

# NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VÀ KHẢ NĂNG QUANG XÚC TÁC PHÂN HỦY CHẤT MÀU HỮU CƠ CỦA VẬT LIỆU NANO TỔ HỢP $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$ FABRICATION OF $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$ NANOCOMPOSITE AND PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF ORGANIC DYES

Mai Quân Đoàn<sup>1,2</sup>, Hoàng Văn Tuấn<sup>1,3\*</sup>, Vũ Ngọc Phan<sup>3</sup>, Chu Xuân Quang<sup>4</sup>, Lê Anh Tuấn<sup>3\*</sup>  
Lê Minh Tùng<sup>5\*\*</sup>

<sup>1</sup>*Viện Tiên tiến khoa học và công nghệ, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội*

<sup>2</sup>*Viện Vật lý kỹ thuật, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội,*

<sup>3</sup>*Viện Nghiên cứu nano, Trường Đại học Phenikaa*

<sup>4</sup>*Trung tâm Công nghệ vật liệu, Viện Ứng dụng công nghệ*

<sup>5</sup>*Trường Đại học Tiền Giang*

Đến toà soạn ngày 17/7/2019, chấp nhận đăng ngày 12/8/2019

**Tóm tắt:** Trong bài báo này, vật liệu nano tổ hợp  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  được chế tạo bằng phương pháp hóa học ướt. Các đặc trưng về cấu trúc pha tinh thể, tính chất quang, tính chất từ của vật liệu được khảo sát bằng phương pháp phân tích nhiễu xạ tia X (XRD), phổ hấp phụ phân tử UV-vis, phân tích từ kế mẫu rung (VSM). Kết quả cho thấy, vật liệu chế tạo được có cấu trúc đơn pha, có từ tính tốt, hấp phụ ánh sáng ở vùng khả kiến và có khả năng quang xúc tác phân hủy chất màu xanh methylen (MB) tốt ở điều kiện chiếu ánh sáng khả kiến. Hiệu suất phân hủy chất màu MB của vật liệu đạt 90,1% sau 85 phút chiếu. Vật liệu nano tổ hợp  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  cho thấy tiềm năng ứng dụng trong quang xúc tác làm sạch môi trường ở điều kiện ánh sáng khả kiến, có thể dễ dàng thu hồi và tái sử dụng vật liệu.

**Từ khóa:** Vật liệu nano bạc tổ hợp, quang xúc tác, phân hủy chất màu, ô nhiễm hữu cơ, làm sạch môi trường.

**Abstract:** In this work,  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  nanocomposite were fabricated by wet chemical methods. The characteristics of crystal phase structure, optical and magnetic properties of nanocomposite were investigated by X-ray diffraction analysis (XRD), UV-Vis absorbance spectra, vibration sample magnetometer (VSM). The results showed that the nanocomposite has a single-phase structure, good magnetism, light absorption in the visible light. The photocatalytic activity for methylene blue (MB) degradation was enhanced in the test conditions. MB degradation efficiency reached 90.1% after 85 minutes irradiation.  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  nanocomposite show high potential applications in photocatalyst for environment treatment in visible light conditions. It can be easily recovered and reused for water treatment.

**Keywords:** Silver nanocomposite, photocatalytic, dye degradation, organic pollution, environmental treatment.

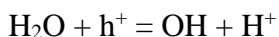
## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vấn đề ô nhiễm môi trường đã và đang là một trong những thách thức không nhỏ mà xã hội phải đối mặt trong sự phát triển của nền kinh tế, đặc biệt là sự bùng nổ của cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ 4. Có nhiều phương pháp, giải pháp kỹ thuật đã được áp

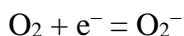
dụng cho xử lý môi trường, đặc biệt là xử lý nước bị ô nhiễm bởi các hợp chất màu khó phân hủy như thuốc nhuộm xanh methylen (MB), Rhodamin B, tím violets,..., và một trong những cách tiếp cận được các nhà khoa học, nhà công nghệ quan tâm là sử dụng các loại vật liệu nano có hoạt tính quang xúc tác

để làm sạch môi trường. Trong số các vật liệu nano có hoạt tính quang xúc tác như ZnO, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub>,... thì TiO<sub>2</sub> là loại vật liệu đã được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi do nó có các đặc tính như bền hóa học, bền ăn mòn, không độc, giá thành rẻ, hoạt tính quang xúc tác cao [1][2].

Khả năng phân hủy hợp chất hữu cơ của TiO<sub>2</sub> được giải thích là do dưới tác dụng của ánh sáng tử ngoại, các điện tử (e<sup>-</sup>) dịch chuyển từ vùng hóa trị lên vùng dẫn tạo thành các điện tử tự do, để lại ở vùng hóa trị các lỗ trống (h<sup>+</sup>). Điện tử (e<sup>-</sup>) và lỗ trống (h<sup>+</sup>) khuếch tán ra bề mặt của TiO<sub>2</sub>. Tại bề mặt của TiO<sub>2</sub>, thế oxy hóa của lỗ trống ở vùng hóa trị dương hơn so với thế oxy hóa của gốc hydroxyl. Do vậy, lỗ trống của vùng hóa trị có thể oxy hóa H<sub>2</sub>O để tạo gốc hydroxyl:



Thế khử của điện tử tự do (e<sup>-</sup>) trên bề mặt TiO<sub>2</sub> đủ âm để có thể khử phân tử oxi trong môi trường thành superoxit:



Việc tạo thành gốc hydroxyl và superoxit đóng vai trò quan trọng vào phản ứng oxy hóa các hợp chất hữu cơ tạo ra sản phẩm phân hủy là CO<sub>2</sub> và H<sub>2</sub>O (không có hại cho môi trường).

Tuy nhiên, với độ rộng vùng cấm rộng (E<sub>g</sub> = 3,2 eV), TiO<sub>2</sub> chỉ thể hiện được hoạt tính quang xúc tác trong vùng ánh sáng tử ngoại (UV). Trong vùng ánh sáng khả kiến (ánh sáng mặt trời), hoạt tính quang xúc tác của TiO<sub>2</sub> khá thấp (bức xạ UV chỉ chiếm 3-5% trong phổ ánh sáng mặt trời). Do vậy, để ứng dụng được vật liệu TiO<sub>2</sub> cho làm sạch môi trường ở điều kiện ánh sáng mặt trời thì cần đưa được hiệu ứng quang xúc tác của TiO<sub>2</sub> lên vùng ánh sáng khả kiến [3].

Đã có nhiều nghiên cứu được thực hiện để cải thiện hoạt tính quang xúc tác của TiO<sub>2</sub> trong vùng ánh sáng khả kiến, một trong

những giải pháp được áp dụng đó là tổ hợp TiO<sub>2</sub> với nano bạc (Ag NPs). Hiệu ứng plasmon bề mặt của Ag NPs cho phép hấp phụ vùng ánh sáng khả kiến và do đó tăng cường hoạt động quang xúc tác của vật liệu tổ hợp kim loại-bán dẫn ở vùng ánh sáng khả kiến [2][3][4].

Trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành chế tạo hệ vật liệu nano tổ hợp chứa 3 thành phần giữa TiO<sub>2</sub>, Ag, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> sử dụng phương pháp hóa học ướt. Vật liệu nano tổ hợp chế tạo được sẽ được nghiên cứu thử nghiệm khả năng tăng cường hiệu quả quang xúc tác phân hủy chất màu MB trong điều kiện ánh sáng khả kiến.

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Hóa chất

Ferrocene (C<sub>10</sub>H<sub>10</sub>Fe), acetone ((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CO), titanium tetrachloride (TiCl<sub>4</sub>), ethanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH), amoni hydroxit (NH<sub>4</sub>OH), bạc nitrat (AgNO<sub>3</sub>), natri bohidrua (NaBH<sub>4</sub>), xanh methylen (MB), nước cất 2 lần được sử dụng trong tất cả các thí nghiệm.

### 2.2. Tổng hợp vật liệu nano tổ hợp Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-TiO<sub>2</sub>-Ag

Vật liệu nano tổ hợp Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-TiO<sub>2</sub>-Ag được chế tạo theo quy trình tổng hợp 3 bước, cụ thể:

#### ▪ Bước 1: chế tạo nano Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

0,5 gram Ferrocene được hòa tan trong acetone, khuấy đồng đều trong 30 phút, sau đó thêm một lượng vừa đủ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> và tiếp tục khuấy thêm 20 phút, hỗn hợp được chuyển vào bình thủy nhiệt và được đặt trong lò nung ở 200°C trong 24h, sản phẩm thu được lọc rửa bằng acetone rồi đem sấy 60°C trong chân không trong vòng 6h.

#### ▪ Bước 2: chế tạo nano Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-TiO<sub>2</sub>

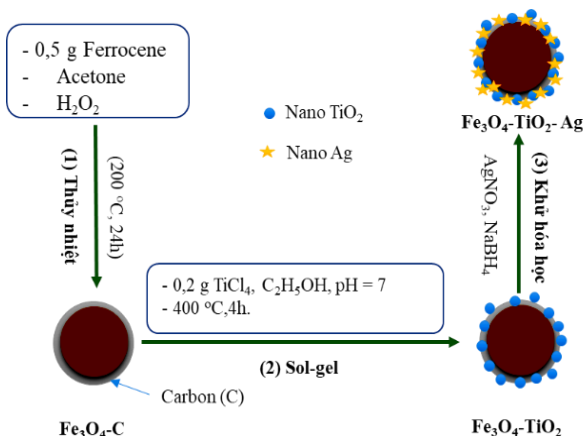
Phân tán nano Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> trong nước cất được hỗn hợp A. Sau đó, 0,2 gam TiCl<sub>4</sub> được hòa

tan trong nước cất, sau đó thêm vào dung dịch một lượng vừa đủ ethanol được hỗn hợp B, trộn hỗn hợp A với hỗn hợp B và khuấy đều trong 50 phút, thêm vào hỗn hợp một lượng vừa đủ  $\text{NH}_4\text{OH}$  để đạt được pH 7, để hỗn hợp qua 12 giờ, sau đó đem lọc rửa bằng ethanol, sản phẩm thu được sấy ở  $200^\circ\text{C}$  trong 4 giờ và nung tại  $400^\circ\text{C}$  trong 4 giờ.

### ▪ Bước 3: chế tạo $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$

0,1 gam  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$  hòa tan trong nước cất, sau đó một lượng dung dịch  $\text{AgNO}_3$  được nhỏ từ từ vào hỗn hợp, khuấy đồng đều trong 1 giờ, thêm vào hỗn hợp một lượng vừa đủ  $\text{NaBH}_4$ , khuấy tiếp 1 giờ, đem hỗn hợp lọc rửa và sấy tại  $60^\circ\text{C}$  trong 6 giờ.

Quy trình tổng hợp vật liệu được trình bày trong hình 1.



Hình 1. Quy trình tổng hợp vật liệu  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$

### 2.3. Đặc trưng của vật liệu

Thành phần pha tinh thể của vật liệu được xác định bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD), trên thiết bị Siemens D5000, tại Trường Đại học Khoa học tự nhiên - Đại học Quốc gia Hà Nội. Bước sóng tới  $\lambda_{\text{Cu}} = 1,5406 \text{ \AA}$  và phổ XRD được lấy thang đo từ  $20^\circ \leq 2\theta \leq 70^\circ$  với bước quét  $0,01$ . Tính chất quang của vật liệu được xác định sử dụng phương pháp đo quang phổ hấp thụ UV-Vis trên thiết bị DR6000 spectrophotometer tại Trung tâm Công nghệ vật liệu, Viện Ứng

dụng công nghệ. Đặc trưng từ tính của vật liệu được phân tích sử dụng phép đo từ kế mẫu rung VSM.

### 2.4. Khả năng xúc tác quang phân hủy MB của vật liệu

Tiến hành thử nghiệm khả năng xúc tác quang phân hủy MB của vật liệu ở điều kiện chiếu ánh sáng vùng tử ngoại (UV) và ánh sáng vùng khả kiến sử dụng đèn LED RGB, công suất 50 W, dải bước sóng từ 350-1100 nm. Quy trình thử nghiệm như sau: 0,1 gram vật liệu được phân tán trong 100 ml dung dịch MB nồng độ 20 ppm. Tại các thời điểm chiếu sáng khác nhau trong khoảng từ 3-85 phút, một lượng mẫu được lấy ra, ly tâm và xác định nồng độ MB còn lại trong dung dịch bằng phép đo quang phổ hấp thụ UV-Vis tại bước sóng 660 nm. Hiệu quả phân hủy MB của vật liệu được xác định theo công thức:

$$H (\%) = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

Trong đó: H là hiệu suất phân hủy MB;

$C_0$  là nồng độ MB ban đầu;

C là nồng độ MB còn lại.

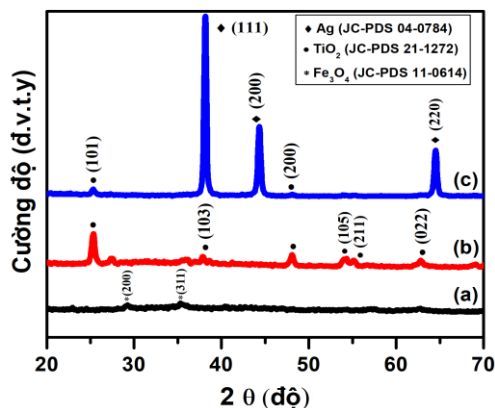
## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Đặc trưng của vật liệu

#### 3.1.1. Thành phần pha của vật liệu

Phổ XRD của vật liệu nano tổ hợp  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  được thể hiện trên hình 2 (đường c). Từ giản đồ có thể nhận thấy sự xuất hiện các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng của  $\text{TiO}_2$  và Ag. Tại vị trí các góc  $25,4^\circ$ ;  $48,1^\circ$  là vị trí của các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng cho vật liệu  $\text{TiO}_2$  tương ứng với các mặt mạng (101), (200) (mã thẻ chuẩn JCPDS 21-1272). Tại vị trí  $38,1^\circ$ ;  $44,4^\circ$  và  $64,6^\circ$  xuất hiện các đỉnh nhiễu xạ có cường độ lớn, các đỉnh nhiễu xạ này được gán cho các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng của hạt nano Ag với các mặt mạng lần lượt là (111), (200) và (220) (mã thẻ chuẩn JC-PDS 04-0784).

Không thấy sự xuất hiện các đỉnh nhiễu xạ của  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (đường a) (mã thẻ chuẩn JC-PDS 11-0614) tương ứng với các mặt mạng (200) và (311) trong phổ nhiễu xạ của hệ nano tổ hợp  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  và một số đỉnh nhiễu xạ khác của  $\text{TiO}_2$  (đường b) tương ứng với các mặt mạng (103), (105) (211) và (022), điều này được giải thích là do cường độ các đỉnh nhiễu xạ của tinh thể nano Ag khá lớn nên gây ra sự che phủ các đỉnh nhiễu xạ khác.



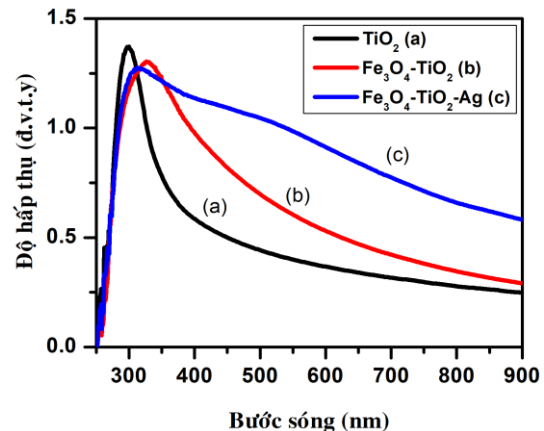
Hình 2. Giản đồ nhiễu xạ tia X của vật liệu nano (a)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , (b)  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$  và (c)  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$

### 3.1.2. Tính chất quang của vật liệu

Trên hình 3 là phổ hấp thụ UV-Vis của các mẫu  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$  và  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  với vùng bức xạ được sử dụng trong khoảng 200-900 nm. Ta có thể nhận thấy, vật liệu  $\text{TiO}_2$  chỉ hấp thụ ánh sáng ở bước sóng 300 nm (ứng với vùng ánh sáng tử ngoại) và hấp thụ rất yếu ở vùng ánh sáng khả kiến (từ 380-760 nm). Đối với vật liệu  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ , độ hấp thụ quang của vật liệu có sự dịch chuyển so với mẫu  $\text{TiO}_2$  trần (đường b).

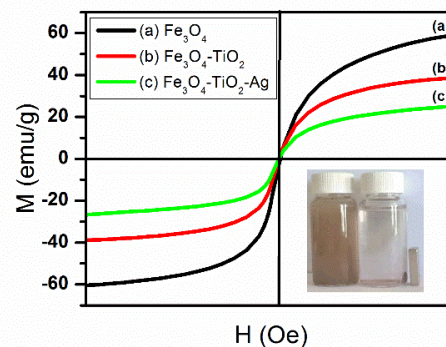
Đường (c) là độ hấp thụ của vật liệu  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$ , cường độ hấp thụ đã tăng lên một cách đáng kể so với mẫu  $\text{TiO}_2$  trần và mẫu  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ . Sự hấp thụ ánh sáng của vật liệu  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  trải dài từ bước sóng 300 nm đến 800 nm (bao gồm cả vùng ánh sáng khả kiến từ 380 nm đến 760 nm). Nguyên nhân của sự dịch chuyển bước sóng được giải thích là do hiệu ứng plasmon bề

mặt của hạt nano Ag làm cho vật liệu nano tổ hợp có khả năng hấp thụ ánh sáng ở vùng khả kiến [2][5]. Điều này hứa hẹn tiềm năng sử dụng ánh sáng khả kiến để kích hoạt quá trình quang xúc tác của phản ứng phân hủy các hợp chất hữu cơ.



Hình 3. Phổ UV-Vis của vật liệu nano (a)  $\text{TiO}_2$ , (b)  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$  và (c)  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$ .

### 3.1.3. Đặc trưng từ tính của vật liệu



Hình 4. Đường cong từ trễ của vật liệu nano (a)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , (b)  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$  và (c)  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$

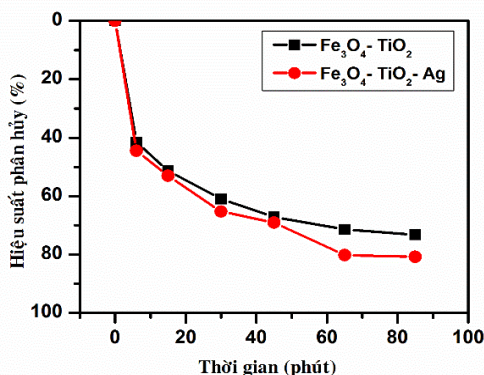
Hình 4 là đường cong từ trễ (M-H) của vật liệu  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$  và  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  chế tạo được. Kết quả cho thấy từ độ bão hòa ( $M_s$ ) của vật liệu giảm dần đối với các mẫu trong hệ nano tổ hợp. Điều này được giải thích là do hiệu ứng che chắn của các lớp phủ  $\text{TiO}_2$  và Ag trên bề mặt của  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  [6]. Ngoài ra, hình ảnh thu hồi bằng từ trường ngoài của vật liệu nano tổ hợp  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  được trình bày trong hình chèn nhỏ của Hình 4 cho thấy vật liệu có thể dễ dàng thu hồi bằng từ trường ngoài. Do vậy, vật liệu chế tạo được

cho thấy có tiềm năng ứng dụng trong xử lý môi trường.

### 3.2. Hiệu quả quang xúc tác của vật liệu

#### 3.2.2. Hiệu quả quang xúc tác ở điều kiện chiếu ánh sáng UV

Trong điều kiện chiếu ánh sáng UV, chúng tôi khảo sát ảnh hưởng của 2 vật liệu là  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$  và  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  tới khả năng quang xúc tác phân hủy MB. Kết quả chỉ ra trong hình 5 cho thấy, sau 30 phút, hiệu suất phân hủy MB của vật liệu  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  đạt khoảng 65,1% ( $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$  là 60 %). Sau 85 phút, hiệu suất phân hủy xác định được lần lượt là 73,3% và 81,1%.



Hình 5. Hiệu quả quang xúc tác phân hủy MB của vật liệu nano tổ hợp  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$  và  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  ở điều kiện ánh sáng UV

Trong điều kiện ánh sáng UV, vật liệu nano tổ hợp chứa  $\text{TiO}_2$  thể hiện được hoạt tính quang xúc tác khá rõ rệt do các điện tử bị kích thích và dịch chuyển từ vùng hóa trị lên vùng dẫn để tham gia vào quá trình quang xúc tác [1].

Ngoài ra, sự có mặt của nano Ag trong hệ vật liệu tổ hợp  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  cũng đóng góp vào quá trình quang xúc tác của vật liệu [3][6], giúp cho hiệu quả quang xúc tác của vật liệu được tăng cường hơn so với vật liệu  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ .

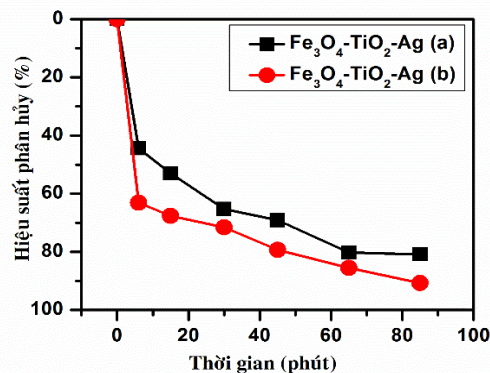
#### 3.2.2. Hiệu quả quang xúc tác ở điều kiện chiếu ánh sáng khả kiến

Hiệu quả xúc tác phân hủy chất màu MB của

vật liệu nano tổ hợp  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  ở điều kiện chiếu ánh sáng khả kiến so với khi chiếu ánh sáng UV được thể hiện trên hình 6.

Kết quả cho thấy, hiệu quả quang xúc tác phân hủy MB của vật liệu nano tổ hợp  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  được tăng cường đáng kể trong điều kiện chiếu ánh sáng khả kiến. Sau 45 phút chiếu, hiệu suất phân hủy MB đã đạt được gần 80% (tương đương với hiệu suất phân hủy MB của vật liệu sau 85 phút chiếu ánh sáng UV). Hiệu suất phân hủy MB của vật liệu nano tổ hợp  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  đạt 90,1% sau 85 phút chiếu ánh sáng khả kiến.

Một số kết quả công bố của các tác giả Tedsree và cs (2017) [6], Fauzian và cs (2017) [3] cũng đưa ra các nhận định tương tự về vai trò của nano Ag đối với hiệu quả tăng cường quang xúc tác của vật liệu nano tổ hợp ở điều kiện ánh sáng vùng khả kiến.



Hình 6. Hiệu quả quang xúc tác phân hủy MB của vật liệu nano tổ hợp  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  ở điều kiện chiếu (a) ánh sáng UV và (b) ánh sáng khả kiến

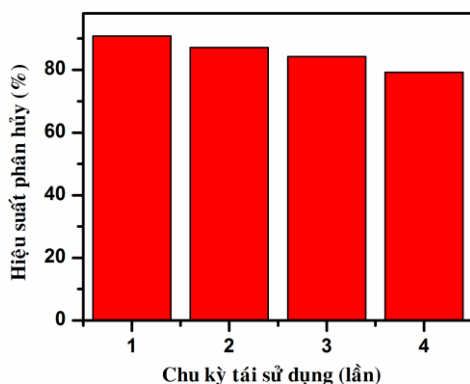
#### 3.2.3. Khả năng tái sử dụng của vật liệu

Trong thí nghiệm này, chúng tôi tiến hành thu hồi vật liệu nano tổ hợp  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  sau quá trình quang xúc tác phân hủy MB bằng từ trường ngoài ở chu kỳ thứ nhất, sau đó tiến hành tái sử dụng vật liệu cho các chu kỳ tiếp theo để đánh giá khả năng tái sử dụng của vật liệu, kết quả được chỉ ra trong hình 7.

Kết quả xác định hiệu suất phân hủy MB của vật liệu ở các chu kỳ tái sử dụng khác



nhau cho thấy, vật liệu nano tổ hợp  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  có hiệu quả quang xúc tác tốt, hiệu suất phân hủy MB xác định được sau 4 lần tái sử dụng đạt 79,2 %.



Hình 7. Khả năng tái sử dụng của vật liệu nano tổ hợp  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  cho quá trình quang xúc tác phân hủy MB

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã chế tạo thành công vật liệu nano tổ hợp  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$  theo quy trình tổ hợp 3 bước bằng phương pháp hóa học ướt. Vật liệu chế tạo được có khả năng quang xúc tác phân hủy chất màu hữu cơ xanh methylen ở vùng ánh sáng khả kiến. Sau 85 phút chiếu, hiệu suất phân hủy xanh methylen của vật liệu đạt 90,1 %. Vật liệu nano tổ hợp chế tạo được cho thấy tiềm năng ứng dụng trong làm sạch môi trường với khả năng thu hồi và tái sử dụng vật liệu.

#### LỜI CẢM ƠN

Công trình này đã được thực hiện với sự hỗ trợ kinh phí từ đề tài NCCB mã số 103.02-2015.94 tài trợ bởi Quỹ Nafosted.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R. Qian *et al.*, "Charge carrier trapping, recombination and transfer during  $\text{TiO}_2$  photocatalysis: An overview," *Catal. Today*, vol. 335, pp. 78–90, 2019.
- [2] P.D. Cozzoli, Fanizza, E., Comparelli, R., Curri, M.L., Agostiano, A., & Laub, D., "Role of Metal Nanoparticles in  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  Nanocomposite-Based Microheterogeneous Photocatalysis.," *J. Phys. Chem. B*, vol. 108, no. 28, pp. 9623–9630.
- [3] M. Fauzian, A. Taufik, and R. Saleh, "Photocatalytic performance of  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2/\text{Ag}$  nanocomposites for photocatalytic activity under visible light irradiation," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1862, no. July, 2017.
- [4] L. Zhang *et al.*, "Preparation of magnetic  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2/\text{Ag}$  composite microspheres with enhanced photocatalytic activity," *Solid State Sci.*, vol. 52, pp. 42–48, 2016.
- [5] M. Nolan, "Surface modification of  $\text{TiO}_2$  with metal oxide nanoclusters: a route to composite photocatalytic materials," *Chem Commun*, vol. 47, no. 30, pp. 8617–8619, 2011.
- [6] K. Tedsree, N. Temnuch, N. Sriplai, and S. Pinitsoontorn, "Ag modified  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{TiO}_2$  magnetic core-shell nanocomposites for photocatalytic degradation of methylene blue," *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 5, pp. 6576–6584, 2017.

Thông tin liên hệ:

**Lê Anh Tuấn**

Điện thoại: 0916366088; Email: tuan.leanh@phenikaa-uni.edu.vn

Viện nghiên cứu Nano, Trường Đại học PHENIKAA.

**Lê Minh Tùng**

Điện thoại: 0915567707; Email: leminhtung@tgu.edu.vn

Trường Đại học Tiền Giang.



