

CATEGORY		Page
1-	Photocatalytic degradation of Rhodamine-B under visible light region by ZnO nanoparticles loaded on activated carbon made from longan seed biomass - Nguyen Van Hung, Bui Thi Minh Nguyet, Bui Thi Thuy Linh, Nguyen Huu Nghi, Nguyen Thanh Tuoi, Nguyen Anh Tien, Le Lam Son	1
2-	Effect of synthesis conditions on methylene blue adsorption capacity of electrochemically prepared graphene - Pham Van Hao, Ha Xuan Linh, Phung Thi Oanh, Phan Ngoc Hong, Nguyen Nhat Huy, Dang Van Thanh, Nguyen Van Dang	9
3-	Study on the preparation of TiO <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub> and the treatment capacity of 2-chloroethyl ethyl sulfide on the surface of sensitive equipment and components - Hoang Kim Hue, Le Van Long, Hoang Thanh Thai, Le Minh Thao	15
4-	Synthesis of TiO <sub>2</sub> /g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> material for visible light driven photocatalytic degradation of methylene blue - Dang Thi Ngoc Hoa, Nguyen Thi Thanh Tu	21
5-	Multiwalled carbon nanotubes synthesis from methane using a stainless steel foils as a catalyst - Huynh Minh Thuan, Nguyen Sura, Nguyen Thi Kim Ngan, Nguyen Manh Huan, Do Pham Noa Uy, Nguyen Anh Thu Hang, Nguyen Cong Danh, Nguyen Huu Luong, Nguyen Cat Tien	27
6-	Sorption of Pb(II) and Cd(II) ions from aqueous solutions by activated biomass of common reed - Nguyen Van Hung, Bui Thi Minh Nguyet, Nguyen Kim Nuong, Nguyen Huu Nghi, Nguyen Thanh Tuoi, Nguyen Anh Tien, Le Lam Son	31
7-	Synthesis of Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /MIL-101 material and evaluation of photocatalytic activity - Nguyen Van Kim, Huynh Thi Minh Thanh	40
8-	Preparation and optimization of the composition of novel nZVI/(Fe-Mn) binary oxide/bentonite adsorbent for removal of reactive yellow 145 dye (RY-145) from aqueous solution - Pham Thi Thanh Huyen, Nguyen Binh Duong, Quan Thi Thu Trang, Phan Thi Ngoc Bich, Pham Van Lam	45
9-	Photocatalytic activities of NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /nitrogen-doping graphene oxide synthesized by hydrothermal method - Nguyen Ngoc Minh, Le Thi Cam Nhung, Truong Cong Duc, Nguyen Thi Lieu, Nguyen Van Thang, Dinh Quang Khieu, Nguyen Thi Vuong Hoan	52
10-	Synthesis of ZnMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanostructure via hydrothermal method - Nguyen Le My Linh, Do Mai Nguyen	58
11-	Synthesis and application of Fe-BTC nanocomposites as highly efficient photocatalysts in the dye degradation - Nguyen Ba Manh, Vu Anh Tuan, Le Ha Giang	63
12-	A theoretical study on the influence of non-metal (B, C, N, O, F) doping on the electronic and optical properties of graphitic carbon nitride (g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ) - Nguyen Thi Thu Ha, Nguyen Ngoc Ha	69
13-	Synthesis, characterization and photocatalytic application of CNTs/ZnO composite - Nguyen Duc Vu Quyen, Tran Ngoc Tuyen, Dang Xuan Tin, Ho Van Minh Hai, Bui Thi Hoang Diem, Dang Do, Ho Thi Thuy Dung	75
14-	Adsorption PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ion in aqueous solution using ZnO nanomaterials fabricated by electrochemical method - Pham Huong Quynh, Luong Thi Anh, Luu Thi Liu, Ha Nam Phuong, Nguyen Phuong Chi, Nguyen Thanh Trung, Phung Thi Oanh	82
15-	Fischer-Tropsch synthesis over Co/γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> catalyst loaded on ceramic monolith-structured substrate - Do Pham Noa Uy, Nguyen Manh Huan, Hoang Van Loc, Luc Minh Chien, Nguyen Thi Chau Giang, Truong Van Nhan, Phan Minh Quoc Bonh, Nguyen Huu Luong, Huynh Minh Thuan	88
16-	Synthesis and photocatalytic activity of ZnO/CuO composite for the degradation of methyl blue under visible light irradiation - Nguyen Van Kim, Nguyen Thi Viet Nga, Vu Thi Thanh Tuyen, Vu Vien	94
17-	Synthesis nanocomposite TiO <sub>2</sub> -ZrO <sub>2</sub> for photocatalytic degradation of phenol and methylene blue (MB) - Nguyen Thi Hai Yen, Le Thi Hong Hai, Pham Thi Minh Thao	101
18-	Study on the synthesis of porphyrin-modified copper ferrite as photocatalyst for treatment of MB organic dye in aqueous media - Tran Van Chinh, Nguyen Tuan Anh, Nguyen Thi Hoai Phuong, Mai Huu Thuan, Tran Van Khanh, Dinh The Dung, Nguyen Thi Hong Phuong, Tran Dai Lam, Lo Duc Duong	107
19-	Study on Fabrication and investigation of the effects of copper salt precursor with different anions SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> , CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup> and NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> on the structure and photocatalytic properties for decomposition of methyl orange dye of octahedral Cu <sub>2</sub> O nanoparticles - Nguyen Thi Tuyet Mai, Dang Thi Minh Hue, Nguyen Thi Lan, Tran Thi Thu Huyen, Nguyen Kim Nga, Huynh Dang Chinh, Ta Ngoc Dung, Nguyen Cong Tu, Trinh Xuan Anh, Truong Thi May, Luu Thi Lan Anh	112
20-	Studying effect of temperature on to formation and red congo absorption ability of copper oxide - Nguyen Thi Lan, Nguyen Thi Tuyet Mai, Pham Van Thang, Huynh Dang Chinh, Ta Ngoc Dung, Luu Thi Lan Anh	118





## Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ tổng hợp tới sự hình thành và khả năng hấp phụ chất màu congo đỏ của đồng (I) oxit

### Studying effect of temperature on to formation and red congo absorption ability of cupper oxide

Nguyễn Thị Lan<sup>1</sup>, Nguyễn Thị Tuyết Mai<sup>1</sup>, Phạm Văn Thắng<sup>2</sup>, Huỳnh Đăng Chính<sup>1</sup>, Tạ Ngọc Dũng<sup>1</sup>, Lưu Thị Lan Anh<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Viện Kỹ thuật Hóa học, Đại học Bách Khoa Hà Nội

<sup>2</sup>Viện Vật lý Kỹ thuật, Đại học Bách Khoa Hà Nội

\*Email: anh.luuthilan@hust.edu.vn

#### ARTICLE INFO

Received: 10/8/2020

Accepted: 20/9/2020

#### Keywords:

Cu<sub>2</sub>O, hydrazine, absorption, congo red

#### ABSTRACT

Cuprous oxide nanoparticles (Cu<sub>2</sub>O) were prepared by a one-step reduction method at 65, 70 and 85°C temperature. The Cu<sub>2</sub>O nanoparticles were characterized by XRD, Raman, SEM and EDS techniques, respectively. The adsorption removal of red congo dye from aqueous solution by the as-prepared Cu<sub>2</sub>O nanoparticles was studied. Kinetics and isotherms studies suggested that the adsorption process followed pseudo-second-order and Freundlich models. The maximum adsorption capacity was estimated to be 82,6 mg/g, which was the highest reported value so far for red congo adsorption.

#### Giới thiệu chung

Đồng I oxit (Cu<sub>2</sub>O) là bán dẫn loại p với năng lượng vùng cấm khoảng 2,17eV thu hút nhiều sự quan tâm cả về tính chất hóa lý và ứng dụng. Cu<sub>2</sub>O cấu trúc nano có khả năng ứng dụng trong nguyên liệu trong công nghiệp dược phẩm và các thiết bị y tế, chuyển hóa năng lượng, pin lithium, sensor khí, [1–10]... Đặc biệt, thời gian gần đây, ứng dụng xúc tác quang của Cu<sub>2</sub>O đã được đề cập đến khá nhiều. Mặc dù có độ rộng vùng cấm lớn hơn giá trị vùng cấm lý tưởng cho các pin mặt trời, nhưng Cu<sub>2</sub>O có những ưu điểm để làm lớp hấp thụ ánh sáng trong các pin mặt trời như có độ linh động cao, chiều dài khuếch tán hạt tải phụ khá lớn, hệ số hấp thụ cao trong vùng khả kiến với chi phí sản xuất thấp và thân thiện với môi trường. Ngoài ra, vật liệu nano Cu<sub>2</sub>O có thể được ứng dụng làm chất hấp phụ đầy hứa hẹn để loại bỏ chọn lọc hoặc làm

giàu các chất hữu cơ anion từ nước thải có chứa các thành phần phức tạp [11–20].

Trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ tổng hợp tới sự hình thành pha Cu<sub>2</sub>O và ứng dụng trong khảo sát sự hấp phụ chất màu congo đỏ của vật liệu. Ảnh hưởng của nhiệt độ hấp phụ và mô hình đặc nhiệt cũng được khảo sát.

#### Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

##### Tổng hợp vật liệu

Trước hết hòa tan 0,025 mol CuSO<sub>4</sub> vào 100mL H<sub>2</sub>O cất tạo dung dịch CuSO<sub>4</sub> 0,25M. Thêm từ từ 20mL dung dịch Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 0,005M vào dung dịch trên. Đun cách thủy đến nhiệt độ phản ứng (T = 65 °C; 70 °C và 85 °C). Thêm tiếp 30ml dung dịch NaOH 1M. Sau đó thêm 20ml NH<sub>2</sub>-NH<sub>2</sub> bằng cách nhỏ giọt từ từ trong 1h. Sau khi nhỏ xong, tiến hành phản ứng thêm 1h nữa.

Sau phản ứng chúng ta thu được kết tủa màu đỏ gạch. Lọc rửa kết tủa nhiều lần với nước cất hai lần cho tới khi pH = 7. Sấy kết tủa ở nhiệt độ 80 °C trong vòng 24 h. Các mẫu tổng hợp ký hiệu lần lượt là T65, T70 và T85 tương ứng với các nhiệt độ tổng hợp là T = 65; 70 và 85 °C.

#### Phương pháp nghiên cứu

Đặc trưng cấu trúc của mẫu tổng hợp được phân tích bởi phương pháp nhiễu xạ tia X mẫu bột trên hệ X'pert Pro (PANalytical) MPD với bức xạ Cu-K $\alpha$  có bước sóng ( $\lambda=1,54065$  Å), dải đo  $2\theta$  từ 20° đến 80° và phổ tán xạ Raman trên hệ a Renishaw Invia Raman Microscope sử dụng laser 633nm và công suất 25mW. Hình thái bề mặt của vật liệu và thành phần các nguyên tố trong mẫu khảo sát sử dụng phương pháp hiển vi điện tử quét SEM trên hệ Microscope HITACHI TM4000Plus).

#### Khảo sát khả năng hấp phụ

Đặc trưng hấp phụ của vật liệu được đánh giá dựa trên khả năng hấp phụ congo đỏ (CR). Toàn bộ thí nghiệm được thực hiện hoàn toàn trong tối.

Quá trình được thực hiện như sau: cân x mg chất xúc tác vào cốc 100mL sau đó cho tiếp 60mL dung dịch CR nồng độ y ppm. Khuấy hỗn hợp hoàn toàn trong tối đến khi quá trình hấp phụ đạt cân bằng. Định kỳ hỗn hợp được lấy ra khoảng 7mL theo thời gian hấp thụ. và xác định độ hấp thụ ở khoảng bước sóng 510nm, hệ đo được sử dụng là Varian CARRY 100.

Dung lượng hấp phụ CR trên đơn vị khối lượng mẫu chất hấp phụ theo thời gian được tính bởi phương trình [21]:

$$q = ((C_0 - C) \cdot V) / m$$

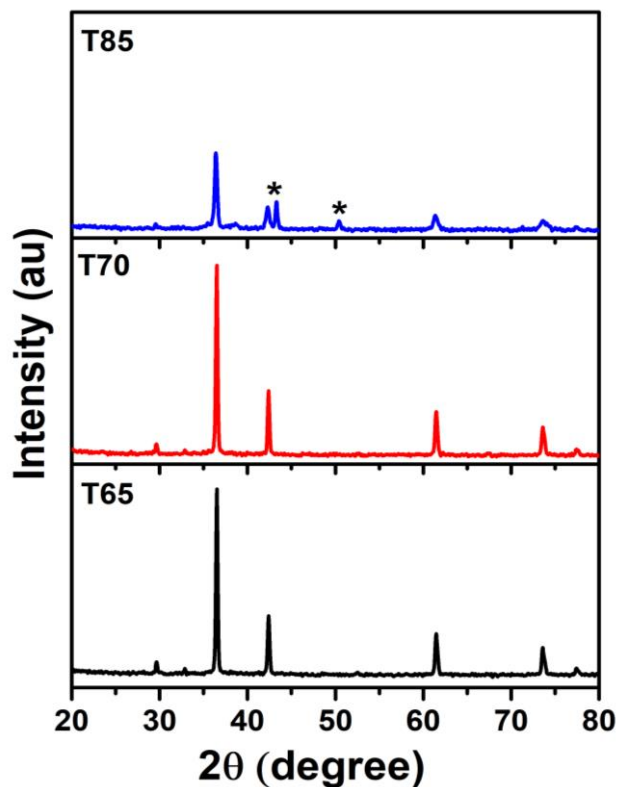
Trong đó q là lượng chất bị hấp phụ (mg/g).  $C_0$  và C là nồng độ ban đầu và nồng độ tại thời điểm t của chất bị hấp phụ (mg/l). V là thể tích dung dịch (l). m là khối lượng chất hấp phụ (g).

#### Kết quả và thảo luận

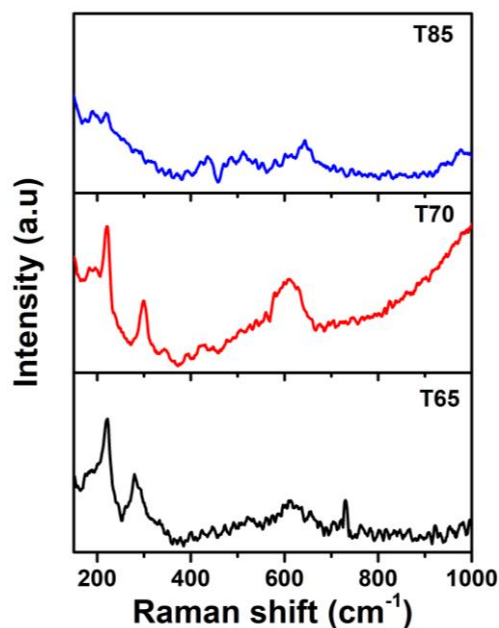
Cấu trúc tinh thể của các mẫu được kiểm tra bởi phương pháp nhiễu xạ tia X mẫu bột. Giản đồ nhiễu xạ tia X của các mẫu tổng hợp ở các nhiệt độ tổng hợp khác nhau trình bày trong hình 1. Dễ nhận thấy, trong tất cả các mẫu đều xuất hiện các đỉnh nhiễu xạ ở góc  $2\theta = 29,60^\circ; 36,45^\circ; 42,34^\circ; \text{ and } 61,40^\circ$ . Các góc nhiễu xạ này phù hợp với các mặt mạng (110), (111), (200), (311) của  $\text{Cu}_2\text{O}$  cấu trúc lập phương [16]. Hơn nữa, trong giản đồ nhiễu xạ tia X các mẫu T65 và T70 một đỉnh nhiễu xạ có cường độ thấp ở khoảng  $33^\circ$  tương ứng với mặt (133) của  $\text{CuO}$  [22]. Riêng đối với trường hợp mẫu tổng hợp ở nhiệt độ 85 °C (mẫu T85), ngoài

các đỉnh nhiễu xạ của pha  $\text{Cu}_2\text{O}$ , chúng ta còn nhận thấy 02 đỉnh nhiễu xạ ở  $2\theta = 43,3^\circ$  và  $50,4^\circ$  tương ứng với pha lập phương của Cu [23].

Như vậy, ở nhiệt độ thấp quá trình phản ứng hình thành hai pha là  $\text{Cu}_2\text{O}$  và  $\text{CuO}$ . Ở nhiệt độ cao hình thành hai pha là  $\text{Cu}_2\text{O}$  và Cu.



Hình 1: Giản đồ nhiễu xạ tia X các mẫu tổng hợp ở các nhiệt độ



Hình 2: Phổ tán xạ Raman các mẫu tổng hợp ở các nhiệt độ

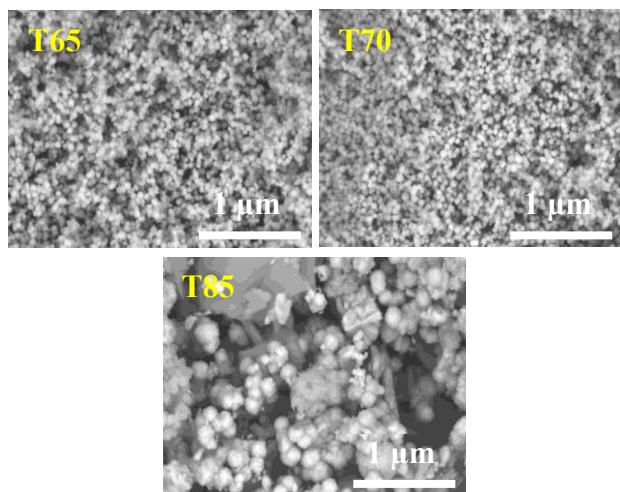
Từ số liệu đo phổ XRD và sử dụng phần mềm Origin tách phổ theo hàm Gauss, ta tính được kích thước tinh thể trung bình của vật liệu theo phương trình Debye-Scherrer:  $D = K\lambda/(\beta \cdot \cos\theta)$

với D là kích thước trung bình hạt tinh thể,  $K = 0,9$ ,  $\lambda = 1,54065 \text{ \AA}$  là bước sóng nhiễu xạ,  $\beta$  là giá trị độ rộng nửa chiều cao vạch nhiễu xạ cực đại (FWHM),  $\theta$  là góc nhiễu xạ ở vị trí mật nhiễu xạ (111).

Kích thước trung bình hạt tinh thể tính được đối với các mẫu T65, T70 và T85 lần lượt là 29,0 nm, 32,7 nm và 33,4 nm.

Tán xạ Raman cũng được biết là phương pháp quan trọng để nghiên cứu pha và cấu trúc tinh thể của vật liệu. Hình 2 xuất hiện phổ tán xạ raman đo ở nhiệt độ phòng của các mẫu T65, T70 và T85. Đối với mẫu T65 và T70, phổ tán xạ raman đều có các đỉnh xuất hiện ở raman shift khoảng 222, 294 và 617  $\text{cm}^{-1}$ . Các đỉnh 222 và 617  $\text{cm}^{-1}$  quy cho các dao động của pha  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Đỉnh 294  $\text{cm}^{-1}$  quy cho mode dao động  $A_g$  của pha  $\text{CuO}$ . Đối với mẫu T85, phổ tán xạ raman cho thấy chỉ xuất hiện pha  $\text{Cu}_2\text{O}$  [5]. Kết quả này phù hợp với các công bố trước và phù hợp với kết quả đo XRD ở phần trên.

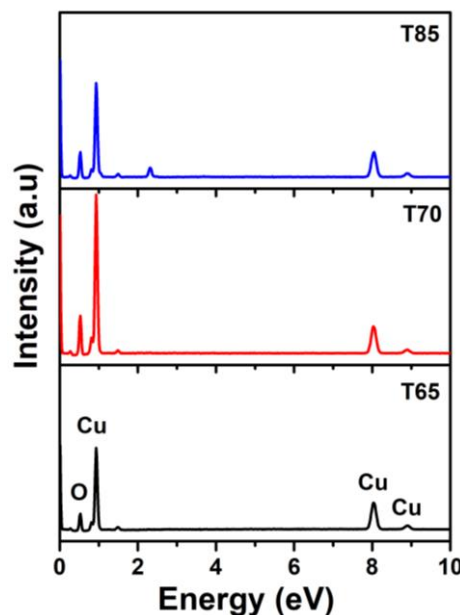
Hình 3 là ảnh SEM của các mẫu. Từ ảnh SEM ta có thể nhận thấy, mẫu tổng hợp ở nhiệt độ T65 và T70, hình thái bề mặt là các hạt hình cầu có kích thước cỡ nm và phân bố khá đồng đều. Mẫu T85 có nhiều hình thái khác nhau.



Hình 3: Ảnh SEM các mẫu tổng hợp ở các nhiệt độ

Phổ tán xạ năng lượng tia X (EDX) sử dụng để xác định thành phần nguyên tố có trong mẫu. Phổ EDX của các mẫu T65, T70 và T85 trình bày trong hình 4. Có thể nhận thấy trong cả ba mẫu đều xuất hiện hai đỉnh  $\text{CuK}\alpha$  (8,06 keV) và  $\text{CuK}\beta$  (8,93 keV) đặc trưng của nguyên tố Cu. Hơn nữa còn có đỉnh  $\text{OK}\alpha$  (0,51keV) đặc trưng cho nguyên tố O. Hơn nữa, kết quả EDX còn cho

thấy, không có đỉnh đặc trưng của các nguyên tố khác. Như vậy, trong các mẫu thu được chỉ có Cu và O.



Hình 4: Phổ EDX các mẫu tổng hợp ở các nhiệt độ

Bảng 1 dưới đây tổng hợp kết quả tính toán thành phần nguyên tố thu được từ kết quả đo EDX.

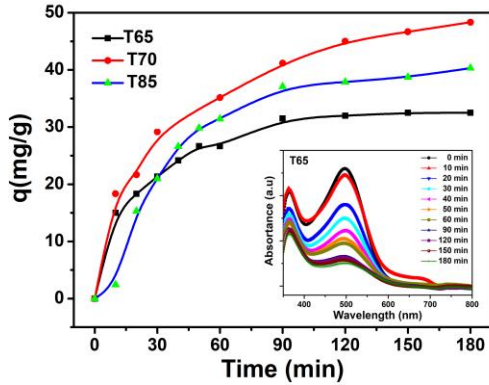
Bảng 1: Thành phần nguyên tố của các mẫu từ kết quả đo EDX

Mẫu	Nguyên tố	% khối lượng lí thuyết	% khối lượng thực nghiệm
T65	$\text{Cu}_2\text{O}$	O	11,11
		Cu	88,89
	CuO	O	20
		Cu	80
T70	$\text{Cu}_2\text{O}$	O	11,11
		Cu	88,89
	CuO	O	20
		Cu	80
T85	$\text{Cu}_2\text{O}$	O	11,11
		Cu	88,89

Từ kết quả tính toán ở bảng 1, một lần nữa chúng ta có thể khẳng định mẫu T65 và T70 gồm  $\text{Cu}_2\text{O}$  và  $\text{CuO}$ . Lượng  $\text{CuO}$  trong mẫu T65 nhiều hơn trong mẫu T70. Mẫu T85 gồm  $\text{Cu}_2\text{O}$  và Cu.

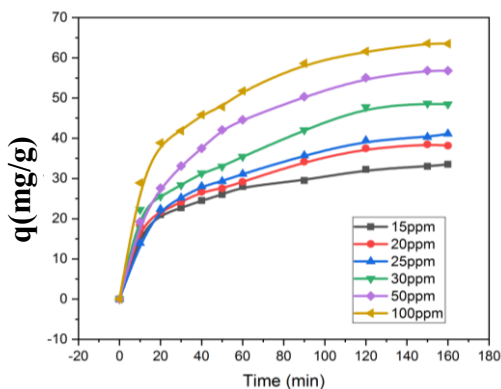
Khả năng hấp phụ chất màu công đỏ của các mẫu trình bày trong hình 5. Có thể nhận thấy tất cả các mẫu đều hấp phụ tốt công đỏ. Sau 180 phút hấp

phụ, hầu như các mẫu gần đạt cân bằng. Dung lượng hấp phụ cao nhất đạt được của các mẫu T65, T70 và T85 lần lượt là 32,5; 48,3 và 40,3 mg/g tương ứng với hiệu suất là 65; 96,7 và 80,7%. Như vậy, mẫu tổng hợp ở 70°C cho khả năng hấp phụ tốt nhất đối với CR.



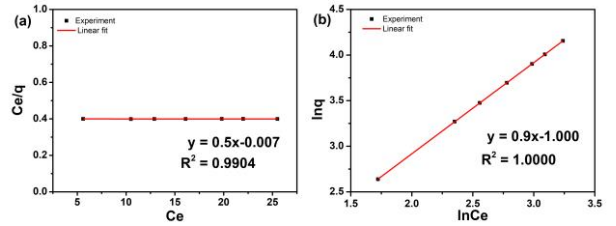
Hình 5: Dung lượng hấp phụ congo đỏ của các mẫu và độ hấp thụ theo thời gian tiếp xúc của mẫu T65

Ảnh hưởng của nồng độ CR đến khả năng hấp phụ của mẫu T70 chỉ ra trong hình 6. Có thể thấy, dung lượng hấp phụ tăng nhanh theo thời gian tiếp xúc ở khoảng 30 phút đầu tiên. Sau đó dung lượng hấp phụ tăng chậm cho tới khi gần đạt cân bằng ở khoảng 160 phút. Dung lượng hấp phụ tăng với nồng độ CR ban đầu tăng. Điều này có lẽ do khi nồng độ CR cao, sự tương tác giữa CR và T70 tăng, kết quả dung lượng hấp phụ tăng. Các kết quả này có thể quy cho lượng CR không đủ để T70 hấp phụ hết. Ngược lại với dung lượng hấp phụ, hiệu suất hấp phụ giảm khi tăng nồng độ CR ban đầu và giảm thấp nhất đạt giá trị 24,6% khi nồng độ ban đầu đạt đến 100 mg/L.



Hình 6: Dung lượng hấp phụ congo đỏ của mẫu T70 phụ thuộc nồng độ congo đỏ

Từ quá trình khảo sát nồng độ CR, chúng tôi xây dựng hai mô hình giả hấp phụ của vật liệu, mô hình hấp phụ được biểu diễn trong 7. Tất cả các thông số đẳng nhiệt tính toán dựa trên các giá trị của đường thẳng fit và tóm tắt trong bảng 2.



Hình 7: Đồ thị dạng tuyến tính đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir (a), Freundlich (b) của CR hấp phụ lên T70.

Bảng 2: Giá trị tính toán của 2 mô hình hấp phụ

Mô hình	Các tham số	
Langmuir	$q_{max}$ (mg/g)	147,28
	$R^2$	0,999
	$R_L$	0,08
Freundlich	$K_L$	0,01
	$R^2$	1,0
	$n$	1,0
	$K_F$	8,27

Kết quả ở 2 cho thấy, đẳng nhiệt Langmuir và Freundlich đều có hệ số tin cậy  $R^2$  rất cao ( $> 0,999$ ); ngoài ra các thông số cân bằng  $R_L$  đối với đẳng nhiệt Langmuir nằm trong phạm vi  $0 < R_L < 1$  và giá trị  $1/n=1$  đối với mô hình Freundlich nằm trong khoảng 0-1, nên có thể cho rằng quá trình hấp phụ T70 vừa tuân theo đẳng nhiệt Langmuir, vừa tuân theo đẳng nhiệt Freundlich.

Để xác định tốc độ hấp phụ trong quá trình hấp phụ, mô hình động học giả bậc 1 và mô hình động học giả bậc 2 đã được sử dụng để phân tích dữ liệu động học. Công thức đưa ra theo phương trình [24]:

Mô hình giả bậc 1:  $\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$

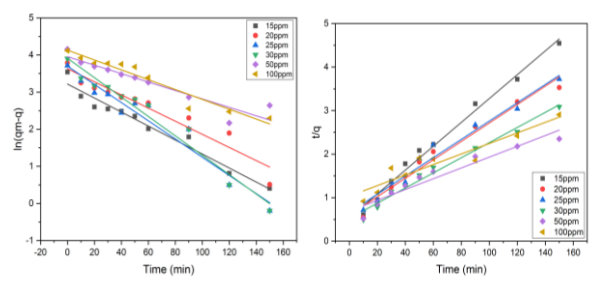
Mô hình giả bậc 2:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

Từ dữ liệu thực nghiệm hấp phụ, động học hấp phụ đã được tính toán theo mô hình giả hấp phụ bậc 1 và mô hình giả hấp phụ bậc 2 ( hình 7). Từ giá trị độ dốc và đoạn cắt với trục tung của các đường tuyến tính, sẽ tính được các hằng số động học  $k_1$  và  $k_2$ . Mức độ tuyến tính của các giá trị thực nghiệm theo mô hình được đánh giá bằng hệ số tin cậy  $R^2$  và các tham số tương ứng được tóm tắt trong Bảng 3. Mô hình bậc hai giả cho thấy hệ số tương quan cao hơn ( $R^2$ ) so với mô



hình giả bậc một, chỉ ra rằng mô hình động học bậc hai giả phù hợp hơn để mô tả quá trình hấp phụ CR lên vật liệu.



Hình 7: a) Mô hình động học hấp phụ bậc 1 ; b) Mô hình động học hấp phụ bậc 2

Bảng 3: Các thông số động học hấp phụ CR lên Cu<sub>2</sub>O

Mô hình	Tham số						
	Nồng độ(mg/l)	15	20	25	30	50	100
Mô hình bậc 1	$k_1(\text{min}^{-1})$	0,04	0,04	0,06	0,06	0,03	0,03
	$q_e(\text{mg/g})$	25	37,8	40,4	50,0	52,1	62,2
	$R^2$	0,96	0,92	0,94	0,96	0,92	0,93
Mô hình bậc 2	$k_2(\text{min}^{-1})$	1,4	0,8	0,7	0,6	0,2	0,1
	$q_e(\text{mg/g})$	36,3	47,3	47,6	57,5	80,6	82,6
	$R^2$	0,99	0,97	0,97	0,98	0,92	0,91

### Kết luận

Hạt nano Cu<sub>2</sub>O đã được tổng hợp bởi quá trình khử đồng sunfat với hydrazin ở các nhiệt độ 65, 70 và 85°C. Các mẫu tổng hợp ở nhiệt độ dưới 70°C có hai pha hình thành là Cu<sub>2</sub>O và CuO. Mẫu tổng hợp ở 85°C cũng có hai pha hình thành là Cu<sub>2</sub>O và Cu. Trong cả hai trường hợp pha Cu<sub>2</sub>O chiếm ưu thế. Các mẫu tổng hợp đã được sử dụng như chất hấp phụ để loại bỏ congo đỏ từ dung dịch. Mẫu tổng hợp ở 70°C có dung lượng hấp phụ cao nhất là 48,3 mg/g và đạt hiệu suất cao nhất 96,7% so với hai mẫu còn lại. Nghiên cứu động học cho thấy quá trình hấp phụ tuân theo mô hình giả bậc 2 và quá trình đẳng nhiệt hấp phụ phù hợp với mô hình Freundlich. Vật liệu Cu<sub>2</sub>O có thể là một trong những vật liệu có thể lựa chọn để hấp phụ loại bỏ thuốc nhuộm anion khỏi nước thải.

### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi trường Đại học Bách khoa Hà Nội đề tài mã số T2018-PC-233.

### Tài liệu tham khảo

- Zhang YH, Jiu BB, Gong FL, Chen JL, Zhang HL, J Alloys Compd. 729 (2017) 563–570. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.09.237>
- Martínez-Ruiz A, Alonso-Núñez G, Mater Res Bull. 43 (2008) 1492–1496. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2007.06.026>
- T.-F. Hou, A. Shanmugasundaram, M.A. Hassan, M.A. Johar, S.-W. Ryu, D.-W. Lee, International Journal of Hydrogen Energy 44 (2019) 19177. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.05.105>
- S. Hussain, C. Cao, Z. Usman, G. Nabi, F.K. Butt, K. Mahmood, A. Ali, M.I. Arshad, N. Amin, Optik 172 (2018) 72. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.07.026>
- Balik M, Bulut V, Erdogan IY., Int J Hydrogen Energy 44 (2019) 18744–18755. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.08.159>
- Lee YJ, Kim S, Park SH, Park H, Huh YD., Mater Lett. 65 (2011) 818–820. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2010.12.023>
- Li T, He M, Zeng W., J Alloys Compd 712 (2017) 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.04.057>
- Guo Q, Li Y, Zeng W., Phys E Low-Dimensional Syst Nanostructures 114 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.physe.2019.113564>
- Chen J, Perng D, Fang J., Sol Energy Mater Sol Cells. 95 (2011) 2471–2477. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2011.04.034>
- C. Malerba, F. Biccari, C. Leonor Azanza Ricardo, M. D’Incau, P. Scardi, A. Mittiga, Solar Energy Materials and Solar Cells 95 (2011) 2848. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2011.05.047>
- A.G. Akerdi, S.H. Bahrami, Journal of Environmental Chemical Engineering 7 (2019) 103283. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103283>.
- Singh J, Rawat M., J Bioelectron. Nanotechnol. 1 (2016). <https://doi.org/10.13188/2475-224x.1000003>
- Kumar M, Das RR, Samal M, Yun K., Mater Chem Phys. 218 (2018) 272–278. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.07.048>
- Ghouri MI, Ahmed E., Ceram Int. 45 (2019) 23196–23202. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.08.015>
- S. Kumar, C.M.A. Parlett, M.A. Isaacs, D.V. Jowett, R.E. Douthwaite, M.C.R. Cockett, A.F. Lee, Applied Catalysis B: Environmental 189 (2016) 226. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.02.038>
- Kumar M, Das RR, Samal M, Yun K., Mater Chem Phys. 218 (2018) 272–278. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.07.048>
- Xue R, Fan X, Liu Y, Li P, Liu Q, Liu F., Chem Phys Lett. 730 (2019) 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2019.05.036>
- H. Qin, Q. Wei, J. Wu, F. Yang, B. Zhou, Y. Wang, S. Tian,

- Materials Chemistry and Physics 232 (2019) 240. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.04.081>
19. Tang H, Liu X, Xiao M, Huang Z, Tan X., J Environ Chem Eng 5 (2017) 4447–4453. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.08.034>
20. Aguilar MS, Rosas G., Environ Nanotechnology, Monit Manag 11 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2018.100195>
21. Do DD. Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics. 2 (1998). <https://doi.org/10.1142/p111>
22. Dhritiman Gupta, S. R. Meher, Navas Illyaskutty, Zachariah C. Alex, Journal of Alloys and Compounds 743 (2018) 737–745. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.01.181>
23. Mao SF, Ding ZJ., J.Phys. Condens. Matter 24 (2012) 1–9. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/24/17/175002>
24. X. Liu, A. Jin, Y. Jia, T. Xia, C. Deng, M. Zhu, C. Chen, X. Chen, Applied Surface Science 405 (2017) 359. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.02.025>