

# MỤC LỤC

## KHOA HỌC KỸ THUẬT VÀ CÔNG NGHỆ

Nghiên cứu quá trình truyền năng lượng cộng hưởng của hạt Nano Vàng (AuNPs) và Rhodamin 6G bằng phương pháp huỳnh quang phân giải thời gian A study on the fluorescence resonance energy transfer (FRET) process between Gold Nanoparticles (AuNPs) and Rhodamin 6G by time-resolved fluorescence	Nguyễn Thanh Bình Nguyễn Đình Công Đỗ Hoàng Tùng Vũ Thị Bích	3
Ảnh hưởng của điều kiện xử lý nhiệt đến tính chất quang của màng Ge/Si đồng pha tạp Sb và P The effect of thermal treatment on optical properties of Ge/Si thin film co-doped with P and Sb	Lương Thị Kim Phụng	10
Leveraging Alice 3 for improving the learning effectiveness of Fundamental of computing course at Duy Tan University Sử dụng Alice 3 để nâng cao hiệu quả học môn Cơ sở tin học tại Đại học Duy Tân	Nguyễn Thị Anh Đào Nguyễn Đức Mận Nguyễn Bảo Trang	16
Ảnh hưởng của quá trình thiêu kết đến sự hình thành vật liệu BaMgAl <sub>10</sub> O <sub>17</sub> đơn pha tạp Terbium và Europium Effect of sintering process on phase formation of Terbium and Europium single doped in BaMgAl <sub>10</sub> O <sub>17</sub>	Lê Ngọc Liêm Võ Thị Thanh Trúc	24
Quan điểm về công nghiệp 4.0 từ góc nhìn công nghệ: Đánh giá dựa trên định lượng ấn phẩm khoa học Industry 4.0 from technology adoption perspective: Evaluation based on bibliometrics	Tôn Nguyễn Trọng Hiền	29
Tổng quan chất lỏng nano chứa ống nano cacbon trong hấp thụ năng lượng mặt trời A review on the use of carbon nanotubes nanofluid in solar energy collector	Nguyễn Trọng Tâm	36
Tổng quan về vật liệu microgel chứa tế bào tổng hợp bằng thiết bị vi lưu A brief review on microfluidics-assisted cell-laden microgels	Lê Hoàng Sinh Lê Thị Thanh Nhi Đào Mỹ Uyên Nguyễn Quang Vĩnh	44
A backpropagation artificial neural network software program for data classification in civil engineering developed in .NET framework Sử dụng phần mềm mạng nơ-ron thần kinh nhân tạo cho phân loại dữ liệu trong ngành Xây dựng được phát triển trên nền tảng .NET	Hoàng Nhật Đức Trần Xuân Linh Lê Công Hải Nguyễn Duy Tân	54

## KHOA HỌC XÃ HỘI VÀ NHÂN VĂN

Giải trình tư pháp - cần quy định là nhiệm vụ của cơ quan Tòa án Judicial explanations - Need for regulation is the duty of the Court	Hoàng Thị Quyên	60
--	-----------------	----

Các nhân tố ảnh hưởng đến quyết định lựa chọn dịch vụ tour du lịch Hàn Quốc của khách hàng tại Công ty TNHH Cát Việt Đà Nẵng Factors affecting customers' decision to choose Korea tour services at Cat Viet Co., Ltd., Da Nang	Trương Hoàng Hoa Duyên Trần Chí Quang Huy Huỳnh Tịnh Cát	67
--	--	----

## KHOA HỌC TỰ NHIÊN

Two greedy algorithms for finding long frequent itemsets Hai thuật toán tham lam tìm tập phổ biến dài	Nguyễn Hữu Hiệp Hoàng Ngọc Hà	81
Ảnh hưởng của tần số phonon lên trạng thái điện môi exciton Influence of phonon frequency on the excitonic insulator state	Phan Văn Nhâm Đỗ Thị Hồng Hải	87
Leptin trong Sinh lý và Bệnh lý Leptin in Physiology and Pathology	Trương Thanh Trần Châu Mỹ Thanh Nguyễn Thị Như Ly	93
Sử dụng thuật toán tiến hóa vi phân cho các bài toán tối ưu hóa kết cấu với công cụ DE-Excel solver Applications of differential evolution to solving structure design optimization problems with DE-Excel solver	Hoàng Nhật Đức Lê Công Hải	100
Exciton ngưng tụ trong mô hình hai dải năng lượng có tương tác điện tử - phonon Excitonic condensation in two-band model involving electron-phonon interaction	Phan Văn Nhâm Đỗ Thị Hồng Hải	106

# Nghiên cứu quá trình truyền năng lượng cộng hưởng của hạt Nano Vàng (AuNPs) và Rhodamin 6G bằng phương pháp huỳnh quang phân giải thời gian

A study on the fluorescence resonance energy transfer (FRET) process between Gold Nanoparticles (AuNPs) and Rhodamin 6G by time-resolved fluorescence

Nguyễn Thanh Bình<sup>a</sup>, Nguyễn Đình Công<sup>a</sup>, Đỗ Hoàng Tùng<sup>a</sup>, Vũ Thị Bích<sup>b,a,\*</sup>  
Thanh Binh Nguyen, Dinh Cong Nguyen, Hoang Tung Do, Thi Bich Vu

<sup>a</sup>*Viện Vật lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*

*Institute of Physics, Vietnam Academy of Science and Technology*

<sup>b</sup>*Viện Nghiên cứu Lý thuyết và Ứng dụng, Trường Đại học Duy Tân, Hà Nội, Việt Nam*

*Institute of Theoretical and Applied Research, Duy Tan University, Hanoi 100000, Vietnam*

(Ngày nhận bài: 03/05/2019, ngày phản biện xong: 15/05/2019, ngày chấp nhận đăng: 06/06/2019)

## Tóm tắt

Truyền năng lượng cộng hưởng huỳnh quang (Fluorescence Resonance Energy Transfer – FRET) là một quá trình không bức xạ của một cặp phân tử donor-acceptor qua tương tác lưỡng cực điện (dipole-dipole). Acceptor hấp thụ năng lượng tại bước sóng phát xạ của donor. Sự tương tác truyền năng lượng này xảy ra trên khoảng cách lớn hơn khoảng cách tương tác nguyên tử và không phát sinh năng lượng nhiệt hay va chạm phân tử. FRET dẫn tới sự giảm cường độ và thời gian sống huỳnh quang phân tử donor đồng thời làm tăng cường độ và thời gian sống huỳnh quang của phân tử acceptor. Một số chất huỳnh quang có phổ hấp thụ và phát xạ thay đổi theo các thông số môi trường như độ pH, nồng độ phân tử, do đó FRET đã và đang được sử dụng nghiên cứu ứng dụng trong y sinh học cũng như để xác định nồng độ một số chất trong môi trường. Bài báo trình bày nguyên lý cơ bản truyền năng lượng cộng hưởng huỳnh quang, xác định hiệu suất truyền năng lượng của cặp phân tử Rhodamin 6G và hạt nano vàng (AuNPs) trong môi trường nước. Kết quả cho thấy khi tỷ lệ hạt AuNPs/Rh6G > 0.92 thì hiệu suất truyền năng lượng trên 50%. Quá trình FRET cũng đã được chứng minh thông qua phép đo thời gian sống huỳnh quang.

*Từ khóa:* Truyền năng lượng cộng hưởng huỳnh quang (FRET), thời gian sống huỳnh quang, Rhodamin 6G, nano vàng (AuNPs)

## Abstract

Fluorescence Resonance Energy Transfer (FRET) is the non-radiative transfer of energy from a donor molecular chromophore in an excited electronic state to a nearby acceptor chromophore in a non-radiative fashion through long-range dipole-dipole interactions. FRET occurs over distances greater than the atomic interaction distance and does not generate thermal energy or molecular collisions. FRET leads to a decrease of the donor intensity and lifetime; meanwhile, increases the intensity and fluorescence lifetime of acceptor molecules. The absorption and fluorescence emission spectra may vary due to environmental effects, such as pH, molecular concentration, so FRET has been used for research and applications in biomedical field as well as for determining the concentration of some substances in the environment. This paper presents the basic principle of fluorescence resonance energy transfer, determining the energy transfer efficiency

of molecular pairs of Rhodamin 6G and gold nanoparticles (AuNPs) in the water. The results showed that when the ratio of AuNPs / Rh6G was greater than 0.92, energy transfer efficiency was over 50%. The FRET process has also been demonstrated through fluorescence lifetime measurements.

*Keywords:* Fluorescence Resonance Energy Transfer (FRET), life time fluorescence, Rhodamin 6G, Gold Nanoparticles (AuNPs)

## I. Giới thiệu

Khi ta kích thích ánh sáng vào một phân tử (phân tử Donor) nằm cạnh một phân tử khác (phân tử Acceptor), phân tử Donor nhận năng lượng chuyển lên trạng thái kích thích trong khi phân tử acceptor ở trạng thái cơ bản, khi đó sẽ xảy ra tương tác lưỡng cực - lưỡng cực (dipole-dipole) của Donor và Acceptor, năng lượng của Donor có thể truyền cho Acceptor. Đây là hiện tượng truyền năng lượng cộng hưởng huỳnh quang (Fluorescence Resonance Energy Transfer - FRET) - hiện tượng vật lý được phát hiện từ lâu và được Theodor Förster tập hợp và phát triển thành lý thuyết hoàn chỉnh năm 1948 [1]. FRET xảy ra trên khoảng cách 1-10 nm. Truyền năng lượng cộng hưởng huỳnh quang có thể quan sát thấy trong quá trình sinh hóa phức tạp như quang hợp. Ngày nay có thể quan sát FRET trên các đơn phân tử, vật liệu nano. Tiến bộ của khoa học công nghệ cho phép mở rộng ứng dụng của FRET trên cơ sở truyền năng lượng của các phân tử nhân tạo (chấm lượng tử, vật liệu nano), là công cụ quan sát động học của phân tử sinh học, quá trình quang hóa, phát hiện độc tố trong thực phẩm [2 - 5].

Tính chất phát quang vật liệu phụ thuộc vào môi trường xung quanh do đó hiệu ứng FRET cũng bị thay đổi [6]. Tính chất này cũng đúng với các vật liệu nano kim loại với cộng hưởng plasmon khi bị kích thích bởi trường điện từ [6 - 8]. Đây là tính chất lý thú bởi kích thích cộng hưởng cho phép trường quang học bị giới hạn trong thang nano.

Thông thường, truyền năng lượng cộng hưởng huỳnh quang là xác định khoảng cách giữa các phân tử tương tác bằng cách xác định sự thay đổi cường độ huỳnh quang của Donor và Acceptor, từ đó xác định hàm lượng thành phần của Donor-Acceptor

[9, 10]. Sau này với sự phát triển của khoa học kỹ thuật đặc biệt là kỹ thuật đo thời gian sống huỳnh quang, ảnh thời gian sống huỳnh quang, FRET trở thành công cụ nghiên cứu cấu trúc, tương tác giữa các phân tử trong tế bào. FRET là nguyên nhân gây ra sự dập tắt huỳnh quang của Donor nhưng phần lớn năng lượng phát xạ bởi Acceptor [11]. Khi hiệu ứng FRET xảy ra, Acceptor với một tập hợp các mức năng lượng quỹ đạo gần hoặc thấp hơn mức kích thích của Donor, có nghĩa là phổ phát xạ của Donor phải chồng chập lên phổ hấp thụ của Acceptor, quá trình truyền năng lượng có thể đo được qua thời gian sống huỳnh quang. Xác định FRET qua thời gian sống huỳnh quang có một số ưu điểm so với phương pháp xác định FRET qua cường độ phổ, tránh được trường hợp không phải FRET (quá trình tái hấp thụ).

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu truyền năng lượng cộng hưởng huỳnh quang giữa chất màu Rhodamin 6G (Rh6G) và hạt nano vàng (AuNPs) bằng phương pháp huỳnh quang phân giải thời gian bởi các ứng dụng thực tế của hạt và thanh nano kim loại quý như vàng (Au) đều dựa trên hiện tượng cộng hưởng plasmon bề mặt (Surface Plasmon Resonance - SPR) có thể sử dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như quang tử (photonics), quang điện tử (optoelectronics), y-sinh học, môi trường...

## II. Thực nghiệm

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng hạt nano vàng (AuNPs) là phân tử Acceptor và phân tử Donor là Rhodamin 6G (Rh6G).

Hạt nano vàng (AuNPs) được nhóm Vật lý Plasma - Viện Vật lý chế tạo bằng phương pháp plasma trên hệ thiết bị như trình bày trong [12]. Có nhiều phương pháp chế tạo hạt nano kim loại khác nhau như phương pháp hóa khử,



quang hóa, phương pháp ăn mòn laser, phương pháp plasma... trong đó, phương pháp hóa khử là phương pháp thông dụng để chế tạo các hạt nano kim loại nói chung và nano vàng nói riêng với chi phí rẻ, chất lượng mẫu tương đối tốt và có thể điều khiển kích thước hoặc hình dạng hạt [13], song phương pháp này lại khó loại bỏ hoàn toàn tiền chất ban đầu. Phương pháp ăn mòn laser là phương pháp sử dụng laser (liên tục hoặc xung) bắn phá vào bia kim loại đặt trong môi trường lỏng hoặc khí (trơ với kim loại) để tạo ra hạt nano. Phương pháp này tạo ra mẫu với độ sạch cao, tuy nhiên độ đồng đều của hạt thu được lại khó không chế bởi phụ thuộc vào độ ổn định công suất, độ rộng xung, tần số lặp lại laser... [14]. Phương pháp plasma có thể tạo ra hạt nano

có độ sạch như phương pháp ăn mòn laser nhưng độ đồng đều hạt lại tốt hơn [15].

Rhodamin 6G (Rh6G) là chất màu laser thương mại có đỉnh hấp thụ tại 520 nm và phát xạ tại 560nm, với hiệu suất lượng tử lớn. Rh6G được pha ở nồng độ 0.52μM trong nước và mẫu AuNPs được pha trong nước ở nồng độ 5.10<sup>17</sup> hạt/ml với tỷ lệ khác nhau tuyến tính như trong Bảng 1.

Các mẫu được đo phổ hấp thụ trên thiết bị hấp thụ UV600 (Shimazu), phổ huỳnh quang trên phổ kế huỳnh quang Cary Eclipse (Variant) và phổ huỳnh quang phân giải thời gian (Time Resolved Fluorescence - TRF) trên cơ sở kỹ thuật đếm đơn photon tương quan thời gian (TCSPC) với bước sóng kích thích 405 nm, độ phân giải 38 ps [16].

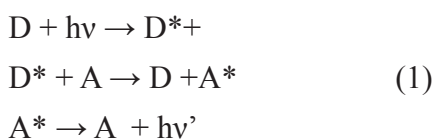
Bảng 1. Các mẫu nghiên cứu FRET giữa cặp Rh6G (Donor) và AuNPs (Acceptor)

Tên mẫu	AuNPs (ml) (N=5e <sup>17</sup> )	Rh6G (M=0.52μM)	H <sub>2</sub> O	Tỷ lệ N (AuNPs/Rh6G)
S1	0	0.5	2.5	0
S2	0.2	0.5	2.3	0.309
S3	0.4	0.5	2.1	0.618
S4	0.6	0.5	1.9	0.927
S5	0.8	0.5	1.7	1.235
S6	1	0.5	1.5	1.544

### III. Kết quả và thảo luận

#### 1. Cơ sở lý thuyết FRET

Trong quá trình truyền năng lượng cộng hưởng huỳnh quang, phân tử huỳnh quang Donor hấp thụ năng lượng ánh sáng tới chuyển lên trạng thái kích thích. Năng lượng kích thích này truyền cho phân tử huỳnh quang Acceptor lân cận. Quá trình truyền năng lượng này tự nó sẽ làm giảm cường độ huỳnh quang của Donor (dập tắt) và tăng cường độ huỳnh quang Acceptor đồng thời giảm thời gian sống huỳnh quang Donor



(D: Donor; A: Acceptor; dấu “\*” kí hiệu trạng thái kích thích).

Một số điều kiện cần phải được thỏa mãn để xảy ra FRET là:

(i) Phổ phát xạ huỳnh quang của Donor phải chồng chập lên phổ hấp thụ hoặc kích thích của Acceptor. Mức độ chồng chập lên nhau được gọi là phổ chồng lên nhau tích hợp (J).

(ii) Donor phải có cường độ huỳnh quang mạnh.

(iii) Hai chất này (Donor và Acceptor) phải ở khoảng cách gần nhau (thường 1 đến 10 nanô mét).

(iv) Các lưỡng cực điện (dipole) của các Donor và Acceptor phải gần như song song với nhau.

(v) Thời gian sống huỳnh quang của các phân tử Donor phải có khoảng thời gian đủ để cho hiệu ứng FRET xảy ra.

Hiệu suất truyền năng lượng FRET ( $E_{FRET}$ )

tỷ lệ với nghịch đảo mũ 6 khoảng cách Donor-Acceptor

$$E_{FRET} = \frac{R_0^6}{(R_0^6 + r^6)} \quad (2)$$

trong đó  $R_0$  là bán kính Förster - là khoảng cách mà ở đó năng lượng truyền là 50%.

$$R_0 = 0.2108 \left( K^2 n^{-4} \Phi_D \int(\lambda) \right)^{1/6} \quad (3)$$

Bán kính Förster  $R_0$  phụ thuộc vào hiệu suất lượng tử huỳnh quang của Donor ( $\Phi_D$ ) khi không có mặt Acceptor ( $f_d$ ), chiết suất của dung môi ( $\eta$ ), góc định hướng lưỡng cực của phân tử ( $K^2$ ) và sự chồng chập phổ của Donor-Acceptor ( $J$ ).

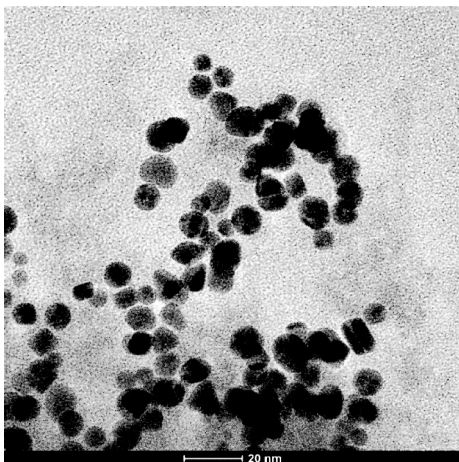
Hiệu suất truyền năng lượng có thể xác định thông qua cường độ huỳnh quang hoặc thông qua thời gian sống huỳnh quang theo biểu thức

$$E = 1 - \frac{F_{DA}}{F_D} = \frac{1}{1 + (\tau_{DA}/\tau_D)^6} \quad (4)$$

Trong đó  $\tau_{DA}$  là thời gian sống huỳnh quang của Donor khi có mặt Acceptor;  $\tau_D$  là thời gian sống huỳnh quang của Donor khi không có mặt Acceptor.

Tóm lại, tỷ lệ FRET phụ thuộc vào mức độ chồng chập phổ giữa các cặp Donor-Acceptor, hiệu suất lượng tử của các Donor, định hướng tương đối của các Donor-Acceptor, khoảng cách chuyển tiếp lưỡng cực và khoảng cách từ các Donor tới Acceptor. Bất kỳ quá trình nào có ảnh hưởng đến khoảng cách giữa các cặp chất Donor-Acceptor cũng sẽ ảnh hưởng đến hiệu suất của FRET.

## 2. Hình thái cấu trúc của nanô vàng



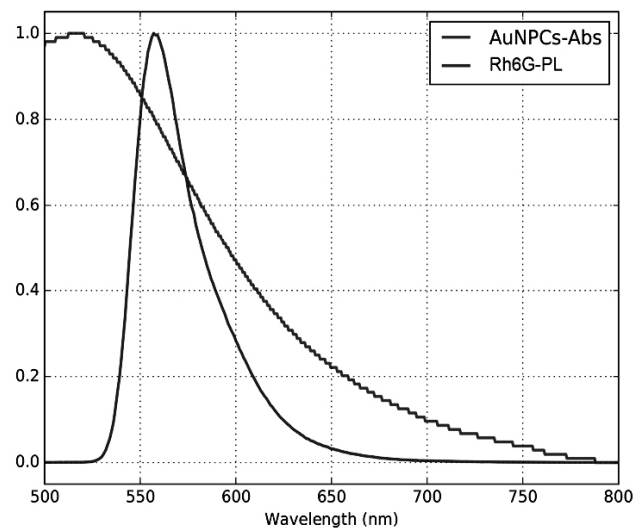
Hình 1. Ảnh TEM của hạt nanô vàng (AuNPs) trong nước

Ảnh TEM của AuNPs được trình bày trong Hình 1 cho thấy trên 90% các hạt có hình cầu và tựa cầu, phần còn lại có hình tam giác hoặc hình chữ nhật. Các hạt phân tán tốt trong nước và có kích thước 7 - 10 nm.

## 3. Phổ hấp thụ và phổ huỳnh quang

Các hạt nanô vàng (AuNPs) kích thước 7 - 10 nm có cường độ huỳnh quang rất yếu, vì vậy rất khó để đo được trên phổ kế huỳnh quang Cary Eclipse (Variant) trong khi đó Rh6G lại là vật liệu có huỳnh quang rất mạnh.

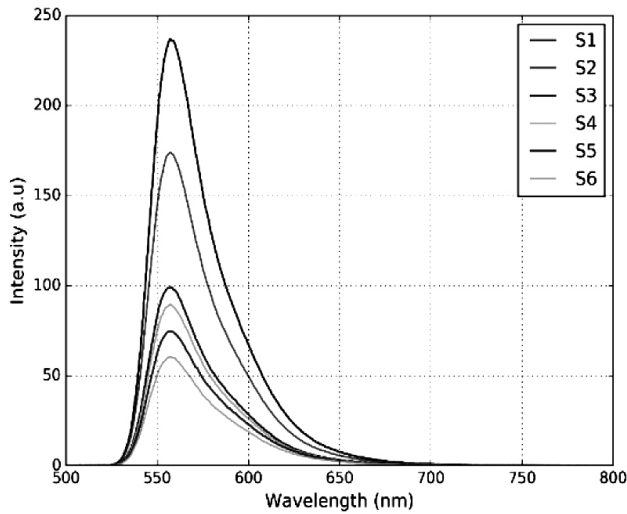
Hình 2 biểu diễn phổ hấp thụ của AuNPs và Rh6G trong nước. Hình vẽ cho thấy sự chồng chập phổ phát xạ Rh6G và phổ hấp thụ của AuNPs, đây là điều kiện tiên quyết để xảy ra FRET như đã đề cập trong phần 3.1.



Hình 2. Phổ hấp thụ của hạt nanô vàng (AuNPs) và phổ huỳnh quang của Rhodamin 6G trong nước

Hình 3 trình bày phổ huỳnh quang của các mẫu Rh6G/AuNPs với các tỷ lệ nồng độ AuNPs khác nhau (Bảng 1). Phổ quang huỳnh quang (PL) trạng thái dừng của AuNPs/Rh6G được đo trong cùng điều kiện (bước sóng kích thích, độ rộng khe...). Tuy các mẫu được chuẩn bị với tỷ lệ nồng độ Acceptor/Donor là tuyến tính, nhưng trên đồ thị ta thấy: khi không có nanô vàng, cường độ huỳnh quang của mẫu là lớn nhất - đây là huỳnh quang của Rhodamin 6G, khi có hạt nanô vàng, cường độ huỳnh quang của mẫu suy giảm nhanh,

tùy thuộc vào nồng độ AuNPs. Cường độ PL giảm rất nhanh ở mẫu S2 và S3 khi thêm vào 0.2 và 0.4 ml AuNPs, tương ứng. Tuy nhiên, từ khi thêm vào 0.6, 0.8, và 1 ml AuNPs thì cường độ PL giảm chậm hơn. Điều này thể hiện rõ trên Hình 4 khi so sánh hiệu suất truyền năng lượng FRET với tỷ lệ N giữa Acceptor/ Donor.



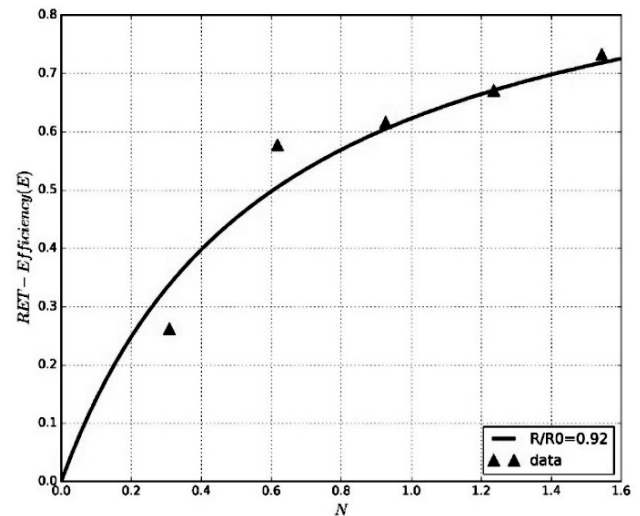
Hình 3. Phổ huỳnh quang cặp mẫu Rh6G/AuNPs với tỷ lệ nồng độ AuNPs khác nhau

#### 4. Hiệu suất truyền năng lượng của Rh6G/AuNPs

Hiệu suất truyền năng lượng  $E_{FRET}$  có thể được xác định bằng nhiều cách: sử dụng các phép đo huỳnh quang ở trạng thái dừng hoặc phân giải thời gian. Để xác định  $E_{FRET}$ , phương pháp phổ biến nhất là đo cường độ huỳnh quang trạng thái dừng ( $F_D$ ) của mẫu chỉ chứa Donor (D) và cường độ huỳnh quang ( $F_{DA}$ ) của mẫu tương ứng khi có thêm Acceptor (A). Nếu các giá trị của  $F_D$  và  $F_{DA}$  được chuẩn hóa với nồng độ tương ứng của D, hiệu suất truyền năng lượng  $E_{FRET}$  cho một cặp D-A có thể được tính theo công thức (4).

Kết quả tính toán hiệu suất truyền năng lượng ( $E_{FRET}$ ) theo tỷ lệ khoảng cách giữa phân tử Donor và Acceptor được biểu diễn trên Hình 4. Ta thấy ở tỷ lệ Acceptor/Donor khoảng  $> 1$ , kết quả tính toán từ số liệu thực nghiệm (tam giác đỏ) phù hợp với lý thuyết Förster (khi tỷ lệ  $R/R_0 = 0.92$  - Đường màu xanh dương) tốt hơn. Điều này là hợp lý vì khi nồng độ Acceptor thấp

(tỷ lệ Acceptor/Donor  $< 1$ ) thì xác suất xảy ra FRET thấp, khi đó nhiều Donor tự do và cường độ huỳnh quang lớn vì không tham gia vào quá trình trao đổi năng lượng cộng hưởng huỳnh quang, như vậy sai số theo lý thuyết sẽ lớn hơn. Khi tỷ lệ Acceptor/Donor gần bằng 1 và hơn 1, số Donor tự do không còn đáng kể mà thay vào đó Donor tham gia vào quá trình FRET, khi đó huỳnh quang thu được phản ánh Donor tham gia vào tương tác truyền năng lượng FRET.



Hình 4. Hiệu suất FRET phụ thuộc vào tỷ lệ N giữa Acceptor và Donor (tam giác đỏ), so sánh với lý thuyết Förster tại tỷ lệ  $R/R_0 = 0.92$  (Đường liền nét màu xanh dương)

#### 5. Thời gian sống huỳnh quang

Thời gian sống huỳnh quang là một phép đo quan trọng chứng minh hiệu ứng có phải là FRET hay không và để phân biệt với các quá trình khác có sự thay đổi về cường độ huỳnh quang như quá trình tái hấp thụ có xảy ra hay không. Thông qua thời gian sống huỳnh quang cũng có thể phân tích đánh giá tương tác trao đổi FRET. Đường suy giảm huỳnh quang của Rh6G thay đổi theo nồng độ AuNPs được đo trên hệ huỳnh quang phân giải thời gian - TRF trên cơ sở kỹ thuật đếm đơn photon tương quan thời gian - TCSPC và biểu diễn trong Hình 5.

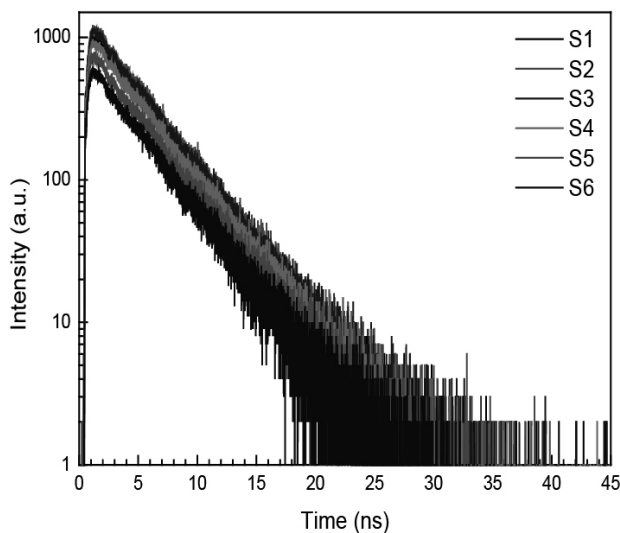
Thời gian sống huỳnh quang được tính từ việc fitting đường cong suy giảm huỳnh quang theo hàm exponent:

$$I = I_0 \text{Exp}(-t/\tau) \quad (5)$$

Tuy nhiên trên thực tế rất khó để fit đường suy giảm huỳnh quang theo hàm exponent đơn vì mẫu không sạch, có sự tham gia của nhiều quá trình khác, đồng thời kích thước và hình dạng của mẫu khác nhau nên cũng có giá trị thời gian sống khác nhau. Do đó để có sự phù hợp tốt giữa đường thực nghiệm và đường cong fitting người ta thường fit theo hàm stretch exponent:

$$I = I_0 \text{Exp}(-t / \tau)^\beta \tag{6}$$

trong đó  $\tau$  là thời gian sống của điện tử trên trạng thái kích thích và  $\beta$  là giá trị nằm trong khoảng từ (0 - 1). Thời gian sống huỳnh quang nhận được có thể xem là thời gian sống trung bình của các thành phần có thời gian sống khác nhau tại bước sóng đo của AuNPs.



Hình 5. Đường cong suy giảm huỳnh quang cặp mẫu Rh6G/AuNPs với tỷ lệ nồng độ AuNPs khác nhau

Tên mẫu	Tỷ lệ N (AuNPs/Rh6G)	$\beta$	$\tau$ (ns)
S1	0	1	4.157
S2	0.309	0.991	3.836
S3	0.618	0.959	3.589
S4	0.927	0.949	3.430
S5	1.235	0.927	3.218
S6	1.544	0.917	3.120

Trong trường hợp, khi nồng độ mẫu nghiên cứu cao (nồng độ hạt AuNPs tăng cao) cường độ huỳnh quang sẽ giảm điều này do quá trình tái hấp thụ hoặc truyền năng lượng của các phân tử cùng loại (homotransfer), khi đó tính chất quang

phụ thuộc vào nồng độ. Kết quả tính toán thời gian sống huỳnh quang được trình bày trong Bảng 2.

Giá trị tham số  $\beta = 1$  là mẫu chỉ có Donnor khi không có mặt của Acceptor, điều này chứng minh được điện tử chỉ có một cách tái hợp phát xạ photon và nồng độ Rh6G sử dụng trong thí nghiệm này là đủ loãng để không bị ảnh hưởng bởi tái hấp thụ hay homotransfer. Khi có mặt AuNPs tham số  $\beta$  giảm dần theo chiều tăng nồng độ AuNPs, điều này chứng minh được truyền năng lượng cộng hưởng huỳnh quang - FRET từ Donor. Để thấy rõ hơn, trong Bảng 2, tham số  $\beta$  và thời gian sống  $\tau$  phụ thuộc vào tỷ lệ N (AuNPs/Rh6G). Giá trị số  $\beta$  giảm từ 1 xuống 0.917 tương ứng với tỷ lệ N từ 0 đến 1.544, điều này chứng minh khi (AuNPs) càng tăng thì hiệu suất FRET cũng tăng theo như lý thuyết Förster đã đưa ra.

#### IV. Kết luận

Chúng tôi đã trình bày tổng quát lý thuyết truyền năng lượng cộng hưởng huỳnh quang và áp dụng để tính toán hiệu suất truyền năng lượng cộng hưởng huỳnh quang cho cặp phân tử Rhodamin 6G và nanô vàng (AuNPs) trong môi trường nước. Kết quả cho thấy rằng khi tỷ lệ hạt AuNPs/Rh6G > 0.92 thì hiệu suất truyền năng lượng trên 50%. Quá trình FRET giữa Rhodamin 6G (Rh6G) và nanô vàng (AuNPs) cũng đã được chứng minh thông qua phép đo thời gian sống huỳnh quang. Kết quả này cho phép ứng dụng phương pháp huỳnh quang phân giải thời gian và quá trình truyền năng lượng cộng hưởng FRET để xác định sự có mặt của phân tử donor nồng độ thấp.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Th Förster. 1948. Zwischenmolekulare Energiewanderung und Fluoreszenz. Ann Phys. 437:55
- [2] Cooper GM, Hausman RE. 2009. The cell: a molecular approach, 5th Edn. ASM Press, Washington
- [3] Selvin PR. 2000. The renaissance of fluorescence resonance energy transfer". Nat. Struct. Biol. 7(9), 730-734



- [4] Mor GK, Basham J, Paulose M, Kim S, Varghese OK, Vaish A, Yoriya S, Grimes CA. 2010. High-efficiency Förster resonance energy transfer in solid-state dye sensitized solar cells. *Nano Lett.* 10(7), 2387–2394
- [5] Sabet FS, Hosseini M, Khabbaz H, Dadmehr M, Ganjali MR. 2017. FRET-based aptamer biosensor for selective and sensitive detection of aflatoxin B1 in peanut and rice. *Food Chem.* 220, 527-532.
- [6] Dung H T, Knöll L, and Welsch D-G. 2002. Intermolecular energy transfer in the presence of dispersing and absorbing media. *Phys. Rev. A* 65, 043813
- [7] Pelton M. 2015. Modified spontaneous emission in nanophotonic structures. *Nat Photon* 9, 427–435
- [8] Colas des Francs G, Barthes J, Bouhelier A, Weeber JC, Dereux A, Cuche A, Girard C. 2016. Plasmonic Purcell factor and coupling efficiency to surface plasmons. Implications for addressing and controlling optical nanosources. *J Opt* 18(9), 094005
- [9] Duc Nghia Nguyen, Trinh Tung Ngo and Quang Liem Nguyen. 2012. Highly sensitive fluorescence resonance energy transfer (FRET)-based nanosensor for rapid detection of clenbuterol. *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.* 3, 035011
- [10] Dibyendu Dey, D. Bhattacharjee, S. Chakraborty, Syed Arshad Hussain. 2013. Effect of nanoclay laponite and pH on the energy transfer between fluorescent dyes. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 252, 174– 182
- [11] Mikhail Y. Berezin and Samuel Achilefu. 2010. Fluorescence Lifetime Measurements and Biological Imaging. *Chem Rev.*, 110(5), 2641–2684
- [12] Maria Antoaneta Bratescu et. Al. 2011. Size-Controlled Gold Nanoparticles Synthesized in Solution Plasma *J. Phys. Chem. C*, 115(50), 24569–24576
- [13] Yeh, Y. C. and Creran, B. and Rotello, V. M.. 2012. Gold nanoparticles: Preparation, Properties, and Applications in Bionanotechnology. *Nanoscale* 4 (6), 1871-1880
- [14] Xiaoxia Xu, Guotao Duan, Yue Li, Guangqiang Liu, Jingjing Wang, Hongwen Zhang, Zhengfei Dai and Weiping Cai. 2014. Fabrication of Gold Nanoparticles by Laser Ablation in Liquid and Their Application for Simultaneous Electrochemical Detection of Cd<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup> *ACS Appl. Mater. Interfaces.* 6(1), 65–71
- [15] I. E. Vlad, O. T. Marisca, A. Vulpoi, S. Simon, N. Leopold, S. D. Anghel. 2014. Simple approach for gold nanoparticle synthesis using an Ar-bubbled plasma setup. *J. Nanopart. Res.* 16(10), 2633
- [16] Vũ Thị Bích. 2019. “Nghiên cứu đặc trưng quang động học của đơn hạt nano trong môi trường nội bào bằng phương pháp quang phổ tương quan phân giải thời gian picô giây”, Báo cáo tổng kết đề tài KHCN Cấp NN, Mã số ĐT.NCCB-ĐHUD.2012-G/07.

### Lời cảm ơn

Công trình này được thực hiện với sự hỗ trợ về tài chính của đề tài KHCN cấp Viện Hàn lâm KHCNVN thuộc Chương trình phát triển vật lý đến năm 2020: “Ứng dụng phương pháp huỳnh quang phân giải thời gian và hiệu ứng truyền năng lượng cộng hưởng FRET thử nghiệm phát hiện độc tố/kháng sinh trong thực phẩm”.

## Ảnh hưởng của điều kiện xử lý nhiệt đến tính chất quang của màng Ge/Si đồng pha tạp Sb và P

The effect of thermal treatment on optical properties of Ge/Si thin film co-doped with P and Sb

Lương Thị Kim Phương  
Kim Phuong Luong Thi

*Đại học Hồng Đức, 565 Quang Trung, Phường Đông Vệ, thành phố Thanh Hóa, Việt Nam  
Hong Duc University, 565 Quang Trung, Dong Ve, Thanh Hoa, Viet Nam*

*(Ngày nhận bài: 14/05/2019, ngày phản biện xong: 23/05/2019, ngày chấp nhận đăng: 10/06/2019)*

### Tóm tắt

Ge là chất bán dẫn chuyển tiếp xiên với hiệu suất phát quang thấp. Tuy nhiên chênh lệch năng lượng giữa đáy của thung lũng L và thung lũng  $\Gamma$  của vùng dẫn là rất bé cỡ 140 meV. Vì vậy khả năng phát quang của Ge có thể cải thiện đáng kể nếu tạo ra một ứng suất căng và pha tạp điện tử trong lớp Ge do cấu trúc vùng năng lượng của nó bị thay đổi. Kỹ thuật đồng pha tạp từ hai nguồn rắn GaP và Sb được áp dụng để pha tạp điện tử vào lớp Ge. Xử lý nhiệt sau tăng trưởng là một bước quan trọng để tăng hiệu suất phát quang của màng Ge vì việc xử lý nhiệt không những tạo ứng suất căng mà còn có thể kích hoạt điện tử pha tạp. Bên cạnh đó, việc ủ nhiệt cũng giúp cho chất lượng màng được cải thiện và làm giảm mật độ sai hỏng trong mạng tinh thể. Trong nghiên cứu này, phương pháp xử lý nhiệt được tập trung khảo sát trong vùng nhiệt độ từ 600 - 750°C và thời gian xử lý nhiệt tăng từ 30 giây đến 90 giây. Màng Ge được lắng đọng trên đế Si (100) bằng phương pháp epitaxy chùm phân tử. Phép đo phổ nhiễu xạ điện tử phản xạ năng lượng cao và phổ nhiễu xạ tia X được dùng để đánh giá chất lượng bề mặt của mẫu cũng như chất lượng tinh thể của màng Ge. Khả năng phát quang của lớp Ge được khảo sát bằng thiết bị đo phổ huỳnh quang và mật độ điện tử đã kích hoạt đạt tới giá trị  $4,2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ .

*Từ khóa:* Ge; đồng pha tạp; xử lý nhiệt; GaP và Sb; phổ huỳnh quang.

### Abstract

Germanium (Ge) is an indirect band gap semiconductor with low photoluminescence efficiency. However, the energy difference between the bottoms of  $\Gamma$  valley and L valley in the conduction band is only 140 meV. It was shown that photoluminescence efficiency could be enhanced when applying a tensile strain and n-doping in the Ge layers to modify its energy band structure. Electron dopant in the Ge film was obtained by co-doping technique using two solid sources of GaP and Sb. Post-growth thermal treatment is a crucial step to increase photoluminescence intensity. Because it not only induces a tensile strain but also activates the dopant in Ge film. In addition, thermal annealing could ameliorate the crystal quality and reduce the dislocation density of the Ge epilayers. In this work, the thermal treatment process was investigated in the temperature range of about 600-750°C and annealing time was increased from 30 s to 90 s. The Ge film was grown by Molecular Beam Epitaxy technique. The surface quality was investigated using Reflection of High Energy Electron Diffraction and X-ray diffraction measurement was used to probe the crystal quality of the Ge sample. The photoluminescence efficiency of the Ge layers was evaluated by the photoluminescence spectrum and the total activated electron concentration obtained up to a value of  $4,2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ .

*Keywords:* Ge; co-doping; thermal treatment; GaP and Sb; photoluminescence.

*Email:* luongthikimphuong@hdu.edu.vn



## I. Mở đầu

Trong những năm gần đây, việc hiện thực hoá một nguồn sáng trên nền Si để tương thích với công nghệ vi điện tử trở thành một thách thức lớn đối với các nhóm nghiên cứu. Nhiều hướng tiếp cận để giải quyết vấn đề này đã được đưa ra như nghiên cứu khả năng phát quang của các loại vật liệu trên nền Si [1 - 7]. Nhưng đến thời điểm này, vẫn chưa có cách tiếp cận nào làm cho Si có hiệu suất phát quang mạnh ở nhiệt độ phòng. Một số khảo sát gần đây về khả năng phát quang của màng Ge đã chỉ ra rằng, khi thay đổi cấu trúc vùng năng lượng của nguyên tử Ge bằng cách tạo ra ứng suất căng đồng thời pha tạp điện tử trong màng Ge thì cấu trúc vùng năng lượng của nó bị thay đổi. Từ đó làm cho Ge từ một vật liệu bán dẫn chuyển tiếp xiên thành vật liệu bán dẫn chuyển tiếp thẳng với hiệu suất phát quang cao [8, 9, 10]. Nghiên cứu lý thuyết cho thấy, Ge có thể trở thành bán dẫn chuyển tiếp thẳng khi ứng suất căng đạt tới giá trị 1,9%. Tuy nhiên, đến thời điểm hiện tại vẫn chưa có một nghiên cứu nào cho thấy kết quả là đã đạt được ứng suất này. Thêm vào đó nếu với 1,9% ứng suất căng, khe năng lượng của Ge giảm xuống khoảng  $\sim 0,5\text{eV}$  và tương đương với bước sóng ánh sáng phát ra khoảng 2500 nm [11, 12], đây là bước sóng cách xa với bước sóng vô tuyến (1500nm). Vì vậy, cần phải có sự kết hợp giữa việc pha tạp điện tử với ứng suất căng để có thể đạt được bước sóng phát xạ cần thiết. Ta biết rằng, với một mức pha tạp điện tử cao, các điện tử sẽ chiếm lĩnh toàn bộ vùng năng lượng thấp trong thung lũng L, như vậy xác suất điện tử sẽ nhảy sang chiếm đóng vùng năng lượng ở thung lũng  $\Gamma$  được tăng lên để tiến tới sự phát quang khi nó tái kết hợp với một lỗ trống tại vùng hoá trị.

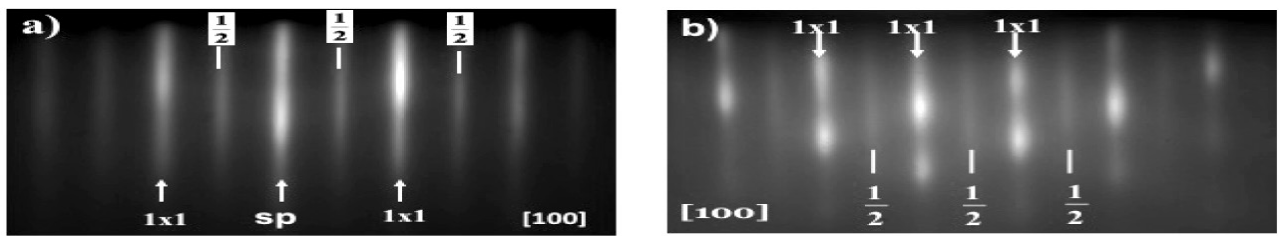
Vậy nên, pha tạp điện tử vào màng Ge là một hướng tiếp cận phù hợp để đạt được hiệu quả phát quang từ chuyển mức thẳng. Tuy nhiên, pha tạp điện tử với mật độ lớn vào Ge là một thách thức bởi vì tính tan chậm và khuếch tán nhanh

của chất pha tạp. Để pha tạp điện tử vào màng Ge, người ta thường sử dụng các nguyên tố thuộc nhóm V trong bảng hệ thống tuần hoàn như, nguyên tố P, As hoặc Sb. Chú ý rằng sự thay đổi nồng độ điện tử sẽ làm thay đổi tính chất quang của vật liệu. Bởi trong hầu hết các trường hợp, sự phát quang xảy ra là do sự tham gia của các hạt tải đã kích hoạt. Để tăng nồng độ điện tử chúng ta có thể có nhiều cách trong đó đồng pha tạp hai nguyên tố khác nhau là một cách tiếp cận mới. Vì độ hòa tan của mỗi nguyên tố trong vật liệu nền là hoàn toàn xác định nên ta có thể tăng mật độ tổng cộng của điện tử bằng cách sử dụng kỹ thuật đồng pha tạp. Trên cơ sở đó chúng tôi đã nghiên cứu màng Ge pha tạp điện tử mật độ cao sử dụng kỹ thuật đồng pha tạp P và Sb.

Hiệu suất phát quang của màng Ge phụ thuộc vào chất lượng tinh thể và mật độ nguyên tử pha tạp đã kích hoạt. Chất lượng tinh thể ảnh hưởng lớn đến khả năng phát quang của màng vì nếu trong mạng tinh thể tồn tại các sai hỏng thì chúng sẽ trở thành các tâm tán xạ và làm suy giảm đáng kể hiệu suất phát quang của vật liệu. Sau khi được pha tạp vào mạng nền, các điện tử chỉ thực sự được kích hoạt khi nguyên tử pha tạp thay thế vị trí của Ge trong mạng tinh thể. Mật độ điện tử đã kích hoạt tăng lên nếu mẫu được xử lý nhiệt sau tăng trưởng vì khi xử lý nhiệt các nguyên tố pha tạp được cung cấp một động năng để chuyển từ vị trí xen kẽ vào vị trí thay thế trong mạng nền. Vì vậy trong nghiên cứu này, chúng tôi tập trung khảo sát ảnh hưởng của điều kiện xử lý nhiệt lên cấu trúc và tính chất quang của màng Ge khi pha tạp điện tử từ hai nguồn pha tạp Sb và Ge khác nhau.

## II. Thực nghiệm

Màng Ge được lắng đọng trên đế Si bằng cách sử dụng hệ thống epitaxy chùm phân tử MBE (Molecular Beam Epitaxy) tiêu chuẩn với áp suất nền thấp hơn  $3 \div 5 \times 10^{-10}$  torr. Nhiệt được cung cấp ở hai vùng trên nguồn Knudsen làm cho Ge bay hơi với tốc độ bốc bay khoảng từ 2 đến 5nm/phút.



Hình 1. Hình ảnh nhiễu xạ RHEED dọc theo hướng [100] của lớp màng Ge/Si trong các trường hợp pha tạp khác nhau. a) Màng Ge/Si pha tạp P; b) Màng Ge/Si đồng pha tạp P và Sb

Để Si phẳng có định hướng (100) và được pha tạp từ nguyên tử B (loại n). Bề mặt để được làm sạch qua 2 giai đoạn: giai đoạn xử lý hoá học và giai đoạn xử lý nhiệt trong buồng MBE [13]. Sau khi hoàn thiện quy trình làm sạch mẫu, quan sát phổ nhiễu xạ điện tử phản xạ năng lượng cao RHEED (Reflection High Energy Diffraction) cho thấy sự xuất hiện rõ nét của vạch (2x1) đặc trưng cho sự tái cấu trúc bề mặt của Si. Một công tắc cặp nhiệt được gắn ở mặt phía sau của đế Si để xác định nhiệt độ tăng trưởng với độ chính xác khoảng  $\pm 20^\circ\text{C}$ .

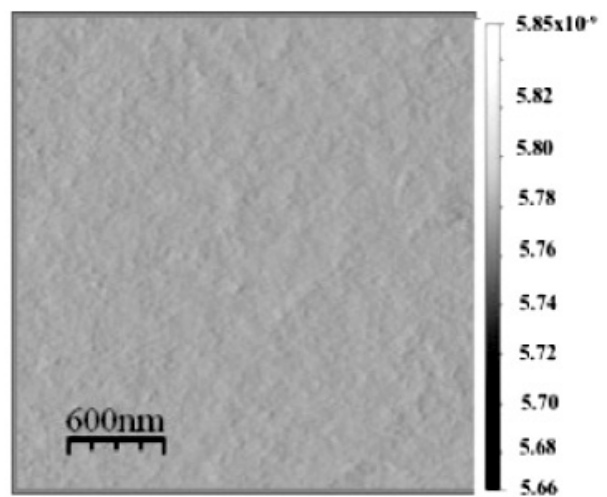
Kiểu tăng trưởng của màng Ge trong quá trình lắng đọng được quan sát bằng thiết bị RHEED được lắp đặt trong buồng tăng trưởng MBE. Thiết bị này cho phép quan sát kiểu tăng trưởng của lớp Ge ngay trong quá trình lắng đọng. Nhờ vào phổ nhiễu xạ điện tử phản xạ năng lượng cao RHEED với chùm điện tử tới gần như song song với bề mặt mẫu. Do chùm điện tử này chỉ đi sâu vào vài đơn lớp của màng Ge nên từ tín hiệu RHEED chúng ta có thể khảo sát chất lượng bề mặt của màng Ge.

Phổ huỳnh quang PL (Photoluminescence) của lớp Ge được đo khi sử dụng đầu thu InGaAs để thu tín hiệu huỳnh quang phát ra từ mẫu. Mẫu được kích thích bằng nguồn laser có bước sóng 523nm. Các phép đo huỳnh quang được tiến hành ở nhiệt độ phòng.

### III. Kết quả và thảo luận

Tăng trưởng Ge trực tiếp trên đế Si được biết đến theo kiểu tăng trưởng đặc trưng dạng đảo (tăng trưởng Stranski-Karastanov hay còn gọi là tăng trưởng 3D). Nguyên nhân là do sự chênh

lệch hằng số mạng giữa Ge và Si là khá lớn, cỡ 4,2%. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng kiểu tăng trưởng này có thể khống chế bằng phương pháp tăng trưởng hai bước [14]. Bước thứ nhất là tạo ra một lớp đệm Ge có độ dày khoảng 30 - 50nm được tăng trưởng trong vùng nhiệt độ từ 260 - 300°C. Vai trò của lớp này là giải phóng ứng suất do sự sai khác hằng số mạng giữa màng Ge và đế Si và duy trì một bề mặt phẳng mịn bằng cách hạn chế sự linh động của nguyên tử Ge ở nhiệt độ tăng trưởng thấp. Từ đó có thể ngăn cản sự hình thành mầm của các đảo 3D trong lớp Ge. Bước thứ hai với độ dày tùy ý được tăng trưởng ở nhiệt độ mong muốn trên nền của lớp đệm nên sẽ có chất lượng tinh thể tốt và giảm được đáng kể mật độ khuyết tật của màng Ge. Trong nghiên cứu này sau khi tăng trưởng lớp Ge thứ nhất ở nhiệt độ 270°C thì lớp Ge thứ hai đồng pha tạp P và Sb được tăng trưởng ở nhiệt độ 170°C và nhiệt độ nguồn GaP được cố định tại 725°C [15].

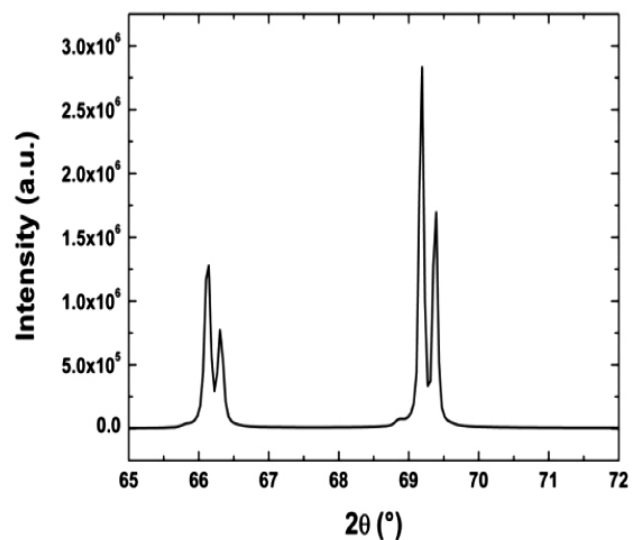


Hình 2. Ảnh kính hiển vi lực nguyên tử AFM ứng với chế độ tiếp xúc của màng Ge/Si đồng pha tạp P và Sb.

Trong quá trình pha tạp P trong Ge, mối tương quan giữa các phép đo RHEED và đặc tính huỳnh quang PL đã được thiết lập. Kết quả cho thấy, khi bề mặt của màng Ge tăng trưởng theo kiểu 3D thì cường độ huỳnh quang PL của màng tương ứng sẽ giảm vì cường độ huỳnh quang phụ thuộc rất lớn vào chất lượng tinh thể của mẫu. Trên cơ sở đó chúng ta sẽ khảo sát chất lượng tinh thể của màng Ge/Si (001) sau khi đồng pha tạp photpho và antimony thông qua phép đo RHEED. Hình 1 biểu diễn phổ phản nhiễu xạ RHEED thu được khi mẫu Ge chỉ có mình P (hình a) với khi mẫu Ge đồng pha tạp P và Sb (Hình 1(b)). Ở cả hai trường hợp phổ nhiễu xạ thu được đều có dạng các vạch sáng song song với nhau, đều đã xuất hiện đủ cả hai loại vạch (1x1) và 1/2. Hình 1(b) cho thấy khi đồng pha tạp P và Sb hình ảnh phổ nhiễu xạ quan sát được rõ ràng, các vạch sáng đồng đều cho thấy bề mặt của màng khá mịn. Tuy kết quả đo RHEED trong trường hợp đồng pha tạp bắt đầu có sự hình thành chấm 3D nhưng vẫn còn hiện diện các vạch (2x1) đặc trưng của sự tái cấu trúc trên bề mặt Ge. Điều này có nghĩa là sự tăng trưởng của màng khi đồng pha tạp P và Sb với Ge vẫn được tiến hành thông qua chế độ từng lớp một. Ngoài ra, để bổ sung cho việc phân tích bề mặt màng Ge từ phép đo RHEED, chúng tôi sử dụng kính hiển vi lực nguyên tử AFM (Atomic Force Microscopy) để khảo sát chất lượng bề mặt và kích thước hạt trong lớp Ge. Hình 2 là ảnh kính hiển vi lực nguyên tử AFM của bề mặt màng Ge trên đế Si được tăng trưởng theo phương pháp hai bước ở nhiệt độ 270/170°C như đã nêu trên. Kết quả cho thấy bề mặt của lớp Ge mịn và đồng đều với kích thước hạt cỡ 50nm và độ nhám bề mặt trung bình khoảng 0,5nm.

Tiếp đó, chúng tôi sử dụng phép đo nhiễu xạ XRD (X-ray Diffraction) để kiểm tra tính chất tinh thể của mẫu Ge/Si. Hình 3 thể hiện phổ nhiễu xạ tia X của màng Ge trên đế Si (100) theo hướng (400). Kết quả cho thấy có thu được tín hiệu đỉnh phổ đặc trưng cho tinh thể của Ge và

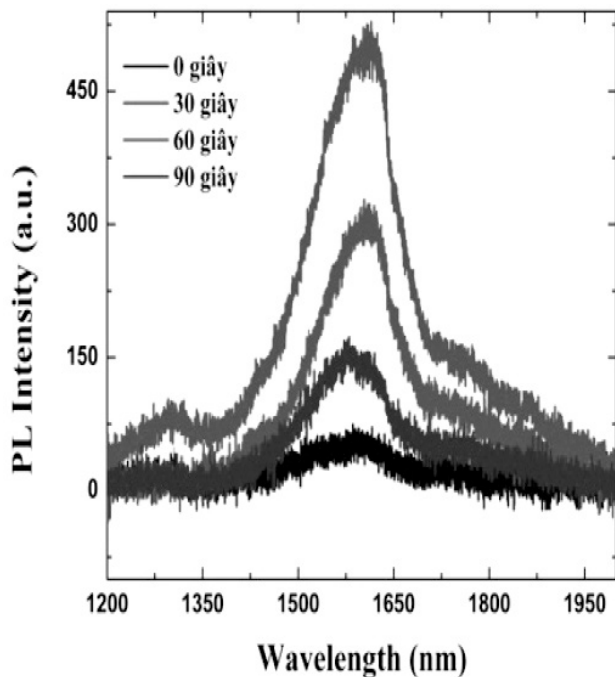
Si, chứng tỏ mẫu có cấu trúc tinh thể với chất lượng tốt. Phổ nhiễu xạ không xuất hiện các đỉnh lạ chứng tỏ mẫu tinh khiết và không xuất hiện các pha khác trong quá trình tạo mẫu (như hình thành pha SiGe...). Cường độ của các đỉnh phổ phụ thuộc vào độ dày mẫu, nên đỉnh phổ của đế Si (độ dày đế Si cỡ 500 micromet) có cường độ lớn hơn cường độ của đỉnh phổ Ge (độ dày màng Ge cỡ 600nm).



Hình 3. Phổ nhiễu xạ tia X của màng Ge tăng trưởng epitaxy trên đế Si định hướng (100).

Qua các phép phân đo RHEED, chụp ảnh AFM và đo nhiễu xạ tia X ta có thể kết luận rằng mẫu màng Ge đồng pha tạp P và Sb có chất lượng tinh thể tốt, phù hợp cho các ứng dụng quang học.

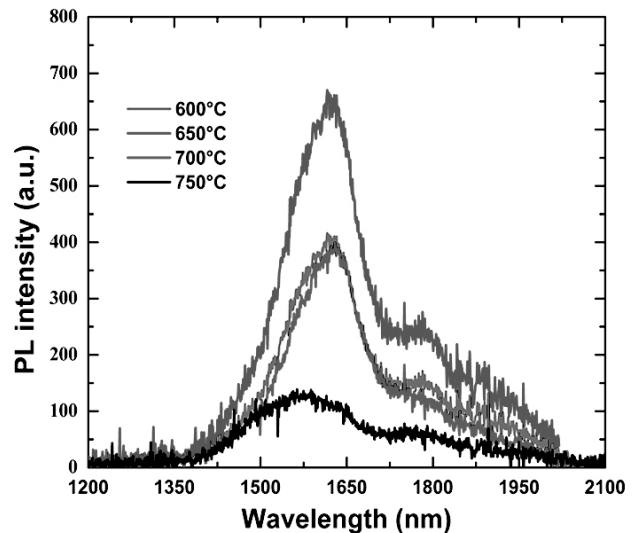
Đối với màng Ge pha tạp điện tử, thì quá trình xử lý nhiệt đóng một vai trò quan trọng, nó không chỉ để kích hoạt các nguyên tử pha tạp mà còn để tạo ra ứng suất căng và giảm mật độ sai hỏng. Kết quả nghiên cứu trước cho thấy điều kiện tối ưu cho việc pha tạp photpho trên màng Ge là thiết lập nhiệt độ tại 750°C trong thời gian 60 giây. Song, đối với trường hợp đồng pha tạp P và Sb, quá trình phức tạp hơn bởi vì antimony là một nguyên tố có độ khuếch tán cao, đặc biệt là trên bề mặt Si (001) [16]. Do đó, điều quan trọng là phải thiết lập một quy trình xử lý nhiệt tối ưu cho mẫu đồng pha tạp.



Hình 4. Sự thay đổi của phổ huỳnh quang của lớp Ge pha tạp điện tử từ nguồn GaP và Sb khi tăng đôi thời gian ủ mẫu từ 30 giây đến 60 giây

Để thiết lập quy trình xử lý nhiệt, trước hết nhiệt độ để được giữ ở 700°C và thời gian ủ mẫu tăng dần từ 30 giây đến 60 giây và cuối cùng là 90 giây. Kết quả sự phụ thuộc của phổ huỳnh quang vào thời gian xử lý nhiệt ở Hình 4 cho thấy khi tăng thời gian xử lý nhiệt từ 30 giây (đường màu đỏ) đến 60 giây thì cường độ huỳnh quang tăng dần và đạt cực đại ứng với thời gian xử lý nhiệt là 60 giây (đường màu xanh lá cây). Tiếp tục tăng thời gian xử lý nhiệt lên đến 90 giây (đường màu tím) thì cường độ huỳnh quang suy giảm đáng kể. Hình 5 biểu diễn sự thay đổi của phổ PL phụ thuộc vào điều kiện xử lý nhiệt. Thời gian xử lý nhiệt là 60 giây đối với tất cả các mẫu. Hình ảnh này cho thấy cường độ PL cao nhất đạt được khi xử lý nhiệt ở 650°C (đường cong màu xanh lam). Khi nhiệt độ nung tăng lên đến nhiệt độ 700°C (đường cong màu đỏ) và 750°C (đường cong màu đen), cường độ PL sẽ giảm xuống. Sự suy giảm đó là do sự khuếch tán Sb ra khỏi bề mặt và bốc hơi để hình thành pha khí. Ví dụ, sau khi xử lý nhiệt ở 750°C, người ta có thể nhìn thấy một lớp antimony màu trắng đục bao phủ toàn bộ bề mặt mẫu. Dựa vào kết quả này, chúng tôi đã

duy trì nhiệt độ xử lý nhiệt ở 650°C trong thời gian 60 giây. Để xác định mật độ điện tử tổng cộng trong màng Ge, chúng tôi sử dụng phép đo hiệu ứng Hall ở nhiệt độ phòng. Kết quả cho thấy nồng độ các nguyên tử P và Sb sau khi đã kích hoạt là  $4,2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ .



Hình 5. Sự phụ thuộc của cường độ huỳnh quang của màng Ge đồng pha tạp P và Sb vào nhiệt độ xử lý nhiệt khi thay đổi nhiệt độ từ 600°C đến 750°C.

#### IV. Kết luận

Màng Ge đồng pha tạp từ nguồn rắn GaP và Sb được tăng trưởng epitaxy trên đế Si có chất lượng tinh thể tốt. Quy trình xử lý nhiệt được tập trung nghiên cứu để tăng mật độ điện tử pha tạp bằng cách kích hoạt các nguyên tố P và Sb vào đúng vị trí thay thế của Ge trong mạng nền. Kết quả cho thấy cường độ huỳnh quang của màng Ge đạt giá trị lớn nhất ứng với nhiệt độ ủ mẫu là 650°C với thời gian xử lý nhiệt kéo dài 60 giây. Mật độ điện tử tổng cộng đã kích hoạt được pha tạp trong màng Ge đạt tới  $4,2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ .

#### Tài liệu tham khảo

- [1] L. Canham (2000), "Gaining light from silicon", Nature 408, 411
- [2] N. Koshida and H. Koyama (1992), "Visible electroluminescence from porous silicon", Appl. Phys. Lett. 60, 347.
- [3] B. Zheng, J. Michel, F.Y.G. Ren, L.C. Kimerling, D.C. Jacobson and J.M. Poate (1994), "Room-temperature sharp line electroluminescence at  $\lambda=1.54 \mu\text{m}$  from an erbiumdoped silicon light-



- emitting diode” Appl. Phys. Lett. 64, 2842
- [4] A.J. Kenyon, P.F. Trwoga, M. Federighi and C.W. Pitt (1994), “Optical properties of PECVD erbium-doped silicon-rich silica: evidence for energy transfer between silicon microclusters and erbium ions” J. Phys.: Condens. Matter 6, L319.
- [5] L. Pavesi, L. Dal Negro, C. Mazzoleni, G. Franzo and F. Priolo (2000), “Optical gain in silicon nanocrystals”, Nature 408, 440.
- [6] C.S. Peng, Q. Huang, W.Q. Cheng, J.M. Zhou, Y.H. Zhang, T.T. Sheng, and C.H. Tung (1998), “Optical properties of Ge self-organized quantum dots in Si”, Phys. Rev. B 57, 8805.
- [7] M. El Kurdi, S. David, P. Boucaud, C. Kammerer, X. Li, V. Le Thanh, S. Sauvage, J.-M. Lourtioz (2004), “Strong 1.3-1.5  $\mu\text{m}$  luminescence from Ge/Si self-assembled islands in highly-confining microcavities on silicon-on-insulator”, J. Appl. Phys. 96, 997.
- [8] X. Sun, J.F. Liu, L.C. Kimerling, and J. Michel (2009), “Direct gap photoluminescence of n-type tensile strained Ge-on-Si”, Appl. Phys. Lett. 95, 011911.
- [9] M. El Kurdi, T. Kociniewski, T.-P. Ngo, J. Boulmer, D. Débarre, P. Boucaud, J. F. Damlencourt, O. Kermarrec, and D. Bensahel (2009), “Enhanced photoluminescence of heavily n-doped germanium”, Appl. Phys. Lett. 94, 191107
- [10] X. Sun, J.F. Liu, L.C. Kimerling and J. Michel (2010), “Toward a germanium laser for integrated silicon photonics”, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 16 124
- [11] El Kurdi, M., Fishman, G., Sauvage, S. and Boucaud, P (2010), Band Structure and Optical Gain of Tensile-Strained Germanium Based on a 30 Band k-p Formalism. Journal of Applied Physics, 107, 013710.
- [12] Luong T K P, A. Ghrib, M.T. Dau, M.A. Zrir, M. Stoffel, V. Le Thanh, R. Daineche, T.G. Le, V. Heresanu, O. Abbes, M. Petit, M. El Kurdi, P. Boucaud, H. Rinnert, J. Murota (2014), “Molecular-beam epitaxial growth of tensile-strained and n-doped Ge/Si (001) films using a GaP decomposition source”, Thin Solid Films, 557, pp. 70-75.
- [13] Lương Thị Kim Phượng (2018), “Phương pháp xử lý bề mặt ở nhiệt độ thấp ứng dụng trong kỹ thuật tăng trưởng epitaxy chùm phân tử”, Tạp chí khoa học và công nghệ Đại học Thái Nguyên, 185, 09.
- [14] Lương Thị Kim Phượng (2018), “Khống chế sự hình thành tăng trưởng dạng đảo của germani trên đế silic bằng phương pháp epitaxy chùm phân tử”, Tạp chí khoa học và công nghệ Đại học Thái Nguyên, 181, 05
- [15] T. K. P. Luong, V Le Thanh, A Ghrib, M El Kurdi and P Boucaud (2019), “Enhanced Tensile Strain in P-doped Ge Films Grown by Molecular Beam Epitaxy Using GaP and Sb Solid Sources”, Journal of Electronics Materials.

### Lời cảm ơn

Xin chân thành cảm ơn nhóm nghiên cứu “Heterostructure” của viện CINaM, trường Đại học Aix- Marseille, Cộng hòa Pháp vì sự giúp đỡ trong quá trình thực hiện nghiên cứu này.

## Leveraging Alice 3 for improving the learning effectiveness of Fundamental of computing course at Duy Tan University

Sử dụng Alice 3 để nâng cao hiệu quả học môn Cơ sở tin học tại Đại học Duy Tân

Anh Dao Nguyen<sup>a,\*</sup>, Duc Man Nguyen<sup>a</sup>, Bao Trang Nguyen<sup>a</sup>  
Nguyễn Thị Anh Đào, Nguyễn Đức Mạnh, Nguyễn Bảo Trang

<sup>a</sup>International School, Duy Tan University, 03 Quang Trung, Danang, Vietnam  
Khoa Đào tạo Quốc tế, Đại học Duy Tân, 03 Quang Trung, Đà Nẵng, Việt Nam

(Ngày nhận bài: 22/05/2019, ngày phản biện xong: 27/05/2019, ngày chấp nhận đăng: 01/06/2019)

### Abstract

It is difficult for first-year students to expose to the programming concepts of object, class, attributes, as well as the concepts of inheritance, polymorphism, and encapsulation. Instructors who take charge of the computing courses try to figure the ways to visualize those concepts to help the students understand easily. At Duy Tan University, the instructors have leveraged the tool called Alice 3 to teach first-year students in the course Fundamental of Computing (FC1). Alice is a software created from a project at Carnegie Mellon University and Alice 3 is a visual, creative programming environment supporting users to create 3D animations for writing the users' stories. By using a case study, this paper demonstrates the implementation of Alice 3 in the FC1 course to enhance the learning effectiveness of students of the Software Engineering program at International School, Duy Tan University in the fall semester of the academic year 2017 - 2018. Data was collected from two classes by using various research methods such as on-site observation and structured interviews. This study also shows the development of self-study skills and some of the lessons learned need to be improved for faculty in the teaching of FC1 course.

*Keywords:* object-oriented programming, Alice 3, block-based programming, visualization.

### Tóm tắt

Sinh viên năm thứ nhất gặp rất nhiều khó khăn với các khái niệm mới trong lập trình hướng đối tượng, lớp, thuộc tính, cũng như khái niệm kế thừa, đa hình và đóng gói. Các giảng viên phụ trách các khóa học lập trình cơ bản luôn cố gắng tìm ra cách để hình dung các khái niệm đó để cho sinh viên dễ hiểu. Tại Đại học Duy Tân, các giảng viên đã ứng dụng công cụ Alice 3 để dạy sinh viên năm thứ nhất trong khóa học Lập trình cơ bản - Java (FC1). Alice là một phần mềm được tạo ra từ một dự án tại Đại học Carnegie Mellon và Alice 3 là một môi trường lập trình trực quan, sáng tạo hỗ trợ người dùng tạo ra các phim hoạt hình 3D hoặc tự tạo các câu chuyện bằng hoạt hình. Bằng cách triển khai một dự án trong môn học, bài viết này cho thấy việc triển khai Alice 3 trong môn FC1 giúp tăng cường hiệu quả học tập của sinh viên chương trình Kỹ thuật phần mềm tại Khoa Đào tạo Quốc tế, Đại học Duy Tân vào học kỳ mùa thu năm học 2017 - 2018. Dữ liệu được thu thập từ hai lớp bằng cách sử dụng các phương pháp nghiên cứu khác nhau như quan sát tại chỗ và phỏng vấn. Nghiên cứu này cũng cho thấy sự phát triển các kỹ năng tự học và một số bài học cần phải được cải thiện cho giảng viên trong việc giảng dạy khóa học FC1.

*Từ khóa:* Lập trình hướng đối tượng, Alice 3, lập trình dựa trên khối lệnh, trực quan hóa.

### I. Introduction

Object-oriented programming in many years was accepted by the software community as a good

approach. It really supports many concepts such as well-structured programming, modularization, and program design. It also supports techniques for



software engineer students in learning: pair or team programming, maintenance of large systems and code reuse. In short, object-oriented programming seems to be a good tool for teaching those programming methodologies that we consider important. However, teaching and learning object-oriented programming still face many difficulties and many approaches are proposed to solve these challenges. While some researchers have focused on the pros and cons of particular paradigms and languages which are appropriate for the novices [15], Robins identified those challenges in terms of knowledge, strategies and mental models that affect three distinct dimensions of design, code and testing programs [16]. Others describe the maintenance of a procedural view of programming, focusing on the programming language not on systematic programming process [13 - 14]. On the other hand, from students' perspective, they have issues in learning many new concepts taught in introductory object-oriented programming including [1 - 2]: Classes, Objects, and Inheritance; Methods, Functions, and Parameters; Control Structures; Lists and List Processing; Variables; Recursion. However, in many years teaching programming languages by writing text-based programs was a traditional approach which do not appeal to them. The code examples may not be attractive and actually hard to understand. As a 3-dimensional interactive animation program visualization environment, Alice can support any starter programmers to build animated 3-D games or movies as they learn introductory object-oriented programming concepts. It provides many new features such as drag-and-drop development environment so that students can be prevented from making syntax errors. Currently, Alice is being used in hundreds of universities and high schools, in pre-Computer Science courses and beyond. It was originally designed as a rapid prototyping tool for creating graphical simulations using an object-oriented language but now is primarily

used as a graphical programming environment in the tradition of Logo. Using this tool, students add three-dimensional graphic objects to a virtual world and manipulate these objects through the use of methods and functions [6]. Alice makes it easy for beginners to create a visual representation of a story, interactive games, or a video clip, etc. With Alice students easily understand the relationship between the structure and behavior of objects in their programs. In this way, the users will understand and broaden their experience with commands, structures, and programs taught.

## II. Prior research

With object first approach, Zhu *et al.* in their research proposed a new way of teaching object-oriented programming (C++) by guiding methodology first and language afterward [17]. Jen *et al.* also mentioned about three different categories of the concept: using objects, classes, and concepts that are simple, helpful and adequately modelled to depict varieties of object first, and the advancement of instruments or activities that help a specific way of training basic programming [18]. As an important tool to implement object first method, Yan has presented an approach to teaching object-oriented programming with games which is characterized by (1) object-orientation first, programming second (2) graphically rich examples (3) game as the trigger. His research described a new method that provides not only a positive and supportive atmosphere in which students can learn the principles of object-oriented programming but also keeps students interested in programming principles [19].

Alice has been used successfully in introductory courses at several universities. Monmouth University's Computer Science and Software engineering department each presented the utilization of Alice in fall 2005 for every two recently made courses. The courses deliver to freshman reviews of their individual controls and furthermore, by using Alice, introduce new concepts

of object-oriented programming. A few years ago, the first course for software engineering majors used C++, which had a pass rate under 50%. Once Alice course was held and became the first course in these majors. From fall 2003 to spring 2007, 106 students enrolled in the Alice and Programming I course in C++. 37 among them recently took one of the new outline courses including Alice; the rest of them did not. Then the achievement rate was 46.4% in group of students who did not take any overview of new course; among the individuals who did, this rate was 70.3% [8].

Moskal, Lurie, and Cooper in their research looked at the effectiveness of the Alice course for improving retention of novice students in computer science or software engineering at Saint Joseph's University and at Ithaca College [10]. The result showed that during 4 years many students change their major because of lacking mathematical knowledge, diffidence and they did not learn programming before entering university. These high-risk students who took the Alice course performed fundamentally better (1 letter grade higher) in the subsequent introductory major's course than their high-risk peers who did not take the Alice course. The high-risk students who took the Alice course also had better retention rates and improved attitudes towards in many other courses later. Cooper et al. reported similar results for students who took an Alice-based course concurrently with their introductory major's course [9]. Although these studies are preliminary in nature, they do show the overall effectiveness of the Alice approach to teaching object-oriented programming, especially for those students who are novices in a traditional computer science curriculum.

### **III. Implementation process**

FC1 is the course which introduces basic programming using Java programming language with object-oriented programming principles. There will be a revisit to basic concepts of

programming but the emphasis is placed on object-oriented programming principles, the use of some of the common Java libraries from the core Java API and event-driven programming. The purpose of this course is to help develop programming skills and forming object-oriented thinking which will serve as foundation for becoming a software engineer. After completing this course, students are able to practice all primitive data types, control structures, basic functions in small programs. The important point is students can apply basic concepts of object-oriented programming such as abstract and concrete classes, inheritance, polymorphism, encapsulation, and information hiding in small programs. At the end of this course, students are also required to write a simple user-defined method conforming requirements and employing basic Java API with concepts of I/O and exception handling. And the ultimate objective is that students can demonstrate basic concepts of graphical user interface (GUI) components and Java's Event Handling Model in small programs. To finish these courses' objectives many lectures will be delivered over 15 weeks with 3 hours per week. Each lecture will include basic contents in sequence: data type, variables, expressions, conditional expression, loop, array, as well as basic object-oriented programming concepts like abstract and concrete class, inheritance, polymorphism, encapsulation, etc. and many related exercises to practice programming skills. In the last two weeks, students will be assigned an individual project with a required topic to complete the goal of demonstrating basic concepts of graphical user interface components and Java's Event Handling Model.

Our instruction methodology for an introduction to programming was to start with simple programs and little by little advance to complex programming examples and projects. This approach allowed a somewhat gentle learning curve, providing time for the learner to assimilate

and build knowledge incrementally. However, we recognized that students spend insufficient time on programming exercises and strive with problem-solving, applying OOP concepts, and abstraction. Many students struggle to visualize more abstract concepts such as object behavior and state.

Alice is an open source tool, designed to give first-time finding to learners on the basics of object-oriented programming. Object-first strategy is presently attracting much interest. Object-first accentuates the principles of object-oriented programming and from the first crack beginning directly with the notions of objects, object’s behavior and state, then goes on to introduce more traditional control structures, but always in the context of an overarching focus on object-oriented design. Students can learn object-first approach while creating 3D animated movies and basic video games in Alice those contribute to an engaging interactive environment.

**A. The case project**

This project is implemented in the following 3 steps. The first step, Instructor delivers the Alice 3 tutorial. First of all, they need to introduce Alice 3 to students as well as guide them how to download and install the software on personal laptops.

Students get knowledge of the features of Alice 3 such as:

- Create and save a new project in Alice 3.
- How does Alice environment look like?
- Add and position objects
- Use procedures and arguments.

- Gallery’s Biped collection includes 47 classes such as: Elder, Adult, Teen, Child, etc.

- Add rotation and randomization.
- Declare a new procedure
- Use control statements
- Use functions
- Use IF and WHILE control structures
- Use expression
- Use variables
- Use keyboard control

We choose to implement the learning by doing approach so students after being instructed on the basic usage will proceed to the next step.

The second step, students start to develop a complete animation. They work in team to do brainstorming to decide what story or the creative game the team want to tell. Then they need to write a script and draw a storyboard for the game or story: the team needs to better understand what they are going to animate. It depends on which team are more comfortable with writing a script or drawing a simple storyboard for their story. Later, they start to design algorithm and flow-chart: the group will start to outline the specifics of their program through a textual algorithm design, a flow-chart, or both. Then they should write out a step by step set of directions focusing on highlighting the objects or characters in the story and the actions or events that take place. By using characters and objects from some Alice 3 galleries students begin set up their scene based on their design. Some example galleries were described as follows:



Fig.1. Biped classes

- Gallery's Prop includes 297 classes object model and tree model: Acaciatree Adelaidebust, Alienhelmet, Ancienttemplearch, etc.

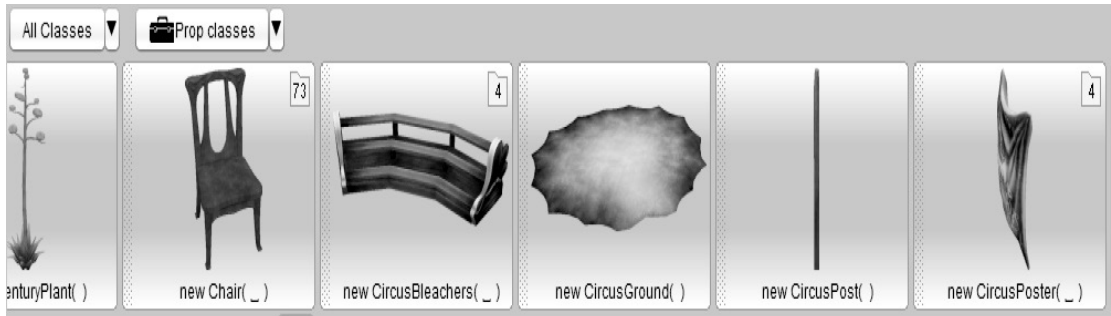


Fig.2. Prop classes

- Gallery's Flyer includes 14 classes: Bluebird, Chicken, Eagle, Falcon, Flamingo, Ostrich, OstrichBaby, Owl, etc.

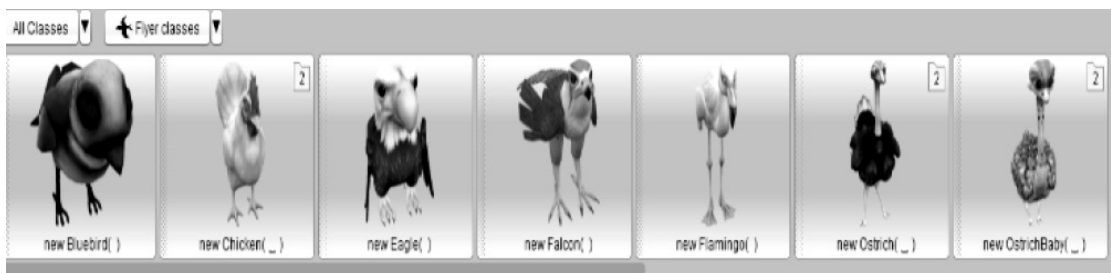


Fig.3. Flyer classes

There are many other interesting galleries full of customizable features, then students can easily express their ideas.

Then it is time to review team's storyboard or script and make sure they have a list of all the locations, characters, and props they need to create their animation. If desired, they can draw a quick sketch of the scene to help plan for what the team needs to build. Afterward, they start scripting and test: this time to build and design their project with the scenes planned. Testing and adjustment follow the story algorithm designed and flow-chart. They were also required to report frequently every 30 minutes at the beginning of each lesson for progress tracking, ask the instructor any questions, and explain to teachers about the object-oriented concepts used in the project.

The last step, the instructor asks students to present their product to evaluate and provide comments. Each experimental group spent 10 minutes to present their story/ or game and explain

the concepts of object-oriented programming which has been applied, as well as the self-made procedural method in the project. The instructor will evaluate based on the following list of criteria:

- Exciting and logical idea: 20%
- Interesting content of the story or game: 20%
- Harmony between color, image, and content: 20%
- Apply inheritance between classes, polymorphism, encapsulation and other concepts in object-oriented programming: 20%
- Self-made procedures based on available methods: 20%

### B. Data Collection

This research was conducted in the FC1 course, which is an introduction to computer programming with Java. The course was taught



over 15 weeks with 3 hours per week in the spring semester in the academic year 2017 - 2018. The students that participated in this study were undergraduate students taking the FC1 course. They were divided in two groups, one of which used Alice in class R and F, respectively, and other classes did not. The participant groups were introduced to Alice in the first two weeks of the semester. After that, they moved to the second step of learning by doing their own completion animation. The experimental group was given a short session (lasting for 30 minutes) in Alice at the beginning of each class for progress tracking, asking the instructor any questions, and explaining to teachers about the object-oriented concepts used in the project. During the course, the authors used various research methods such as on-site observation, and structured interviews. The authors attended the presentation session of every group and asked questions to clarify the procedure deployed by students and the way they solved problems. In addition, while students were performing their tasks, the authors observed them according to a list of provided criteria as follows:

- The student understands the object-oriented programming concepts.
- The student suggests an alternative script to build the idea.
- The student asks the teacher if there is a problem when using Alice 3.
- The student discusses together if there is a problem when using Alice 3.
- The student can use effectively tutorial resources that the teacher provided by himself/herself.

#### IV. Result and discussion

At Duy Tan University students must achieve a grade of C or better in FC1 in order to be allowed to enroll in Fundamental of Computing 2 (FC2).

Therefore, we have used the achievement of a grade of C or better in FC1 to indicate success in the course. During the spring semesters in the academic year 2017-2018, 348 students took FC1 (excluding withdrawals). Of those students, 56 students enrolling in class R and F which used Alice will be our Group A. 292 students enrolling in other classes will be Group B. Among 292 students in Group B, 177 successfully completed the course, accounted for 60.6 percent. Achievement rates at grade C, B and A were 56 percent, 29 percent and 15 percent respectively (See Table 1). While with 56 students who enrolled in Alice class –Group A, 48 successfully completed FC1, with total success rate proportion at 85.7 percent, and achievement rates at grade C, B and A were 48 percent, 33 percent and 19 percent respectively (See Table 1). Chart 1 also shows that the percentage of students who got grade A and B is slightly higher than that proportion of group B.

Table 1. Rates of students achieving a grade of C or better

Successfully completed	Group A		Group B	
	48	85.7%	177	60.6%
A	9	19%	26	15%
B	16	33%	51	29%
C	48	48%	100	56%

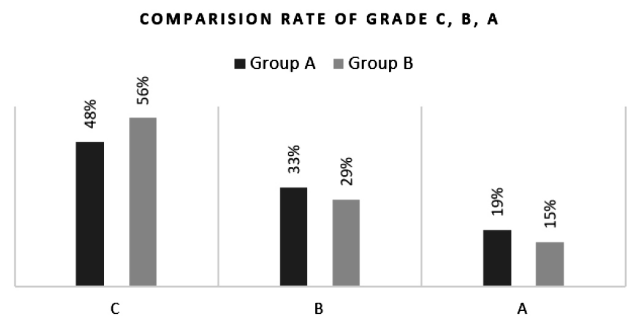


Fig. 4. Rates of grades C, B, A

We also compared this figure with the same period last year and received the result in little higher of approximately 10 percent (See Table 2 below).

Table 2. Rates of students achieving a grade of C or better compare to last year

	Total	Grade of C or higher	Rate
Academic year 2017-2018	348	225	64.7%
Academic year 2016-2017	240	133	55.4%

Our students said that they really enjoyed when working with Alice because it has a huge effect on making programming ideas more reasonable to novice Object-oriented programming students. With Alice students easily express their idea of creating games or telling stories based on the objects and activities that are available to them. Alice helps them grasp the concepts, which is a big plus in their changing attitude towards programming. We found that the students improve their collaborative problem - solving skills as well as self-study skills during conducting the case project. Team members discussed together and delivered the better alternative script for their idea. They also identified what each person knew about the problem to identify the perspectives of other agents in the collaboration and to establish a shared design storyboard or script to get the best choice. They exposed to the new concepts of object-oriented programming by doing their topic by themselves then sharing knowledge to each other. They also learned how to implement a program from the beginning to the end.

## V. Conclusion

This study demonstrates the application of Alice 3 to overcoming the difficulties in learning object-oriented programming as well as enhancing self-study and student test grades in the FC1 course. The author has conducted the case study before submitting a final project to the instructor; the students need to work in a team with the efforts of exposing knowledge and skills to handle their own topic. In addition, the results of this paper also add to existing work

the achievement rate between the experimental group and another group as well as the figure in the same period last year. Students also learn how to implement a program from the beginning to the end. This enables students to be proactive and expands their existing knowledge bases. Students also use various sources of information from instructor's guide and others in informal discussions with team members which enable them to integrate knowledge across disciplines and approaches.

## References

- [1] Dann, W., Cooper, S., and Pausch, R. "Using visualization to teach novices recursion", Proceedings of the 6th Annual Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education, 2001, 109-112.
- [2] Lawal Bashiru, Agunlejika Aderogba Joseph, "Learning Difficulties of Object Oriented Programming (OOP) In University Of Ilorin - Nigeria: Students' Perspectives", Proceedings of Eighth The IIER-Science Plus International Conference, Dubai, UAE, 25th January 2015.
- [3] Conway, M. J. and Pausch, R. 1997. "Alice: easy to learn interactive 3D graphics", SIGGRAPH Comput. Graph. 31, 3 (Aug. 1997), 58-59.
- [4] Kelleher, C. and Pausch, R. "Lowering the barriers to programming: A taxonomy of programming environments and languages for novice programmers", ACM Comput. Surv. 37, 2 (Jun. 2005), 83-137.
- [5] Papert, S. Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas, 2nd ed., Basic Books, 1993.
- [6] Gordon, A. "Tutorial on Alice", J. Comput. Small Coll. 21, 3 (Feb. 2006), 130-130.
- [7] <http://www.alice.org/get-alice/alice-3/>
- [8] Johnsgard, Karin, and James McDonald. "Using alice in overview courses to improve success rates in programming I." Software Engineering Education and Training, 2008. CSEET'08. IEEE 21st Conference on. IEEE, 2008.
- [9] Moskal, B., Lurie, D., and Cooper, "Evaluating the effectiveness of a new instructional approach", Proceedings of the 35th SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education, 2004, 75-79.
- [10] Cooper, S., Dann, W., and Pausch, R. "Teaching objects-first in introductory computer science", Proceedings of the 34th SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education, 2003, 191-195.



- [11] Kim, Jackie Hee-Young, et al. "Determining the Effectiveness of the 3DAlice Programming Workshop for At-risk High School Students." 34th annual: 388.
- [12] Al-Tahat, Khalid, et al. "The impact of a 3d visual tool on female student's attitude and performance in computer programming". SAI Computing Conference (SAI), 2016. IEEE, 2016.
- [13] Bennedsen, Jens, and Michael E. Caspersen. "Teaching object-oriented programming-Towards teaching a systematic programming process." Eighth Workshop on Pedagogies and Tools for the Teaching and Learning of Object Oriented Concepts. Affiliated with 18th European Conference on Object-Oriented Programming (ECOOP 2004). 2004.
- [14] Kölling, M. "s", Workshop on Learning and Teaching Object-Orientation – Scandinavian Perspectives, Oslo, 20th October 2003.
- [15] A. Pears, S. Seidman, L. Malmi, L. Mannila, E. Adams, J. Bennedsen, M. Devlin, and J. Paterson, "A survey of literature on the teaching of introductory programming," ACM SIGCSE Bulletin, vol. 39, no. 4, pp. 204–223, 2007.
- [16] A. Robins, J. Rountree, and N. Rountree, "Learning and teaching programming: A review and discussion," Computer Science Education, vol. 13, no. 2, pp. 137–172, 2003.
- [17] H. Zhu and M. Zhou. "Methodology first and language second: A way to teach object-oriented programming", in Proc. 18th Annu. Conf. Object-Oriented Programming, Systems, Languages, and Applications (OOPSLA'03), Anaheim, CA, 2003.
- [18] Bennedsen, Jens, and Carsten Schulte. "What does objects-first mean?: An international study of teachers' perceptions of objects-first." Proceedings of the Seventh Baltic Sea Conference on Computing Education Research-Volume 88. Australian Computer Society, Inc., 2007.
- [19] Yan, Lu. "Teaching object-oriented programming with games." Procs 6th Int Conf on Information Technology: New Generations., 2009.

## Ảnh hưởng của quá trình thiêu kết đến sự hình thành vật liệu $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ đơn pha tạp Terbium và Europium

Effect of sintering process on phase formation of Terbium and Europium single doped in  $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$

Lê Ngọc Liêm<sup>a,\*</sup>, Võ Thị Thanh Trúc<sup>b</sup>  
Ngoc Liem Le, Thanh Truc Vo Thi

<sup>a</sup>Văn phòng Hội Đồng Quản Trị, Đại học Duy Tân Đà Nẵng, 03 Quang Trung, Đà Nẵng, Việt Nam  
Office of the Board of Trustees, Duy Tan University, 03 Quang Trung, Danang, Vietnam

<sup>b</sup>Khoa Khoa học cơ bản, Trường Đại học Kỹ thuật Y - Dược Đà Nẵng, Việt Nam  
Faculty of Fundamental Science, Danang University of Medical Technology & Pharmacy, Danang, Vietnam

(Ngày nhận bài: 24/05/2019, ngày phản biện xong: 10/06/2019, ngày chấp nhận đăng: 15/06/2019)

### Tóm tắt

Vật liệu phát quang  $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$  (BAM) đơn pha tạp Terbium và Europium được tổng hợp bằng phương pháp sol-gel citrate. Hỗn hợp được thiêu kết nhiều lần ở  $1100^\circ\text{C}$  trong môi trường khử bằng khí CO. Nếu chỉ thiêu kết một lần ở  $1100^\circ\text{C}$  vật liệu tổng hợp được chưa đơn pha, chủ yếu tồn tại pha  $\text{BaCO}_3$  và  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ . Vật liệu trở nên đơn pha khi số lần thiêu kết lớn hơn hai, pha chủ yếu là  $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ . Phổ phát quang của vật liệu BAM:  $\text{Tb}^{3+}$  cho thấy một số vạch bức xạ hẹp có cực đại ở khoảng bước sóng 490 nm, 545 nm, 586 nm và 620 nm tương ứng với phổ phát quang của ion  $\text{Tb}^{3+}$ . Phổ phát quang của BAM:  $\text{Eu}^{3+}$  bao gồm một số vạch hẹp do các chuyển dời  ${}^5\text{D}_0 - {}^7\text{F}_j$  (với  $J = 0, 1, 2, 3$ ) của cấu hình điện tử ion  $\text{Eu}^{3+}$  tương ứng với các cực đại 565 nm, 590 nm, 612 nm và 657 nm.

Từ khóa: BAM, đơn pha, thiêu kết.

### Abstract

Luminescence of terbium and europium single doped in  $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$  (BAM) were synthesized by sol-gel citrate reaction. Samples sintered at  $1100^\circ\text{C}$  for various periods of time, in an environment in which CO gas is used as the reductant. If samples sintered at  $1100^\circ\text{C}$  only one at a time, it is not single phase, mainly exists in two phases  $\text{BaCO}_3$  and  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ . Materials are single-phase when sintered twice or more, mainly exists phase formation of  $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ . The luminescent spectra of BAM:  $\text{Tb}^{3+}$  phosphors consist some narrow lines with peaking at 490 nm, 545 nm, 586 nm and 620 nm corresponding to the luminescence of  $\text{Tb}^{3+}$  ions. The luminescent spectra of BAM:  $\text{Eu}^{3+}$  phosphors consist some narrow lines due to transitions from the  ${}^5\text{D}_0 - {}^7\text{F}_j$  (với  $J = 0, 1, 2, 3$ ) electronic configuration of  $\text{Eu}^{3+}$  ions, corresponding with peaking at 565 nm, 590 nm, 612 nm and 657 nm.

Keywords: BAM, single phase, sintered.

### I. Mở đầu

Vật liệu phát quang là một trong những lĩnh vực ra đời rất sớm và đến ngày nay cùng với sự phát triển của khoa học công nghệ nó đã có những bước tiến nhảy vọt. Từ những ứng dụng thực tiễn

trong lĩnh vực chiếu sáng như đèn huỳnh quang, đèn compact, đèn LED (Light emitting diode) cho đến lĩnh vực hiển thị như màn hình phẳng, màn hình tinh thể lỏng PDPs (Plasma display panels)..., vật liệu phát quang luôn đóng vai

trò rất quan trọng. Và với sự phát triển không ngừng, nhiều vật liệu phát quang mới đã ra đời với những đặc tính tốt hơn nhằm đáp ứng những yêu cầu ngày càng cao của xã hội.

Theo hướng nghiên cứu về vật liệu phát quang thì gần đây các nhà khoa học đang quan tâm đến họ vật liệu aluminate pha tạp hoặc đồng pha tạp các ion đất hiếm với các ứng dụng trong lĩnh vực chiếu sáng và hiển thị [1, 2]. Và trong lĩnh vực chiếu sáng thì mục tiêu tạo ra ánh sáng trắng có độ trả màu CRI (Color rendering index) cao bằng cách phối trộn ba màu cơ bản đang được các nhà khoa học hướng đến. Một trong những vật liệu phát quang họ aluminate đang được quan tâm nghiên cứu là vật liệu  $BaMgAl_{10}O_{17}$  (BAM) pha tạp các ion đất hiếm RE (Rare earth), sử dụng các phương pháp chế tạo vật liệu mới như phương pháp phun xạ, phương pháp sol-gel [3 - 5]. Các phương pháp này tuy phức tạp như phương pháp sol-gel phải qua nhiều công đoạn yêu cầu sự tỉ mỉ, chính xác và trong phương pháp phun xạ thì đòi hỏi trang thiết bị kỹ thuật hiện đại. Tuy nhiên, chúng có nhiều ưu điểm vượt trội hơn so

với phương pháp pha rắn truyền thống như hạ nhiệt độ xử lý mẫu vài trăm độ, sản phẩm tạo thành có tính đồng nhất và độ tinh khiết cao đã mở ra nhiều triển vọng mới trong việc ứng dụng vật liệu này.

## II. Thực nghiệm

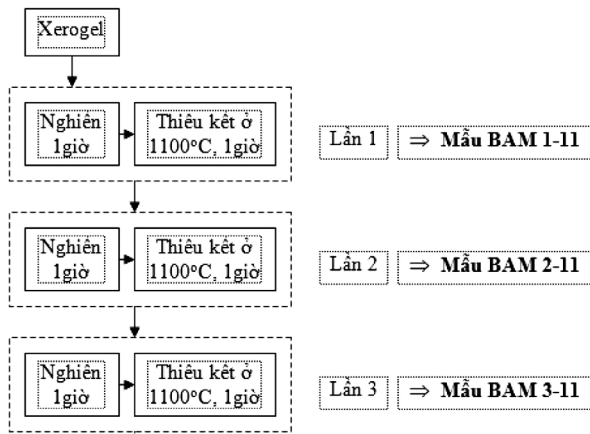
Vật liệu BAM đồng pha tạp terbium và europium được tổng hợp bằng phương pháp sol-gel citrate, các hóa chất ban đầu gồm  $Ba(NO_3)_2$ ,  $Mg(OH)_2$ ,  $4MgCO_3 \cdot 6H_2O$ ,  $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ ,  $Tb_4O_7$ ,  $Eu_2O_3$  và  $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$  được lấy theo tỉ lệ hợp thức, dung dịch được khuấy trên bếp từ ở nhiệt độ  $75^\circ C$  trong 4 giờ, tiếp theo đưa vào tủ sấy ở nhiệt độ  $60^\circ C$  trong 6 giờ nhằm loại bỏ dung môi. Đem nung hỗn hợp ở  $1100^\circ C$  trong 1 giờ trong môi trường khử bằng khí CO. Giảm dần nhiễu xạ tia X thực hiện bởi nhiễu xạ kế Bruker D8-Advance tại Khoa Hóa học Đại học KHTN Hà Nội, phổ phát quang (PL) và phổ kích thích phát quang (PLE) thực hiện bằng phổ kế huỳnh quang FL3-22 của Horiba tại Trường Đại học Duy Tân. Các mẫu được đo ở nhiệt độ phòng, dùng đèn Xenon 450W để kích thích mẫu.

Bảng 1. Các mẫu nền BAM được chế tạo với các chế độ xử lý nhiệt độ khác nhau

TT	Ký hiệu mẫu	Chế độ xử lý
1	BAM 1-11	Nghiền lần 1 trong thời gian 1h, sau đó thiêu kết ở $1100^\circ C$ trong 1h
2	BAM 2-11	Từ mẫu BAM 1-11 đem nghiền lần 2 trong 1h, tiếp tục thiêu kết ở $1100^\circ C$ trong 1h
3	BAM 3-11	Từ mẫu BAM 2-11 đem nghiền lần 3 trong 1h, tiếp tục thiêu kết ở $1100^\circ C$ trong 1h
4	BAM 4-11	Từ mẫu BAM 3-11 đem nghiền lần 4 trong 1h, tiếp tục thiêu kết ở $1100^\circ C$ trong 1h
5	BAM 5-11	Từ mẫu BAM 4-11 đem nghiền lần 5 trong 1h, tiếp tục thiêu kết ở $1100^\circ C$ trong 1h

Hình 1 là quy trình nghiền và thiêu kết vật liệu nhiều lần ở  $1100^\circ C$ , từ lượng xerogel ban đầu, cứ sau một lần nghiền trong 1h và nung thiêu kết trong 1h, giữ lại 1/5 lượng mẫu của lần đó, phần còn lại được tiếp tục nghiền và nung ở lần

tiếp theo, sau 5 lần thì dừng lại. Cách thức kết hợp việc nghiền và thiêu kết vật liệu nhiều lần này hoàn toàn lặp lại đối với nhiệt độ thiêu kết  $1000^\circ C$ . Hình 2 là mẫu vật liệu sau khi tổng hợp được.



Hình 1. Quy trình nghiền và thiêu kết vật liệu nhiều lần ở 1100°C

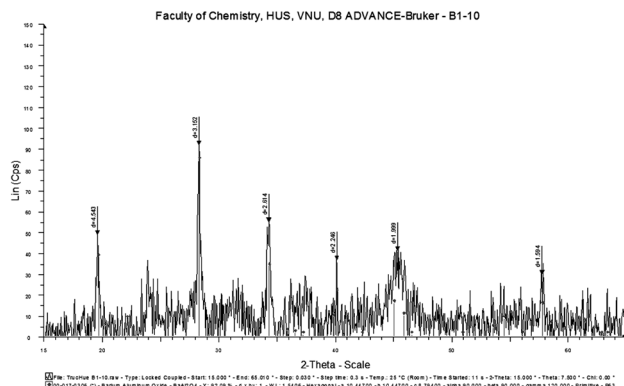


Hình 2. Mẫu vật liệu dạng bột sau khi chế tạo

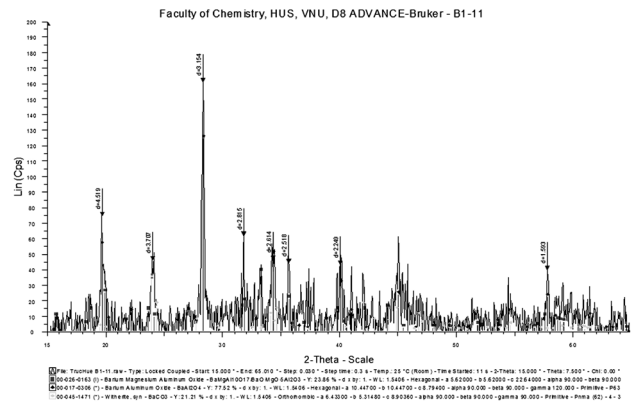
### III. Kết quả và thảo luận

#### 3.1 Giảm độ XRD

Chúng tôi tiến hành thiêu kết mẫu vật liệu ở nhiệt độ 1000°C và 1100°C, giảm độ nhiễu xạ tia X được thể hiện như Hình 3(a) và 3(b).

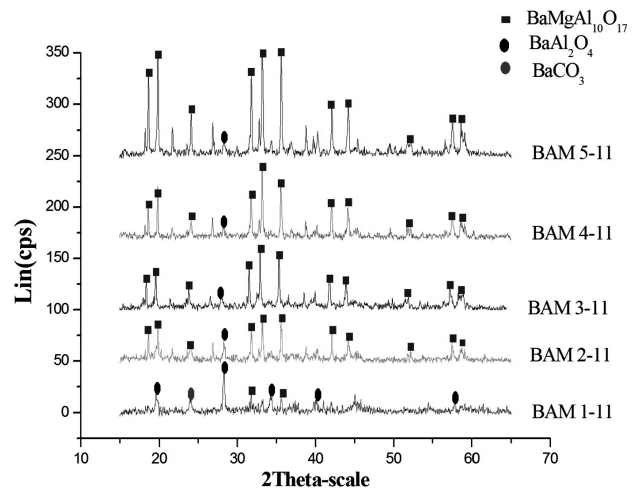


Hình 3(a). Phổ XRD khi thiêu kết ở 1000°C



Hình 3(b). Phổ XRD khi thiêu kết ở 1100°C

Từ phổ nhiễu xạ trên chúng tôi thấy vật liệu khi thiêu kết ở 1000°C chỉ xuất hiện pha tinh thể trung gian  $BaAl_2O_4$ , chưa có dấu hiệu hình thành pha tinh thể BAM, nhưng khi thiêu kết ở 1100°C đã thấy xuất hiện pha tinh thể BAM. Chính vì vậy chúng tôi đã chọn nhiệt độ 1100°C để tiến hành khảo sát lặp lại nhiều lần thiêu kết. Các mẫu vật liệu thiêu kết được liệt kê trong Bảng 1, và quy trình thiêu kết như Hình 1.

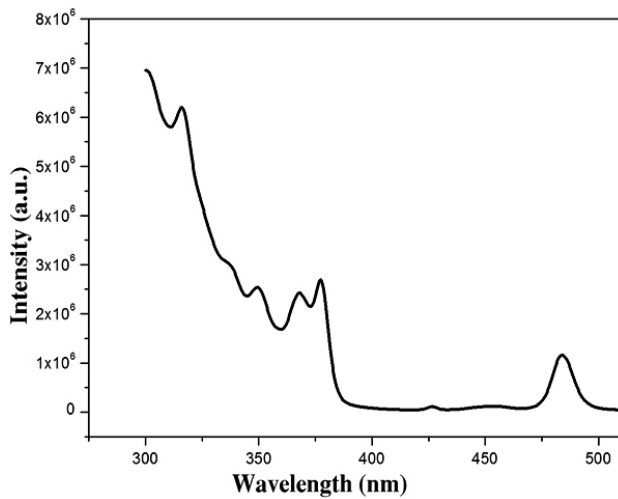


Hình 4. Giảm độ nhiễu xạ của các mẫu

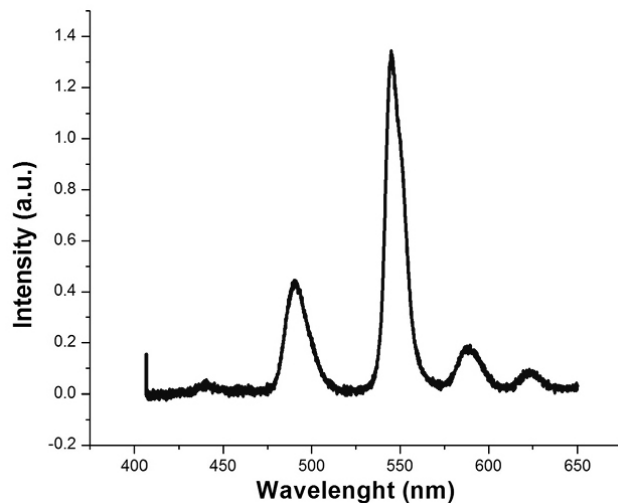
Từ kết quả nhiễu xạ trên Hình 4 ta thấy rằng: khi thiêu kết lần một các cực đại nhiễu xạ chủ yếu của pha tinh thể  $BaCO_3$ ,  $BaAl_2O_4$  trong khi đó tinh thể BAM chưa hình thành. Khi tăng số lần thiêu kết, giảm độ nhiễu xạ thể hiện các cực đại chủ yếu của pha tinh thể BAM, cực đại ứng với các pha tinh thể trung gian như  $BaCO_3$ ,  $BaAl_2O_4$  giảm dần. Vật liệu BAM tổng hợp được có cấu trúc không gian kiểu hexagonal, có các thông số mạng  $a = b = 5.62\text{Å}$ ,  $c = 22.64\text{Å}$  và  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ . Theo

các công bố trước đây nhiệt độ nung để hình thành pha BAM thường lớn hơn 1200°C [4 - 6] chúng tôi đã hạ thấp nhiệt độ nung xuống 1100°C. Mặc dù 100°C là giá trị không lớn lắm nhưng rất có ý nghĩa thực tiễn, nhất là trong điều kiện còn nhiều khó khăn về trang thiết bị của các phòng thí nghiệm trong nước.

### 3.2 Phổ phát quang mẫu BAM: Tb<sup>3+</sup>



Hình 5. Phổ PLE mẫu BAM: Tb<sup>3+</sup>(3.0%mol), λ<sub>em</sub> = 545 nm

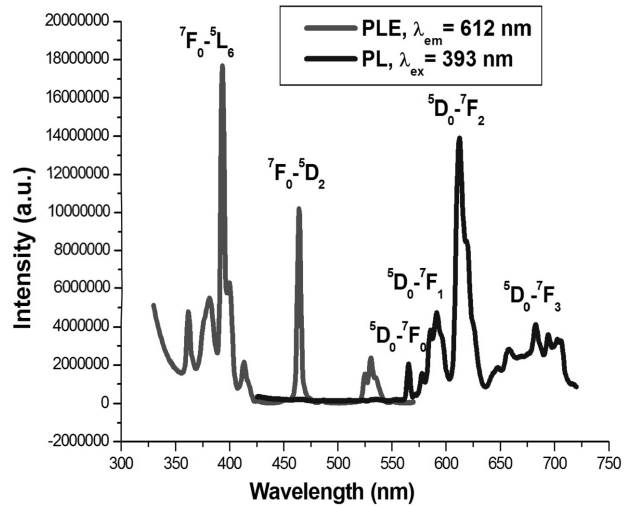


Hình 6. Phổ PL mẫu BAM: Tb<sup>3+</sup> với λ<sub>ex</sub> = 365 nm.

Đo phổ PL với bước sóng kích thích λ<sub>ex</sub> = 365 nm của các mẫu BAM: Tb<sup>3+</sup> có nồng độ ion Tb<sup>3+</sup> 3.0 % mol thể hiện trên Hình 5. Kết quả cho thấy, phổ bao gồm một số dải bức xạ khá hẹp có cực đại ở khoảng bước sóng 490, 545, 586 và 620 nm tương ứng với các dịch chuyển từ <sup>5</sup>D<sub>4</sub> - <sup>7</sup>F<sub>J</sub> (J=6,5,4,3), trong nội bộ cấu hình 4f<sup>8</sup> của ion

Tb<sup>3+</sup> [7,8], bức xạ có bước sóng 545 nm (green), ứng với dịch chuyển <sup>5</sup>D<sub>4</sub> → <sup>7</sup>F<sub>5</sub>, luôn luôn có cường độ mạnh nhất. Phổ kích thích phát quang với bước sóng phát quang 545 nm được thể hiện trên Hình 5, phổ kích thích có một số dải hẹp trong khoảng từ 300 đến gần 400 nm và một cực đại với cường độ thấp ở khoảng 480 nm. Từ đó chúng ta thấy rằng, để vật liệu BAM: Tb<sup>3+</sup> phát bức xạ 545 nm một cách hiệu quả, chúng ta có thể dùng các bức xạ kích thích với các bước sóng 320, 350, 365, 378 và 483 nm.

### 3.3 Phổ phát quang mẫu BAM: Eu<sup>3+</sup>



Hình 7. Phổ PL và PLE của BAM: Eu<sup>3+</sup>

Kết quả đo phổ phát quang và kích thích phát quang được thể hiện trên hình 7. Phổ kích thích phát quang được đo tại bước sóng λ<sub>em</sub> = 612 nm, phổ gồm nhiều vạch hẹp được quy cho từ mức <sup>7</sup>F<sub>0</sub> và <sup>7</sup>F<sub>1</sub> chuyển dời lên các mức cao hơn. Hai đỉnh có cường độ cao, là chuyển dời từ <sup>7</sup>F<sub>0</sub> - <sup>5</sup>L<sub>6</sub> và <sup>7</sup>F<sub>0</sub> - <sup>5</sup>D<sub>2</sub>. Sử dụng bước sóng kích thích λ<sub>ex</sub> = 393 nm để đo phổ phát quang, từ Hình 7 ta thấy phổ phát quang gồm nhiều vạch hẹp do các chuyển dời <sup>5</sup>D<sub>0</sub> - <sup>7</sup>F<sub>J</sub> (với J = 0,1,2,3) [7-10], tương ứng với các cực đại 565 nm, 590 nm, 612 nm và 657 nm.

## IV. Kết luận

Trong nghiên cứu này, nhóm đã chế tạo thành công vật liệu BAM bằng phương pháp sol-gel citrate. Khi thiêu kết từ hai lần trở lên ở nhiệt độ 1100°C pha BaMgAl<sub>10</sub>O<sub>17</sub> chiếm ưu thế, vật



liệu chế tạo được có cấu trúc không gian kiểu hexagonal, pha  $\text{BaCO}_3$ ,  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  giảm dần khi số lần thiêu kết tăng. Phổ phát quang BAM:  $\text{Tb}^{3+}$  phát quang mạnh ở 545 nm, ứng với dịch chuyển  $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$ . Phổ phát quang của BAM:  $\text{Eu}^{3+}$  phát quang mạnh ở bước sóng 612 nm do chuyển dời  $^5\text{D}_0 - ^7\text{F}_2$ . Phổ phát quang của hai vật liệu này phù hợp với hai màu (đỏ và xanh) trong ba màu cơ bản phát ánh sáng trắng. Do đó, có thể dùng hai vật liệu này trong việc chế tạo vật liệu phát ánh sáng trắng.

### Tài liệu tham khảo

- [1] Lê Ngọc Liêm (2017), Tổng hợp và nghiên cứu tính chất quang của  $\text{CaAl}_2\text{O}_4$ :  $\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , *Tạp chí Khoa học Đại học Sư phạm Hà Nội* 2, số 52.
- [2] Jung Ha-Kyun, Lee Dae-Won, Jung Kyeong Youl, Boo Jin-Hyo (2005), Fabrication of dense  $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ : $\text{Eu}^{2+}$  phosphor particles by spray pyrolysis, *Journal of Alloys and Compounds* 390, pp.189-193.
- [3] Kuo Kuan-Ting, Chen San-Yuan, Cheng Bing-Ming, Lu Hsiao-Chi, Liu Dan-Mo (2006), Improvement of luminescence and deterioration resistance of BAM phosphor in PDP Application, *SRMS-5 Conference*, pp.148.
- [4] Jüstel Thomas, Bechtel Helmut, Mayr Walter, Wiechert Detlef U.(2003), Blue emitting  $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ :Eu with a blue body color, *Journal of Luminescence* 104, pp.137-143.
- [5] Lu Chung-Hsin, Chen Chung-Tao, Bhattacharjee Baibaswata (2006), Sol-gel Preparation and Luminescence Properties of  $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ : $\text{Eu}^{2+}$  Phosphors, *Journal of Rare earths* 24, pp.706-711.
- [6] Yonghui Zhou, Jun Lin (2005), Morphology control and luminescence properties of  $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ : $\text{Eu}^{2+}$  phosphors prepared by spray pyrolysis, *Journal of Solid State Chemistry* 178, pp.441-117.
- [7] Minhong Li, Lili Wang, Weiguang Ran, Zhihan Deng, Jinsheng Shi and Chunyan Ren (2017), Tunable Luminescence in  $\text{Sr}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$ : $\text{Tb}^{3+}$ ,  $\text{Eu}^{3+}$  Phosphors Based on Energy Transfer, *Material*, pp 227
- [8] Bitao Liu, Yuhua Wang, Jun Zhou, Feng Zhang, and Zhaofeng Wang, The reduction of  $\text{Eu}^{3+}$  to  $\text{Eu}^{2+}$  in  $\text{BaMgAl}^{10}\text{O}^{17}$ :Eu and the photoluminescence properties of  $\text{BaMgAl}^{10}\text{O}^{17}$ :  $\text{Eu}^{2+}$  phosphor, *journal of applied physics* 106, 053102 2009.
- [9] Tran Thi Hong, Phan Tien Dung, Vu Xuan Quang (2014), Judd Ofelt Analysis And Optical Properties Of  $\text{Eu}^{3+}$  Doped Tellurite Glasses, *Communications in Physics*, Vol. 24, No. 3S1, pp. 136-142.
- [10] G. Blasse, B.C. Geiabmaier (1994), *Luminescent Materials*. Springer-Verlag, Berlin.



## Quan điểm về công nghiệp 4.0 từ góc nhìn công nghệ: Đánh giá dựa trên định lượng ấn phẩm khoa học

Industry 4.0 from technology adoption perspective: Evaluation based on bibliometrics

Tôn Nguyễn Trọng Hiền  
Trong Hien Ton Nguyen

(Ngày nhận bài: 27/05/2019, ngày phản biện xong: 04/06/2019, ngày chấp nhận đăng: 10/06/2019)

### Tóm tắt

Mục tiêu bài viết này làm rõ khái niệm, xác định ranh giới và đặc điểm của công nghiệp 4.0. Để đạt mục tiêu này, một phương pháp nghiên cứu dựa trên phân tích các ấn phẩm khoa học (Bibliometrics) đã được áp dụng. Một trong những ưu việt của phương pháp này cho phép làm nổi bật các hướng nghiên cứu và các từ khóa quan trọng, chỉ ra giao thoa quan điểm các tác giả khác nhau. Kết quả nghiên cứu cho thấy vẫn còn một sự không chắc chắn hiểu biết về công cuộc cách mạng công nghiệp 4.0. Tuy nhiên, chúng tôi tin rằng với công nghệ mới nổi như Hệ thống không gian mạng thực ảo (Cyber physical system), Internet vạn vật (Internet of Things), Dữ liệu vô cùng lớn (Big data), cùng với Điện toán đám mây (Cloud computing) tạo nên nhà máy thông minh 4.0.

*Từ khóa:* Công nghiệp 4.0, nghiên cứu định lượng, phân tích ấn phẩm khoa học.

### Abstract

The objective of this article is to clarify the concept, define the boundaries and characteristics of industry 4.0. To achieve this goal, a research method based on Bibliometrics has been applied. One of the advantages of this method is that it allows to highlight research directions and keywords, indicate the views of different authors. The research results show that there is still an uncertain understanding of the industrial revolution 4.0. However, we believe that emerging technologies such as Cyber physical system, Internet of Things, Big data, together with Cloud computing will create a smart factory 4.0.

*Keywords:* Industry 4.0, quantitative research, Bibliometrics.

### 1. Đặt vấn đề

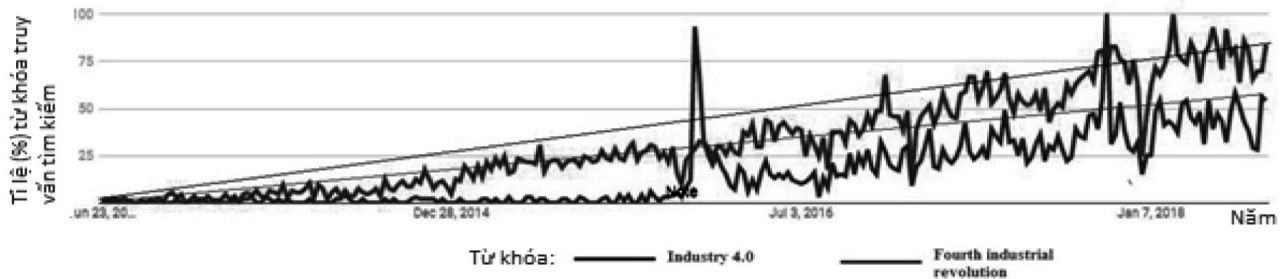
Các ngành công nghiệp là xương sống của nền kinh tế quốc gia, việc nắm bắt kịp thời các thành quả của cuộc cách mạng công nghiệp có thể coi là chìa khóa, cơ hội để tạo bước phát triển mang tính đột phá cho nền kinh tế nước nhà. Thế giới đã trải qua những thay đổi lớn nhất trong ngành sản xuất trong hơn 100 năm qua. Ba cuộc cách mạng công nghiệp đầu tiên xuất hiện do kết quả của cơ giới hóa, động cơ đốt trong và công nghệ thông

tin, và chúng ta ngày nay là bắt đầu của cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư, công nghiệp 4.0. Khái niệm công nghiệp 4.0 lần đầu tiên được trình bày vào năm 2011 tại hội chợ công nghiệp hàng đầu thế giới ở Đức như một đề xuất phát triển một khái niệm mới về chính sách kinh tế của Đức dựa trên các chiến lược công nghệ cao, và nó mang lại toàn cảnh cho ngành công nghiệp về cách các nhà sản xuất áp dụng công nghệ kỹ thuật số để tạo ra nhiều sản lượng hơn với cùng

mức đầu vào trong hoạt động sản xuất nhưng vẫn đảm bảo về mặt chất lượng.

Phân tích sử dụng tính năng Google Trends

cho thấy sự quan tâm trong lĩnh vực công nghiệp 4.0 đã trở thành một chủ đề quan tâm tìm kiếm những năm gần đây (Hình 1).



Hình 1. Xu hướng tìm kiếm “Công nghiệp 4.0” (Nguồn: Google Trends)

Biểu đồ (Hình 1) cho thấy mối quan tâm ngày càng tăng trong nghiên cứu về công nghiệp 4.0. Thực ra không có gì đáng ngạc nhiên, vì thuật ngữ công nghiệp 4.0 chủ yếu được sử dụng trong khoa học phổ thông và chưa xuất hiện phổ biến trong ấn phẩm khoa học vào những năm 2011 và 2012 (Brettel et al., 2014). Sự quan tâm ngày càng tăng được khẳng định bằng việc tăng số lượng bài báo đề cập đến cách mạng công nghiệp lần thứ tư sau năm 2013, điều đáng chú ý là, số lượng bài báo được xuất bản từ năm 2015 trở đi đã tăng mạnh.

Tuy có một số lượng đáng kể các ấn phẩm khoa học thảo luận về công nghiệp 4.0, tuy nhiên, không có một định nghĩa chung chính thức (Brettel et al., 2014; Mrugalska and Wyrwicka, 2017). Bidet-Mayer được trích dẫn bởi Moeuf và công sự (2018) nghĩ rằng có hơn 100 định nghĩa khác nhau được đề xuất về công nghiệp 4.0. Do đó, không có định nghĩa chung về công nghiệp 4.0 và đương nhiên, không có đồng thuận về công nghệ mới nổi để bắt đầu chuyển đổi công nghiệp 4.0. Sự đa dạng của các định nghĩa và phân loại được sử dụng trong ấn phẩm khoa học cho đến nay không tương thích với nhau. Vì thế nghiên cứu này nhằm đi tìm câu trả lời bản chất khái niệm công nghiệp 4.0 từ góc nhìn công nghệ thông qua phương pháp định lượng ấn phẩm khoa học. Nghiên cứu hy vọng giúp doanh nghiệp tập trung sự chú ý vào sự thay đổi chủ yếu

các tính năng và công nghệ của công nghiệp 4.0 để chuyển đổi tiềm năng từ sản xuất truyền thống sang kỹ thuật số hóa sản xuất.

## 2. Dữ liệu & Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Phương pháp nghiên cứu

Bài viết sử dụng phương pháp phân tích dựa trên ấn phẩm khoa học (Bibliometrics) - phương pháp được xem là công cụ phân tích định lượng trực quan nhằm khám phá mối quan hệ của các bài báo khoa học (Suebsombut et al., 2017). Nguồn dữ liệu được xem là yếu tố then chốt, để đảm bảo độ tin cậy, dữ liệu tìm kiếm được thu thập dựa trên những tiêu chí sau:

- *Nguồn tìm kiếm*: Cơ sở dữ liệu Scopus, là nguồn dữ liệu uy tín trong nghiên cứu khoa học.

- *Cú pháp tìm kiếm*: “Industry 4.0 OR The Fourth Industrial Revolution”.

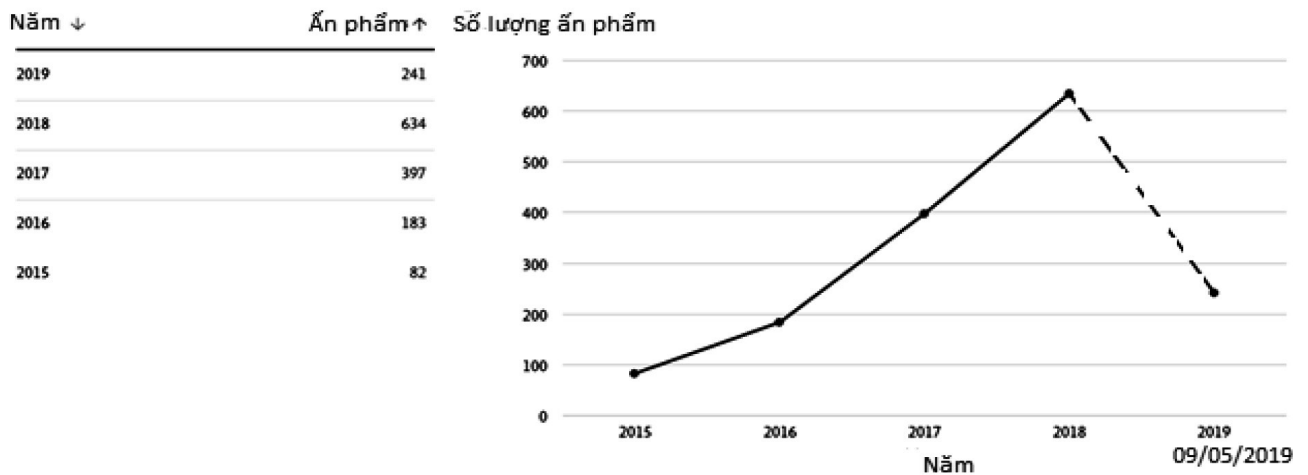
- *Bộ lọc*: Chỉ những bài báo viết bằng tiếng Anh trong giai đoạn 2015 đến ngày 09/05/2019 được chọn. Nghiên cứu bỏ qua các bài đăng trên kỷ yếu, hội nghị, hay book chapter để đảm bảo tính khách quan và độ tin cậy.

- *Công cụ phân tích*: ScienceScape, VOSviewer.

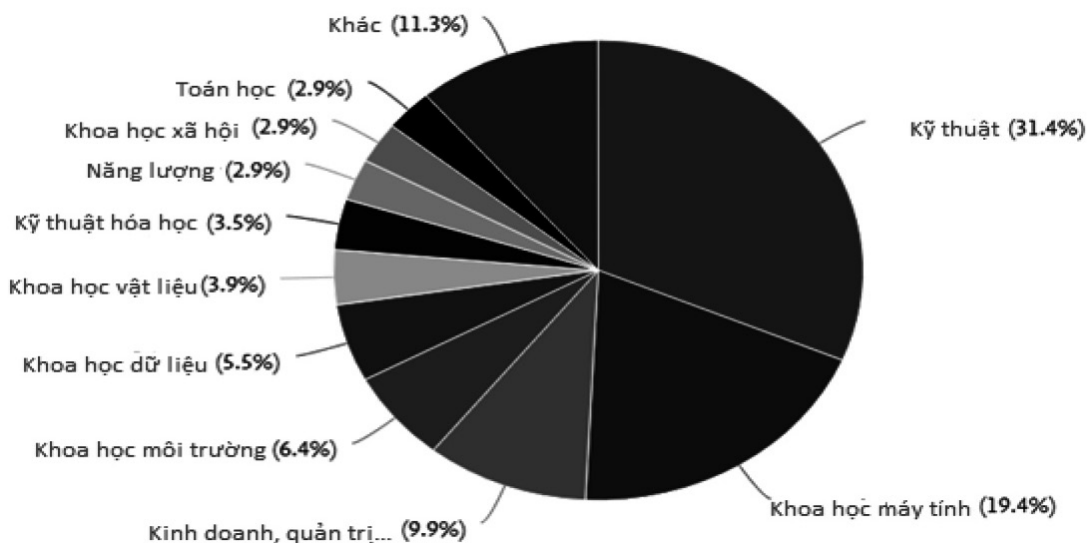
### 2.2. Kết quả thu thập dữ liệu

Kết quả khi truy vấn sau khi thỏa mãn các tiêu chí tìm kiếm cho thấy có tất cả 1,537 bài báo được xuất bản tính đến thời điểm ngày 09/05/2019. Số bài báo khoa học được xuất bản có chủ đề công

ngành 4.0 có xu hướng tăng mạnh. Năm 2018 số bài xuất bản gấp hơn 7,7 lần số bài báo được xuất bản vào năm 2015 theo như cơ sở dữ liệu của Scopus (Hình 2).



Hình 2. Thống kê số bài báo khoa học chủ đề “Công nghiệp 4.0” (Nguồn: Scopus)



Hình 3. Phân bố lĩnh vực chuyên ngành tạp chí thảo luận “Công nghiệp 4.0” (Nguồn: Scopus)

Kết quả tìm kiếm cũng cho thấy công nghiệp 4.0 được tập trung nghiên cứu ở lĩnh vực khoa học công nghệ và quản trị kinh doanh. Hơn một nửa số kết quả tìm kiếm (50,8%) thuộc về lĩnh vực kỹ thuật và khoa học máy tính. Lĩnh vực kinh doanh, quản trị đứng thứ 3 trong tổng số kết quả tìm kiếm được (9,9%).

### 3. Thảo luận

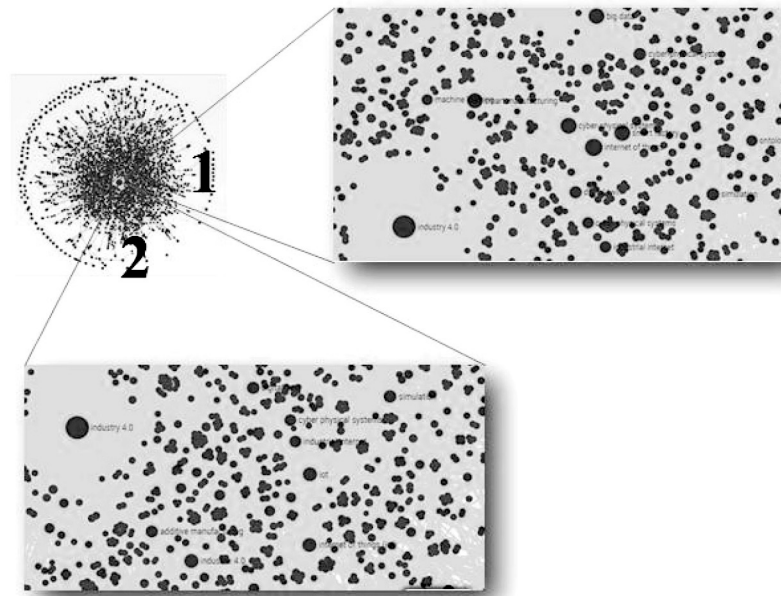
#### Quan điểm về công nghiệp 4.0

Cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư dựa trên cuộc cách mạng công nghiệp thứ ba vì nó cũng được thúc đẩy bởi công nghệ và số hóa, nhưng điều đáng nói là nó cho phép chúng ta thay đổi

cách chúng ta giao tiếp, cách sản xuất, cách tiêu thụ. Hơn một nửa ấn phẩm khoa học thu thập được thuộc lĩnh vực kỹ thuật và khoa học máy tính. Điều này gợi ý nghĩa cách mạng công nghiệp lần thứ tư đề cập đến sự kết hợp của một số đổi mới công nghệ lớn, tất cả cùng phát triển và các công nghệ mới của công nghiệp 4.0 có khả năng cho phép các cách thức mới để phát triển sản phẩm, tăng cường linh hoạt sản xuất và có thể chia sẻ cơ sở hạ tầng. Nhiều công nghệ hoặc phương pháp vi tính hóa có thể được sử dụng để triển khai các giải pháp công nghiệp 4.0, các công nghệ này bao gồm Cyber physical system-CPS (Hệ thống không gian mạng

thực ảo), Internet of Things-IoT (Internet vạn vật), Additive manufacturing (In 3D), Big data (Dữ liệu lớn), và nhiều công nghệ khác (Xu et al., 2018). Nhưng khi nói đến công nghệ của cách mạng 4.0

thì phân loại các công nghệ vẫn chưa thống nhất, tên gọi các công nghệ giống nhau bị gọi thành tên gọi khác nhau. Sử dụng công cụ ScienceScape để phân tích, chúng tôi có kết quả như sau:



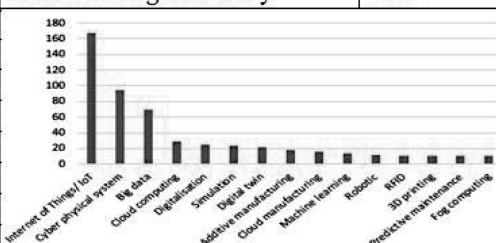
Hình 4. Mô hình biểu diễn phân bố các từ khóa (keywords)

Kết quả nên được phân tích xem xét kích thước của các vòng tròn cũng như khoảng cách giữa chúng. Những nút mạng (nodes) màu đỏ càng lớn chứng tỏ số lần lặp lại của từ khóa trong cùng một bài báo càng nhiều. Các nút mạng, chúng càng xuất hiện càng gần nhau thì chứng tỏ mối liên kết càng mạnh, các trục ngang và dọc không có ý nghĩa đặc biệt, và các bản đồ

có thể được tự do xoay và lật. Dễ hiểu, trung tâm của bản đồ phân bố là từ khóa “industry 4.0”, và có hơn 7,505 nút mạng vệ tinh được ghi nhận. Nhưng khi phóng to bản đồ quan sát các nút mạng vệ tinh chúng tôi chỉ ghi nhận nút mạng vệ tinh “đủ lớn” và “được đặt tên” (khu vực 1, 2 trong Hình 4). Chi tiết được miêu tả thông qua Bảng 1:

Bảng 1. Thống kê tần suất xuất hiện các từ khóa

Từ khóa được công nhận	Tần suất	Từ khóa được loại bỏ (không được tính)	Tần suất
Internet of Things/ IoT	168	Industry 4.0	599
Cyber physical system	94	Manufacturing	29
Big data	69	Sustainability	26
Cloud computing	29	Fourth industry revolution	24
Digitalisation	25	Innovation	20
Simulation	24	Supply chain management	18
Digital twin	21	Smart/intelligent factory	122
Additive manufacturing	18		
Cloud manufacturing	16		
Machine learning	14		
Robotic	12		
RFID	11		
3D printing	11		
Predictive maintenance	11		
Fog computing	11		





Rất nhiều nút mạng vệ tinh với tên gọi “Manufacturing” (Sản xuất), Smart/ intelligent factory (nhà máy thông minh), “Sustainability” (Bền vững), “Innovation” (Đổi mới), “Supply chain management” (Quản trị chuỗi cung ứng) được ghi nhận. Tuy nhiên, chúng tôi nhận thấy rằng những từ khóa này không nói lên được bản chất của công nghiệp 4.0 vì mang tính chung chung hoặc còn đang tranh luận, đơn cử như từ khóa “Smart factory”. Roblek et al. (2016); Hermann et al. (2016) xác định CPS, IoT, Cloud computing, và smart factory là bốn thành phần của công nghiệp 4.0. Tuy nhiên tác giả khác lại cho rằng thuật ngữ “Smart factory” bao hàm lý thuyết về CPS, IoTs, cloud computing, artificial intelligence (trí tuệ nhân tạo) and data science (khoa học dữ liệu) (Kusiak 2017; Chen et al., 2018). Như vậy chúng tôi không ghi nhận những từ khóa này.

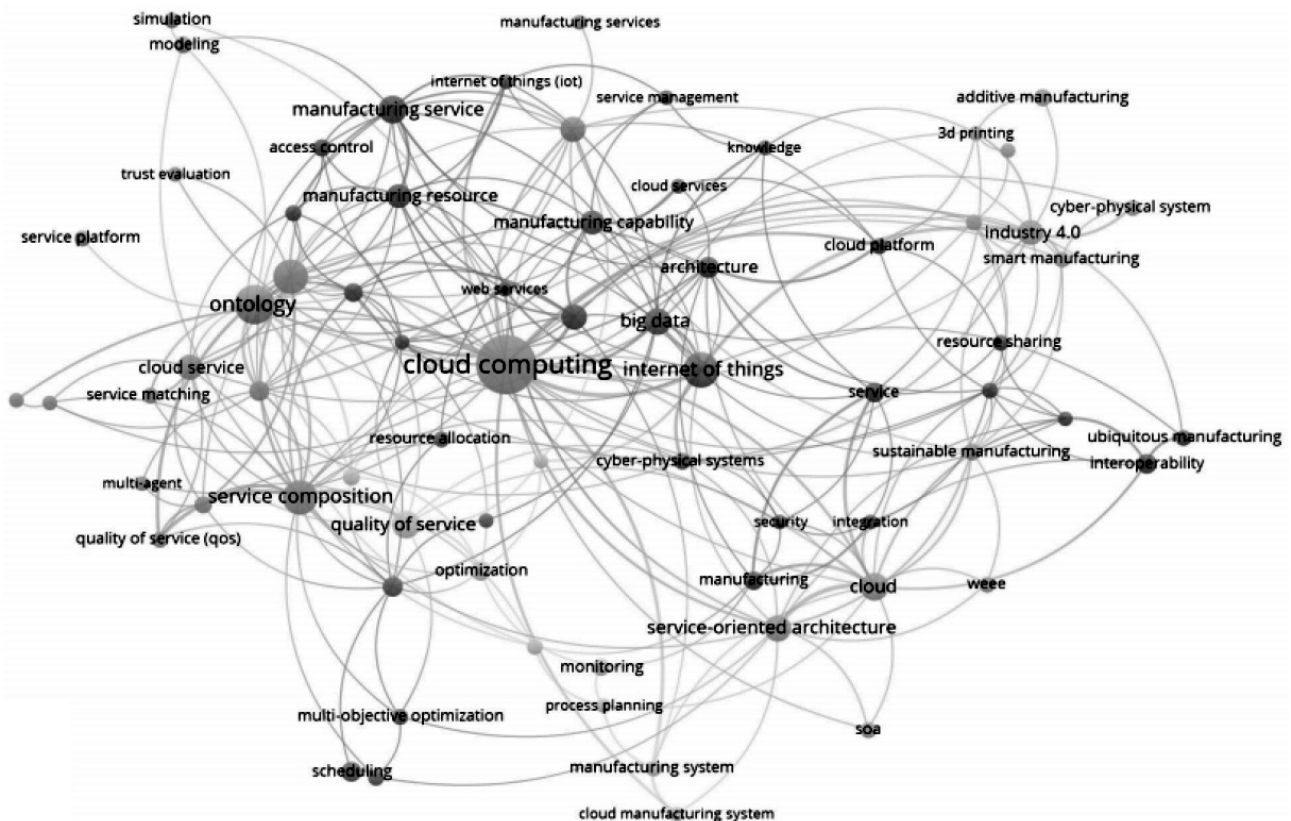
Theo kết quả phân tích, công nghiệp 4.0 được bao quanh bởi: “Internet of Things”, “Cyber physical System”, “Cloud computing”, “Big data”, v.v. Tuy vậy, 3 từ khóa “Internet of Things”, “Cyber physical system”, và “Big data” lần lượt xuất hiện với tần suất cao nhất. Liên hệ với nghiên cứu của Muhiru và Abraham (2019), tác giả phân tích bài báo khoa học trên cơ sở dữ liệu Web of Science và Scopus tính đến thời điểm 10/10/2017. Các từ khóa phổ biến nhất của công nghiệp 4.0 là: hệ thống không gian mạng thực ảo, Internet vạn vật, sản xuất thông minh, mô phỏng. Tuy nhiên, kết quả cho ra lại không rõ ràng, tác giả thừa nhận việc chỉ đánh giá và phân tích các tài liệu có số lượng trích dẫn lớn đã mang đến kết quả không rõ ràng. Trước đó, Lu (2017), tác giả cũng đọc và phân tích nội dung của 88 bài báo khoa học, dựa trên nghiên cứu, tác giả kết luận rằng công nghiệp 4.0 có thể được tóm tắt ngắn gọn là một quy trình sản xuất tích hợp, thích nghi nhanh, tự điều chỉnh, hướng dịch vụ và tương thích, tương quan với các phương pháp tương quan và các công nghệ tiên tiến.

Khái niệm trên đã đạt được sự đồng thuận của rất nhiều nhà khoa học. Từ khái niệm trên, họ định nghĩa cách mạng công nghiệp lần thứ 4 là sự giao tiếp giữa con người, máy móc và cảm biến được đặc trưng bởi sự kết hợp của CPS, IoTs, và Cloud manufacturing (Roblek et al., 2016; Zhong et al., 2017; Trstenjak, and Cosic, 2017; Xu et al., 2018). Công nghiệp 4.0 đang trên đường và sẽ có ảnh hưởng quan trọng đến sự chuyển đổi hoàn toàn của ngành vì nó thể hiện sự tiến bộ trên ba điểm: số hóa, tự động hóa, và liên kết (Roblek et al., 2016).

Do đó, có thể thấy 2 thuật ngữ được đồng thuận là *Cyber physical system* và *Internet of things*. Sự khác biệt nằm ở nghiên cứu so với nghiên cứu trước đó này đó là Big data. Các học giả có xu hướng thực hiện công nghệ 4.0, chủ yếu là IoT, CPS và Big data, thay vì điện toán đám mây. Tuy nhiên kết quả của chúng tôi đi ngược lại so với tác giả. Bài báo “From cloud computing to cloud manufacturing” xuất bản vào năm 2012 bởi Xu (2012) được xem là bài báo về điện toán đám mây được trích dẫn nhiều nhất tính đến thời điểm hiện tại với 1293 trích dẫn theo thống kê của Google Scholar tính thời điểm 09/05/2019, đã tạo nên xu hướng cho định nghĩa về công nghiệp 4.0. Như vậy câu hỏi đặt ra mối liên hệ giữa Big data và Cloud manufacturing là gì? Và đâu mới là công nghệ đại diện cho công nghiệp 4.0 bên cạnh CPS và IoTs?

Chúng tôi tiến hành thay từ khóa “industry 4.0” thành từ khóa “cloud manufacturing”, và đọc kết quả bằng chương trình phân tích VOSviewer. Hình 5 cho thấy sự xuất hiện của vòng tròn lớn “cloud computing” chỉ ra rằng bản chất “cloud manufacturing” là “cloud computing” (điện toán đám mây). Vòng tròn màu đỏ cũng chỉ ra, thuật ngữ “cloud computing” thường xuất hiện nhiều nhất cùng với “Big data”, “manufacturing capability” (khả năng sản xuất), mối quan hệ tương trợ bổ sung.





Hình 5. Bản đồ về sự xuất hiện của các khu vực nghiên cứu liên quan đến phạm vi điện toán đám mây từ cơ sở dữ liệu Scopus.

Big data và Cloud manufacturing đều là những thuật ngữ xu hướng trong lĩnh vực CNTT (công nghệ thông tin). Chúng ta có thể nghĩ rằng cả hai đều làm điều tương tự nhưng thực ra, cả hai đều có cách thức làm việc riêng. Big data đơn giản là đại diện cho các bộ dữ liệu khổng lồ, cả có cấu trúc và không cấu trúc, có thể được xử lý để trích xuất thông tin. Các doanh nghiệp lưu trữ dữ liệu sẽ phân tích dữ liệu này bằng các công cụ làm tăng kết quả và hiệu suất. Trong khi đó, Cloud manufacturing không có sự khác biệt lớn so với thuật ngữ Điện toán đám mây (Cloud computing), không gì khác ngoài một loạt các máy chủ từ xa để quản lý và xử lý khối lượng dữ liệu khổng lồ. Trong điện toán đám mây, dữ liệu không chạy các dịch vụ trên các máy chủ cục bộ của mình mà tất cả đều được thực hiện “trên những đám mây”. Thuật ngữ đám mây ở đây có nghĩa là mạng máy tính để lưu trữ dữ liệu và chạy các ứng dụng. Big data được tích góp thông qua quá trình tạo ra dữ liệu từ máy móc (IoT-enabled devices) và con

người sau đó lưu trữ trên đám mây. Sự chuyển đổi Internet của ngành công nghiệp kỹ thuật số vẫn đang được tiến hành, nhưng trí tuệ nhân tạo, dữ liệu lớn, hay điện toán đám mây cho thấy sự chắc chắn của một vòng mới của cuộc cách mạng kỹ thuật số không thể tách rời. Nền công nghiệp 4.0 về cơ bản nhằm xây dựng một mạng lưới trong số các máy móc để làm cho chúng giao tiếp với nhau, mục đích này chủ yếu có thể đạt được với sự trợ giúp của mạng internet và máy tính. Đó là lý do tại sao hầu hết các ấn phẩm được phân tích có liên quan đến khu vực kỹ thuật (31.4%) và nghiên cứu khoa học máy tính (19.4%).

#### 4. Kết luận

Trong bài viết này, phương pháp phân tích ấn phẩm khoa học (Bibliometric) đã được tiến hành nhằm khám phá quan điểm về công nghiệp 4.0 thông qua góc nhìn công nghệ. Kết quả từ phân tích này cho thấy mối liên hệ gần gũi giữa các chủ đề được thảo luận trong tài liệu, điều đó có nghĩa là, mặc dù có sự khác biệt giải quyết vấn đề công

ng nghiệp 4.0, các yếu tố chính được các nhà nghiên cứu đưa ra là gần như nhau.

Mô hình hóa từ khóa phổ biến trong nền công nghiệp 4.0 đã được trình bày. Từ khóa phổ biến nhất là: Cyber physical system-CPS (Hệ thống không gian mạng thực ảo), Internet of Things-IoT (Internet vạn vật), và Big data (Dữ liệu vô cùng lớn). Tuy có nghiên cứu cho rằng Điện toán đám mây (Cloud computing) đại diện cho cách mạng công nghiệp 4.0, chúng tôi cho rằng chúng hoàn tự trị và bổ sung cho nhau. Từ đó chúng tôi định nghĩa rằng, các máy móc và sản phẩm thông minh có thể giao tiếp và đàm phán với nhau để tự cấu hình lại để sản xuất linh hoạt nhiều loại sản phẩm. Dữ liệu khổng lồ có thể được thu thập từ các tạo phẩm thông minh và được chuyển lên đám mây tạo nên cơ chế hoạt động của nhà máy thông minh 4.0.

Định hướng nghiên cứu tiếp theo, bên cạnh nghiên cứu lý thuyết, trong tương lai, cần có nghiên cứu thực nghiệm xác định công nghệ đang được sử dụng thực tế tại doanh nghiệp. Cần xác định công nghệ 4.0 áp dụng từng ngành khác nhau để có cái nhìn sâu sắc đối với việc áp dụng và thực hiện trong bối cảnh cách mạng công nghiệp 4.0 cũng như để có định hướng chiến lược phát triển hạ tầng cho phù hợp.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., and Rosenberg, M. (2014). How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International Journal of Information and Communication Engineering*, 8(1), pp. 37- 44.
- [2] Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Mukherjee, M. and Yin, B. (2018). Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges. *IEEE Access*, 6, pp.6505-6519.
- [3] Kusiak, A. (2017). Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), pp.508-517.
- [4] Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(3), 1118-1136.
- [5] Mrugalska, B. and Wyrwicka, M. (2017). Towards Lean Production in Industry 4.0. *Procedia Engineering*, 182, pp.466-473.
- [6] Muhuri, P., Shukla, A., & Abraham, A. (2019). Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview. *Engineering Applications Of Artificial Intelligence*, 78, 218-235.
- [7] Roblek, V., Meško, M. and Krapež, A. (2016). A Complex View of Industry 4.0. *SAGE Open*, 6(2), p.215824401665398.
- [8] Suebsombut, P., Sekhari, A., Sureepong, P., Ueasangkomsate, P., & Bouras, A. (2017). The using of bibliometric analysis to classify trends and future directions on “smart farm”. 2017 *International Conference On Digital Arts, Media And Technology (ICDAMT)*.
- [9] Xu, L., Xu, E. and Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), pp.2941-2962.

## Tổng quan chất lỏng nano chứa ống nano cacbon trong hấp thụ năng lượng mặt trời

A review on the use of carbon nanotubes nanofluid in solar energy collector

Nguyễn Trọng Tâm  
Trong Tam Nguyen

*Bộ môn Vật lý, Khoa Cơ sở - Cơ bản, Đại học Hàng hải Việt Nam*

*Department of Physics, Faculty of Basic - Fundamental Sciences, Vietnam Maritime University*

*(Ngày nhận bài: 09/04/2019, ngày phản biện xong: 17/04/2019, ngày chấp nhận đăng: 15/06/2019)*

### Tóm tắt

Năng lượng mặt trời là một nguồn năng lượng thay thế tuyệt vời cho các nguồn tài nguyên hóa thạch truyền thống và dự kiến nó sẽ đóng một vai trò ngày càng quan trọng trong năng lượng toàn cầu. Để tăng hiệu suất của bộ thu năng lượng mặt trời và tăng khả năng trao đổi nhiệt, các chất phụ gia cấp độ phân tử thường được thêm vào chất lỏng hoạt động. Ngoài việc xem xét hiệu quả của các bộ thu năng lượng mặt trời sử dụng các chất lỏng chứa ống nano cacbon (Carbon nanotube - CNT), bài báo cũng thảo luận về phương pháp chế tạo, các yếu tố để tăng cường độ dẫn nhiệt và tính chất quang học của chất lỏng nano chứa CNT. Cuối cùng, những thách thức và xu hướng trong tương lai liên quan đến việc áp dụng chất lỏng nano chứa CNT trong bộ thu nhiệt mặt trời sẽ được thảo luận.

*Từ khóa:* Chất lỏng nano, năng lượng mặt trời, CNT

### Abstract

Solar energy offers a great alternative to conventional fossil resources and is expected to play an increasingly significant role in our global energy. To improve the efficiency of solar collectors and heat transfer capabilities, molecular-level additives are added to their working fluids. In addition to reviewing the efficiency of solar collectors which use carbon nanotubes (CNT) nanofluids, the paper also discusses the preparation methods, factors for enhancing thermal conductivity and optical properties of CNT nanofluids. Finally, the challenges and future trends related to the application of CNT nanofluids to thermal solar collector are discussed.

*Keywords:* Nanofluid, solar energy, CNT

### 1. Giới thiệu

Sự tăng nhanh nhu cầu năng lượng trong vài thập kỷ qua để đáp ứng sự phát triển kinh tế toàn cầu và sự tăng trưởng dân số đã dẫn tới sự cạn kiệt nguồn nhiên liệu hóa thạch. Do vậy, việc cấp thiết hiện nay là phát triển các nguồn năng lượng tái tạo sạch và bền vững. Một trong những nguồn năng lượng tái tạo có tiềm năng phát triển rất lớn đó là năng lượng mặt trời. Có hai cách

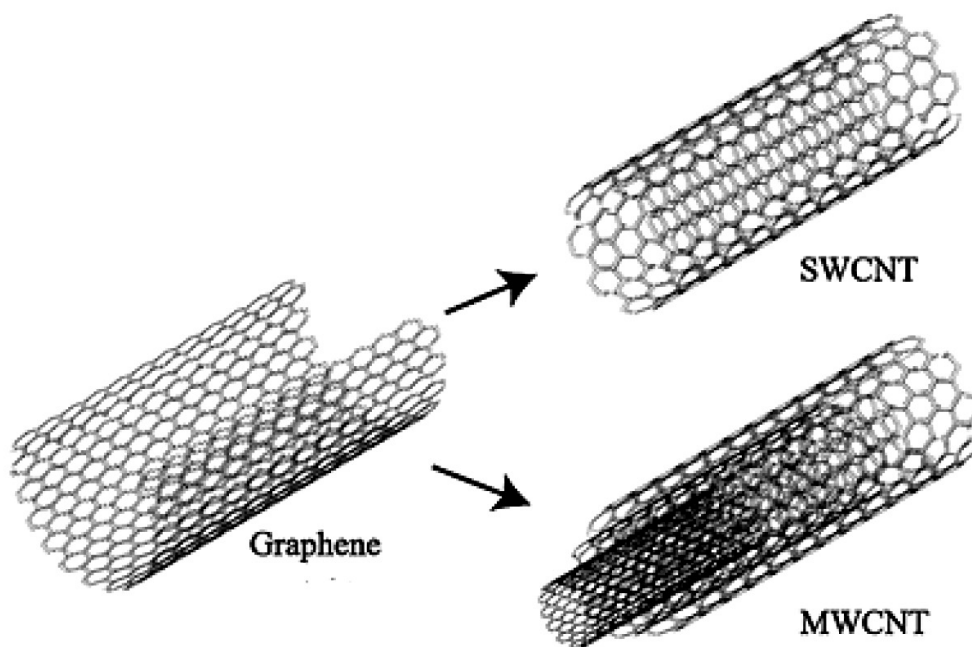
khai thác năng lượng mặt trời: công nghệ hấp thụ nhiệt năng lượng mặt trời và công nghệ pin quang điện. Để nâng cao hiệu suất của hệ thống hấp thụ nhiệt năng lượng mặt trời thì phải nâng cao độ dẫn nhiệt của chất lỏng hoạt động. Chất lỏng nano là một hỗn dịch chứa các hạt nano trong chất lỏng nền và có độ dẫn nhiệt cao hơn so với chất lỏng nền, đã chứng tỏ được tiềm năng ứng dụng rất lớn trong hệ thống hấp thụ năng

lượng mặt trời. Trong bài báo này, chúng tôi tìm hiểu các phương pháp chế tạo, yếu tố ảnh hưởng tới độ dẫn nhiệt và ứng dụng của chất lỏng nano chứa CNT trong các hệ thống hấp thụ nhiệt năng lượng mặt trời.

## 2. Chế tạo chất lỏng nano chứa CNT

Phương pháp phóng điện hồ quang, tổng hợp bằng chùm tia laser, phương pháp lắng đọng hóa học pha hơi (Chemical vapor deposition - CVD), nghiền bi và ủ nhiệt là những phương pháp chính để chế tạo ống nano cacbon đơn tường (Single-

walled carbon nanotubes - SWCNT) và đa tường (Multi-walled carbon nanotubes - MWCNT) [1]. SWCNT có thể coi như một lớp graphene cuộn lại thành ống hình trụ như Hình 1. Về mặt lý thuyết, có hai phương pháp có thể chế tạo chất lỏng nano chứa CNT, đó là phương pháp một bước và phương pháp hai bước. Trong phương pháp một bước, chế tạo hạt nano và chất lỏng nano được tiến hành đồng thời. Tuy nhiên, theo hiểu biết của chúng tôi thì hiện tại chưa có nhóm nghiên cứu nào sử dụng phương pháp này để tạo chất lỏng nano chứa CNT.



Hình 1. Sơ đồ các tấm graphene tạo ống nano cacbon đơn tường và đa tường

Phương pháp hai bước để chế tạo chất lỏng nano chứa CNT bao gồm bước một là tạo ra CNT, bước hai là phân tán vào chất lỏng nền. Các chất lỏng nền truyền thống là nước và ethylen glycol (EG), vì đây là những chất lỏng thường được sử dụng trong các hệ thống làm mát và lưu trữ nhiệt. Nói chung, có hai phương pháp có thể tạo được sự đồng nhất và độ bền vững trong thời gian dài của chất lỏng nano chứa CNT, đó là xử lý hóa học và xử lý cơ học. Xử lý hóa học CNT hay còn gọi là biến tính CNT, khi biến tính thành công thì sẽ xuất hiện các liên kết cộng hóa trị trên bề mặt CNTs. Ta có thể dùng quang phổ truyền qua hồng ngoại Fourier (Fourier-transform infrared spectroscopy

- FTIR), thiết bị phân tích nhiệt trọng trường (Thermal gravimetric analysis - TGA) và phổ Raman cũng có thể đánh giá mức độ thay đổi cấu trúc bề mặt. Xử lý cơ học bao gồm trộn cơ học các hạt nano vào các dung môi thông qua rung siêu âm. Thực tế, phương pháp xử lý cơ học thường được sử dụng để phân tán các CNT vào chất lỏng nền sau khi đã biến tính CNT.

## 3. Độ dẫn nhiệt của chất lỏng nano chứa CNT

Độ dẫn nhiệt cao là một trong những ưu điểm lớn nhất của chất lỏng nano chứa CNT so với chất lỏng nền. Những kỹ thuật phân tích đánh giá độ dẫn nhiệt của chất lỏng nano được nhóm Paul



trình bày chi tiết [2], trong đó phương pháp THW (transient hot wire) là phương pháp phổ biến nhất để đo độ dẫn nhiệt của chất lỏng nano chứa CNT. Sự tăng cường độ dẫn nhiệt của chất lỏng nano phụ thuộc nhiều yếu tố, như là độ phân tán đồng đều, loại CNT, chất lỏng nền...

### 3.1. Ảnh hưởng của xử lý hóa học và vật lý

Nhóm của Talaei [3] đã nghiên cứu sự ảnh hưởng của các phương pháp biến tính khác nhau. Nhóm đưa ra ba cách gắn nhóm chức lên CNT và phân tán vào nước: (1) sử dụng axit sulfuric và axit nitric; (2) ô xy già; (3) kali hidroxit; so sánh độ dẫn nhiệt của các chất lỏng với tỉ lệ nhóm cacboxyl là 6,8, 5,2 và 2,4 mmol/g. Kết quả cho thấy khi tăng tỉ lệ số nhóm chức cacboxyl trên bề mặt thì độ ổn định tốt hơn và độ dẫn nhiệt cao hơn. Nhóm của Abbasi [4] so sánh hai cách biến tính CNT khác nhau, dùng axit nitric và dùng hỗn hợp axit nitric - axit sulfuric lên độ dẫn nhiệt của vật liệu lai  $Al_2O_3$ -CNT/nước. Kết quả cho thấy CNT biến tính sử dụng axit nitric có thể tăng độ dẫn nhiệt của chất lỏng nano lai lên cao nhất là 20.68% với tỉ lệ hạt nano 0,1% thể tích so với mẫu không biến tính, mẫu sử dụng axit nitric và axit sulfuric thì tăng 17,24%. Do trong quá trình dùng axit biến tính CNT thường làm đứt gãy các ống CNT [5], có thể việc dùng axit nitric và axit sulfuric để xử lý hóa học làm giảm quá mức tỉ lệ khung hình của CNT trong chất lỏng và làm độ dẫn nhiệt nhỏ hơn so với mẫu chỉ dùng axit nitric.

Nhóm của Amrollahi [6] nghiên cứu chất lỏng nano CNT/nước ở 0,05% khối lượng sử dụng các chất hoạt động bề mặt khác nhau: GA (Gum Arabic – hỗn hợp glycoprotein và polysaccharide), natri dodecyl sulfat (SDS), triton X-100, CTAB (hexadecyltrimethylammonium bromide). Tỉ lệ chất hoạt động bề mặt để thu được độ dẫn nhiệt cao nhất tương ứng là 0,09, 0,007, 0,3 và 0,06% khối lượng. Các nhóm nghiên cứu khác cũng đưa ra những tỉ lệ tối ưu của các chất hoạt động bề mặt khác. Nhóm của Chen [7] quan sát thấy chất hoạt động bề mặt gemini cation được thêm vào

nước nano chứa CNT có nồng độ 0,1% thể tích với tỉ lệ chất hoạt động bề mặt là 0,6% khối lượng thì độ dẫn nhiệt tăng lớn nhất là 18,2% ở 65°C.

### 3.2. Ảnh hưởng của nồng độ CNT

Nhóm của Liu [8] nhận thấy độ dẫn nhiệt của CNT/ethylene glycol tăng từ 1,6% tới 12,4% ứng với 0,2% và 1%. Nhóm của Lamas [9] thu được kết quả MWCNT/ethylene glycol có độ dẫn nhiệt tăng từ 1% đến 17% khi tăng nồng độ từ 0,25% thể tích lên 1,5% thể tích. Nhóm của Meng [10] chế tạo chất lỏng nano chứa MWCNT nền glycol và đo độ dẫn nhiệt của nó với các tỉ lệ khối lượng khác nhau ở 25 °C. Họ thấy rằng với tỉ lệ khối lượng 0,5%, độ dẫn nhiệt chất lỏng nano tăng 3,3% so với chất lỏng nền. Khi tăng dần tỉ lệ khối lượng CNTs lên tới 4%, độ dẫn nhiệt của chất lỏng nano tăng gần như tuyến tính tới 23,4%. Nhóm của Etefaghi [11] nghiên cứu sự tăng nồng độ MWCNT ảnh hưởng tới độ dẫn nhiệt của dầu kỹ thuật SAE20W50, kết quả là độ dẫn nhiệt ở 0,1% và 0,5% khối lượng tăng tương ứng là 13,2% và 22,7%.

Tương tự như chất lỏng nano chứa MWCNT, chất lỏng chứa ống nano cacbon đơn tường (SWCNT) cũng có sự tăng độ dẫn nhiệt đáng kể. Nhóm của Harish [12] chế tạo chất lỏng nano bằng cách thêm SWCNT vào nước với tỉ lệ 0,1 - 0,3% thể tích và sử dụng chất hoạt động bề mặt DOC (sodium deoxycholate). Nhóm của Sundar [13, 14] đo độ dẫn nhiệt của nước chứa hạt nano là vật liệu lai MWCNT/ $Fe_3O_4$ . Họ quan sát thấy độ dẫn nhiệt của chất lỏng nano tăng khi tăng nồng độ hạt nano (0,1 - 0,3% thể tích). Tại 60°C, độ dẫn nhiệt ứng với nồng độ 0,1% và 0,3% thể tích tăng tương ứng là 20% và 28,46%.

### 3.3. Ảnh hưởng của cấu trúc CNT

Ống nano cacbon đa tường (MWCNT) có đường kính lớn hơn ống nano cacbon đơn tường (SWCNT) do có thêm nhiều lớp. Có khá ít nghiên cứu về sự ảnh hưởng của đường kính CNT lên độ dẫn nhiệt. Nhóm của Lee [15] nhận thấy độ dẫn nhiệt của chất lỏng nano tăng khoảng 16% khi



dùng MWCNT có đường kính 10 nm so với khi dùng MWCNT có đường kính khác (20 và 40 nm) ở nồng độ 0,5% thể tích MWCNT. Nhóm của Wu [16] chế tạo và đo độ dẫn nhiệt của nước nano chứa các loại CNT khác nhau; SWCNT có đường kính 1 - 2 nm và MWCNT có đường kính 8 nm, cả hai đều có chiều dài nhỏ hơn 30  $\mu\text{m}$ . Họ thu được độ dẫn nhiệt của nước nano SWCNT tăng hơn so với nước là 40%, trong khi độ dẫn nhiệt của nước nano MWCNT chỉ tăng 10% ở cùng nồng độ 0,38% thể tích. Trong một nghiên cứu khác của nhóm Martin [17], họ so sánh độ dẫn nhiệt của chất lỏng nano SWCNT và MWCNT ở cùng nồng độ 0,6% khối lượng CNT và phân tán CNT vào diglycidyl ether (dạng nhựa epoxy) thì kết quả lại là chất lỏng nano chứa MWCNT có độ dẫn nhiệt cao hơn so với SWCNT. Họ cho rằng cấu trúc của MWCNT có thể truyền các phonon hiệu dụng qua các lớp bên trong ống nano, trong khi SWNT có trở kháng nhất định đối với dòng nhiệt trên bề mặt do diện tích bề mặt riêng lớn.

Không chỉ đường kính của CNT mà cả chiều dài của CNT có thể thay đổi. Chiều dài của CNT có thể bị cắt ngắn một cách cơ học bằng cách nghiền bi hoặc rung siêu âm hay qua quá trình xử lý hóa học để gắn nhóm chức lên bề mặt CNT. Nghiên cứu thời gian rung siêu âm lên độ dẫn nhiệt của chất lỏng nano được thực hiện bởi nhóm Glory [18]. Họ thu được kết quả là có sự thay đổi độ dẫn nhiệt đáng kể khi chiều dài CNT tăng từ 0,5 đến 5  $\mu\text{m}$  ứng với giảm thời gian siêu âm từ 700 xuống còn 50 phút. Nhóm của Li [19] tìm hiểu sự ảnh hưởng của dạng hình học CNT và nhiệt độ lên độ dẫn nhiệt của chất lỏng chứa MWCNT 1,6% thể tích. Họ đo độ dẫn nhiệt của chất lỏng nano với các chiều dài và đường kính khác nhau và thấy rằng độ dẫn nhiệt của chất lỏng nano với đường kính nhỏ hơn thì lớn hơn. Còn với chiều dài, họ chưa quan sát thấy sự khác nhau đáng kể của độ dẫn nhiệt khi nhiệt độ gần nhiệt độ phòng. Tuy nhiên, ở 310K, độ dẫn nhiệt của chất lỏng nano với MWCNT ngắn lớn hơn so với MWCNT dài. Họ cho rằng ở nhiệt độ cao, MWCNT ngắn có thể

chuyển động nhanh hơn so với MWCNT dài hoặc dễ bị vướng víu vào nhau hơn.

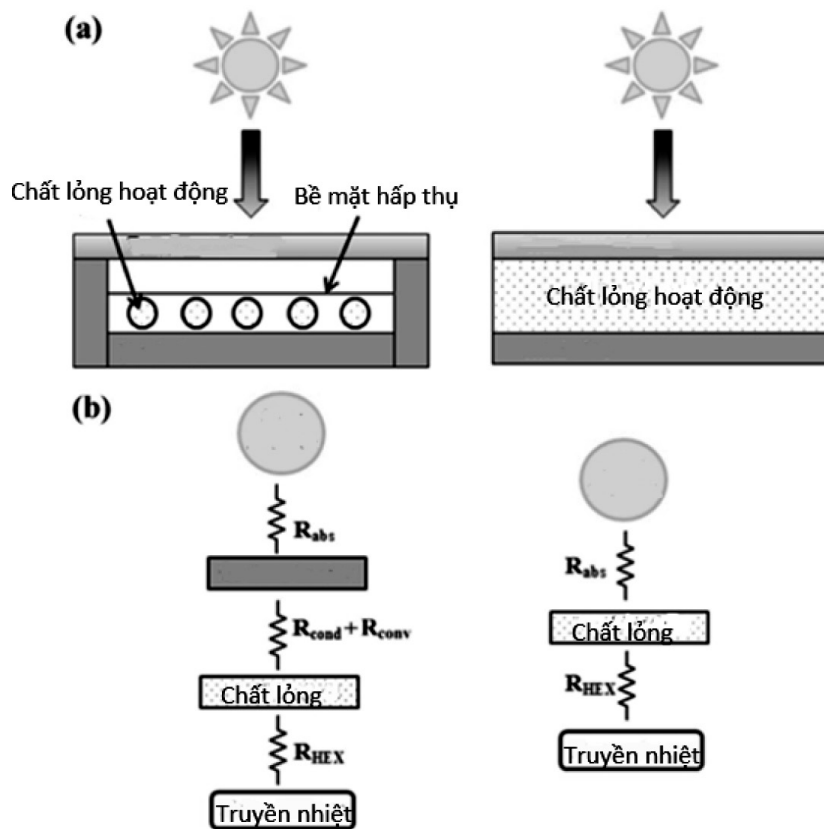
### 3.4. Ảnh hưởng của chất lỏng nền.

Nhiều nghiên cứu cho thấy khi chất lỏng nền có độ dẫn nhiệt thấp thì sự tăng cường độ dẫn nhiệt của chất lỏng nano chứa CNT sẽ rõ ràng hơn. Nhóm của Chen [20] đo được độ dẫn nhiệt với nồng độ MWCNT 1% thể tích trong các chất lỏng nền là ethylen glycol (EG), glycerol và nước tương ứng là 17,5%, 16% và 12%. Nhóm của Halefadi [21] đo độ dẫn nhiệt của chất lỏng nano chứa MWCNT trong các chất lỏng nền là nước và nước/EG (50:50) và quan sát thấy độ dẫn nhiệt tăng tương ứng 11,3% và 15,4% ở nồng độ 0,05% khối lượng và 45°C.

Khi sử dụng chất lỏng nano vật liệu lai, nhiều nghiên cứu lại cho kết quả ngược lại. Có vài nhóm nhận thấy chất lỏng nano vật liệu lai sử dụng nước lại có sự tăng độ dẫn nhiệt cao hơn so với sử dụng chất lỏng nền là EG mặc dù EG có độ dẫn nhiệt thấp hơn so với nước. Ví dụ như nhóm của Jha [22] nghiên cứu chất lỏng nano vật liệu lai là MWCNT có đính các hạt kim loại, phân tán trong nước và EG. Độ tăng độ dẫn nhiệt của chất lỏng nano chứa 0,03% thể tích Ag + MWCNT phân tán trong nước và EG lần lượt là 37,3% và 11,3%. Nhóm của Shende [23] đo độ dẫn nhiệt của chất lỏng nano có vật liệu lai là graphene và MWCNT. Trong nghiên cứu của nhóm, cả graphene và MWCNT được chức năng hóa bề mặt bằng axit sulfuric và axit nitric và được trộn với các tỉ lệ khác nhau (nồng độ 0,03% thể tích) vào EG hoặc nước. Kết quả cho thấy sự tăng độ dẫn nhiệt là 17,7% với nồng độ hạt nano lai là 0,02% thể tích, chất lỏng nền là nước, trong khi chất lỏng nền là EG và nồng độ 0,03% thể tích thì độ tăng độ dẫn nhiệt chỉ là 15,1%.

## 4. Chất lỏng nano chứa CNT trong các hệ thu năng lượng mặt trời

Hình 2 biểu diễn sơ đồ hệ thu năng lượng mặt trời tấm phẳng và bộ thu năng lượng mặt trời trực tiếp (Direct absorption solar collector - DASC).



Hình 2. (a) Sơ đồ hấp thụ năng lượng mặt trời tấm phẳng và hấp thụ nhiệt năng lượng mặt trời trực tiếp. (b) Trở kháng nhiệt hiệu dụng của hai hệ

Trong bộ thu năng lượng mặt trời tấm phẳng, chất lỏng hoạt động sẽ hấp thụ nhiệt từ các bề mặt và các bề mặt này là bộ phận nóng nhất trong hệ thống. Trong hệ thu năng lượng mặt trời trực tiếp, chất lỏng hấp thụ trực tiếp bức xạ chiếu tới, lúc này hệ thống có thể tích hấp thụ nhiệt thay vì bề mặt hấp thụ nhiệt. Như vậy, trở kháng nhiệt của hệ thống dùng chất lỏng hấp thụ nhiệt trực tiếp giảm đáng kể so với hệ thống dùng hấp thụ nhiệt bề mặt.

#### 4.1. Bộ thu nhiệt tấm phẳng

Nhóm của Yousefi [24] đã sử dụng chất lỏng nano chứa CNT làm chất lỏng truyền nhiệt để nâng cao hiệu suất của bộ thu. Họ nghiên cứu sự ảnh hưởng của việc thêm chất hoạt động bề mặt (Triton X-100) vào chất lỏng nano MWCNT với nồng độ khác nhau (0,2 – 0,4% khối lượng) và với lưu lượng dòng chảy thấp (0,0167 – 0,05 kg/s). Kết quả cho thấy khi chưa có chất hoạt động bề mặt, ở nồng độ MWCNT thấp (0,2% khối

lượng), bộ thu tấm phẳng sử dụng chất lỏng nano có hiệu suất thấp hơn so với nước thông thường. Tuy nhiên ở nồng độ CNT cao hơn (0,4% khối lượng) thì hiệu suất lại cao hơn. Khi có các chất hoạt động bề mặt, thì hiệu suất của bộ thu tăng lên. Có thể giải thích là khi có chất hoạt động bề mặt, các ống nano cacbon phân tán tốt hơn trong chất lỏng, độ dẫn nhiệt tăng lên, do đó tăng hiệu suất. Như vậy khi thêm CNT vào chất lỏng làm tăng độ dẫn nhiệt, nhưng không phải hiệu suất của bộ thu nhiệt lúc nào cũng tăng lên, bởi vì khi có các hạt nano trong chất lỏng thì chúng sẽ làm ảnh hưởng tốc độ dòng chảy, độ nhớt của chất lỏng và ảnh hưởng tới hiệu suất của bộ thu.

Nhóm của Sabiha [25] đánh giá hiệu suất truyền nhiệt khi sử dụng nước chứa SWCNT so với nước khi không có hạt nano làm môi trường truyền nhiệt trung gian trong các ống thu năng lượng mặt trời. Trong thí nghiệm của nhóm, nồng độ hạt nano là 0,2% thể tích và lưu lượng dòng

chảy lần lượt là 0,008, 0,017 và 0,025 kg/s. Kết quả cho thấy hiệu suất bộ thu ở nồng độ 0,2% thể tích SWCNT và tốc độ dòng chảy 0,025 kg/s cao hơn 71,84% so với nước. Họ cũng chú ý rằng hiệu suất bộ thu sử dụng chất lỏng nano trong ngày nhiều mây còn cao hơn bộ thu sử dụng nước trong ngày nắng ở cùng tốc độ dòng chảy.

Nhóm của Kim [26] cũng nghiên cứu hiệu suất của ống thu năng lượng mặt trời dạng chữ U khi sử dụng chất lỏng nano chứa MWCNT với chất lỏng nền là nước chứa 20% propylene glycol. Ngoài chất lỏng chứa MWCNT, họ còn nghiên cứu chất lỏng nano chứa các loại hạt nano khác như là  $Al_2O_3$ , CuO,  $SiO_2$  và  $TiO_2$ . Khi chất lỏng nano có nồng độ MWCNT là 0,2% thể tích thì hiệu suất có thể tăng thêm 62,8% so với chất lỏng nền. Xét theo khía cạnh môi trường và kinh tế, họ cho rằng lượng than đá sử dụng có thể giảm 131,2 kg và tiết kiệm khoảng 6447,3 kWh điện năng hàng năm khi sử dụng 50 bộ thu năng lượng mặt trời chứa chất lỏng nano làm chất hấp thụ trung gian.

#### 4.2. Bộ thu năng lượng mặt trời trực tiếp

Nhóm của Lee [27] nghiên cứu hệ số hấp thụ chất lỏng nano với nồng độ CNT cực thấp nhằm ứng dụng chất lỏng nano hấp thụ trực tiếp năng lượng nhiệt mặt trời. Họ dùng nước làm chất lỏng nền và phân tán MWCNT với nồng độ từ 0,0005 tới 0,005% tỉ lệ thể tích, sử dụng chất hoạt động bề mặt CTAB và đo hệ số kích thích quang, dựa trên định luật Lambert-Beer. Họ tìm thấy kết quả đáng chú ý, đó là bức xạ mặt trời có thể bị hấp thụ hoàn toàn bởi lớp chất lỏng nano dày 10 cm với tỉ lệ cực thấp CNT (0,0005% tỉ lệ thể tích). Bước sóng họ nghiên cứu thuộc dải rộng từ 200 tới 2000 nm. Kết quả của họ cho thấy chất lỏng nano chứa MWCNT hấp thụ vùng ánh sáng khả kiến và vùng hồng ngoại gần (từ 200 đến 1400 nm) là vùng mà nước nguyên chất hấp thụ ít.

Nhóm của Delfani [28] thêm MWCNT với nồng độ 100 ppm vào hỗn hợp nước và EG (70%:30%) và thấy rằng phổ truyền qua của chất

lỏng nano giảm xuống rất nhiều so với chất lỏng chưa thêm MWCNT, do đó tăng lượng ánh sáng bị hấp thụ.

Mặc dù tăng hàm lượng CNT có thể tăng đặc tính quang của chất lỏng nano, song sẽ có một hàm lượng tối ưu của CNT như kết quả nghiên cứu của nhóm Gorji [29].

Trong một nghiên cứu khác, nhóm của Hordy tìm hiểu tính chất quang của MWCNT phân tán trong bốn loại chất lỏng nền [30] (nước, ethylene glycol, propylene glycol, therminol VP1) bằng phép đo quang phổ UV-Vis. Họ nhận thấy chỉ cần với một hàm lượng rất nhỏ MWCNT, gần như 100% năng lượng mặt trời có thể bị hấp thụ. Họ tin rằng chất lỏng nano là ứng cử viên sáng giá cho chất lỏng hoạt động trong DASC nhờ khả năng hấp thụ gần như 100% ánh sáng chiếu tới, độ bền vững cao, mẫu của họ không bị lắng đọng trong thời gian dài (tới 20 tháng).

Trên đây là những nghiên cứu về tính chất quang của chất lỏng nano chứa CNT. Một số nhóm cũng đánh giá hiệu quả của việc dùng chất lỏng nano chứa CNT trong các bộ thu nhiệt trực tiếp DASC. Nhóm của Otanicar [31] sử dụng nước làm chất lỏng nền và nồng độ MWCNT lên tới 1% thể tích. Kết quả cho thấy nồng độ tối ưu là 0,5% thể tích để thu được hiệu suất cao nhất. Nhóm của He [32] đo sự chuyển hóa quang nhiệt của nước chứa MWCNT với nồng độ 0,04% khối lượng, họ sử dụng chất hoạt động bề mặt SDBS. Họ đặt chất lỏng trong các ống hấp thụ ánh sáng mô phỏng mặt trời và quan sát sự tăng nhiệt độ, họ thu được chất lỏng nano (với 0,02% khối lượng CNT) có độ tăng nhiệt độ lớn hơn so với nước là 31,8%. Tuy nhiên tốc độ tăng nhiệt độ giảm đi khi nồng độ hạt nano lớn hơn 0,02% khối lượng.

#### 5. Kết luận

Từ các kết quả đã được tổng hợp và phân tích ở trên cho thấy, có nhiều yếu tố ảnh hưởng tới độ dẫn nhiệt của chất lỏng nano chứa CNT, như là phương pháp xử lý hóa học làm thay đổi cấu trúc bề mặt,

nồng độ của CNT, loại chất lỏng nền hay hình dạng và kích thước của CNT. Để chất lỏng nano chứa CNT có được độ dẫn nhiệt cao thì cần phân tán đồng đều trong chất lỏng và đạt được độ ổn định trong thời gian dài. Do tính kỵ nước của CNT và lực tương tác Van der Waals mạnh giữa các ống nano cacbon với nhau nên để chất lỏng nano đạt được độ ổn định trong thời gian dài thì cần tránh được sự tụ đám cũng như sự lắng đọng của CNT trong chất lỏng nền. Rất nhiều nhóm nghiên cứu đã giải quyết thành công các vấn đề trên.

Các kết quả nghiên cứu cũng cho thấy khi áp dụng chất lỏng nano chứa CNT vào các hệ hấp thụ năng lượng mặt trời thì hiệu suất của các bộ thu đều tăng lên đáng kể. Tuy nhiên, vẫn còn rất nhiều thách thức phải vượt qua, trong đó, sự ổn định và chi phí sản xuất là hai yếu tố chính cản trở thương mại hóa của nó. Vì thế, để ứng dụng chất lỏng nano trong các bộ thu năng lượng mặt trời, cần phải tái cấu trúc thiết kế cho hầu hết các bộ thu để đáp ứng việc sử dụng trong thực tế. Khi giải quyết được những thách thức này, chất lỏng nano có thể tạo ra một tác động đáng kể không chỉ cho các ngành công nghiệp và kỹ thuật, mà còn nâng cao chất lượng cuộc sống con người.

Mặc dù chất lỏng nano chứa CNT có tiềm năng rất lớn cho các ứng dụng trong hệ thống năng lượng mặt trời xong vẫn cần có nhiều nghiên cứu thử nghiệm để đảm bảo hiệu suất cao nhất.

### Tài liệu tham khảo

- [1] Huaqing Xie and Lifei Chen, Review on the Preparation and Thermal Performances of Carbon Nanotube Contained Nanofluids, *Journal of Chemical & Engineering Data* 2011 56 (4), 1030-1041.
- [2] G. Paul, M. Chopkar, I. Manna, P. Das, Techniques for measuring the thermal conductivity of nanofluids: a review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 14 (2010) 1913–1924.
- [3] Z. Talaei, A.R. Mahjoub, A. Morad Rashidi, A. Amrollahi, M.E. Meibodi, The effect of functionalized group concentration on the stability and thermal conductivity of carbon nanotube fluid as heat transfer media, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 38 (2011) 513-517.
- [4] S.M. Abbasi, A. Rashidi, A. Nemati, K. Arzani, The effect of functionalisation method on the stability and the thermal conductivity of nanofluid hybrids of carbon nanotubes/gamma alumina, *Ceram. Int.* 39 (2013) 3885-3891.
- [5] J.A. Thomas, R.M. Iutzi, A.J.H. McGaughey, Thermal conductivity and phonon transport in empty and water-filled carbon nanotubes, *Physical Review B* 81 (2010) 1–4.
- [6] A. Amrollahi, A. Rashidi, M. Emami Meibodi, K. Kashefi, Conduction heat transfer characteristics and dispersion behaviour of carbon nanofluids as a function of different parameters, *J. Exp. Nanosci.* 4 (2009) 347–363.
- [7] L. Chen, H. Xie, Properties of carbon nanotube nanofluids stabilized by cationic Gemini surfactant, *Thermochim. Acta* 506 (2010) 62–66.
- [8] M.-S. Liu, M.C.-C. Lin, I.-T. Huang, C.-C. Wang, Enhancement of thermal conductivity with carbon nanotube for nanofluids, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 32 (2005) 1202–1210.
- [9] B.C. Lamas, A. Fonseca, F. Gonçalves, A. Ferreira, I. Fonseca, S. Kanagaraj, et al., EG/CNTs Nanofluids Engineering and Thermo-Rheological Characterization, *Journal of Nano Research: Trans Tech Publ*, 2011 (pp. 69–74)
- [10] Z. Meng, D. Wu, L. Wang, H. Zhu, Q. Li, Carbon nanotube glycol nanofluids: photo-thermal properties, thermal conductivities and rheological behavior, *Particuology* 10 (2012) 614–618.
- [11] H. Ahmadi, A. Rashidi, A. Nouralishahi, S.S. Mohtasebi, Preparation and thermal properties of oil-based nanofluid from multi-walled carbon nanotubes and engine oil as nano-lubricant, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 46 (2013) 142–147.
- [12] S. Harish, K. Ishikawa, E. Einarsson, S. Aikawa, T. Inoue, P. Zhao, et al., Temperature dependent thermal conductivity increase of aqueous nanofluid with single walled carbon nanotube inclusion, *Mater. Exp.* 2 (2012) 213–223.
- [13] L.S. Sundar, M.K. Singh, A.C. Sousa, Enhanced heat transfer and friction factor of MWCNT-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/water hybrid nanofluids, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 52 (2014) 73–83.
- [14] L.S. Sundar, A.C. Sousa, M.K. Singh, Heat transfer enhancement of low volume concentration of carbon nanotube-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/water hybrid nanofluids in a tube with twisted tape inserts under turbulent flow, *J. Therm. Sci. Eng. Appl.* 7 (2015) 021015.
- [15] K.J. Lee, S.H. Yoon, J. Jang, Carbon nanofibers: a novel nanofiller for nanofluid applications, *Small* 3 (2007) 1209–1213.
- [16] G.S. Wu, J.K. Yang, S.L. Ge, Y.J. Wang, M.H. Chen, Y.F. Chen, Thermal Conductivity Measurement for Carbon-Nanotube Suspensions With 3 $\omega$  Method. *Advanced Materials Research, Trans Tech Publ*, 2009, pp. 394–398.



- [17] M. Martin-Gallego, R. Verdejo, M. Khayet, J.M.O. de Zarate, M. Essalhi, M.A. Lopez-Manchado, Thermal conductivity of carbon nanotubes and graphene in epoxy nanofluids and nanocomposites, *Nanoscale Res. Lett.* 6 (2011) 610.
- [18] J. Glory, M. Bonetti, M. Helezen, M. Mayne-L'Hermite, C. Reynaud, Thermal and electrical conductivities of water-based nanofluids prepared with long multiwalled carbon nanotubes, *J. Appl. Phys.* 103 (2008) 094309.
- [19] F.-C. Li, J.-C. Yang, W.-W. Zhou, Y.-R. He, Y.-M. Huang, B.-C. Jiang, Experimental study on the characteristics of thermal conductivity and shear viscosity of viscoelastic-fluid-based nanofluids containing multiwalled carbon nanotubes, *Thermochim. Acta* 556 (2013) 47–53.
- [20] L. Chen, H. Xie, Y. Li, W. Yu, Nanofluids containing carbon nanotubes treated by mechanochemical reaction, *Thermochim. Acta* 477 (2008) 21–24.
- [21] S. Halelfadl, P. Estellé, T. Maré, Heat transfer properties of aqueous carbon nanotubes nanofluids in coaxial heat exchanger under laminar regime, *Exp. Therm. Fluid Sci.* 55 (2014) 174–180.
- [22] N. Jha, S. Ramaprabhu, Thermal conductivity studies of metal dispersed multiwalled carbon nanotubes in water and ethylene glycol based nanofluids, *J. Appl. Phys.* 106 (2009) 084317.
- [23] R. Shende, R. Sundara, Nitrogen doped hybrid carbon based composite dispersed nanofluids as working fluid for low-temperature direct absorption solar collectors, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 140 (2015) 9–16.
- [24] T. Yousefi, F. Veisy, E. Shojaeizadeh, S. Zinadini, An experimental investigation on the effect of MWCNT-H<sub>2</sub>O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors, *Exp. Therm. Fluid Sci.* 39 (2012) 207–212.
- [25] M. Sabiha, R. Saidur, S. Hassani, Z. Said, S. Mekhilef, Energy performance of an evacuated tube solar collector using single walled carbon nanotubes nanofluids, *Energy Convers. Manage.* 105 (2015) 1377–1388.
- [26] H. Kim, J. Ham, C. Park, H. Cho, Theoretical investigation of the efficiency of a U-tube solar collector using various nanofluids, *Energy* 94 (2016) 497–507.
- [27] S.-H. Lee, S.P. Jang, Extinction coefficient of aqueous nanofluids containing multi-walled carbon nanotubes, *Int. J. Heat Mass Transf.* 67 (2013) 930–935.
- [28] S. Delfani, M. Karami, M. Akhavan-Behabadi, Performance characteristics of a residential-type direct absorption solar collector using MWCNT nanofluid, *Renew. Energy* 87 (2016) 754–764.
- [29] T.B. Gorji, A. Ranjbar, S. Mirzababaei, Optical properties of carboxyl functionalized carbon nanotube aqueous nanofluids as direct solar thermal energy absorbers, *Sol. Energy* 119 (2015) 332–342.
- [30] N. Hordy, D. Rabilloud, J.-L. Meunier, S. Coulombe, High temperature and long-term stability of carbon nanotube nanofluids for direct absorption solar thermal collectors, *Sol. Energy* 105 (2014) 82–90.
- [31] T.P. Otanicar, P.E. Phelan, R.S. Prasher, G. Rosengarten, R.A. Taylor, Nanofluid-based direct absorption solar collector, *J. Renew. Sustain. Energy* 2 (2010) 033102.
- [32] Q.B. He, Experimental Investigation on Photothermal Properties of MWCNT-H<sub>2</sub>O Nanofluids for Direct Absorption Solar Collectors. *Applied Mechanics and Materials*, Trans Tech Publ, 2014, pp. 19–22.

### Lời cảm ơn

Bài báo được thực hiện dưới sự định hướng nghiên cứu của GS. TS. Phan Ngọc Minh và TS. Bùi Hùng Thắng - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.



# Tổng quan về vật liệu microgel chứa tế bào tổng hợp bằng thiết bị vi lưu

## A brief review on microfluidics-assisted cell-laden microgels

Lê Hoàng Sinh<sup>a</sup>, Lê Thị Thanh Nhi<sup>a</sup>, Đào Mỹ Uyên<sup>a</sup>, Nguyễn Quang Vĩnh<sup>a,\*</sup>  
Hoang Sinh Le, Thanh Nhi Le Thi, My Uyen Dao, Quang Vinh Nguyen

<sup>a</sup>Trung tâm Hóa tiên tiến, Viện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ cao, Đại học Duy Tân,  
03 Quang Trung, Đà Nẵng, Việt Nam

Center of Advanced Chemistry, Institute of Research & Development, Duy Tan University,  
03 Quang Trung, Danang, Vietnam

(Ngày nhận bài: 22/04/2019, ngày phản biện xong: 24/04/2019, ngày chấp nhận đăng: 01/06/2019)

### Tóm tắt

Cho đến nay, vật liệu microgel được phát triển như một nền tảng đột phá cho các ứng dụng y sinh liên quan đến nuôi giữ tế bào. Thiết bị vi lưu được xem như một phương pháp tiên tiến để tổng hợp các microgel chứa tế bào đem lại độ đồng nhất cao về kích thước, cấu trúc và các đặc tính. Trong bài đánh giá tổng quan này, chúng tôi sẽ giới thiệu sơ lược về các hệ microgel chứa tế bào được tổng hợp từ thiết bị vi lưu. Quy trình chế tạo thiết bị vi lưu, quy trình tổng hợp microgel và các vấn đề liên quan, cũng như các ví dụ về hệ microgel chứa tế bào dựa trên góc nhìn về nguyên liệu sẽ được trình bày chi tiết trong bài viết này.

*Từ khóa:* microgel, giữ tế bào, thiết bị vi lưu, vật liệu y sinh.

### Abstract

Until now, micro-sized hydrogels (microgels) have been proved as an innovative material platform for biomedical applications related to cell encapsulation. Microfluidic device is an advanced system for fabrication of cell-laden microgels with homogeneity in size, structure and properties. In this review, a brief introduction of microgels generated using microfluidic technology for cell encapsulation is presented. The microfluidic device manufacturing process, microgels preparation procedure and related issues as well as several examples of cell-laden microgel systems on the view point of the origin of materials will be addressed in detail.

*Keywords:* microgel, cell encapsulation, microfluidic device, biomaterial

## 1. Hydrogel và microgel

### 1.1 Hydrogel

Qua vài thập kỷ, vật liệu y sinh hiện đã và đang trở thành một hướng nghiên cứu mới, tiềm năng trong lĩnh vực y học. Hai ứng dụng chủ đạo trong nghiên cứu về vật liệu y sinh là kỹ thuật mô và hệ vận chuyển thuốc [1, 2]. Để đáp ứng yêu cầu cho hai hướng ứng dụng này, các loại vật liệu

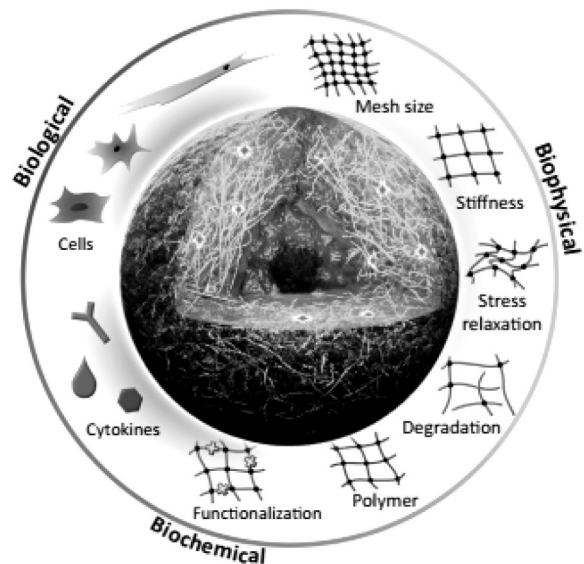
y sinh cần thỏa mãn tính tương thích sinh học/tương thích tế bào cao, khả năng phân hủy sinh học, cơ lý tính phù hợp và các tính năng khác tùy theo ứng dụng cụ thể. Một trong số các hệ vật liệu được quan tâm nhiều nhất cho các ứng dụng y sinh là hydrogel, kể từ khi công bố lần đầu bởi Wichterle và Lim [3]. Hydrogel là một loại mạng lưới polymer ba chiều, được hình thành từ các

loại polymer tự nhiên hoặc polymer tổng hợp bằng các phản ứng hóa học hoặc tương tác vật lý khác nhau [4]. Do có khả năng hút và giữ một lượng lớn nước cũng như dịch sinh học, cùng với đặc tính đồng thể, mềm, hydrogel có độ tương thích sinh học cao và có dạng cấu trúc tương tự như khuôn nền ngoại bào (extracellular matrix - ECM) [5]. Sở hữu tính tương thích sinh học, cơ tính tương tự như mô và khả năng tùy biến tốt, hydrogel đã được nghiên cứu rộng rãi cho rất nhiều ứng dụng y sinh như kính áp tròng [6], trị vết thương hở [7], cảm biến sinh học [8], kỹ thuật mô [9 - 11] và hệ dẫn thuốc/protein/gene [12]. Các loại thuốc/protein/gene có thể được giữ trong mạng lưới hydrogel nhờ các tương tác vật lý hoặc liên kết hóa học, vận chuyển đến cơ thể thông qua nhiều cách và giải phóng ra bằng các cơ chế khuếch tán, phân hủy, ăn mòn bề mặt với tốc độ giải phóng có thể kiểm soát. Bên cạnh đó, mạng lưới hydrogel còn có khả năng mô phỏng môi trường ngoại bào, là nền cho các loại tế bào sinh sôi, phát triển và di trú. Tuy nhiên đối với những ứng dụng liên quan đến kỹ thuật mô, việc giữ tế bào trong mạng hydrogel vĩ mô thường gặp phải giới hạn về tương tác giữa các tế bào cũng như khả năng trao đổi chất dinh dưỡng kém do khoảng cách giữa các thành phần ngoại bào (extracellular molecules) chưa tối ưu và tốc độ phân tán thấp [13].

## 1.2 Microgel

Microgel là loại hydrogel có kích thước 0.1 đến 100  $\mu\text{m}$ , theo IUPAC [14], có chỉ số bề mặt/thể tích rất cao, vì vậy có khả năng thúc đẩy sự truyền khối và gia tăng tương tác giữa tế bào và vật liệu nền [15]. Do đó, oxy, nước và chất dinh dưỡng sẽ được vận chuyển hiệu quả đến mạng lưới microgel để duy trì khả năng sống cho tế bào. Ngoài ra, nếu microgel giữ duy nhất một tế bào (single-cell microgel), nó sẽ tạo ra một môi trường vi mô có độ phân giải cao và cho phép kiểm soát tốt việc nuôi trồng và phân tích tế bào

*in vitro* cũng như các hoạt động của tế bào *in vivo*, thông qua việc điều chỉnh các tính chất của mạng lưới polymer như minh họa trong Hình 1 [16]. Hơn nữa, hạt microgel với kích thước nhỏ có thể dễ dàng ứng dụng cho kỹ thuật phẫu thuật xâm lấn tối thiểu (minimal invasive) bằng kim tiêm. Trong những năm đầu thập niên 60, việc dùng hạt polymer để giữ tế bào được công bố là một phương pháp để giảm thiểu phản ứng miễn dịch, từ đó hình thành nền tảng của liệu pháp tế bào [17]. Bên cạnh những ứng dụng cho xét nghiệm dược lý và liệu pháp tế bào gốc [16], microgel chứa tế bào (cell-laden microgel) đã được khai thác cho nhiều ứng dụng về kỹ thuật mô như mực in sinh học (bio-ink), mẫu 3D bộ phận cơ quan/nội tạng [18], kỹ thuật tái tạo xương/sụn [19], sự biệt hóa tế bào gốc [20], chữa vết thương hở [21] và nuôi cấy tế bào 3D [22].



Hình 1. Mô hình những thành phần cơ bản của microgel chứa đơn tế bào (sử dụng hình ảnh từ [16]): bao gồm các loại tế bào, cytokine và nền hydrogel với các đặc tính như mật độ mạng, độ cứng, độ đàn hồi, khả năng phân hủy có thể được điều chỉnh bởi cấu trúc polymer thành phần và các nhóm chức năng.

## 2. Thiết bị vi lưu để tổng hợp microgel

### 2.1 Tổng hợp microgel và thiết bị vi lưu

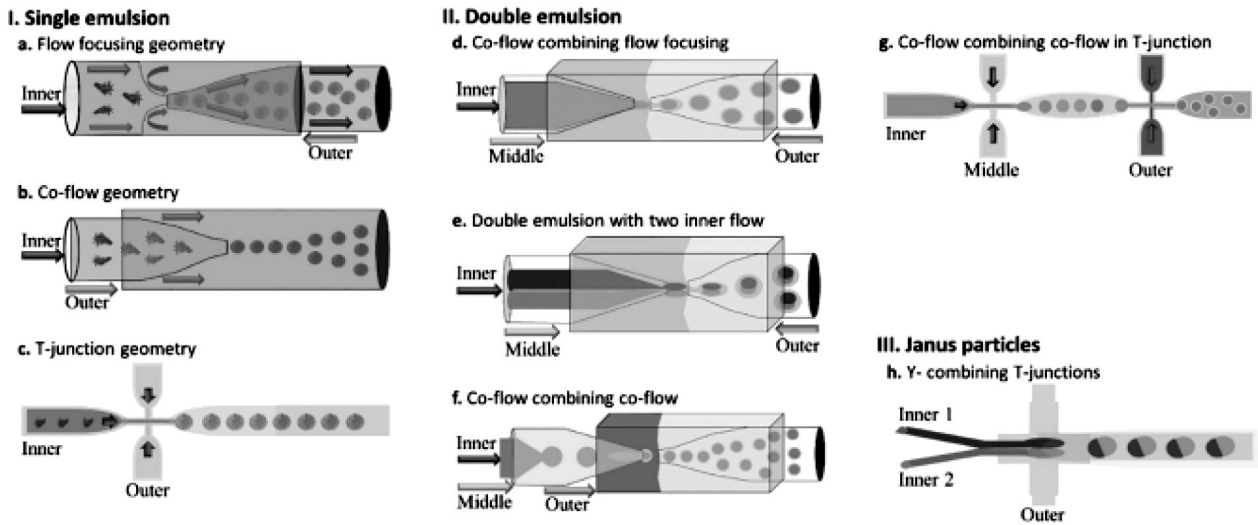
Thông thường, microgel được tổng hợp bằng phương pháp trùng hợp kết tủa, nhũ tương hóa qua màng (membrane emulsification) và phun

sấy. Tuy nhiên, những kỹ thuật thông dụng này gặp hạn chế trong việc kiểm soát kích thước, các tính chất hoá lý cũng như tiêu tốn nhiều nguyên liệu [17]. Hạt micro/nano tổng hợp từ các phương pháp trên có độ đồng nhất thấp về kích thước và tính chất. Sự ít đồng nhất này không chỉ ở các mẻ tổng hợp khác nhau mà còn có thể trong cùng một mẻ phản ứng. Để vượt qua trở ngại này, kỹ thuật nhũ tương hóa trong thiết bị vi lưu (microfluidic) được xem là một giải pháp ưu việt. Công nghệ vi lưu được định nghĩa là công nghệ sử dụng các thiết bị vi lưu để tổng hợp, kiểm soát một dòng chất lỏng vi lượng ( $10^{-9}$  đến  $10^{-8}$  L) sử dụng các kênh dẫn với kích thước từ hàng chục đến hàng trăm micromet [23]. Thiết bị vi lưu được ứng dụng cho phân tích gene, điện di mao quản, khuếch đại DNA, hóa học lâm sàng, xét nghiệm và phân tích tế bào, tổng hợp thuốc hoặc vật liệu nano và mô phỏng cơ quan, nội tạng [24]. Riêng đối với lĩnh vực tổng hợp các hạt micro/nano, thiết bị vi lưu mang đến sự kiểm soát cực tốt đối với kích thước, hình dạng cũng như cấu trúc bề mặt vật liệu. Bên cạnh đó, vật liệu tổng hợp từ thiết bị vi lưu sẽ có thành phần, tính chất hoá lý và cơ tính chính xác. Hơn nữa, việc tổng hợp bằng thiết bị vi lưu có thể mở rộng quy mô thành một nền tảng có hiệu suất cao, tự động hóa, có tiềm năng lớn trong việc chuyển giao sang ứng dụng trong công nghiệp cũng như lâm sàng [25].

## 2.2 Thiết kế, cấu trúc và chế tạo thiết bị vi lưu

Thiết bị vi lưu có thể được chế tạo theo cấu trúc 1D, sử dụng các ống mao dẫn (capillary) đồng trục [26], cấu trúc 2D dựa trên các kênh dẫn (microchannel), hoặc cấu trúc 3D phức tạp hơn. Thiết bị vi lưu có thể được chế tạo bằng nhiều vật liệu khác nhau: kim loại [27], thủy

tinh [26], silicon [28], polymer [29]. Các hệ vi lưu cấu trúc 1D với các ống mao dẫn đồng trục thường được chế tạo bằng vật liệu thủy tinh, có tính kháng dung môi hữu cơ rất tốt. Tuy nhiên, với ứng dụng tổng hợp microgel chứa tế bào đòi hỏi hệ vi lưu có cấu trúc 2D hoặc 3D, polydimethylsiloxane (PDMS) là vật liệu đáp ứng được yêu cầu này. Ví dụ, điển hình của quy trình quang khắc mềm (soft-lithography) tạo thiết bị vi lưu từ PDMS: đầu tiên các vi kênh được tạo ra trên một tấm đế silicon wafer (gọi là tấm master) bằng kỹ thuật quang khắc (photolithography) với vật liệu photoresist SU-8. Sau đó, PDMS và chất đóng rắn (từ bộ kit Sylgard 184, Dow Corning) được trộn đều với tỉ lệ 10:1 và đổ lên tấm master này. Sau khi đóng rắn (40 - 80°C trong 1 - 2h), PDMS được tách ra và dán lên một tấm đế thủy tinh bằng cách xử lý oxygen plasma. Các hệ vi lưu chế tạo bằng PDMS với kỹ thuật quang khắc mềm được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực nghiên cứu, đặc biệt là cho microgel chứa tế bào, do các ưu điểm về độ trong suốt, tùy biến độ cứng, tính thấm khí cao, tính tương thích sinh học cao, giá thành rẻ của PDMS, độ phân giải cao của kỹ thuật quang khắc và khả năng tái sử dụng tấm đế master. Tuy nhiên, PDMS có khuyết điểm về thời gian sử dụng cùng độ kháng dung môi hữu cơ [15]. Vì thế, các công nghệ in 3D tiên tiến như thiêu kết laser SLS (selective laser sintering), công nghệ FDM (fused deposition modeling), công nghệ in phun đóng rắn UV (photopolymer inkjet printing), công nghệ tạo mẫu laminate (laminate object manufacturing), công nghệ SLA (stereolithography) đang được áp dụng cho các thiết bị vi lưu có yêu cầu đặc biệt về cấu trúc cũng như tính chất sản phẩm [30].



Hình 2. Một số thiết kế của thiết bị vi lưu tạo giọt (sử dụng hình ảnh từ [31]). a) thiết kế dòng chảy tập trung; b) thiết kế dòng chảy cùng chiều; c) thiết kế giao nhau chữ T; d) dòng chảy tập trung kết hợp dòng chảy cùng chiều; e) dòng chảy 2 pha tập trung kết hợp dòng chảy cùng chiều; f) thiết kế dòng chảy cùng chiều 2 tầng; g) thiết kế dòng chảy cùng chiều giao nhau chữ T; h) thiết kế dòng chảy chữ Y

Ngoại trừ phần khuôn trung tâm có các vi kênh được tạo ra từ các kỹ thuật kể trên, thiết bị vi lưu còn bao gồm các ống dẫn chất lỏng nối với đầu vào/đầu ra của các vi kênh. Thêm vào đó, các hệ chứa chất lỏng đầu vào sẽ được thiết kế với bơm điều tốc nhằm điều chỉnh tốc độ dòng đầu vào, từ đó quyết định cấu trúc/tính chất của vật liệu tạo thành. Ngoài ra, cuối ống dẫn đầu ra có thể thiết kế bể thu mẫu. Trong phần khuôn trung tâm, các kênh dẫn được thiết kế với các cấu trúc hình học khác nhau, dựa trên 3 thiết kế nền tảng: thiết kế giao nhau chữ T (T-conjunction), thiết kế dòng chảy tập trung (flow-focusing) và thiết kế dòng chảy cùng chiều (co-flowing) như Hình 2 [32]. Nguyên lý hoạt động của các thiết kế này dựa trên việc các dòng chảy của pha nước (vai trò như pha phân tán) sau khi gặp các dòng chảy pha dầu (dầu khoáng, dầu thực vật hoặc dầu flourinate) (vai trò như pha liên tục) thì bị tách thành từng giọt rời có kích thước đều nhau. Sự tách giọt này phụ thuộc vào đặc điểm thiết kế của kênh dẫn, đặc tính của dòng chảy và tốc độ dòng chảy [15]. Các giọt chất lỏng có thể hình thành dưới dạng đơn giản là nước/dầu, dầu/nước hoặc phức tạp hơn như dầu/nước/dầu, tùy theo thiết kế của hệ vi lưu. Để tạo ra các hạt micro/nano

đa pha có cấu trúc lõi - vỏ (core-shell), cấu trúc đa lõi [33], cấu trúc Janus [34], cấu trúc hollow-core, đòi hỏi hệ vi lưu có các thiết kế riêng biệt và phức tạp hơn [35]. Ngoài ra, để đạt hiệu quả pha trộn đối với dòng chất lỏng, hệ vi lưu có thể dùng các thiết kế phối trộn (mixer) như cấu trúc Testla [36] hoặc cấu trúc xương cá [37].

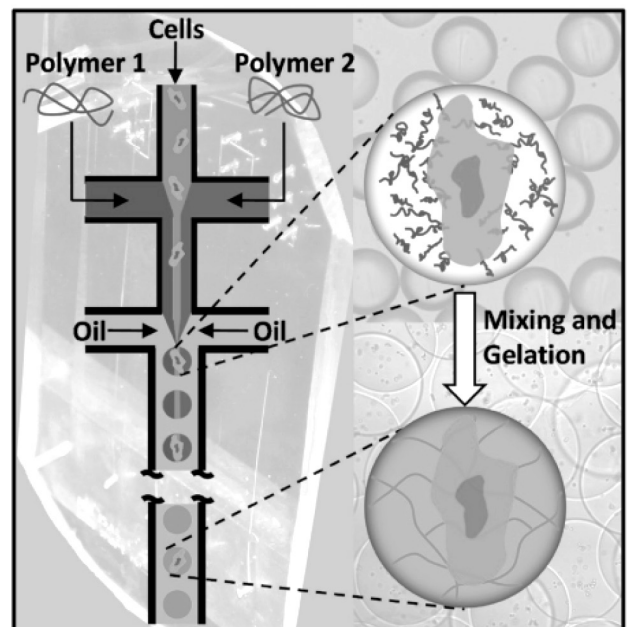
### 3. Tổng hợp microgel chứa tế bào bằng thiết bị vi lưu

Ứng dụng giữ tế bào bằng hạt microgel có một số yêu cầu khắt khe: 1) kiểm soát tốt kích thước hạt (nhỏ hơn 200  $\mu\text{m}$ ) để đảm bảo quá trình trao đổi chất và hô hấp của tế bào; 2) độ đa phân tán thấp để kiểm soát số lượng tế bào và khoảng cách giữa các tế bào; 3) thành phần cũng như quá trình tạo thành microgel không ảnh hưởng khả năng sống của tế bào; 4) quá trình tổng hợp microgel giữ tế bào cần ổn định, có độ lặp lại và hiệu suất cao [38]. Phương pháp tổng hợp sử dụng thiết bị vi lưu có thể đáp ứng được những yêu cầu này. Trên thiết bị này, microgel chứa tế bào được tổng hợp dựa trên quá trình tạo nhũ tương của một pha nước chứa tế bào, monomer, tiền chất polymer (pha phân tán) trong pha dầu không phân cực (pha liên tục). Để ổn định hệ nhũ tương tạo thành, tránh sự kết tụ của các giọt pha phân tán trước



khi hình thành dạng gel, các chất hoạt động bề mặt thường được cho thêm vào pha dầu. Các loại dầu và chất hoạt động bề mặt thường được lựa chọn và kết hợp đồng thời [15]. Pha phân tán sau khi bị tách thành từng giọt chất lỏng thì diễn ra quá trình hóa gel để tạo thành các hạt microgel. Quá trình tách giọt pha phân tán và hóa gel được minh họa trong Hình 3. Những hạt microgel này là mạng lưới polymer ba chiều được hình thành do các phản ứng hóa học hoặc tương tác vật lý. Lượng nước chứa trong mạng lưới polymer sẽ cho phép tế bào bên trong có thể tồn tại, trao đổi chất và oxy. Một số yếu tố cần lưu ý để đảm bảo tỉ lệ sống cao cho tế bào bao gồm: tần số hình thành từng giọt microgel, độ nhớt của pha lỏng trong thiết bị, tính chất bề mặt trong của các vi kênh, thành phần và tính chất (bền cơ, bền hóa) của microgel được hình thành [38]. Có 2 phương pháp tạo mạng polymer chủ yếu: từ monomer và từ các polymer/tiền chất polymer. Trường hợp sử dụng monomer và chất nối mạng (crosslinker) làm tiền chất, mạng polymer được hình thành sẽ có cấu trúc không đồng nhất. Ngược lại, microgel hình thành từ các đại phân tử (oligomer/polymer) sẽ đem lại độ đồng thể cao hơn và sự kiểm soát tốt hơn về mạng lưới polymer hình thành. Tuy nhiên, độ nhớt của dòng chảy cũng sẽ bị ảnh hưởng nếu tiền chất polymer có khối lượng phân tử cao. Bên cạnh đó, cơ chế hình thành microgel cũng là yếu tố đáng lưu ý. Sự nối mạng polymer (bằng phản ứng hóa học hoặc tương tác vật lý) để chuyển từ pha lỏng thành dạng gel cần phải tương thích và an toàn cho tế bào. Xét về cơ chế nối mạng, microgel nối mạng hóa học chủ yếu được hình thành từ các phản ứng nhảy oxi hóa - khử (redox), phản ứng trùng hợp quang (bằng tia UV), phản ứng xúc tác enzyme và các phản ứng 'click'[39]. Trong khi đó, microgel nối mạng vật lý thường có thể được hình thành do tương tác kỵ nước, tương tác tĩnh điện hoặc tương tác guest-host. Cơ chế phản ứng hóa học hay tương tác vật lý cần được kiểm nghiệm đối với khả năng sống của tế bào và tối ưu hóa để nâng cao tỉ lệ sống

cho tế bào. Cuối cùng, việc lựa chọn nguyên liệu cho microgel phải được xem xét kỹ càng. Trước quá trình hóa gel, tế bào sẽ được phân tán trong pha nước chứa các tiền chất polymer, vì vậy, vật liệu tạo gel phải tương thích với tế bào [13]. Hệ microgel có thể được tạo thành từ các nguyên liệu là polymer tự nhiên, polymer tổng hợp hoặc kết hợp cả hai loại vật liệu trên. Một số bài viết so sánh đặc điểm, tính chất và công dụng của các loại polymer khác nhau cho ứng dụng nuôi giữ tế bào đã được báo cáo gần đây [40, 41]. Các công bố tiêu biểu về microgel giữ tế bào cho ứng dụng y sinh sẽ được trình bày trong phần tiếp theo, dựa trên góc nhìn về nguyên liệu tạo microgel.



Hình 3. Minh họa cơ chế tổng hợp microgel chứa tế bào trên thiết bị vi lưu (sử dụng hình ảnh từ [42]): pha nước chứa tế bào gặp các pha nước chứa tiền chất polymer tạo thành dòng pha phân tán, được tách ra thành giọt sau khi gặp pha dầu. Quá trình gel hóa do tương tác hoặc phản ứng giữa 2 loại polymer.

#### 4. Vật liệu cho microgel chứa tế bào

##### 4.1 Microgel từ polymer tự nhiên

Sở hữu bản chất tương thích sinh học ưu việt, khả năng phân hủy sinh học cùng các nhóm bám tế bào giống như khuôn nền ngoại bào, các polymer tự nhiên thường là lựa chọn hàng đầu cho các ứng dụng y sinh có liên quan đến tế bào [41]. Hiện tại, đã có nhiều loại microgel chứa tế bào được phát triển dựa trên vật liệu polymer tự



nhiên: gelatin, agarose, chitosan, pectin, alginate, hyaluronic acid, collagen... và hệ kết hợp giữa chúng. Mỗi loại polymer tự nhiên đều có ưu và khuyết điểm riêng, Jiang và cộng sự đã tổng kết lại trong một báo cáo gần đây [13]. Trong một nghiên cứu, Utech và cộng sự [43] đã phát triển thành công hệ microgel từ alginate, một loại polysaccharide chiết xuất từ tảo nâu, với cấu trúc đồng nhất và đạt được khả năng nuôi giữ tế bào gốc trung mô ổn định trong 15 ngày. Quá trình hóa gel của hệ microgel này dựa trên liên kết tĩnh điện giữa ion canxi mang điện dương và mạch alginate mang điện âm, xảy ra nhanh và được chứng minh an toàn cho tế bào. Cho đến nay, alginate là vật liệu được nghiên cứu nhiều nhất cho ứng dụng giữ tế bào [44]. Trong một báo cáo khác, agarose, một chiết xuất từ rêu đỏ (*rhodophyceae*), được nhóm của Tumarkin và cộng sự sử dụng để tổng hợp các microgel bằng hệ vi lưu cho ứng dụng bắt giữ nhiều loại tế bào khác nhau. Trong nghiên cứu này, các dòng lưu chứa tế bào và agarose được giữ ở nhiệt độ 37°C trước khi hạ nhiệt xuống 2°C để kích hoạt quá trình hóa gel. Nhóm nghiên cứu đã chứng minh tiềm năng của hệ microgel này trong ứng dụng khảo sát điều kiện nuôi cấy nhiều chủng loại tế bào đồng thời [45]. Tuy nhiên, agarose có khuyết điểm là không tự phân hủy sinh học mà chỉ phân hủy dưới tác dụng của các loại vi khuẩn agarase. Sau alginate và agarose, một loại polysaccharide được dùng khá nhiều cho ứng dụng nuôi giữ tế bào là hyaluronic acid, với ưu điểm ở khả năng biến tính rất cao và hoạt tính bám dính tế bào. Ma và cộng sự đã phát triển các hệ microgel dựa trên hyaluronic acid biến tính với furylamine và tyramine với quá trình gel hóa do phản ứng enzyme và/hoặc phản ứng Diels-Alder, đồng thời so sánh khả năng sống của tế bào cùng khả năng phân hủy sinh học của các hệ này [46]. Bên cạnh việc phát triển microgel từ các polysaccharide, những loại protein polymer như collagen và gelatin cũng được dùng làm nguyên liệu cho microgel giữ tế bào. Nhóm

nghiên cứu của Shoji Takeuchi đã sử dụng hệ vi lưu để tổng hợp những hạt microgel chứa tế bào NIH 3T3 từ collagen, loại protein có hàm lượng cao trong cơ thể, và nuôi cấy trong khuôn PDMS tạo thành mẫu mô 3D [47]. Một dẫn xuất khác của collagen là gelatin cũng được dùng rất phổ biến cho microgel giữ tế bào. Các hệ microgel từ gelatin này có thể có hóa gel bằng cơ chế nhạy nhiệt hoặc đóng rắn UV; kết hợp với các polymer thiên nhiên khác để tạo thành composite đồng nhất pha như agarose-gelatin; agarose-collagen-gelatin hoặc cấu trúc lõi-vỏ như gelatin-silica, gelatin-methyl cellulose [18, 48 - 51]. Đối với cơ chế đóng rắn quang, cường độ và thời gian chiếu xạ UV cần được kiểm soát thật tốt vì có ảnh hưởng đến tỉ lệ sống của tế bào.

#### 4.2 Microgel từ polymer tổng hợp

Mặc dù sở hữu những tính chất ưu việt về bản chất tương thích sinh học và khả năng tương tác với tế bào, các polymer từ thiên nhiên lại gặp phải sự biến thiên và đa phân tán cao về khối lượng phân tử, đem đến bất cập trong việc kiểm soát tính chất: cơ tính, tốc độ phân hủy, độ nhớt dung dịch. Trái lại, polymer tổng hợp có thể đem lại sự tùy biến tốt về khối lượng phân tử, cấu trúc, mật độ nối mạng chính xác hơn hẳn polymer thiên nhiên, từ đó có thể kiểm soát được hóa tính, lý tính và khả năng phân hủy của microgel tạo thành [38]. Poly(ethylene glycol) (PEG) là polymer tổng hợp được sử dụng nhiều nhất cho ứng dụng microgel giữ tế bào do tính tương thích sinh học, ưa nước, không gây phản ứng miễn dịch, có khả năng biến tính rất cao để tạo các nhóm chức khác nhau [13]. Năm 2013, Rossow và cộng sự đã phát triển một hệ microgel đại phân tử (supramolecular microgel) dựa trên tương tác phối trí giữa PEG-bipyridine và ion sắt (II) [52]. Hệ microgel này có khả năng giữ và giải phóng tế bào bạch cầu và tế bào ung thư vú của chuột thông qua liên kết phối trí thuận nghịch. Trong một nghiên cứu công bố bởi Steinhilber và đồng nghiệp [53], hệ microgel được tạo ra

bởi phản ứng cộng hợp vòng alkyne-azide giữa poly(ethylene glycol)-dicyclooctyne và dendritic poly(glycerol azide). Microgel tạo thành có thể kiểm soát được sự giải phóng của nguyên bào sợi (fibroblast cell) bằng cách thay đổi pH của môi trường từ 4.5 đến 7.4. Tương tự với nghiên cứu kể trên, nhóm của Rossow và cộng sự phát triển một hệ microgel để giữ các tế bào fibroblast và lymphoblast từ PEG và polyglycerol đa nhánh (hyperbranch polyglycerol), hóa gel bằng cơ chế thân thiện tế bào là phản ứng cộng hợp Michael [54]. Tính chất của hạt gel tạo thành có thể được tùy biến bằng cách điều chỉnh khối lượng phân tử của PEG cũng như nồng độ của polymer. PEG cũng có thể kết hợp với copolymers từ poly(N-(2-hydroxypropyl)-methacrylamide) và poly(hydroxyethyl-methacrylate) gắn với poly(N-isopropylacrylamide) để tổng hợp microgel cho kiểm soát vận chuyển tế bào [55]. Sự giải phóng của nguyên bào sợi được điều chỉnh bởi quá trình trương ra/co lại và sự thay đổi module đàn hồi của microgel khi thay đổi nhiệt độ. Bên cạnh PEG mạch thẳng, các loại PEG đa nhánh cũng được sử dụng trong các nghiên cứu khác về microgel giữ tế bào [56, 57]. Ngoài PEG thì microgel cũng có thể được tổng hợp trên nền của các loại polymer tổng hợp khác, ví dụ như poly(2-oxazoline) (POx). Năm 2015, Luck và đồng nghiệp đã phát triển một loại microgel từ POx để vận chuyển tế bào gốc trung mô người (human mesenchymal stem cells) (hMSC) [58]. Microgel này có khả năng phân hủy sinh học do liên kết disulfide giữa mạch POx bị đứt gãy dưới tác dụng của glutathione.

### 4.3 Các hệ microgel lai

Để kết hợp đặc tính tương tích sinh học, khả năng phân hủy sinh học với sản phẩm phân hủy thân thiện tế bào, các nhóm tương tác tế bào của polymer tự nhiên với khả năng điều chỉnh cấu trúc chính xác và kiểm soát tính năng của polymer tổng hợp, các hệ microgel lai đã được phát triển gần đây và trở thành một hướng đi hứa

hẹn cho ứng dụng giữ tế bào. Năm 2014, Ma và đồng nghiệp đã báo cáo một hệ microgel lai sử dụng hyaluronic acid và PEG làm thành phần chính tạo mạng hydrogel, cũng như fibrinogen làm thành phần liên kết với tế bào [59]. Hệ microgel này cho phép nuôi cấy dài hạn và duy trì tỉ lệ sống cao cũng như các hoạt động cho tế bào gốc từ người. Sau đó, một hệ microgel lai nối mạng vật lý từ PEG-peptide và oligodextran hoặc oligoheparin được báo cáo năm 2015 của Wieduwild và cộng sự [60]. Hệ microgel này cho phép nuôi giữ nguyên bào sợi từ da trẻ sơ sinh trong môi trường an toàn và đạt tỉ lệ sống cao. Trong một công bố khác năm 2016, Siltanen và đồng nghiệp đã tổng hợp một loại microgel lai từ PEG và heparin dùng để nuôi giữ và điều chỉnh hoạt động của tế bào gốc từ phôi thai chuột [61]. Bên cạnh khả năng điều chỉnh kích thước, module đàn hồi và hoạt tính sinh học, hệ microgel này có thể tác động đến quá trình biệt hóa của tế bào.

## 5. Kết luận

Cho đến nay, kỹ thuật vi lưu đã phát triển và được chứng minh là một phương pháp ưu việt cho tổng hợp các loại hạt microgel có độ đồng nhất cao về cấu trúc, kích thước và tính chất, hiệu quả cho các ứng dụng liên quan đến bắt giữ tế bào. Tuy nhiên, vẫn tồn tại những đích đến cần chinh phục như khả năng bắt giữ đơn tế bào trong một microgel hoặc khả năng điều chỉnh số lượng tế bào đồng nhất trong một microgel. Tiếp theo, tất cả các đặc tính: cơ tính, độ nhớt, đàn hồi, lượng nước trong microgel vẫn cần được tối ưu để có thể mô phỏng môi trường khuôn nền ngoại bào, nhằm đạt tỉ lệ sống cao cho tế bào. Ngoài ra, cho một số ứng dụng cần giải phóng tế bào thì tốc độ phân hủy của vật liệu cũng cần được điều chỉnh. Các loại tế bào khác nhau sẽ tương thích với các vật liệu khác nhau nên cần phát triển thêm nhiều hệ vật liệu kết hợp để có thể vận chuyển nhiều chủng loại tế bào cùng lúc, để mô phỏng cấu trúc thực của các loại mô. Cuối cùng, các thiết kế tối ưu cho hệ vi lưu cần được xem xét để tăng

năng suất đầu ra và thu được sản lượng cao. Với những giải pháp trên, microgel chứa tế bào tổng hợp bằng thiết bị vi lưu sẽ trở thành một nền tảng “lab-on-chip” tiên tiến cho kỹ thuật mô, các ứng dụng nuôi trồng cơ quan và liệu pháp tế bào.

### Tài liệu tham khảo

- [1] O. S. Fenton, K. N. Olafson, P. S. Pillai, M. J. Mitchell, and R. Langer, “Advances in biomaterials for drug delivery,” *Adv. Mater.* 2018, **30**, 1–29.
- [2] A. Khademhosseini and R. Langer, “A decade of progress in tissue engineering,” *Nat. Protoc.* 2016, **11**, 1775–1781.
- [3] O. Wichterle, D. Lím. “Hydrophilic gels in biologic use”. *Nature* 1960;185:117–8.
- [4] Q. V. Nguyen, D. P. Huynh, J. H. Park, and D. S. Lee, “Injectable polymeric hydrogels for the delivery of therapeutic agents: A review,” *Eur. Polym. J.* 2015, **72**, 602–619.
- [5] D. Y. Ko, U. P. Shinde, B. Yeon, and B. Jeong, “Recent progress of in situ formed gels for biomedical applications,” *Prog. Polym. Sci.* 2013, **38**, 672–701.
- [6] L. Xinming, C. Yingde, A. W. Lloyd, S. V. Mikhailovsky, S. R. Sandeman, C. A. Howel and L. Liewen, “Polymeric hydrogels for novel contact lens-based ophthalmic drug delivery systems: A review,” *Contact Lens Anterior Eye*, 2008, **31**, 57–64.
- [7] N. A. Peppas and J. J. Sahlin, “Hydrogels as mucoadhesive and bioadhesive materials: A review,” *Biomaterials* 1996, **17**, 1553–1561.
- [8] D. Buenger, F. Topuz, and J. Groll, “Hydrogels in sensing applications,” *Prog. Polym. Sci.* 2012, **37**, 1678–1719.
- [9] H. Tan and K. G. Marra, “Injectable, biodegradable hydrogels for tissue engineering applications,” *Materials (Basel)*. 2015, **3**, 1746–1767.
- [10] J. L. Drury and D. J. Mooney, “Hydrogels for tissue engineering: Scaffold design variables and applications,” *Biomaterials* 2003, **24**, 4337–4351.
- [11] S. Van Vlierberghe, P. Dubruel, and E. Schacht, “Biopolymer-based hydrogels as scaffolds for tissue engineering applications: a review,” *Biomacromolecules* 2011, **12**, 1387–408.
- [12] M. K. Nguyen and E. Alsberg, “Bioactive factor delivery strategies from engineered polymer hydrogels for therapeutic medicine,” *Prog. Polym. Sci.* 2014, **39**, 1235–1265.
- [13] W. Jiang, M. Li, Z. Chen, and K. W. Leong, “Cell-laden microfluidic microgels for tissue regeneration,” *Lab Chip* 2016, **16**, 4482–4506.
- [14] J. Alemán, A. V. Chadwick, J. He, M. Hess, K. Horie, R. G. Jones, P. Kratochvíl, I. Meisel, I. Mita, G. Moad, S. Penczek, R. F. T. Stepto, “Definitions of terms relating to the structure and processing of sols, gels, networks, and inorganic-organic hybrid materials” *Pure Appl. Chem.* 2007, **79**, 1801–1829.
- [15] T. Heida, J. W. Neubauer, M. Seuss, N. Hauck, J. Thiele, and A. Fery, “Mechanically defined microgels by droplet microfluidics,” *Macromol. Chem. Phys.* 2017, **218**, 1–19.
- [16] T. Kamperman, M. Karperien, S. Le Gac, and J. Leijten, “Single-cell microgels: technology, challenges, and applications,” *Trends Biotechnol.* 2018, **36**, 850-860.
- [17] E. Tumarkin and E. Kumacheva, “Microfluidic generation of microgels from synthetic and natural polymers,” *Chem. Soc. Rev.* 2009, **38**, 2161–2168.
- [18] C. Ma, C. Tian, L. Zhao, and J. Wang, “Pneumatic-aided micro-molding for flexible fabrication of homogeneous and heterogeneous cell-laden microgels,” *Lab Chip* 2016, **16**, 2609–2617.
- [19] E. G. Popa, M. E. Gomes, and R. L. Reis, “Cell delivery systems using alginate-carrageenan hydrogel beads and fibers for regenerative medicine applications,” *Biomacromolecules* 2011, **12**, 3952–3961.
- [20] E. Guermani, H. Shaki, S. Mohanty, M. Mehrali, A. Arpanaei, A. K. Gaharwar & A. D. Pirouz, “Engineering complex tissue-like microgel arrays for evaluating stem cell differentiation,” *Sci. Rep.* 2016, **6**, 1–8.
- [21] Y. Li, H. Meng, Y. Liu, A. Narkar, and B. P. Lee, “Gelatin microgel incorporated poly(ethylene glycol)-based bioadhesive with enhanced adhesive property and bioactivity,” *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2016, **8**, 11980–11989.
- [22] Y. Tsuda, Y. Morimoto, and S. Takeuchi, “Monodisperse cell-encapsulating peptide microgel beads for 3D cell culture,” *Langmuir* 2010, **26**, 2645–2649.
- [23] G. M. Whitesides, “The origins and the future of microfluidics,” *Nature* 2006, **442**, 368–373.
- [24] D. T. Chiu, A. J. deMello, D. D. Carlo, P. S. Doyle, C. Hansen, R. M. Maceiczky, R. C.R. Wootton., “Small but perfectly formed? successes, challenges, and opportunities for microfluidics in the chemical and biological sciences,” *Chem* 2017, **2**, 201–223.
- [25] D. Liu, H. Zhang, F. Fontana, J. T. Hirvonen, and H. A. Santos, “Current developments and applications of microfluidic technology toward clinical translation of nanomedicines,” *Adv. Drug Deliv. Rev.*, 2018, **128**, 54-83.
- [26] A. S. Utada, E. Lorraineau, D. R. Link, P. D. Kaplan, H. A. Stone, and D. A. Weitz, “Monodisperse double

- emulsions generated from a microcapillary device,” *Science* 2005, **308**, 537–541.
- [27] G. Li, M. Parmar, and D. W. Lee, “An oxidized liquid metal-based microfluidic platform for tunable electronic device applications,” *Lab Chip* 2015, **15**, 766–775.
- [28] K. F. Jensen, “Silicon-based microchemical systems: characteristics and applications,” *MRS Bull.* 2006, **31**, 101–107.
- [29] A. Alrifaiy, O. A. Lindahl, and K. Ramser, “Polymer-based microfluidic devices for pharmacy, biology and tissue engineering,” *Polymers (Basel)*.2012, **4**, 1349–1398.
- [30] A. K. Au, W. Huynh, L. F. Horowitz, and A. Folch, “3D-printed microfluidics,” *Angew. Chemie - Int. Ed.* 2016, **55**, 3862–3881.
- [31] D. Liu, H. Zhang, F. Fontana, J. T. Hirvonen, and H. A. Santos, “Microfluidic-assisted fabrication of carriers for controlled drug delivery,” *Lab Chip* 2017, **17**, 1856–1883.
- [32] D. J. Collins, A. Neild, A. deMello, A. Q. Liu, and Y. Ai, “The Poisson distribution and beyond: Methods for microfluidic droplet production and single cell encapsulation,” *Lab Chip* 2015, **15**, 3439–3459.
- [33] W. Wang, R. Xie, X. J. Ju, T. Luo, L. Liu, D. A. Weitz, L. Y. Chu “Controllable microfluidic production of multicomponent multiple emulsions,” *Lab Chip* 2011, **11**, 1587–1592.
- [34] C. Kaewsaneha, P. Tangboriboonrat, D. Polpanich, M. Eissa, and A. Elaissari, “Janus colloidal particles: Preparation, properties, and biomedical applications,” *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2013, **5**, 1857–1869.
- [35] W. Wang, M. J. Zhang, and L. Y. Chu, “Functional polymeric microparticles engineered from controllable microfluidic emulsions,” *Acc. Chem. Res.* 2014, **47**, 373–384.
- [36] A. S. Yang, F. C. Chuang, C. K. Chen, M. H. Lee, S. W. Chen, T. L. Su, Y. C. Yang, “A high-performance micromixer using three-dimensional Tesla structures for bio-applications,” *Chem. Eng. J.*, 2015, **263**, 444–451.
- [37] A. D. Stroock, S. K. W. Dertinger, A. Ajdari, I. Mezić, H. A. Stone, and G. M. Whitesides, “Chaotic mixer for microchannels,” *Science* 2002, **295**, 647–651.
- [38] D. Velasco, E. Tumarkin, and E. Kumacheva, “Microfluidic encapsulation of cells in polymer microgels,” *Small* 2012, **8**, 1633–1642, 2012.
- [39] Y. Jiang, J. Chen, C. Deng, E. J. Suuronen, and Z. Zhong, “Click hydrogels, microgels and nanogels: Emerging platforms for drug delivery and tissue engineering,” *Biomaterials* 2014, **35**, 4969–4985.
- [40] S. R. Caliarì and J. A. Burdick, “A practical guide to hydrogels for cell culture,” *Nat. Methods* 2016, **13**, 405–414.
- [41] J. Thiele, Y. Ma, S. M. C. Bruekers, S. Ma, and W. T. S. Huck, “25th anniversary article: Designer hydrogels for cell cultures: A materials selection guide,” *Adv. Mater.* 2014, **26**, 125–148.
- [42] T. Rossow, P. S. Lienemann, and D. J. Mooney, “Cell microencapsulation by droplet microfluidic templating,” *Macromol. Chem. Phys.* 2017, **218**, 1–14.
- [43] S. Utech, R. Prodanovic, A. S. Mao, R. Ostafe, D. J. Mooney, and D. A. Weitz, “Microfluidic generation of monodisperse, structurally homogeneous alginate microgels for cell encapsulation and 3D cell culture,” *Adv. Healthc. Mater.* 2015, **4**, 1628–1633.
- [44] A. Murua, A. Portero, G. Orive, R. M. Hernández, M. de Castro, and J. L. Pedraz, “Cell microencapsulation technology: Towards clinical application,” *J. Control. Release* 2008, **132**, 76–83.
- [45] E. Tumarkin, L. Tzadu, E. Csaszar, M. Seo, H. Zhang, A. Lee, R. Peerani, K. Purpura, P. W. Zandstra, E. Kumacheva, “High-throughput combinatorial cell co-culture using microfluidics,” *Integr. Biol.* 2011, **3**, 653–662.
- [46] T. Ma, X. Gao, H. Dong, H. He, and X. Cao, “High-throughput generation of hyaluronic acid microgels via microfluidics-assisted enzymatic crosslinking and/or Diels–Alder click chemistry for cell encapsulation and delivery,” *Appl. Mater. Today* 2017, **9**, 49–59.
- [47] Y. T. Matsunaga, Y. Morimoto, and S. Takeuchi, “Molding cell beads for rapid construction of macroscopic 3D tissue architecture,” *Adv. Mater.* 2011, **23**, 90–94.
- [48] M. Chau, M. Abolhasani, H. Thérien-Aubin, Y. Li, Y. Wang, D. Velasco, E. Tumarkin, A. Ramachandran, and E. Kumacheva, “Microfluidic generation of composite biopolymer microgels with tunable compositions and mechanical properties,” *Biomacromolecules* 2014, **15**, 2419–2425.
- [49] X. Zhao, S. Liu, L. Yildirim, H. Zhao, R. Ding, H. Wang, W. Cui, D. Weitz, “Injectable stem cell-laden photocrosslinkable microspheres fabricated using microfluidics for rapid generation of osteogenic tissue constructs,” *Adv. Funct. Mater.* 2016, **26**, 2809–2819.
- [50] S. Sakai, S. Ito, H. Inagaki, K. Hirose, T. Matsuyama, M. Taya, K. Kawakami, “Cell-enclosing gelatin-based microcapsule production for tissue engineering using a microfluidic flow-focusing system,” *Biomicrofluidics* 2011, **5**, 13402.
- [51] H. Wang, H. Liu, H. Liu, W. Su, W. Chen, and J. Qin, “One-step generation of core–shell gelatin methacrylate (GelMA) microgels using a droplet



- microfluidic system,” *Adv. Mater. Technol.*, 2019, 1800632.
- [52] T. Rossow, S. Bayer, R. Albrecht, C. C. Tzschucke, and S. Seiffert, “Supramolecular hydrogel capsules based on PEG: A step toward degradable biomaterials with rational design,” *Macromol. Rapid Commun.* 2013, **34**, 1401–1407.
- [53] D. Steinhilber, T. Rossow, S. Wedepohl, F. Paulus, S. Seiffert, and R. Haag, “A microgel construction kit for bioorthogonal encapsulation and pH-controlled release of living cells,” *Angew. Chemie - Int. Ed.* 2013, **52**, 13538–13543.
- [54] T. Rossow, J. A. Heyman, A. J. Ehrlicher, A. Langhoff, D. A. Weitz, R. Haag, and S. Seiffert “Controlled synthesis of cell-laden microgels by radical-free gelation in droplet microfluidics,” *J. Am. Chem. Soc.* 2012, **134**, 4983–4989.
- [55] S. Hackelbusch, T. Rossow, D. Steinhilber, D. A. Weitz, and S. Seiffert, “Hybrid microgels with thermotunable elasticity for controllable cell confinement,” *Adv. Healthc. Mater.* 2015, **4**, 1841–1848.
- [56] S. Allazetta, T. C. Hausherr, and M. P. Lutolf, “Microfluidic synthesis of cell-type-specific artificial extracellular matrix hydrogels,” *Biomacromolecules* 2013, **14**, 1122–1131.
- [57] D. M. Headen, G. Aubry, H. Lu, and A. J. García, “Microfluidic-based generation of size-controlled, biofunctionalized synthetic polymer microgels for cell encapsulation,” *Adv. Mater.* 2014, **26**, 3003–3008.
- [58] S. Lück, R. Schubel, J. Rüb, D. Hahn, E. Mathieu, H. Zimmermann, D. Scharnweber, C. Werner, S. Pautot, R. Jordan, “Tailored and biodegradable poly(2-oxazoline) microbeads as 3D matrices for stem cell culture in regenerative therapies,” *Biomaterials* 2016, **79**, 1–14.
- [59] Y. Ma, M. P. Neubauer, J. Thiele, A. Fery, and W. T. S. Huck, “Artificial microniches for probing mesenchymal stem cell fate in 3D,” *Biomater. Sci.* 2014, **2**, 1661–1671.
- [60] R. Wieduwild, S. Krishnan, K. Chwalek, A. Boden, M. Nowak, D. Drechsel, C. Werner, Y. Zhang, “Noncovalent hydrogel beads as microcarriers for cell culture,” *Angew. Chemie - Int. Ed.* 2015, **54**, 3962–3966.
- [61] C. Siltanen, M. Yaghoobi, A. Haque, J. You, J. Lowen, M. Soleimani, A. Revzin, “Microfluidic fabrication of bioactive microgels for rapid formation and enhanced differentiation of stem cell spheroids,” *Acta Biomater.* 2016, **34**, 125–132.

# A backpropagation artificial neural network software program for data classification in civil engineering developed in .NET framework

Sử dụng phần mềm mạng nơ-ron thần kinh nhân tạo cho phân loại dữ liệu trong ngành Xây dựng được phát triển trên nền tảng .NET

Nhat Duc Hoang<sup>a,\*</sup>, Xuan Linh Tran<sup>a</sup>, Cong Hai Le<sup>b</sup>, Duy Tan Nguyen<sup>c</sup>  
Hoàng Nhật Đức, Trần Xuân Linh, Lê Công Hải, Nguyễn Duy Tân

<sup>a</sup>*Institute of Research and Development, Duy Tan University  
Viện Nghiên cứu Phát triển Công nghệ Cao, Đại học Duy Tân*

<sup>b</sup>*Hai Nam Construction and Investment LLC, Dong Hoi City, Quang Binh  
Công Ty TNHH Xây Dựng và Đầu Tư Hải Nam, Thành phố Đồng Hới, Quảng Bình*

<sup>c</sup>*Department of Resource and Environment, Rach Gia city, Kien Giang province  
Phòng Tài nguyên và Môi trường T.P. Rạch Giá, tỉnh Kiên Giang*

(Ngày nhận bài: 08/05/2019, ngày phản biện xong: 16/05/2019, ngày chấp nhận đăng: 04/06/2019)

---

## Abstract

This study aims at developing an Artificial Neural Network (ANN) software program used for data classification in civil engineering. The backpropagation algorithm with momentum and regularization is used to train the ANN. The software program has been developed in Visual C# .NET and tested with several datasets. Experimental results show that the software program is a capable tool for pattern recognition.

*Keywords:* Data Classification; Civil Engineering; Visual C#; Backpropagation.

## Tóm tắt

Nghiên cứu này nhằm phát triển chương trình phần mềm Mạng thần kinh nhân tạo (ANN) được sử dụng để phân loại dữ liệu trong ngành xây dựng. Thuật toán lan truyền ngược được sử dụng để huấn luyện ANN. Chương trình phần mềm đã được phát triển trong Visual C# .NET và được thử nghiệm với hai bộ dữ liệu. Kết quả thử nghiệm cho thấy chương trình phần mềm là một công cụ tốt cho nhiệm vụ phân loại dữ liệu.

*Từ khóa:* Phân loại dữ liệu, Xây dựng; Ngôn ngữ C #; Lan truyền ngược.

---

## 1. Introduction

In the fields of machine learning and statistics, pattern classification is the problem of assigning a new observation to one of existing class labels. A data classification model is trained on the basis of a training data set containing observations with known categories. If there are two existing class labels, the problem is known as binary classification.

With more than 2 labels, the problems are generally described as multi-class pattern classifications. Both binary and multi-class pattern classifications are widely observed in civil engineering and in other fields of study [1 - 8]. Examples of pattern recognition in civil engineering are assigning a given vector of input features to different types of pavement cracks [9], different behaviours of steel

beam web panels subjected to concentrated loads [10], soil liquefaction [4] etc.

Among machine learning algorithms, ANN is particularly highly useful for pattern recognition. Essentially, ANN is a sophisticated network of individual learning units called neurons. By combining the information represented as connecting weights, the overall ANN model is able to generalize complicated relationships between the input features and output data of class labels. It is because ANN possesses the capability of a universal function approximator [11]. Moreover, the training algorithm of ANN can be accomplished in an online manner; this means that the ANN model can be updated gradually and ANN can be a very effective model to handle large-scale and multivariate data sets.

Although there are more advanced methods of ANN training, the conventional method of gradient descent with backpropagation is still an effective way to establish an ANN model [12]. Backpropagation is capable to help ANN models to be trained quickly with acceptable accuracy in many applications [13]. Therefore, ANN models trained gradient descent with backpropagation can be a useful tool for both educational and practical purposes. Moreover, due to a limiting access to open software packages for implementing ANN based multi-class recognition, this study aims at developing an Artificial Neural Network (ANN) software program used for multi-class data classification. The backpropagation algorithm with momentum and regularization is used to train the ANN. The software program has been developed in Visual C# .NET and verified by two datasets. The rest of the paper is organized as follows: the second section briefly reviews the formulation of an ANN model; two application cases of the newly developed program are demonstrated in the third section; concluding remarks of this paper are stated in the final section.

## 2. Backpropagation artificial neural network for data classification

Backpropagation Artificial Neural Network (BPANN) is a machine learning based classification method inspired from biological neural networks. An ANN model simulates the knowledge acquisition and inference processes of the human brain [14]. Based on previous works [6,15,16], BPANN is shown to be highly effective in coping with complex nonlinear data modeling problems.

A BPANN typically consists of the input, hidden, and output layers [17]. The hidden layers contain a set of artificial neurons; the interconnected artificial neurons have a crucial role in identifying the structure in the data to compute the class labels of each data instance in the output layer. Using a BPANN model, data classification tasks boil down to establishing a discrimination function  $f: X \in R^D \rightarrow Y \in R^O$  where  $D$  is the number of input pattern and  $O$  denotes the number of class labels [12]. A BPANN model used for pattern classification is described as follows [18]:

$$f(X) = b_2 + W_2 \times (f_A(b_1 + W_1 \times X)) \quad (1)$$

where  $W_1$  and  $W_2$  are weight matrices of the hidden layer and the output layer, respectively;  $N$  is the number of artificial neurons in the hidden layer;  $b_1 = [b_{11}, b_{12}, \dots, b_{1N}]$  and  $b_2$  denotes a bias vector of the hidden layer and of the output layer, respectively.  $f_A$  denotes an activation function (e.g. log-sigmoid function).

It is noted that model parameters of BPANN, stored  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $b_1$ , and  $b_2$ , are adapted via the backpropagation process [19, 17]. There are three commonly employed styles for training a BPANN model: the online, the batch, and the mini-batch [20]. The first style updates the connection weights when they encounter a single training example. The second style updates all the connection weights at once with all collected training records. The mini-batch method splits

the whole training data into small batches that are employed to compute the ANN model error and update its weights accordingly. The online update can help to construct a model with high accuracy; however, this method can be slow to converge. In this study, we aim at developing ANN models to solve small and medium sized datasets; hence, we utilize the online style. Moreover, the backpropagation with momentum and regularization is implemented to adapt network weights. More details of the training algorithms are provided in the previous work of Kim [21], Hoang, Tien Bui [22], and Tien Bui et al. [23].

### 3. Software program applications

The software program has been developed in Visual C# .NET Framework 4.6.2. The graphical user interface of the software program is shown in Fig. 1. The software implementation is divided into four modules of data loading,

ANN model configuration, model training, and model testing. In the first module (see Fig. 2), the datasets of training input, training output, testing input, and testing output are loaded. In the next module, an ANN model configuration is specified by selecting the number of class label, the number of neurons in its hidden layer, the number of training epochs, the learning rate, the momentum coefficient, and the regularization coefficient.

The regularization coefficient is used to diminish overfitting phenomenon [21]. The number of neurons can be roughly selected to be  $2D/3 + N_o$  where  $D$  is the number of input features and  $N_o$  is the number of class labels. After the training and prediction phases of an ANN model are accomplished, the user can view the model parameters in the form of weight matrices and the detailed predictions of class labels for all data samples (see Fig. 3).

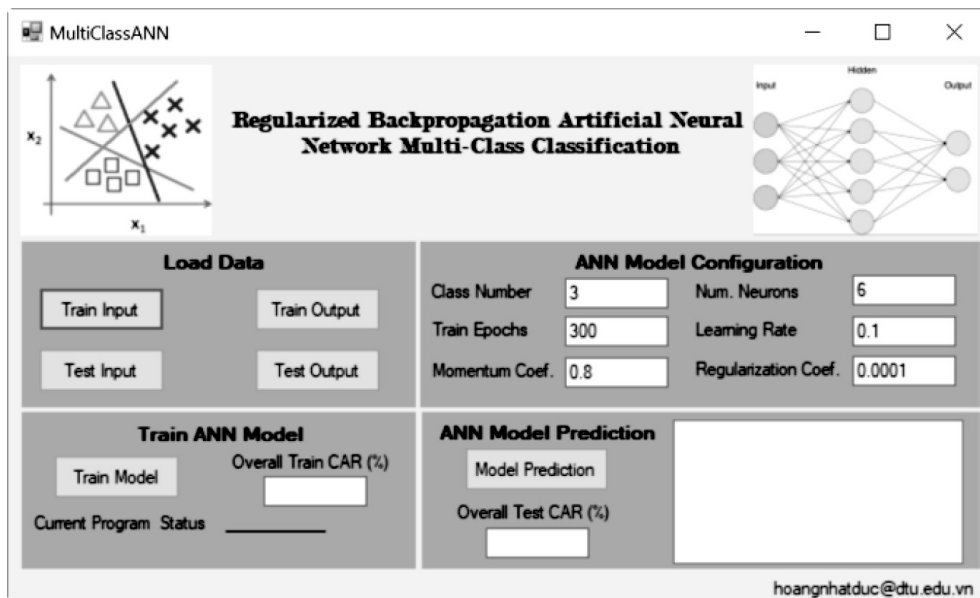


Fig. 1. Graphical user interface of the software program

In addition, before being separated into the datasets of training input, training output, testing input, and testing output, the original dataset should be normalized via Z-score or standard score data normalization method. The standardized  $x_N$  of

a raw data  $x$  is calculated as follows:

$$x_N = \frac{x - M_x}{S_x} \tag{2}$$

where  $M_x$  and  $S_x$  denote the mean and standard deviation of  $x$ .



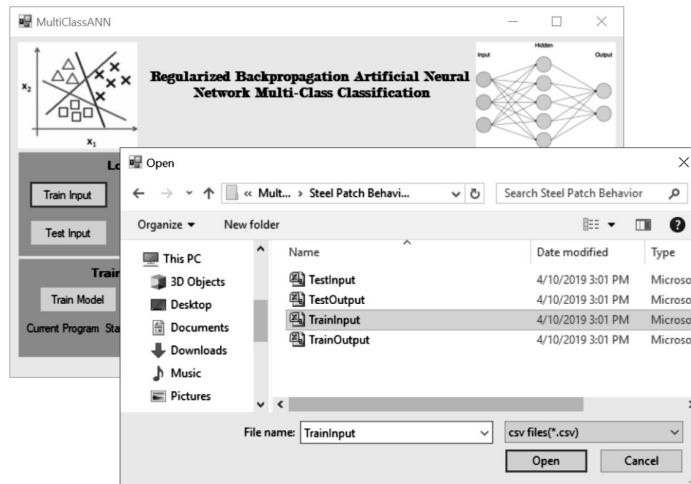


Fig. 2. Data separation

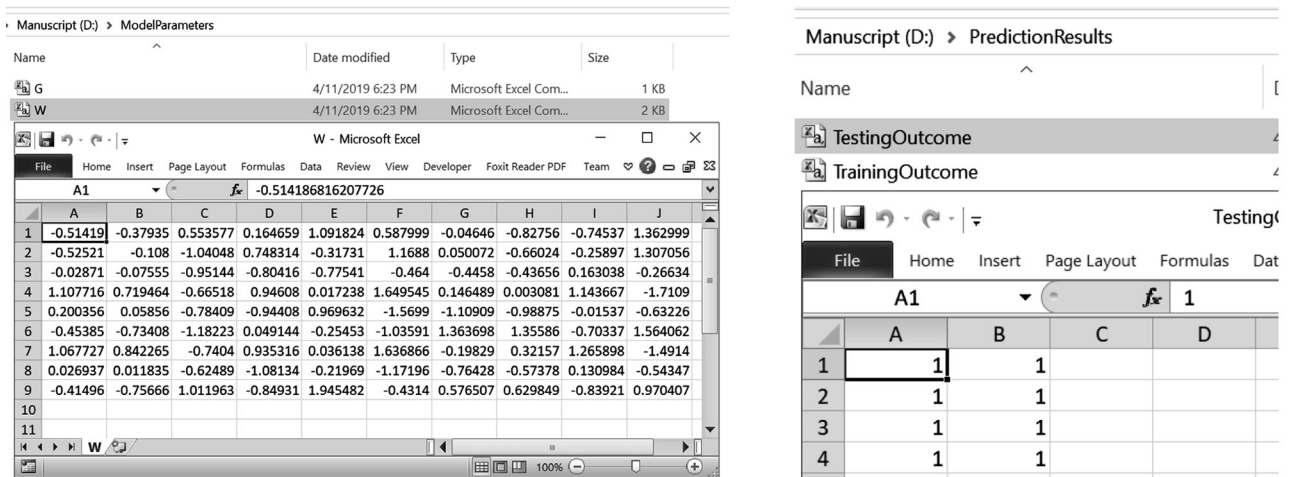


Fig. 3. Training and testing results: (a) Parameters of the ANN model, (b) Actual and predicted class labels

After being developed, the ANN software program is verified with two case studies in civil engineering which are prediction of steel beams patch load behavior and groutability prediction. The first application involves 252 data instances reported in Fonseca et al. [10]. The second application utilizes the dataset collected by Liao et al. [24]; this dataset includes 240 data samples. The ANN prediction performances in these two applications are reported in Fig. 4 and Fig. 5 which show the prediction accuracy for each individual class. It is observable that the developed program has attained good classification accuracy rate (CAR) results: CAR

= 96.15% for the first application and CAR = 92% for the second application.

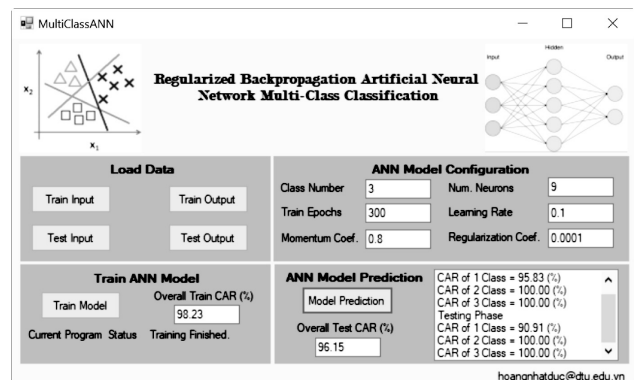


Fig. 4. Prediction performance of the first application (steel beams patch load behavior)

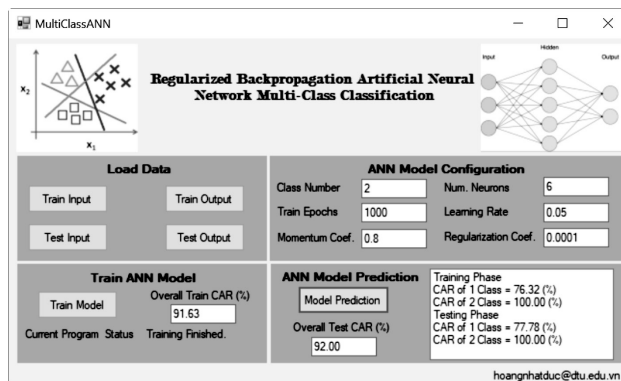


Fig. 5. Prediction performance of the second application (groutability prediction)

#### 4. Conclusion

Pattern classification analysis is an important task in civil engineering. This study develops a software program based on BPANN machine learning method for data classification. The applicability of the software program has been demonstrated via two case studies of steel beams patch load behavior and groutability estimation. Good classification results demonstrate that the software program can be a useful tool for researchers and engineers for modeling other problems in the field of civil engineering.

#### Supplementary materials

The compiled program and the experimental datasets can be accessed via:

<https://github.com/NhatDucHoang/MultiClassBPANN>

#### References

- [1] Tien Bui D, Hoang N-D, Samui P (2019) Spatial pattern analysis and prediction of forest fire using new machine learning approach of Multivariate Adaptive Regression Splines and Differential Flower Pollination optimization: A case study at Lao Cai province (Viet Nam). *Journal of Environmental Management* 237:476-487. doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.108
- [2] Tran T-H, Hoang N-D (2018) Predicting algal appearance on mortar surface with ensembles of adaptive neuro fuzzy models: a comparative study of ensemble strategies. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*. doi:10.1007/s13042-018-0846-1
- [3] Hoang N-D, Nguyen Q-L, Bui DT (2018) Image Processing-Based Classification of Asphalt Pavement Cracks Using Support Vector Machine Optimized by Artificial Bee Colony. *Journal of Computing in Civil Engineering* 32 (5):04018037. doi:doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000781
- [4] Zhang W, Goh ATC (2018) Chapter 3 - Assessment of Soil Liquefaction Based on Capacity Energy Concept and Back-Propagation Neural Networks. In: Samui P, Kim D, Ghosh C (eds) *Integrating Disaster Science and Management*. Elsevier, pp 41-51. doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812056-9.00003-8
- [5] Tang XW, Bai X, Hu JL, Qiu JN (2018) Assessment of liquefaction-induced hazards using Bayesian networks based on standard penetration test data. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 18 (5):1451-1468. doi:10.5194/nhess-18-1451-2018
- [6] Hanna AM, Ural D, Saygili G (2007) Neural network model for liquefaction potential in soil deposits using Turkey and Taiwan earthquake data. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 27 (6):521-540. doi:https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2006.11.001
- [7] Deng S, Wang X, Zhu Y, Lv F, Wang J (2019) Hybrid Grey Wolf Optimization Algorithm Based Support Vector Machine for Groutability Prediction of Fractured Rock Mass. *Journal of Computing in Civil Engineering* 33 (2):04018065. doi:doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000814
- [8] Tekin E, Akbas SO (2017) Predicting groutability of granular soils using adaptive neuro-fuzzy inference system. *Neural Computing and Applications*. doi:10.1007/s00521-017-3140-3
- [9] Hoang N-D, Nguyen Q-L (2018) Fast Local Laplacian-Based Steerable and Sobel Filters Integrated with Adaptive Boosting Classification Tree for Automatic Recognition of Asphalt Pavement Cracks. *Advances in Civil Engineering* 2018:17. doi:10.1155/2018/5989246
- [10] Fonseca ET, Vellasco PCGdS, Vellasco MMBR, de Andrade SAL (2008) A neuro-fuzzy evaluation of steel beams patch load behaviour. *Advances in Engineering Software* 39 (7):558-572. doi:https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2007.07.005
- [11] Ojha VK, Abraham A, Snášel V (2017) Metaheuristic design of feedforward neural networks: A review of two decades of research. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 60 (Supplement C):97-116. doi:https://doi.org/10.1016/j.engappai.2017.01.013
- [12] Bishop CM (2011) *Pattern Recognition and Machine Learning* (Information Science and Statistics) Springer (April 6, 2011), ISBN-10: 0387310738,
- [13] Sexton RS, Gupta JND (2000) Comparative evaluation of genetic algorithm and backpropagation for training neural networks. *Information Sciences*

- 129 (1-4):45-59. doi:10.1016/s0020-0255(00)00068-2
- [14] Tran T-H, Hoang N-D (2016) Predicting Colonization Growth of Algae on Mortar Surface with Artificial Neural Network. *J Comput Civ Eng* 30 (6):04016030. doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.000059
- [15] Montavon G, Orr G, Müller K-R (2012) *Neural Networks: Tricks of the Trade*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-35289-8
- [16] Hoang N-D, Tien Bui D (2017) Chapter 18 - Slope Stability Evaluation Using Radial Basis Function Neural Network, Least Squares Support Vector Machines, and Extreme Learning Machine. In: *Handbook of Neural Computation*. Academic Press, pp 333-344. doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811318-9.00018-1
- [17] Hagan MT, Demuth HB, Beale MH, Jesús OD (2014) *Neural Network Design (2nd Edition)*. Martin Hagan; 2 edition (September 1, 2014), ISBN-10: 0971732116,
- [18] Beale MH, Hagan MT, Demuth HB (2012) *Neural Network Toolbox User's Guide*. The MathWorks, Inc
- [19] Beale MH, Hagan MT, Demuth HB (2018) *Neural network toolbox user's guide*, [https://www.mathworks.com/help/pdf\\_doc/nnet/nnet\\_ug.pdf](https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/nnet/nnet_ug.pdf) (Last accessed 04/28/2018). The MathWorks, Inc,
- [20] LeCun YA, Bottou L, Orr GB, Müller K-R (2002) *Efficient BackProp*. In: Grégoire Montavon GBO, Klaus-Robert Müller (ed) *Lecture Notes in Computer Science vol 7700 2012 (Neural Networks Tricks of the Trade)*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Germany,
- [21] Kim P (2017) *MatLab Deep Learning with Machine Learning, Neural Networks and Artificial Intelligence*. Apress,
- [22] Hoang N-D, Tien Bui D GIS-Based Landslide Spatial Modeling Using Batch-Training Back-propagation Artificial Neural Network: A Study of Model Parameters. In, Cham, 2018. *Advances and Applications in Geospatial Technology and Earth Resources*. Springer International Publishing, pp 239-254
- [23] Tien Bui D, Le HV, Hoang N-D (2018) GIS-based spatial prediction of tropical forest fire danger using a new hybrid machine learning method. *Ecological Informatics* 48:104-116. doi:10.1016/j.ecoinf.2018.08.008
- [24] Liao K-W, Fan J-C, Huang C-L (2011) An artificial neural network for groutability prediction of permeation grouting with microfine cement grouts. *Computers and Geotechnics* 38 (8):978-986. doi:https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2011.07.008

# Giải trình tư pháp - cần quy định là nhiệm vụ của cơ quan Tòa án

Judicial explanations - Need for regulation is the duty of the Court

Nguyễn Văn Phụng<sup>a</sup>, Hoàng Thị Quyên<sup>a</sup>, Phạm Thị Thanh Tâm<sup>a</sup>  
Van Phung Nguyen, Thi Quyen Hoang, Thanh Tam Pham Thi

<sup>a</sup>*Khoa Luật, Đại học Duy Tân, 03 Quang Trung, Đà Nẵng, Việt Nam*  
*School of Law, Duy Tan University, 03 Quang Trung, Danang, Vietnam*

(Ngày nhận bài: 19/04/2019, ngày phản biện xong: 20/05/2019, ngày chấp nhận đăng: 01/06/2019)

## Tóm tắt

Bài viết tập trung nghiên cứu những vấn đề lý luận về trách nhiệm giải trình tư pháp của Tòa án và thực trạng áp dụng trách nhiệm giải trình tư pháp của Tòa án hiện nay tại Việt Nam. Giải trình tư pháp của Tòa án là một vấn đề khá mới trong thuật ngữ pháp lý tại Việt Nam, tuy nhiên trên thực tế trách nhiệm giải trình tư pháp của Tòa án đã và đang diễn ra trong hoạt động áp dụng pháp luật Việt Nam. Từ đó, việc nghiên cứu trách nhiệm giải trình tư pháp của Tòa án luôn là vấn đề cấp thiết, đưa ra những giải pháp nhằm nâng cao trách nhiệm giải trình tư pháp của Tòa án trong giai đoạn hiện nay.

*Từ khóa:* Giải thích; thông báo; trách nhiệm giải trình; Tòa án

## Abstract

The paper focuses on researching theoretical issues regarding judicial accountability of the Court and current status of applying judicial accountability of the Court in Vietnam nowadays. The judicial explanation of the Court is a fairly new issue in legal terminologies in Vietnam, in practice, however, the judicial accountability of the Court has been going on in the implement of law. Therefore, the concerning judicial accountability of the Court is consistently an urgent issue. As a result, the solutions to enhancing judicial accountability of the Court within the present period are given.

*Keywords:* Explain; notification; accountability; court

## 1. Quan điểm về trách nhiệm giải trình của Tòa án

Theo định nghĩa của nhóm chuyên gia World Bank: thuật ngữ “trách nhiệm giải trình” hàm ý rằng các thông tin chính xác và dễ tiếp cận là cơ sở để đánh giá, xem một công việc có được thực hiện tốt hay không. Trách nhiệm giải trình cũng gồm có các cơ chế khen thưởng, xử phạt đúng đắn để khuyến khích hiệu quả làm việc<sup>(1)</sup>. Trách

nhiệm giải trình xuất hiện trong mối quan hệ giữa các bên, được coi là có trách nhiệm giải trình khi một bên chịu thông báo cho bên kia biết về các hoạt động của mình; lý giải về các hành động đó; chịu sự trừng phạt của bên kia trong trường hợp thực thi sai điều đã cam kết.

Như vậy, trách nhiệm giải trình được hiểu dưới góc độ: thông báo, biện minh hay lý giải và chịu trách nhiệm pháp lý. Trong một nhà nước dân chủ, khi nhân dân giao quyền lực của mình cho các cơ quan nhà nước thì người dân cũng phải biết trách

<sup>(1)</sup> World Bank, Báo cáo phát triển Việt Nam 2010, “Các thể chế hiện đại”, tr.04



nhiệm, nhiệm vụ, việc làm của Nhà nước đến đâu và Nhà nước phải có nghĩa vụ chứng minh những nội dung trên cho nhân dân được biết.

Ở Việt Nam, trách nhiệm giải trình dù đã ghi nhận từ lâu và được xem là một phương châm trong việc phòng chống tham nhũng. Tuy nhiên, các văn bản pháp luật quy định về trách nhiệm giải trình lại không có sự đồng bộ mà chỉ rải rác tập trung ở một số văn bản như: Luật phòng chống tham nhũng năm 2018 quy định: “*Cơ quan, tổ chức, đơn vị, cá nhân có trách nhiệm giải trình về quyết định, hành vi của mình trong việc thực hiện nhiệm vụ, công vụ được giao khi có yêu cầu của cơ quan, tổ chức, đơn vị, cá nhân bị tác động trực tiếp bởi quyết định, hành vi đó. Người thực hiện trách nhiệm giải trình là người đứng đầu cơ quan, tổ chức, đơn vị hoặc người được phân công, người được ủy quyền hợp pháp để thực hiện trách nhiệm giải trình*”<sup>(2)</sup>; Luật Thanh tra 2010 cũng quy định: “*giải trình về những vấn đề có liên quan đến nội dung thanh tra*”<sup>(3)</sup>; Luật Khiếu nại 2011 có quy định nghĩa vụ của người bị khiếu nại là: “*giải trình về tính hợp pháp, đúng đắn của quyết định hành chính, hành vi hành chính bị khiếu nại khi người giải quyết khiếu nại hoặc cơ quan, đơn vị kiểm tra, xác minh yêu cầu*”<sup>(4)</sup>.

Hiện nay trong hoạt động của Tòa án chưa có một văn bản quy phạm pháp luật nào quy định về trách nhiệm giải trình của Tòa án trong hoạt động tư pháp. Tuy nhiên, hiện tại đang có các quan điểm liên quan đến trách nhiệm giải trình của Tòa án như sau:

**Quan điểm thứ nhất: Tòa án không có trách nhiệm giải trình.**

Quan điểm này xuất phát từ nguyên tắc xét xử độc lập của Tòa án. Nguyên tắc này đều ghi nhận trong mỗi quốc gia, tuy nhiên để đảm bảo tính độc lập của Tòa án thì bản thân Tòa án phải có sự phân quyền nhất định và không chịu ràng buộc

trách nhiệm với bất kỳ cơ quan quyền lực nào. Những quốc gia theo hình thức chính thể cộng hòa đại nghị hay cộng hòa tổng thống, sự tranh giành quyền lực chỉ nằm ở hai nhánh: lập pháp và hành pháp, sự độc lập của Tòa án luôn luôn được đề cao và chú trọng. Chính vì sự độc lập trong quá trình hoạt động nên Tòa án không chịu bất kỳ sự giám sát hay giải trình nào, trong những trường hợp phán quyết của Tòa án có dấu hiệu oan sai, vi phạm tố tụng thì ngay tức khắc các bên có quyền được thực hiện các quyền kháng cáo, kháng nghị để được xem xét, giải quyết ở cấp tòa cao hơn.

**Quan điểm thứ hai: Tòa án phải có trách nhiệm giải trình.**

Quan điểm này xuất phát từ quyền lực của nhân dân, trong một nhà nước dân chủ người dân thường ủy quyền (đại diện) quyền lực của mình cho một cơ quan nhất định (Quốc hội hay Nghị Viện) những cơ quan đại diện phải có trách nhiệm trước nhân dân với những việc làm cụ thể của các cơ quan nhà nước khác trong đó có cơ quan tư pháp (Tòa án). Tòa án vẫn có chắc năng xét xử, thực hiện quyền tư pháp nhưng trong hoạt động của mình, Tòa án phải chịu sự giám sát nhất định của những cơ quan khác, kết quả những quyết định của Tòa án phải được các cơ quan đại diện cho nhân dân được biết và có quyền chất vấn những vấn đề liên quan đến hoạt động của Tòa án thông qua những phiên điều trần hoặc các phiên họp. Tuy nhiên, đối với sự ràng buộc trách nhiệm giải trình đối với những cơ quan quyền lực của nhân dân sẽ dẫn đến tình trạng sự lệ thuộc của Tòa án là quá lớn, tính độc lập của Tòa án là không nhiều.

**Quan điểm thứ ba: Tòa án cần có trách nhiệm giải trình nhưng phải đảm bảo tính độc lập của Tòa án.**

Quan điểm này cho rằng, Tòa án bắt buộc phải có trách nhiệm giải trình nhưng cũng phải đảm bảo tính độc lập của Tòa án. Nghĩa là, khi Tòa án thực hiện chức năng xét xử của mình cần áp dụng nguyên tắc độc lập trong xét xử, mọi phán quyết của Tòa án đều dựa trên Hiến pháp và pháp luật,

<sup>(2)</sup> Xem thêm Điều 15 Luật phòng chống tham nhũng 2018

<sup>(3)</sup> Xem thêm Điều 57 Luật thanh tra năm 2010

<sup>(4)</sup> Xem thêm Điều 13 Luật khiếu nại 2011

mọi cơ quan tổ chức khác không được can thiệp vào phán quyết của Tòa án. Điều này là hoàn toàn phù hợp với các nguyên tắc xét xử của Tòa án, khi đưa ra quyết định của mình Tòa án phải dựa vào sự thật khách quan của vụ án thông qua tranh tụng tại phiên tòa, mọi chủ thể khác không được can thiệp vào quá trình xét xử của Tòa án.

## 2. Nội dung trách nhiệm giải trình của Tòa án

Trong hoạt động của Tòa án Việt Nam hiện nay chưa có một khái niệm chính thống về trách nhiệm giải trình của Tòa án. Tuy nhiên, xét về bản chất của giải trình, trong quá trình hoạt động của Tòa án đã mang những yếu tố của trách nhiệm giải trình. Về bản chất, trách nhiệm giải trình được tiến hành bởi 3 khía cạnh: thông báo; giải thích (trình bày) và chịu hậu quả pháp lý với những hành vi của mình. Do đó, trong quá trình thực hiện hoạt động của mình, Tòa án có trách nhiệm giải trình ở các nội dung như sau:

### ***Thứ nhất: trách nhiệm thông báo.***

Trách nhiệm thông báo của Tòa án là một hình thức giải trình cơ bản nhất và đơn giản nhất. Thông thường, trách nhiệm thông báo của Tòa án được tiến hành thông qua con đường tố tụng. Trong tố tụng dân sự, mọi vụ việc của đương sự khi cần có sự can thiệp của Tòa án đều được Tòa án ra các thông báo cụ thể như: thông báo nộp tiền tạm ứng án phí, thông báo thụ lý vụ án, thông báo về cung cấp chứng cứ và hòa giải, thông báo về việc đưa vụ án ra xét xử, thông báo, niêm yết bản án/ quyết định của Tòa án... Đối với vụ án về hình sự, trong trách nhiệm của mình, Tòa án phải giải thích rõ các quyền của bị cáo trong phiên tòa, thông báo triệu tập phiên tòa của những người có liên quan, giao gửi, bản án cho bị cáo, bị hại, người bào chữa<sup>(5)</sup>. Mọi hành vi cố tình hoặc vô tình không cung cấp thông tin đều được xem là vi phạm tố tụng nguyên trọng của Tòa án. Trong một số trường hợp nếu vi phạm tố tụng đó gây ra hậu quả không thể khắc phục được thì phán quyết của Tòa án có thể bị hủy qua cấp xét xử cao hơn.

<sup>(5)</sup> Xem thêm Điều 262 Bộ luật tố tụng hình sự năm 2015

Hơn nữa, Tòa án không chỉ có trách nhiệm thông báo những nội dung trên có đương sự, trong quá trình hoạt động của mình Tòa án còn có trách nhiệm thông báo cho các cơ quan có liên quan. Ngày 25 tháng 6 năm 2018, Bộ Công an phối hợp với Viện kiểm sát nhân dân tối cao và Tòa án nhân dân tối cao đã ban hành Thông tư liên tịch số 05/2018/TTLT-BCA-VKSNDTC-TANDTC về việc phối hợp thông báo, gửi, cung cấp thông tin, tài liệu liên quan đến người phạm tội. Theo đó, các tài liệu, thông tin Tòa án phải có trách nhiệm gửi thông báo, gửi cho cơ quan hồ sơ nghiệp vụ của Bộ Công an. Bên cạnh đó, mọi quyết định/ bản án của Tòa án phải được gửi cho Viện kiểm sát và cơ quan thi hành án.

### ***Thứ hai: trách nhiệm lý giải, giải thích.***

Các phán quyết của Tòa án có hiệu lực phải được thi hành án. Tuy nhiên, trong quá trình thi hành án không tránh khỏi các trường hợp có những điểm chưa rõ trong bản án dẫn đến việc thi hành án rất khó khăn. Trong trường hợp đó, Tòa án có trách nhiệm trả lời những vấn đề được nêu trong văn bản yêu cầu của cơ quan thi hành án. Đó là nội dung được quy định trong Thông tư liên tịch số 11/2016/TTLT-BTP-TANDTCVKSNDTC ngày 1/8/2016, có hiệu lực từ ngày 30/9/2016, quy định một số vấn đề về thủ tục thi hành án dân sự và phối hợp liên ngành trong thi hành án dân sự. Theo đó, Thông tư quy định trường hợp phát hiện bản án, quyết định của Tòa án có những điểm chưa rõ gây khó khăn cho việc thi hành án hoặc phát hiện lỗi chính tả, số liệu có nhầm lẫn hoặc tính toán sai thì Thủ trưởng cơ quan thi hành án dân sự có văn bản yêu cầu Tòa án đã ra bản án, quyết định giải thích những điểm chưa rõ, sửa chữa lỗi chính tả hoặc số liệu nhầm lẫn.

Bên cạnh đó, trong lĩnh vực Tố tụng hành chính, việc giải thích bản án của Tòa án được quy định cụ thể tại Điều 242 Luật Tố tụng hành chính năm 2015. Theo đó, người được thi hành án, người phải thi hành án, người có quyền lợi, nghĩa vụ liên quan đến việc thi hành bản án,

quyết định của Tòa án và cơ quan thi hành án dân sự có quyền yêu cầu bằng văn bản với Tòa án đã ra bản án, quyết định giải thích những điểm chưa rõ trong bản án, quyết định để thi hành. Khi có yêu cầu về việc giải thích bản án, Thẩm phán là Chủ tọa phiên tòa, phiên họp có trách nhiệm phải giải thích bản án, quyết định đó. Trong trường hợp họ không còn là Thẩm phán của Tòa án thì Chánh án Tòa án đó có trách nhiệm giải thích bản án, quyết định của Tòa án.

Như vậy, có thể thấy rằng việc giải thích bản án có ý nghĩa vô cùng to lớn trong thực tiễn, đòi hỏi phải được giải thích từ người có kiến thức sâu rộng về pháp luật, về quy trình tố tụng và phải là người trực tiếp ra phán quyết, cụ thể ở đây là Thẩm phán ra quyết định hoặc chủ tọa phiên tòa. Vì lẽ đó, khi giải thích bản án, quyết định của Tòa án phải căn cứ vào biên bản phiên tòa và biên bản nghị án là cơ sở ra quyết định mới đảm bảo được tinh thần của phán quyết.

Hơn nữa, việc giải thích quyết định/bản án của Tòa án không chỉ áp dụng đối với cơ quan thi hành án. Các thông tin của Tòa án cần được minh bạch, do đó với tư cách là cơ quan đại diện cho nhân dân cao nhất, trong các kì họp Quốc hội có quyền chất vấn người đứng đầu Tòa án các nội dung, vấn đề đang tồn đọng trong Tòa án như: số lượng án oan sai, vi phạm tố tụng, nâng cao chất lượng công tác xét xử của Tòa án....với tư cách là người đại diện cao nhất của Tòa án, Chánh án Tòa án nhân dân tối cao phải có trách nhiệm giải trình, giải thích, lý giải cho những hoạt động của Tòa án. Bên cạnh đó, các Ủy ban của Quốc hội với chức năng nhiệm vụ của mình có quyền tổ chức các phiên giải trình đối với những cơ quan nhà nước quản lý đối với lĩnh vực đó. Ví dụ, Ủy ban Tư pháp của Quốc hội đã tiến hành phiên giải trình đối với Bộ Công an, Viện kiểm sát nhân dân tối cao và Tòa án nhân dân tối cao về “*tình hình thực hiện pháp luật về phòng, chống mua bán người trong giai đoạn 2012 - 2017*”<sup>(6)</sup>. Như

vậy, thông qua các phiên giải trình thì Chánh án Tòa án nhân dân tối cao phải tiến hành giải thích, lý giải hoặc biện minh cho hoạt động của Tòa án. Đây cũng là một trong những vấn đề khi tiến hành xây dựng nhà nước pháp quyền.

### ***Thứ ba: hậu quả pháp lý đối với các phán quyết của Tòa án.***

Với chức năng là cơ quan xét xử của nhà nước, những người được nhân dân tin tưởng, giao phó cho sự công bằng, khách quan và mọi phán quyết của Tòa án là chuẩn mực của xã hội. Các Thẩm phán trong Tòa án sẽ là người cầm cân nảy mực khi thực hiện chức năng xét xử. Với ý nghĩa đó, mọi phán quyết của Thẩm phán cần phải được tôn trọng và thực thi khi có hiệu lực pháp lý. Tuy nhiên, trong trường hợp phán quyết của Thẩm phán do lỗi vô tình hoặc cố tình dẫn đến bản án bị hủy, sửa thì Thẩm phán khi đưa ra phán quyết đó phải có trách nhiệm giải trình và gánh chịu hậu quả pháp lý đối với việc đưa ra phán quyết.

Trong công tác báo cáo chất lượng xét xử, các nguyên nhân dẫn đến các bản án bị sửa, hủy bỏ là do lỗi vô ý và cố ý của Thẩm phán khi xét xử. Thẩm phán cố ý ra bản án hoặc quyết định trái pháp luật là trường hợp biết sai mà cứ làm vì những động cơ, mục đích khác nhau. Về nguyên tắc, hành vi ra bản án hoặc quyết định trái pháp luật là hành vi phạm tội<sup>(7)</sup>. Tuy nhiên, không phải trường hợp nào Thẩm phán cố ý ra bản án hoặc quyết định, mà bản án hoặc quyết định đó bị hủy hoặc bị sửa đều là hành vi phạm tội. Nếu cố ý ra bản án hoặc quyết định trái pháp luật nhưng vì nguyên nhân khách quan và chưa gây ra hậu quả nghiêm trọng thì có thể được xem xét loại trừ trách nhiệm hình sự. Trên thực tế, đã có những vụ án mà bị cáo là Thẩm phán do ra quyết định trái pháp luật mà phải gánh chịu trách nhiệm pháp lý đối với phán quyết của mình đưa ra<sup>(8)</sup>.

<sup>(7)</sup> Điều 370 Bộ luật hình sự 2015 (sửa đổi, bổ sung 2017) quy định về tội: Ra bản án trái pháp luật. Điều 371 Bộ luật hình sự 2015 (sửa đổi, bổ sung 2017) quy định về tội: Ra quyết định trái pháp luật

<sup>(8)</sup> Xem thêm: <https://news.zing.vn/ra-quyet-dinh-trai-luat-mot-pho-chanh-an-bi-khoi-to-post790133.html>

<sup>(6)</sup> <http://quochoi.vn/tintuc/pages/tin-hoat-dong-cua-quoc-hoi.aspx?ItemID=37003>



Dù trường hợp nào đi nữa, Thẩm phán khi ra một phán quyết thì phải chịu trách nhiệm với chính phán quyết đó, nếu là lỗi cố ý thì cần truy cứu trách nhiệm hình sự, còn nếu lỗi vô ý cần phải có những biện pháp trách nhiệm trong quy chế của Tòa án như: không bỏ nhiệm vụ tiếp theo, kỷ luật, khiển trách, đình chỉ công tác...

### 3. Một số giải pháp nâng cao trách nhiệm giải trình của Tòa án trong giai đoạn hiện nay

Trên thực tế, những nội dung giải trình của Tòa án đã có những bước phát triển to lớn, tuy nhiên vẫn xuất hiện những vụ án mà sự giải trình của người đứng đầu Tòa án chưa nhận được sự đồng tình của người dân<sup>(9)</sup>. Nhiều bản án bị sửa hoặc hủy, có những địa phương lên đến 100%<sup>(10)</sup>. Điều này làm cho niềm tin của nhân dân vào Tòa án ngày càng giảm đáng kể. Vì vậy, để nâng cao công tác giải trình của Tòa án, cần có một số giải pháp sau đây:

#### ***Thứ nhất: Đảm bảo các nguyên tắc tổ chức và hoạt động của Tòa án.***

Tòa án trong quá trình hoạt động của mình cần phải tuân thủ những nguyên tắc do Hiến pháp và pháp luật quy định. Khi xét xử phải có sự tham gia của Hội thẩm nhân dân; Thẩm phán, Hội thẩm nhân dân xét xử độc lập, tuân thủ theo pháp luật; nghiêm cấm mọi cơ quan tổ chức, cá nhân can thiệp vào xét xử của Hội thẩm, Thẩm phán; Tòa án phải xét xử công khai; nguyên tắc tranh tụng trong xét xử; chế độ xét xử sơ thẩm và phúc thẩm được đảm bảo và nguyên tắc tôn trọng quyền bào chữa của bị can, bị cáo, quyền bảo vệ lợi ích hợp pháp của đương sự. Khi các nguyên tắc nêu trên được đảm bảo nghĩa là Tòa án đã thực hiện tốt trách nhiệm giải trình.

Sự tham gia của Hội thẩm là một phần không thể thiếu trong quá trình xét xử, Hội thẩm nhân dân được hiện theo cơ chế bầu và cũng là sự giám sát của các tầng lớp nhân dân trong quá trình xét

xử. Khi nghị án, các Thẩm phán phải hỏi ý kiến của các Hội thẩm nhân dân trên cơ sở tranh tụng tại Tòa án, cũng như Thẩm phán phải lý giải, thuyết phục các Hội thẩm nhân dân khi đưa ra phán quyết cuối cùng. Hay xét xử công khai cũng là một hình thức giám sát của nhân dân, thông qua nguyên tắc xét xử công khai người dân có quyền theo dõi những diễn biến tại phiên tòa để từ đó có những nhận định riêng cho mình, Thẩm phán khi đưa ra phán quyết cũng phải đảm bảo tính giám sát xã hội, nghĩa là Thẩm phán phải chịu trách nhiệm (hậu quả) đối với phán quyết đó.

Khi Thẩm phán ban hành phán quyết lần đầu (sơ thẩm) với nguyên tắc đảm bảo 2 cấp xét xử, những người có liên quan trong vụ án có quyền kháng cáo đối với phán quyết của Thẩm phán. Thẩm phán đã ra bản án sơ thẩm phải có trách nhiệm, chứng minh những lập luận của mình tại phán quyết lần đầu là đúng để Tòa án cấp trên y án phán quyết đó. Trong trường hợp không thể chứng minh được, phán quyết đó có thể bị hủy, sửa đổi bởi Tòa án cấp trên và Thẩm phán ra phán quyết phải gánh chịu những hậu quả pháp lý đối với phán quyết đó.

#### ***Thứ hai: nâng cao công tác giám sát của cơ quan dân biểu.***

Hoàn thiện cơ chế giám sát của cơ quan dân cử đối với công tác xét xử. Một trong những nhiệm vụ Nghị quyết số 49NQ/TW đề ra là: “*Hoàn thiện cơ chế giám sát của các cơ quan dân cử và phát huy quyền làm chủ của nhân dân đối với cơ quan tư pháp*”. Vì vậy, cần đẩy mạnh việc hoàn thiện cơ chế giám sát của cơ quan dân cử đối với công tác xét xử. Qua đó, nhằm đảm bảo pháp chế xã hội chủ nghĩa, bảo đảm hoạt động Tòa án đúng các quy định pháp luật; Việc giám sát của cơ quan dân cử cần tập trung thực hiện theo hình thức giám sát theo chuyên đề, theo vấn đề liên quan đến công tác xét xử như chuyên đề án treo hay vấn đề tham nhũng... nhằm mục đích hỗ trợ và tạo điều kiện cho Tòa án thực hiện tốt các chức năng.

<sup>(9)</sup> <https://baomoi.com/vu-cua-goi-kho-giai-trinh-cua-toa-toi-cao-khong-on/c/27599318.epi>

<sup>(10)</sup> <https://baomoi.com/co-toa-an-co-den-100-an-bi-huy-sua/c/29348814.epi>



**Thứ ba: thay đổi về nhận thức về trách nhiệm giải trình.**

Cần nhận thức đúng bản chất cũng như thấy được ý nghĩa thực sự của việc thực hiện trách nhiệm giải trình của Tòa án. Đây là việc Tòa án cung cấp, giải thích, làm rõ các thông tin về thực hiện nhiệm vụ, quyền hạn được giao và trách nhiệm của mình trong việc thực hiện nhiệm vụ, quyền hạn đó. Trách nhiệm giải trình chính là một phương thức, một công cụ để Tòa án minh bạch hóa các phán quyết trong hoạt động của mình, qua đó góp phần tránh tình trạng án oan, án sai xảy ra. Thực tế hiện nay, trách nhiệm giải trình của Tòa án thông thường chỉ đặt ra khi có yêu cầu của các cơ quan, tổ chức, cá nhân có quyền và lợi ích hợp pháp bị tác động trực tiếp. Tuy nhiên, sâu xa hơn, trách nhiệm giải trình phải là yêu cầu bắt buộc, là thể hiện thái độ của Tòa án trong việc thực hiện các nhiệm vụ, quyền hạn của mình thể hiện rõ bản chất của Nhà nước ta là Nhà nước của dân, do dân và vì dân.

**Thứ tư: nâng cao giám sát của thiết chế xã hội.**

Các thiết chế xã hội hiện nay có thể bao gồm: báo chí, Liên đoàn luật sư, các tổ chức cá nhân khác, có quyền tiếp cận, giám sát, phản biện các hoạt động của Thẩm phán và Tòa án. Thẩm phán phải xem phản biện xã hội với hoạt động tư pháp là một lẽ đương nhiên trong một nhà nước dân chủ, các cơ chế giám sát, phản biện của các thiết chế xã hội sẽ tạo ra áp lực cho Thẩm phán khi đưa ra phán quyết cuối cùng. Khi cơ chế giám sát, phản biện của thiết chế xã hội được đảm bảo thì trách nhiệm giải trình của Tòa án sẽ càng cao và tránh những trường hợp vi phạm tố tụng và cũng là một cơ chế bảo vệ Thẩm phán.

**Thứ năm: nâng cao trách nhiệm pháp lý (hậu quả) khi Tòa án vi phạm.**

Trách nhiệm (hậu quả) áp dụng đối với Thẩm phán khi trong quá trình thực hiện chức năng nhiệm vụ của mình không thể giải trình các vấn đề mà người yêu cầu giải trình đưa ra. Hiện nay,

vấn đề trách nhiệm pháp lý (hậu quả) khi Thẩm phán vi phạm bao gồm: chịu trách nhiệm hình sự (quy định trong BLHS); chịu trách nhiệm trong quy chế ngành Tòa án; bồi thường thiệt hại (quy định trong Luật Bồi thường trách nhiệm Nhà nước) như vậy hiện nay vấn đề Thẩm phán chịu trách nhiệm đối với hành vi của mình không có sự thống nhất trong một văn bản quy phạm pháp luật cụ thể. Để đảm bảo trách nhiệm giải trình của Tòa án thì cần phải cho Thẩm phán thấy rằng mọi quyết định của Thẩm phán phải gánh chịu những hậu quả nhất định. Trong ấn phẩm “*Trách nhiệm giải trình tư pháp - Bộ hướng dẫn dành cho người làm thực tiễn*”, được công bố năm 2016, Ủy ban quốc tế các luật gia (ICJ) đã đưa ra các tiêu chuẩn quốc tế về các hình thức và cơ chế trách nhiệm giải trình đối với các hành vi tham nhũng và vi phạm quyền con người của ngành tư pháp (khía cạnh chịu trách nhiệm của tư pháp đối với các hành vi sai phạm)<sup>(11)</sup>. ICJ liệt kê các hình thức trách nhiệm giải trình tư pháp bao gồm: một là, bồi thường thiệt hại và khôi phục tình trạng ban đầu cho các nạn nhân; hai là; Nghĩa vụ của nhà nước (trách nhiệm của nhà nước đối với các hành vi vi phạm của tư pháp, bao gồm trách nhiệm bồi thường, khôi phục tình trạng ban đầu cho nạn nhân; nghĩa vụ của các cơ quan nhà nước trong việc tiến hành các thủ tục xem xét trách nhiệm đối với những người có các hành vi vi phạm...); ba là, Miễn nhiệm, các hình thức kỷ luật và biện pháp hành chính khác; bốn là, Chịu trách nhiệm hình sự; năm là, Giải trình, công khai đầy đủ các chứng cứ và sự thật khách quan của các hành vi vi phạm, hành vi phạm tội, trong phạm vi chúng không gây hại tới sự an toàn và lợi ích của nạn nhân (pháp luật quốc tế có các quy định yêu cầu phải công khai quá khứ liên quan đến các tội phạm nghiêm trọng, đặc biệt nghiêm trọng để cho người vi phạm, gia đình và

<sup>(11)</sup> Ủy ban quốc tế các luật gia bao gồm 60 Thẩm phán, luật sư nổi tiếng từ tất cả các châu lục trên thế giới được lập ra để thúc đẩy và bảo vệ các quyền con người thông qua pháp quyền, và sử dụng kinh nghiệm pháp lý để phát triển và thúc đẩy các hệ thống công lý quốc tế và quốc gia.

xã hội hiểu và có thể tránh khỏi các hành vi phạm tội tương tự có thể xảy ra trong tương lai.

Ngoài ra, hiện nay chưa có một văn bản pháp lý nào quy định rõ ràng trách nhiệm giải trình của Tòa án, cho nên việc thiếu cơ sở pháp lý nghĩa là thiếu nghĩa vụ để Tòa án thực hiện việc giải trình của mình. Trách nhiệm giải trình lúc này phụ thuộc hoàn toàn vào ý thức của Thẩm phán và các sức ép khác. Cho nên, cần phải ban hành văn bản quy định cụ thể về vấn đề trách nhiệm giải trình của Tòa án.

#### 4. Kết luận

Trách nhiệm giải trình là yếu tố không thể thiếu được trong một Nhà nước pháp quyền và có vai trò đặc biệt trong việc bảo đảm tính tối thượng của Hiến pháp và pháp luật, cân bằng và kiểm soát quyền lực nhà nước và bảo đảm quyền con người. Trách nhiệm giải trình của các cơ quan nhà nước nói chung và trách nhiệm của Tòa án nói riêng còn là nhu cầu đòi hỏi của xã hội và của người dân để tăng cường tiếp cận công lí của người dân và bảo đảm quyền công dân và quyền con người, đồng thời giảm được tình trạng án oan, sai như hiện nay. Chính vì tầm quan trọng về trách nhiệm giải trình của Tòa án trong Nhà nước pháp quyền, nhóm tác giả đã đề xuất các

giải pháp, coi đây là nhiệm vụ bắt buộc nhằm nâng cao trách nhiệm giải trình của Tòa án, là một trong những nhiệm vụ trọng tâm của quá trình xây dựng Nhà nước pháp quyền và công cuộc cải cách tư pháp ở nước ta hiện nay.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Lê Tiên Hào (2013), *Nâng cao trách nhiệm giải trình của cơ quan nhà nước – góp phần phòng chống tham nhũng, lãng phí*, <http://noichinh.vn/nghien-cuu-trao-doi/201309/nang-cao-trach-nhiem-giai-trinh-cua-co-quan-nha-nuoc-gop-phan-phong-chong-tham-nhung-lang-phi-292423/>
- [2] Hà Thị Mai Hiền –Trần Văn Biên (2011) , *Bình luận khoa học Bộ luật Tố tụng dân sự của nước Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam đã sửa đổi, bổ sung*, Viện Nhà nước và Pháp luật.
- [3] La Thị Quế (2018), *Giải pháp nâng cao tính độc lập xét xử của Tòa án trong Nhà nước pháp quyền ở Việt Nam hiện nay*, <http://tapchicongthuong.vn/bai-viet/giai-phap-nang-cao-tinh-doc-lap-xet-xu-cua-toa-an-trong-nha-nuoc-phap-quyen-o-viet-nam-hien-nay-57327.htm>
- [4] Việt Tường (2017), *Ra quyết định trái luật, một phó chánh án bị khởi tố*, <https://news.zing.vn/ra-quyet-dinh-trai-luat-mot-pho-chanh-an-bi-khoi-to-post790133.html>
- [5] Bảo Yến (2018), *Tăng cường các phiên giải trình nâng cao hiệu quả giám sát của các cơ quan của quốc hội*, <http://quochoi.vn/tintuc/pages/tin-hoat-dong-cua-quoc-hoi.aspx?ItemID=37003>

# Các nhân tố ảnh hưởng đến quyết định lựa chọn dịch vụ tour du lịch Hàn Quốc của khách hàng tại Công ty TNHH Cát Việt Đà Nẵng

Factors affecting customers' decision to choose Korea tour services  
at Cat Viet Co., Ltd., Da Nang

Trương Hoàng Hoa Duyên<sup>a,\*</sup>, Trần Chí Quang Huy<sup>a</sup>, Huỳnh Tịnh Cát<sup>a</sup>  
Hoa Duyen Truong Hoang, Quang Huy Tran Chi, Tinh Cat Huynh

<sup>a</sup>*Khoa Quản trị Kinh doanh, Đại học Duy Tân, 03 Quang Trung, Đà Nẵng, Việt Nam.  
Department of Business Administration, Duy Tan University, 03 Quang Trung, Danang, Vietnam*

*(Ngày nhận bài: 26/04/2019, ngày phản biện xong: 06/05/2019, ngày chấp nhận đăng: 04/06/2019)*

## Tóm tắt

Hiện nay du lịch đến Hàn Quốc đang ngày càng trở nên nhộn nhịp hơn bao giờ hết, cùng với đó là sự ra đời của nhiều công ty kinh doanh trong lĩnh vực dịch vụ tour du lịch ra đời. Để hiểu rõ hơn về những đánh giá của khách hàng khi sử dụng dịch vụ của Công ty, nhóm tác giả đã tiến hành nghiên cứu những yếu tố ảnh hưởng đến quyết định lựa chọn dịch vụ thông qua phương pháp nghiên cứu định tính kết hợp với phân tích định lượng, khảo sát các khách hàng đi du lịch Hàn Quốc, và chỉ ra được các nhân tố cơ bản bao gồm giá cả, thương hiệu, chất lượng và dịch vụ tour ảnh hưởng đến quyết định lựa chọn tour du lịch Hàn Quốc của khách hàng tại công ty Cát Việt Đà Nẵng. Qua kết quả nghiên cứu, nhóm tác giả có cơ sở để đưa ra một số giải pháp giúp doanh nghiệp hoàn thiện dịch vụ cung cấp cho khách hàng hơn trong thời gian tới, và có thể giúp các doanh nghiệp kinh doanh trong lĩnh vực dịch vụ tour hiểu được những yếu tố nào ảnh hưởng đến quyết định lựa chọn, từ đó có những giải pháp cụ thể hơn để hoàn thiện việc cung ứng dịch vụ đến khách hàng.

*Từ khóa: Hàn Quốc; Quyết định; Nghiên cứu; Ảnh hưởng; Khách hàng*

## Abstract

Currently travelling to Korea is becoming more bustling than ever, along with the birth of many business companies in the field of tour services. In order to have better understand on customers' assessments when using companies' services, the authors have studied the factors affecting the decision to choose services through combining qualitative with quantitative analysis, surveying customers traveling to Korea, and showed the basic factors including price, brand, quality and tour service. Through the research results, the authors have basis to come up with some solutions to help businesses complete services to provide for customers in the future, and help businesses in the field of tour services understand what factors affecting the decision of choice, and therefore have more specific solutions to improve the service to customers.

*Keywords: Korea; Decision; Research; Affect; Customers*

## 1. Đặt vấn đề

Theo số liệu của Tổng cục Du lịch Hàn Quốc tại Việt Nam (KTO) [11], tính đến hết tháng 11/2018, số lượng khách du lịch Việt Nam đến

Hàn Quốc khoảng 427 nghìn lượt, tăng 42,1% so với cùng kỳ năm 2017 [11]. Đà tăng trưởng này tiếp tục giữ vững thị trường có mức tăng trưởng số lượng khách cao nhất thế giới của du lịch Hàn

Quốc. Đi cùng với sự tăng trưởng lượng khách du lịch kéo theo ngày càng nhiều công ty du lịch ra đời và cạnh tranh khốc liệt để thu hút khách hàng.

Tuy nhiên, không phải doanh nghiệp nào cũng biết sử dụng và khai thác một cách hợp lý các điều kiện thuận lợi cho việc phát triển du lịch. Vì vậy, để nâng cao chất lượng cho các sản phẩm du lịch yêu cầu các doanh nghiệp phải hiểu rõ được nhu cầu của thị trường, mong muốn của khách hàng. Bài viết này phần nào đó cung cấp cho người đọc những thông tin hữu ích về du lịch Hàn Quốc và đồng thời giúp cho doanh nghiệp kinh doanh lĩnh vực du lịch có cơ sở khoa học để đưa ra những quyết định điều chỉnh về cung ứng dịch vụ đáp ứng nhu cầu của khách hàng của họ.

## 2. Cơ sở lý thuyết và mô hình nghiên cứu

### 2.1 Cơ sở lý thuyết

#### a. Hành vi tiêu dùng

Theo Philip Kotler (2001): “Hành vi người tiêu dùng là những suy nghĩ, cảm nhận và hành động diễn ra trong quá trình thông qua quyết định mua sắm hàng hóa, dịch vụ của người tiêu dùng dưới sự tác động qua lại giữa các yếu tố kích thích của môi trường bên ngoài và quá trình tâm lý bên trong của họ” [6].

Ý định là một yếu tố dùng để đánh giá khả năng thực hiện hành vi trong tương lai. Theo Ajzen (1991), ý định mua là một yếu tố tạo động lực, nó thúc đẩy một cá nhân sẵn sàng thực hiện hành vi mua.

Các yếu tố ảnh hưởng đến hành vi người tiêu dùng: Thực tế chỉ ra rằng có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng quyết định của con người liên quan đến việc mua hàng. Hành vi của người mua hàng không bao giờ đơn giản, tuy nhiên việc am hiểu hành vi của người tiêu dùng lại là một nhiệm vụ vô cùng quan trọng đối với những người làm marketing. Nhiệm vụ của người làm marketing là hiểu được điều gì xảy ra trong ý thức của người mua giữa lúc các tác nhân bên ngoài tác động và

lúc quyết định mua. Ta sẽ tập trung vào những đặc điểm của người mua: văn hóa, xã hội, cá nhân và tâm lý ảnh hưởng đến hành vi mua sắm.

#### b. Ý nghĩa nghiên cứu hành vi người tiêu dùng

Theo Philip Kotler (2001) nghiên cứu về hành vi người tiêu dùng của khách hàng là một nhiệm vụ quan trọng có ảnh hưởng rất lớn trong quy trình ra quyết định về chiến lược tiếp thị của các doanh nghiệp. Tìm hiểu nhu cầu của người tiêu dùng và quá trình mua sắm của họ, là một vấn đề quan trọng để công ty thiết lập các chiến lược marketing hữu hiệu bằng cách tìm hiểu người mua sắm thông qua các giai đoạn như thế nào, người làm marketing có thể khám phá ra mình phải làm thế nào để đáp ứng người tiêu dùng. Từ đó, doanh nghiệp có thể hoạch định chiến lược marketing hữu hiệu cho các thị trường mục tiêu của doanh nghiệp [6]

#### c. Tiến trình ra quyết định mua [6]

Theo Philip Kotler, tiến trình ra quyết định mua được chia thành 5 giai đoạn cơ bản:

*Giai đoạn 1:* Nhận thức nhu cầu: Người tiêu dùng tự nhận thức được nhu cầu của mình và mong muốn thỏa mãn nhu cầu đó.

*Giai đoạn 2:* Tìm hiểu sản phẩm và những thông tin liên quan: Khi người tiêu dùng có hứng thú với 1 sản phẩm nào đó, họ sẽ tìm kiếm thông tin về sản phẩm đó thông qua bạn bè, người thân, Internet, báo chí, tư vấn viên...

*Giai đoạn 3:* So sánh các sản phẩm thuộc các nhãn hiệu khác nhau: Tùy theo nhu cầu mong muốn sản phẩm sở những hữu đặc tính như thế nào mà mỗi người tiêu dùng sẽ lựa chọn mua sản phẩm đáp ứng được những yêu cầu đó.

*Giai đoạn 4:* Mua sản phẩm: Khi đã quyết định nhãn hiệu sản phẩm cần mua, người tiêu dùng đi đến cửa hàng mua hàng

*Giai đoạn 5:* Đánh giá sản phẩm sau khi sử dụng: Sau khi người tiêu dùng mua và sử dụng sản phẩm, bản thân người tiêu dùng sẽ tự cảm nhận và đánh giá sản phẩm.



*d. Khái niệm về khách du lịch*

Có rất nhiều khái niệm về khách du lịch nhưng: Theo pháp lệnh du lịch và Luật du lịch Việt Nam thì khách du lịch quốc tế là người nước ngoài, người Việt Nam định cư ở nước ngoài vào Việt Nam du lịch và công dân Việt Nam, người nước ngoài cư trú tại Việt Nam ra nước ngoài du lịch [6].

Khách quốc tế gồm có 2 loại: khách inbound và khách outbound.

*Khách inbound:* là người nước ngoài, người Việt Nam định cư ở nước ngoài vào Việt Nam du lịch. Theo hội nghị Liên Hợp Quốc 1973 thì: trên đường đi thăm hoặc ghé thăm một nước khác với nước mà họ cư trú thường xuyên; đích chuyến đi là tham quan, thăm viếng hoặc nghỉ ngơi với thời gian không quá 3 tháng phải được nghỉ phép gia hạn, không làm bất cứ việc gì để nhận thù lao tại nước đến do ý muốn của khách hay do yêu cầu của nước sở tại, sau khi kết thúc tham quan phải rời khỏi nước đến tham quan về nước thường trú

của mình hoặc đến một nước thứ ba.

*Khách outbound:* là người Việt Nam hay người nước ngoài cư trú tại Việt Nam ra nước ngoài du lịch.

*e. Đặc điểm của khách du lịch [12]*

Có nhu cầu đi du lịch để khám phá, hiểu biết về nền văn hóa của các nước bên ngoài lãnh thổ, Quốc gia họ đang cư trú.

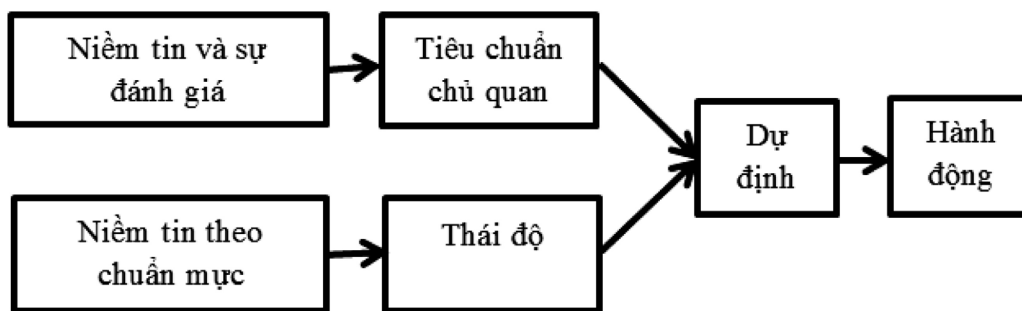
Có khả năng chi trả cao cho việc đi du lịch, họ chủ yếu đi theo chương trình du lịch trọn gói, và lên kế hoạch cho các chuyến đi trong năm. Gần đây là còn tổ chức theo nhóm gia đình.

Tiêu chuẩn khách sạn họ thường sử dụng sẽ là 3 sao trở lên. Phương tiện trong chuyến đi là máy bay, tàu hỏa, tàu thủy và ô tô chất lượng cao.

Quan tâm nhiều đến yếu tố an ninh, an toàn tại điểm đến du lịch.

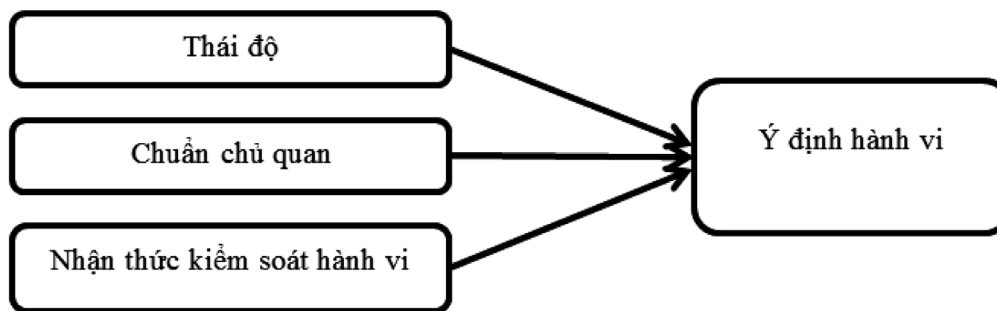
*f. Mô hình nghiên cứu lý thuyết về hành vi mua và sự lựa chọn trong tiêu dùng.*

*\* Mô hình hành động hợp lý (TRA)*



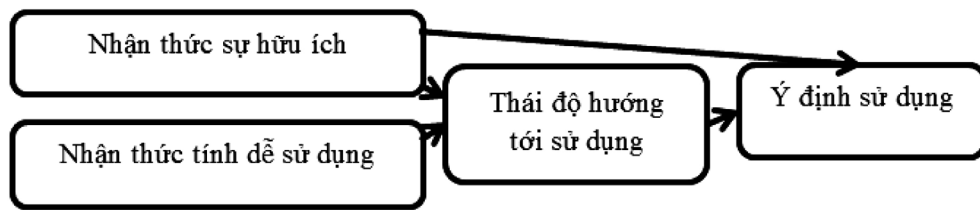
Hình 1. Mô hình hành động hợp lý (TRA)

*\*Mô hình hành vi có kế hoạch (TPB)*



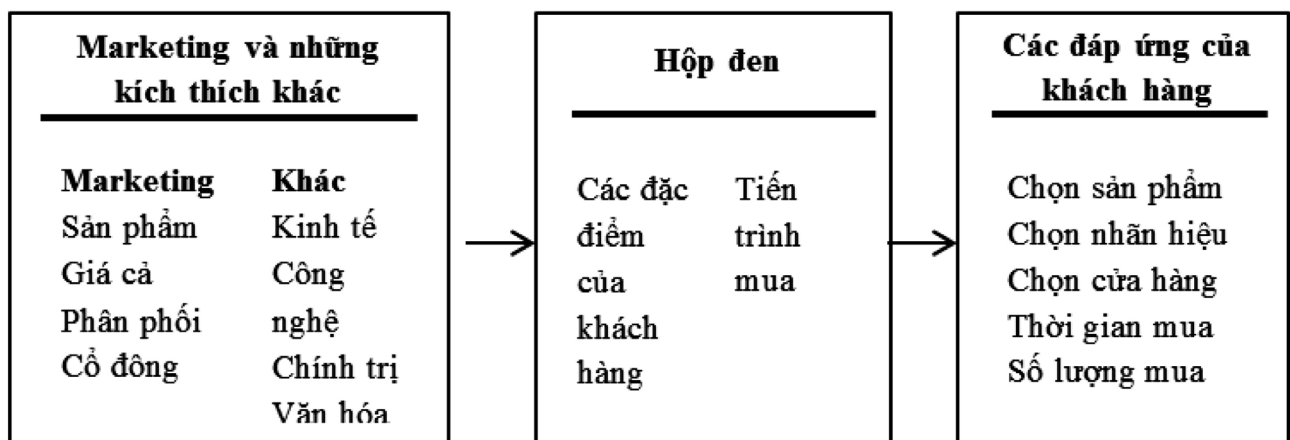
Hình 2. Mô hình hành vi có kế hoạch (TPB)

\* Mô hình chấp nhận công nghệ (TAM)



Hình 3. Mô hình chấp nhận công nghệ (TAM)

\* Mô hình hành vi người tiêu dùng



Hình 4. Mô hình hành vi người tiêu dùng(TAM)

Mô hình phân tích hành vi người tiêu dùng. Các yếu tố marketing (hàng hoá, giá cả, phân phối, cổ động) và các tác nhân khác (kinh tế, khoa học - công nghệ, chính trị, văn hóa) tác động vào “hộp đen” của người mua, tức là tác động vào những đặc điểm cũng như tiến trình quyết định của người mua, ở đây chúng gây ra những đáp ứng cần thiết từ phía người mua và kết quả là đưa đến một quyết định mua sắm nhất định (loại sản phẩm, nhãn hiệu, số lượng, nơi mua) [8].

**2.2 Các mô hình nghiên cứu trong nước và quốc tế tham khảo**

*Nghiên cứu trong nước*

Mô hình các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định lựa chọn điểm đến du lịch của du khách của Th.s Trần Thị Kim Thoa 2015 [2]

Nghiên cứu của Ths Trần Thị Kim Thoa chỉ ra các nhân tố ảnh hưởng đến quyết định lựa chọn điểm đến du lịch của du khách gồm 2 nhóm nhân tố:

Nhân tố bên trong: Động cơ đi du lịch, thái độ

Nhân tố bên ngoài: Hình ảnh điểm đến, nhóm tham khảo, giá tour du lịch, truyền thông

Mô hình nghiên cứu của Phạm Thúy Vân (2017) nâng cao sự hài lòng của khách hàng về dịch vụ của Taxi Mai Linh [3]:

Mô hình nghiên cứu và các giả thuyết: Các nhân tố quan trọng ảnh hưởng đến sự hài lòng của khách hàng sử dụng dịch vụ taxi Mai Linh Đà Nẵng: Chất lượng dịch vụ và giá cả. Để đo lường chất lượng dịch vụ thì tác giả đã sử dụng thang đo Servqual với 5 thành phần chất lượng dịch vụ: Sự hữu hình, Năng lực phục vụ, Đáp ứng, Sự tin cậy, Sự đồng cảm.

*Nghiên cứu nước ngoài*

Mô hình lựa chọn địa điểm du lịch của Um & Crompton [5 - 6]: Um & Crompton phát triển lý thuyết Chapin về hai nhóm nhân tố ảnh hưởng đến lựa chọn địa điểm du lịch, từ đó ảnh hưởng đến việc lựa chọn các sản phẩm du lịch cho phù hợp [4].

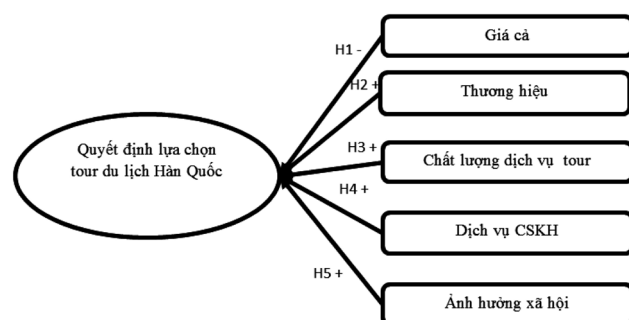
Nhân tố bên trong: Sở thích, động cơ, giá trị và thái độ.

Nhân tố bên ngoài: Thuộc tính của sản phẩm du lịch (khả năng có sẵn có, chất lượng, giá cả đi kèm trên chương trình), biểu tượng (truyền thông), kích thích xã hội (nhóm tham khảo).

*Mô hình lựa chọn sản phẩm tour du lịch của Kamol Sanittham & Winayaporn Bhrammanachote 2012 [5]:* Kamol Sanittham & Winayaporn Bhrammanachote đề xuất các nhân tố ảnh hưởng đến lựa chọn sản phẩm du lịch bao gồm các nhân tố: Hình ảnh, sản phẩm, giá cả, địa điểm, xúc tiến.

### 2.3 Mô hình nghiên cứu chính thức

Từ mô hình nghiên cứu đề xuất và bảng kết quả khảo sát chuyên gia thì từ đó mô hình nghiên cứu chính thức các nhân tố ảnh hưởng đến quyết định lựa chọn tour du lịch Hàn Quốc của khách hàng tại công ty TNHH Cát Việt được hình thành và gồm 05 nhân tố sau: giá cả, thương hiệu, chất lượng dịch vụ tour du lịch, dịch vụ chăm sóc khách hàng, ảnh hưởng xã hội [1].



Hình 5. Mô hình nghiên cứu chính thức Hệ thống giả thuyết nghiên cứu [1]

**Chính sách giá:** Giá cả đóng vai trò quan trọng trong tiếp thị, khách hàng thường xem giá cả là dấu hiệu cho chất lượng của sản phẩm hay dịch vụ. Nếu khách hàng nhận thức được rằng: chi phí mà họ bỏ ra để công trình là không đáng kể, hoặc nó xứng đáng với những giá trị, lợi ích mà nó mang lại thì họ sẽ sẵn sàng lựa chọn nhà thầu xây dựng đó. Được tham khảo từ cơ sở lý thuyết và mô hình nghiên cứu trong nước tác giả

đưa ra giả thuyết H1 như sau:

Giả thuyết H1: Nhân tố giá cả có quan hệ ngược chiều với đến quyết định lựa chọn tour du lịch Hàn Quốc của khách hàng tại công ty TNHH Cát Việt.

**Thương hiệu:** Khách hàng thường lựa chọn thương hiệu mà họ đã biết bởi vì họ cảm thấy an toàn và thoải mái hơn. Một thương hiệu thường đi kèm theo một cảm nhận tổng thể của khách hàng về chất lượng. Chất lượng cảm nhận sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến quyết định sử dụng và sự trung thành của khách hàng. Được tham khảo từ cơ sở lý thuyết và mô hình nghiên cứu trong nước tác giả đưa ra giả thuyết H2 như sau:

Giả thuyết H2: Nhân tố thương hiệu có quan hệ thuận chiều với đến quyết định lựa chọn tour du lịch Hàn Quốc của khách hàng tại công ty TNHH Cát Việt.

**Chất lượng dịch vụ:** Chất lượng dịch vụ được nói đến ở đây bao gồm: chất lượng dịch vụ thủ tục chờ đợi, chất lượng dịch vụ vận chuyển, chất lượng dịch vụ đi lại, chất lượng dịch vụ ăn uống..... Khách hàng sẽ lựa chọn nhà cung cấp nếu họ cảm thấy dịch vụ đó đáp ứng được những nhu cầu mà họ mong muốn. Được tham khảo từ mô hình nghiên cứu trong nước và nước ngoài tác giả đưa ra giả thuyết H3 như sau:

Giả thuyết H3: Nhân tố chất lượng dịch vụ tour có quan hệ thuận chiều với đến quyết định lựa chọn tour du lịch Hàn Quốc của khách hàng tại công ty TNHH Cát Việt.

**Dịch vụ chăm sóc khách hàng:** bao gồm: hệ thống hỗ trợ khách hàng, quy trình hỗ trợ khách hàng về hồ sơ, giải quyết sự cố.... Khi dịch vụ chăm sóc khách hàng tốt thì sẽ khiến khách hàng hài lòng, an tâm và tin tưởng hơn vào nhà cung cấp. Được tham khảo từ cơ sở lý thuyết mô hình nghiên cứu trong nước tác giả đưa ra giả thuyết H4 như sau:

Giả thuyết H4: Nhân tố dịch vụ chăm sóc khách hàng có quan hệ thuận chiều với đến quyết

định lựa chọn tour du lịch Hàn Quốc của khách hàng tại công ty TNHH Cát Việt.

*Ảnh hưởng xã hội:* Hành vi của một người tiêu dùng cũng chịu sự tác động của những yếu tố xã hội như gia đình, vai trò và địa vị xã hội, nhóm tham khảo. Được tham khảo từ mô hình nghiên cứu trong nước tác giả đưa ra giả thuyết H5 như sau:

Giải thuyết H5: Nhân tố ảnh hưởng xã hội có

quan hệ thuận chiều với đến quyết định lựa chọn tour du lịch Hàn Quốc của khách hàng tại công ty TNHH Cát Việt

### 3. Phương pháp nghiên cứu

**3.1 Thang đo nghiên cứu:** Dựa vào mô hình nghiên cứu tham khảo và cơ sở lý thuyết nghiên cứu, tác giả xây dựng thang đo và tiến hành mã hoá dữ liệu nghiên cứu như sau [1]:

Bảng 1. Bảng mã hóa thang đo các biến quan sát

Biến mã hóa	Các phát biểu	Nguồn tham khảo
<b>GC</b>	<b>GIÁ SẢN PHẨM</b>	<i>Th.s Trần Thị Kim Thoa (2015)</i>
<b>GC1</b>	Tour du lịch đa dạng với nhiều mức giá	
<b>GC2</b>	Giá cả có tính cạnh tranh trên thị trường	
<b>GC3</b>	Phương thức thanh toán đa dạng	
<b>GC4</b>	Chi phí cho các tour du lịch hiện nay là phù hợp	
<b>GC5</b>	Cát Việt thường xuyên có các chương trình ưu đãi về giá	
<b>TH</b>	<b>THƯƠNG HIỆU</b>	
<b>TH1</b>	Khi nhắc đến dịch vụ tour du lịch anh/chị nghĩ ngay đến công ty Cát Việt	<i>Th.s Trần Thị Kim Thoa (2015)</i>
<b>TH2</b>	Công ty Cát Việt là thương hiệu du lịch nổi tiếng trên địa bàn Đà Nẵng	<i>Phạm Thúy Vân (2017)</i>
<b>TH3</b>	Anh/chị dễ dàng nhận biết tour du lịch của Cát Việt qua biểu tượng logo một cách dễ dàng	
<b>TH4</b>	Cát Việt được biết đến là một công ty luôn luôn đặt sự an toàn của khách hàng lên hàng đầu	
<b>TH5</b>	Cát Việt là thương hiệu lâu đời và đáng tin cậy	
<b>CL</b>	<b>CHẤT LƯỢNG</b>	
<b>CL1</b>	Tour du lịch của Cát Việt có chất lượng cao	<i>Um &amp; Crompton (2012)</i>
<b>CL2</b>	Có số lượng tour đa dạng và phong phú	
<b>CL3</b>	Dịch vụ mặt đất tại nước đến có chất lượng cao (khách sạn, nhà hàng, shopping...)	
<b>CL4</b>	Chương trình tour có nhiều điểm đến thú vị và hấp dẫn	
<b>CL5</b>	Cát Việt cam kết cung cấp dịch vụ kèm theo đúng như trong chương trình tour	
<b>CL1</b>	Tour du lịch của Cát Việt có chất lượng cao	
<b>CS</b>	<b>CHĂM SÓC KHÁCH HÀNG</b>	
<b>CS1</b>	Nhân viên nhiệt tình tư vấn và có trách nhiệm đối với Anh/chị	<i>Kamol Sanittham &amp; Winayaporn Bhammanachote (2012)</i>
<b>CS2</b>	Hướng dẫn viên và trưởng đoàn thân thiện, nhiệt tình chăm sóc Anh/ chị trong quá trình đi tour	<i>Th.s Trần Thị Kim Thoa (2015)</i>
<b>CS3</b>	Đảm bảo an toàn trong quá trình sử dụng dịch vụ tour du lịch cho khách hàng	
<b>CS4</b>	Nhân viên sẵn sàng hỗ trợ về kiến thức du lịch khi Anh/chị cần biết	
<b>CS5</b>	Giải quyết nhanh chóng, hợp lý khi có vấn đề xảy ra trong quá trình đi tour	



XH	ẢNH HƯỞNG XÃ HỘI	
XH1	Anh/chị được bạn bè/ người thân giới thiệu về tour du lịch của Cát Việt	<i>Th.s Trần Thị Kim Thoa (2015)</i>
XH2	Anh/chị thường tham khảo ý kiến trên webside và fanpage của công ty trước khi quyết định lựa chọn tour du lịch	
XH3	Anh/ chị thường tham khảo những phản hồi của những khách hàng đã sử dụng dịch vụ và trên fanpage của công ty	
XH4	Anh/ chị thường tham khảo những gợi ý của nhân viên tư vấn	
XH5	Anh/chị thường tham khảo ý kiến của người thân trước khi quyết định lựa chọn tour du lịch	
QD		
QD1	Lựa chọn dịch vụ tour du lịch của Cát Việt là phương án phù hợp nhất với Anh/chị	<i>Phạm Thúy Vân (2017)</i>
QD2	Anh/ chị sẽ tiếp tục lựa chọn dịch vụ tour du lịch của Cát Việt	
QD3	Anh/chị sẽ giới thiệu tour du lịch của Cát Việt cho người thân/ bạn bè	

### 3.2 Mẫu nghiên cứu

Được xác định dựa trên tiêu chuẩn 5:1 của Bollen (1998) và Hair và cộng sự (1998) (Trần Thị Kim Thoa (2005), tức là để đảm bảo phân tích dữ liệu (phân tích nhân tố khám phá EFA) tốt thì cần ít nhất 5 quan sát cho 1 biến cố đo lường và số quan sát không nên dưới 100. Như vậy với các biến quan sát của nghiên cứu này cần đảm bảo kích thước mẫu tối thiểu là  $29 \times 5 = 145$ . Để đảm bảo các phiếu hợp lệ và tránh sai sót, tác giả tiến hành phát phiếu điều tra 200 mẫu tương ứng với 200 khách hàng của công ty Cát Việt.

### 3.3 Phương pháp lấy mẫu và thu thập dữ liệu

Việc thu thập dữ liệu được thực hiện thông qua bảng câu hỏi giấy được phát ngẫu nhiên cho khách hàng đã sử dụng dịch vụ tại công ty Cát Việt trên địa bàn TP. Đà Nẵng. Với 15 mẫu khảo sát thử đều hợp lệ, cho thấy bảng câu hỏi khảo sát phù hợp và dễ hiểu nên nhóm tiếp tục gửi bảng câu hỏi khảo sát tới 200 khách hàng. Sau khi thu thập kiểm tra, có 15 mẫu không hợp lệ, số mẫu còn lại 185 mẫu được đưa vào phân tích và xử lý bằng SPSS. Thời gian tiến hành thu thập dữ liệu từ ngày 01/02/2019 đến ngày 15/02/2019.

### 3.4. Phương pháp phân tích dữ liệu

- Phương pháp nghiên cứu tài liệu: Tiến hành thu thập tài liệu từ nhiều nguồn khác nhau: các

bài báo, đề tài nghiên cứu và các tài liệu khách có liên quan. Thông qua phân tích tổng hợp lý thuyết, phân loại hệ thống hoá và khái quát hóa lý thuyết từ đó rút ra các kết luận khoa học là cơ sở lý luận cho đề tài.

- Phương pháp nghiên cứu định tính: Thông qua hoạt động thảo luận chuyên gia, thu thập ý kiến của các cá nhân nhằm xây dựng thang đo, cũng như trợ giúp cho các phân tích định tính liên quan đến mục tiêu nghiên cứu.

- Phương pháp nghiên cứu định lượng: Được dùng để đánh giá mức độ ảnh hưởng của các nhân tố đến quyết định lựa chọn nhà thầu xây dựng, thông qua phát phiếu khảo sát và sử dụng phần mềm SPSS để tiến hành phân tích dữ liệu.

## 4. Kết quả nghiên cứu

### 4.1. Kết quả phân tích Cronbach's Alpha

Theo Nunnally (1978), Peterson (1994), thang đo được đánh giá chấp nhận và tốt đòi hỏi hai điều kiện: Hệ số Cronbach's Alpha của tổng thể  $> 0.6$ ; Hệ số tương quan tổng biến (Corrected Item-Total Correlation)  $> 0.3$ .

Sau kiểm định Cronbach's Alpha, có 1 biến quan sát bị loại là CS5, và XH4. Biến quan sát này cần phải được loại bỏ trước khi đưa vào phân tích nhân tố khám phá EFA.

Bảng 2. Kết quả phân tích Cronbach's Alpha các biến quan sát

Biến quan sát	Trung bình thang đo nếu loại biến	Phương sai thang đo nếu loại biến	Tương quan biến tổng	Alpha nếu loại biến này
<b>Cronbach's Alpha = .775</b>				
GC1	12,69	9,622	,452	,774
GC2	12,02	9,919	,614	,713
GC3	12,12	9,497	,603	,713
GC4	12,08	9,505	,590	,718
GC5	12,58	10,767	,511	,746
<b>Cronbach's Alpha = 0.878</b>				
TH1	12,21	14,177	,782	,836
TH2	12,07	16,091	,707	,852
TH3	12,09	16,555	,708	,852
TH4	12,04	16,788	,722	,849
TH5	12,24	18,103	,654	,866
<b>Cronbach's Alpha = 0.843</b>				
CL1	12,34	14,266	,639	,818
CL2	12,13	13,477	,739	,786
CL3	12,32	15,875	,662	,809
CL4	12,14	16,529	,621	,820
CL5	12,33	16,532	,620	,820
<b>Cronbach's Alpha = 0.736</b>				
CS1	11,30	6,040	,426	,733
CS2	10,96	5,572	,579	,649
CS3	10,92	5,628	,613	,634
CS4	11,17	5,143	,518	,689
<b>Cronbach Alpha = 0.778</b>				
XH1	12,32	4,197	,590	,725
XH2	12,26	4,633	,620	,706
XH3	12,34	4,726	,554	,739
XH5	12,27	4,919	,579	,728
<b>Cronbach's Alpha = 0.864</b>				
QD1	11,63	5,832	,705	,829
QD2	11,73	5,899	,710	,827
QD3	11,51	5,628	,801	,789
QD4	11,33	6,562	,638	,855

#### 4.2. Phân tích nhân tố khám phá EFA

a. Kết quả phân tích nhân tố các biến độc lập [1 - 2]

Hệ số KMO = 0.712 thỏa mãn điều kiện  $0,5 < KMO < 1$ , cho thấy phân tích nhân tố thích hợp với dữ liệu nghiên cứu.

Kết quả kiểm định Bartlett's là 1906,091 với mức ý nghĩa Sig. = 0,000 < 0,05 cho thấy các biến quan sát có tương quan tuyến tính với nhau.

Bảng 3. Kết quả phân tích EFA

<i>Chỉ tiêu cần đánh giá</i>	<i>Giá trị chạy được</i>	<i>Kết luận</i>				
<i>Hệ số KMO</i>	<i>0.712</i>	<i>0.5 &lt; 0.712 &lt; 1</i>				
<i>Giá trị Sig</i>	<i>0.000</i>	<i>0.00 &lt; 0.05</i>				

Biến quan sát	Nhân tố				
	1	2	3	4	5
TH1	,876				
TH4	,819				
TH3	,808				
TH2	,808				
TH5	,775				
CL2		,844			
CL3		,784			
CL1		,775			
CL4		,774			
CL5		,728			
GC3			,793		
GC2			,785		
GC4			,771		
GC5			,660		
GC1			,614		
XH2				,793	
XH5				,787	
XH1				,760	
XH3				,750	
DV2					,811
DV3					,802
DV4					,717
DV1					,621

Eigenvalue	3.707	3.476	2.680	2.264	2.015
Phương sai trích (%)	16.118	31.232	42.886	52.732	61.494

Kết quả phân tích nhân tố cho ra 5 nhân tố từ 23 biến quan sát được rút trích tại Eigenvalues = 2.015 > 1 với tổng phương sai bằng 61.494% > 50% đạt yêu cầu.

Theo kết quả bảng ma trận xoay nhân tố thì

kết quả được nhóm thành 5 nhân tố. Các nhân tố này như sau:

Nhóm nhân tố thứ nhất: gồm 5 biến quan sát: TH1, TH2, TH3, TH4, TH5 được đặt tên nhân tố này là thương hiệu (TH)

Nhóm nhân tố thứ hai: gồm 5 biến quan sát: CL1, CL2, CL3, CL4, CL5 được đặt tên nhân tố này là chất lượng (CL)

Nhóm nhân tố thứ ba: gồm 5 biến quan sát: GC1,GC2, GC3, GC4, GC5 được đặt tên nhân tố này là giá cả (GC)

Nhóm nhân tố thứ tư: gồm 4 biến quan sát: XH1, XH2, XH3, XH5 được đặt tên nhân tố này là xã hội (XH)

Nhóm nhân tố thứ năm: gồm 4 biến quan sát: CS1, CS2, CS3, CS4 được đặt tên nhân tố này là chăm sóc khách hàng (CS)

*b. Kết quả nhân tố phụ thuộc “quyết định lựa chọn”*

Thang đo quyết định lựa chọn gồm 4 biến quan sát, sau khi phân tích độ tin cậy Cronbach’s Alpha tiếp tục phân tích nhân tố khám phá.

Hệ số KMO = 0.713 thoả mãn điều kiện  $0,5 < KMO < 1$ , cho thấy phân tích nhân tố thích hợp với dữ liệu nghiên cứu.

Kết quả kiểm định Bartlett’s là 419,367 với mức ý nghĩa Sig. = 0,000 < 0,05 cho thấy các biến quan sát có tương quan tuyến tính với nhau.

Kết quả phân tích nhân tố cho ra 1 nhân tố từ 4 biến quan sát được rút trích tại Eigenvalues = 2.843 > 1 với tổng phương sai bằng 71,087% > 50% đạt yêu cầu. Hệ số tải của tất cả các biến đều lớn hơn 0.3 nên đạt yêu cầu.

Bảng 4. Tổng phương sai trích của nhân tố quyết định lựa chọn

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	2,843	71,087	71,087	2,843	71,087	71,087
2	,574	14,346	85,433			
3	,401	10,032	95,465			
4	,181	4,535	100,000			

	Component
	1
QD1	,837
QD2	,843
QD3	,900
QD4	,789

Theo bảng ma trận xoay nhân tố trên nhóm 4 biến QD1, QD2, QD3, QD4 thành biến quyết định lựa chọn của khách hàng (QD).

Dựa vào kết quả đánh giá độ tin cậy Cronbach’s Alpha và phân tích nhân tố khám phá (EFA) xác định được 5 yếu tố ảnh hưởng đến quyết định lựa chọn tour du lịch Hàn Quốc của khách hàng tại công ty TNHH Cát Việt.

Yếu tố giá cả gồm 5 biến quan sát: GC1,GC2, GC3, GC4, GC5 được đặt tên nhân tố này là giá cả (GC)

Yếu tố thương hiệu gồm 5 biến quan sát: TH1, TH2, TH3, TH4, TH5 được đặt tên nhân tố này là thương hiệu (TH)

Yếu tố chất lượng dịch vụ tour du lịch gồm 5 biến quan sát: CL1, CL2, CL3, CL4, CL5 được đặt tên nhân tố này chất lượng (CL)

Yếu tố chăm sóc khách hàng gồm 4 biến quan sát: CS1, CS2, CS3, CS4 được đặt tên nhân tố này là chăm sóc khách hàng (CS)

Yếu tố xã hội gồm 4 biến quan sát: XH1, XH2, XH3, XH5 được đặt tên nhân tố này là xã hội (XH)

Các nhóm yếu tố sau khi đã được kiểm định nhân tố EFA là phù hợp sẽ được nhóm với nhau và tiếp tục kiểm định tương quan biến Pearson.

**4.3. Phân tích tương quan biến**

Dựa vào kết quả của bảng Correlations ta có thể thấy hệ số tương quan giữa biến phụ thuộc với 5 biến độc lập GC, TH, CL, CS, XH đều có Sig. nhỏ hơn 0,05 nên có thể kết luận rằng giữa



5 biến độc lập và biến phụ thuộc có mối tương quan tuyến tính với nhau ảnh hưởng đến quyết định lựa chọn tour du lịch Hàn Quốc của khách hàng tại công ty TNHH Cát Việt. Hệ số tương

quan tuyến tính giữa biến quyết định lựa chọn với biến thương hiệu là lớn nhất 0,694 và hệ số tương quan tuyến tính giữa biến quyết định sử dụng với biến xã hội thấp nhất 0,198.

Bảng 5. Ma trận hệ số tương quan Pearson

Hệ số tương quan (person)		QD	GC	TH	CL	DV	XH
QD	Pearson Correlation	1	,337**	,694**	,844**	,456**	,198**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000	,000	,005
	N	200	200	200	200	200	200
GC	Pearson Correlation	,337**	1	,356**	,267**	,669**	,205**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000	,000	,004
	N	200	200	200	200	200	200
TH	Pearson Correlation	,694**	,356**	1	,479**	,432**	,154*
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000	,000	,029
	N	200	200	200	200	200	200
CL	Pearson Correlation	,844**	,267**	,479**	1	,263**	,174*
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000		,000	,014
	N	200	200	200	200	200	200
DV	Pearson Correlation	,456**	,669**	,432**	,263**	1	,080
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000		,258
	N	200	200	200	200	200	200
XH	Pearson Correlation	,198**	,205**	,154*	,174*	,080	1
	Sig. (2-tailed)	,005	,004	,029	,014	,258	
	N	200	200	200	200	200	200

4.4 Phân tích hồi quy đa biến

Dựa vào kiểm định hệ số tương quan giữa Pearson, phương trình tuyến tính bội biểu diễn mối liên hệ giữa các nhân tố có dạng như sau:

$$QD = B_0 + B_1GC + B_2TH + B_3CL + B_4CL + B_5XH$$

Trong đó:

$B_0$ : hằng số tự do

$B_i (i = 1 \dots 5)$ : hệ số hồi quy riêng phần

Biến độc lập: GC, TH, CL, CS, XH

Biến phụ thuộc: QD

Kiểm định hệ số hồi quy

Phân tích hồi quy tuyến tính bội sử dụng phương pháp Enter để kiểm định sự phù hợp của giữa biến độc lập đối với biến phụ thuộc.

Bảng 6. Kết quả phân tích hồi quy bội

Coefficients <sup>a</sup>								
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics		
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF	
(Constant)	,218	,137		1,587	,114			
1	GC	-,075	,029	-,100	-2,561	,011	,524	1,910
	TH	,333	,036	,318	9,159	,000	,665	1,503
	CL	,541	,027	,656	20,096	,000	,752	1,329
	DV	,142	,027	,211	5,275	,000	,504	1,986
	XH	,028	,022	,038	1,296	,196	,930	1,075

**Đánh giá mức độ phù hợp của mô hình**

*Đánh giá độ phù hợp của mô hình*

Bảng 7. Kết quả phân tích hồi quy bội

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,919 <sup>a</sup>	,844	,840	,31859

Để đánh giá mức độ phù hợp của mô hình hồi quy với dữ liệu nghiên cứu. Ta căn cứ vào hệ số hiệu R<sup>2</sup> hiệu chỉnh (Adjusted R Square). Theo kết quả của Bảng 7, hệ số R<sup>2</sup> hiệu chỉnh là

0.804 nhỏ hơn R<sup>2</sup> là 0.844, điều này nói lên rằng mô hình hồi quy tuyến tính bội phù hợp với dữ liệu ở mức 80,4%, có nghĩa là các biến độc lập (giá cả, thương hiệu, chất lượng dịch vụ tour du lịch, chăm sóc khách hàng, ảnh hưởng xã hội) ảnh hưởng đến 80,4% sự biến động của biến phụ thuộc (quyết định lựa chọn của khách hàng) trong mô hình nghiên cứu. Còn lại 19.6% là do sự ảnh hưởng của những biến khác.

*Kiểm định độ phù hợp của mô hình [1 - 2]*

Bảng 8. Kết quả phân tích phương sai

ANOVA <sup>a</sup>					
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	106,796	5	21,359	210,433	,000 <sup>b</sup>
Residual	19,691	194	,102		
Total	126,487	199			

a. Dependent Variable: QD

b. Predictors: (Constant), XH, DV, CL, TH, GC

Kết quả của bảng phân tích phương sai ANOVA cho thấy giá trị Sig. của kiểm định thống kê F bằng 0,000 < 0,01, có thể kết luận mô hình hồi quy tuyến tính bội đã xây dựng phù hợp với dữ liệu.

**Phương trình hồi quy tuyến tính**

Dựa vào bảng hồi quy tuyến tính bội ta rút được phương trình các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định lựa chọn của khách hàng như sau:

$$QD = -0.100*GC + 0.318*TH + 0.656*CL + 0.211*CS$$

Hay: Quyết định lựa chọn = -0.100\*Giá cả + 0.318\*Thương hiệu + 0.656\*Chất lượng + 0.211\*Chăm sóc

Có nghĩa là, Chất lượng dịch vụ tour du lịch (0.656) có tác động mạnh nhất đến quyết định lựa chọn tour du lịch Hàn Quốc của khách hàng tại công ty TNHH Cát Việt, tiếp đến là thương hiệu (0,318), dịch vụ chăm sóc khách hàng (0,211) và cuối cùng là giá cả (0,100)

Mặt khác, kết quả phân tích hồi quy bội cho thấy các hệ số GC âm nên có tác động ngược

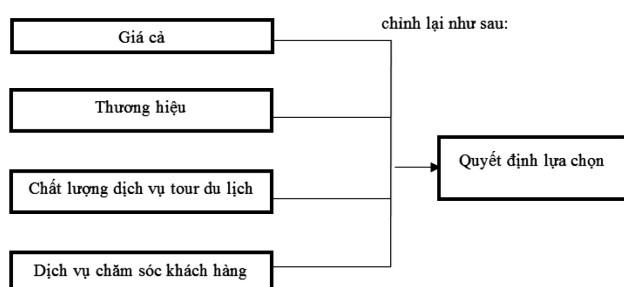
chiều và hệ số của TH, CL, CS dương có tác động cùng chiều đến quyết định lựa chọn của khách hàng. Do đó, các giả thuyết GC, TH, CL, CS trong mô hình nghiên cứu đã hiệu chỉnh được chấp nhận.

**Kết quả các nhân tố ảnh hưởng đến quyết định lựa chọn tour du lịch Hàn Quốc của khách hàng tại công ty TNHH Cát Việt [1]**

- Chất lượng dịch vụ tour du lịch có mức độ ảnh hưởng lớn nhất nhất 0.656
- Thương hiệu có mức độ ảnh hưởng thứ hai là 0.318
- Dịch vụ chăm sóc khách hàng thứ ba là 0.211
- Giá cả với mức độ ảnh hưởng thấp nhất -0.100

**Mô hình nghiên cứu hiệu chỉnh [1]**

Sau khi phân tích hồi quy đa biến thì chỉ còn lại 4 nhân tố ảnh hưởng đến quyết định lựa chọn tour du lịch Hàn Quốc của khách hàng tại công ty TNHH Cát Việt. Và mô hình nghiên cứu hiệu chỉnh sẽ được điều chỉnh lại như sau:



Hình 6. Mô hình nghiên cứu hiệu chỉnh

### Các giả thuyết nghiên cứu

H1: Nhân tố giá cả có quan hệ ngược chiều với đến quyết định lựa chọn tour du lịch Hàn Quốc của khách hàng tại công ty TNHH Cát Việt

H2: Nhân tố thương hiệu có quan hệ thuận chiều với đến quyết định lựa chọn tour du lịch Hàn Quốc của khách hàng tại công ty TNHH Cát Việt

H3: Nhân tố chất lượng dịch vụ tour có quan hệ thuận chiều với đến quyết định lựa chọn tour du lịch Hàn Quốc của khách hàng tại công ty TNHH Cát Việt

H4: Nhân tố dịch vụ chăm sóc khách hàng có quan hệ thuận chiều với đến quyết định lựa chọn tour du lịch Hàn Quốc của khách hàng tại công ty TNHH Cát Việt.

## 5. Giải pháp

Dựa vào mô hình lý thuyết đã được xây dựng và dữ liệu thu thập sau khi được kiểm tra độ tin cậy bằng hệ số Cronbach's Alpha, kỹ thuật phân tích nhân tố khám phá được sử dụng nhằm thu nhỏ và tóm tắt dữ liệu, rút trích từ các biến quan sát thành một số biến tổng hợp, việc kiểm định mô hình nghiên cứu được thực hiện bằng phân tích hồi quy tuyến tính bội.

Kết quả kiểm định cho thấy có 3 nhân tố ảnh hưởng đến sự hài lòng của khách hàng trên địa bàn thành phố Đà Nẵng. Đó là các nhân tố: Phương tiện - Giá cả (PTGC), Nhân viên (NV), Giá cả (GC).

### 5.1 Giá cả

Với tình hình thị trường du lịch ngày này, trong bối cảnh thị trường bùng nổ và cạnh tranh quyết liệt giữa các công ty du lịch trong và ngoài thành phố, bản thân doanh nghiệp không chỉ tạo

ra mức giá đáp ứng nhu cầu hiện tại của khách hàng và tình hình công ty cần phải đưa ra những chính sách về giá cả để cạnh tranh với các công ty đối thủ. Để làm được điều đó, công ty thực hiện như sau:

Đưa ra mức giá chương trình có tính cạnh tranh hơn so với các đơn vị khác, đổi mới cách thức quản lý, có biện pháp cải tạo nguồn tài chính, tiết kiệm chi phí nhưng vẫn đảm bảo được lợi nhuận, thu hút thêm những đối tượng khách mới khách cấp đôi, khách đi hưởng tuần trăng mật...

Thực hiện chính sách tăng số lượng sản phẩm dịch vụ của công ty.

Tăng cường tìm hiểu mức giá cạnh tranh của các công ty, doanh nghiệp đối thủ trên thị cạnh tranh qua đó định giá bán sản phẩm theo từng thời kỳ thích hợp nhằm bảo đảm sự tồn tại của doanh nghiệp trong môi trường cạnh tranh và đáp ứng nhu cầu sử dụng của khách hàng.

Thực hiện các chương trình khuyến mãi, ưu đãi về giá nhằm thu hút khách hàng với mức thu nhập khác nhau.

Ngoài ra công ty cần chú trọng đến các chính sách liên quan đến sự phát triển thương hiệu như uy tín, định vị thương hiệu, văn hoá doanh nghiệp, các chính sách liên quan đến marketing như chính sách giá, chính sách sản phẩm, chính sách phân phối và chính sách PR.

### 5.2 Về chất lượng dịch vụ

Chất lượng dịch vụ là yếu tố quan trọng để thu hút và giữ chân khách hàng, công ty cần chú trọng đến các yếu tố như:

- Tính kịp thời.
- Xây dựng cơ sở dữ liệu khách hàng.
- Nâng cao chất lượng quản lí, điều hành và cung cấp dịch vụ
- Tổ chức nghiên cứu nhu cầu của khách outbound bằng cách điều tra trực tiếp hoặc gián tiếp.
- Thiết lập quan hệ với các doanh nghiệp cung cấp dịch vụ tại Hàn Quốc.

- Phát triển sản phẩm và nâng cao chất lượng, nội dung chương trình tour du lịch.

- Luôn tìm tòi, phát triển các chương trình du lịch mới, bắt kịp xu hướng để đáp ứng nhu cầu của khách hàng.

### 5.3. Chăm sóc khách hàng

Doanh nghiệp cần thực hiện các giải pháp sau:

- Xây dựng hệ thống lưu trữ thông tin khách hàng.

- Tăng cường thu thập, tìm hiểu, học hỏi những sản phẩm dịch vụ với xu thế thị hiếu của khách hàng.

- Thường xuyên chia sẻ thông tin với những nhân viên trực tiếp tiếp xúc với khách hàng.

- Phát triển kênh công cụ đánh giá dịch vụ khách hàng.

- Thực hiện phân chia các nhóm khách hàng.

- Tăng cường các hoạt động tương tác thường xuyên với khách hàng. Công ty có thể lựa chọn các phương thức tương tác với khách hàng qua SMS, Email, Facebook, Zalo...

- Tổ chức các buổi đào tạo, hội thảo... cho nhân viên tham gia vào các tình huống thực tế và hướng dẫn cách thức giải quyết vấn đề một cách chuyên nghiệp.

## 6. Kết luận

Việc nghiên cứu các nhân tố ảnh hưởng đến quyết định lựa chọn của khách hàng là một việc làm cần thiết. Nó giúp cho công ty hiểu rõ hơn vị trí sản phẩm dịch vụ của mình trên thị trường cũng như hiểu rõ hơn về tâm lý khách hàng. Kết quả của cuộc điều tra chính là một căn cứ để giúp công ty đưa ra những quyết định hiện tại cũng như trong tương lai.

Qua điều tra khảo sát thực tế, chúng ta biết được khách hàng đánh giá về công ty như thế nào, công ty có vị trí như thế nào trong suy nghĩ của

khách hàng, cũng như chất lượng sản phẩm dịch vụ của mình ra sao, giá cả thế nào, dịch vụ chăm sóc khách hàng ra sao. Từ đó công ty có thể hiểu thêm về khách hàng của mình, đánh giá các thế mạnh của công ty so với các đối thủ cạnh tranh trên thị trường để đưa ra các giải pháp hợp lý.

Nhìn chung công ty TNHH Cát Việt đã khẳng định vị trí của mình trên thị trường. Tuy nhiên, họ vẫn còn một số tồn tại chưa làm hài lòng khách hàng. Qua cuộc điều tra nghiên cứu này công ty sẽ tìm ra những giải pháp tối ưu để đáp ứng nhu cầu và thị hiếu ngày càng cao của khách hàng.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Trương Hoàng Hoa Duyên, Phan Tiến Tài (2018) “*Phân tích các nhân tố ảnh hưởng đến quyết định lựa chọn dịch vụ du lịch hàn quốc tại công ty TNHH Cát Việt*”, Trường Đại học Duy Tân.
- [2] Th.S Trần Thị Kim Thoa (2015) “*Nghiên cứu Các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định lựa chọn điểm đến du lịch của du khách*”, Đại học Kinh tế TP.HCM.
- [3] Phạm Thúy Vân (2017) “*Nghiên cứu mô hình nghiên cứu nâng cao sự hài lòng của khách hàng về dịch vụ của Taxi Mai Linh*”. Đại học GTVT.
- [4] Mô hình lựa chọn địa điểm du lịch của Um & Crompton (2012).
- [5] Mô hình lựa chọn sản phẩm tour du lịch của Kamol Sanittham & Winayaporn Bhrannachote 2012.
- [6] Philip Kotler (2001), *Nghiên cứu về hành vi người tiêu dùng*, NXB Thống kê.
- [7] Vũ Cao Đàm (2008), *Phương pháp luận nghiên cứu khoa học*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [8] Nguyễn Đình Thọ (2011), “*Phương pháp nghiên cứu khoa học trong kinh doanh thiết kế và thực hiện*” NXB Lao động - Xã hội, Hà Nội.
- [9] Trọng và Chu Nguyễn Mộng Ngọc (2008), *Phân tích dữ liệu nghiên cứu với SPSS (Tập 1)*, NXB Hồng Đức, Tp. Hồ Chí Minh.
- [10] Hoàng Trọng và Chu Nguyễn Mộng Ngọc (2008), *Phân tích dữ liệu nghiên cứu với SPSS (Tập 1)*, NXB Hồng Đức, Tp. Hồ Chí Minh.
- [11] <https://travel.com.vn/du-lich-viet-nam.as>
- [12] TS Nguyễn Thượng Thái, (2007). Giáo trình “*Marketing dịch vụ*”, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông.



## Two greedy algorithms for finding long frequent itemsets

Hai thuật toán tham lam tìm tập phổ biến dài

Nguyễn Hữu Hiệp<sup>a,\*</sup>, Hoàng Ngọc Hà<sup>a</sup>

Huu Hiep Nguyen, Ngoc Ha Hoang

<sup>a</sup>*Viện Nghiên cứu Phát triển Công nghệ cao, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam*  
*Institute of Research and Development, Duy Tan University, Da Nang, Vietnam*

(Ngày nhận bài: 02/05/2019, ngày phản biện xong: 06/06/2019, ngày chấp nhận đăng: 10/06/2019)

### Abstract

Most of existing frequent itemset mining algorithms explore the full space of frequent itemsets which increases exponentially in the minimum support threshold. Moreover, the number of output itemsets is huge, making it difficult to find out which patterns are interesting. In this paper, we formulate a new mining task to quickly pinpoint longest (as possible) itemsets containing a given item and satisfying a certain minimum support. To tackle this problem, we first prove that the support of an itemset is an anti-monotone supermodular function and then propose two greedy algorithms to solve it. Experiments over real datasets confirm the effectiveness and efficiency of our methods.

*Keywords:* Long itemset mining, greedy algorithm, supermodular function

### Tóm tắt

Hầu hết các thuật toán khai thác tập phổ biến trước đây khảo sát toàn bộ không gian các tập phổ biến, không gian này tăng cấp số mũ theo ngưỡng hỗ trợ tối thiểu. Hơn nữa, số lượng tập tìm được rất lớn, khiến cho việc tìm ra mẫu có ý nghĩa trở nên khó khăn. Trong bài báo này, chúng tôi định nghĩa bài toán khai thác mới cho phép nhanh chóng tìm ra tập dài nhất (có thể) chứa một mục cho trước và thỏa ngưỡng hỗ trợ tối thiểu nào đó. Để giải quyết bài toán này, trước hết chúng tôi chứng minh rằng mức hỗ trợ của một tập là hàm supermodular đơn điệu không tăng. Sau đó chúng tôi đề xuất hai thuật toán tham lam để giải nó. Các thí nghiệm trên một số tập dữ liệu thực xác nhận tính hữu hiệu và hiệu suất của các phương pháp đó.

*Từ khóa:* Khai thác tập phổ biến dài, thuật toán tham lam, hàm supermodular

### I. Introduction

Frequent pattern mining, first proposed by Agrawal et al. [2], is one of the most important data mining problems that has been well recognized over the past two decades. A pattern is frequent if and only if it occurs in at least  $s$  transactions of a dataset, where  $s$  is user defined threshold. There have been thousands of research publications that extend the initial work by Agrawal et al. to a great number of settings such as mining association

rules [10], [11], approximate/uncertain patterns, rare/interesting patterns and so on (see [1, 5] for the most recent survey).

In most of the cases, the frequent pattern mining problem aims at mining all patterns satisfying a given condition, e.g. support threshold  $s$  [3]. However, by frequent pattern definition, any subset of a frequent itemset is also frequent. This well-known *downward closure* property leads to an explosive number of frequent

patterns. The introduction of closed frequent itemsets [12] and maximal frequent itemsets [8] partially alleviated this redundancy problem. The number of remaining patterns, unfortunately, is still explosive in size.

In this paper, we formulate a novel mining task to quickly pinpoint longest (as possible) itemsets containing a given item  $x$  and satisfying a certain minimum support  $s$ . Longer itemsets are usually of more significant meaning than shorter (trivial) ones. For example, long itemsets in basket-market analysis suggest big sets of items that are usually bought together. To tackle this problem, we first prove that the support of an itemset is an *anti-monotone supermodular* function [6]. We then propose two greedy algorithms to solve it. The first heuristic starts with  $i_0 = x$  and then tries to find the next candidate item  $i_1$  which co-exists most with  $i_0$  in all the transactions. The next items  $i_2, i_3, \dots$  are greedily added to the itemset as long as the support of the itemset does not drop below  $s$ . The second greedy method improves the runtime of the first one by using a max-heap to accelerate the search for the next candidate item. The idea of using a max-heap is inspired by [9] in which the author used it to maximize *monotone submodular* functions.

We review basic concepts of frequent itemset mining and formulate the new mining task in the next section. The two greedy methods are described in Section III followed by the evaluation (Section IV). Finally, we conclude the paper and propose future work in Section V.

## II. Problem formulation

In this section, we review basic concepts of frequent itemset mining and formulate the problem of mining longest itemsets.

### A. Frequent itemset mining

We assume a dataset  $DB$  consists of  $n$  transactions such that each transaction contains a number of items belonging to  $I$  where  $I = \{i_1, i_2, \dots, i_m\}$  is the set of all items in  $DB$ .

The support of an itemset  $X$ , denoted by  $\rho(X)$  where  $X \subset I$ , is the number of transactions in  $DB$  which contain all the items in  $X$ . An itemset  $X$  is a “frequent itemset” if  $\rho(X) \geq s$ , where  $s$  is a given threshold. Note that a frequent itemset with  $k$  elements is called a frequent  $k$ -itemset, and  $F_k$  is the set of frequent  $k$ -itemsets.

*Downward closure* (or *anti-monotone*) property [2]:

$$\forall X: \forall Y \supseteq X, \rho(Y) \leq \rho(X) \quad (1)$$

That means if an itemset is extended, its support cannot increase. In other words, no superset of an infrequent item set can be frequent. This fact suggests that we can start the search from small itemsets to larger ones. In the search process, if we know that an itemset  $X$  is infrequent, we will no longer extend its branch [2].

Table 1 shows a  $DB$  of 10 transactions with  $I = \{a, b, c, d, e\}$ . The  $s$  is fixed to 3, i.e., itemsets with frequency at least 3 will be output, e.g.,  $\{a, c\}$  with frequency 4 as it appears in the transactions 3, 4, 6 and 8.

$DB$  can be represented in vertical format in which each itemset has its own list of transaction ids (TID-list) as shown in Table I. The TID-list of an itemset  $X$  is denoted  $T(X)$  and the TID-list of an itemset is simply the intersection of TID-lists of constituent items. For example,  $T(a) = \{1, 3, 4, 5, 6, 8, 10\}$  and  $T(ac) = T(a) \cap T(c) = \{3, 4, 6, 8\}$ . Clearly  $\rho(X) = |T(X)|$ .

Table 1. An example transaction dataset

Transaction	Items	a	b	c	d	e
1	a, d, e	x			x	x
2	b, c, d		x	x	x	
3	a, c, e	x		x		x
4	a, c, d, e	x		x	x	x
5	a, e	x				x
6	a, c, d	x		x	x	
7	b, c		x	x		
8	a, c, d, e	x		x	x	x
9	b, c, e		x	x		x
10	a, d, e	x			x	x

**B. Longest itemset for a given item**

We introduce a novel mining task that may be useful for quick exploration over a transaction database: given an item  $x$  and a threshold  $s$ , finding the longest (as possible) itemset that includes  $x$  with the support not less than  $s$ .

For example, with item  $a$  and  $s = 3$ , we found that  $X = ade$  with  $\rho(X) = 4$  is the longest itemset including  $a$  and has the support not less than 3.

A *submodular* function  $f: 2^V \rightarrow R$  assigns a subset  $A \subseteq V$  a utility value  $f(A)$  - measuring the representativeness of the set - such that  $f(A \cup \{i\}) - f(A) \geq f(B \cup \{i\}) - f(B)$  for any  $A \subseteq B \subseteq V$  and  $i \in V \setminus B$  (see [6]). We say a submodular function is *monotone* if for any  $A \subseteq B \subseteq V$  we have  $f(A) \leq f(B)$ . Similarly,  $f$  is *supermodular* (antimonotonic) if  $-f$  is submodular (monotonic) respectively.

Now we prove that the support  $\rho(X)$  is an *anti-monotone supermodular* function.

**Theorem II.1.**  $\rho(X)$  is an anti-monotone supermodular function, i.e.  $\rho(A \cup \{i\}) - \rho(A) \leq \rho(B \cup \{i\}) - \rho(B)$  and  $\rho(A) \geq \rho(B)$  for any  $A \subseteq B \subseteq V$  and  $i \in V \setminus B$ .

*Proof.* The anti-monotonicity of  $\rho$  is trivial because of downward closure property.

The supermodularity of  $\rho$  is visually proved in Fig.1. Because  $A \subseteq B$ , we have  $T(B) \subseteq T(A)$ . Let  $p1, p2, p3$  and  $p4$  be the disjoint areas, we have  $T(A) = p1 + p2 + p3 + p4$ ,  $T(B) = p2 + p3$ ,  $T(A \cup \{i\}) = p3 + p4$  and  $T(B \cup \{i\}) = p3$ .

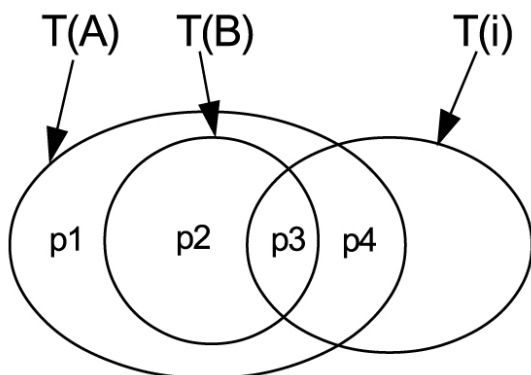


Figure 1. Proof of supermodularity of  $\rho$ .

Clearly,  $\rho(A \cup \{i\}) - \rho(A) = -(p1 + p2) \leq -p2 = \rho(B \cup \{i\}) - \rho(B)$ . That completes the proof.

**III. Greedy algorithms**

In this section, we propose two greedy algorithms *LISGreedy* and *LIS-Lazy-Greedy* (LIS stands for Long Itemset) to heuristically find the longest itemset for  $x$  w.r.t the threshold  $s$ .

**A. LIS-Greedy**

The main idea of LIS-Greedy is simple: with the current itemset  $X$  containing  $k$  items  $i_0, i_1, \dots, i_{k-1}$ , we try to find  $i_k \notin X$  such that  $\rho(X \cup \{i_k\}) \geq s$  and remains as large as possible. This means we find  $i_k \notin X$  that has the largest TID intersection with  $X$ .

Algorithm 1 depicts main steps of LIS-Greedy.  $X$  stores the most updated longest itemset found while  $R$  keeps the remaining candidates. In each iteration, we evaluate the intersection size  $s_i$  between  $T(X)$  and  $T(i), i \in R$  (Line 5). If  $s_i < s$ , we remove  $i$  from  $R$  (Lines 6-7) because the downward closure property ensures that  $s_i$  keeps decreasing in later iterations (so  $i$  cannot be included in  $X$ ). The best candidate item  $i_{max}$  is updated in Lines 8-10. At the end of the inner loop, it is moved from  $R$  to  $X$  (Lines 11-13).

The worst-case complexity of LIS-Greedy is  $O(nm^2)$  in which we need  $O(n)$  for the evaluation in Line 5.

**B. LIS-Lazy-Greedy**

Inspired by Lazy-Greedy technique in [9], we propose LIS-Lazy-Greedy using a max-heap of upper-bounds. An upperbound  $u_i$  for  $s_i$  guarantees that  $u_i \geq s_i$  at any time. The maxheap costs  $O(1)$  for maximum element lookup and  $O(\log m)$  for insertion. While the worst-case complexity is the same, i.e.  $O(nm^2)$ , in practice this max-heap structure usually has a considerable speedup over the standard LIS-Greedy.

The main steps of LIS-Lazy-Greedy are summarized in Algorithm 2. We initialize the max-heap  $H$  in Lines 1 - 4. In each iteration, the best candidate  $i_{max}$  is found using  $H$ . If the upper-

bound of the top item  $i$  from  $H$  is smaller than  $s$ , we know that all the items in  $H$  cannot extend  $X$  any more (Lines 9 - 10) and stop the outer loop. Otherwise, we evaluate  $s_i$  (Line 11) and repush it into  $H$  if  $s_i \geq s$  (Lines 12 - 14), i.e.  $u_i$  is now equal to  $s_i$ . After this operation, if the top item from  $H$  is again  $i$ , we know firmly that  $i$  is the best candidate of this iteration (Lines 16-19) and set  $i_{max} = i$ .

---

**Algorithm 1** LIS-Greedy
 

---

**Input:**  $DB$  : database with  $n$  transactions,  $x$ : the first item to include,  $s$  threshold support.

**Output:**  $X$  longest itemset containing  $x$  and  $\rho(X) \geq s$ .

```

1:  $X = \{x\}$ ,  $R = I \setminus \{i\}$ 
2: while true do
3:    $i_{max} = null$ ,  $s_{max} = 0$ 
4:   for  $i \in R$  do
5:      $s_i = |T(X) \cap T(i)|$ 
6:     if  $s_i < s$  then
7:        $R = R \setminus \{i\}$ 
8:     else if  $s_i \geq s$  AND  $s_i > s_{max}$  then
9:        $i_{max} = i$ 
10:       $s_{max} = s_i$ 
11:   if  $i_{max} \neq null$  then
12:      $X = X \cup \{i_{max}\}$ 
13:      $R = R \setminus \{i_{max}\}$ 
14:   else
15:     break
16: return  $X$ .
```

---

**Algorithm 2** LIS-Lazy-Greedy
 

---

**Input:**  $DB$  : database with  $n$  transactions,  $x$ : the first item to include,  $s$  threshold support.

**Output:**  $X$  longest itemset containing  $x$  and  $\rho(X) \geq s$ .

```

1:  $X = \{x\}$ ,  $H = \emptyset$ 
2: for  $i \in I \setminus \{x\}$  do
3:    $u_i = |T(x) \cap T(i)|$  ▷ initial upper-bounds
4:    $push(H, i, u_i)$ 
5: while true do
6:    $i_{max} = null$ 
7:   while  $H.size > 0$  do
8:      $i, u_i = pop(H)$ 
9:     if  $u_i < s$  then ▷ all items in  $H$  are infeasible
10:      break
11:      $s_i = |T(X) \cap T(i)|$  ▷ evaluation for  $i$ 
12:     if  $s_i \geq s$  then
13:        $u_i = s_i$ 
14:        $push(H, i, u_i)$  ▷ repush  $i$  to  $H$ 
15:        $t = peek(H)$ 
16:       if  $t == i$  then ▷  $i$  is the best choice
17:          $pop(H)$  ▷ remove  $i$  from  $H$ 
18:          $i_{max} = i$ 
19:       break
20:   if  $i_{max} \neq null$  then
21:      $X = X \cup \{i_{max}\}$ 
22:   else
23:     break
24: return  $X$ .
```

---

Table 2. Dataset properties

Dataset	#Items	#Trans	Avg.Length	s
T40I10D100K	942	100,000	39.6	50, 100
MovieLens-1M	3,706	6,040	165.6	300, 600
Retail	16,470	88,162	10.3	10, 20
Kosarak	41,270	990,002	8.1	1000, 2000
Accidents	468	340,183	33.8	2000, 4000
Chess	75	3,196	37.0	5, 10

## IV. Experiments

In this section, we show that LIS-Greedy and LIS-LazyGreedy can find long itemsets effectively and the latter improves the runtime of the former. The datasets are described in Sections IV-A. We report effectiveness of the two algorithms in Section IV-B and the runtime improvement of LIS-LazyGreedy in Section IV-C. The algorithms are implemented in C++ and run on a desktop PC with Intel<sup>®</sup> Core i7-6700@3.4Ghz, 16GB memory.

### A. Experiment Setup

We use six datasets as shown in Table 2. The datasets were downloaded from FIMI repository (<http://fimi.ua.ac.be>) and KONECT repository (<http://konect.uni-koblenz.de/networks/>). The columns #Items, #Trans, Avg.Length and s show the number of items, number of transactions, average transaction length and the range of s value respectively.

*T40I10D100K* is a synthetic dataset from [2].

*MovieLens-1M* is a bipartite network containing one million movie ratings from <http://movielens.umn.edu/>. Movies play the role of items and ratings of each user stand for a transaction. *Retail* is anonymous retail market basket data from an anonymous Belgian retail store.

*Kosarak* contains sequences of click-stream data from a Hungarian news portal.

*Accidents* contains traffic accident data.

*Chess* is converted from UCI chess dataset. Each transaction is an instance of the chess game



and items describe the board and the outcome of the game.

We run each algorithm with all initial items  $x \in I$ . The duplicate itemsets in the output are removed.

**B. Effectiveness**

We count the number of itemsets of the same length and report the top-5 pairs of (length:count) in Table III. As  $s$  increases, the length of found itemsets gets shorter as expected. Our two algorithms can find itemsets of the same length as in exact (but costly) methods such as FP-Growth\* [7], PrePost+ [4]. Recall that due to the downward closure property, all nonempty subsets of a frequent itemset  $X$  (there are  $2^{|X|} - 1$  such subsets) are also frequent. This means for large  $|X|$ , say  $|X| = 20$ , we avoid the explicit listing of millions of itemsets as in exact methods.

**C. Comparison of runtime**

In terms of runtime, LIS-Lazy-Greedy runs faster than LISGreedy up to 5 times as shown in Table 4.

Table 3. Length statistics of found itemsets (top-5 pairs of length:count)

Dataset	s	Length statistics of found itemsets
T40I10D100K	50	17:9,18:5,19:9,20:3,21:1
	100	16:12,17:6,18:7,19:8,20:1
MovieLens-1M	300	13:24,14:18,15:30,16:22,17:6
	600	7:25,8:11,9:5,10:9,11:2
Retail	10	7:8,8:1,9:5,10:1,11:1
	20	4:1012,5:200,6:24,7:3,8:1
Kosarak	1000	11:1,12:3,13:2,15:1,18:1
	2000	7:10,9:1,10:1,11:1,12:2
Accidents	2000	21:18,22:9,23:8,24:8,25:9
	4000	20:10,21:6,22:7,23:7,24:4
Chess	5	30:1,31:1,33:18,34:48,35:1
	10	28:1,31:4,32:19,33:33,34:1

Table 4. LIS-Greedy vs. LIS-Lazy-Greedy in terms of runtime (in seconds)

Dataset	s	LIS-Greedy	LIS-Lazy-Greedy	Speedup
T40I10D100K	50	42.05	8.73	4.8
	100	24.24	7.25	3.3
MovieLens-1M	300	9.42	1.95	4.8
	600	2.11	0.50	4.2

Retail	10	40.08	12.93	3.1
	20	26.75	9.04	3.0
Kosarak	1000	41.26	9.61	4.3
	2000	14.95	3.57	4.2
Accidents	2000	81.91	15.04	5.4
	4000	69.36	13.46	5.2
Chess	5	0.43	0.11	3.9
	10	0.43	0.11	3.9

This fact confirms the effectiveness of max-heap trick for upper-bound  $u$ . As  $s$  increases, the longest itemset for  $x$  gets shorter, so the runtime decreases.

**V. Conclusion**

We have presented the problem of finding longest (as possible) itemset containing a given item and satisfying a minimum threshold. In contrast to exactly mining all itemsets satisfying the minimum support, our proposed problem aims at quick exploration of transaction databases in which longer itemsets are much more important than shorter ones. We prove that the support function is anti-monotonic or supermodular. We then propose two greedy algorithms to solve the problem approximately. Evaluation over six datasets confirms that our methods can quickly find long itemsets and LIS-Lazy-Greedy improves the runtime with the max-heap trick. For future work, we plan to prove that the problem is NP-Complete and extend the search from 2-itemsets instead of 1- itemsets.

**References**

- [1] C. C. Aggarwal and J. Han. *Frequent pattern mining*. Springer, 2014.
- [2] R. Agrawal, R. Srikant, et al. Fast algorithms for mining association rules. In *Proc. 20th int. conf. very large data bases, VLDB*, volume 1215, pages 487–499, 1994.
- [3] N. Aryabarzan, B. Minaei-Bidgoli, and M. Teshnehlab. negfin: An efficient algorithm for fast mining frequent itemsets. *Expert Systems with Applications*, 105:129–143, 2018.
- [4] Z.-H. Deng and S.-L. Lv. Prepost+: An efficient n-lists-based algorithm for mining frequent itemsets via children–parent equivalence pruning. *Expert Systems with Applications*, 42(13):5424–5432, 2015.
- [5] P. Fournier-Viger, J. C.-W. Lin, T. Truong-Chi, and

- R. Nkambou. A survey of high utility itemset mining. In *High-Utility Pattern Mining*, pages 1–45. Springer, 2019.
- [6] S. Fujishige. *Submodular functions and optimization*, volume 58. Elsevier, 2005.
- [7] G. Grahne and J. Zhu. Fast algorithms for frequent itemset mining using fp-trees. *IEEE transactions on knowledge and data engineering*, 17(10):1347–1362, 2005.
- [8] D. Gunopulos, H. Mannila, R. Khardon, and H. Toivonen. Data mining, hypergraph transversals, and machine learning. In *Proceedings of the sixteenth ACM SIGACT-SIGMOD-SIGART symposium on Principles of database systems*, pages 209–216. Citeseer, 1997.
- [9] M. Minoux. Accelerated greedy algorithms for maximizing submodular set functions. In *Optimization techniques*, pages 234–243. Springer, 1978.
- [10] L. T. Nguyen, N.-T. Nguyen, B. Vo, and H. S. Nguyen. Efficient method for updating class association rules in dynamic datasets with record deletion. *Applied Intelligence*, 48(6):1491–1505, 2018.
- [11] L. T. Nguyen, B. Vo, L. T. Nguyen, P. Fournier-Viger, and A. Selamat. Etarm: an efficient top-k association rule mining algorithm. *Applied Intelligence*, 48(5):1148–1160, 2018.
- [12] N. Pasquier, Y. Bastide, R. Taouil, and L. Lakhal. Discovering frequent closed itemsets for association rules. In *International Conference on Database Theory*, pages 398–416. Springer, 1999.

# Ảnh hưởng của tần số phonon lên trạng thái điện môi exciton

## Influence of phonon frequency on the excitonic insulator state

Đỗ Thị Hồng Hải<sup>a,b,c</sup>, Phan Văn Nhâm<sup>d,\*</sup>

Hong Hai Do Thi, Van Nham Phan

<sup>a</sup>Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội  
Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet, Hanoi

<sup>b</sup>Viện Vật lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội  
Institute of Physics, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet, Hanoi

<sup>c</sup>Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 18 Phố Viên, Bắc Từ Liêm, Hà Nội  
Hanoi University of Mining and Geology, 18 PhoVien, Bac Tu Liem, Hanoi

<sup>d</sup>Viện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ cao, Đại học Duy Tân, 3 Quang Trung, Đà Nẵng  
Institute of Research and Development, Duy Tan University, 3 Quang Trung, Da Nang

(Ngày nhận bài: 16/04/2019, ngày phản biện xong: 15/05/2019, ngày chấp nhận đăng: 01/06/2019)

### Tóm tắt

Trong gần đúng Hartree-Fock, ảnh hưởng của giới hạn phonon cứng/mềm lên trạng thái điện môi exciton (EI) trong hệ bán kim loại được nghiên cứu khi chúng tôi khảo sát mô hình điện tử hai chiều hai dải năng lượng có sự liên kết với phonon. Chúng tôi thu được hệ các phương trình tự hợp cho phép xác định các tham số trật tự mô tả trạng thái điện môi exciton phụ thuộc vào tần số phonon. Trên cơ sở của kết quả tính số, chúng tôi thiết lập các giản đồ pha trạng thái ngưng tụ exciton. Giản đồ pha khẳng định hệ ở trạng thái EI khi tương tác điện tử - phonon đủ lớn và nhiệt độ đủ thấp. Vùng exciton ngưng tụ bị thu hẹp khi tăng tần số phonon.

*Từ khóa:* mô hình điện tử hai chiều hai dải năng lượng có sự liên kết với phonon, gần đúng Hartree-Fock, giản đồ pha trạng thái EI, tần số phonon

### Abstract

In the framework of the Hartree-Fock approach, phonon hardening and softening effects on the excitonic insulator (EI) state in the semimetal are analyzed when the two-band model with a coupling to the phonon is considered. We have derived a set of self-consistent equations determining the excitonic condensate order parameters which depend on the phonon frequency. Phase diagram of the EI state is then established. If the electron-phonon coupling is sufficiently large, one finds the EI state at low temperature. The EI regime is depressed if the phonon frequency is increased.

*Keywords:* two-dimensional two-band model with a coupling to the phonon, Hartree-Fock approximation, EI state phase diagrams, phonon frequency.

### 1. Mở đầu

Trạng thái điện môi exciton (EI) hay trạng thái ngưng tụ của exciton gần đây đã trở thành một trong những đối tượng hấp dẫn, thu hút sự

tập trung nghiên cứu của các nhà vật lý cả trên lĩnh vực lý thuyết [1, 2] và thực nghiệm [3, 4]. Điện tử và lỗ trống đều có spin bán nguyên nên exciton có spin nguyên và vì vậy khi nhiệt độ đủ

thấp, những exciton này có thể tồn tại ở trạng thái ngưng tụ Bose-Einstein giống như những hạt boson [5]. Hơn nữa, khối lượng hiệu dụng của exciton rất nhỏ, cỡ 1/10 khối lượng của điện tử tự do. Điều đó mở ra khả năng quan sát được trạng thái ngưng tụ BEC ở nhiệt độ phòng nếu mật độ exciton trong hệ đủ lớn.

Thông thường, với thời gian sống cỡ pico giây đến mili giây, giả hạt exciton khó hình thành trạng thái cơ bản, do điện tử và lỗ trống có thể dễ dàng tách ra và bức xạ photon, hoặc phân rã do những khiếm khuyết mạng tinh thể. Tuy nhiên, tại vùng có chuyển pha bán kim loại - bán dẫn, trạng thái cơ bản của tinh thể có thể trở nên không ổn định đối với sự hình thành tự phát của exciton. Ở nhiệt độ thấp, những giả hạt boson phức hợp này sẽ ngưng tụ và hình thành một trạng thái lượng tử kết hợp-pha vĩ mô gọi là trạng thái điện môi exciton - EI. Mặc dù sự tồn tại trạng thái EI trong các hệ bán kim loại, bán dẫn được tiên đoán cách đây hơn nửa thế kỷ [6], nhưng quan sát thực nghiệm về trạng thái này đến nay vẫn còn khiêm tốn. Chẳng hạn như, từ kết quả quan sát sự phụ thuộc nhiệt độ của quang phổ điện tử (ARPES) trên kim loại chuyển tiếp 1T-TiSe<sub>2</sub> người ta suy đoán sự tồn tại trạng thái EI cùng với sự xuất hiện của trạng thái sóng mật độ điện tích [7, 8]. Hay dấu hiệu quang phổ phát xạ tia X và ARPES trên vật liệu giả một chiều Ta<sub>2</sub>NiSe<sub>5</sub> cho thấy trạng thái cơ bản của hệ có thể được xem như là trạng thái EI giữa lỗ trống Ni 3d - Se 4p và điện tử Ta 5d [9]. Chính vì vậy, việc khảo sát kỹ lưỡng về bản chất trạng thái EI đang được quan tâm nghiên cứu trên cả lĩnh vực lý thuyết và thực nghiệm.

Trạng thái ngưng tụ exciton đã được nghiên cứu một cách kỹ lưỡng trong khuôn khổ các mô hình hoàn toàn điện tử, loại exciton khối lượng hiệu dụng Mott - Wannier [10, 11] và mô hình Falicov-Kimball mở rộng [12 - 14]. Trong đó, tương tác giữa điện tử với phonon đã được bỏ qua. Gần đây, khi nghiên cứu trạng thái ngưng tụ

của exciton trong kim loại chuyển tiếp Ta<sub>2</sub>NiSe<sub>5</sub> bằng tính toán cấu trúc vùng và phân tích trường trung bình cho mô hình Hubbard chuỗi ba với bậc tự do phonon, T. Kaneko đã khẳng định cấu trúc mạng tinh thể thay đổi từ dạng thoi sang dạng đơn tà [15]. Bên cạnh đó, một số thí nghiệm gần đây trên vật liệu bán kim loại 1T-TiSe<sub>2</sub> [16, 17] đã cho thấy sự biến dạng mạng tinh thể là đáng kể và là cơ sở để hình thành trạng thái EI. Rõ ràng, sự lệch mạng hay ảnh hưởng của phonon là rất quan trọng trong các loại vật liệu này, đặc biệt là trong việc hình thành trạng thái ngưng tụ exciton.

Trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu lý thuyết về sự hình thành trạng thái EI trong mô hình điện tử hai chiều hai dải năng lượng có kể đến tương tác điện tử - phonon bằng phương pháp gần đúng Hartree-Fock. Đây là một phương pháp tiếp cận trường trung bình nhưng cho phép tách riêng các tham số trật tự exciton. Trong đó, chúng tôi tập trung thiết lập giản đồ pha biểu thị ảnh hưởng của phonon và nhiệt độ lên trạng thái ngưng tụ exciton trong mô hình.

Bài báo được chia thành 4 phần. Trong đó, phần 2 chúng tôi trình bày mô hình điện tử hai chiều hai dải năng lượng có tương tác điện tử - phonon. Trong phần này, chúng tôi áp dụng lý thuyết Hartree-Fock cho mô hình và rút ra hệ phương trình tự hợp cho phép xác định tham số trật tự trạng thái EI. Kết quả tính số và thảo luận được thể hiện ở phần 3. Cuối cùng, phần 4 trình bày kết luận của bài báo.

## 2. Mô hình và phương pháp lý thuyết

Trong biểu diễn xung lượng, mô hình hai dải năng lượng có tương tác điện tử - phonon được mô tả bởi Hamiltonian sau:

$$\mathcal{H}_0 = \sum_{\mathbf{k}} \varepsilon_{\mathbf{k}}^e e_{\mathbf{k}}^\dagger e_{\mathbf{k}} + \sum_{\mathbf{k}} \varepsilon_{\mathbf{k}}^h h_{\mathbf{k}}^\dagger h_{\mathbf{k}} + \omega_0 \sum_{\mathbf{q}} b_{\mathbf{q}}^\dagger b_{\mathbf{q}} + \frac{g}{\sqrt{N}} \sum_{\mathbf{k}, \mathbf{q}} \left[ e_{\mathbf{k}+\mathbf{q}}^\dagger h_{\mathbf{k}}^\dagger (b_{-\mathbf{q}}^\dagger + b_{\mathbf{q}}) + H.c. \right] \quad (1)$$

trong đó, hai số hạng đầu lần lượt biểu thị động



năng của điện tử trên dải dẫn và của lỗ trống trên dải hóa trị với  $e_{\mathbf{k}}^{\dagger}(e_{\mathbf{k}})$ ,  $h_{\mathbf{k}}^{\dagger}(h_{\mathbf{k}})$  tương ứng là các toán tử sinh (hủy) của các điện tử và lỗ trống có xung lượng  $\mathbf{k}$ . Động năng của phonon với năng lượng phonon không tán sắc  $\omega_0$  được mô tả bởi số hạng thứ ba trong phương trình (1) với  $b_{\mathbf{q}}^{\dagger}$  và  $b_{\mathbf{q}}$  là toán tử sinh và hủy phonon tại xung lượng  $\mathbf{q}$ .

Trong gần đúng liên kết chặt, các hệ thức tán sắc cho điện tử  $e$  và lỗ trống  $h$  được cho bởi:

$$\varepsilon_{\mathbf{k}}^{e,h} = \varepsilon^{e,h} - t^{e,h} \gamma_{\mathbf{k}} - \mu, \quad (2)$$

với  $\varepsilon^{e,h}$  là năng lượng trên một nút của điện tử  $e$  và lỗ trống  $h$ . Sự khác nhau của hai giá trị năng lượng này cho mức độ xen phủ của hai dải năng lượng.  $t^{e,h}$  là tích phân nhảy nút. Thông thường  $t^h$  được chọn nhỏ hơn  $t^e$  thể hiện lỗ trống trên dải hóa trị kém linh động hơn điện tử trên dải dẫn. Trong mạng hai chiều hình vuông,  $\gamma_{\mathbf{k}} = 2(\cos k_x + \cos k_y)$  chỉ bước nhảy trong mạng tinh thể và  $\mu$  là thế hóa học. Số hạng cuối cùng trong phương trình (1) mô tả tương tác của hệ điện tử - lỗ trống và phonon với hằng số tương tác  $g$ , được viết trong không gian xung lượng  $\mathbf{k}$ , trong sự kích thích điện tử  $e$  - lỗ trống  $h$  và sự lệch mạng tinh thể;  $N$  là số nút mạng tinh thể. Đây có thể được xem là tương tác hiệu dụng exciton - phonon. Trong bài báo này, chúng tôi chọn  $t^h < 0$  và  $|t^h| < t^e$  để phù hợp với trạng thái của hệ điện tử trong vật liệu  $\text{TmSe}_{0.45}\text{Te}_{0.55}$ . Như vậy, điện tử  $e$  sẽ được xem như “nhẹ” trong khi lỗ trống  $h$  xem như “nặng” và thể hiện một trạng thái liên kết gián tiếp  $e-h$  được hỗ trợ bởi sự chuyển phonon dạng  $\Gamma-X$ . Tại nhiệt độ đủ thấp, các exciton với xung lượng hữu hạn.  $\mathbf{Q} = (\pi, \pi)$  có thể ngưng tụ, được thể hiện bởi giá trị mật độ cặp điện tử - lỗ trống  $d_{\mathbf{k}} = \langle e_{\mathbf{k}+\mathbf{Q}}^{\dagger} h_{\mathbf{k}}^{\dagger} \rangle$  khác không. Đại lượng này biểu thị sự lai hóa giữa điện tử và lỗ trống nên được gọi là tham số trật tự trạng thái ngưng tụ cặp điện tử - lỗ trống. Tham số trật tự khác không thể hiện hệ ở trạng thái điện môi exciton.

Trong gần đúng Hartree-Fock, Hamiltonian trong phương trình (1) dễ dàng được chéo hóa bằng phép biến đổi Bogoliubov [18]

$$C_{1\mathbf{k}}^{\dagger} = u_{\mathbf{k}} e_{\mathbf{k}+\mathbf{Q}}^{\dagger} + v_{\mathbf{k}} h_{\mathbf{k}}, \quad (3)$$

$$C_{2\mathbf{k}}^{\dagger} = -v_{\mathbf{k}} e_{\mathbf{k}+\mathbf{Q}}^{\dagger} + u_{\mathbf{k}} h_{\mathbf{k}}, \quad (4)$$

và định nghĩa toán tử phonon mới

$$B_{\mathbf{q}}^{\dagger} = b_{\mathbf{q}}^{\dagger} + \sqrt{N} \left( \frac{\chi}{\omega_0} \right) \delta_{\mathbf{q},\mathbf{Q}}. \quad (5)$$

Bỏ qua các hằng số thì Hamiltonian chéo hóa hoàn toàn có dạng

$$\mathcal{H}_{dia} = \sum_{\mathbf{k}} [E_{\mathbf{k}}^1 C_{1\mathbf{k}}^{\dagger} C_{1\mathbf{k}} + E_{\mathbf{k}}^2 C_{2\mathbf{k}}^{\dagger} C_{2\mathbf{k}}] + \omega_0 \sum_{\mathbf{q}} B_{\mathbf{q}}^{\dagger} B_{\mathbf{q}}, \quad (6)$$

trong đó các năng lượng trạng thái giả hạt được cho bởi

$$E_{\mathbf{k}}^{1,2} = \frac{\varepsilon_{\mathbf{k}}^h + \varepsilon_{\mathbf{k}+\mathbf{Q}}^e}{2} \mp \frac{\text{sgn}(\varepsilon_{\mathbf{k}}^h - \varepsilon_{\mathbf{k}+\mathbf{Q}}^e)}{2} W_{\mathbf{k}}, \quad (7)$$

với

$$u_{\mathbf{k}}^2 = \frac{1}{2} \left[ 1 + \text{sgn}(\varepsilon_{\mathbf{k}}^h - \varepsilon_{\mathbf{k}+\mathbf{Q}}^e) \frac{(\varepsilon_{\mathbf{k}}^h - \varepsilon_{\mathbf{k}+\mathbf{Q}}^e)}{W_{\mathbf{k}}} \right], \quad (8)$$

$$v_{\mathbf{k}}^2 = \frac{1}{2} \left[ 1 - \text{sgn}(\varepsilon_{\mathbf{k}}^h - \varepsilon_{\mathbf{k}+\mathbf{Q}}^e) \frac{(\varepsilon_{\mathbf{k}}^h - \varepsilon_{\mathbf{k}+\mathbf{Q}}^e)}{W_{\mathbf{k}}} \right], \quad (9)$$

$$W_{\mathbf{k}} = \left[ (\varepsilon_{\mathbf{k}}^h - \varepsilon_{\mathbf{k}+\mathbf{Q}}^e)^2 + 4|\Delta|^2 \right]^{1/2}, \quad (10)$$

$$\text{và } \Delta = \frac{g}{\sqrt{N}} \langle b_{\mathbf{Q}}^{\dagger} + b_{\mathbf{Q}} \rangle, \quad (11)$$

được xem như tham số trật tự trạng thái ngưng tụ exciton. Số hạng tỉ lệ với  $\langle b_{\mathbf{Q}}^{\dagger} + b_{\mathbf{Q}} \rangle$  cho ta sự biến dạng mạng khi có mặt của phonon trong hệ. Từ phương trình (6), ta có thể xác định được mật độ cặp điện tử - lỗ trống, được xem là tham số trật tự trạng thái ngưng tụ exciton

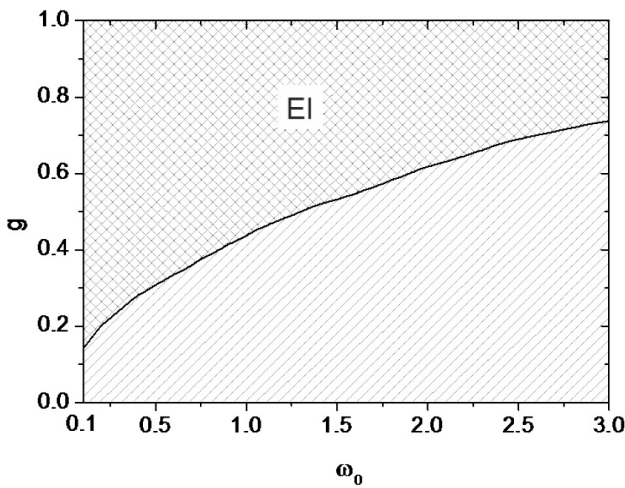
$$d_{\mathbf{k}} = -\text{sgn}(\varepsilon_{\mathbf{k}}^h - \varepsilon_{\mathbf{k}+\mathbf{Q}}^e) \left[ f(E_{\mathbf{k}}^1) - f(E_{\mathbf{k}}^2) \right] \frac{\Delta}{W_{\mathbf{k}}}, \quad (12)$$

với  $f(E_{\mathbf{k}})$  là hàm phân bố Fermi-Dirac.

### 3. Kết quả tính số và thảo luận

Trong phần này, chúng tôi trình bày kết quả tính số để thảo luận ảnh hưởng của tương tác điện tử - phonon và nhiệt độ lên sự ngưng tụ của exciton trong mô hình thông qua các giản đồ pha. Kết quả được tìm ra từ việc giải số các phương

trình tự hợp trong gần đúng Hartree-Fock. Hệ ở trạng thái EI khi tham số trật tự khác không. Trong bài toán này, chúng tôi chọn hệ hai chiều với  $N = 150 \times 150$  nút mạng. Không làm mất tính tổng quát, chúng tôi chọn  $t^e = 1$  coi là đơn vị của năng lượng,  $t^h = -0.3$  và cố định mức độ xen phủ của hai dải năng lượng điện tử  $e$  và lỗ trống  $h$ :  $\varepsilon^e - \varepsilon^h = 1$ . Chúng tôi quan tâm tới trạng thái lấp đầy một nửa, tức là tổng mật độ hạt điện tử và lỗ trống thỏa mãn  $n^e + n^h = 1$ . Thế hóa  $\mu$  được thay đổi để thỏa mãn điều kiện này. Các kết quả tính toán được thực hiện trong hệ đơn vị năng lượng tổng quát với  $\hbar = c = k_B = 1$ .

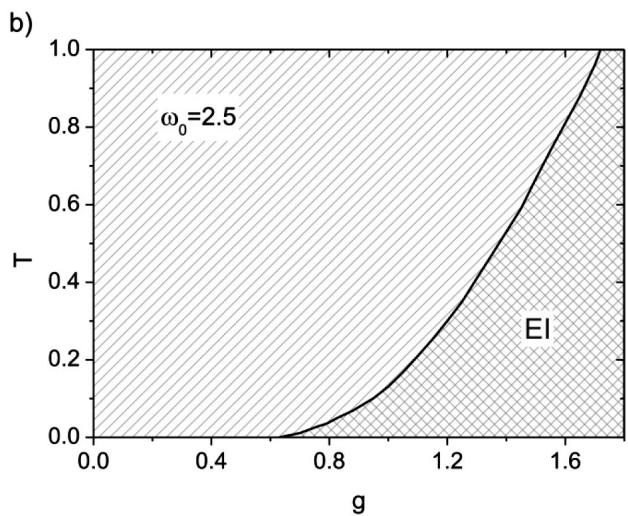
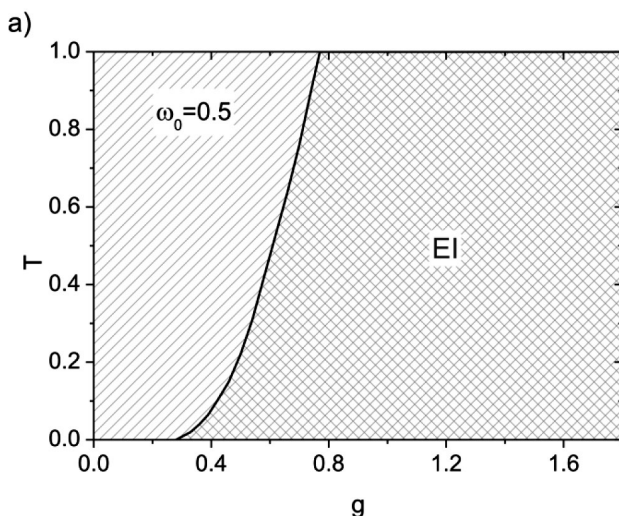


Hình 1. Giản đồ pha trạng thái cơ bản của mô hình trong mặt phẳng  $(\omega_0, g)$ . Pha ngưng tụ exciton (EI) được biểu thị bởi vùng kẻ caro.

Hình 1 biểu thị giản đồ pha trạng thái ngưng tụ cặp điện tử - lỗ trống của mô hình trong mặt

phẳng  $(\omega_0, g)$  khi tại nhiệt độ không. Giản đồ pha cho thấy với tần số phonon xác định, ta luôn tìm thấy vùng ngưng tụ exciton khi hằng số tương tác điện tử - phonon lớn hơn giá trị tới hạn  $g_c$ . Giá trị tới hạn  $g_c$  này tăng lên khi tăng tần số phonon. Đặc tính này đã được đề cập trong các trường hợp một chiều, trong đó mỗi quan hệ tuyến tính giữa bình phương hằng số tương tác tới hạn  $g_c$  và tần số phonon đã được xác nhận cả trong tính toán số và giải tích [19]. Khi  $g < g_c$ , do tương tác điện tử - phonon chưa đủ lớn để thiết lập trạng thái liên kết điện tử - lỗ trống nên không thể hình thành trạng thái ngưng tụ. Do vậy hệ ổn định trong trạng thái bán kim loại. Kết quả cũng cho thấy vùng ngưng tụ bị thu hẹp lại nếu tần số phonon càng lớn. Khi tần số phonon càng lớn, tương tác điện tử - phonon phải đủ lớn mới có thể thiết lập được trạng thái liên kết điện tử - lỗ trống hình thành exciton và trạng thái ngưng tụ. Chú ý rằng, ảnh hưởng của phonon trong hệ thường được khảo sát ở hai giới hạn quan trọng là giới hạn phonon mềm (soft phonon) khi tần số phonon nhỏ:  $\omega_0 < t^e$  và giới hạn phonon cứng (harden phonon), tức tần số phonon lớn hay  $\omega_0 > t^e$ . Dưới đây, chúng tôi sẽ biểu thị giản đồ pha của mô hình theo nhiệt độ ở cả hai giới hạn này.

Kết quả thu được ở trên khẳng định ảnh hưởng quan trọng của tần số phonon và cường độ tương tác điện tử - phonon lên trạng thái EI. Rõ ràng,



Hình 2. Giản đồ pha trạng thái ngưng tụ exciton của mô hình trong mặt phẳng  $(g, T)$  khi  $\omega_0 = 0.5$  (hình a) và  $\omega_0 = 2.5$  (hình b). Pha ngưng tụ exciton (EI) được biểu thị bởi vùng kẻ caro.

trạng thái EI chỉ được thiết lập khi hằng số tương tác điện tử - phonon đủ lớn. Để thấy rõ hơn điều này, tiếp theo, chúng tôi biểu diễn trên Hình 2 giản đồ pha của mô hình trong mặt phẳng  $(g, T)$  ứng với hai giá trị của tần số phonon  $\omega_0 = 0.5$  (chế độ đoạn nhiệt) và  $\omega_0 = 2.5$  (chế độ phản đoạn nhiệt). Rõ ràng là, ứng với mỗi giá trị xác định của tần số phonon, ta luôn tìm được vùng ngưng tụ exciton (biểu thị bởi màu cam) ở trên giá trị tới hạn  $g_c$  của hằng số tương tác điện tử - phonon. Tăng hằng số tương tác điện tử - phonon thì nhiệt độ tới hạn cho sự chuyển pha trạng thái ngưng tụ exciton cũng tăng lên. Với  $g < g_c$ , tương tác điện tử - phonon chưa đủ lớn nên không thể thiết lập trạng thái liên kết điện tử - lỗ trống. Do đó trạng thái ngưng tụ exciton không thể hình thành. Ở nhiệt độ dưới nhiệt độ tới hạn  $T_c$  và hằng số tương tác điện tử - phonon đủ lớn ( $g \geq g_c$ ), hệ ổn định trong trạng thái điện môi exciton. Khi tăng nhiệt độ, thăng giáng nhiệt lớn làm phá hủy sự kết cặp điện tử - lỗ trống và do vậy, trạng thái ngưng tụ exciton cũng bị suy yếu. Khi nhiệt độ lớn hơn giá trị nhiệt độ tới hạn cho chuyển pha trạng thái EI, tất cả các liên kết đều bị phá hủy và hệ chuyển sang trạng thái plasma của điện tử - lỗ trống. Giản đồ cũng cho thấy, khi tăng tần số phonon từ giới hạn phonon mềm (Hình 2a) sang giới hạn phonon cứng (Hình 2b) thì giá trị tới hạn của hằng số tương tác điện tử - phonon cũng tăng theo. Vùng ngưng tụ exciton vì vậy bị thu hẹp lại. Giản đồ pha khẳng định trạng thái ngưng tụ exciton chỉ được thiết lập khi cường độ tương tác điện tử - phonon đủ lớn ở nhiệt độ thấp.

#### 4. Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi đã phát triển gần đúng Hartree-Fock không giới hạn cho mô hình hai dải năng lượng có tương tác điện tử - phonon để đề cập đến ảnh hưởng của nhiệt độ và phonon lên trạng thái ngưng tụ cặp điện tử - lỗ trống trong hệ bán hai chiều. Kết quả tính toán giải tích được thể hiện qua hệ phương trình tự hợp cho phép xác định tham số trật tự trạng thái

EI. Các kết quả tính số cho chúng ta thấy rằng, dưới giá trị tới hạn của cường độ tương tác điện tử - phonon, hệ ổn định trong trạng thái bán kim loại. Điều này xảy ra với cả giới hạn đoạn nhiệt và phản đoạn nhiệt. Bên cạnh đó, giản đồ pha trong mặt phẳng  $(g, T)$  cho thấy trạng thái ngưng tụ exciton chỉ được thiết lập khi cường độ tương tác điện tử - phonon đủ lớn ở nhiệt độ thấp. Khi nhiệt độ cao hơn nhiệt độ tới hạn thì trạng thái liên kết của cặp điện tử - lỗ trống bị phá hủy hoàn toàn bởi sự thăng giáng nhiệt, do vậy hệ chuyển sang trạng thái plasma của điện tử và lỗ trống. Nghiên cứu kỹ lưỡng bản chất của trạng thái EI trong mô hình bằng phương pháp lượng tử sẽ là những nghiên cứu tiếp theo của chúng tôi trong thời gian tới.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] M. Crisana and I. Tifreaab. Excitonic condensation in quasi-two-dimensional systems. *Physics Letters A*, 346:310–314, 2005.
- [2] M. Combescot and S. Y. Shiau. *Excitons and Cooper Pairs: Two Composite Bosons in Many-Body Physics*. Oxford University Press, New York, 2016.
- [3] P. Wachter, B. Bucher, and J. Malar. Possibility of a superfluid phase in a Bose condensed excitonic state. *Phys. Rev. B*, 69:094502, 2004.
- [4] A. Kogar, M. S. Rak, S. Vig, A. A. Husain, F. Flicker, Y. I. Joe, L. Venema, G. J. MacDougall, T. C. Chiang, E. Fradkin, J. van Wezel, and P. Abbamonte. Signatures of exciton condensation in a transition metal dichalcogenide. *Science*, 358:1314, 2017.
- [5] S. A. Moskalenko and D. W. Snoke. *Bose-Einstein Condensation of Excitons and Biexcitons*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2000.
- [6] N. F. Mott. The transition to the metallic state. *Philos. Mag.*, 6:287, 1961.
- [7] H. Cercellier, C. Monney, F. Clerc, C. Battaglia, L. Despont, M. G. Garnier, H. Beck, P. Aebi, L. Patthey, H. Berger, and L. Forró. Evidence for an excitonic insulator phase in  $1T\text{-TiSe}_2$ . *Phys. Rev. Lett.*, 99:146403, 2007.
- [8] C. Monney, E. F. Schwier, M. G. Garnier, N. Mariotti, C. Didiot, H. Cercellier, J. Marcus, H. Berger, A. N. Titov, H. Beck, and P. Aebi. Probing the exciton condensate phase in  $1T\text{-TiSe}_2$  with photoemission. *New J. Phys.*, 12:125019, 2010.
- [9] XY. Wakisaka, T. Sudo, K. Takubo, T. Mizokawa, M. Arita, H. Namatame, M. Taniguchi, N. Katayama,

- M. Nohara, and H. Takagi. Excitonic insulator state in  $Ta_2NiSe_5$  probed by photoemission spectroscopy. *Phys.Rev. Lett.*, 103:026402, 2009.
- [10] Franz Xaver Bronold and Holger Fehske. Possibility of an excitonic insulator at the semiconductor-semimetal transition. *Phys. Rev. B*, 74:165107, 2006.
- [11] C. Monney, E. F. Schwier, M. G. Garnier, N. Mariotti, C. Didiot, H. Cercellier, J. Marcus, H. Berger, A. N. Titov, H. Beck, and P. Aebi. Probing the exciton condensate phase in  $1T-TiSe_2$  with photoemission. *New J. Phys.*, 12:125019, 2010.
- [12] D. Ihle, M. Pfafferoth, E. Burovski, F. X. Bronold, and H. Fehske. Bound state formation and nature of the excitonic insulator phase in the extended Falicov-Kimball model. *Phys. Rev. B*, 78:193103, 2008.
- [13] Bernd Zenker, Dieter Ihle, Franz Xaver Bronold, and Holger Fehske. On the existence of the excitonic insulator phase in the extended Falicov-Kimball model: a  $SO(2)$ -invariant slave-boson approach. *Phys. Rev. B*, 81:115122, 2010.
- [14] N. V. Phan, H. Fehske, and K. W. Becker. Excitonic resonances in the 2D extended Falicov-Kimball model. *Europhys. Lett.*, 95:17006, 2011.
- [15] T. Kaneko, T. Toriyama, T. Konishi, and Y. Ohta. Orthorhombic-to-monoclinic phase transition of  $Ta_2NiSe_5$  induced by the Bose-Einstein condensation of excitons. *Phys. Rev. B*, 87:035121, 2013.
- [16] F. J. Di Salvo, D. E. Moncton, and J. V. Waszczak. Electronic properties and superlattice formation in the semimetal  $TiSe_2$ . *Phys. Rev. B*, 14:4321, 1976.
- [17] C. Monney, E. F. Schwier, M. G. Garnier, N. Mariotti, C. Didiot, H. Beck, P. Aebi, C. Cercellier, J. Marcus, C. Battaglia, H. Berger, and A. N. Titov. Temperature-dependent photoemission on  $1T-TiSe_2$ : Interpretation within the exciton condensate phase model. *Phys. Rev. B*, 81:155104, 2010.
- [18] N. Bogoliubov, V. V. Tolmachev, and D. V. Shirkov. *New Method in the Theory of Superconductivity*. Consultants Bureau, New York, 1959.
- [19] V.-N. Phan, K. W. Becker, and H. Fehske. Exciton condensation due to electron-phonon interaction. *Phys. Rev. B*, 88:205123, 2013.



# Leptin trong Sinh lý và Bệnh lý

## Leptin in Physiology and Pathology

Trương Thanh<sup>a,\*</sup>, Trần Châu Mỹ Thanh<sup>a</sup>, Nguyễn Thị Như Ly<sup>a</sup>  
Thanh Truong, My Thanh Tran Chau, Nhu Ly Nguyen Thi

<sup>a</sup>Khoa Y, Đại học Duy Tân, 03 Quang Trung, Đà Nẵng, Việt Nam  
Faculty of Medicine, Duy Tan University, 03 Quang Trung, Danang, Vietnam

(Ngày nhận bài: 15/05/2019, ngày phản biện xong: 20/05/2019, ngày chấp nhận đăng: 10/06/2019)

### Tóm tắt

Leptin là một hormon có cấu trúc giống cytokin được phát hiện năm 1994, tiết ra từ mô mỡ có tác dụng điều hòa lượng thức ăn đưa vào, cân bằng hằng định nội môi về năng lượng, chức năng thần kinh nội tiết, chuyển hóa, chức năng miễn dịch, chống viêm. Leptin tác dụng chủ yếu vào các đích thần kinh ở trong não. Thay thế leptin là một liệu pháp hiệu quả trong điều trị thiếu hụt leptin trầm trọng như thiếu hụt leptin bẩm sinh hoặc rối loạn mỡ toàn thân. Cơ chế kháng leptin ở dạng béo phì phổ biến cần nghiên cứu sâu hơn để điều trị bệnh béo phì, tiểu đường và các bệnh liên quan chuyển hóa. Những hiểu biết thêm về tác dụng của leptin giúp chúng ta có những định hướng trong điều trị béo phì trong tương lai.

*Từ khóa:* Mô mỡ, hằng định nội môi về năng lượng, chức năng nội tiết thần kinh, chuyển hoá, kháng leptin, béo phì, loạn dưỡng mỡ.

### Abstract

Leptin is a hormone with cytokine-like structure, discovered in 1994. Leptin is an adipocyte-secreted hormone that regulates food intake, energy homeostasis, neuroendocrine function, metabolism, and immune function. Studies have shown that leptin acts mainly on neuronal targets in the brain. Leptin replacement is an effective therapy in severe leptin deficiency, such as congenital leptin deficiency or generalized lipodystrophy. Further studies are needed to better understand the mechanisms underlying leptin resistance in common forms of obesity, and how these could be targeted specifically to treat obesity, diabetes and related metabolic diseases.

*Keywords:* adipose tissue, energy homeostasis, neuroendocrine function, metabolism, leptin resistance, obesity, lipodystrophy.

### 1. Giới thiệu

Mô mỡ không những là một cơ quan lưu trữ năng lượng mà còn là một cơ quan nội tiết hoạt động, chủ yếu sản xuất leptin [7]. Leptin xuất phát từ chữ leptos của Hy Lạp nghĩa là mỏng.

Leptin đóng vai trò quan trọng trong điều hòa năng lượng đưa vào và năng lượng tiêu hao, chức năng thần kinh nội tiết, chuyển hóa, chức năng miễn dịch, chống viêm...

*Email:* truongthanhvt@gmail.com

### 2. Đặc điểm cấu tạo, sinh học của leptin

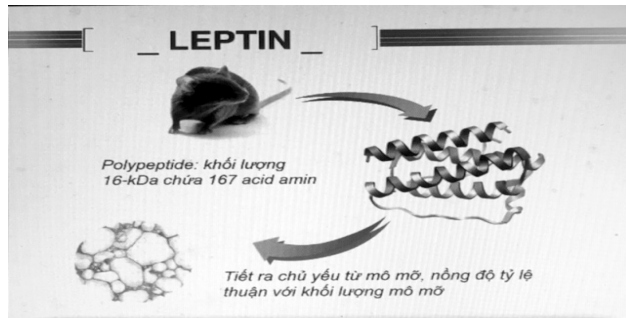
Tác dụng của Leptin được nghiên cứu từ chuột béo phì bị đột biến từ phòng thí nghiệm của Jackson 1950, được phát hiện 1994 do Jeffrey M. Friedman và Douglas L. Coleman tại đại học Rockefeller [12, 14].

#### Nguồn gốc

Nguồn gốc chính của leptin được sản xuất từ mô mỡ trắng, ngoài ra leptin còn được sản xuất

từ mô mỡ nâu, nhau thai, buồng trứng, cơ vân, dạ dày, tế bào biểu bì tuyến vú, tủy xương, tuyến yên [1].

Leptin là một protein gồm 167 acid amin có 4 bó hình xoắn tương tự cytokin (Hình 1).



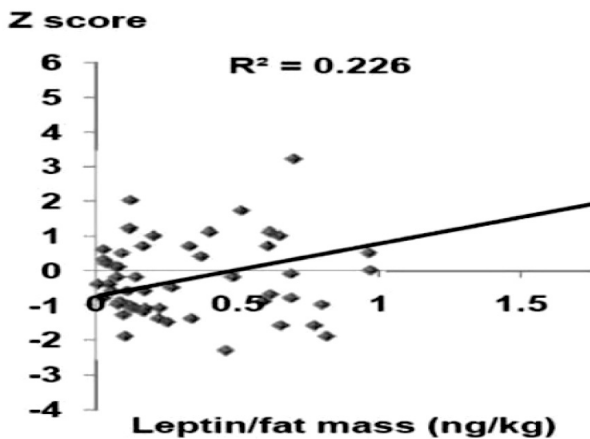
Hình 1. Cấu trúc của leptin

Gen leptin Ob (leptin) nằm ở nhiễm sắc thể số 7 ở người [1, 3, 12, 14].

Leptin lưu thông trong huyết tương ở dạng tự do hay kết hợp với protein. Ở người gầy thì đa số leptin ở dạng kết hợp và ở người béo phì thì leptin ở dạng tự do.

Mức leptin tuần hoàn phản ánh chủ yếu lượng năng lượng được lưu trữ trong chất béo và những thay đổi cấp tính thứ phát về lượng calo (Hình 2).

Giống như nhiều kích thích tố khác, leptin được tiết ra theo kiểu dao động, có sự thay đổi đáng kể trong nhịp ngày đêm với mức độ cao nhất vào sáng sớm [12].



Hình 2. Tương quan leptin với lượng mỡ cơ thể

Leptin giảm theo tuổi, phụ nữ giảm nhiều hơn nam giới [3].

### Các thụ thể (receptor) của leptin

Leptin tác dụng qua gắn kết với các thụ thể leptin cụ thể nằm ở hệ thần kinh trung ương.

Có 6 loại receptor là: Ob-Ra, Ob-Rb, Ob-Rc, Ob-Rd, Ob-Re, Ob-Rf, được mã hóa bởi một gen là LEPR.

Ob-Rb kết hợp với leptin, chuyển đến vùng dưới đồi điều hòa hằng định nội môi về năng lượng trách nhiệm ức chế lượng thức ăn và kích thích sự tiêu hao năng lượng.

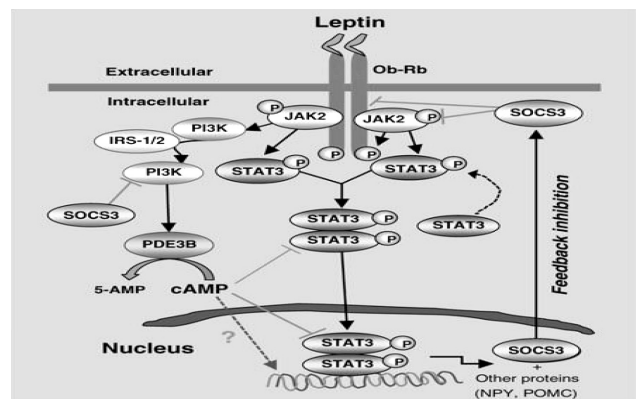
Ob- Ra đến Rc vận chuyển leptin qua hàng rào mạch máu não (BBB: brain blood barrier)

Ob - Re gắn với leptin tuần hoàn.

### Cơ chế tác dụng

Khi leptin gắn kết với Ob Rb nó gây kích một số đường truyền bao gồm (Hình 3) :

- Bộ JAK - STAT3 ((Janus Kinase - signal transducer and activator of Transcription-3) quan trọng đối với việc điều chỉnh cân bằng nội môi.



Hình 3. Cơ chế tác dụng của leptin

- PI3K (Phosphatidylinositol 3-Kinase) quan trọng đối với việc điều hòa cả lượng thức ăn và đường cân bằng nội môi glucose.

- Các con đường khác, bao gồm MAPK (mitogen activated protein kinase), AMPK (5'Adenosine Monophosphat-activated Protein Kinase) và mTOR (Mammalian Target of Rapamycin) [12]

Leptin cung cấp thông tin cho não về dự trữ mỡ như là một phần của cơ chế điều hòa ngược để ổn định mỡ.

Khi leptin đến não qua các vùng ngoài hàng rào mạch máu não như vùng dưới đồi (hypothalamus) sẽ làm giảm sự ngon miệng và làm tăng mức chuyển hóa. Nhân bụng giữa (ventromedial nucleus - VMN) của vùng dưới đồi đóng vai trò trung tâm của vùng dưới đồi trong điều hòa hành vi ăn uống là cơ quan đích của leptin.

Mỡ cơ thể mất làm giảm mức leptin, đưa đến cân bằng năng lượng dương tính và những thay đổi thích nghi khác, ngược lại sự gia tăng mô mỡ làm tăng mức leptin và làm cân bằng năng lượng âm tính.

Leptin tác dụng lên não làm giảm neuropeptid Y (NPY). NPY xuất phát từ những nơ ron ở nhân vòng cung (arcuate nucleus - ARC) và phóng thích vào nhân cạnh não thất (paraventricule nucleus - PVN)

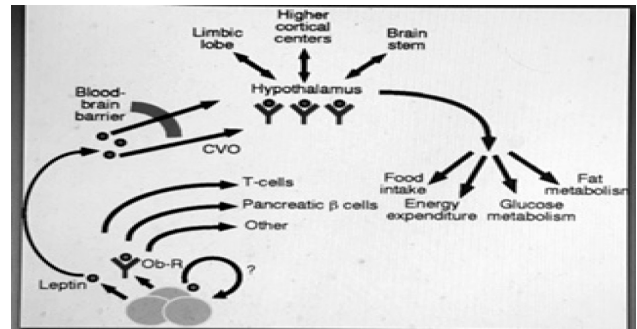
Một đích khác của leptin gồm những peptid điều hòa ngon miệng như MSH (melanocyte stimulating hormone), orexin, CRH (cortiotropin releasing hormone), POMC (proopiomelanocortin), CART (cocaine and amphetamineregulated transcrip).

Các yếu tố điều chỉnh nồng độ leptin tuần hoàn:

Bảng 1. Các yếu tố ảnh hưởng nồng độ leptin [13]

Các yếu tố tăng leptin	Các yếu tố giảm leptin
Thừa năng lượng dự trữ như mỡ (béo phì)	Tình trạng năng lượng thấp giảm dự trữ mỡ (gầy; teo mỡ)
Ăn nhiều	Nhịn ăn
Glucose	Tiếp xúc lạnh và chất chủ vận adrenergic
Insulin	Hormone tuyến giáp
Estrogen	Testosterone
Các cytokine tiền viêm (TNF- $\alpha$ , IL-6)	

### 3. Chức năng của leptin



Hình 4. Tác dụng lên trung ương

#### 3.1. Điều hòa trọng lượng cơ thể [1, 12].

Leptin → gắn với Receptor ở vùng dưới đồi → Vùng dưới đồi điều hòa lượng thức ăn đưa vào và tiêu hao năng lượng.

- Chất chỉ thị của cân bằng năng lượng

Khi mức leptin thấp do não phát hiện, cơ thể sẽ báo việc cung cấp năng lượng hạn chế.

Khi mức leptin cao, vùng dưới đồi báo cơ thể đang thừa cân.

Điều này sẽ kích hoạt cơ thể ăn ít và tiêu hao nhiều năng lượng hơn.

- Peptid tăng lượng ăn vào

+ Orexin (Vùng dưới đồi bên)

+ NPY (Nhân vòng cung và nhân cạnh não thất PVN)

+ AgRP (Nhân vòng cung và nhân cạnh não thất)

+ MCH (Vùng dưới đồi bên)

- Peptid giảm lượng ăn vào

+ POMC ( $\alpha$  MSH) ở nhân vòng Arcuate và PVN

+ CART (nhân vòng)

+ CRH (nhân cạnh não thất)

- Neuron nhạy cảm leptin

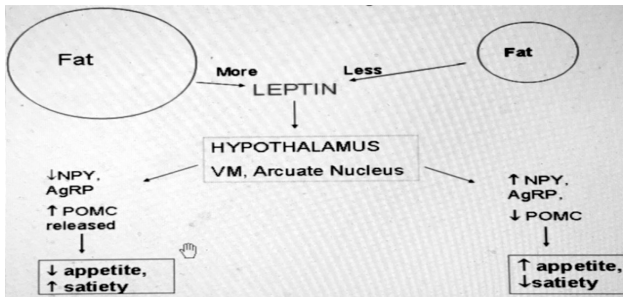
Neuron nhạy cảm leptin chứa ở Vùng dưới đồi.

Một trong những chất này là NPY và AgRP, peptid kích thích thức ăn đưa vào ức chế tiêu hao năng lượng vì vậy tạo vào cân bằng năng lượng dương tính.

Những neuron của NPY và AgRP bị ức chế bởi cả leptin và Insulin.

Những neuron POMC bị kích thích bởi leptin → POMC → α MSH → Ức chế lượng ăn vào, tăng tiêu hao năng lượng và giảm cân.

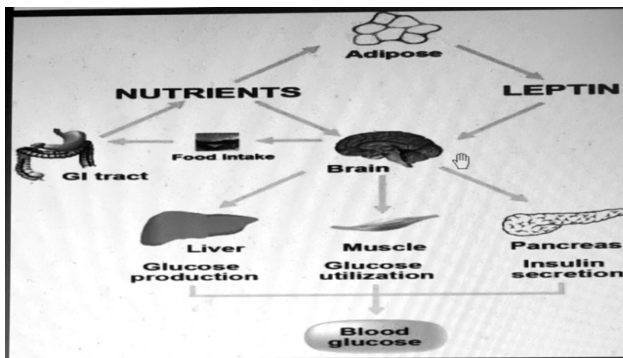
Cơ chế hoạt động theo Hình 5



Hình 5. Điều hòa lượng ăn vào và năng lượng

### 3.2. Tác dụng chuyển hóa đường [1, 3, 4, 9].

Leptin có liên can với hằng định nội môi của glucose nhất là việc kiểm soát sự nhạy cảm insulin ở ngoại biên.



Hình 6. Tác dụng chuyển hóa đường của leptin

Chuột thiếu leptin ở gen hay thiếu receptor leptin không những gây ra háu ăn và béo phì mà lại còn kháng insulin và đái tháo đường.

Chúng tỏ rằng việc truyền tín hiệu leptin ở vùng dưới đồi là sự xác định quan trọng chuyển hóa đường và là cơ chế thần kinh liên quan đến PI<sub>3</sub>K.

- Tác dụng gián tiếp trên chuyển hóa đường
- + Tác dụng trên chuyển hóa mỡ.
- + Giảm nồng độ lipid nội bào qua việc giảm tổng hợp acid béo và triglycerid và đồng thời tăng oxy hóa mỡ.

Điều trị leptin giữ đường huyết bình thường

và bình thường hóa sự nhạy cảm insulin ở mô hình đái đường typ I ở động vật.

### 3.3. Tác dụng hệ sinh sản [1, 13].

**Leptin → Kisspeptin → ↑ GnRH → ↑ LH, FSH và Testosteron**

- Leptin điều hòa chức năng sinh sản bằng cách tăng tiết hormone giải phóng hormone hướng sinh dục (GnRH) ở vùng trước thị và vùng dưới đồi.

- Nhiều neuron liên quan hằng định nội môi năng lượng kết hợp với neuron GnRH như các neuron của AgRP, NPY, POMC và sự kết nối này làm thay đổi cân bằng năng lượng đưa đến những thay đổi ở chức năng sinh sản.

Leptin làm bình thường hóa mức LH ở nữ giới và testosterone ở nam giới.

Mức leptin bình thường có vai trò cho phép và cần thiết cho phát triển dậy thì bình thường và trưởng thành sinh sản.

### 3.4. Tác dụng nội tiết thần kinh

3.4.1. Tác dụng lên trục tuyến giáp - tuyến yên - dưới đồi [1, 3].

Leptin tác dụng trực tiếp kích thích tế bào thần kinh ở nhân cạnh não thất của vùng dưới đồi điều hòa lên gen pro-TRH.

Ảnh hưởng gián tiếp qua neuron TRH tế ở nhân cạnh não thất qua tín hiệu từ nhân vòng cung.

TSH và leptin tiết theo nhịp đều đặn.

Thiếu leptin bẩm sinh → tiết TSH cao → thay đổi chuyển hóa.

3.4.2. Tác dụng lên trục GH - tuyến yên - dưới đồi [1, 3].

**Leptin → GHRH → tăng tiết GH**

Leptin điều hòa tiết GH mà tác dụng chính là để điều hòa IGF I và gắn kết với protein ở ngoại biên.

3.4.3. Tác dụng lên trục thượng thận - tuyến yên - dưới đồi

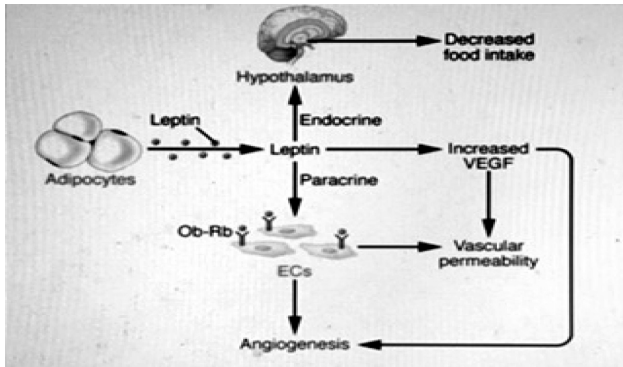
**Leptin → tăng kích thích CRH → tăng ACTH và Cortisol [1]**



### 3.5. Tác dụng lên hệ tim mạch

- Leptin gây tăng huyết áp.
- Xơ vữa động mạch

Leptin ngoại sinh gây tăng sinh mạch máu bằng cách tăng yếu tố phát triển biểu mô mạch máu [1].



Hình 7. Tăng sinh mạch máu của leptin

### 3.6. Leptin và nitric Oxide (NO)

Leptin có thể điều chỉnh trương lực mạch qua cơ chế tại chỗ liên quan đến phóng thích NO gián tiếp qua đường phosphoryl hóa tổng hợp NO biểu mô [1].

### 3.7. Tác dụng chuyển hóa xương [1, 13]

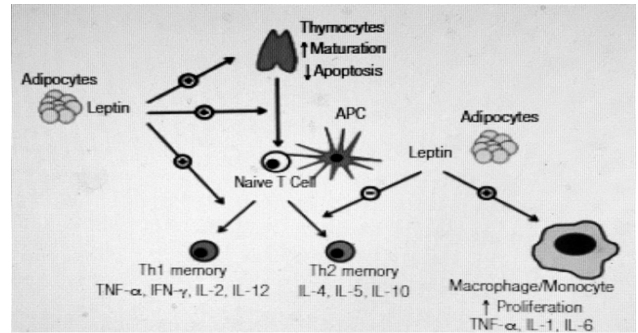
Leptin làm giảm xốp xương nhưng tăng vỏ xương. Sự phân đôi xốp xương - vỏ xương có thể biểu hiện một cơ chế làm rộng kích thước xương và vì vậy sức chống đỡ của xương để đối phó với sự gia tăng của trọng lượng cơ thể.

Có liệu pháp điều trị hiệu quả của bệnh tạo xương như phục hồi xương gãy bằng leptin.

### 3.8. Tác dụng về chức năng miễn dịch [1, 13].

Leptin làm:

- + Tăng hoạt động thực bào của đại thực bào
- + Tạo sản phẩm cytokin tiền viêm như TNF- $\alpha$ , IL - 6 và IL - 12.
- + Kích thích hóa ứng động của tế bào đa nhân.
- + Tăng đời sống lympho bằng cách ức chế việc chết theo chương trình gián tiếp qua FAS.

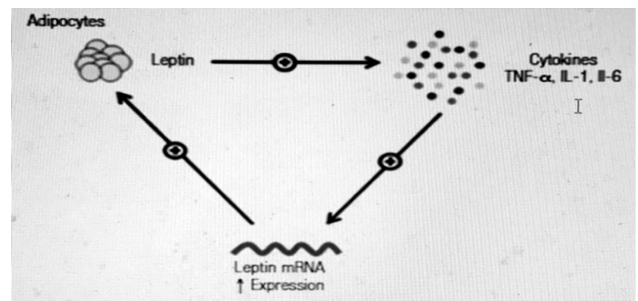


Hình 8. Leptin và hệ miễn dịch

### 3.9. Tác dụng viêm [1, 9, 13]

- Leptin tác dụng điều chỉnh việc sản xuất các cytokin gây viêm như TNF - $\alpha$  (tumor necrosis factor -  $\alpha$ ), interleukin 1(IL-1), interleukin 6 (IL-6).

Các interleukin này cũng điều chỉnh leptin, duy trì tình trạng viêm mạn.



Hình 9. Tác dụng viêm của leptin.

## 4. Ứng dụng lâm sàng

### 4.1. Thiếu leptin bẩm sinh [1, 10]

Béo phì (hầu ăn).

Nhược năng tuyến sinh dục do giảm nuôi dưỡng tuyến sinh dục (bài tiết GnRH không đủ).

Chậm dậy thì bao gồm thiếu tăng trưởng bọc phát, giới tính thứ phát và kinh nguyệt đầu tiên.

Điều trị thay thế leptin làm đảo ngược nhiều thay đổi do thiếu leptin bẩm sinh.

### 4.2. Teo mỡ

Thiếu mô mỡ dưới da.

Tăng mô mỡ nội tạng.

Thoái hóa tự thân hiếm.

Điều trị thay thế leptin cải thiện được sự thiếu

lipid máu và sự nhạy cảm insulin làm giảm tạo đường mới ở gan và thành phần mỡ trong gan [1].

#### 4.3. Vô kinh do vùng dưới đồi

Do không có kinh nguyệt và vô sinh.

Leptin điều trị vô sinh ở phụ nữ vô kinh do vùng dưới đồi.

Leptin làm bình thường hóa nồng độ LH, duy trì chức năng rụng trứng sau 1 tháng điều trị.

Leptin làm bình thường hóa nồng độ và nhịp hoạt động của LH trong tuần điều trị và trả lại chức năng rụng trứng chỉ sau một tháng điều trị.

Leptin là hormon do tế bào mỡ tạo ra được gọi là hormon chán ăn hay hormon đói.

Đích đầu tiên của leptin là não đặc biệt là Vùng dưới đồi.

Leptin báo đến não việc dự trữ mỡ đủ rồi không cần ăn nữa và đốt năng lượng ở mức bình thường

Khi ăn → mỡ tăng → leptin tăng → ăn ít và

tiêu hao năng lượng và ngược lại khi không ăn thì mỡ giảm, leptin giảm, gây ăn nhiều, tiêu hao năng lượng ít [1].

#### 5. Kháng leptin

Kháng leptin sẽ gây béo phì (Hình 10).

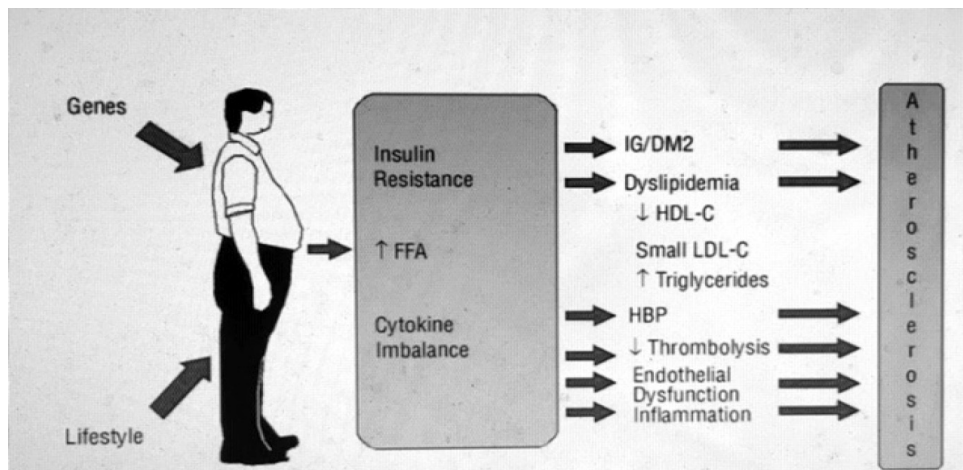
Kháng leptin được nghĩ đến đầu tiên là do đột biến receptor leptin và hiếm hơn do hội chứng béo phì đơn gen.

Vận chuyển leptin qua hàng rào mạch máu não bị rối loạn ở người béo phì, do sự bão hòa chất tải (carrier) là kết quả của tăng leptin máu và làm hoạt động vận chuyển.

Sự rối loạn hệ lưới nội bào ở gan, mô mỡ và tế bào  $\beta$  của tụy giữ vai trò trong sự phát triển việc kháng leptin.

Đích đến của cơ chế kháng leptin là tạo nên các chất nhạy cảm leptin.

Amyline có tác dụng hợp đồng với leptin đưa đến giảm cân nhất là giảm mỡ [1].



Hình 10. Kháng leptin gây béo phì

#### Kết luận

Leptin là một hormon tiết ra từ tuyến mỡ có tác dụng điều hòa lượng thức ăn, cân bằng nội môi năng lượng, chức năng thần kinh nội tiết, chuyển hóa, chức năng miễn dịch, chống viêm. Leptin tác dụng chủ yếu vào các đích thần kinh trong não. Thay thế leptin là một liệu pháp hiệu quả trong điều trị thiếu hụt leptin trầm trọng như thiếu hụt leptin bẩm sinh hoặc rối loạn phân bố mỡ toàn thân. Cơ chế kháng

leptin ở dạng béo phì phổ biến cần nghiên cứu sâu hơn để điều trị bệnh béo phì, tiểu đường và bệnh liên quan chuyển hóa - nội tiết có nhiều tác dụng trên cơ thể. Những hiểu biết thêm về tác dụng của leptin giúp chúng ta có những định hướng trong điều trị béo phì trong tương lai.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Akhter Perveen, Amir Mohd, Shobhitha M, Leptin- An Energy Barometer and Neuroendocrinal Regulator

- Review Article, *Journal of Medical Erudite* 2015.
- [2] Aldeam Facey, Lowell Dilworth, Rachael Irving, a review of the leptin hormone and the association with Obesity and diabetes mellitus, *Journal of Diabetes and Metabolism*, March 2017.
- [3] Christos S. Mantzoros, Faidon Magkos, Mary Brinkoetter, Elizabeth Sienkiewicz, Tina A. dardeno, Sang - Yong Kim, Ole - Petter R. Hamnvik, Anastasia Koniaris, leptin in physiology and pathophysiology, *Am J Physiol Endocrinol Metab* 301, July 26, 2011.
- [4] Gabriela Fernandez - Formoso, Sonia Perez - Sieira, Davis Gonzalez - Touceda, Carlos Diegez, Sulay Tovar, Leptin, 20 years of searching for glucose homeostasis, *Life sciences*, 2015.
- [5] Gilberto Paz - Filho, Claudio mastronardi, Carina Bertoldi franco, Kevin Boyang Wang, Ma - Li Wong, Julio Licinio, Leptin: molecular mechanisms, systemic pro-inflammatory effects and clinical implications, *Arq Bras Endocrinol Metab* 2012.
- [6] Jennifer H. Stern, Joseph M. Rutkowski, Philipp E. Scherer, Adiponectin, leptin, and Fatty acid in the maintenance of Metabolic homeostasis through adipose tissue crosstalk, *Cell metabolism*, May 2016 <http://dx.doi.org/10.1016/j.cmed.2016.04.011>
- [7] John E Hall, Guyton and Hall Textbook of medical physiology, thirteen edition, Elsevier, 2016
- [8] Martin G. Myers, Michael A. Cowley, Heike Munzberg, mechanisms of leptin action and leptin resistance, *Annu. Rev. Physiol*, 2008
- [9] Miguel Otero, Rocio Lago, Rodolfo Gomez, Francisca Lago, Juan J. Gomez - Reino, Oreste Guallilo, leptin: A metabolic Hormone that functions like a Proinflammatory Adipokine, *Prus Science*, 2006
- [10] Olivia M. Farr, Anna Gavrieli, Christos S. Mantzoros, Leptin application in 2015: What have we learned about leptin and obesity...
- [11] Steve O'Rahilly, 20 years of leptin: what we know and what the future, *Journal of endocrinology*, 2014
- [12] Theodore Kelesidis, Iosif Kelesidis, Sharon Chou, Christos S. Mantzoros, The role of leptin in human physiology: Emerging clinical Applications, *Ann Intern Med*, 2011 January 19<sup>th</sup>. [https://www.researchgate.net/publication/309619008\\_POTENTIAL\\_NEW\\_ROLES\\_OF\\_LEPTIN\\_IN\\_HEALTH\\_AND\\_DISEASE](https://www.researchgate.net/publication/309619008_POTENTIAL_NEW_ROLES_OF_LEPTIN_IN_HEALTH_AND_DISEASE)
- [13] <https://www.selfhacked.com/blog/all-about-leptin-its-role-in-chronic-inflammation-cfs-and-weight/>
- [14] <https://en.wikipedia.org/wiki/Leptin>.

## Sử dụng thuật toán tiến hóa vi phân cho các bài toán tối ưu hóa kết cấu với công cụ DE-Excel solver

Applications of differential evolution to solving structure design optimization problems  
with DE-Excel solver

Hoàng Nhật Đức<sup>a,\*</sup>, Lê Công Hải<sup>b</sup>  
Nhat Duc Hoang, Cong Hai Le

<sup>a</sup>*Viện Nghiên cứu Phát triển Công nghệ Cao, Đại học Duy Tân, 03 Quang Trung, Đà Nẵng, Việt Nam*  
*Institute of Research and Development, Duy Tan University, 03 Quang Trung, Danang, Vietnam*

<sup>b</sup>*Công Ty TNHH Xây Dựng và Đầu Tư Hải Nam, Thành phố Đồng Hới, Quảng Bình, Việt Nam*  
*Hai Nam Construction and Investment LLC, Dong Hoi City, Quang Binh, Vietnam*

(Ngày nhận bài: 15/05/2019, ngày phản biện xong: 20/05/2019, ngày chấp nhận đăng: 10/06/2019)

### Tóm tắt

Tối ưu hóa kết cấu là một nhiệm vụ quan trọng trong công tác thiết kế xây dựng. Mục tiêu của công tác là lựa chọn ra các giải pháp kết cấu có chi phí tối ưu và đảm bảo các ràng buộc về điều kiện bền và chuyển vị. Thuật toán tiến hóa vi phân (Differential Evolution) là một công cụ hiệu quả cho tối ưu hóa toàn cục. Vì vậy, nghiên cứu của chúng tôi đề xuất một mô hình sử dụng thuật toán này kết hợp với phương pháp hàm phạt động trong việc giải các bài toán tối ưu hóa kết cấu xây dựng. Nhằm xử lý các bài toán một cách thuận tiện, một công cụ DE-Solver đã được lập trình trên nền tảng Excel VBA. Kết quả thực nghiệm cho thấy mô hình được đề xuất là một công cụ hữu hiệu để trợ giúp các kỹ sư trong việc thiết kế kết cấu.

*Từ khóa:* Tối ưu hóa kết cấu, Thuật toán tiến hóa vi phân, Xử lý ràng buộc, Hàm phạt động.

### Abstract

Structure optimization is an important task in designing phase. The objective of this task is to determine a desirable structure with the optimal cost that ensures constraints of stress and deformation. The Differential Evolution (DE) is an effective tool for solving global optimization tasks. Thus, our research proposed an optimization model based on the DE and the dynamic penalty function which alters the penalty coefficient during the evolutionary process for solving structure optimization. To ease the model application, a DE Solver has been developed in Excel VBA platform. Experimental outcomes with several basic design problems prove that the proposed DE based optimizer is a useful method to assist engineers in structure design.

*Keywords:* Structure optimization, Differential Evolution, Constraint handling, Dynamic Penalty function.

### 1. Mở đầu

Trong ngành xây dựng, tối ưu hóa kết cấu là một nhiệm vụ quan trọng trong công tác thiết kế. Trong nhiều phương án khả thi, người kỹ sư phải chọn lựa ra phương án kết cấu phải thỏa mãn các điều kiện về độ bền, độ biến dạng, có hiệu

quả kinh tế, và có tính thẩm mỹ [1, 2]. Tối ưu hóa kết cấu nói chung được chia thành tối ưu tiết diện (liên tục và rời rạc) và tối ưu hình dáng [3]. Nghiên cứu hiện tại của chúng tôi tập trung vào bài toán tối ưu tiết diện với hàm mục tiêu là cực tiểu hóa trọng lượng của kết cấu.



Do các biến số cần tìm là liên tục nên vấn đề được mô phỏng như là một bài toán tối ưu hóa toàn cục. Đây là một bài toán phức tạp có không gian tìm kiếm lớn, có hàm mục tiêu cũng như các ràng buộc rất phức tạp. Khó khăn chính trong việc tìm ra các giải pháp vừa làm tối thiểu hóa hàm mục tiêu và vừa phải thỏa mãn nhiều ràng buộc [4 - 7]. Các phương pháp toán học truyền thống cho tối ưu hóa có ràng buộc đều có nhiều nhược điểm. Một số phương pháp (nhân tử Lagrange, Gradient, mặt phẳng cắt) chỉ áp dụng được cho các hàm mục tiêu là các hàm lồi và chỉ giải được các vấn đề có số biến thiết kế nhỏ [1]. Các bài toán tối ưu kết cấu trong thực tế thường có hàm mục tiêu, các ràng buộc, và các biến thiết kế vô cùng đa dạng và phức tạp (hàm lồi/lõm/gián đoạn, tuyến tính/phi tuyến, liên tục/rời rạc). Do đó, thực tế đòi hỏi các công cụ tốt hơn, tổng quát hơn, và mạnh hơn để giải quyết các bài toán tối ưu kết cấu.

Tiến hóa Vi phân (THVP) [8 - 10] là một thuật toán hiệu quả để giải các bài toán tối ưu hóa. THVP lấy ý tưởng từ học thuyết tiến hóa của Darwin và mô phỏng quá trình tiến hóa trong thế giới tự nhiên. THVP dùng các kỹ thuật lai ghép và đột biến để tạo ra các cá thể mới bổ sung vào quần thể có sẵn. Bằng chọn lọc tự nhiên, cá thể nào có khả năng thích nghi hơn với môi trường sẽ tồn tại và cá thể nào không thích ứng được với môi trường sẽ bị loại bỏ. Do đó, THVP có khả năng dẫn dắt một quần thể được khởi tạo ngẫu nhiên đến một giải pháp tối ưu. Nhờ vào những ưu điểm này, THVP đã được ứng dụng rộng rãi trên thế giới để giải quyết các bài toán tối ưu hóa phức tạp và cho các kết quả vượt trội [11 - 18].

Để xử lý các ràng buộc khi sử dụng các thuật toán tiến hóa, các hàm phạt là một phương pháp phổ biến hay được sử dụng do tính đơn giản của nó. Phương pháp này có thể áp dụng cho tất cả các loại ràng buộc (đẳng thức hay bất đẳng thức, tuyến tính hay phi tuyến, liên tục hay gián đoạn). Ý tưởng chung của phương pháp này là biến đổi dạng ban đầu của hàm mục tiêu bằng cách cộng

thêm các giá trị nào đó (gọi là các giá trị phạt) vào hàm mục tiêu của các cá thể nếu như chúng không thỏa mãn điều kiện ràng buộc. Nếu các cá thể ở càng xa miền hợp lệ, các giá trị phạt càng tăng lên và ngược lại. Nếu các cá thể ở trong miền hợp lệ, thì các giá trị phạt bằng 0 [19].

Do đó, để thúc đẩy sự sử dụng và nâng cao hiệu quả sử dụng của thuật toán THVP và phương pháp xử lý ràng buộc bằng các hàm phạt trong tối ưu hóa kết cấu, nghiên cứu của chúng tôi có các mục đích sau:

Thiết lập 1 mô hình tối ưu hóa kết cấu dựa trên thuật toán THVP và phương thức xử lý ràng buộc bằng hàm phạt động tự thay đổi giá trị của hệ số phạt.

- Đề xuất các hướng dẫn đơn giản dễ sử dụng để hiệu chỉnh hệ số phạt giúp cho các kỹ sư kết cấu trong việc sử dụng mô hình tối ưu hóa.
- Phần còn lại của bài báo được trình bày như sau: Phần 2 trình bày phương pháp nghiên cứu. Kết quả tính toán thực nghiệm được trình bày trong phần tiếp theo. Các kết luận của nghiên cứu được nêu trong phần cuối của bài báo.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1 Mô hình tổng quát của một bài toán tối ưu hóa

Một bài toán tối ưu hóa có thể được mô tả khái quát như sau [1, 20]:

Tìm cực tiểu hóa hàm  $f(x)$ :

$$f(x_1, x_2, \dots, x_d), \quad d = 1, 2, \dots, D \quad (1)$$

Với các ràng buộc sau:

$$g_q(x_1, x_2, \dots, x_d) \leq 0, \quad d = 1, 2, \dots, D, \quad q = 1, 2, \dots, M \quad (2)$$

$$h_r(x_1, x_2, \dots, x_d) = 0, \quad d = 1, 2, \dots, D, \quad r = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

$$x_d^L \leq x_d \leq x_d^U \quad (4)$$

trong đó,  $f(x_1, x_2, \dots, x_d)$  là hàm mục tiêu.  $x_1, x_2, \dots, x_d$  là các biến số thiết kế.  $g_q(x_1, x_2, \dots, x_d)$  và  $h_r(x_1, x_2, \dots, x_d)$  là các ràng buộc.  $x_d^L, x_d^U$  là các cận trên và cận dưới của biến thiết kế  $x_d$ .  $D$  là số lượng biến số thiết kế.  $M$  và  $N$  là số lượng ràng buộc bất đẳng thức và đẳng thức [20].

**2.2 Thuật toán tiến hóa vi phân (THVP) và công cụ DE-Excel Solver**

Quá trình tính toán của THVP [8] gồm 5 quá trình: khởi tạo quần thể, đột biến, lai ghép, chọn lọc, và kiểm tra điều kiện dừng [21]. Giả thiết bài toán phải giải là tìm giá trị nhỏ nhất của hàm mục tiêu  $f(X)$ , với  $X$  là véc-tơ trong không gian có chiều là  $D$ .

(1) Khởi tạo quần thể: Trong giai đoạn này, THVP bắt đầu bằng việc khởi tạo ngẫu nhiên  $N$  véc-tơ  $X_{i,g}$  trong không gian  $D$  chiều. Ở đây,  $X_{i,g}$  đóng vai trò là cá thể thứ  $i$  trong quần thể có  $N$  cá thể, tại thế hệ thứ  $g$ .

(2) Đột biến: Trong giai đoạn này, mỗi véc-tơ ở thế hệ hiện tại được gọi là một véc-tơ mẹ. Đối với mỗi véc-tơ mẹ, một véc-tơ đột biến  $V_{i',g}$  được sinh ra theo phương trình sau:

$$V_{i',g} = X_{r1,g} + F(X_{r2,g} - X_{r3,g}) \tag{5}$$

Trong đó,  $r1, r2$ , và  $r3$  là 3 số nguyên được tạo ngẫu nhiên nằm trong khoảng  $[1; N]$ ; 3 số nguyên này được tạo sao cho chúng không trùng với thứ tự  $i$  của véc-tơ mẹ.  $F$  là biên độ đột biến.

(3) Lai ghép: Mục đích của quá trình này là làm đa dạng hóa quần thể hiện tại bằng cách trao đổi các thành phần của véc-tơ mẹ và véc-tơ đột biến. Đầu ra của quá trình lai ghép là véc-tơ con  $U_{i,g}$  mà thành phần thứ  $j$  của nó, ký hiệu là  $U_{j,i,g}$  được tạo ra theo cách sau [21]:

$$U_{j,i,g} = \begin{cases} V_{j,i,g}, & \text{if } rand_j \leq Cr \text{ or } j = rnb(i) \\ X_{j,i,g}, & \text{if } rand_j > Cr \text{ or } j \neq rnb(i) \end{cases} \tag{6}$$

Trong đó,  $rand_j$  là một số thực được tạo ngẫu nhiên thuộc  $[0; 1]$ .  $Cr$  là xác suất lai ghép.  $rnb(i)$  là một phần tử được chọn ngẫu nhiên thuộc tập  $\alpha = [1, 2, \dots, N]$ .

(4) Chọn lọc: véc-tơ con  $U_{i,g}$  và véc-tơ mẹ  $X_{i,g}$  được so sánh với nhau. Nếu véc-tơ con có thể làm giảm giá trị của hàm mục tiêu so với véc-tơ mẹ, nó sẽ thay thế véc-tơ mẹ. Quá trình chọn lọc được diễn tả bằng toán học như sau:

$$X_{i,g+1} = \begin{cases} U_{i,g} & \text{if } f(U_{i,g}) \leq f(X_{i,g}) \\ X_{i,g} & \text{if } f(U_{i,g}) > f(X_{i,g}) \end{cases} \tag{7}$$

(5) Kiểm tra điều kiện dừng: số thế hệ tiến hóa tối đa ( $G_{max}$ ) được chọn làm điều kiện dừng. Quá trình tối ưu hóa sẽ kết thúc khi số thế hệ hiện thời ( $g$ ) vượt quá giá trị của  $G_{max}$ . Nếu điều kiện dừng chưa thỏa mãn, quá trình tối ưu hóa sẽ tiếp tục diễn ra.

Nếu vị trí của một cá thể không nằm trong vùng khả thi, cách sau đây được áp dụng để điều chỉnh vị trí của cá thể [22]:

• Nếu  $X(k) > X_{max}$  thì  $X(k) = X_{max} - \epsilon$  (8)

• Nếu  $X(k) < X_{min}$  thì  $X(k) = X_{min} + \epsilon$  (9)

với  $\epsilon$  là một số ngẫu nhiên nhỏ.

$$\epsilon = (X_{max} - X_{min}) \times Rand(0, 0.01).$$

Để xử lý các ràng buộc, hàm mục tiêu mới  $f_n(x)$  có thể được định nghĩa một như sau [20]:

$$f_n(x) = f_0(x) + \sum_{i=1}^m P_i(x) \tag{10}$$

với  $m$  là số lượng các ràng buộc.  $P_i(x)$  là hàm phạt của bài toán.

Với ràng buộc có dạng  $g_i(x) \leq 0$ , hàm phạt  $P_i(x)$  được cho như sau [20]:

$$P_i(x) = a_i \cdot \max(0, g_i(x)) \tag{11}$$

với  $a_i$  là ký hiệu của hệ số phạt.

**3. Ví dụ áp dụng công cụ DE-Excel Solver**

Công cụ DE-Excel Solver được mở thông qua thanh công cụ (ribbon) “DE Solver” và nhấp chuột vào biểu tượng “Open\_DE\_Solver” (Xem Hình 1a). Giao diện của công cụ được cho trong Hình 1b. Công cụ cho phép giải hai loại bài toán: (i) Tối ưu hóa không ràng buộc và (ii) Tối ưu hóa có ràng buộc. Để giải bài toán tối ưu hóa có ràng buộc, công cụ cho phép lựa chọn hai cách xác định hàm phạt: (i) Hàm phạt tĩnh (Static) và (ii) Hàm phạt động (Dynamic). Hàm phạt động tăng dần giá trị của hệ số phạt theo thời gian; do đó, người dùng nên sử dụng một hệ số phạt (penalty coefficient) nhỏ tại thời điểm ban đầu; sau đó giá trị của hệ số này sẽ tăng dần theo hàm số mũ theo công thức:

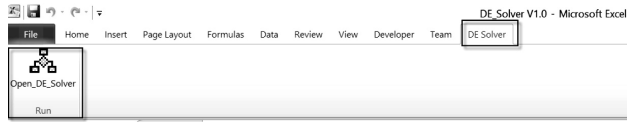
$$x_t = x_0 \cdot (1+r)^t \tag{12}$$

Trong đó,  $x_0$  là giá trị hệ số phạt ban đầu và  $x_t$  là giá trị hệ số phạt biến đổi theo thời gian. Thời

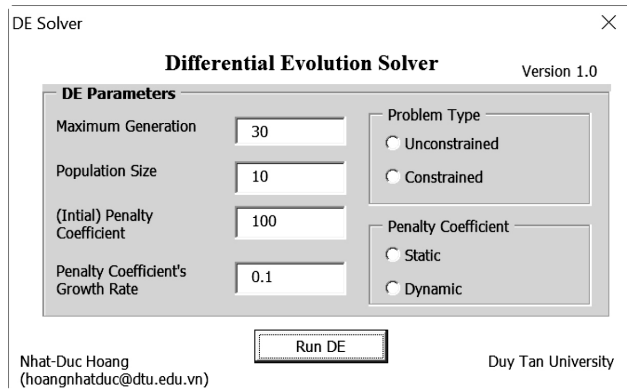
gian ở đây là số thể hệ ( $g$ ) của thuật toán THVP.  $r$  (growth rate) là 1 tham số của công thức.

Các ràng buộc của bài toán luôn có dạng thống nhất như sau:

$$G(x) \geq 0 \tag{13}$$



(a)



(b)

Hình 1. DE-Excel Solver: (a) Mở công cụ từ Excel Ribbon và (b) Giao diện của công cụ

Công cụ DE-Excel Solver được áp dụng cho hai bài toán tối ưu hóa kết cấu thanh giàn. Hai ví dụ được minh họa trong Hình 2. Trong hình vẽ này, các kết cấu giàn gồm hai phần tử dạng thanh chịu một ngoại lực  $F$  có phương tạo thành góc  $\alpha$  so với phương ngang (trục tọa độ  $x$ ). Các tham số của bài toán được cho trong các bảng tính Excel.

Với góc  $\alpha = 30^\circ$ , bài toán tối ưu hóa của ví dụ 1 được nêu như sau [23]:

$$\text{Tối thiểu hóa } (A1 + A2) \cdot \gamma \cdot L \tag{14}$$

Chịu các ràng buộc sau:

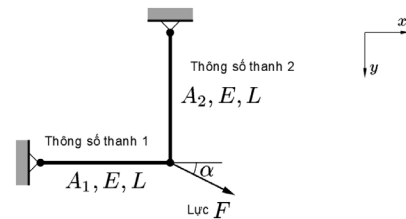
$$A1 \geq F \cos(\alpha) / \sigma_{\text{allow}} \tag{15}$$

$$A2 \geq F \sin(\alpha) / \sigma_{\text{allow}} \tag{16}$$

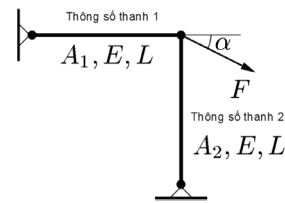
Biến thiết kế là  $d1$  và  $d2$ .

Trong đó,  $L$  là chiều dài thanh.  $\gamma$  là khối lượng riêng của vật liệu làm thanh giàn.  $d1$  và  $d2$  là đường kính 2 thanh giàn.  $\sigma_{\text{allow}}$  là ứng suất dọc trục thanh cho phép.  $A1$  và  $A2$  là tiết diện 2 thanh giàn được tính như sau:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \tag{17}$$



(a)



(b)

Hình 2. Sơ đồ của 2 ví dụ tính toán: (a) Ví dụ 1 và (b) Ví dụ 2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	<b>Decision Variables</b>	<b>d1=</b>	9.0965	mm	<b>A1 =</b>	64.9885	mm <sup>2</sup>	<b>Gama=</b>	0.000007850	kg/mm <sup>3</sup>
2		<b>d2=</b>	6.9128	mm	<b>A2 =</b>	37.5322	mm <sup>2</sup>	<b>L =</b>	1500	mm
3								<b>F =</b>	15000	N
4	<b>Objective Function</b>							<b>σ<sub>allow</sub> =</b>	200.0000	MPa
5	<b>Min f =</b>	1.21	kg					<b>a=</b>	0.5236	Rad
6										
7	<b>Lower Bound</b>	<b>d1</b>	1.00	mm	<b>Constraint 1</b>	<b>σ1=</b>	$F \times \cos(a)/A1$	<b>&lt;=</b>	<b>σ<sub>allow</sub></b>	
8		<b>d2</b>	1.00	mm	<b>Constraint 2</b>	<b>σ2=</b>	$F \times \sin(a)/A2$	<b>&lt;=</b>	<b>σ<sub>allow</sub></b>	
9										
10	<b>Upper Bound</b>	<b>d1</b>	30.00	mm	<b>Constraint 1</b>	0.11		<b>&gt;=</b>	0.0000	
11		<b>d2</b>	30.00	mm	<b>Constraint 2</b>	0.17		<b>&gt;=</b>	0.0000	
12										

Hình 3. Kết quả tính toán ví dụ 1

Với góc  $\alpha = 45^\circ$ , bài toán tối ưu hóa của ví dụ 2 được nêu như sau [23]:

$$\text{Tối thiểu hóa } (A1 + A2) \cdot \gamma \cdot L \quad (18)$$

Chịu các ràng buộc sau:

$$A1 \geq F / \sqrt{2} \sigma_{\text{allow}} \quad (19)$$

$$A2 \geq F / \sqrt{2} \sigma_{\text{allow}} \quad (20)$$

$$A2 \geq \sqrt{\frac{16FL^2}{\sqrt{2}\pi E}} \quad (21)$$

Biến thiết kế là d1 và d2.

Trong đó, E là mô đun đàn hồi của vật liệu làm thanh giàn. Ràng buộc thứ nhất và thứ hai là về ứng suất dọc trục cho phép trong thanh. Ràng buộc thứ ba là về điều kiện ổn định của thanh số 2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Decision	d1=	7.3505 mm		A1 =	42.4346	mm^2	Gama=	0.000007850	kg/mm^3
2	Variables	d2=	26.4224 mm		A2 =	548.3221	mm^2	L =	1200	mm
3								F =	12000	N
4	<b>Objective</b>							$\sigma_{\text{allow}}$ =	200	MPa
5	<b>Function</b>							a=	0.7854	Rad
6	Min f =	5.564929 kg						E=	207000	Mpa
7								l (Bar 2) =	23925.53443	mm^4
8	<b>Lower Bound</b>	d1	1.00 mm					FS =	4	(Safety Factor)
9		d2	1.00 mm							
10										
11	<b>Upper Bound</b>	d1	50.00 mm		Constraint 1	$\sigma_1 =$	F x sin(a)/A1	<=	$\sigma_{\text{allow}}$	
12		d2	50.00 mm		Constraint 2	$\sigma_2 =$	F x cos(a)/A2	<=	$\sigma_{\text{allow}}$	
13					Constraint 3	$\sigma_2 * A_2 =$	F x cos(a)	<=	Pc =	
14									$PI^2 * E * I / (4 * L^2)$	
15					<b>Constraint 1</b>	0.04	>=	0.0000		
16					<b>Constraint 2</b>	184.53	>=	0.0000		
17					<b>Constraint 3</b>	0.84	>=	0.0000		

Hình 4. Kết quả tính toán ví dụ 2

Sử dụng công cụ DE-Excel Solver với số cá thể và số thế hệ của thuật toán THVP là 12 và 50, công cụ tìm ra các đáp án tối ưu là đường kính (d1 và d2) của các thanh giàn. Kết quả tính toán của ví dụ 1 và 2 được cho trong các Hình 3 và Hình 4. Trong hai hình vẽ này, các biến thiết kế là d1 và d2 là đường kính của các thanh giàn. Từ kết quả tính toán, chúng ta có thể thấy công cụ đã giúp tìm ra các giải pháp tối ưu của d1 và d2 cho ra kết quả tối giản của khối lượng kết cấu. Đồng thời, các giá trị của d1 và d2 cũng thỏa mãn các ràng buộc của bài toán.

#### 4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, chúng tôi xây dựng công cụ DE-Excel Solver dựa trên thuật toán tối ưu hóa THVP để giải quyết các bài toán trong lĩnh vực quản lý xây dựng. Công cụ DE-Excel Solver được lập trình bằng ngôn ngữ VBA và được tích hợp trong Excel. Điều này sẽ giúp ích cho các kỹ

sư xây dựng trong việc mô hình hóa và giải các bài toán tối ưu hóa. Các ví dụ tính toán cho các bài toán tối ưu hóa có ràng buộc chứng tỏ rằng DE-Excel Solver là một công cụ hiệu quả để giúp công tác thiết kế kết cấu một cách tối ưu.

#### Phần mềm:

Công cụ DE-Excel Solver có thể tải về từ: [https://github.com/NhatDucHoang/DE\\_Solver\\_V1.0](https://github.com/NhatDucHoang/DE_Solver_V1.0)

#### Tài liệu tham khảo

- [1] G. V. Reklaitis, A. Ravindran, and K. M. Ragsdell, "Engineering Optimization Methods and Applications," Wiley, New York, 1983.
- [2] H. Rahami, A. Kaveh, and Y. Gholipour, "Sizing, geometry and topology optimization of trusses via force method and genetic algorithm," *Engineering Structures*, vol. 30, pp. 2360-2369, 2008.
- [3] A. T. Vũ and Q. C. Nguyen, "Thiết kế tối ưu kết cấu thép bằng thuật toán tiến hóa," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*, Tập 45, số 4, Tr. 111-118, 2007.



- [4] A. P. Engelbrecht, "Computational Intelligence-An Introduction, 2nd Edition," *John Wiley & Sons Ltd*, 2007.
- [5] C. A. Coello Coello, "Theoretical and numerical constraint-handling techniques used with evolutionary algorithms: a survey of the state of the art," *Comput. Methods in Appl. Mech. Eng.*, vol. 191, pp. 1245-1287, 1/4/ 2002.
- [6] K. Deb, "An efficient constraint handling method for genetic algorithms," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 186, pp. 311-338, 2000/06/09/ 2000.
- [7] N.-D. Hoang, "NIDE: A Novel Improved Differential Evolution for Construction Project Crashing Optimization," *Journal of Construction Engineering*, vol. 2014, p. 7, 2014.
- [8] K. V. Price, R. M. Storn, and J. A. Lampinen, "Differential Evolution A Practical Approach to Global Optimization," *Springer-Verlag*, 2005.
- [9] S. Das and P. N. Suganthan, "Differential Evolution: A Survey of the State-of-the-Art," *IEEE T Evolut Comput*, vol. 15, pp. 4 - 31 2011.
- [10] M.-Y. Cheng, N.-D. Hoang, and Y.-W. Wu, "Hybrid intelligence approach based on LS-SVM and Differential Evolution for construction cost index estimation: A Taiwan case study," *Automation in Construction*, vol. 35, pp. 306-313, 2013.
- [11] G. C. Onwubolu and D. Davendra, "Differential Evolution: A Handbook for Global Permutation-Based Combinatorial Optimization," *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 2009
- [12] A. Vasan and S. P. Simonovic, *Optimization of Water Distribution Network Design Using Differential Evolution* vol. 136: ASCE, 2010.
- [13] F. Zheng, A. R. Simpson, and A. Zecchin, *Performance Study of Differential Evolution with Various Mutation Strategies Applied to Water Distribution System Optimization* vol. 414: ASCE, 2011.
- [14] K.-P. Wong and Z. Dong, "Differential Evolution, an Alternative Approach to Evolutionary Algorithm," in *In Proceedings of the 13th International Conference on Intelligent Systems Application to Power Systems*, 2005, pp. 73-83.
- [15] D. Tien Bui, Q. P. Nguyen, N.-D. Hoang, and H. Klempe, "A novel fuzzy K-nearest neighbor inference model with differential evolution for spatial prediction of rainfall-induced shallow landslides in a tropical hilly area using GIS," *Landslides*, vol. 14, pp. 1-17, February 01 2017.
- [16] M.-Y. Cheng, D.-H. Tran, and N.-D. Hoang, "Fuzzy clustering chaotic-based differential evolution for resource leveling in construction projects," *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 23, pp. 113-124, 2017/01/02 2017.
- [17] N.-D. Hoang, D. Tien Bui, and K.-W. Liao, "Groutability estimation of grouting processes with cement grouts using Differential Flower Pollination Optimized Support Vector Machine," *Applied Soft Computing*, vol. 45, pp. 173-186, 2016/08/01/ 2016.
- [18] N.-D. Hoang, Q.-L. Nguyen, and Q.-N. Pham, "Optimizing Construction Project Labor Utilization Using Differential Evolution: A Comparative Study of Mutation Strategies," *Advances in Civil Engineering*, vol. 2015, p. 8, 2015.
- [19] A. Homaifar, S. H.-V. Lai, and X. Qi, "Constrained optimization via genetic algorithms," *Simulation* vol. 62 pp. 242-254, 1994.
- [20] N. Đ. Hoàng and D. T. Vũ, "Tối ưu hóa kết cấu có điều kiện ràng buộc sử dụng thuật toán bầy dơi và các hàm phạt," *Tạp Chí Khoa Học và Công Nghệ, Đại Học Duy Tân*, vol. 2, pp. 75-84, 2015.
- [21] N. Đ. Hoàng, Q. L. Nguyễn, and Q. N. Phạm, "Tối ưu hóa tiến độ và chi phí cho dự án xây dựng sử dụng thuật toán tiến hóa vi phân," *Tạp Chí Khoa Học và Công Nghệ, Đại Học Duy Tân*, vol. 1, pp. 135-141, 2015.
- [22] D. Tien Bui, V.-H. Nhu, and N.-D. Hoang, "Prediction of soil compression coefficient for urban housing project using novel integration machine learning approach of swarm intelligence and Multi-layer Perceptron Neural Network," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 38, pp. 593-604, 2018/10/01/ 2018.
- [23] P. W. Christensen and A. Klarbring, *An Introduction to Structural Optimization*: Springer, 2009.

## Exciton ngưng tụ trong mô hình hai dải năng lượng có tương tác điện tử - phonon<sup>(1)</sup>

Excitonic condensation in two-band model involving electron-phonon interaction

Đỗ Thị Hồng Hải<sup>a,b,c</sup>, Phan Văn Nhâm<sup>d,\*</sup>  
Hong Hai Do Thi<sup>a,b,c</sup>, Van Nham Phan<sup>d,\*</sup>

<sup>a</sup>Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam,  
18 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội, Việt Nam

Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology,  
18 Hoang Quoc Viet, Hanoi, Vietnam

<sup>b</sup>Viện Vật lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội, Việt Nam  
Institute of Physics, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet, Hanoi, Vietnam

<sup>c</sup>Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 18 Phố Viên, Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam

Hanoi University of Mining and Geology, 18 PhoVien, Bac Tu Liem, Hanoi, Vietnam

<sup>d</sup>Viện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ cao, Đại học Duy Tân, 3 Quang Trung, Đà Nẵng, Việt Nam  
Institute of Research and Development, Duy Tan University, 3 Quang Trung, Da Nang, Vietnam

(Ngày nhận bài: 06/04/2019, ngày phản biện xong: 15/04/2019, ngày chấp nhận đăng: 16/04/2019)

### Tóm tắt

Trạng thái ngưng tụ exciton trong hệ bán kim loại được nghiên cứu khi chúng tôi khảo sát mô hình hai dải năng lượng có tương tác điện tử - phonon. Trong gần đúng trường trung bình, trạng thái ngưng tụ exciton được xác định thông qua tham số trật tự trạng thái ngưng tụ. Khi nhiệt độ đủ thấp và hằng số tương tác điện tử - phonon đủ lớn, tham số trật tự khác không, khi đó hệ ở trạng thái exciton ngưng tụ. Kết quả của chúng tôi khẳng định trạng thái exciton ngưng tụ có dạng BCS. Khi nhiệt độ tăng, tham số trật tự giảm và khi nhiệt độ đủ lớn, trạng thái kết hợp bị phá vỡ và hệ ở trạng thái plasma của điện tử và lỗ trống.

*Từ khóa:* trạng thái exciton ngưng tụ, mô hình điện tử hai dải năng lượng có tương tác điện tử - phonon, lý thuyết trường trung bình.

### Abstract

Excitonic condensation state in the semimetal is addressed by considering the two-band model involving electron - phonon interaction. In the framework of the mean-field theory, the excitonic condensation state is specified from an order parameter. If the temperature is sufficiently low and the electron - phonon coupling is large enough, the order parameter is non-zero, the system is in the excitonic condensation state. Our results affirm that the excitonic condensation in the system is in the BCS-type. When the temperature increases, the order parameter decreases and if the temperature is sufficiently large, the thermal fluctuations deplete the coherent state and the system settles in a plasma state of unbound electrons and holes.

*Keywords:* excitonic condensation state, two-band model involving electron - phonon interaction, statics mean-field theory.

<sup>(1)</sup> Bài báo đã được đăng ở Số 02(33, 4/2019) nhưng bị thiếu hình minh họa. Tạp chí xin đăng lại hoàn chỉnh. Thành thật cáo lỗi cùng tác giả và bạn đọc

## 1. Mở đầu

Trạng thái exciton ngưng tụ là một trong những trạng thái lượng tử, đã và đang thu hút được sự quan tâm hàng đầu trong vật lý chất rắn đông đặc. Mặc dù được tiên đoán lý thuyết cách đây hàng nửa thế kỷ [1], tuy nhiên cho đến nay, những kết quả thực nghiệm thu được để chứng thực những trạng thái này vẫn còn hạn chế và các thí nghiệm minh chứng vẫn chưa thành công một cách thuyết phục. Trong những năm gần đây, việc tìm ra các vật liệu có triển vọng để quan sát trạng thái exciton ngưng tụ, như: dichalcogenide kim loại chuyển tiếp giả hai chiều 1T-TiSe<sub>2</sub>, hợp chất đất hiếm chalcogenide TmSe<sub>0.45</sub>Te<sub>0.55</sub>, graphene hai lớp,... đã làm tăng những nghiên cứu về trạng thái exciton ngưng tụ, cả về phương diện lý thuyết và thực nghiệm.

Về mặt lý thuyết, trạng thái exciton ngưng tụ đã được nghiên cứu một cách kỹ lưỡng nhưng chủ yếu dựa trên những đặc tính hoàn toàn điện tử [2 - 4]. Khi đó, sự liên kết của các điện tử và lỗ trống với phonon không được kể tới. Trong khi đó, một số thí nghiệm gần đây trên vật liệu bán kim loại 1T-TiSe<sub>2</sub>, đã cho thấy sự biến dạng mạng tinh thể là đáng kể và là cơ sở để hình thành trạng thái exciton ngưng tụ [5, 6]. Bên cạnh đó, trong vật liệu TmSe<sub>0.45</sub>Te<sub>0.55</sub>, tại áp suất thích hợp, một trạng thái liên kết của lỗ trống 4*f* ở điểm  $\Gamma$  và điện tử 5*d* tại điểm *X* có thể được tạo thành. Sự tương tác của điện tử/lỗ trống với phonon do đó cần phải hỗ trợ việc chuyển đổi phonon dạng  $\Gamma$ -*X* [7]. Tại nhiệt độ đủ thấp, những cặp điện tử - lỗ trống đó ngưng tụ trong trạng thái điện môi [7, 8]. Không có bất kỳ nghi ngờ gì nữa, biến dạng mạng hoặc các ảnh hưởng phonon là vô cùng quan trọng trong các loại vật liệu này, đặc biệt là trong việc hình thành trạng thái exciton ngưng tụ. Sự tương tác điện tử/lỗ trống - phonon do đó cần phải được xem xét kỹ lưỡng.

Trong thời gian gần đây, biến dạng mạng gây ra trạng thái exciton ngưng tụ đã thu hút được sự quan tâm của các nhà lý thuyết, tuy nhiên, chủ

yếu dừng lại ở trạng thái cơ bản, tức là, tại nhiệt độ không [9 - 11]. Nói chung, với một loại siêu lỏng, trạng thái exciton ngưng tụ có thể xuất hiện tại nhiệt độ hữu hạn. Ở nhiệt độ cao, nó có thể bị biến dạng bởi sự thăng giáng nhiệt. Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ lên trạng thái ngưng tụ của cặp điện tử - lỗ trống do đó là cần thiết.

Trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu lý thuyết về sự hình thành trạng thái exciton ngưng tụ trong mô hình hai chiều hai dải năng lượng có tương tác điện tử - phonon bằng lý thuyết trường trung bình tĩnh. Trong đó, chúng tôi tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của tương tác điện tử - phonon và nhiệt độ lên năng lượng tán sắc tái chuẩn hóa và bản chất của trạng thái exciton ngưng tụ trong hệ.

Bài báo được chia thành 4 phần. Trong đó, chúng tôi trình bày mô hình điện tử hai chiều hai dải năng lượng có tương tác điện tử - phonon và áp dụng lý thuyết trường trung bình tĩnh cho mô hình trong phần 2. Từ đó chúng tôi rút ra hệ phương trình tự hợp cho phép xác định tham số trật tự trạng thái ngưng tụ exciton và giải hệ phương trình tự hợp bằng phương pháp tính số. Phần 3 chúng tôi trình bày kết quả tính số và thảo luận. Cuối cùng, kết luận của bài báo được trình bày trong phần 4.

## 2. Mô hình và phương pháp lý thuyết

Để mô tả hệ điện tử - lỗ trống tương tác với phonon, chúng tôi sử dụng Hamiltonian sau:

$$\mathcal{H} = \mathcal{H}_0 + \mathcal{H}_{\text{int}}, \quad (1)$$

trong đó,  $\mathcal{H}_0$  mô tả phần năng lượng không tương tác của hệ điện tử - lỗ trống - phonon

$$\mathcal{H}_0 = \sum_{\mathbf{k}} \varepsilon_{\mathbf{k}}^e e_{\mathbf{k}}^\dagger e_{\mathbf{k}} + \sum_{\mathbf{k}} \varepsilon_{\mathbf{k}}^h h_{\mathbf{k}}^\dagger h_{\mathbf{k}} + \omega_0 \sum_{\mathbf{q}} b_{\mathbf{q}}^\dagger b_{\mathbf{q}}, \quad (2)$$

và  $\mathcal{H}_{\text{int}}$  mô tả phần năng lượng tương tác điện tử - phonon

$$\mathcal{H}_{\text{int}} = \frac{g}{\sqrt{N}} \sum_{\mathbf{k}, \mathbf{q}} \left[ e_{\mathbf{k}+\mathbf{q}}^\dagger h_{\mathbf{k}}^\dagger (b_{-\mathbf{q}}^\dagger + b_{\mathbf{q}}) + H.c. \right], \quad (3)$$

ở đây,  $e_{\mathbf{k}}^\dagger (e_{\mathbf{k}})$ ,  $h_{\mathbf{k}}^\dagger (h_{\mathbf{k}})$  và  $b_{\mathbf{q}}^\dagger (b_{\mathbf{q}})$  tương ứng là các toán tử sinh (hủy) điện tử, lỗ trống có xung lượng  $\mathbf{k}$  và phonon xung lượng  $\mathbf{q}$  với năng lượng

$\omega_0$ . Các hệ thức tán sắc cho điện tử  $e$  và lỗ trống  $h$  được cho bởi:

$$\varepsilon_{\mathbf{k}}^{e,h} = \varepsilon^{e,h} - t^{e,h} \gamma_{\mathbf{k}} - \mu, \quad (4)$$

với  $\varepsilon^{e,h}$  là năng lượng tại nút của điện tử  $e$  và lỗ trống  $h$ ;  $t^{e,h}$  là tích phân nhảy nút;  $\gamma_{\mathbf{k}} = 2(\cos k_x + \cos k_y)$  trong hệ hai chiều hình vuông với hằng số mạng  $a = 1$  và  $\mu$  là thế hóa học. Trong phương trình (3),  $g$  là hằng số tương tác điện tử - phonon và  $N$  là số nút mạng tinh thể. Tại nhiệt độ đủ thấp, các exciton với xung lượng hữu hạn  $\mathbf{Q} = (\pi, \pi)$  có thể ngưng tụ, được thể hiện bởi giá trị mật độ cặp điện tử - lỗ trống  $d_{\mathbf{k}} = \langle e_{\mathbf{k}+\mathbf{Q}}^\dagger h_{\mathbf{k}}^\dagger \rangle$  khác không. Đại lượng này đặc trưng cho sự lai hóa giữa điện tử và lỗ trống nên được xem là tham số trật tự trạng thái exciton ngưng tụ.

Trong gần đúng trường trung bình, khi số hạng thăng giáng được bỏ qua, Hamiltonian trong phương trình (1) dễ dàng được chéo hóa bằng phương pháp Bogoliubov [12] khi toán tử phonon mới được định nghĩa

$$B_{\mathbf{q}}^\dagger = b_{\mathbf{q}}^\dagger + \sqrt{N} \left( \frac{\chi}{\omega_0} \right) \delta_{\mathbf{q},\mathbf{Q}}. \quad (5)$$

Kết quả ta thu được hệ thức tán sắc giả hạt

$$E_{\mathbf{k}}^{1,2} = \frac{\varepsilon_{\mathbf{k}}^h + \varepsilon_{\mathbf{k}+\mathbf{Q}}^e}{2} \mp \frac{\text{sgn}(\varepsilon_{\mathbf{k}}^h - \varepsilon_{\mathbf{k}+\mathbf{Q}}^e)}{2} W_{\mathbf{k}}, \quad (6)$$

trong đó:

$$W_{\mathbf{k}} = \left[ (\varepsilon_{\mathbf{k}}^h - \varepsilon_{\mathbf{k}+\mathbf{Q}}^e)^2 + 4|\Delta|^2 \right]^{1/2}, \quad (7)$$

với

$$\Delta = \frac{g}{\sqrt{N}} \langle b_{-\mathbf{Q}}^\dagger + b_{-\mathbf{Q}} \rangle, \quad (8)$$

được xem như tham số trật tự trạng thái ngưng tụ exciton. Số hạng tỉ lệ với  $\langle b_{-\mathbf{Q}}^\dagger + b_{-\mathbf{Q}} \rangle$  cho ta sự biến dạng mạng khi có mặt của phonon trong hệ.

$$u_{\mathbf{k}}^2 = \frac{1}{2} \left[ 1 + \text{sgn}(\varepsilon_{\mathbf{k}}^h - \varepsilon_{\mathbf{k}+\mathbf{Q}}^e) \frac{(\varepsilon_{\mathbf{k}}^h - \varepsilon_{\mathbf{k}+\mathbf{Q}}^e)}{W_{\mathbf{k}}} \right], \quad (9)$$

$$v_{\mathbf{k}}^2 = \frac{1}{2} \left[ 1 - \text{sgn}(\varepsilon_{\mathbf{k}}^h - \varepsilon_{\mathbf{k}+\mathbf{Q}}^e) \frac{(\varepsilon_{\mathbf{k}}^h - \varepsilon_{\mathbf{k}+\mathbf{Q}}^e)}{W_{\mathbf{k}}} \right], \quad (10)$$

là các hệ số xuất hiện trong phép biến đổi Bogoliubov.

Cuối cùng, ta xác định được mật độ cặp điện tử - lỗ trống, được xem là tham số trật tự trạng thái exciton ngưng tụ

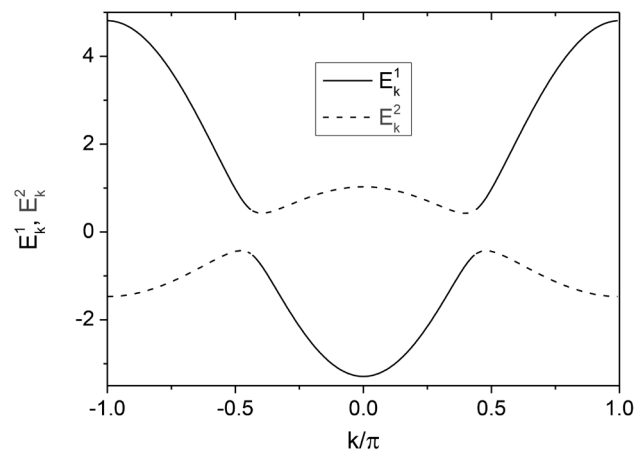
$$d_{\mathbf{k}} = -\text{sgn}(\varepsilon_{\mathbf{k}}^h - \varepsilon_{\mathbf{k}+\mathbf{Q}}^e) \left[ f(E_{\mathbf{k}}^1) - f(E_{\mathbf{k}}^2) \right] \frac{\Delta}{W_{\mathbf{k}}}, \quad (11)$$

với  $f(E_{\mathbf{k}})$  là hàm phân bố Fermi-Dirac. Tham số trật tự khác không thể hiện hệ ở trạng thái exciton ngưng tụ.

Như vậy, từ các phương trình (6) - (8) và (11), ta thu được hệ phương trình tự hợp cho phép xác định tham số trật tự trạng thái exciton ngưng tụ ứng với mỗi thế hóa  $\mu$ .

### 3. Kết quả tính số và thảo luận

Trong phần này, chúng tôi trình bày kết quả tính số để thảo luận ảnh hưởng của tương tác điện tử - phonon và nhiệt độ lên bản chất trạng thái ngưng tụ của cặp điện tử - lỗ trống trong mô hình. Trong bài toán này, để khảo sát chúng tôi chọn hệ hai chiều với  $N = 150 \times 150$  nút mạng. Không giảm tính tổng quát, chúng tôi chọn  $t^e = 1$  coi là đơn vị của năng lượng,  $t^h = -0.3$  và cố định mức độ xen phủ của hai dải năng lượng điện tử  $e$  và lỗ trống  $h$ :  $\varepsilon^e - \varepsilon^h = 1$  khi tần số phonon  $\omega_0 = 0.5$ . Chúng tôi quan tâm tới trạng thái lấp đầy một nửa, tức là tổng mật độ hạt điện tử và lỗ trống thỏa mãn  $n^e + n^h = 1$ . Thế hóa  $\mu$  được thay đổi để thỏa mãn điều kiện này. Các kết quả tính toán được thực hiện trong hệ đơn vị năng lượng tổng quát với  $\hbar = c = k_B = 1$ .



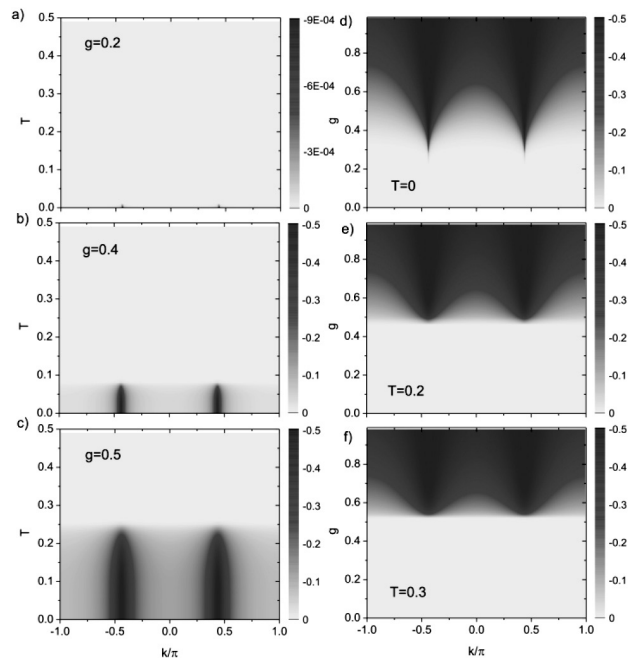
Hình 1. Năng lượng giả hạt  $E_{\mathbf{k}}^1$  (đường liền nét) và  $E_{\mathbf{k}}^2$  (đường đứt nét) dọc theo trục  $(k, k)$  trong vùng Brillouin thứ nhất ở trạng thái cơ bản với  $g = 0.5$ .



Hình 1 biểu thị các dải năng lượng giả hạt trong trạng thái cơ bản khi hằng số tương tác điện tử - phonon  $g = 0.5$ . Trong bài toán này, chúng ta xét hệ ở trạng thái bán kim loại khi không có tương tác, hai dải điện tử và lỗ trống xen phủ nhau, mặt Fermi thường lớn và cả điện tử và lỗ trống đều tham gia vào hình thành bề mặt Fermi. Trạng thái ngưng tụ exciton được thể hiện bởi sự xuất hiện của khe năng lượng tại mức Fermi. Với  $g = 0.5$ , tương tác điện tử - phonon đã đủ lớn để khe năng lượng hình thành tại mức Fermi, dẫn tới hình thành trạng thái liên kết của các cặp điện tử - lỗ trống. Đặc tính này làm sáng tỏ những quan sát thực nghiệm trong vật liệu  $\text{TmSe}_{0.45}\text{Te}_{0.55}$  ở áp suất lớn, khi mà hai dải  $4f$  và  $5d$  chồng lên nhau. Do sự tán xạ phonon mà lỗ trống  $4f$  kết cặp với điện tử  $5d$  để tạo thành exciton. Các exciton này ngưng tụ khi nhiệt độ đủ thấp [13]. Bức tranh này hoàn toàn tương tự với bức tranh ngưng tụ của cặp điện tử - điện tử với spin trái chiều trong lý thuyết BCS của siêu dẫn [14]. Do sự ghép cặp của cặp điện tử - điện tử với spin trái chiều (cặp Cooper) mà khe năng lượng hình thành xung quanh mức Fermi với bề rộng khe tỉ lệ với tần số Debye. Trạng thái ngưng tụ này sẽ bị phá vỡ nếu có năng lượng đủ lớn phá hủy trạng thái kết cặp, khi đó khe năng lượng cũng không còn, hệ chuyển sang trạng thái plasma của điện tử và lỗ trống.

Để hiểu rõ hơn bản chất trạng thái ngưng tụ của cặp điện tử - lỗ trống trong mô hình phụ thuộc vào cường độ tương tác điện tử - phonon và nhiệt độ, dưới đây chúng tôi mô tả sự phụ thuộc của tham số trật tự trạng thái exciton ngưng tụ vào xung lượng và nhiệt độ hoặc hằng số tương tác điện tử - phonon. Hệ ở trạng thái ngưng tụ khi tham số trật tự khác không, và ngược lại, khi tham số trật tự bằng không thì hệ ổn định trong trạng thái plasma của điện tử và lỗ trống. Trên Hình 2 bên trái, chúng tôi biểu thị tham số trật tự trạng thái exciton ngưng tụ  $d_k$  phụ thuộc vào nhiệt độ  $T$  ứng với một vài giá trị của hằng số tương tác điện tử - phonon  $g$  trong vùng Brillouin thứ nhất. Kết quả thể hiện vùng không gian xung lượng trong đó các điện tử  $e$  và lỗ trống  $h$  có liên

quan đến sự hình thành cặp điện tử - lỗ trống và quá trình ngưng tụ. Rõ ràng là  $d_k$  biến mất với mọi  $\mathbf{k}$  khi hệ ở nhiệt độ trên nhiệt độ tới hạn  $T_c$ . Do đó  $T_c$  được gọi là nhiệt độ chuyển pha trạng thái exciton ngưng tụ. Tại và ngay dưới nhiệt độ tới hạn,  $d_k$  chỉ có giá trị hữu hạn tại các xung lượng xung quanh xung lượng Fermi  $\mathbf{k}_F$ . Hình 2a cho thấy khi  $g$  nhỏ, chẳng hạn  $g = 0.2$ , tham số trật tự  $d_k$  rất nhỏ và hệ xem như đồng nhất. Tuy nhiên, khi tăng lên  $g = 0.4$  thì  $d_k$  tăng mạnh, đặc biệt tại các xung lượng gần xung lượng Fermi (Hình 2b). Tham số trật tự giảm mạnh tại các xung lượng nằm ngoài xung lượng Fermi. Điều này khẳng định chỉ những điện tử nằm xung quanh mức Fermi mới tham gia vào quá trình ghép cặp hình thành exciton, mức Fermi đóng vai trò quan trọng quyết định trạng thái ngưng tụ của exciton. Bức tranh này hoàn toàn giống với bức tranh siêu dẫn thường được mô tả bằng lý thuyết BCS (chỉ những điện tử với spin trái chiều xung quanh mức năng lượng Fermi mới đóng vai trò ghép cặp Cooper). Vì vậy, trong trường hợp này người ta thường nói trạng thái ngưng tụ của exciton có dạng BCS. Tăng cường độ tương tác tới  $g = 0.5$ , ta nhận thấy tham số trật tự vẫn có giá



Hình 2. Cường độ của tham số trật tự trạng thái EI  $d_k$  phụ thuộc vào xung lượng  $\mathbf{k}$  và nhiệt độ khi  $g$  thay đổi (hình bên trái); phụ thuộc vào xung lượng  $\mathbf{k}$  và  $g$  khi nhiệt độ thay đổi (hình bên phải).

trị cực đại tại các xung lượng quanh xung lượng Fermi (Hình 2c). Kết quả cũng cho thấy nhiệt độ tới hạn cho chuyển pha trạng thái exciton ngưng tụ  $T_c$  càng cao khi hằng số tương tác điện tử - phonon càng lớn. Khi nhiệt độ cao hơn nhiệt độ chuyển pha trạng thái ngưng tụ, tham số trật tự trở nên rất nhỏ, ngay cả tại xung lượng Fermi. Hệ vì thế ở trạng thái đồng nhất, phi trật tự.

Hình 2 bên phải cho thấy sự phụ thuộc xung lượng và hằng số tương tác điện tử - phonon của tham số trật tự  $d_k$  trong vùng Brillouin thứ nhất ở các nhiệt độ khác nhau. Rõ ràng là  $d_k$  chỉ khác không, thể hiện hệ tồn tại trong trạng thái exciton ngưng tụ khi hằng số tương tác điện tử - phonon lớn hơn một giá trị tới hạn  $g_c$ . Thật vậy, Hình 2d cho thấy tại nhiệt độ không, khi hằng số tương tác điện tử - phonon lớn hơn giá trị tới hạn  $g_c \approx 0.23$  thì  $d_k$  luôn có giá trị cực đại tại các xung lượng gần xung lượng Fermi. Tham số trật tự giảm mạnh tại các xung lượng nằm ngoài xung lượng Fermi. Tuy nhiên, với  $g$  lớn, ngoài giá trị xung lượng Fermi, các trạng thái ghép cặp điện tử - lỗ trống vẫn xảy ra với đóng góp đáng kể. Thậm chí tại tâm hay biên vùng Brillouin, tham số trật tự hay mật độ cặp điện tử - lỗ trống vẫn tồn tại. Mặc dù vậy, ta vẫn khẳng định các exciton trong trường hợp này ngưng tụ trong trạng thái dạng BCS. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với trường hợp một chiều đã được nghiên cứu kỹ lưỡng trong tài liệu [11]. Khi tăng nhiệt độ, Hình 2e và Hình 2f, thì giá trị tới hạn của hằng số tương tác điện tử - phonon  $g_c$  tăng lên, do đó vùng ngưng tụ exciton bị thu hẹp lại. Ở nhiệt độ thấp, bề mặt Fermi rõ ràng đóng một vai trò quan trọng để hình thành trạng thái liên kết điện tử - lỗ trống, chỉ ra loại ngưng tụ dạng BCS điển hình của trạng thái EI ổn định [2, 15].

#### 4. Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi đã khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ và phonon lên trạng thái exciton ngưng tụ trong hệ bán hai chiều thông qua áp dụng lý thuyết trường trung bình tĩnh cho mô hình hai chiều hai dải năng lượng có tương tác điện tử - phonon. Trong đó, chúng tôi đã rút

ra hệ phương trình tự hợp cho phép xác định các tham số trật tự trạng thái exciton ngưng tụ của mô hình. Giải hệ phương trình tự hợp bằng phương pháp tính số, kết quả tính số cho thấy, khi tương tác điện tử - phonon đủ lớn, khe năng lượng hình thành xung quanh mức Fermi và hệ ổn định trong trạng thái exciton ngưng tụ tại nhiệt độ thấp. Tham số trật tự có giá trị cực đại tại các xung lượng gần xung lượng Fermi. Mặt Fermi đóng vai trò quan trọng trong việc liên kết cặp điện tử - lỗ trống hình thành exciton và trạng thái ngưng tụ. Do vậy, chúng tôi khẳng định trong trường hợp này, trạng thái ngưng tụ của exciton có dạng BCS. Khi tương tác điện tử - phonon nhỏ, hệ ở trong trạng thái bán kim loại. Còn khi nhiệt độ cao hơn nhiệt độ tới hạn thì trạng thái liên kết của cặp điện tử - lỗ trống bị phá hủy hoàn toàn bởi sự thăng giáng nhiệt, do vậy hệ chuyển sang trạng thái plasma của điện tử và lỗ trống. Xem xét sự cạnh tranh của trạng thái ngưng tụ exciton và trạng thái sóng mật độ điện tích trong mô hình sẽ là những nghiên cứu tiếp theo của chúng tôi trong tương lai.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] N. F. Mott. The transition to the metallic state. *Philos. Mag.*, 6:287, 1961.
- [2] N. V. Phan, K. W. Becker, and H. Fehske. Spectral signatures of the BCS-BEC crossover in the excitonic insulator phase of the extended Falicov-Kimball model. *Phys. Rev. B*, 81:205117, 2010.
- [3] B. Zenker, D. Ihle, F. X. Bronold, and H. Fehske. Electron-hole pair condensation at the semimetal-semiconductor transition: A BCS-BEC crossover scenario. *Phys. Rev. B*, 85:121102(R), 2012.
- [4] C. D. Batista. Electronic Ferroelectricity in the Falicov-Kimball Model. *Phys. Rev. Lett.*, 89:166403, 2002.
- [5] F. J. Di Salvo, D. E. Moncton, and J. V. Waszczak. Electronic properties and superlattice formation in the semimetal  $\text{TiSe}_2$ . *Phys. Rev. B*, 14:4321, 1976.
- [6] C. Monney, E. F. Schwier, M. G. Garnier, N. Mariotti, C. Didiot, H. Beck, P. Aebi, C. Cercellier, J. Marcus, C. Battaglia, H. Berger, and A. N. Titov. Temperature-dependent photoemission on  $1T\text{-TiSe}_2$ : Interpretation within the exciton condensate phase model. *Phys. Rev. B*, 81:155104, 2010.

- [7] P. Wachter, B. Bucher, and J. Malar. Possibility of a superfluid phase in a Bose condensed excitonic state. *Phys. Rev. B*, 69:094502, 2004.
- [8] P. Farkasovský. Hartree-Fock study of electronic ferroelectricity in the Falicov-Kimball model with  $f - f$  hopping. *Phys. Rev. B*, 77:155130, 2008.
- [9] T. Kaneko, T. Toriyama, T. Konishi, and Y. Ohta. Orthorhombic-to-monoclinic phase transition of  $\text{Ta}_2\text{NiSe}_5$  induced by the Bose-Einstein condensation of excitons. *Phys. Rev. B*, 87:035121, 2013.
- [10] B. Zenker, H. Fehske, H. Beck, C. Monney, and A. R. Bishop. Chiral charge order in  $1T\text{-TiSe}_2$ : Importance of lattice degrees of freedom. *Phys. Rev. B*, 88:075138, 2013.
- [11] V.-N. Phan, K. W. Becker, and H. Fehske. Exciton condensation due to electron-phonon interaction. *Phys. Rev. B*, 88:205123, 2013.
- [12] N. Bogoliubov, V. V. Tolmachev, and D. V. Shirkov. *New Method in the Theory of Superconductivity*. Consultants Bureau, New York, 1959.
- [13] P. Wachter. Exciton condensation in an intermediate valence compound:  $\text{TmSe}_{0.45}\text{Te}_{0.55}$ . *Solid State Commun.*, 118:645, 2001.
- [14] J. Bardeen, L. N. Cooper, and J. R. Schrieffer. Theory of superconductivity. *Phys. Rev.*, 108:1175, 1957.
- [15] N. V. Phan, H. Fehske, and K. W. Becker. Excitonic resonances in the 2D extended Falicov-Kimball model. *Europhys. Lett.*, 95:17006, 2011.

# THẺ LỆ VIẾT VÀ GỬI BÀI

1. Bài nhận đăng là các công trình mới có ý nghĩa khoa học và thực tiễn trong các lĩnh vực khoa học và công nghệ, chưa công bố ở bất kỳ tạp chí nào.

2. Một số lưu ý về hình thức và bố cục của bài báo

2.1. Hình thức của bài báo

- Bài viết được soạn thảo bằng các phần mềm soạn thảo văn bản MS Word, không quá 10 trang giấy khổ A4. Hình ảnh trong bài viết rõ ràng, theo định dạng PNG, JPG hoặc WMF. Tên hình vẽ đặt ở phía dưới, tên bảng biểu đặt ở phía trên, hình và bảng được đánh số thứ tự.

2.2. Bố cục của bài báo

- Phần tiêu đề: chứa các thông tin sau:

- Tiêu đề bài báo: bằng tiếng Việt và tiếng Anh, súc tích, đầy đủ thông tin.
- Tên các tác giả: ghi đầy đủ theo thứ tự họ, chữ lót và tên. Phía trên tên tác giả liên lạc (corresponding author) được đánh dấu \*.
- Cơ quan công tác: cung cấp địa chỉ thuận lợi cho việc liên hệ.
- Địa chỉ e-mail: địa chỉ e-mail (nếu có) của các tác giả có tên trong bài báo.

- Phần tóm tắt: bằng tiếng Việt và tiếng Anh giới thiệu một cách ngắn gọn về mục đích nghiên cứu và kết quả đạt được của bài báo.

- Phần nội dung: đầy đủ các mục: a. Đặt vấn đề (nêu rõ mục đích, đối tượng nghiên cứu, tính thời sự của vấn đề); b. Giải quyết vấn đề (phương pháp nghiên cứu, phương tiện sử dụng khi nghiên cứu, nội dung nghiên cứu đã thực hiện); c. Kết quả nghiên cứu và thảo luận; d. Kết luận.

- Phần tài liệu tham khảo: chỉ nêu các tài liệu trích dẫn đã được liệt kê, sắp thứ tự bằng số chứa trong các ngoặc vuông, định dạng như sau:

- Đối với sách, luận án, báo cáo: số thứ tự, họ và tên tác giả hoặc tên cơ quan ban hành, tên sách (luận án, báo cáo), nhà xuất bản, nơi xuất bản, năm xuất bản.
- Đối với bài báo: số thứ tự, họ và tên tác giả, tên bài báo, tên tạp chí, tập, số, năm xuất bản, số trang.

3. Địa chỉ gửi bài: Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Duy Tân, 03 Quang Trung, Đà Nẵng; ĐT: 0236.3827111- 413; Email: tapchikhen@duytan.edu.vn.

## **Lưu ý:**

- Ban biên tập chỉ nhận những bài đã được chuẩn bị theo đúng các qui định trên. Nếu bài không được đăng, tòa soạn sẽ không trả lại bản thảo.

---

Giấy phép hoạt động báo chí in số 1245/GP-BTTTT ngày 05/08/2011

In tại Công ty CP In và Dịch vụ Đà Nẵng, 420 Lê Duẩn, TP Đà Nẵng

Số lượng 100 bản; Khổ 21 × 28,5 cm

In xong và nộp lưu chiểu ngày: 20/6/2019