

ỨNG DỤNG STEM TRONG DẠY VẬT LÝ Ở TRƯỜNG PHỔ THÔNG

Nguyễn Văn Huy
Trường Trung cấp Kỹ thuật Đa ngành Hà Nội
Email: nguyenvanhuy2702@gmail.com

Tóm tắt: Trong bối cảnh đổi mới giáo dục phổ thông định hướng phát triển năng lực, việc ứng dụng STEM trong dạy học Vật lý trở thành một hướng tiếp cận quan trọng nhằm gắn kiến thức khoa học với thực tiễn. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu thử nghiệm mô hình dạy học STEM đối với môn Vật lý, thực hiện tại Trường Trung cấp nghề X. Thiết kế nghiên cứu theo hướng bán thực nghiệm, gồm nhóm thực nghiệm học theo ba chủ đề STEM (chế tạo đèn năng lượng mặt trời, đo gia tốc rơi tự do bằng cảm biến, chế tạo xe điện mini) và nhóm đối chứng học theo phương pháp truyền thống. Kết quả cho thấy, học sinh nhóm thực nghiệm có sự tiến bộ rõ rệt về kiến thức Vật lý (normalized gain đạt mức khá–cao), phát triển năng lực giải quyết vấn đề và tư duy thiết kế, đồng thời thể hiện thái độ học tập tích cực hơn. Sản phẩm học tập đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật và gắn với thực tiễn. Nghiên cứu khẳng định tính khả thi và hiệu quả của việc triển khai giáo dục STEM trong dạy học Vật lý ở trường phổ thông, đồng thời gợi mở khả năng liên kết với cơ sở nghề để tăng cường trải nghiệm thực hành cho học sinh.

Từ khóa: STEM, Vật lý phổ thông, dạy học tích hợp, trung cấp nghề, thử nghiệm sư phạm.

APPLICATION OF STEM IN TEACHING PHYSICS IN SECONDARY SCHOOLS

Nguyen Van Huy
Hanoi Multidisciplinary Technical College
Email: nguyenvanhuy2702@gmail.com

Abstract: In the context of competency-based education reform in Vietnam, the application of STEM in Physics teaching has become an important approach to connect scientific knowledge with real-world practices. This article presents the results of an experimental study on a STEM-based Physics teaching model conducted at Vocational Secondary School X. The research employed a quasi-experimental design, with an experimental group engaged in three STEM projects (designing a solar-powered lamp, measuring free-fall acceleration using sensors, and constructing a mini electric car) and a control group taught through traditional methods. Findings revealed that the experimental group achieved significant improvement in Physics knowledge (normalized gain at medium-to-high level), developed problem-solving skills and engineering design thinking, and demonstrated more positive attitudes toward learning. The student products met technical requirements and showed strong connections to practical applications. The study confirms the feasibility and effectiveness of implementing STEM education in Physics teaching at the general education level, while highlighting the potential of linking with vocational institutions to enhance students' hands-on experiences.

Keywords: STEM, Physics education, integrated teaching, vocational secondary school, experimental study.

Nhận bài: 30/06/2025

Phản biện: 21/07/2025

Duyệt đăng: 26/07/2025

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đổi mới giáo dục phổ thông theo Chương trình 2018 nhấn mạnh việc phát triển năng lực, gắn kiến thức với thực tiễn và tăng cường trải nghiệm sáng tạo cho học sinh. Trong bối cảnh đó, giáo dục STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) được xem là một định hướng quan trọng, giúp người học tích hợp kiến thức, rèn luyện kỹ năng giải quyết vấn đề và phát triển tư duy sáng tạo.

Môn Vật lý giữ vai trò then chốt trong việc hình thành tư duy khoa học và khả năng ứng dụng vào đời sống. Tuy nhiên, thực tiễn dạy học Vật lý ở trường phổ thông hiện nay vẫn còn nặng về lý thuyết, ít gắn với thực hành và công nghệ, khiến học sinh khó hứng thú và khó vận dụng kiến thức. Do đó, đổi mới phương pháp dạy học Vật lý theo định hướng STEM là yêu cầu cấp thiết.

Trong những năm qua, giáo dục STEM đã được nghiên cứu và áp dụng ở nhiều quốc gia, chứng minh hiệu quả trong việc nâng cao kết quả học tập và hứng thú của học sinh. Ở Việt Nam, STEM đã bước đầu được triển khai ở phổ thông, song còn hạn chế về cơ sở vật chất và chưa có nhiều nghiên cứu kết hợp với môi trường đào tạo nghề. Trong khi đó, các trường trung cấp nghề có điều kiện thuận lợi về thiết bị, môi trường thực hành và định hướng nghề nghiệp cho học sinh.

Xuất phát từ thực tiễn trên, nghiên cứu này tiến hành thử nghiệm mô hình dạy học Vật lý theo định hướng STEM tại một trường trung cấp nghề. Nghiên cứu nhằm đánh giá hiệu quả của mô hình đối với kiến thức, năng lực và thái độ học tập, đồng thời đề xuất khuyến nghị cho việc triển khai giáo dục STEM trong dạy học Vật lý ở trường phổ thông.

II. CƠ SỞ LÝ LUẬN

STEM là viết tắt của bốn lĩnh vực: Science (Khoa học), Technology (Công nghệ), Engineering (Kỹ thuật) và Mathematics (Toán học). Đây không chỉ là sự cộng gộp các môn học mà là một cách tiếp cận sư phạm nhằm tích hợp kiến thức, phát triển tư duy sáng tạo và giải quyết các vấn đề thực tiễn (Bybee, 2013). Theo Honey, Pearson và Schweingruber (2014), giáo dục STEM khuyến khích học sinh khám phá, thiết kế và sáng tạo thông qua việc kết nối tri thức khoa học với bối cảnh đời sống và nghề nghiệp.

Một bài học Vật lý định hướng STEM cần xuất phát từ vấn đề thực tiễn, yêu cầu học sinh vận dụng kiến thức để thiết kế và chế tạo sản phẩm, đồng thời đánh giá kết quả bằng cả tiêu chí khoa học và tiêu chí kỹ thuật (Sanders, 2009). Các hoạt động này giúp học sinh nhận ra ý nghĩa thực tế của Vật lý, từ đó hình thành thái độ tích cực và hứng thú học tập.

Nghiên cứu quốc tế đã cung cấp nhiều bằng chứng về hiệu quả của giáo dục STEM. Hake (1998), qua khảo sát 6.000 sinh viên trong các lớp cơ học, cho thấy phương pháp tương tác và hoạt động thực nghiệm giúp điểm kiểm tra tăng gấp đôi so với phương pháp truyền thống. Kelley và Knowles (2016) nhấn mạnh rằng STEM tích hợp giúp học sinh phát triển kỹ năng tư duy phản biện và khả năng thích ứng với yêu cầu nghề nghiệp trong thế kỷ 21. Nghiên cứu của Becker và Park (2011) chỉ ra rằng dạy học tích hợp STEM có tác động tích cực đến cả thành tích học tập và thái độ học sinh.

Trong những năm gần đây, nhiều công trình nghiên cứu đã đề cập đến giáo dục STEM ở phổ thông. Nguyễn Thị Hồng Vân (2019) chỉ ra rằng dạy học STEM giúp học sinh hứng thú hơn với môn Vật lý và nâng cao khả năng vận dụng kiến thức vào thực tiễn. Trần Trung Ninh và cộng sự (2020) thực nghiệm các chủ đề STEM trong môn Khoa học tự nhiên và kết luận rằng phương pháp này nâng cao rõ rệt năng lực giải quyết vấn đề. Tuy nhiên, các nghiên cứu chủ yếu được tiến hành ở trường phổ thông, quy mô nhỏ, và còn hạn chế về điều kiện cơ sở vật chất.

Mặc dù giáo dục STEM đã được triển khai rộng rãi, song nghiên cứu kết hợp giữa trường phổ thông và cơ sở đào tạo nghề để tận dụng điều kiện thực hành vẫn còn hạn chế. Các trường trung cấp nghề có ưu thế về trang thiết bị và môi trường kỹ thuật, tạo điều kiện để triển khai các dự án STEM có tính khả thi cao. Tuy nhiên, cho đến nay, chưa có nhiều công trình nghiên cứu thực nghiệm đánh

giá tác động của mô hình này đối với kết quả học tập Vật lý ở phổ thông.

III. PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

3.1. Đối tượng nghiên cứu

Nghiên cứu được triển khai theo thiết kế bán thực nghiệm (quasi-experimental design) với mô hình tiền – hậu kiểm có nhóm đối chứng. Trong đó, nhóm thực nghiệm được dạy học Vật lý theo mô hình STEM, còn nhóm đối chứng học theo phương pháp truyền thống. Việc so sánh kết quả học tập, năng lực và thái độ học tập của hai nhóm sau can thiệp, đồng thời có kiểm soát kết quả tiền kiểm, cho phép đánh giá mức độ tác động của mô hình STEM đối với quá trình học tập của học sinh.

Thực nghiệm được tiến hành tại Trường Trung cấp nghề Nấu ăn – Nghiệp vụ Du lịch và Thời trang Hà Nội trong năm học 2024–2025. Đối tượng nghiên cứu là khoảng 300 học sinh, được lựa chọn từ nhiều lớp có trình độ tương đương. Trong đó, nhóm thực nghiệm gồm khoảng 150 học sinh được học theo ba chủ đề STEM đã thiết kế, trong khi nhóm đối chứng gồm khoảng 150 học sinh tiếp tục học theo cách truyền thống.

Để đánh giá tác động của can thiệp, nghiên cứu sử dụng nhiều công cụ thu thập dữ liệu. Kết quả học tập kiến thức Vật lý được đo bằng một bài kiểm tra gồm 35 câu hỏi (30 trắc nghiệm và 5 tự luận ngắn) bao quát các nội dung điện học, cơ học và đo lường. Thái độ và hứng thú học tập được khảo sát bằng thang đo Likert 5 mức, gồm 20 mục, tập trung vào bốn khía cạnh: hứng thú, nhận thức giá trị thực tiễn, sự tự tin và ý định tiếp tục học Vật lý.

3.2. Xây dựng chủ đề thực nghiệm tại trường trung cấp nghề

Trong nghiên cứu này, ba chủ đề dạy học Vật lý theo định hướng STEM đã được thiết kế và triển khai cho nhóm thực nghiệm tại một trường trung học phổ thông ở Hà Nội. Các chủ đề vừa đảm bảo tính phù hợp với nội dung chương trình phổ thông, vừa gắn liền với thực tiễn đời sống, qua đó tạo cơ hội cho học sinh vận dụng kiến thức để giải quyết vấn đề cụ thể và chế tạo sản phẩm.

Chủ đề thứ nhất là “Chế tạo đèn năng lượng mặt trời”, gắn với nội dung điện học và kiến thức về năng lượng. Học sinh được giao nhiệm vụ thiết kế và lắp ráp một chiếc đèn LED hoạt động nhờ pin năng lượng mặt trời có khả năng chiếu sáng trong điều kiện thực tế. Quá trình học tập bao gồm việc tìm hiểu nguyên lý biến đổi năng lượng, lựa chọn linh kiện phù hợp, lắp ráp và kiểm tra sản phẩm.



Chủ đề thứ hai là “Đo gia tốc rơi tự do bằng cảm biến”, liên quan đến phần cơ học trong chương trình Vật lý lớp 10. Học sinh được hướng dẫn sử dụng smartphone tích hợp cảm biến gia tốc hoặc bộ Arduino để thiết kế thí nghiệm đo giá trị ggg. Các em tiến hành thu

thập số liệu, biểu diễn kết quả trên đồ thị, so sánh với giá trị chuẩn và phân tích sai số. Chủ đề này không chỉ giúp học sinh khắc sâu kiến thức về chuyển động rơi tự do mà còn rèn luyện năng lực sử dụng công nghệ, tư duy khoa học và kỹ năng phân tích dữ liệu.



Cả hai chủ đề đều được triển khai theo tiến trình thiết kế kỹ thuật (Engineering Design Process – EDP) với các bước: xác định vấn đề, đề xuất giải pháp, thiết kế, chế tạo, thử nghiệm – đánh giá và cải tiến. Sản phẩm hoặc kết quả thí nghiệm của học sinh được đánh giá theo hai nhóm tiêu chí: tiêu chí khoa học (tính chính xác, hợp lý về kiến thức) và tiêu chí kỹ thuật (tính

ứng dụng, độ tin cậy, tính sáng tạo). Qua đó, học sinh có cơ hội trải nghiệm chu trình học tập tích hợp từ lý thuyết đến thực tiễn, góp phần hình thành và phát triển năng lực giải quyết vấn đề, tư duy thiết kế và thái độ tích cực đối với môn Vật lý.

IV. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

4.1. Thực trạng về kiến thức Vật lý

Nhóm học sinh	Số lượng	Điểm trung bình trước khi thực nghiệm	Điểm trung bình sau khi thực nghiệm	Mức độ tiến bộ tương đối	Độ lớn tác động
Thực nghiệm (STEM)	150	5,6 (1,02)	7,8 (0,92)	0,52	0,65
Đối chứng	150	5,5 (0,98)	6,2 (1,01)	0,28	

Kết quả kiểm tra trước và sau thực nghiệm cho thấy học sinh nhóm được học theo mô hình STEM có sự tiến bộ rõ rệt về kiến thức Vật lý so với nhóm đối chứng. Cụ thể, điểm trung bình trước khi thực nghiệm của nhóm thực nghiệm là 5,6/10 ($SD = 1,02$), khá tương đồng với nhóm đối chứng 5,5/10 ($SD = 0,98$), sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê ($p > .05$). Tuy nhiên, ở bài điểm trung bình sau khi thực nghiệm, điểm trung bình của nhóm thực nghiệm đạt 7,8/10 ($SD = 0,92$), trong khi nhóm đối chứng chỉ đạt 6,2/10 ($SD = 1,01$). Phân tích t-test độc lập cho thấy sự khác biệt này

có ý nghĩa thống kê ở mức $p < .01$.

Độ lớn tác động của can thiệp được tính bằng hệ số độ lớn tác động = 0,65, thể hiện hiệu quả ở mức trung bình đến lớn. Ngoài ra, chỉ số mức độ tiến bộ tương đối của nhóm thực nghiệm đạt 0,52, trong khi nhóm đối chứng chỉ đạt 0,28. Điều này cho thấy nhóm học sinh tham gia học tập theo định hướng STEM đạt mức tăng trưởng kiến thức khá, cao gấp gần 1,9 lần so với nhóm học theo phương pháp truyền thống.

Phân tích chi tiết theo từng mảng kiến thức cho thấy: ở phần Điện học, tỉ lệ học sinh nhóm thực

nghiệm trả lời đúng đạt 82%, so với 65% ở nhóm đối chứng; ở phần Cơ học, tỉ lệ này lần lượt là 79% và 61%. Các kết quả trên cho thấy việc kết hợp lý thuyết với hoạt động thực hành và thiết kế sản

phẩm trong mô hình STEM đã giúp học sinh hiểu sâu, nhớ lâu và vận dụng kiến thức hiệu quả hơn.

4.2. Thực trạng về năng lực giải quyết vấn đề và tư duy thiết kế

Năng lực / Tiêu chí đánh giá	Nhóm học sinh	Điểm trung bình	Độ lệch chuẩn	Tỉ lệ phần trăm học sinh
Giải quyết vấn đề	Thực nghiệm (n=150)	3,4	0,48	73
	Đối chứng (n=150)	2,5	0,52	38
Tư duy thiết kế kỹ thuật	Thực nghiệm (n=150)	3,1	0,50	70
	Đối chứng (n=150)	2,4	0,55	35

Kết quả đánh giá bằng rubric bốn tiêu chí (xác định vấn đề, thiết kế – chế tạo, kiểm chứng kết quả, báo cáo – hợp tác) cho thấy học sinh nhóm thực nghiệm đạt sự tiến bộ rõ rệt so với nhóm đối chứng. Trong tổng số khoảng 150 học sinh nhóm thực nghiệm, có 73% đạt mức “Khá” hoặc “Tốt” về năng lực giải quyết vấn đề, trong khi ở nhóm đối chứng chỉ có 38%. Đối với năng lực tư duy thiết kế, tỉ lệ này ở nhóm thực nghiệm đạt 70%, so với 35% ở nhóm đối chứng.

Ở chủ đề chế tạo đèn năng lượng mặt trời, học sinh nhóm thực nghiệm không chỉ đề xuất được phương án thiết kế hợp lý mà còn biết tính toán công suất, lựa chọn linh kiện và lắp ráp thành công sản phẩm có khả năng chiếu sáng ổn định trong điều kiện thực tế. Điểm trung bình năng lực của học sinh trong chủ đề này đạt 3,2/4, cao hơn đáng kể so với 2,5/4 của nhóm đối chứng ($p < .01$).

Trong chủ đề đo gia tốc rơi tự do bằng cảm

biến, học sinh nhóm thực nghiệm thể hiện khả năng lập kế hoạch thí nghiệm, thu thập dữ liệu, vẽ đồ thị và tính toán sai số. Đặc biệt, hơn 65% học sinh nhóm thực nghiệm biết so sánh kết quả thu được với giá trị chuẩn và giải thích được nguyên nhân sai lệch, trong khi ở nhóm đối chứng tỉ lệ này chỉ đạt 28%. Điểm trung bình năng lực tư duy thiết kế trong chủ đề này ở nhóm thực nghiệm là 3,1/4, so với 2,4/4 của nhóm đối chứng.

Kết quả trên cho thấy việc triển khai dạy học theo định hướng STEM đã tạo cơ hội cho học sinh được trải nghiệm toàn bộ tiến trình thiết kế kỹ thuật (EDP), từ xác định vấn đề đến kiểm chứng và cải tiến giải pháp. Nhờ vậy, học sinh không chỉ nắm chắc kiến thức mà còn phát triển rõ rệt năng lực giải quyết vấn đề và tư duy thiết kế kỹ thuật – những năng lực quan trọng mà dạy học Vật lý truyền thống thường chưa phát huy được.

4.3. Thực trạng về thái độ và hứng thú học tập

Nhóm học sinh	Số lượng	Điểm trung bình trước khi thực nghiệm	Điểm trung bình sau khi thực nghiệm	Mức độ tiến bộ tương đối	Độ lớn tác động
Thực nghiệm (STEM)	150	3,4 (0,41)	4,1 (0,36)	0,7	0,95
Đối chứng	150	3,3 (0,39)	3,4 (0,40)	0,1	

Trước thực nghiệm, điểm trung bình thái độ của cả hai nhóm khá tương đồng: nhóm thực nghiệm đạt 3,4/5 ($SD = 0,41$) và nhóm đối chứng đạt 3,3/5 ($SD = 0,39$). Sau sáu tuần can thiệp, điểm trung bình thái độ của nhóm thực nghiệm tăng lên 4,1/5 ($SD = 0,36$), trong khi nhóm đối chứng chỉ nhích nhẹ lên 3,4/5 ($SD = 0,40$). Phân tích t-test độc lập cho thấy sự khác biệt hậu kiểm giữa hai nhóm có ý

nghĩa thống kê ($p < .01$), với hệ số tác động độ lớn tác động = 0,95, phản ánh ảnh hưởng ở mức lớn.

Phân tích chi tiết cho thấy, học sinh nhóm thực nghiệm đặc biệt cải thiện ở các khía cạnh “hứng thú học tập” và “nhận thức giá trị thực tiễn của môn học”. Cụ thể, 78% học sinh nhóm thực nghiệm đồng ý hoặc hoàn toàn đồng ý rằng “môn Vật lý trở nên gần gũi và hữu ích trong đời

sống”, so với chỉ 42% ở nhóm đối chứng. Tương tự, 74% học sinh nhóm thực nghiệm cho biết các hoạt động STEM khiến các em “tích cực tham gia thảo luận và hợp tác nhóm hơn”, trong khi nhóm đối chứng chỉ đạt 40%.

Ngoài dữ liệu định lượng, phản hồi định tính từ phỏng vấn ngắn cũng cho thấy học sinh nhóm thực nghiệm đánh giá cao tính thực tiễn và thú vị của các hoạt động STEM. Các em cho rằng việc được trực tiếp chế tạo sản phẩm, tiến hành thí nghiệm và trình bày kết quả đã giúp mình “hiểu sâu kiến thức, bớt nhàm chán, và thấy Vật lý có ích cho nghề nghiệp tương lai”. Điều này chứng minh rằng mô hình STEM không chỉ cải thiện thành tích học tập mà còn góp phần thay đổi thái độ và tạo động lực học tập tích cực cho học sinh.

4.4. Biện pháp ứng dụng STEM trong dạy Vật lý ở trường phổ thông

Trước hết, việc bồi dưỡng năng lực cho giáo viên là điều kiện tiên quyết, trong đó chú trọng tập huấn về thiết kế bài học theo mô hình 5E kết hợp quy trình thiết kế kỹ thuật (EDP), sử dụng thiết bị thí nghiệm hiện đại và phương pháp đánh giá bằng rubric. Song song với đó, cần xây dựng ngân hàng bài học và dự án STEM chi phí thấp, kèm theo khung giáo án chuẩn hóa để đảm bảo tính khả thi và đồng bộ giữa các lớp.

Trong quá trình tổ chức dạy học, nên áp dụng hình thức học theo nhóm nhỏ với sự phân vai rõ ràng (nhóm trưởng, kỹ thuật, an toàn, thư ký, thuyết trình), kết hợp huấn luyện an toàn ngay trước mỗi buổi thực hành nhằm giảm thiểu rủi ro. Hệ thống đánh giá đa dạng cần được triển khai, bao gồm: kiểm tra kiến thức trước và sau thực

nhệm, đánh giá năng lực bằng rubric bốn tiêu chí, đồng thời khảo sát thái độ và hứng thú học tập bằng thang đo Likert. Việc tận dụng thiết bị sẵn có tại trường nghề và smartphone của học sinh làm công cụ đo đạc cũng giúp tiết kiệm chi phí, đồng thời gắn kết hoạt động học tập với bối cảnh nghề nghiệp thực tiễn.

Ngoài ra, cần chú trọng lồng ghép kiến thức liên môn và bối cảnh nghề nhằm tăng tính thực tiễn. Công tác quản lý thời khóa biểu cũng cần linh hoạt, ưu tiên tiết đôi cho hoạt động thực hành, đảm bảo tiến độ và chất lượng dự án. Đặc biệt, cần xây dựng hệ thống theo dõi – cải tiến liên tục theo chu trình PDCA, với minh chứng là chỉ số mức độ tiến bộ tương đối, độ lớn tác động, tỷ lệ học sinh đạt Khá – Tốt và mức độ an toàn trong quá trình học. Cuối cùng, việc tổ chức triển lãm sản phẩm, chia sẻ kinh nghiệm và truyền thông nội bộ sẽ tạo động lực học tập, lan tỏa thực hành tốt và góp phần khẳng định giá trị của mô hình STEM trong dạy học Vật lý ở trường phổ thông và các cơ sở nghề nghiệp.

V. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy việc ứng dụng STEM trong dạy học Vật lý đã giúp học sinh nắm vững kiến thức hơn, phát triển rõ rệt năng lực giải quyết vấn đề và tư duy thiết kế, đồng thời tạo được hứng thú học tập. Nhóm thực nghiệm đạt điểm hậu kiểm và tỉ lệ Khá – Tốt cao hơn hẳn nhóm đối chứng, với mức tăng trưởng và hiệu quả tác động đều đáng kể. Điều này khẳng định tính khả thi và ý nghĩa thực tiễn của mô hình STEM, có thể triển khai rộng rãi ở trường phổ thông và cơ sở giáo dục nghề nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA Press.
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- Johnson, C. C., Peters-Burton, E. E., & Moore, T. J. (Eds.). (2015). *STEM road map: A framework for integrated STEM education*. Routledge.
- Nguyễn, T. H. N., & Lê, T. H. (2021). Vận dụng giáo dục STEM trong dạy học Vật lý trung học phổ thông. *Tạp chí Giáo dục*, 497(1), 32–36.
- Nguyễn, V. B., & Đặng, T. T. T. (2019). Tổ chức dạy học Vật lý theo định hướng STEM nhằm phát triển năng lực học sinh. *Tạp chí Khoa học Giáo dục Việt Nam*, 15(3), 45–52.
- Sanders, M. E. (2009). STEM, STEM education, STEMmania. *The Technology Teacher*, 68(4), 20–26.
- Trần, T. N., & Nguyễn, T. M. H. (2020). Giáo dục STEM trong dạy học Vật lý ở trường phổ thông: Thực trạng và giải pháp. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Sư phạm Hà Nội*, 65(5), 101–112.
- Wang, H.-H., Moore, T. J., Roehrig, G. H., & Park, M. S. (2011). STEM integration: Teacher perceptions and practice. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 1(2), 1–13. <https://doi.org/10.5703/1288284314636>
- Yildirim, B. (2016). An experimental research on effects of STEM applications and mastery learning. *Journal of Education and Training Studies*, 4(6), 232–243. <https://doi.org/10.11114/jets.v4i6.1486>