



Original Article

Synthesis, Structure and Luminescent Property of Heterometallic Ln(III)–K Complexes with 4,4,4–trifluoro–1–phenyl–1,3–butanedione Ligand

Phan Thi Thu Ha^{1,3}, Nguyen Van Hai³, Nguyen Minh Hai², Dinh Thi Hien^{3,*}

¹Tay Nguyen University, 567 Le Duan, Buon Ma Thuot, Dak Lak, Vietnam

²VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

³Hanoi National University of Education, 136 Xuan Thuy, Hanoi, Vietnam

Received 31st December 2024

Revised 26th April 2025; Accepted 11th May 2025

Abstract: Three heterometallic β -diketonate complexes, $[\text{Ln}(\text{TFPB})_4\text{K}]$ ($\text{Ln} = \text{Eu}$ (**1**), Lu (**2**), Y (**3**); **TFPB** = 4,4,4–trifluoro–1–phenyl–1,3–butanedione), were synthesized and structurally characterized using ESI–MS, IR and ^1H – NMR spectroscopies. X–ray crystallographic analysis demonstrates that (**1**) exists as dimer form in which the Eu^{3+} ion was coordinated by four **TFPB** ligands. The alkali metal K in the complex is stabilized by electrostatic interactions with O and F atoms of **TFPB** ligands. The luminescence properties of (**1**) were determined using UV–Vis and photoluminescence methods. The results indicate that under 360 nm excitation, the $\text{Eu}(\text{III})$ complex emits strong red fluorescence at 616 nm, corresponding to the transition $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$.

Keywords: Heterometallic complex, β -diketonate, lanthanide.

* Corresponding author.

E-mail address: dinhvien@hnue.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1140/vnunst.5859>

Tổng hợp, nghiên cứu cấu trúc và tính chất quang của phức chất dị nhân Ln(III)–K với phối tử 4,4,4-trifluoro-1-phenyl-1,3-butanedione

Phan Thị Thu Hà^{1,3}, Nguyễn Văn Hải³, Nguyễn Minh Hải², Đinh Thị Hiền^{3,*}

¹Trường Đại học Tây Nguyên, 567 Lê Duẩn, Thành phố Buôn Ma Thuột, Đắk Lắk, Việt Nam

²Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 19 Lê Thánh Tông, Hà Nội, Việt Nam

³Trường Đại học Sư phạm Hà Nội, 136 Xuân Thủy, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 31 tháng 12 năm 2024

Chỉnh sửa ngày 26 tháng 4 năm 2025; Chấp nhận đăng ngày 11 tháng 5 năm 2025

Tóm tắt: Ba phức chất dị nhân β -diketonate, $[\text{Ln}(\text{TFPB})_4\text{K}]$ ($\text{Ln} = \text{Eu}$ (1), Lu (2), Y (3); **TFPB** = 4,4,4-trifluoro-1-phenyl-1,3-butanedione) đã được tổng hợp và nghiên cứu cấu trúc bằng các phương pháp phổ ESI-MS, IR, và ^1H -NMR. Kết quả nhiễu xạ tia X đơn tinh thể cho thấy phức chất (1) tồn tại dưới dạng dimer, trong đó ion Eu^{3+} phối trí với bốn phối tử **TFPB**[−]. Kim loại kiềm K trong phức chất được bắt giữ nhờ tương tác tĩnh điện với các nguyên tử O và F của phối tử **TFPB**[−]. Tính chất phát quang của phức chất (1) đã được xác định bằng phương pháp phổ UV-Vis và huỳnh quang. Kết quả cho thấy khi kích thích tại 360 nm, phức chất Eu(III) phát xạ đỏ với cường độ lớn tại 616 nm tương ứng với chuyển mức $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$.

Từ khóa: Phức chất dị nhân, β -diketonate; lanthanide.

1. Mở đầu

Phức chất lanthanide đang thu hút sự quan tâm của nhiều nhà khoa học nhờ các ứng dụng thực tiễn và tiềm năng của chúng trong lĩnh vực vật liệu phát quang và điốt phát quang hữu cơ. Tuy nhiên, ion Ln(III) có hệ số hấp thụ mol và hiệu suất lượng tử rất thấp. Do đó, các chất có hệ số hấp thụ mol cao thường được kết hợp làm "ăng-ten" để hấp thụ năng lượng từ bên ngoài và truyền đến trung tâm Ln(III) nhằm cải thiện hiệu suất phát quang. Trong số các phối tử hữu cơ được sử dụng để điều chế các phức chất lanthanide, β -diketone là một phối tử cổ điển, phổ biến nhất do khả năng hấp thụ ánh sáng cực tím mạnh, truyền năng lượng hiệu quả [1-3]. Phối tử β -diketone không chỉ đóng vai trò là cầu nối chelate mà còn tạo ra các phức chất với

cấu trúc đa dạng, phụ thuộc vào điều kiện phản ứng [4, 5]. Phức chất β -diketonate mang lại nhiều cơ hội ứng dụng trong khoa học vật liệu hiện đại, bao gồm việc làm tiền chất cho vật liệu màng mỏng nanocomposite, xúc tác, hình ảnh sinh học, và công nghệ OLED [3, 4, 6]. Ngoài ra, các ứng dụng trong thiết bị bộ nhớ và thành phần pin nhiên liệu đã được báo cáo [6]. Chính vì vậy, việc khám phá các vật liệu phát quang và sinh học mới với khả năng phát quang ngày càng vượt trội đã trở thành nguồn cảm hứng cho các nhà khoa học.

Các tetrakis lanthanide(III)(β -diketonate) với công thức chung (cation) $[\text{Ln}(\beta\text{-diketonate})_4]$ đã được nghiên cứu rộng rãi trong nhiều thập kỷ qua. Trong cấu trúc của chúng, bốn phối tử β -diketonate tạo thành một khối đa diện bảo hòa quanh ion Ln(III) . Các cation tương ứng thường là các ion kim loại kiềm hoặc các phân tử hữu cơ tích điện dương chứa N hoặc P. Do sự che chắn của khối đa diện LnO_8 khỏi sự dập tắt của các phân tử dung môi, các

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: dinhthien@hnue.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1140/vnunst.5859>

phức này thường biểu hiện cường độ phát quang cao hơn nhiều so với tris(β -diketonate) [6]. Bên cạnh đó, việc sử dụng nhóm thế C–F trong phối tử β -diketone giúp tăng hiệu suất phát xạ của ion đất hiếm, tăng khả năng hòa tan của các phức chất và hỗ trợ quá trình kết tinh tốt hơn [4, 6].

Trong bài viết này, chúng tôi trình bày quy trình tổng hợp, xác định cấu trúc và nghiên cứu tính chất quang của phức chất di nhân Ln(III) – K với phối tử 4,4,4-trifluoro-1-phenyl-1,3-butanedione.

2. Thực nghiệm

2.1. Tổng hợp các phức chất

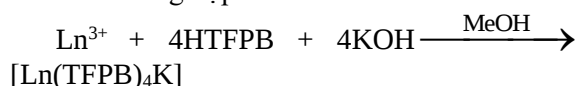
Các điều kiện tỉ lệ mol giữa ion đất hiếm và phối tử, dung môi, thể tích dung môi, thời gian tổng hợp đã được thay đổi so với một số công trình đã được công bố. Quy trình cụ thể tổng hợp các phức chất được trình bày dưới đây:

Bước 1: hòa tan 0,5 mmol LnCl_3 ($\text{Ln} = \text{Eu}, \text{Lu}, \text{Y}$) trong 20 ml methanol (dung dịch 1).

Bước 2: hòa tan 2,0 mmol **HTFPB** và 2,0 mmol KOH trong 20 ml methanol (dung dịch 2).

Bước 3: cho từ từ dung dịch 1 vào dung dịch 2, khuấy trên máy khuấy từ. Tiếp tục khuấy dung dịch trong khoảng 1 giờ đến tổng thể tích còn khoảng 20 ml. Dung dịch thu được để bay hơi chậm tại nhiệt độ phòng. Tinh thể phức chất $[\text{Ln}(\text{TFPB})_4\text{K}]$ thu được sau 4 - 5 ngày.

Sơ đồ tổng hợp:



2.2. Các phương pháp nghiên cứu

Phổ khối lượng ESI–MS được ghi trên máy LC–MSD–Trap–SL, phương pháp bắn phá ESI–mod. Phức chất được hòa tan trong dung môi acetonitrile. Áp suất khí phun 30 psi, nhiệt độ khí làm khô 325 °C, tại Khoa Hóa, Trường Đại học Sư phạm Hà Nội.

Phổ hấp thụ hồng ngoại IR của các phức chất được đo trên máy đo phổ hấp thụ hồng ngoại FTIR 8700 tại Khoa Hóa, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội và Khoa Hóa, Trường Đại học Sư phạm Hà

Nội. Các mẫu rắn được trộn, nghiền nhỏ và ép viên với KBr.

Các phức chất (2), (3) được đo phổ cộng hưởng từ hạt nhân ở nhiệt độ 298K, dung môi CDCl_3 bằng máy đo phổ cộng hưởng từ hạt nhân ^1H -NMR AVANCE Bruker–500MHz tại Khoa Hóa, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội.

Phức chất (1) được đo nhiễu xạ tia X đơn tinh thể bằng máy đo nhiễu xạ tia X (STOE IPDS 2T) ở nhiệt độ 200K tại Khoa Hóa, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội. Cấu trúc được tính toán và tối ưu hóa bằng phần mềm SHELXS–97.

Phổ hấp thụ phân tử UV–Vis của (1) được ghi trên máy đo quang phổ hấp thụ phân tử Cary 5000 UV–Vis tại Khoa Hóa, Trường Đại học Sư phạm Hà Nội.

Phổ huỳnh quang (PL) của dung dịch phức chất (1) được đo tại Khoa Hóa, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội.

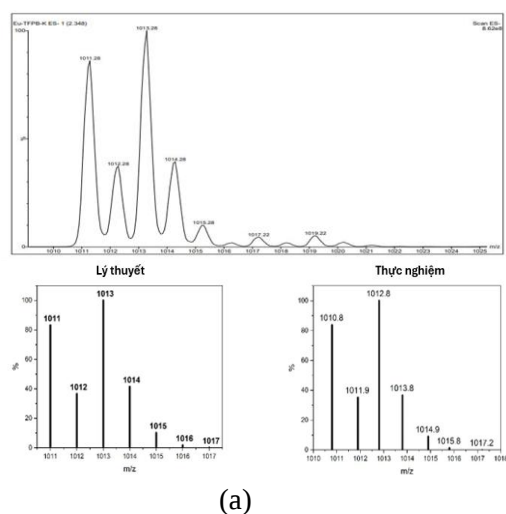
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Phổ khối lượng ESI–MS

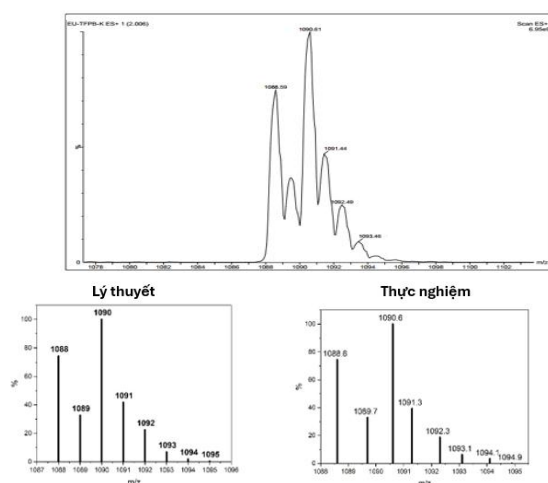
Trên phổ $-\text{MS}^1$ của phức chất (1) (Hình 1a) xuất hiện pic có m/z 1013,28 phù hợp với ion phân tử $[\text{Eu}(\text{TFPB})_4]^-$ của phức chất và có tần số tương đối lớn. Tương tự, trên phổ $+\text{MS}^1$ của phức chất (Hình 1b) cũng xuất hiện pic có m/z 1090,61 phù hợp với ion phân tử $[\text{Eu}(\text{TFPB})_4+2\text{K}]^+$ của phức chất (1). Từ dữ kiện này có thể khẳng định công thức giả định của phức chất là đúng, phức chất tồn tại dạng anion với giả thiết ion trung tâm Eu^{3+} phối trí với 4 phối tử **TFPB** $^-$.

Do hiệu ứng đồng vị, trên phổ khối xuất hiện các cụm pic phân tử với các đồng vị khác nhau. Tỉ lệ cường độ của các pic này tuân theo sự phân bố các đồng vị trong tự nhiên. Các cụm pic đồng vị này có thể cung cấp thông tin quan trọng trong việc xác định công thức phân tử phức chất. Vì vậy, chúng tôi tiến hành khảo sát cụm pic đồng vị của phức chất đã được tổng hợp. Do việc tính toán bằng lý thuyết xác suất gặp nhiều khó khăn, phần mềm Mass–spec đã được sử dụng để hỗ trợ giải phổ.

Dựa trên kết quả khảo sát cụm pic đồng vị trong phân tử phức chất, chúng tôi so sánh tỉ lệ cường độ các pic đồng vị phân tử của các phức chất (Hình 1). Pic phân tử lớn nhất được coi là 100%, từ đó xác định tỉ lệ cường độ của các pic còn lại. Kết quả cho thấy, tỉ lệ cường độ các pic đồng vị trên phổ $+MS^1$ và $-MS^1$ của phức chất giữa lý thuyết và thực nghiệm hoàn toàn trùng khớp, giúp khẳng định thêm về công thức phức chất.



(a)



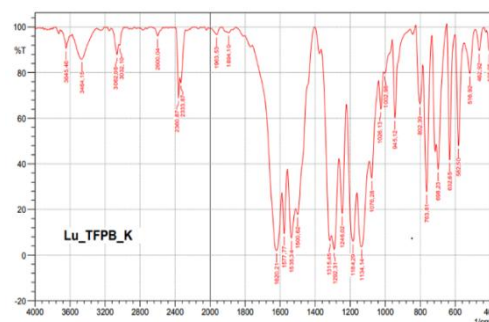
(b)

Hình 1. Phổ $-MS^1$ và $+MS^1$ của phức chất (1).

3.2. Phổ hấp thụ hồng ngoại

Kết quả phổ hấp thụ hồng ngoại của các phức chất (Bảng 1) chỉ ra có sự xuất hiện của

các vân hấp thụ cường độ thấp, chân rộng đặc trưng cho dao động hóa trị của nhóm $-OH$ tại $3444 - 3464 \text{ cm}^{-1}$. Nguyên nhân có thể do chất chưa khô hoặc trong quá trình ép mẫu bằng KBr có lẫn nước ẩm. Vân hấp thụ của $C=O$ dao động trong vùng $1616 - 1620 \text{ cm}^{-1}$, cao hơn so với tần số đặc trưng của nó trong phối tử **HTFPB**. Chứng tỏ phối tử **TFPB** đã tham gia phối trí với ion đất hiếm. So với các phối tử tự do, vân hấp thụ này dao động về vùng có số sóng cao hơn nguyên nhân là do hiệu ứng liên hợp của vòng thơm với nhóm diketone, phù hợp với các công trình về phức đất hiếm với phối tử β -diketone đã được công bố. Cũng do hiệu ứng liên hợp π , vân hấp thụ đặc trưng cho dao động hóa trị của liên kết $C-F$ bị dịch chuyển về vùng có số sóng cao hơn so với phối tử tự do. Trong các phức chất còn xuất hiện thêm vân hấp thụ có cường độ thấp tại vùng $513 - 526 \text{ cm}^{-1}$ đặc trưng cho dao động hóa trị của liên kết $Ln-O$, giả thiết được đưa ra các ion Ln^{3+} đã tham gia phối trí với phối tử.



Hình 2. Phổ IR của phức chất (2).

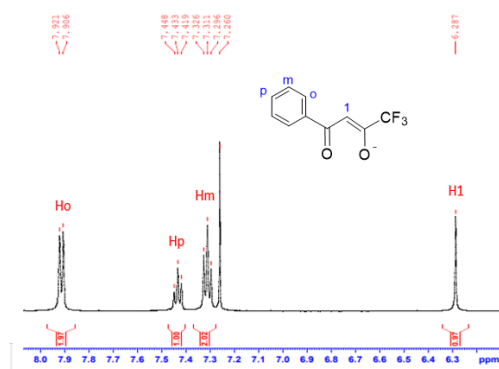
Bảng 1. Các dải hấp thụ đặc trưng trong phổ IR của các phức chất (ν, cm^{-1})

Hợp chất	ν_{O-H}	$\nu_{C=O}$	ν_{C-F}	ν_{Ln-O}
HTFPB	—	1600	1191	—
(1)	3444	1616	1288	513
(2)	3464	1620	1292	516
(3)	3444	1620	1292	526

3.3. Phổ cộng hưởng từ hạt nhân

Để thêm thông tin về thành phần cấu tạo, các phức chất của Y(III), Lu(III) được đo phổ

cộng hưởng từ hạt nhân, do các phức chất này là chất nghịch từ, thuận lợi để nghiên cứu bằng phương pháp ^1H – NMR. Kết quả đại diện của phức chất (3) được đưa ra trong Hình 3, quy kết các tín hiệu được chỉ ra trong Bảng 2.



Hình 3. Kí hiệu các nguyên tử H đặc trưng trong phức chất và một phần phổ ^1H – NMR của (3).

Bảng 2. Quy kết tín hiệu phổ ^1H – NMR của (2), (3)

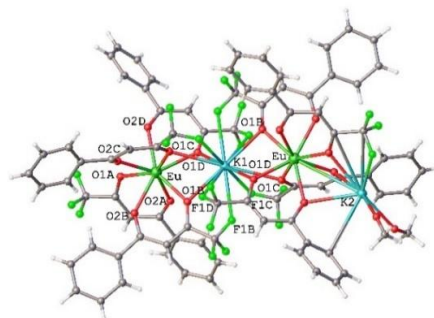
Phức chất	Quy gán vân phổ			
	δ (ppm)	Độ bội	Tỉ lệ	Quy gán
(2)	7,91	Vân đôi	2,0	8Ho
	7,43	Vân ba	1,0	4Hp
	7,31	Vân ba	2,0	8Hm
	6,03	Vân đơn	1,0	4H1
(3)	7,91	Vân đôi	2,0	8Ho
	7,45	Vân ba	1,0	4Hp
	7,31	Vân ba	2,0	8Hm
	6,30	Vân đơn	1,0	4H1

Việc quy gán các tín hiệu trong phổ của phức chất (2), (3) dựa vào các tín hiệu proton của phối tử tự do **HTFPB**. Trên phổ cộng hưởng từ hạt nhân ^1H –NMR của các phức chất đều xuất hiện các tín hiệu proton tương ứng với bộ khung H trong phân tử của phức chất. Các tín hiệu trong ở vùng 7,31 ÷ 7,91 ppm đặc trưng cho các proton trong vòng phenyl. Trong đó, tín hiệu vân đôi tại 7,91 ppm được quy gán cho proton 8Ho, tín hiệu vân ba tại 7,43 ÷ 7,45 ppm được quy gán cho proton 8Hp và tín hiệu vân

ba tại 7,31 ppm được quy gán cho proton 4Hm. Bên cạnh đó, trên phổ cộng hưởng từ hạt nhân ^1H –NMR của phức chất (2), (3) đều xuất hiện tín hiệu vân đơn tại 6,03 ÷ 6,30 ppm ứng với 4H của nhóm C–H trong 4 phối tử **TFPB**[–]. Do sự phối trí giữa phối tử **TFPB**[–] và ion Ln(III) làm cố định dạng enol của phối tử nên trên phổ cộng hưởng từ của phức chất chỉ thu được một bộ tín hiệu rõ ràng. Kết quả thu được cho thấy các phối tử **TFPB**[–] đã tham gia phối trí với ion Ln³⁺ (Ln = Lu, Y) qua các nguyên tử O theo đúng tỉ lệ 1Ln³⁺: 4**TFPB**[–]. Như vậy, kết quả phổ cộng hưởng từ phù hợp công thức dự kiến của phức chất là [Ln(TFPB)₄K].

3.4. Phương pháp nhiễu xạ tia X đơn tinh thể

Đơn tinh thể của phức chất (1) được xác định cấu trúc bằng phương pháp nhiễu xạ tia X đơn tinh thể. Hình ảnh cấu trúc đơn tinh thể của phức chất được đưa ra trong Hình 4, một số thông tin về tinh thể học và tối ưu hóa cấu trúc, độ dài liên kết và góc liên kết trong phức chất được trình bày trong Bảng 3 và Bảng 4.



Hình 4. Cấu trúc tinh thể của phức chất (1).

Bảng 3. Một số thông tin về tinh thể học và tối ưu hóa cấu trúc của phức (1)

Phức chất	[Eu(TFPB) ₄ K]
Công thức	C ₈₃ H ₅₇ Eu ₂ F ₂₄ K ₂ O ₁₉
M (g.mol ^{–1})	2196,40
Hệ tinh thể	Monoclinic
a (Å)	26,542(3)
b (Å)	11,6308(15)
c (Å)	27,802(4)
α (°)	90

β (°)	92,451(5)
γ (°)	90
V (Å ³)	8575(2)
Nhóm điểm không gian	P2 ₁ /n
Số phân tử/ô cơ sở	4
R ₁ /wR ₂	0,1670/0,3136

Bảng 4. Độ dài liên kết và góc liên kết của (1)

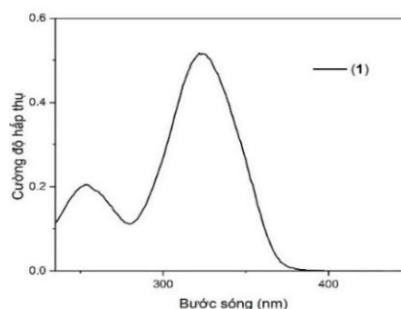
Độ dài liên kết (Å)			
Eu–O1A	2,425(12)	Eu–O1D	2,393(11)
Eu–O2A	2,371(12)	Eu–O2D	2,428(12)
Eu–O1B	2,393(11)	K1–O1D	2,865(11)
Eu–O2B	2,390(11)	K1–O1B	2,739(11)
Eu–O1C	2,438(12)	K1–F1C	2,970(11)
Eu–O2C	2,350(12)	K1–F1D	3,002(11)
Góc liên kết (°)			
O1A–Eu–O2A	70,9(4)	O1B–K1–F1B	56,8(3)
O1B–Eu–O2B	70,5(4)	O1C–K1–F1C	53,2(3)
O1C–Eu–O2C	70,9(4)	O1D–K1–F1D	55,2(3)

Từ dữ liệu cấu trúc tinh thể thu được bằng phương pháp nhiễu xạ tia X đơn tinh thể cho thấy (1) là phức anion tồn tại ở dạng dimer và kết tinh hệ tinh thể monoclinic với nhóm điểm không gian P2₁/n. Trong đó ion trung tâm Eu³⁺ phối trí với 8 nguyên tử O của 4 phối tử **TFPB**[–], góc liên kết O–Eu–O nằm trong khoảng 70,5° ÷ 70,9°. Độ dài của các liên kết Eu–O trong phạm vi là 2,350 ÷ 2,438 Å. Các giá trị góc liên kết và độ dài liên kết nhỏ thể hiện sự tương tác chặt chẽ giữa ion Eu³⁺ và các nguyên tử O của phối tử **TFPB**[–], chứng tỏ sự ổn định của phức chất. Ion kim loại kiềm K⁺ ở cầu ngoại của (1) phối trí với các nguyên tử F, O của các phối tử **TFPB**[–] xung quanh. Các liên kết K–O có độ dài lớn hơn Eu–O với giá trị nằm trong khoảng 2,739 ÷ 3,002 Å, điều này phù hợp với kích thước lớn của ion K⁺. Các góc liên kết O–K–F khá nhỏ, nằm trong khoảng 55,2° ÷ 56,8°. Ion kim loại K⁺ còn lại không có nước tham gia

phối trí mà có sự phối trí của dung môi methanol. Kết quả thu được phù hợp với công thức giả định của phức chất và các kết quả thu được từ các phương pháp phổ.

3.5. Phổ hấp thụ UV–Vis

Phổ hấp thụ UV–Vis của (1) được đo ở nồng độ 5,10^{–6} M trong dung môi methanol (Hình 5).

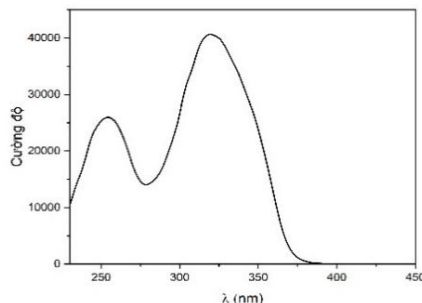


Hình 5. Phổ hấp thụ UV–Vis của (1).

Kết quả chỉ ra, phức chất (1) xuất hiện dải hấp thụ ở vùng sóng 235 – 400 nm, đỉnh hấp thụ cực đại tại 325 nm được quy gán cho chuyển mức $\pi \rightarrow \pi^*$ của β -diketonate. Dải hấp thụ này dịch chuyển nhẹ về vùng bước sóng dài hơn so với vị trí của nó trong **HTEPB** tự do (323 nm). Dải hấp thụ ở 256 nm là chuyển mức $\pi-\pi^*$ của benzene trong phối tử β -diketone. Do bị cấm theo quy tắc Laport nên gần như không quan sát được các dải chuyển 4f – 4f của Eu³⁺ trên phổ hấp thụ của (1).

3.6. Phổ kích thích và phổ huỳnh quang PL

Phổ kích thích của (1) được theo dõi ở cực đại chuyển mức Eu(III) $^5D_0 \rightarrow ^7F_2$ (Hình 6).

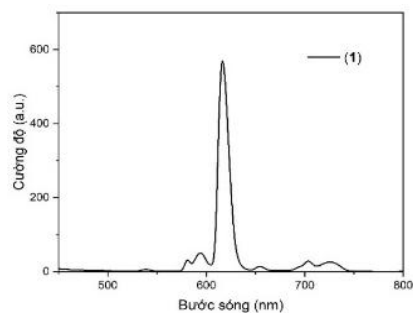


Hình 6. Phổ kích thích của (1) trong methanol ở nhiệt độ phòng.

Các dải trong vùng 235 - 400 nm có hình dạng phổ giống với sự hấp thụ của các liên kết hữu cơ trong phức chất.

Kết quả cho thấy nguyên nhân phát quang là do phối tử hấp thụ năng lượng truyền sang ion đất hiếm, và phát quang đặc trưng của Eu^{3+} là màu đỏ ở bước sóng phát xạ tại 616 nm.

Phổ huỳnh quang PL của phức chất (1) được đo ở nồng độ $5,10^{-6}$ M trong dung môi methanol, bước sóng kích thích 360 nm (Hình 7). Các dải phát xạ sắc nét của ion Eu^{3+} được quy gán cho các chuyển mức $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_{1-4}$ trong vùng 570–750 nm. Trong đó, phát xạ cường độ mạnh nhất tại $\lambda = 616$ nm ứng với dải chuyển $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$. Các nghiên cứu chỉ ra rằng cường độ tương đối của chuyển mức lưỡng cực điện ($^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$) và lưỡng cực từ ($^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_1$) được xác định bởi tính đối xứng của cầu phối trí ion trung tâm Eu^{3+} . Thực tế, tỷ lệ cường độ I ($^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$) / I ($^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_1$) là 12:1, nằm trong phạm vi cho phép đối với phức chất β -diketonate đất hiếm không đối xứng. Kết quả phù hợp với môi trường đối xứng thấp của ion Eu^{3+} thể hiện qua cấu trúc lăng trụ vuông biến dạng của phức chất thu được từ dữ liệu nhiễu xạ tia X đơn tinh thể.



Hình 7. Phổ huỳnh quang PL của phức chất (1).

4. Kết luận

Các phức chất mới (1), (2), (3) đã được tổng hợp và xác định cấu trúc. Kết quả cho thấy ion Ln^{3+} phối trí với TFPB^- theo tỉ lệ 1:4 thông qua các nguyên tử oxygen. Phức chất (1) tồn tại dạng dimer, trong đó ion Eu^{3+} có số phối trí 8, kim loại K được bắt giữ bởi lực tương tác tĩnh điện với O, F của TFPB^- . Kết quả đo phổ PL

cho thấy dưới bước sóng kích thích 360 nm, phức chất $\text{Eu}(\text{III})$ trong dung môi methanol phát quang mạnh màu đỏ ứng với các dải chuyển $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_{1-4}$.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được hoàn thành trong khuôn khổ đề tài của Bộ Giáo dục và Đào tạo, mã số: B2025-SPH-03. Các tác giả chân thành cảm ơn.

Tài liệu tham khảo

- [1] T. H. Nga, L. T. H. Hai, D. T. Hien, N. M. Hai, Syntheses and Structure, Property Study on $\text{Ln}(\text{III})\text{--Na}(\text{I})$ Complexes of 1,1,1-trifluoro-3-(2-thenoyl)acetone Ligand, *Journal of Analytical Sciences*, Vol. 27, No. 3, 2022, pp. 92-96.
- [2] T. H. Dinh, H. H. Nguyen, M. H. Nguyen, A Structural and Spectroscopic Study on Heterometallic Sodium (I)–europium (III) β -Diketonate Complexes, *Inorganic Chemistry Communications*, Vol. 130, 2021, pp. 108674, <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2021.108674>.
- [3] D. T. Hien et al., Size-dependent Polymeric Arrays of Heterometallic $\text{Cs}^+\text{--Ln}^{3+}$ β -Diketonates, *Inorganic Chemistry Communications*, Vol. 157, 2023, pp. 111312, <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.111312>.
- [4] Beltrame, Ariane CF et al., PMMA or PVDF Films Blended with β -diketonate Tetrakis Eu III or Tb III Complexes used as Downshifting Coatings of Near-UV LEDs, *Soft Matter*, Vol. 19, No. 22, 2023, pp. 3992-4000, <https://doi.org/10.1039/D3SM00239J>.
- [5] T. S. Sukhikh, D. S. Kolybalov, E. K. Pylova, D. A. Bashirov, V. Y. Komarov, N. V. Kuratieva, S. N. A. Konchenko, S. N., A Fresh Look at the Structural Diversity of Dibenzoylmethanide Complexes of Lanthanides, *New Journal of Chemistry*, Vol. 43, No. 25, 2019, pp. 9934-9942, <https://doi.org/10.1039/C9NJ02059D>.
- [6] Y. S. Kudyakova, P. A. Slepukhin, M. S. Valova, Y. N. Burgart, V. I. Saloutin, D. N. Bazhin, The Impact of the Alkali Metal Ion on the Crystal Structure and (Mechano) Luminescence of Terbium (III) Tetrakis (β -diketonates), *European Journal of Inorganic Chemistry*, Vol. 6, 2020, pp. 523-531, <https://doi.org/10.1002/ejic.201901202>.