

TỔNG HỢP, TÍNH CHẤT PHÁT QUANG CỦA CÁC PHỨC CHẤT TẠO BỞI Nd^{3+} , Sm^{3+} , Eu^{3+} VỚI HỖN HỢP PHỐI TỬ SALICYLIC VÀ 2,2'-DIPYRIDINE-N-OXIDE

Đến tòa soạn 09-05-2023

Nguyễn Thị Hiền Lan*, Nguyễn Thị Tố Loan

Khoa Hóa học, trường ĐH Sư Phạm - ĐH Thái Nguyên

* Email: lannt.hchem@tnue.edu.vn

SUMMARY

SYNTHESIS, LUMINESCENT PROPERTIES OF COMPLEXES OF Nd^{3+} , Sm^{3+} , Eu^{3+} WITH SALICYLIC AND 2,2'-DIPYRIDINE-N-OXIDE

In this paper, the luminescent properties of three synthesis complexes of Ln (III) (Ln: Nd, Sm, Eu) with mixed ligands (salicylic and 2,2'-dipyridine-N-oxide) are described. The complexes correspond to their general formula of $\text{Ln}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})(\text{H}_2\text{O})_2$ (Ln: Nd, Eu; Sal⁻: Salicylic, DipyO: 2,2'-dipyridine-N-oxide) and $\text{Sm}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})$. The products were characterized by IR, thermal analysis, mass, and emission spectroscopy. The findings from IR spectroscopy suggested that complexes had been synthesized successfully, in which three of them consisted of neutral monomeric molecules. The thermal analysis indicated that they were all quite stable to heat. The luminescent spectra of the $\text{Eu}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})(\text{H}_2\text{O})_2$ displayed five bands arising from the $^5\text{D}_0 - ^7\text{F}_2$ dominant transition located at 614 nm, whereas the weaker $^5\text{D}_0 - ^7\text{F}_1$, $^5\text{D}_0 - ^7\text{F}_4$ transitions located at 592 and 700 nm, respectively. Notably, the weakest $^5\text{D}_0 - ^7\text{F}_0$, $^5\text{D}_0 - ^7\text{F}_3$ transitions were located at 579, 652 nm, respectively. The luminescent spectra of the $\text{Sm}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})$ displayed three weak bands at 561, 598, and 645 nm, arising from $^4\text{G}_{5/2} - ^6\text{H}_{5/2}$, $^4\text{G}_{5/2} - ^6\text{H}_{7/2}$, $^4\text{G}_{5/2} - ^6\text{H}_{9/2}$ transitions. These complexes demonstrated photoluminescence under UV light at room temperature.

Keywords: Rare earth complex, luminescent property, salicylic acid, 2,2'-dipyridine-N-oxide.

1. MỞ ĐẦU

Các phức chất phát quang của kim loại đất hiếm thu hút nhiều sự quan tâm nghiên cứu vì các ứng dụng tiềm năng của chúng trong thiết kế các điốt phát quang hữu cơ [1-3]. Một trong những vấn đề quan trọng nhất trong lĩnh vực này là lựa chọn được các phối tử phù hợp sẽ mang lại hiệu quả phát quang cao của các ion kim loại. Sự kích thích, dẫn đến sự phát quang của các ion đất hiếm trong các phức chất, phụ thuộc rất nhiều vào sự

truyền năng lượng từ các phối tử sang ion kim loại (hiệu ứng ăng-ten) [2,3]. Trạng thái triplet thấp nhất của phối tử đóng vai trò lớn nhất trong quá trình này [4]. Người ta đã chứng minh được rằng sự truyền năng lượng được thực hiện một cách hiệu quả khi trạng thái triplet thấp nhất nằm trên mức năng lượng cộng hưởng của ion kim loại một chút [4]. Theo cách tiếp cận này, bốn loại hợp chất chính đã được nghiên cứu dưới dạng các phối tử hỗ trợ, đó là: 8-oxiquinoline, β -diketones, carboxylic acid thơm và pyrazolones

[4]. Trong bài báo này, chúng tôi trình bày quá trình tổng hợp, tính chất và sự phát quang của các phức chất tạo bởi Nd(III), Sm(III), Eu(III) với hỗn hợp phối tử salicylic và 2,2'-dipyridine-N-oxide.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Hóa chất

Các hóa chất: Salicylic acid, 2,2'-dipyridine-N-oxide, Nd_2O_3 , Sm_2O_3 , Eu_2O_3 , HCl, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ là hóa chất tinh khiết của hãng Merck. Nước sử dụng trong các thí nghiệm là nước cất 2 lần.

2.2. Tổng hợp phức chất

Các phức chất được tổng hợp theo quy trình sau [5]: Hòa tan riêng rẽ hai phối tử salicylic acid (HSal) và 2,2'-dipyridine-N-oxide (DipyO) trong $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (nồng độ HSal = 0,1M; nồng độ DipyO = 0,1M), trộn hai dung dịch này với nhau thu được dung dịch hỗn hợp phối tử. Cho từ từ dung dịch LnCl_3 (Ln: Nd, Sm, Eu) vào dung dịch hỗn hợp phối tử trên. Tỷ lệ mol giữa LnCl_3 : HSal : DipyO là 1 : 3 : 1. Hỗn hợp được khuấy trên máy khuấy từ ở nhiệt độ phòng, khoảng 3,5 – 4 giờ, tinh thể phức chất từ từ tách ra. Lọc, rửa phức chất bằng nước cất trên phễu lọc thủy tinh xốp. Làm khô phức chất trong bình hút ẩm đến khối lượng không đổi. Hiệu suất tổng hợp đạt 80 - 85%. Các phức chất thu được có màu đặc trưng của ion đất hiếm.

2.3. Các phương pháp nghiên cứu tính chất của phức chất

3.1 Kết quả phổ hấp thụ hồng ngoại

Bảng 1. Các số sóng hấp thụ đặc trưng trong phổ hồng ngoại của phối tử và phức chất (cm^{-1})

TT	Hợp chất	$\nu(\text{COOH})$	$\nu_{\text{as}}(\text{COO}^-)$	$\nu_{\text{s}}(\text{COO}^-)$	$\nu(\text{NO})$	$\nu(\text{CN})$	$\nu(\text{Ln-O})$	$\nu(\text{OH})$
1	HSal	1653		1479				3230 3062
2	DipyO	-	-	-	1232	1564		-
3	$\text{Nd}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})(\text{H}_2\text{O})_2$	-	1591	1458	1215	1548	532	3315 3064
4	$\text{Sm}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})$	-	1591	1460	1207	1556	532	3334 3061
5	$\text{Eu}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})(\text{H}_2\text{O})_2$	-	1610	1421	1207	1533	536	3332 3057

Phổ hồng ngoại của các phức chất và phối tử được ghi trên máy FTIR Affinity – IS, hãng SHIMADZU (Nhật) trong vùng có số sóng từ $(400 \div 4000) \text{ cm}^{-1}$, thực hiện tại khoa Hóa học, trường ĐH Khoa học Tự nhiên – ĐH Quốc gia Hà Nội.

Giản đồ phân tích nhiệt của các phức chất được thực hiện trên máy SETARAM (Pháp) trong môi trường không khí. Nhiệt độ được nâng từ nhiệt độ phòng đến 900°C với tốc độ nung 10°C/phút , thực hiện

tại Khoa Hóa học – Trường ĐH Khoa học Tự nhiên – ĐH Quốc gia Hà Nội.

Phổ khối lượng của các phức chất được ghi trên máy LC/MS – Xevo TQMS, hãng Water (Mỹ), nguồn ion: ESI, nhiệt độ khí làm khô 325°C , áp suất khí phun: 30 psi, thực hiện tại Viện Hóa học, Viện Hàn lâm KH và CN Việt Nam.

Phổ huỳnh quang được đo trên quang phổ kế huỳnh quang Horiba FL322, thực hiện tại Khoa Vật lý, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – Đại học Quốc gia Hà Nội.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Bảng 1, 2 là kết quả phân tích phổ hồng ngoại và phân tích nhiệt tương ứng của các phức chất. Hình 1 là phổ khối lượng của 3 phức chất, hình 2 là công thức cấu tạo giả thiết của các phức chất, hình 3 là phổ huỳnh quang của $\text{Sm}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})$ và $\text{Eu}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})(\text{H}_2\text{O})_2$. Công thức giả thiết của các phức chất được dựa trên cơ sở kết hợp kết quả phân tích phổ hồng ngoại, phân tích nhiệt và phổ khối lượng của chúng.

Kết quả quy gán các dải hấp thụ đặc trưng cho dao động của các liên kết trong các nhóm chức trong phổ hấp thụ hồng ngoại của phối tử và phức chất được trình bày ở bảng 1.

Phổ hồng ngoại của HSal xuất hiện dải hấp thụ ở 1653 cm^{-1} có cường độ rất mạnh được quy gán cho dao động hóa trị bất đối xứng của liên kết C=O trong nhóm -COOH . Phổ hồng ngoại của ba phức chất có dạng rất giống nhau, chứng tỏ cách phối trí trong các phức chất là tương tự nhau. Trong phổ hồng ngoại của các phức chất đều xuất hiện dải sóng có cường độ mạnh ở $1591\text{-}1610\text{ cm}^{-1}$, được quy gán cho dao động hóa trị bất đối xứng của nhóm -COO^- , dải này đã bị dịch chuyển về vùng có số sóng thấp hơn so với vị trí tương ứng của nó trong acid tự do (1653 cm^{-1}), chứng tỏ trong các phức chất đã hình thành liên kết kim loại - phối tử làm cho liên kết CO trong phức chất bị yếu đi. Các dải ở $1421\text{ - }1458\text{ cm}^{-1}$ đặc trưng cho dao động hóa trị đối xứng của nhóm -COO^- . Dải ở 1232 cm^{-1} và 1564 cm^{-1} đặc trưng cho dao động của nhóm NO và

CN tương ứng trong phối tử DipyO đã dịch chuyển về vùng có số sóng thấp hơn tương ứng ở $1207\text{ - }1215\text{ cm}^{-1}$ và $1533\text{-}1556\text{ cm}^{-1}$ trong các phức chất. Điều này chứng tỏ trong các phức chất, DipyO đã phối trí 2 càng với Ln^{3+} qua nguyên tử O của nhóm NO và qua nguyên tử N của CN làm cho liên kết N-O và C-N trong phức chất bị yếu đi [2]. Như vậy, trong phức chất hỗn hợp phối tử, ion đất hiếm đã đồng thời phối trí với O của -COO^- trong Sal⁻ và với O, N của NO và CN trong DipyO tạo thành phức chất vòng hai càng bền vững.

Trong phổ hồng ngoại của các phức chất còn xuất hiện dải ở $532\text{ - }536\text{ cm}^{-1}$ được quy gán cho liên kết $\text{Ln}^{3+}\text{-O}$ trong các phức chất; dải ở vùng $3064\text{ - }3334\text{ cm}^{-1}$ được quy gán cho dao động của nhóm -OH hoặc của H_2O hoặc của Sal⁻.

3.2. Kết quả phân tích nhiệt

Kết quả phân hủy nhiệt của các phức chất được trình bày ở bảng 2.

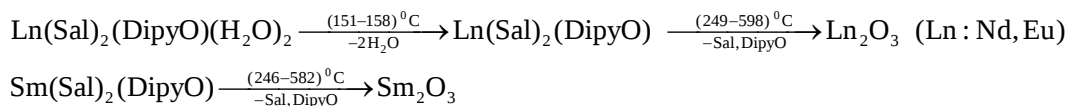
Bảng 2. Kết quả phân tích giản đồ nhiệt của các phức chất

TT	Phức chất	Nhiệt độ xuất hiện hiệu ứng mất khối lượng ($^{\circ}\text{C}$)	Quá trình xảy ra	Phần còn lại	Khối lượng mất (%)	
					Lý thuyết	Thực nghiệm
1	$\text{Nd}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})(\text{H}_2\text{O})_2$	151	Tách nước phối trí	$\text{Nd}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})$	33,22	36,55
		249	Phân hủy	$\text{Nd}(\text{Sal})_2$		
		420	Phân hủy	Nd_2O_3	39,94	37,37
		598	Phân hủy			
2	$\text{Sm}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})$	246	Phân hủy	$\text{Sm}(\text{Sal})_2$	28,85	33,07
		439	Phân hủy			
		582	Phân hủy	Sm_2O_3	41,95	38,65
3	$\text{Eu}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})(\text{H}_2\text{O})_2$	158	Tách nước phối trí	$\text{Eu}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})$	32,80	35,12
		254	Phân hủy	$\text{Eu}(\text{Sal})_2$		
		430	Phân hủy	Eu_2O_3	39,43	34,14
		558	Phân hủy			

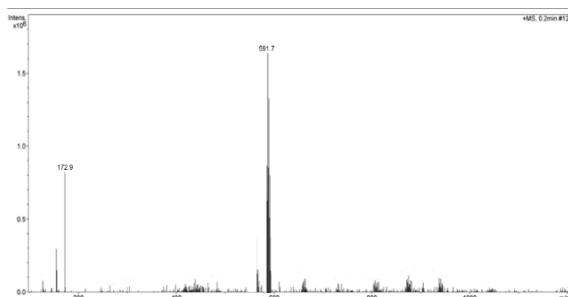
Kết quả bảng 2 cho thấy, giản đồ phân tích nhiệt của phức chất Nd(III) và phức chất Eu(III) đều xuất hiện hiệu ứng mất khối lượng ở $151\text{-}158\text{ }^{\circ}\text{C}$, chúng được giả thiết cho quá trình tách 2 phân tử nước phối trí của phức chất. Đối với phức chất của Sm(III) không xuất hiện hiện tượng này, chứng tỏ phức chất của Sm(III) ở dạng khan,

không chứa nước. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với kết quả phổ hồng ngoại của các phức chất. Ba hiệu ứng mất khối lượng còn lại của ba phức chất là tương tự nhau ở các khoảng nhiệt độ: $246\text{-}254\text{ }^{\circ}\text{C}$; $420\text{-}439\text{ }^{\circ}\text{C}$ và $558\text{-}598\text{ }^{\circ}\text{C}$. Các khoảng nhiệt độ này được giả thiết là ứng với quá trình phân hủy của các phức chất để tạo ra sản phẩm cuối

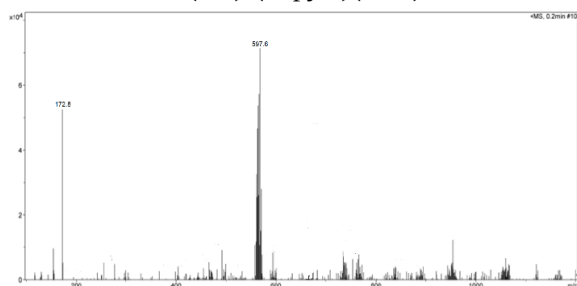
cùng là các oxit đất hiếm Ln_2O_3 . Kết quả tính toán lý thuyết tương đối phù hợp với số liệu thực nghiệm thu được. Trên cơ sở đó sơ đồ phân hủy



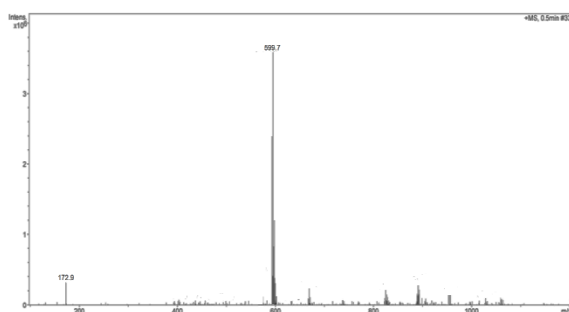
3.3. Kết quả phổ khối lượng



Hình 1a. Phổ khối lượng của $\text{Nd}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})(\text{H}_2\text{O})_2$



Hình 1b. Phổ khối lượng của $\text{Sm}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})$

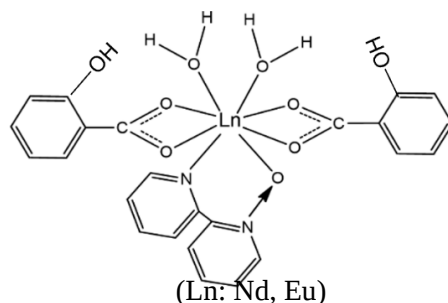


Hình 1c. Phổ khối lượng của $\text{Eu}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})(\text{H}_2\text{O})_2$

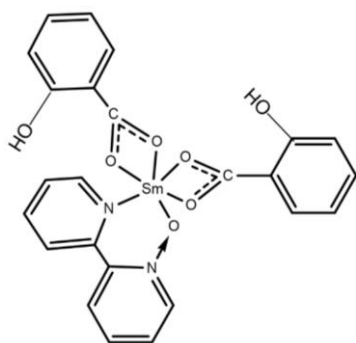
Trên phổ khối lượng của 3 phức chất đều xuất hiện peak có cường độ mạnh nhất, có m/z lần lượt là 591; 597 và 599 tương ứng với các phức chất của Nd(III); Sm(III) và Eu(III). Các giá trị này ứng đúng với khối lượng tương ứng của các ion phân tử: $[\text{Nd}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})]^+$,

nhệt của các phức chất có thể được giả thiết như sau:

$[\text{Sm}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})]^+$, $[\text{Eu}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})]^+$. Điều này chứng tỏ, trong điều kiện ghi phổ, khi đã tách hai phân tử nước phối trí (đối với phức chất của Nd(III) và Eu(III)), các ion phân tử phức chất có chung công thức: $[\text{Ln}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})]^+$ (Ln: Nd, Sm, Eu). Ngoài ra trên phổ khối lượng của 3 phức chất còn xuất hiện peak có m/z = 173, peak này được quy gán cho sự có mặt của ion phối tử $[\text{DipyO}]^+$. Như vậy, từ kết quả phổ khối lượng của các phức chất (đều xuất hiện các peak có giá trị m/z ứng đúng với khối lượng mol của các ion phân tử: $[\text{Ln}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})]^+$ (Ln: Nd, Sm, Eu)), kết hợp với các dữ kiện của phổ hấp thụ hồng ngoại (đều xuất hiện các dao động chỉ ra sự phối trí của ion kim loại Ln^{3+} với O của $-\text{COO}^-$ trong Sal^- và với O, N của NO và CN trong DipyO ; các dao động đặc trưng cho sự có mặt của OH trong H_2O) và kết quả phân tích nhiệt (đều xuất hiện hiệu ứng tách nước ở nhiệt độ của mất nước phối trí), công thức cấu tạo phức chất của Nd(III) và của Eu(III) đã được giả thiết, đó là các monome hai càng, trong đó ion đất hiếm có số phối trí 8, chúng có dạng như hình 2a.



Hình 2a. Công thức cấu tạo giả thiết của $\text{Ln}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})(\text{H}_2\text{O})_2$

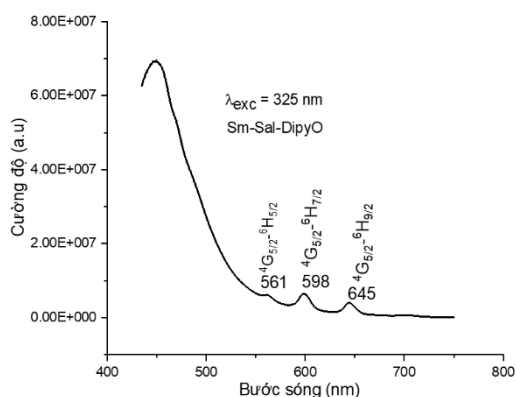


Hình 2b. Công thức cấu tạo giả thiết của $\text{Sm}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})$

Riêng phức chất của $\text{Sm}(\text{III})$, ion Sm^{3+} có số phối trí 6 (không có H_2O phối trí), công thức cấu tạo giả thiết được trình bày ở hình 2b.

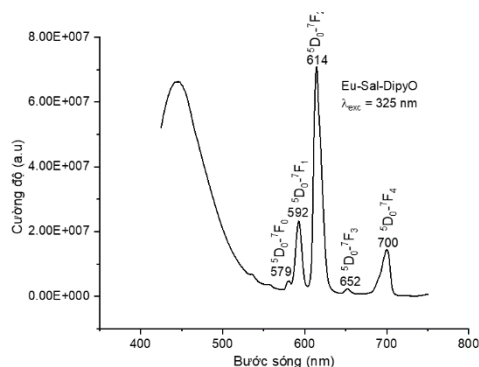
3.4. Kết quả phổ huỳnh quang

Dưới kích thích tử ngoại ở 405 nm, phức chất hỗn hợp phối tử của $\text{Sm}(\text{III})$ phát xạ huỳnh quang ở vùng 400 ÷ 700 nm với ba dải phát xạ ở 561 nm, 598 nm và 645 nm (Hình 3a). Các dải phát xạ này tương ứng với sự xuất hiện ánh sáng vùng lục (561 nm), vùng cam (598 nm) và vùng đỏ (645 nm). Các dải phát xạ này được quy gán tương ứng cho sự chuyển dời $^4\text{G}_{5/2} - ^6\text{H}_{5/2}$ (561 nm), $^4\text{G}_{5/2} - ^6\text{H}_{7/2}$ (598 nm), $^4\text{G}_{5/2} - ^6\text{H}_{9/2}$ (645 nm) của ion Sm^{3+} [6].



Hình 3a. Phổ huỳnh quang của $\text{Sm}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})$

Khi được kích thích bởi năng lượng tử ngoại ở 325 nm, phổ phát xạ huỳnh quang của phức chất hỗn hợp phối tử của $\text{Eu}(\text{III})$ xuất hiện ở vùng từ 500 ÷ 720 nm. Phức chất này phát xạ huỳnh quang với năm cực đại phát xạ hẹp và sắc nét liên tiếp ở



Hình 3b. Phổ huỳnh quang của $\text{Eu}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})(\text{H}_2\text{O})_2$

579, 592 nm, 614 nm, 652 nm và 700 nm, trong đó hai cực đại phát xạ ở 579 nm và 652 nm có cường độ rất yếu, hai cực đại phát xạ ở 592 nm và 700 nm có cường độ trung bình, còn cực đại phát xạ ở 614 nm có cường độ mạnh nhất (Hình 3b). Ứng với các dải phát xạ này là sự xuất hiện ánh sáng của miền trông thấy: vùng màu lục (579 nm), vùng màu cam (592 nm; 614 nm) và vùng màu đỏ (652 nm, 700 nm). Các dải phổ này được quy gán tương ứng cho sự chuyển dời $^5\text{D}_0 - ^7\text{F}_0$ (579 nm), $^5\text{D}_0 - ^7\text{F}_1$ (592 nm), $^5\text{D}_0 - ^7\text{F}_2$ (614 nm), $^5\text{D}_0 - ^7\text{F}_3$ (652 nm), $^5\text{D}_0 - ^7\text{F}_4$ (700 nm) của ion Eu^{3+} [3,4]. Cường độ phát quang của phức chất Eu^{3+} mạnh hơn nhiều so với phức chất của Sm^{3+} , điều đó chứng tỏ trường phối tử Sal-DipyO truyền năng lượng cho Eu^{3+} hiệu quả hơn nhiều so với cho Sm^{3+} . So với các trường phối tử khác, phức chất Eu^{3+} được phối trí bởi hỗn hợp phối tử Hsal-DipyO có khả năng phát xạ huỳnh quang mạnh hơn [7,8].

Có thể giải thích cơ chế phát xạ huỳnh quang của các phức chất như sau [6]: Khi nhận được năng lượng kích thích, các phối tử chuyển từ trạng thái singlet sang trạng thái triplet; tiếp theo là quá trình chuyển năng lượng từ trạng thái triplet của phối tử sang Ln^{3+} ; cuối cùng là ion Ln^{3+} chuyển từ trạng thái kích thích về trạng thái cơ bản và phát xạ ánh sáng đặc trưng của ion đất hiếm. Các kết quả này chứng tỏ trường hỗn hợp phối tử Sal-DipyO đã ảnh hưởng một cách có hiệu quả khả năng phát quang của các ion đất hiếm.

KẾT LUẬN

Đã tổng hợp được 03 phức chất đơn nhân của $\text{Nd}(\text{III})$, $\text{Sm}(\text{III})$, $\text{Eu}(\text{III})$ với hỗn hợp phối tử

salicylic và 2,2'-dipyridine-N-oxide, các phức chất có công thức phân tử: $\text{Ln}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})(\text{H}_2\text{O})_2$ (Ln: Nd, Eu) và $\text{Sm}(\text{Sal})_2(\text{DipyO})$.

Đã xác nhận sự tạo thành liên kết giữa ion đất hiếm với các phối tử. Đối với phức chất của Nd(III), Eu(III), Ln^{3+} liên kết với: Nguyên tử O của 2 phối tử Sal^- , nguyên tử N, O của một phối tử DipyO , 2 nguyên tử O của 2 phối tử H_2O . Đối với phức chất của Sm(III), Sm^{3+} liên kết với nguyên tử O của 2 phối tử Sal^- , nguyên tử N, O của một phối tử DipyO . Phức chất của Nd(III), Eu(III) có nước phối trí; phức chất của Sm(III) không có nước phối trí; đã đưa ra sơ đồ phân hủy nhiệt của các phức chất. Ba phức chất đã tổng hợp đều tồn tại ở dạng monome, chúng tương đối bền trong điều kiện ghi phổ. Các phức chất hỗn hợp phối tử của Sm(III) và Eu(III) đều có khả năng phát xạ huỳnh quang đặc trưng khi được kích thích bởi bước sóng có năng lượng phù hợp.

Đã đưa ra công thức cấu tạo giả thiết của các phức chất, trong phức chất đơn nhân, ion đất hiếm được phối trí 2 càng và có số phối trí 8 (đối với phức chất của Nd(III), Eu(III)); có số phối trí 6 (đối với phức chất của Sm(III)).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Linyan Yang, Yanping Zhang, Liwei Hu, Yunhe Zong, RuiliZhao, TianmingJin, WenGu, (2018). Synthesis, characterization and cell imaging properties of rare earth compounds based on hydroxamate ligand. *Journal of Rare Earths*, **36(4)**, 418-423.
- [2] Nguyễn Thị Hiền Lan, Nguyễn Thị Tố Loan, Nguyễn Thị Hoàn, (2022). Tổng hợp, nghiên cứu phổ khối lượng và khả năng phát quang của phức chất hỗn hợp phối tử salixylic và 2,2'-dipyridyl N,N'-dioxit của một số nguyên tố đất hiếm. *Tạp chí Phân tích Hóa, Lý và Sinh học*, **27(3)**, 137-142.
- [3] Xiao Chen, Yan Peng, Runli Gao, Hongmei Wang, Chengxin Pei, (2022). Six-coordinated rare earth organoarsinate complexes: Crystal structure, luminescent and magnetic properties investigation. *Journal of Solid State Chemistry* **311(2022)**, 123067.
- [4] Marina A. Katkova, Alexander V. Borisov, Georgy K. Fukin, Eugeny V. Baranov, Anatoly S. Averyushkin, Alexei G. Vitukhnovsky, Mikhail N. Bochkarev, (2006). Synthesis and luminescent properties of lanthanide homoleptic mercaptothi(ox)azolate complexes: Molecular structure of $\text{Ln}(\text{mbt})_3$ (Ln = Eu, Er). *Inorganica Chimica Acta*, **359(2006)**, 4289-4296.
- [5] Na Zhao, Shu-Ping Wang, Rui-Xia Ma, Zhi-Hua Gao, Rui-Fen Wang, Jian-Jun Zhang, (2007). Synthesis, crystal structure and properties of two ternary rare earth complexes with aromatic acid and 1,10-phenanthroline. *Journal of Alloys and Compounds*, **463**, 338-342.
- [6] Yasuchika Hasegawa, Yuji Wada, Shozo Yanagida, (2004). Strategies for the design of luminescent lanthanide (III) complexes and their photonic applications. *Journal of photochemistry and Photobiology*, **5**, 183-202.
- [7] Nguyễn Thị Hiền Lan, Phạm Hồng Chuyên, (2019). Tổng hợp, nghiên cứu phổ khối lượng và khả năng phát quang của phức chất hai nhân bezoat của Nd(III), Sm(III), Eu(III), Gd(III). *Tạp chí Phân tích Hóa, Lý và Sinh học*, **24(1)**, 91-95.
- [8] Nguyễn Thị Hiền Lan, Nguyễn Thị Tố Loan, Dương Thị Tú Anh, (2019). Tổng hợp, nghiên cứu phổ khối lượng và khả năng phát quang của phức chất axetylsalixylat của một số nguyên tố đất hiếm nhẹ. *Tạp chí Phân tích Hóa, Lý và Sinh học*, **24(4)**, 154-159.