

PHÁT TRIỂN VẬT LIỆU QUANG XÚC TÁC CẤU TRÚC SPINEL ĐỂ PHÂN HỦY METHYLENE BLUE TRONG XỬ LÝ NƯỚC THẢI

Võ Châu Ngọc Anh^{1,2*}, Nguyễn Thị Thảo Uyên²

¹ Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

² Trường Đại học Y - Dược, Đại học Huế

*Email: vcnanh@hueuni.edu.vn

Ngày nhận bài: 31/12/2024; ngày hoàn thành phản biện: 7/01/2025; ngày duyệt đăng: 24/4/2025

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung vào tổng hợp và phân tích vật liệu quang xúc tác cobalt ferrite (CoFe_2O_4) cấu trúc spinel bằng phương pháp thủy nhiệt. Các đặc trưng cấu trúc, quang học và nhiệt được xác định qua các kỹ thuật như XRD, SEM, EDX, Raman và TG-dTG. Hiệu quả phân hủy methylene blue (MB) dưới ánh sáng khả kiến được đánh giá, cho thấy khả năng hấp phụ mạnh và phân hủy vượt trội. Vật liệu được chế tạo với kích thước hạt đồng nhất, hình thái tối ưu và khả năng tái sử dụng cao. Với 0.05 g vật liệu cho hiệu suất phân hủy MB ở nồng độ 10 ppm đạt 84,1% sau 120 phút chiếu sáng, CoFe_2O_4 chứng minh tiềm năng lớn trong xử lý nước thải chứa hợp chất hữu cơ bền vững. Ngoài ra, khả năng hấp phụ trong bóng tối và động học bậc nhất giả định đã nhấn mạnh cơ chế quang xúc tác độc đáo của vật liệu. Nghiên cứu cung cấp giải pháp khoa học hữu ích cho xử lý môi trường, đồng thời mở ra hướng đi triển vọng trong thiết kế vật liệu quang xúc tác hiệu quả, chi phí thấp và bền vững.

Từ khóa: Cobalt ferrite, methylene blue, quang xúc tác, thủy nhiệt, vật liệu spinel

1. MỞ ĐẦU

Cấu trúc spinel, đặc biệt là cobalt ferrite (CoFe_2O_4), đã nhận được sự quan tâm đáng kể trong nghiên cứu khoa học vật liệu tiên tiến nhờ sự kết hợp độc đáo giữa tính chất quang xúc tác và từ tính [1], [2]. Với cấu trúc tinh thể bền vững, độ ổn định hóa học và nhiệt cao, cùng khả năng điều chỉnh các đặc tính điện và từ bằng cách thay đổi thành phần, CoFe_2O_4 được kỳ vọng sẽ đóng vai trò quan trọng trong các ứng dụng công nghiệp và môi trường [1], [3]. Đặc biệt, khả năng quang xúc tác của cobalt ferrite dưới ánh sáng

khả kiến được xem là giải pháp tiềm năng để giải quyết các vấn đề liên quan đến xử lý ô nhiễm nước thải chứa các chất hữu cơ bền vững như methylene blue (MB) [4], [5].

Methylene blue, một loại thuốc nhuộm hữu cơ phổ biến trong ngành công nghiệp dệt may, giấy và nhựa, không chỉ gây ô nhiễm môi trường nghiêm trọng mà còn rất khó phân hủy tự nhiên, dẫn đến những hệ lụy lâu dài đối với môi trường và sức khỏe con người. Do đó, việc nghiên cứu và phát triển các vật liệu xúc tác có khả năng phân hủy MB hiệu quả dưới ánh sáng khả kiến mang ý nghĩa khoa học và thực tiễn ứng dụng đa lĩnh vực [6], [7].

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Hóa chất

Các hóa chất được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm cobalt (II) nitrate hexahydrate ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Merck, Đức), iron (III) nitrate nonahydrate ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, Merck, Đức), tinh bột tan (Xilong, Trung Quốc) và xanh methylene ($\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{SCL}$, Merck, Đức) đều đạt chuẩn có độ tinh khiết cao.

2.2. Thiết bị

Thành phần pha tinh thể của vật liệu được xác định thông qua phân tích nhiễu xạ tia X (XRD), thực hiện trên thiết bị Bruker D8-Advance (Đức). Hình thái bề mặt và cấu trúc của vật liệu được khảo sát bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) sử dụng thiết bị Hitachi S-4800 (Nhật Bản). Thành phần hóa học và sự phân bố nguyên tố trong không gian được phân tích thông qua phổ tán sắc năng lượng tia X (EDX-Mapping), thực hiện trên thiết bị Horiba 7593-H. Phân tích nhiệt trọng lượng (TG-dTG) được tiến hành bằng thiết bị PYRIS Diamond của hãng Perkin Elmer (Mỹ). Các dao động đặc trưng của nhóm nguyên tử, phân tử, và mạng tinh thể của vật liệu được nghiên cứu thông qua phổ Raman, đo bằng thiết bị Horiba (Mỹ). Phổ UV-Vis của vật liệu được ghi nhận trên thiết bị UViline 9400 và máy quang phổ SPECORD 50 UV-VIS của hãng Analytik Jena AG, sử dụng cuvet thạch anh, nhằm đánh giá các đặc tính quang học liên quan.

2.3. Tổng hợp vật liệu CoFe_2O_4

Vật liệu CoFe_2O_4 được tổng hợp bằng phương pháp thủy nhiệt, sử dụng các tiền chất chính gồm $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, và tinh bột tan (PA, Trung Quốc). Hỗn hợp các tiền chất được chuẩn bị theo tỷ lệ mol Co:Fe:tinh bột:H₂O là 2:1:4,5:540. Quá trình bắt đầu bằng việc khuấy đều hỗn hợp và đun nóng ở nhiệt độ 80–85 °C trong 1 giờ để đảm bảo quá trình thủy phân tinh bột diễn ra hoàn toàn. Sau giai đoạn thủy phân, hỗn hợp được chuyển vào bình phản ứng Teflon và xử lý thủy nhiệt ở nhiệt độ 180 °C trong thời gian 24 giờ. Sản phẩm sau phản ứng được làm sạch qua nhiều lần rửa, lọc ly tâm và sấy khô ở 100 °C trong 24 giờ để thu được sản phẩm cuối cùng.

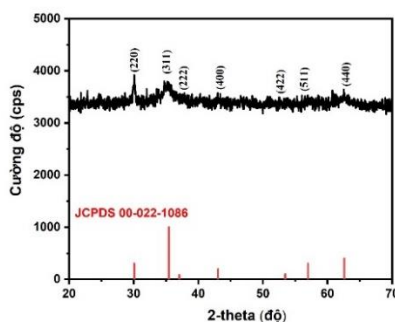
2.4. Khảo sát sự phân hủy xanh methylene của vật liệu

Khả năng ứng dụng của vật liệu spinel cobalt ferrite làm xúc tác quang được đánh giá thông qua quá trình phân hủy dung dịch methylene blue (MB). Trong thí nghiệm, 0,05 g vật liệu được phân tán trong 100 mL dung dịch MB có nồng độ 10 ppm, đặt trong bình tam giác dung tích 250 mL. Để đạt trạng thái cân bằng hấp phụ, hỗn hợp được giữ trong bóng tối và khuấy liên tục bằng máy khuấy từ trong 60 phút. Sau giai đoạn cân bằng, mẫu được chiếu sáng trong tủ quang hóa sử dụng nguồn sáng từ đèn Osram (200 W) mô phỏng ánh sáng khả kiến. Tại các thời điểm định trước, 5 mL dung dịch được lấy ra, ly tâm để tách loại vật liệu xúc tác, và nồng độ MB còn lại trong dung dịch được xác định bằng phương pháp quang phổ hấp thụ tử ngoại - khả kiến (UV-Vis). Quá trình đo đạc được thực hiện trên thiết bị Spectro 2000 Spectrophotometer, với bước sóng hấp thụ đặc trưng của MB là 664 nm.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

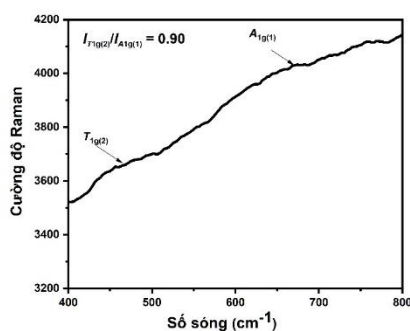
3.1. Đặc trưng vật liệu

Hình 1 trình bày giản đồ nhiễu xạ tia X (XRD) của vật liệu tổng hợp CoFe_2O_4 , với các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng được xác định tại các giá trị góc 2-theta tương ứng với các mặt mạng tinh thể (220), (311), (222), (400), (422), (511), và (440). Các đỉnh này cho thấy sự phù hợp cao so với các giá trị tham chiếu từ dữ liệu JCPDS số 00-022-1086, từ đó xác nhận cấu trúc spinel đặc trưng của vật liệu CoFe_2O_4 [8–10].



Hình 1. Giản đồ XRD của CoFe_2O_4 .

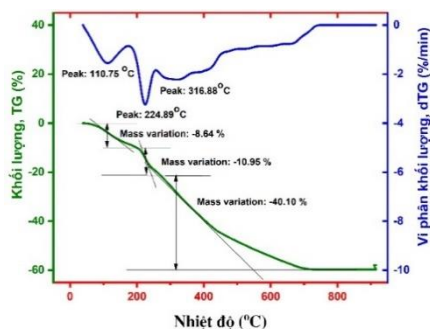
Hình 2 trình bày phổ Raman của vật liệu CoFe_2O_4 , trong đó các đỉnh đặc trưng đã được ghi nhận tại các vị trí số sóng, tương ứng với các dao động đặc trưng của cấu trúc spinel CoFe_2O_4 . Các dao động $T_{1g(2)}$ và $A_{1g(1)}$ được xác định rõ ràng, với tỷ lệ cường độ $I_{T_{1g(2)}}/I_{A_{1g(1)}}$ được tính toán là 0,90, cho thấy sự phân bố cân đối của các ion trong mạng tinh thể [11].



Hình 2. Phổ Raman của CoFe_2O_4 .

Hình 3 trình bày giản đồ nhiệt trọng lượng (TG) và vi phân nhiệt trọng lượng (dTG) của vật liệu CoFe_2O_4 , với mục đích phân tích sự thay đổi khối lượng theo nhiệt độ. Đường TG (màu xanh lá) cho thấy ba giai đoạn mất khối lượng rõ rệt, trong khi đường dTG (màu xanh dương) hiển thị các đỉnh tương ứng với tốc độ giảm khối lượng tại các nhiệt độ xác định [8].

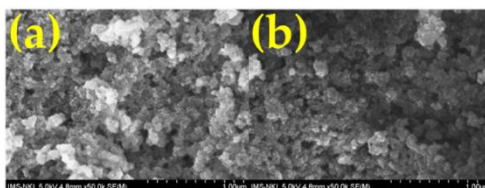
Ở giai đoạn đầu, từ 25 °C đến khoảng 200 °C, một sự giảm khối lượng nhẹ (8,64%) tại 110,75 °C được quan sát, chủ yếu liên quan đến sự bay hơi của nước hấp phụ bề mặt vật liệu. Giai đoạn thứ hai, từ 200 °C đến khoảng 400 °C, ghi nhận một sự mất khối lượng lớn hơn (10,95%) tại 224,89 °C, có thể được giải thích bởi sự chuyển hóa carbon vô định hình, được hình thành từ tinh bột trong quá trình thủy nhiệt, thành CO_2 khi nhiệt độ tăng. Giai đoạn thứ ba, từ 400 °C đến khoảng 800 °C, thể hiện sự mất khối lượng mạnh nhất (40,10%) tại 316,88 °C, có thể liên quan đến liên quan đến sự phân hủy hoàn toàn của carbon vô định hình còn sót lại trong cấu trúc vật liệu ở giai đoạn này. Sau 800 °C, khối lượng trở nên ổn định, cho thấy rằng vật liệu đã đạt trạng thái nhiệt động học ổn định.



Hình 3. Giản đồ TG-dTG của vật liệu CoFe_2O_4 .

Hình 4 trình bày ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) của vật liệu CoFe_2O_4 , cho thấy cấu trúc bề mặt và hình thái học của các hạt. Các hạt được quan sát có kích thước nằm trong phạm vi nano và phân bố tương đối đồng đều, thể hiện sự đồng nhất về cấu trúc của vật liệu. Sự hiện diện của các hạt có hình dạng gần cầu được ghi nhận, với một số

hạt có xu hướng kết tụ lại tạo thành các cụm lớn hơn. Điều này được cho là do tương tác mạnh giữa các hạt nano, một đặc tính thường thấy ở các vật liệu từ tính nano.

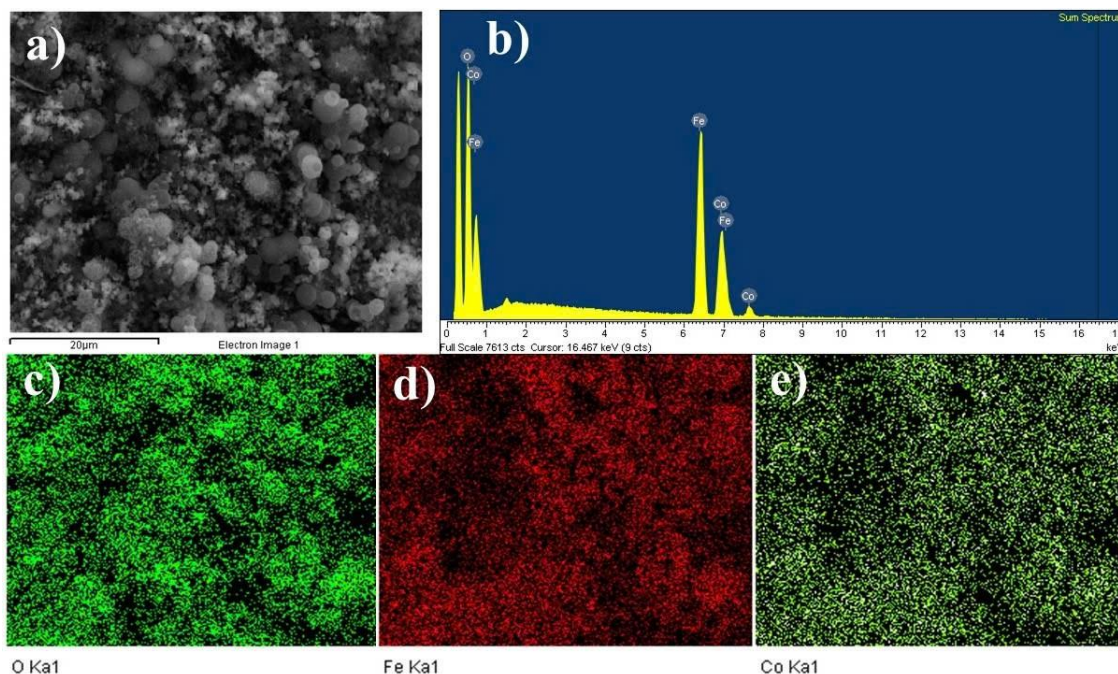


Hình 4. Ảnh SEM của CoFe₂O₄.

Hình 5 trình bày kết quả phân tích EDX và bản đồ nguyên tố (EDX-mapping) của vật liệu CoFe₂O₄, bao gồm các hình ảnh và dữ liệu minh họa sự phân bố các nguyên tố trong mẫu.

Phần (a) là ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) của vật liệu, hiển thị cấu trúc bề mặt với sự phân bố đồng đều của các hạt nano trong mẫu. Phổ EDX được trình bày trong phần (b) xác nhận sự hiện diện của các nguyên tố chính là O, Fe và Co. Tỷ lệ nguyên tử của các nguyên tố cũng được xác định là 68,16% (O), 21,07% (Fe) và 10,78% (Co), phù hợp với thành phần hóa học mong đợi của CoFe₂O₄.

Phân bố của các nguyên tố này được thể hiện rõ qua các bản đồ phân bố nguyên tố trong các hình (c), (d) và (e), tương ứng với O, Fe và Co. Sự phân bố đồng đều của các nguyên tố này trong toàn bộ vùng khảo sát chỉ ra rằng quá trình tổng hợp đã tạo ra một vật liệu đồng nhất, không có sự tách pha hoặc phân lớp.

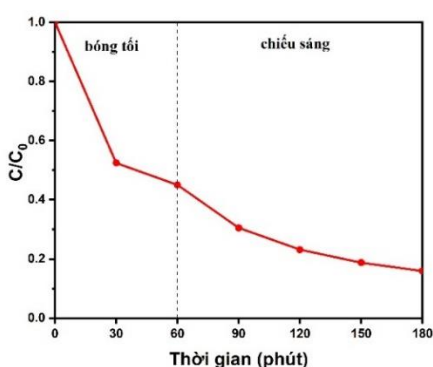


Hình 5. EDX-mapping của CoFe₂O₄.

3.2. Hoạt tính xúc tác quang của vật liệu CoFe₂O₄

Hình 6 thể hiện hoạt tính phân hủy quang xúc tác của thuốc nhuộm methylene blue (MB) dưới tác động của vật liệu CoFe_2O_4 theo thời gian, được biểu diễn qua đồ thị tỷ lệ C/C_0 (nồng độ MB so với ban đầu) phụ thuộc vào thời gian (phút).

Trong giai đoạn bóng tối, giá trị C/C_0 giảm từ 1 xuống khoảng 0,4, cho thấy khả năng hấp phụ của vật liệu CoFe_2O_4 đối với MB. Khi chuyển sang giai đoạn chiếu sáng (từ 60 phút trở đi), giá trị C/C_0 tiếp tục giảm mạnh và có xu hướng bão hòa ở mức dưới 0,2. Điều này thể hiện hiệu quả phân hủy quang xúc tác cao của vật liệu CoFe_2O_4 . Sự giảm nhanh của nồng độ MB trong giai đoạn này chứng tỏ các electron và lỗ trống (e^- và h^+) được sinh ra dưới ánh sáng đã tham gia vào các phản ứng oxy hóa khử, dẫn đến việc phá vỡ cấu trúc phân tử MB.

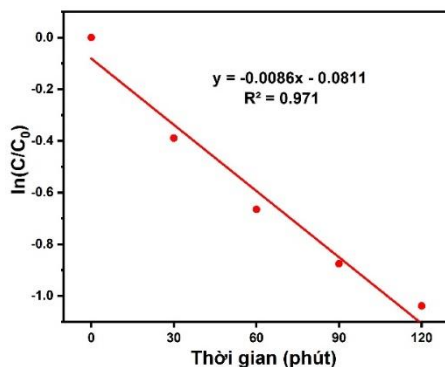


Hình 6. Hoạt tính phân hủy quang xúc tác cho thuốc nhuộm MB của vật liệu CoFe_2O_4 theo thời gian. (ĐKTN: $V_{dd}=100\text{ mL}$, $C_{MB}=10\text{ ppm}$, $m_{xúc\text{ tác}}=0,05\text{ g}$, thời gian bóng tối: 60 phút; thời gian chiếu sáng: 120 phút, nhiệt độ phòng, $\lambda_{max}=664\text{ nm}$).

Hình 7 trên thể hiện đồ thị của phương trình động học bậc nhất giả định, được biểu diễn bởi phương trình: $\ln \frac{C}{C_0} = -kt$ [13]

Trong đó: C: Nồng độ chất ô nhiễm (MB) tại thời điểm t; C_0 : Nồng độ chất ô nhiễm ban đầu; k: Hằng số tốc độ phản ứng (phút^{-1}); t: Thời gian (phút).

Đồ thị có dạng đường thẳng với phương trình hồi quy tuyến tính $y = -0.0086x - 0.0811$; $R^2=0,971$, chỉ ra rằng mối quan hệ tuyến tính giữa $\ln(C/C_0)$ và thời gian rất chặt chẽ, cho thấy phản ứng phân hủy MB tuân theo động học bậc nhất.



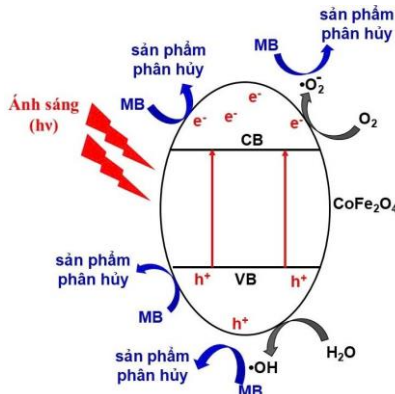
Hình 7. Đường $\ln(C/C_0)$ theo thời gian phản ứng $\ln \frac{C}{C_0} = -kt$ (ĐKTN: $V_{dd}=100$ mL, $C_{MB}= 10$ ppm, $m_{xúc\ tác} = 0,05$ g, thời gian chiếu sáng: 120 phút, nhiệt độ phòng, $\lambda_{max} = 664$ nm).

Bảng 1. Thông số động học và hiệu suất của vật liệu quang xúc tác $CoFe_2O_4$

Vật liệu	H(%)	k (10^{-3} .phút ⁻¹)	R ²
$CoFe_2O_4$	84,1	8,6	0,971

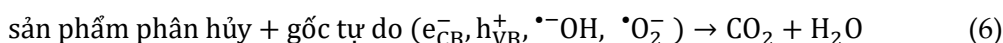
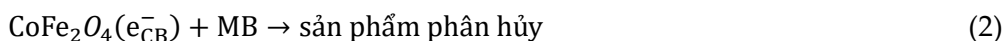
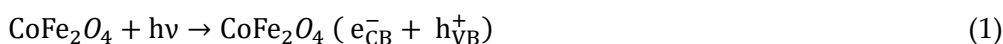
Hằng số tốc độ k được tính từ độ dốc của đường hồi quy ($k = 0,0086$ phút⁻¹). Giá trị này cho thấy tốc độ phân hủy MB tương đối cao, phù hợp với đặc tính của hệ quang xúc tác $CoFe_2O_4$, vốn có khả năng sinh ra cặp electron-lỗ trống hiệu quả khi chiếu sáng. Hiệu suất phân hủy MB sau 120 phút được tính là 84,1%, như mô tả trong bảng. Việc MB tuân theo động học bậc nhất ngụ ý rằng tốc độ phản ứng chủ yếu phụ thuộc vào nồng độ MB trong dung dịch tại thời điểm t . Điều này cho thấy các lỗ trống (h^+) hoặc gốc tự do hydroxyl ($\cdot OH$) sinh ra trong quá trình quang xúc tác đã tham gia vào phản ứng phân hủy MB. Do đó thấy được vật liệu có khả năng ứng dụng cao trong xử lý nước thải và môi trường, đồng thời cung cấp một hướng đi triển vọng trong nghiên cứu vật liệu quang xúc tác hiệu quả.

Hình 8 mô tả dự đoán cơ chế phân hủy quang xúc tác của methylene blue (MB) trên vật liệu $CoFe_2O_4$, được hỗ trợ bởi các phương trình phản ứng và sơ đồ minh họa chi tiết.



Hình 8. Dự đoán cơ chế phân hủy MB trên chất xúc tác $CoFe_2O_4$.

Dự đoán cơ chế



Khi vật liệu CoFe_2O_4 được chiếu sáng ($h\nu$), các electron (e^-) tại vùng hóa trị (VB) được kích thích và chuyển lên vùng dẫn (CB), để lại các lỗ trống (h^+) trong VB. Quá trình này được biểu diễn qua phương trình (1) [14]. Các điện tử (e_{CB}^-) tại vùng dẫn tương tác với phân tử MB hình thành các sản phẩm phân hủy như hợp chất trung gian và các sản phẩm cuối cùng không độc hại hơn như CO_2 và H_2O được biểu diễn qua phương trình (2). Lỗ trống ($h\nu_{VB}^+$) tại VB tương tác với nước (H_2O), tạo thành các gốc hydroxyl ($\cdot\text{OH}$), như thể hiện trong phương trình (3). Các gốc $\cdot\text{OH}$ là chất oxy hóa mạnh, có khả năng phân hủy trực tiếp các phân tử MB thông qua quá trình oxy hóa. MB bị phân hủy bởi gốc $\cdot\text{OH}$ thông qua oxy hóa, dẫn đến sản phẩm phân hủy (4). Đồng thời, lỗ trống ($h\nu_{VB}^+$) cũng có thể tham gia trực tiếp vào phản ứng với MB, như biểu diễn qua phương trình (5). Cơ chế này cho thấy rằng không chỉ các gốc tự do mà cả các lỗ trống cũng đóng vai trò quan trọng trong việc phân hủy chất ô nhiễm. Các sản phẩm phân hủy ban đầu tiếp tục phản ứng với các gốc tự do (e_{CB}^- , $h\nu_{VB}^+$, $\cdot\text{OH}$, $\cdot\text{O}_2^-$) dẫn đến sự chuyển đổi thành các sản phẩm cuối cùng là CO_2 và H_2O , như thể hiện trong phương trình (6). Hệ xúc tác CoFe_2O_4 đã được chứng minh là hiệu quả trong việc phân hủy MB thông qua các phản ứng quang xúc tác phức tạp. Cơ chế này không chỉ làm sáng tỏ các bước phản ứng mà còn nhấn mạnh tầm quan trọng của việc thiết kế vật liệu ứng dụng tốt trong lĩnh vực môi trường [8].

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu đã khẳng định thành công trong việc tổng hợp vật liệu CoFe_2O_4 bằng phương pháp thủy nhiệt, với cấu trúc tinh thể đồng nhất và khả năng quang xúc tác cao. Vật liệu được chứng minh là có hiệu quả trong việc phân hủy methylene blue dưới ánh sáng khả kiến, với hiệu suất đạt 84,1% sau 120 phút. Sự kết hợp giữa các đặc tính quang học và hóa lý ổn định của CoFe_2O_4 đã giúp tối ưu hóa hoạt tính quang xúc tác, đồng thời mở ra tiềm năng ứng dụng trong các hệ thống xử lý môi trường. Các phát hiện từ nghiên cứu không chỉ đóng góp vào nền tảng khoa học về vật liệu spinel mà còn đưa ra giải pháp thân thiện với môi trường, góp phần giảm thiểu tác động ô nhiễm và bảo vệ nguồn nước.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài Khoa học và công nghệ cấp Đại học Huế, mã số DHH2023-04-201.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. Ismael (2021). "Ferrites as solar photocatalytic materials and their activities in solar energy conversion and environmental protection: a review," *Sol. energy Mater. Sol. cells*, vol. 219, p. 110786.

- [2] M. Ismael (2023). "Environmental remediation and sustainable energy generation via photocatalytic technology using rare earth metals modified g-C₃N₄: A review," *J. Alloys Compd.*, vol. 931, p. 167469.
- [3] M. T. Rahman (2014). *Synthesis, microstructure and performance evaluation of gadolinium incorporated cobalt ferrite ceramics*. The University of Texas at El Paso.
- [4] M. Ismael (2022). "Photo-Fenton reaction enhanced visible-light activity of p-Photo-Fenton reaction enhanced visible-light activity of p-CuFe₂O₄/ng-C₃N₄ heterojunction composites synthesized by a simple ultrasonic-assisted route for organic pollutants degradation," *Mater. Res. Bull.*, vol. 151, p. 111803.
- [5] M. Ismael and M. Wark (2022). "Photocatalytic activity of CoFe₂O₄/g-C₃N₄ nanocomposite toward degradation of different organic pollutants and their inactivity toward hydrogen production: The role of the conduction band position," *FlatChem*, vol. 32, p. 100337.
- [6] Z. Lin, B. Yu, and J. Huang (2020). "Cellulose-Derived Hierarchical g-C₃N₄/TiO₂-Nanotube Heterostructured Composites with Enhanced Visible-Light Photocatalytic Performance," *Langmuir*, vol. 36, no. 21, pp. 5967–5978, doi: 10.1021/acs.langmuir.0c00847.
- [7] J. S. Roy, G. Dugas, S. Morency, S. J. L. Ribeiro, and Y. Messaddeq (2020). "Enhanced photocatalytic activity of silver vanadate nanobelts in concentrated sunlight delivered through optical fiber bundle coupled with solar concentrator," *SN Appl. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–11, doi: 10.1007/s42452-020-1969-z.
- [8] A. Kalam *et al.* (2018). "Modified solvothermal synthesis of cobalt ferrite (CoFe₂O₄) magnetic nanoparticles photocatalysts for degradation of methylene blue with H₂O₂/visible light," *Results Phys.*, vol. 8, pp. 1046–1053, doi: 10.1016/j.rinp.2018.01.045.
- [9] J. Jiang and L. H. Ai (2010). "Synthesis and characterization of Fe–Co binary ferrosphenel nanospheres via one-step nonaqueous solution pathway," *Mater. Lett.*, vol. 64, no. 8, pp. 945–947.
- [10] B. Abraime *et al.* (2020). "Influence of synthesis methods with low annealing temperature on the structural and magnetic properties of CoFe₂O₄ nanopowders for permanent magnet application," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 500, p. 166416.
- [11] Y. Kumar and P. M. Shirage (2017). "Highest coercivity and considerable saturation magnetization of CoFe₂O₄ nanoparticles with tunable band gap prepared by thermal decomposition approach," *J. Mater. Sci.*, vol. 52, no. 9, pp. 4840–4851, doi: 10.1007/s10853-016-0719-5.
- [12] R. Ahmad and P. K. Mondal (2012). "Adsorption and Photodegradation of Methylene Blue by Using PANi/TiO₂ Nanocomposite," *J. Dispers. Sci. Technol.*, vol. 33, no. 3, pp. 380–386, doi: 10.1080/01932691.2011.567172.
- [13] P. Sathishkumar, R. V. Mangalaraja, S. Anandan, and M. Ashokkumar (2013). "CoFe₂O₄/TiO₂ nanocatalysts for the photocatalytic degradation of Reactive Red 120 in aqueous solutions in the presence and absence of electron acceptors," *Chem. Eng. J.*, vol. 220, pp. 302–310, doi: 10.1016/j.cej.2013.01.036.
- [14] D. F. Zhao, H. Yang, R. S. Li, J. Y. Ma, and W. J. Feng (2014). "Fabrication of nickel ferrite–graphene nanocomposites and their photocatalytic properties," *Mater. Res. Innov.*, vol. 18, no. 7, pp. 519–523, doi: 10.1179/1433075X13Y.0000000178.

DEVELOPMENT OF SPINEL-STRUCTURED PHOTOCATALYTIC MATERIAL FOR DECOMPOSING METHYLENE BLUE IN WASTEWATER TREATMENT

Vo Chau Ngoc Anh^{1,2,*}, Nguyen Thi Thao Uyen¹

¹University of Sciences, Hue University

²University of Medicine and Pharmacy, Hue University

*Email: vcnanh@hueuni.edu.vn

ABSTRACT

This study synthesizes cobalt ferrite (CoFe_2O_4) photocatalytic material with a spinel structure by the hydrothermal method. The structural, optical, and thermal characteristics were determined using advanced techniques, including XRD, SEM, EDX, Raman, and TG-dTG. The photocatalytic efficiency of methylene blue (MB) degradation under visible light was evaluated, demonstrating remarkable adsorption and degradation capabilities. The material was synthesized with uniform particle size, optimal morphology, and high reusability. With a degradation efficiency of 84.1% after 120 minutes of light exposure, CoFe_2O_4 exhibits significant potential for treating wastewater containing persistent organic compounds. Furthermore, its adsorption ability in the dark and the first-order kinetic behavior of the degradation process highlight the material's unique photocatalytic mechanism. This research provides a valuable scientific solution for environmental remediation and introduces a promising approach to designing cost-effective, sustainable, and efficient photocatalytic materials.

Keywords: Cobalt ferrite, methylene blue, photocatalysis, hydrothermal, spinel material.



Võ Châu Ngọc Anh sinh ngày 26/11/1992 tại Thừa Thiên Huế. Bà tốt nghiệp cử nhân sư phạm Hóa học năm 2014 và nhận bằng thạc sĩ Hóa phân tích năm 2017 tại trường Đại học Sư phạm, Đại học Huế. Bà công tác tại Khoa Cơ bản, trường Đại học Y – Dược, Đại học Huế từ năm 2016.

Lĩnh vực nghiên cứu: Vật liệu nano, ứng dụng vật liệu nano trong quang xúc tác.



Nguyễn Thị Thảo Uyên sinh ngày 06/12/2000 tại Thừa Thiên Huế. Bà tốt nghiệp cử nhân ngành Hóa học năm 2022 tại Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế.

Lĩnh vực nghiên cứu: Vật liệu nano, ứng dụng vật liệu nano trong quang xúc tác.