

PHÂN TÍCH SÁCH GIÁO KHOA THEO MÔ HÌNH TỨ DIỆN MAHAFFY VÀ ĐỀ XUẤT DẠY HỌC: TRƯỜNG HỢP CHỦ ĐỀ HỢP CHẤT CHỨA NITROGEN – HÓA HỌC 12

Lê Huyền Ngọc¹, Lê Thảo Linh², Vũ Thùy Dung³, Bùi Thị Hà Vy⁴,

Phạm Thị Thúy⁵ và Phạm Thị Bình^{*6}

Trường Đại học Sư phạm Hà Nội, Hà Nội, Việt Nam

**Tác giả liên hệ: Phạm Thị Bình, email: ptbinh@hnue.edu.vn*

Ngày nhận bài: 13/4/2026. Ngày sửa bài: 11/5/2026. Ngày nhận đăng: 27/5/2026.

Tóm tắt. Nghiên cứu này phân tích sự thể hiện của mô hình tứ diện Mahaffy trong chủ đề *Hợp chất chứa nitrogen* của sách giáo khoa Hóa học 12 nhằm nhận diện mức độ phân bố, sự liên kết và yêu cầu chuyển đổi giữa các cấp độ vĩ mô, hạ vi mô, kí hiệu và yếu tố con người. Phương pháp phân tích nội dung định lượng được sử dụng trên các đơn vị ý nghĩa, với hai người mã hóa độc lập và kiểm định độ tin cậy bằng hệ số Gwet's AC1/AC2. Kết quả cho thấy nội dung sách giáo khoa nghiêng về cấp độ kí hiệu và hạ vi mô, với tỉ lệ xuất hiện lần lượt là 72,5% và 65,0%, trong khi cấp độ vĩ mô đạt 35,0%. Yếu tố con người xuất hiện ở 42,5% đơn vị ý nghĩa nhưng chủ yếu ở mức liệt kê ứng dụng, không ghi nhận mức độ yêu cầu đánh giá, lựa chọn hoặc lập luận. Các liên kết và chuyển đổi giữa các cấp độ biểu diễn còn chưa đồng đều, cho thấy giáo viên cần chủ động thiết kế thêm các hoạt động cầu nối giữa hiện tượng, bản chất hạ vi mô, biểu diễn kí hiệu và bối cảnh thực tiễn. Đóng góp mới của nghiên cứu là cụ thể hóa mô hình Mahaffy thành công cụ phân tích học liệu và đề xuất các định hướng dạy học đặc thù cho chủ đề *Hợp chất chứa nitrogen* theo mục tiêu phát triển năng lực cho học sinh theo Chương trình Giáo dục phổ thông 2018.

Từ khóa: tứ diện Mahaffy, sách giáo khoa, giáo dục Hóa học, hợp chất chứa nitrogen, giáo dục phổ thông.

TEXTBOOK ANALYSIS BASED ON MAHAFFY'S TETRAHEDRAL MODEL AND INSTRUCTIONAL PROPOSALS: THE CASE OF NITROGEN-CONTAINING COMPOUNDS IN GRADE 12 CHEMISTRY

Le Huyen Ngoc¹, Le Thao Linh², Vu Thuy Dung³, Bui Thi Ha Vy⁴,

Pham Thi Thuy⁵ and Pham Thi Binh^{*6}

Hanoi National University of Education, Hanoi, Vietnam

**Corresponding author: Pham Thi Binh, e-mail: ptbinh@hnue.edu.vn*

Received April 13, 2026. Revised May 11, 2026. Accepted May 27, 2026.

Abstract. This study analyzes the representation of Mahaffy's tetrahedral model in the topic of nitrogenous-containing compounds in the Grade 12 Chemistry textbook, aiming to identify the distribution, connections, and transition requirements among the macroscopic, submicroscopic, symbolic, and human dimensions. Quantitative content analysis was conducted using the meaning unit as the unit of analysis, with two independent coders and inter-coder reliability examined using Gwet's AC1/AC2 coefficients. The findings show that the textbook content is oriented mainly toward symbolic and submicroscopic representations, which appear in 72.5% and 65.0% of the coded units, respectively, whereas macroscopic representations account for 35.0%. The human element appears in 42.5% of the meaning units but is mostly limited to listing applications, with no instances recorded at the level of requiring evaluation, choice, or argumentation. The connections and transitions among representational levels remain uneven, indicating

that teachers need to actively design additional bridging activities that connect observable phenomena, submicroscopic nature, symbolic representations, and real-life contexts. The novel contribution of this study lies in operationalizing Mahaffy's model as a tool for textbook analysis and proposing topic-specific instructional orientations for nitrogenous-containing compounds in alignment with the student competency-development goals of Vietnam's 2018 General Education Curriculum.

Keywords: Mahaffy's tetrahedral model, textbook, Chemistry education, nitrogenous-containing compounds, general education.

1. Mở đầu

Chương trình Giáo dục phổ thông (GDPT) 2018 môn Hóa học định hướng mục tiêu phát triển năng lực cho học sinh (HS). Trong đó, hướng tới phát triển năng lực đặc thù với ba thành phần: nhận thức hóa học, tìm hiểu thế giới tự nhiên dưới góc độ hóa học và vận dụng kiến thức, kỹ năng đã học (Bộ Giáo dục và Đào tạo, 2018). Để hiện thực hóa mục tiêu này, mô hình tứ diện hóa học do Mahaffy (2006) đề xuất được xem là một khung lý thuyết nền tảng và đặc biệt hữu hiệu trong dạy học hóa học.

Phát triển từ tam giác Johnstone (1991), mô hình Mahaffy gồm 4 đỉnh: vĩ mô (các tính chất, sự vật, hiện tượng quan sát, cảm nhận được bằng giác quan), hạ vi mô (bản chất hạt), kí hiệu (công thức, phương trình hóa học (PTHH)) và yếu tố con người (đặt kiến thức vào bối cảnh kinh tế, xã hội, môi trường) (Mahaffy, 2006). Theo mô hình này, để hiểu bản chất hóa học và gắn hóa học với thực tiễn đòi hỏi học sinh kết nối linh hoạt giữa hiện tượng quan sát được, bản chất hạt, biểu diễn kí hiệu và bối cảnh con người (Mahaffy, 2006; Sjöström, 2013; Taber, 2013; Visser et al., 2024).



Hình 1. Mô hình tứ diện Mahaffy

Các nghiên cứu quốc tế đã hội tụ theo ba hướng trọng tâm. Thứ nhất, nghiên cứu tích hợp tư duy hệ thống, định vị hóa học là cơ sở phân tử của tính bền vững (Anastas & Zimmerman, 2016; Mahaffy et al., 2019). Các công cụ như sơ đồ khái niệm định hướng hệ thống mở rộng và bản đồ nhân quả (Aubrecht et al., 2019; Reynders et al., 2023) đã được phát triển để giúp người học trực quan hóa sự tương tác động giữa hệ thống hóa học với môi trường và kinh tế. Thứ hai là đánh giá và thiết kế lại học liệu. Các nghiên cứu chỉ ra sự mất cân bằng trong sách giáo khoa (SGK) hiện hành, ở đó biểu diễn kí hiệu chiếm tỉ lệ lớn, gây cản trở tư duy của HS (Nyachwaya & Wood, 2014; Siregar et al., 2026). Để khắc phục, phương pháp mã hóa “đơn vị ý nghĩa” (Graneheim & Lundman, 2004) và mô hình “Nghiên cứu điển hình đa diện” đã được đề xuất để phân tích các học liệu (Celestino, 2025). Thứ ba là phát triển công cụ đánh giá nhận thức (Nkomo & Bly, 2024) và ứng dụng công nghệ thực tế ảo để trực quan hóa thế giới hạt, kết nối bản chất hạ vi mô đến hệ quả vĩ mô (Wang et al., 2022).

SGK là tài liệu tham khảo quan trọng, định hướng dạy học theo yêu cầu cần đạt của chương trình môn học. Tuy nhiên, nghiên cứu của Nyachwaya và Wood (2014) cũng như tổng quan của Siregar và cộng sự (2026) chỉ ra rằng việc thiết kế SGK hóa học thường mất cân bằng, trong đó biểu diễn kí hiệu chiếm tỉ lệ áp đảo còn yếu tố con người ít được chú trọng. Thêm nữa, việc trình bày rời rạc giữa các cấp độ và với yếu tố con người làm suy giảm khả năng tư duy qua lại của HS (Visser et al., 2024), dẫn đến học vẹt và quá tải nhận thức (Taber, 2013). Để giải quyết vấn đề này, việc phân tích SGK thông qua phân chia các “đơn vị ý nghĩa” (Graneheim & Lundman, 2004) và mã hóa chúng theo tứ diện Mahaffy được xem là phương pháp kiểm định chất lượng học liệu đáng tin cậy.

Tại Việt Nam, trong bối cảnh đổi mới chương trình, các bộ SGK Hóa học mới đã được đưa vào sử dụng và cung cấp nguồn học liệu phong phú. Mô hình Mahaffy có sự tương thích rất cao với 3 thành phần của năng lực hóa học: thành phần *nhận thức hóa học* được củng cố qua sự

chuyển đổi giữa kí hiệu và hạ vi mô; thành phần *tìm hiểu tự nhiên dưới góc độ hóa học* tương thích với các hoạt động khám phá hiện tượng ở đỉnh vĩ mô và thành phần *vận dụng kiến thức, kĩ năng đã học* chính là sự phản chiếu của đỉnh yếu tố con người. Do đó, việc nghiên cứu ứng dụng mô hình này sẽ trực tiếp hướng tới mục tiêu đặc thù môn học. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu định lượng đánh giá các tài liệu này qua lăng kính Mahaffy. Hơn nữa, SGK là tài liệu tĩnh, được thiết kế theo logic tuyến tính. Để phát huy tối đa hiệu quả trong dạy học, giáo viên (GV) cần có góc nhìn hệ thống để nhận diện và liên kết các thành phần.

Nghiên cứu này xem xét sự thể hiện của mô hình tứ diện Mahaffy trong SGK Hóa học 12 qua trường hợp chủ đề *Hợp chất chứa nitrogen*, từ đó đưa ra các gợi ý sư phạm giúp phát huy tối đa những yếu tố đã có và bổ sung các liên kết một cách hợp lí nhằm nâng cao hiệu quả phát triển năng lực HS. Chủ đề được lựa chọn là một trường hợp nghiên cứu có chủ đích. Mặc dù việc tập trung vào một chủ đề chưa cho phép khái quát hóa kết quả cho toàn bộ SGK Hóa học 12, nhưng nó có giá trị phân tích vì thể hiện rõ đặc trưng nội dung và cấu trúc bài học dạng bài về hóa học hữu cơ ở trường phổ thông. Đặc biệt, các hợp chất chứa nitrogen có liên hệ với nhiều vấn đề thực tiễn như dinh dưỡng, sức khỏe, sản xuất công nghiệp và môi trường. Vì vậy, việc tăng cường yếu tố con người trong chủ đề này vừa bổ sung ví dụ thực tiễn, vừa có thể chuyển hóa thành các nhiệm vụ lập luận, lựa chọn và ra quyết định dựa trên bằng chứng hóa học. Nghiên cứu trả lời 2 câu hỏi (RQ):

– RQ1: Mô hình tứ diện Mahaffy (sự phân bố của 4 thành phần, mức độ tích hợp yếu tố con người, mức độ liên kết và chuyển đổi giữa 3 cấp độ) được thể hiện như thế nào trong cấu trúc nội dung của chủ đề *Hợp chất chứa nitrogen*?

– RQ2: Định hướng thiết kế các hoạt động dạy học như thế nào thể hiện rõ các đỉnh và sự liên kết giữa chúng để phát huy hiệu quả nguồn học liệu đáp ứng mục tiêu phát triển năng lực?

Nghiên cứu không nhằm phân xét hay xếp loại chất lượng SGK, mà xem SGK như một nguồn học liệu cần được phân tích để khai thác linh hoạt, hiệu quả trong dạy học. Đóng góp mới của nghiên cứu thể hiện ở ba điểm: (1) cụ thể hóa mô hình tứ diện Mahaffy thành một khung mã hóa để phân tích học liệu hóa học phổ thông; (2) cung cấp dữ liệu định lượng về sự phân bố, liên kết và chuyển đổi giữa các thành phần của tứ diện Mahaffy trong chủ đề *Hợp chất chứa nitrogen* – Hóa học 12.; (3) đề xuất định hướng dạy học cho chủ đề này, trong đó yếu tố con người được mở rộng từ mức nêu ứng dụng sang các nhiệm vụ lập luận, lựa chọn và ra quyết định dựa trên bằng chứng khoa học.

2. Phương pháp nghiên cứu

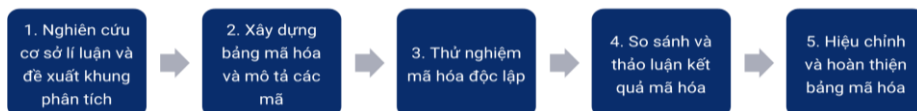
Phương pháp nghiên cứu được sử dụng trong nghiên cứu này là phân tích nội dung định lượng thông qua kĩ thuật mã hóa. Cụ thể như sau:

2.1. Khách thể nghiên cứu

Khách thể nghiên cứu là SGK Hóa học 12 được phê duyệt sử dụng chung từ năm học 2026 – 2027 (Lê Kim Long et al., 2024). Phạm vi phân tích tập trung vào chủ đề *Hợp chất chứa nitrogen*, nhằm đáp ứng được các yêu cầu cần đạt. Với đặc thù kết hợp giữa tính hàn lâm và thực tiễn, có nhiều tiềm năng cho các yêu cầu chuyển đổi, nghĩa là HS phải liên kết chặt chẽ giữa hiện tượng vĩ mô, bản chất hạ vi mô, kí hiệu hóa học và yếu tố con người, là ngữ liệu lí tưởng để áp dụng công cụ mã hóa Mahaffy nhằm đo lường cách tổ chức các cấp độ biểu diễn và liên kết giữa chúng.

2.2. Quy trình xây dựng khung phân tích và công cụ mã hóa

Để đo lường và lượng hóa nội dung SGK, công cụ mã hóa được xây dựng theo quy trình sau:



Hình 2. Quy trình xây dựng công cụ mã hóa

Bước 1. Nghiên cứu mô hình tứ diện Mahaffy (2006), đồng thời tham chiếu quan điểm giáo dục hóa học định hướng Bildung của Sjöström (2013), theo đó yếu tố con người được phân hóa theo các mức độ tăng dần: từ ứng dụng kỹ thuật đến bối cảnh văn hóa – xã hội và cao nhất là tiếp cận phản biện – triết học, gắn kết vai trò của hóa học với đời sống và mục tiêu phát triển bền vững. Bên cạnh đó, nghiên cứu vận dụng các kết quả của Gkitzia (2011), Sanchez (2018) và Visser (2024) để xem xét yêu cầu liên kết và chuyển đổi giữa các cấp độ biểu diễn trong dạy học. Sự tổng hợp các nền tảng lý thuyết này tạo thành một khung phân tích toàn diện, định hướng cho việc xây dựng bảng mã hóa.

Bước 2. Từ khung phân tích đề xuất, bảng mã hóa được xây dựng gồm các nhóm mã tương ứng với các thành tố cần phân tích, gồm: sự hiện diện của các đỉnh (M, SM, SY), mức độ liên kết giữa các cấp độ biểu diễn (L), sự chuyển đổi qua lại giữa các cấp độ (T) và mức độ thể hiện yếu tố con người (H).

Bước 3. Một bài học được lựa chọn để mã hóa thử nghiệm. Hai người mã hóa làm việc độc lập, sử dụng bảng mã hóa đã xây dựng để phân tích.

Bước 4. Kết quả mã hóa độc lập được đối chiếu để xác định những điểm bất đồng trong cách gán mã. Các trường hợp khác biệt được đưa ra thảo luận làm rõ cách hiểu và vận dụng các mã.

Bước 5. Trên cơ sở thảo luận, nhóm nghiên cứu thống nhất cách hiểu và vận dụng các mã. Bảng mã hóa được điều chỉnh làm rõ mô tả, bổ sung tiêu chí nhận diện và ví dụ minh họa, qua đó đảm bảo tính nhất quán và sẵn sàng cho giai đoạn phân tích chính thức (Bảng 1).

Bảng 1. Bảng mã hóa theo tứ diện Mahaffy

Mã	Phân loại, thang đo	Mô tả, tiêu chí nhận diện và ví dụ
M	Biến nhị phân (Có – Không)	Nội dung ở cấp độ vĩ mô, liên quan đến các hiện tượng và tính chất có thể quan sát, cảm nhận như màu sắc, mùi, kết tủa, khí... Ví dụ: “Khí methylamine có mùi khai”; “Protein đông tụ khi đun nóng”.
SM		Nội dung ở cấp độ hạ vi mô như nguyên tử, phân tử, electron, liên kết, mạch carbon... Ví dụ: Nguyên tử N có cặp electron chưa liên kết.
SY		Nội dung ở cấp độ kí hiệu, thông qua các biểu diễn hóa học như công thức, kí hiệu, PTHH,... Ví dụ: $C_6H_5NH_2$; PTHH của phản ứng tạo peptide.
H	Biến thứ bậc (H0 – H3)	Mức độ tích hợp yếu tố con người trong nội dung hóa học: H0: Không có yếu tố con người. H1: Nêu ứng dụng hoặc vai trò, trải nghiệm trong đời sống. Ví dụ: “Aniline dùng để sản xuất phẩm nhuộm”. H2: Có bối cảnh hoặc tác động đến kinh tế, xã hội, môi trường, sức khỏe... Ví dụ: “Em có thể biết một số cách lựa chọn và sử dụng chất béo phù hợp trong chế độ ăn uống để đảm bảo sức khỏe”. H3: Yêu cầu đánh giá, lựa chọn, lập luận. Ví dụ: “Lập luận so sánh protein động vật, protein thực vật để lựa chọn một chế độ dinh dưỡng đảm bảo sức khỏe và góp phần phát triển bền vững”.
L	Biến thứ bậc (L0 – L2)	Mức độ kết nối giữa các cấp độ M – SM – SY trong cách trình bày nội dung: L0: Không có liên kết. L1: Liên kết ngầm: Có đồng thời ≥ 2 cấp độ nhưng không có mô tả mối liên hệ. Ví dụ: hình ảnh hiện tượng đặt cạnh PTHH nhưng không giải thích. L2: Liên kết rõ ràng: Có phát biểu thể hiện quan hệ giải thích hoặc nguyên nhân – kết quả. Ví dụ: “Các amine có số nguyên tử carbon nhỏ có khả năng tan tốt trong nước nhờ tạo được liên kết hydrogen với các phân tử nước”

Mã	Phân loại, thang đo	Mô tả, tiêu chí nhận diện và ví dụ
T	Biến nhị phân (Có – Không)	Nội dung yêu cầu người học chuyển đổi giữa các cấp độ biểu diễn M – SM – SY. Có câu hỏi/bài tập yêu cầu chuyển đổi giữa các cấp độ (dấu hiệu: giải thích, viết, suy ra...). Ví dụ: Quan sát hiện tượng, viết PTHH.

2.3. Quy trình mã hóa dữ liệu

Bước 1. Phân chia đơn vị ý nghĩa: Nội dung phân tích được chia thành các đơn vị ý nghĩa, là những đoạn thông tin tương đối hoàn chỉnh và độc lập (Graneheim & Lundman, 2004; Mahaffy, 2006) dựa trên ranh giới ý nghĩa hoặc chức năng sự phạm (Saldaña, 2013; Valverde et al., 2002). Sau khi phân chia, các đơn vị ý nghĩa được gán vào một đơn vị cấu trúc của bài học (*Giới thiệu – đặt vấn đề, Khái niệm, Phân loại – đồng phân, Danh pháp, ...*) để phân tích sự phân bố các mã theo cấu trúc nội dung.

Bước 2. Mã hóa độc lập: Để hạn chế thiên lệch chủ quan khi diễn giải dữ liệu, việc mã hóa được thực hiện độc lập bởi hai người trên toàn bộ dữ liệu dựa vào Bảng 1. Hai người mã hóa đều có chuyên môn về hóa học và lí luận, phương pháp dạy học hóa học. Trước giai đoạn mã hóa chính thức, họ đều được làm quen với mô hình tứ diện Mahaffy, quy trình phân tích nội dung học liệu, nghiên cứu bảng mã, tiêu chí nhận diện và các ví dụ để thống nhất cách hiểu về các mã M, SM, SY, H, L và T.

2.4. Đánh giá độ tin cậy mã hóa

Độ tin cậy giữa hai người mã hóa được xác định bằng hệ số Gwet's AC1 (với biến nhị phân) và Gwet's AC2 (với biến thứ bậc), tính bằng phần mềm R. Sở dĩ chọn hệ số Gwet thay cho Cohen's Kappa truyền thống nhằm khắc phục nghịch lí Kappa, đảm bảo đánh giá chính xác độ tin cậy với các dữ liệu phân bố không đồng đều hoặc khi một mã có tỉ lệ xuất hiện quá thấp (Holcomb et al., 2022; Wongpakaran et al., 2013). Kết quả trình bày trong Bảng 2:

Bảng 2. Độ tin cậy giữa hai người mã hóa theo Gwet's AC1 và AC2

Mã	Gwet's AC1	Gwet's AC2	Sai số chuẩn	Cận dưới	Cận trên
M	0,781	-	0,098	0,582	0,979
SM	0,667	-	0,12	0,424	0,909
SY	0,834	-	0,084	0,663	1
T(M-SM)	0,939	-	0,045	0,849	1
T(SM-SY)	0,748	-	0,1	0,546	0,951
T(SY-M)	1	-	0	1	1
L(M-SM)	-	0,869	0,06	0,748	0,99
L(SM-SY)	-	0,528	0,128	0,27	0,787
L(SY-M)	-	0,942	0,031	0,88	1
H	-	0,805	0,078	0,647	0,963

Theo thang phân loại của Landis và Koch (1977), kết quả mức độ đồng thuận phần lớn đạt từ tốt (0,61 – 0,80) đến rất tốt (> 0,80); riêng trường hợp mã L(SM-SY) có độ tin cậy trung bình (0,41 – 0,60). Nhóm nghiên cứu xác định bất đồng khi gán mã L(SM-SY) xuất phát từ hai nguyên nhân: tiêu chí phân mức (L0, L1, L2) chưa đủ rõ ràng và đặc thù phần hữu cơ thường trình bày ngầm mối quan hệ giữa biểu diễn kí hiệu và hạ vi mô. Điều này gây khó khăn trong việc phân biệt mã L1 (liên kết ngầm) và L0 (không có liên kết). Để khắc phục, nhóm đã thống nhất lại tiêu chí gán mã như sau: Mức L2: có phát biểu thể hiện quan hệ giải thích hoặc nguyên nhân - kết quả; Mức L1: 2 cấp độ cùng xuất hiện trong một đơn vị ý nghĩa, nhưng cần tự suy luận mối quan hệ; Mức L0: các cấp độ xuất hiện rời rạc hoặc không cùng phục vụ một ý nghĩa sự phạm. Quy trình

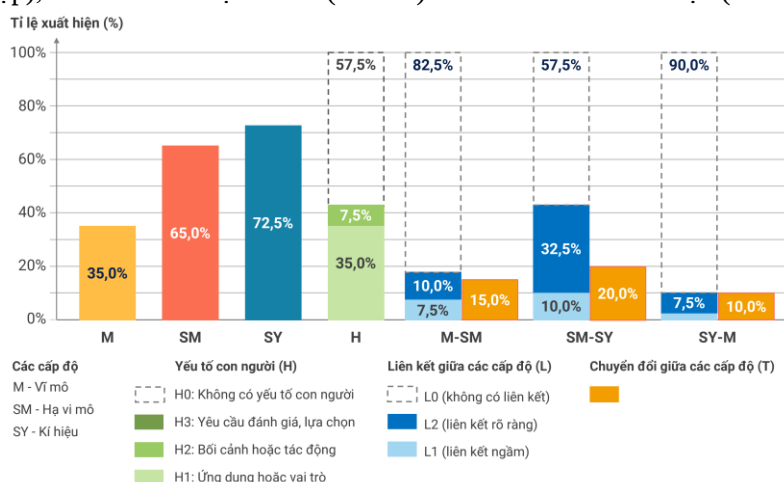
xử lý bất đồng là: liệt kê các đơn vị có bất đồng; hai người mã hóa giải thích kết quả gán mã dựa trên tiêu chí nhận diện và nội dung tài liệu; thảo luận thống nhất kết quả gán mã.

2.5. Xử lý và trực quan hóa dữ liệu

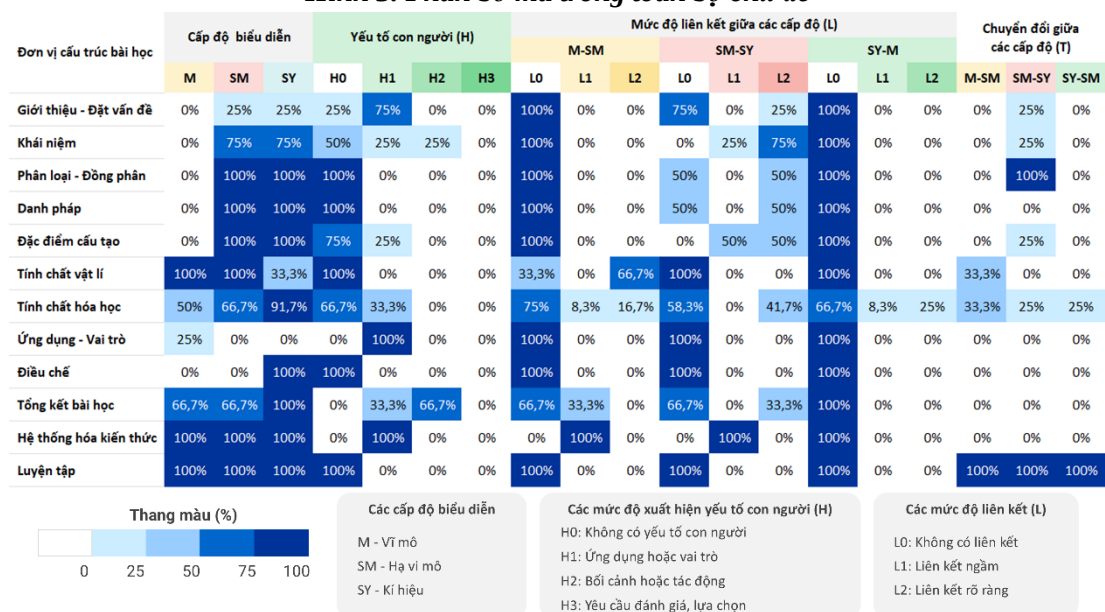
Dữ liệu sau khi mã hóa và thống nhất được xử lý bằng Microsoft Excel thông qua các thống kê mô tả: tính tỉ lệ (%) xuất hiện của các thành phần (M, SM, SY, H), mức độ liên kết (L) và yêu cầu chuyên đổi (T) trên toàn bộ chủ đề và trong từng đơn vị cấu trúc của bài học. Kết quả sau đó được trực quan hóa bằng các biểu đồ nhằm cung cấp cơ sở dữ liệu định lượng trả lời câu hỏi nghiên cứu (RQ1) và làm nền tảng để đưa ra những đề xuất sư phạm (RQ2).

3. Kết quả phân tích chủ đề *Hợp chất chứa nitrogen*

Các hình sau trình bày tổng hợp tỉ lệ xuất hiện các thành phần của mô hình tứ diện Mahaffy (các cấp độ biểu diễn và yếu tố con người), cũng như mức độ liên kết và chuyển đổi giữa các cấp độ (theo từng cặp), xét trên toàn bộ chủ đề (Hình 3) và theo cấu trúc bài học (Hình 4).



Hình 3. Phân bố mã trong toàn bộ chủ đề



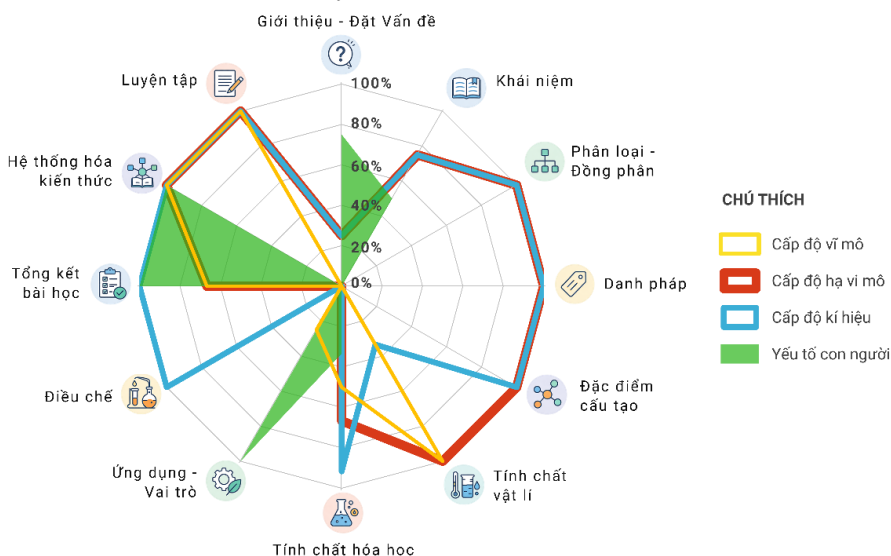
Hình 4. Phân bố mã theo cấu trúc bài học

3.1. Mức độ phân bố các đỉnh M, SM, SY, H của tứ diện Mahaffy

Kết quả phân tích cho thấy sự thiên lệch đáng kể về tính hàn lâm trong toàn bộ chủ đề (Hình 3). Biểu diễn kí hiệu (SY) và hạ vi mô (SM) chiếm ưu thế tuyệt đối với tỉ lệ lần lượt là 72,5% và 65,0%, so với mức 35,0% của biểu diễn vĩ mô (M). Yếu tố con người mặc dù xuất hiện tương đối cao (tổng 42,5%) nhưng chủ yếu dừng ở mức độ H1 (liệt kê ứng dụng, 35,0%), rất ít mức H2 (7,5%) và hoàn toàn không xuất hiện mức độ đòi hỏi tư duy phản biện (H3).

Sự phân bố 4 đỉnh Mahaffy có sự khác biệt rõ rệt theo cấu trúc bài học, thể hiện trong bản đồ nhiệt (Hình 4). Cụ thể, đơn vị *Giới thiệu – Đặt vấn đề* tập trung chủ yếu vào yếu tố con người ở mức H1 (75%), kèm theo sự xuất hiện của cấp độ hạ vi mô (SM) và kí hiệu (SY) đều đạt 25%. Nhóm đơn vị *Khái niệm, Phân loại – Đồng phân, Danh pháp, Đặc điểm cấu tạo* mang đậm tính hàn lâm với sự chiếm ưu thế của cấp độ SM và SY, hoàn toàn không xuất hiện cấp độ vĩ mô (M); trong khi H đạt tỉ lệ thấp (chủ yếu là H, không quá 25%), chỉ ghi nhận mức H2 cục bộ tại *Khái niệm amino acid* khi gắn với bối cảnh sức khỏe và dinh dưỡng. Nhóm *Tính chất vật lí và Tính chất hóa học* tích hợp tốt ba đỉnh M, SM, SY, nhưng H chỉ xuất hiện ở mức H1 (33,3% tại *Tính chất hóa học*). Trong khi đơn vị *Ứng dụng – vai trò* luôn xuất hiện H1 (100%) và M (25%), đơn vị *Điều chế* lại thuần túy sử dụng kí hiệu (SY, 100%). Nhóm đơn vị *Tổng kết bài học, Hệ thống hóa kiến thức* có sự bao phủ trọn vẹn 4 thành phần ở tỉ lệ xuất hiện cao, song H vẫn giới hạn ở mức H1, H2. Cuối cùng, đơn vị *Luyện tập* tiếp tục không có sự xuất hiện yếu tố con người (H0, 100%) mà chỉ tập trung vào các cấp độ M, SM và SY.

Để làm rõ hơn ở góc nhìn tổng thể, biểu đồ radar (Hình 5) thể hiện trực quan sự phân bố các thành phần của mô hình tứ diện Mahaffy theo các đơn vị cấu trúc bài học:



Hình 5. Phân bố các thành phần Mahaffy theo cấu trúc bài học

Có thể thấy rõ sự phân bố không đồng đều giữa các thành phần trong cấu trúc bài học, trong đó nghiêng hẳn về biểu đạt kiến thức hóa học. Hai cấp độ hạ vi mô (SM) và kí hiệu (SY) phân bố rộng khắp và chồng lấn cao tại nhiều đơn vị (*Khái niệm, Phân loại – Đồng phân, Danh pháp, Đặc điểm cấu tạo, Tính chất*), phản ánh đặc trưng dùng kí hiệu để giải thích bản chất vi hạt của hóa học. Trong khi đó, cấp độ vĩ mô (M) chỉ tập trung cục bộ, chủ yếu ở *Tính chất vật lí và Luyện tập*. Đáng chú ý, yếu tố con người (H) tách rời rõ rệt với nhóm SM, SY, độ bao phủ hạn chế và chỉ làm điểm nhấn ở các đơn vị *Giới thiệu – Đặt vấn đề, Ứng dụng – Vai trò, Tổng kết bài học*.

3.2. Mức độ liên kết (L) và chuyển đổi (T) giữa các cấp độ M, SM, SY

Kết quả thể hiện trong Hình 4 cho thấy liên kết giữa các cấp độ biểu diễn chưa đồng đều và có phần rời rạc. Liên kết SM-SY xuất hiện tương đối rõ ở một số đơn vị (xuất hiện mức độ L2),

thể hiện có sự gắn kết giữa kí hiệu và bản chất hạ vi mô trong những nội dung nhất định. Tuy nhiên, liên kết của 2 cặp còn lại (M-SM và SY-M) ở nhiều đơn vị vẫn chủ yếu dừng ở L0 hoặc L1, tức là không có liên kết hoặc liên kết chưa rõ. Cụ thể, liên kết M-SM chỉ rõ ràng đối với đơn vị *Tính chất vật lí* (L2, 66,7%) và *Tính chất hóa học* (L1: 8,3%; L2: 16,7%), cho thấy mối quan hệ giữa hiện tượng vật lí, hóa học với bản chất hạ vi mô của chất. Trong khi đó, ngoại trừ *Tính chất hóa học*, liên kết SY-M hoàn toàn không xuất hiện trong tất cả các đơn vị còn lại (L0: 100%). Như vậy, nơi duy nhất có sự liên kết và đạt được mức liên kết rõ ở cả 3 cặp là *Tính chất hóa học*, thể hiện đặc trưng gắn kết giữa hiện tượng phản ứng, bản chất hạ vi mô (sự phá vỡ, hình thành liên kết) và biểu diễn bằng PTHH. Mặc dù vậy, thông tin rời rạc (L0) vẫn chiếm tỉ lệ cao (58,3 - 75%), đòi hỏi GV phải chủ động dùng các biện pháp sư phạm để khắc phục.

Các yêu cầu chuyển đổi giữa các cấp độ nhìn chung cũng chưa cao và phân bố không đều. Đơn vị hội tụ được yêu cầu chuyển đổi 100% ở cả 3 cặp là *Luyện tập*, cho thấy các bài tập đã bao phủ được việc rèn luyện kĩ năng tư duy qua lại giữa các cấp độ biểu diễn. Chuyển đổi M-SM và SM-SY có xuất hiện cục bộ ở một số điểm, chuyển đổi SY-M rất ít xuất hiện, cho thấy HS chưa có nhiều cơ hội rèn luyện tư duy qua lại. Kết quả này gợi ý rằng cần tăng cường thiết kế hoạt động chuyển đổi linh hoạt qua lại giữa ba cấp độ M, SM, SY.

4. Thảo luận và đề xuất thiết kế dạy học

Từ kết quả phân tích, nghiên cứu xác định hai nhóm khoảng trống chính trong cách chủ đề *Hợp chất chứa nitrogen* thể hiện mô hình tứ diện Mahaffy. Nhóm thứ nhất liên quan đến sự liên kết và chuyển đổi giữa các cấp độ biểu diễn M, SM và SY. Nhóm thứ hai liên quan đến mức độ tích hợp yếu tố con người H, đặc biệt là sự thiếu vắng các nhiệm vụ yêu cầu đánh giá, lựa chọn và lập luận. Các khoảng trống này không được hiểu là hạn chế chất lượng của SGK, mà là những điểm GV cần nhận diện để khai thác học liệu linh hoạt hơn trong quá trình dạy học. Trên cơ sở đó, phần này thảo luận nguyên nhân của sự mất cân bằng, ý nghĩa sư phạm của các khoảng trống và đề xuất các định hướng thiết kế hoạt động dạy học tương ứng.

4.1. Khoảng trống về phân bố, liên kết và chuyển đổi giữa các cấp độ biểu diễn

Kết quả phân tích cho thấy cấp độ hạ vi mô (SM) và kí hiệu (SY) xuất hiện với tỉ lệ cao hơn so với cấp độ vĩ mô (M). Điều này được lí giải do tính đặc trưng về nội dung khi trình bày bản chất và sự biến đổi của một loại chất hữu cơ, gồm công thức cấu tạo, nhóm chức, liên kết và PTHH. Sự mất cân bằng không chỉ xuất phát từ lựa chọn trình bày của SGK, mà còn từ bản chất biểu tượng hóa cao của hóa học hữu cơ. Kết quả này tương đồng với các nghiên cứu trước về biểu diễn hóa học trong học liệu SGK (Nyachwaya & Wood, 2014; Siregar et al., 2026).

Kết quả cũng cho thấy mức độ liên kết và yêu cầu chuyển đổi giữa các cấp độ biểu diễn chưa đồng đều. Một số nội dung, đặc biệt là phần tính chất hóa học, đã tạo được mối liên hệ giữa hiện tượng phản ứng, bản chất hạ vi mô và PTHH. Tuy nhiên, ở nhiều đơn vị khác, các cấp độ M, SM và SY vẫn xuất hiện rời rạc hoặc chỉ liên kết ngầm. Như vậy, SGK có thể chưa tạo đủ cơ hội tường minh để HS nhận diện mối quan hệ giữa hiện tượng, bản chất hạt và biểu diễn kí hiệu.

4.2. Khoảng trống về yếu tố con người

Kết quả phân tích cho thấy yếu tố con người đã xuất hiện tương đối nhiều nhưng chủ yếu ở mức H1, tức là nêu ứng dụng hoặc vai trò của chất trong đời sống. Mức H2, liên quan đến bồi dưỡng sức khỏe, môi trường, kinh tế hoặc xã hội, xuất hiện ít hơn; trong khi mức H3, yêu cầu HS đánh giá, lựa chọn hoặc lập luận chưa được ghi nhận rõ. Dưới góc nhìn tư duy hệ thống (Mahaffy et al., 2018, 2019), sự thiếu hụt các nhiệm vụ ở mức H2 và H3 cho thấy mối quan hệ giữa kiến thức hóa học với thực tiễn chưa được khai thác đầy đủ. Nội dung SGK chủ yếu giúp HS biết ứng dụng, chưa tạo nhiều cơ hội để phân tích quan hệ nhân – quả, cân nhắc lợi ích – rủi ro hoặc xem xét tác động. Từ góc nhìn giáo dục hóa học định hướng Bildung (Celestino, 2025; Sjöström,

2013), khoảng trống cho thấy yếu tố con người chưa được phát triển đến mức hỗ trợ HS rèn khả năng phán đoán, lập luận và ra quyết định có trách nhiệm.

4.3. Định hướng thiết kế hoạt động dạy học

Từ hai nhóm khoảng trống trên, thiết kế dạy học cần tập trung vào hai yêu cầu: tạo các cầu nối tường minh giữa hiện tượng vĩ mô, bản chất hạ vi mô và biểu diễn kí hiệu; tăng cường khai thác yếu tố con người ở các mức sâu hơn (H2, H3). Các định hướng này giúp GV tổ chức chuỗi nhiệm vụ học tập phát triển đồng thời các thành phần *nhận thức hóa học, tìm hiểu thế giới tự nhiên dưới góc độ hóa học và vận dụng kiến thức, kĩ năng đã học*. Một số gợi ý cụ thể này được trình bày trong Bảng 3:

Bảng 3. Gợi ý định hướng thiết kế hoạt động dạy học

Hoạt động	Định hướng và cách triển khai	Ví dụ
Mở đầu	Tăng cường hiện tượng (cấp độ vĩ mô) hoặc yếu tố con người để tạo gắn kết HS với nội dung cần tìm hiểu thông qua thí nghiệm, hình ảnh, video, mô phỏng hoặc tình huống thực tiễn để nhận diện vấn đề hoặc nêu câu hỏi cần giải thích.	GV sử dụng hình ảnh/video về việc sử dụng giấm để khử mùi tanh của cá, cung cấp thông tin chất tạo mùi tanh này và đề đặt vấn đề: “ <i>Amine có tính chất vật lí và tính chất hóa học như thế nào? Vì sao có thể dùng giấm để loại bỏ mùi tanh do trimethylamine gây ra?</i> ”.
Hình thành kiến thức	Thiết kế chuỗi nhiệm vụ kết nối và chuyển đổi M-SM-SY như: quan sát hiện tượng (M) → giải thích bằng cấu tạo, liên kết hoặc tương tác phân tử (SM) → biểu diễn bằng công thức, sơ đồ hoặc PTHH (SY).	Khi nghiên cứu tính chất vật lí của amine, GV yêu cầu HS giải thích hiện tượng amine mạch ngắn tan tốt trong nước do khả năng tạo liên kết hydrogen với nước và biểu diễn liên kết hydrogen giữa amine và nước.
Luyện tập	Rèn kĩ năng chuyển đổi đa chiều giữa các cấp độ M-SM-SY thông qua các câu hỏi, bài tập, đặc biệt các bài tập có bối cảnh thực tiễn, gắn với đời sống, sản xuất, sức khỏe, môi trường, trong đó yêu cầu giải thích hiện tượng, phân tích, so sánh,...	Bài tập: Đề xuất cách phân biệt các dung dịch glycine, glutamic acid, lysine và giải thích. Hoặc phân tích 1 đoạn quảng cáo về thực phẩm bổ sung protein, đánh giá cơ sở khoa học của các thông tin.
Vận dụng	Chuyển các thông tin ứng dụng thành nhiệm vụ mở gắn với bối cảnh đời sống, sản xuất, sức khỏe hoặc môi trường; yêu cầu HS giải thích, phân tích dữ kiện, cân nhắc lợi ích – rủi ro, phân biệt thông tin và đưa ra lựa chọn dựa trên bằng chứng khoa học.	HS hoàn thành câu trả lời dưới dạng báo cáo ngắn theo yêu cầu: <i>Phẩm nhuộm azo hoặc indigo được tổng hợp từ các amine thơm. Sau khi sử dụng, các phẩm nhuộm này sẽ đi về đâu và phân hủy như thế nào? Chúng ảnh hưởng ra sao đến môi trường và đời sống? Liên hệ với thực trạng tại một làng nghề dệt truyền thống ở Việt Nam.</i>

Hiệu quả của các định hướng trên có thể được kiểm chứng trong thực tế lớp học thông qua so sánh trước – sau về khả năng chuyển đổi giữa các cấp độ M-SM-SY và chất lượng lập luận của HS trong các nhiệm vụ có yếu tố con người.

5. Kết luận

Việc vận dụng mô hình tứ diện Mahaffy để phân tích chủ đề *Hợp chất chứa nitrogen* trong SGK Hóa học 12 cho thấy học liệu đã bao phủ đủ bốn thành phần của mô hình, gồm cấp độ vĩ mô, hạ vi mô, kí hiệu và yếu tố con người. Kết quả định lượng chỉ ra rằng cấp độ kí hiệu và hạ vi mô chiếm ưu thế, với tỉ lệ xuất hiện lần lượt là 72,5% và 65,0%, trong khi cấp độ vĩ mô đạt 35,0%. Yếu tố con người xuất hiện ở 42,5% đơn vị ý nghĩa nhưng chủ yếu dừng ở mức nêu ứng dụng hoặc vai trò của chất trong đời sống; chưa ghi nhận rõ các nhiệm vụ yêu cầu học sinh đánh giá, lựa chọn hoặc lập luận. Bên cạnh đó, các liên kết và yêu cầu chuyển đổi giữa các cấp độ biểu diễn

còn phân bố chưa đồng đều, cho thấy cần tăng cường các hoạt động dạy học giúp học sinh kết nối hiện tượng vĩ mô, bản chất hạ vi mô, biểu diễn kí hiệu và bối cảnh thực tiễn.

Đóng góp chính của nghiên cứu là cụ thể hóa mô hình Mahaffy thành một công cụ phân tích học liệu, qua đó giúp giáo viên nhận diện các khoảng trống về phân bố, liên kết và chuyển đổi giữa các thành phần của mô hình trong một chủ đề cụ thể. Trên cơ sở dữ liệu phân tích, nghiên cứu đã đề xuất các định hướng thiết kế hoạt động dạy học cho chủ đề Hợp chất chứa nitrogen, tập trung vào hai yêu cầu: tạo cầu nối tường minh giữa M-SM-SY và tăng cường yếu tố con người ở các mức H2/H3. Điểm đặc thù của chủ đề này là các nội dung như amine, amino acid, peptide và protein có mối liên hệ trực tiếp với dinh dưỡng, sức khỏe, dược phẩm, phẩm nhuộm, sản xuất công nghiệp và môi trường, nhờ đó tạo điều kiện thuận lợi để phát triển các nhiệm vụ học tập gắn với phân tích, đánh giá, lựa chọn và lập luận dựa trên bằng chứng khoa học.

Nghiên cứu còn một số hạn chế: kết quả phân tích một chủ đề chưa đủ để khái quát cho toàn bộ SGK và chưa có cơ hội tiến hành thực nghiệm sư phạm để đo lường tác động đối với học sinh. Trong các nghiên cứu tiếp theo, cần mở rộng phân tích sang nhiều chủ đề và bộ SGK khác, đồng thời tiến hành thực nghiệm sư phạm để kiểm chứng hiệu quả các định hướng đề xuất.

Ghi chú về tác giả: Lê Huyền Ngọc, Lê Thảo Linh và Vũ Thùy Dung là sinh viên K72; Bùi Thị Hà Vy là sinh viên K73, Khoa Hóa học, Trường Đại học Sư phạm Hà Nội, Việt Nam. ThS. Phạm Thị Thúy và TS. Phạm Thị Bình là giảng viên Khoa Hóa học, Trường Đại học Sư phạm Hà Nội, Việt Nam. Tác giả 1 và tác giả 2: thiết kế chi tiết phương pháp, triển khai nghiên cứu và viết bản thảo gốc. Tác giả 3 và tác giả 4: thu thập dữ liệu, mã hóa độc lập, xử lý số liệu và tham gia viết bản thảo. Tác giả 5: hỗ trợ hoàn thiện phương pháp, giám sát quá trình thực hiện, phân biện và hiệu đính bản thảo. Tác giả 6 đồng thời là tác giả liên hệ: khởi xướng ý tưởng, định hướng phương pháp và lộ trình nghiên cứu, giám sát tổng thể, phân biện và phê duyệt bản thảo cuối cùng.

Tuyên bố về xung đột lợi ích: Các tác giả tuyên bố không có xung đột lợi ích.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Anastas, P. T., & Zimmerman, J. B. (2016). The Molecular Basis of Sustainability. *Chem*, 1(1), 10–12. <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2016.06.016>
- Aubrecht, K. B., Dori, Y. J., Holme, T. A., Lavi, R., Matlin, S. A., Orgill, M., & Skaza-Acosta, H. (2019). Graphical Tools for Conceptualizing Systems Thinking in Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2888–2900. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00314>
- Celestino, T. (2025). Aniline and Beyond: A Multifaceted Case Study for a Bildung-Focused Chemical Education. *Organics*, 6(2), 20. <https://doi.org/10.3390/org6020020>
- Bộ Giáo dục và Đào tạo. (2018). Chương trình giáo dục phổ thông môn Hóa học.
- Gkitzia, V., Salta, K., & Tzougraki, C. (2011). Development and application of suitable criteria for the evaluation of chemical representations in school textbooks. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(1), 5–14. <https://doi.org/10.1039/C1RP90003J>
- Graneheim, U. H., & Lundman, B. (2004). Qualitative content analysis in nursing research: concepts, procedures and measures to achieve trustworthiness. *Nurse Education Today*, 24(2), 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2003.10.001>
- Holcomb, T. S., Lambert, R., & Bottoms, B. L. (2022). Reliability Evidence for the NC Teacher Evaluation Process Using a Variety of Indicators of Inter-Rater Agreement. *Journal of Educational Supervision*, 5(1), 27–43. <https://doi.org/10.31045/jes.5.1.2>
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75–83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159. <https://doi.org/10.2307/2529310>

- Lê K.L., Đặng X.T., Nguyễn T.T.C., Ngô T.C., Nguyễn V.H., Lê T.H., Nguyễn T.H., & Đường K.L. (2024). *Hóa học 12 (Bộ sách Kết nối tri thức với cuộc sống)*. NXB Giáo dục Việt Nam.
- Mahaffy, P. G. (2006). Moving Chemistry Education into 3D: A Tetrahedral Metaphor for Understanding Chemistry. Union Carbide Award for Chemical Education. *Journal of Chemical Education*, 83(1), 49–55. <https://doi.org/10.1021/ed083p49>
- Mahaffy, P. G., Matlin, S. A., Holme, T. A., & MacKellar, J. (2019). Systems thinking for education about the molecular basis of sustainability. *Nature Sustainability*, 2(5), 362–370. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0285-3>
- Mahaffy, P. G., Krief, A., Hopf, H., Mehta, G., & Matlin, S. A. (2018). Reorienting chemistry education through systems thinking. *Nature Reviews Chemistry*, 2(4), 0126. <https://doi.org/10.1038/s41570-018-0126>
- Nkomo, S., & Bly, A. (2024). Developing a Threshold Concept Assessment Rubric: Using the Johnstone’s Triangle Framework for Understanding Intermolecular Forces. *Journal of Chemical Education*, 101(11), 4694–4703. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00236>
- Nyachwaya, J. M., & Wood, N. B. (2014). Evaluation of chemical representations in physical chemistry textbooks. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(4), 720–728. <https://doi.org/10.1039/C4RP00113C>
- Reynders, M., Pilcher, L. A., & Potgieter, M. (2023). Teaching and Assessing Systems Thinking in First-Year Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 100(3), 1357–1365. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00891>
- Saldaña, J. (2013). *The coding manual for qualitative researchers* (2nd ed.). SAGE Publications.
- Sanchez, J. M. P. (2018). Translational Skills of Students in Chemistry. *Science Education International*, 29(4), 213–219. <https://doi.org/10.33828/sei.v29.i4.3>
- Siregar, E. A., Antuni, A. W., & Arianingrum, R. (2026). A systematic review: How are chemical representations described in chemistry education research? *Multidisciplinary Reviews*, 9(3), 2026157. <https://doi.org/10.31893/multirev.2026157>
- Sjöström, J. (2013). Towards Bildung-Oriented Chemistry Education. *Science & Education*, 22(7), 1873–1890. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9401-0>
- Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(2), 156–168. <https://doi.org/10.1039/C3RP00012E>
- Valverde, G. A., Bianchi, L. J., Wolfe, R. G., Schmidt, W. H., & Houang, R. T. (2002). *According to the Book*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-0844-0>
- Visser, T. C., De Graaf, L. A., Van Den Berg, E., & Spaan, W. P. (2024). Demonstrating chemistry phenomena and stimulating back-and-forth thinking of students between phenomena, concepts, and various representations and visualizations. *GPG Journal of Science Education*, 5(1), 10–19. <https://gpglobalize.in/demonstrating-chemistry-phenomena-and-stimulating-back-and-forth-thinking-of-students-between-phenomena-concepts-and-various-representations-and-visualizations.html>
- Wang, L., Hodges, G., & Lee, J. (2022). Connecting Macroscopic, Molecular, and Symbolic Representations with Immersive Technologies in High School Chemistry: The Case of Redox Reactions. *Education Sciences*, 12(7), 428–441. <https://doi.org/10.3390/educsci12070428>
- Wongpakaran, N., Wongpakaran, T., Wedding, D., & Gwet, K. L. (2013). A comparison of Cohen’s Kappa and Gwet’s AC1 when calculating inter-rater reliability coefficients: a study conducted with personality disorder samples. *BMC Medical Research Methodology*, 13(1), 61. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-13-61>