếu tố không lý tưởng của hiện tượng thực tế. Trong khi đó, mô phỏng cho phép kiểm soát biến số, lặp lại quá trình khảo sát và trực quan hóa những đại lượng hoặc quá trình khó quan sát trực tiếp. De Jong et al. (2013) cho rằng phòng thí nghiệm thực và phòng thí nghiệm ảo không nên được xem là hai phương thức loại trừ lẫn nhau; giá trị sư phạm có thể được nâng cao khi chúng được kết hợp dựa trên ưu thế riêng của từng môi trường.

PhET (Physics Education Technology Interactive Simulations) là một hệ thống mô phỏng tương tác được sử dụng phổ biến trong giáo dục Vật lý. Thông qua việc thay đổi các biến và quan sát phản hồi tức thời, học sinh có thể khám phá mối quan hệ giữa các đại lượng, kiểm tra dự đoán và liên hệ các biểu diễn trực quan với mô hình Vật lý. Tổng quan 31 nghiên cứu thực nghiệm và bán thực nghiệm của Banda và Nzabahimana (2021) cho thấy PhET có tiềm năng hỗ trợ đáng kể việc phát triển hiểu khái niệm Vật lý, đặc biệt khi mô phỏng được tích hợp vào các hoạt động học tập tích cực thay vì chỉ được sử dụng để giáo viên minh họa nội dung.

Tuy nhiên, mô phỏng không thể thay thế hoàn toàn trải nghiệm thực nghiệm. Các hiện tượng trong môi trường mô phỏng thường được lý tưởng hóa, trong khi thí nghiệm thực buộc học sinh phải xử lý các vấn đề như độ chính xác của dụng cụ, sai số đo và sự khác biệt giữa mô hình lý thuyết với dữ liệu thực tế. Vì vậy, sự kết hợp hai hình thức có thể tạo ra môi trường học tập bổ trợ: mô phỏng hỗ trợ nhận diện quy luật và kiểm soát biến, còn thí nghiệm thực tạo điều kiện kiểm chứng, đo đạc và lập luận từ bằng chứng.

Bằng chứng gần đây củng cố cơ sở này. Phân tích gộp của Wang et al. (2025) cho thấy việc kết hợp thí nghiệm thực và ảo trong dạy học Vật lý tạo ảnh hưởng tích cực ở mức trung bình đến kết quả học tập so với chỉ sử dụng thí nghiệm thực (ES = 0,66), đồng thời hiệu quả có xu hướng rõ hơn với các nội dung Vật lý trừu tượng và phức tạp. Trên cơ sở đó, nghiên cứu này tổ chức quá trình học theo chu trình dự đoán – khám phá trên PhET – tiến hành thí nghiệm thực – thu thập và phân tích dữ liệu – đối chiếu kết quả – giải thích, qua đó kỳ vọng đồng thời phát triển năng lực thực nghiệm và mức độ hiểu khái niệm Vật lý của học sinh.

III. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu sử dụng thiết kế bán thực nghiệm với mô hình pretest–posttest có nhóm đối chứng. Mẫu nghiên cứu gồm 89 học sinh thuộc hai lớp có điều kiện học tập tương đối tương đồng, trong đó 45 học sinh được xếp vào nhóm thực nghiệm và 44 học sinh thuộc nhóm đối chứng. Thời gian can thiệp kéo dài 6 tuần, tương ứng 8 tiết học Vật lý. Nhóm thực nghiệm được tổ chức học theo tiến trình kết hợp: dự đoán và đề xuất giả thuyết → khám phá trên PhET → thiết kế và tiến hành thí nghiệm thực → thu thập, xử lý dữ liệu → đối chiếu kết quả → giải thích và khái quát hóa; nhóm đối chứng học theo phương pháp thực hành hiện hành.

Năng lực thực nghiệm được đánh giá bằng rubric gồm 5 thành tố và 20 tiêu chí, sử dụng thang 4 mức (1–4 điểm), bao gồm: đề xuất giả thuyết, thiết kế phương án, tiến hành thí nghiệm, xử lý dữ liệu, và giải thích – kết luận. Hiểu khái niệm Vật lý được đo bằng bài kiểm tra gồm 20 câu, thực hiện trước và sau can thiệp.

Dữ liệu được xử lý bằng thống kê mô tả, kiểm định t độc lập và phân tích hiệp phương sai (ANCOVA). Điểm posttest được sử dụng làm biến phụ thuộc, nhóm học tập là biến độc lập và điểm pretest là biến đồng biến. Kết quả được báo cáo bằng M, SD, F, p, khoảng tin cậy 95% và partial η^2, với mức ý nghĩa thống kê $p < 0,05$.

IV. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

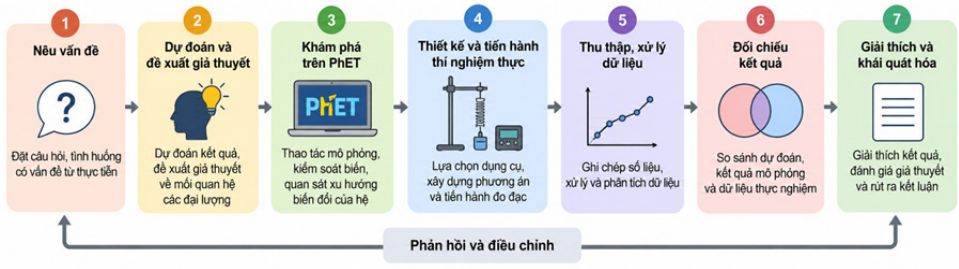
4.1. Biện pháp kết hợp thí nghiệm thực và mô phỏng PhET trong dạy học Vật lý

Biện pháp 1: Sử dụng PhET để hỗ trợ hình thành dự đoán và giả thuyết trước khi tiến hành thí nghiệm thực. Giáo viên xây dựng tình huống có vấn đề, yêu cầu học sinh dự đoán kết quả và giải thích cơ sở của dự đoán. Học sinh sau đó thao tác trên mô phỏng PhET, thay đổi từng biến trong điều kiện các biến khác được kiểm soát để quan

sát xu hướng biến đổi của hệ. Hoạt động này giúp học sinh bước đầu hình thành hoặc điều chỉnh giả thuyết trước khi tiếp xúc với dữ liệu thực nghiệm.

Biện pháp 2: Tổ chức thí nghiệm thực nhằm kiểm chứng và mở rộng kết quả khám phá trên mô phỏng. Từ kết quả quan sát trên PhET, học sinh xác định đại lượng cần đo, lựa chọn dụng cụ, xây dựng phương án và tiến hành thí nghiệm thực. Trong quá trình thực hiện, học sinh ghi chép số liệu, xử lý kết quả và xem xét các nguồn sai số. Việc chuyển từ môi trường mô phỏng sang thí nghiệm thực tạo điều kiện để học sinh vận dụng kiến thức vào tình huống vật lý cụ thể, đồng thời phát triển kỹ năng thao tác và xử lý dữ liệu.

Biện pháp 3: Tổ chức hoạt động đối chiếu, giải thích và khái quát hóa sau thí nghiệm. Học sinh so sánh ba nguồn thông tin gồm dự đoán ban đầu, kết quả mô phỏng và dữ liệu thực nghiệm. Những điểm tương đồng và sai khác được phân tích dựa trên điều kiện lý tưởng của mô hình, độ chính xác của dụng cụ, sai số đo và các yếu tố thực tế. Trên cơ sở đó, học sinh giải thích kết quả, đánh giá giả thuyết và khái quát hóa mối quan hệ vật lý đã khảo sát.



Hình 1. Mô hình tiến trình dạy học kết hợp thí nghiệm thực và mô phỏng PhET

4.2. Kết quả tác động đến năng lực thực nghiệm của học sinh

Kết quả đánh giá cho thấy trước can thiệp, năng lực thực nghiệm của hai nhóm tương đối tương đồng. Nhóm thực nghiệm đạt điểm trung bình 2,41 ± 0,36, trong khi nhóm đối chứng đạt 2,38 ± 0,34; sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê, $t(87) = 0,40$, $p = 0,689$. Sau 6 tuần can thiệp, điểm trung bình của nhóm thực nghiệm tăng lên 3,27 ± 0,31, cao hơn nhóm đối chứng (2,71 ± 0,35).

Phân tích ANCOVA với điểm posttest là biến phụ thuộc và điểm pretest là biến đồng biến cho thấy hình thức tổ chức dạy học có ảnh hưởng có ý nghĩa thống kê đến năng lực thực nghiệm, $F(1, 86) = 31,84$, $p < 0,001$, partial $\eta^2 = 0,270$. Điểm trung bình hiệu chỉnh của nhóm thực nghiệm đạt 3,26, so với 2,72 ở nhóm đối chứng, cho thấy sự khác biệt sau can thiệp vẫn được duy trì khi đã kiểm soát mức năng lực ban đầu.

Bảng 2. Kết quả năng lực thực nghiệm trước và sau can thiệp

Nhóm	n	Pretest M ± SD	Posttest M ± SD	M hiệu chỉnh
Thực nghiệm	45	2,41 ± 0,36	3,27 ± 0,31	3,26
Đối chứng	44	2,38 ± 0,34	2,71 ± 0,35	2,72

Xét theo các thành tố, nhóm thực nghiệm đều có mức cải thiện ở đề xuất giả thuyết, thiết kế phương án, tiến hành thí nghiệm, xử lý dữ liệu và giải thích – kết luận. Mức tăng rõ nhất xuất hiện ở xử lý và phân tích dữ liệu (từ 2,32 lên 3,35) và giải thích, rút ra kết luận (từ 2,28 lên 3,31). Kết quả này cho thấy việc yêu cầu học sinh đối chiếu giữa dự đoán, kết quả PhET và dữ liệu thực nghiệm có thể thúc đẩy khả năng phân tích bằng chứng và lập luận khoa học, thay vì chỉ cải thiện kỹ năng thao tác với dụng cụ. Nhìn chung, kết quả ủng hộ tác động tích cực của mô hình kết hợp thí nghiệm thực và PhET đối với sự phát triển năng lực thực nghiệm của học sinh.

4.3. Kết quả tác động đến hiểu khái niệm Vật lý của học sinh

Kết quả pretest cho thấy mức độ hiểu khái niệm Vật lý ban đầu của hai nhóm tương đối tương đồng. Nhóm thực nghiệm đạt 10,84 ± 2,11 điểm, trong khi nhóm đối chứng đạt 10,63 ± 2,08 điểm trên thang 20 điểm; sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê, $t(87) = 0,47$, $p = 0,638$. Sau 6 tuần can thiệp, điểm trung bình của nhóm thực nghiệm tăng lên 15,78 ± 1,96, cao hơn nhóm đối chứng (13,14 ± 2,05).

Bảng 3. Kết quả hiểu khái niệm Vật lý trước và sau can thiệp

Nhóm	n	Pretest M ± SD	Posttest M ± SD	M hiệu chỉnh
Thực nghiệm	45	10,84 ± 2,11	15,78 ± 1,96	15,72
Đối chứng	44	10,63 ± 2,08	13,14 ± 2,05	13,20

Phân tích ANCOVA, với điểm posttest là biến phụ thuộc và điểm pretest là biến đồng biến, cho thấy hình thức tổ chức dạy học có ảnh hưởng có ý nghĩa thống kê đến mức độ hiểu khái niệm Vật lý, $F(1, 86) = 39,62$, $p < 0,001$, partial $\eta^2 = 0,315$. Điểm trung bình hiệu chỉnh của nhóm thực nghiệm đạt 15,72, cao hơn nhóm đối chứng (13,20), cho thấy sự khác biệt sau can thiệp vẫn duy trì khi đã kiểm soát trình độ ban đầu.

Phân tích theo dạng nhiệm vụ cho thấy học sinh nhóm thực nghiệm cải thiện rõ hơn ở các câu hỏi yêu cầu dự đoán hiện tượng, giải thích mối quan hệ giữa các đại lượng và vận dụng khái niệm vào tình huống mới. Kết quả này có thể được giải thích bởi quá trình học sinh liên tục chuyển đổi giữa mô hình trực quan trên PhET và dữ liệu thu được từ thí nghiệm thực, qua đó kiểm tra dự đoán và điều chỉnh cách giải thích ban đầu. Nhìn chung, kết quả cho thấy mô hình kết hợp thí nghiệm thực và mô phỏng PhET không chỉ hỗ trợ việc ghi nhớ kiến thức mà còn góp phần nâng cao khả năng hiểu và vận dụng các khái niệm Vật lý của học sinh.

V. KẾT LUẬN

Nghiên cứu cho thấy việc kết hợp thí nghiệm thực và mô phỏng PhET có tác động tích cực đến năng lực thực nghiệm và mức độ hiểu khái niệm Vật lý của học sinh. Sau 6 tuần can thiệp, nhóm thực nghiệm đạt kết quả cao hơn nhóm đối chứng ở cả hai phương diện. Đối với năng lực thực nghiệm, sự khác biệt có ý nghĩa thống kê với $F(1, 86) = 31,84$, $p < 0,001$, partial $\eta^2 = 0,270$; mức cải thiện rõ ở xử lý dữ liệu, giải thích kết quả và rút ra kết luận. Đối với hiểu khái niệm Vật lý, nhóm thực nghiệm cũng đạt kết quả cao hơn với $F(1, 86) = 39,62$, $p < 0,001$, partial $\eta^2 = 0,315$. Kết quả khẳng định tiềm năng của tiến trình kết hợp PhET và thí nghiệm thực trong việc hỗ trợ học sinh vừa phát triển năng lực thực nghiệm, vừa hiểu sâu hơn các khái niệm Vật lý.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

American Association of Physics Teachers. (2014). AAPT recommendations for the undergraduate physics laboratory curriculum. AAPT Recommendations for the Undergraduate Physics Laboratory Curriculum

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), 023108. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.023108

Docktor, J. L., & Mestre, J. P. (2014). Synthesis of discipline-based education research in physics. Physical Review Special Topics–Physics Education Research, 10(2), 020119. https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.10.020119

Etkina, E., Van Heuvelen, A., White-Brahmia, S., Brookes, D. T., Gentile, M., Murthy, S., Rosengrant, D., & Warren, A. (2006). Scientific abilities and their assessment. Physical Review Special Topics–Physics Education Research, 2(2), 020103. https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.2.020103

De Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. Science, 340(6130), 305–308. https://doi.org/10.1126/science.1230579

Laverty, J. T., & Caballero, M. D. (2018). Analysis of the most common concept inventories in physics: What are we assessing? Physical Review Physics Education Research, 14(1), 010123. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010123

National Research Council. (2012). A framework for K–12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas. The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/13165

Tomara, M., Tselfes, V., & Gouscos, D. (2017). Instructional strategies to promote conceptual change about force and motion: A review of the literature. Themes in Science and Technology Education, 10(1), 1–16.

Wang, X.-M., Yu, X.-H., Yu, D.-D., Hwang, G.-J., & Lan, M. (2025). Does combining real and virtual experiments improve learning achievement in physics? Evidence from a meta-analysis (2001–2021). Educational Research Review, 46, 100661. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2024.100661

Wilcox, B. R., & Lewandowski, H. J. (2016). Open-ended versus guided laboratory activities: Impact on students' beliefs about experimental physics. Physical Review Physics Education Research, 12(2), 020132. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.020132