

讓學生的類比「活」起來： 生成式 AI 輔助物質粒子模型建構的教學設計與實踐

陳楨鈺^{1,2}、劉璟儀¹、王秋雯^{1,3}、林靜雯^{1*}

¹ 國立臺北教育大學自然科學教育學系

² 新北市民安國小

³ 桃園市永順國小

Email: jwlin@mail.ntue.edu.tw

摘要：本文以國小六年級「物質粒子模型」(Particle Model of Matter, PMM) 課程為例，設計兩節結合生成式 AI 的建模課程，帶領學生建立 (Generation)、評鑑 (Evaluation) 與修正 (Modification) 的建模循環歷程。課程中，學生先以語言建構初始類比模型，再透過 AI 生成圖像，使抽象概念得以具象化，進而比較並修正模型。在此過程中，教師適時提供引導與鷹架，提醒學生聚焦於「粒子運動」與「能量來源」等核心概念，並示範如何修正提示詞 (Prompt)，避免學生過度著重在圖像細節修正而忽略科學內涵。同時，學生靈活運用 PAD 評鑑標準：科學合理性 (Plausibility · P)、經驗與想像的對齊性 (Alignment · A)、圖像細節 (Detail · D)，特別是在後期建模階段，以圖像細節 (D) 成為主要策略，學生能積極提出修正指令，展現多次觀察與反思後的主動學習與後設認知發展。課程成果顯示，生成式 AI 的視覺回饋不僅降低了語言表達的門檻，也支持學生持續修正內部模型，深化對粒子概念的理解。本文提供具體的教學流程與策略，展現生成式 AI 在小學自然課程中輔助建模教學的可行性與價值，並為教師設計建模活動提供實務參考。

■ 前言

臺灣《十二年國民基本教育課程綱要》首次將「建立模型」列為國小自然領域的學習表現，並將「物質由微小粒子組成，且粒子不斷運動」等微觀概念下移至高年級(教育部，2018)。此一改革挑戰了傳統以觀察與操作為主的教學模式，也使教師必須重新思考如何設計建模活動，以協助學生理解看不見、摸不到的現象，並逐步發展以模型解釋現象的能力 (Harrison & Treagust, 2000)。

物質粒子模型 (Particle Model of Matter, PMM) 作為科學的重要核心概念，主張所有物質由不斷運動的粒子組成。然而，學生往往難以從直觀的「物質連續觀」轉變為「粒子觀」，並傾向以巨觀經驗來解釋現象 (Lee et al., 1993)。即使是資深教師，在 PMM 教學中也可能存在概念模糊 (Chen & Lin, 2024)。為釐清教學重點，林靜雯 (2024) 提出八項核心粒子命題，並結合 Merritt 和 Krajcik (2013) 的心智模式分類，凸顯了類比建模在 PMM 教學中的潛力。然而，學生在語言表達上經常受到限制，導致難以清楚呈現其類比模型的結構，使教師

難以判斷其理解 (Harrison & Coll, 2008)。

隨著人工智慧技術的發展，生成式 AI (Generative Artificial Intelligence, GenAI) 為此問題提供了新的解決途徑。AI 的圖像生成能將抽象概念具象化，成為學生理解與建構科學模型的視覺中介 (Gilbert, 2005)。透過 GenAI 支援的類比建模，學生可以先以語言描述類比，再由 AI 轉換為圖像，降低語言表達門檻，並讓教師能獲得可視化依據以提供回饋。AI 的快速迭代特性亦能促進學生持續探索與驗證想法 (Windschitl et al., 2008)，同時透過圖像比較與修正激發後設認知 (Murphy et al., 2025 ; Pluta et al., 2011)。

本文旨在設計並實踐一套以生成式 AI 為支持工具的類比建模教學，用以協助學生在學習物質粒子模型的過程中外化、評鑑並修正其心智模式。

■ AI 輔助類比建模教學設計

一、傳統 GEM 歷程

科學教育研究指出，建模並非一次性的產物，而是持續建立、評鑑與修正的循環歷程。Khan (2007) 所提出的 建立—評鑑—修正 (Generation–Evaluation–Modification, GEM) 模型發展歷程，即強調學生應在不斷比對與反思中逐步精煉模型。

在傳統的建模教學中，學生通常先觀察現象並以語言描述初步模型 (建立)，再透過與實驗證據或模擬的比較進行檢視 (評鑑)，最後依據差異調整模型 (修正)。例如在「墨水於冷水與熱水中擴散」的活動中，學生可能初步以「墨水慢慢散開」描述現象，經過與影片對照後，發現需要補充「溫度影響粒子運動速度」的概念，於是修正語言模型，使之更具科學解釋力。這樣的 GEM 歷程提供了學生發展心智模式的基本框架。

二、AI 融入 GEM 的原則

然而，在實際操作中，學生經常因語言表達有限而難以完整呈現其心智模型，使教師不易辨識其理解。生成式 AI 的圖像生成技術，能將語言轉化為具體可見的表徵，成為學生進一步建構、比較與修正模型的中介。本課程選擇免費版本 ChatGPT4o 的圖像生成功能作為中介工具，學生能以免費額度獲得相對穩定的生成圖像，並搭配歸納出以下三項核心原則，分別對應 GEM 的三個建模階段。

原則一 (對應 G：建立) —— 語言轉圖像，降低抽象門檻

首先，學生建立出語言初始類比模型，再透過 AI 將語言描述轉換為圖像。這個過程幫助學生把「腦中的想法」外化，減少語言表達上的障礙。

原則二（對應 E：評鑑）——視覺回饋中介，啟動評鑑與後設認知

AI 圖像不是正解，而是「鏡子」，忠實反映學生語言模型的不足。學生透過比較 AI 圖像與現象或學習單，能更快覺察概念缺漏，並提出修正依據。

原則三（對應 M：修正）——循環對照，深化科學概念

學生在語言模型、AI 圖像和實驗現象之間反覆對照與修正，逐步從巨觀直覺過渡到微觀粒子觀，並建構出更完整的科學模型。

GEM 架構中建模是持續演進與反思的歷程，而非一次性的活動。接著，本研究以 G.E.M. 三階段分別設計兩節以物質粒子模型為主題的教學課，以進行循環的建模歷程。

三、兩節課的設計實踐

依據上述的 GEM 架構，設計了兩個循環的 GEM 循環，分別安排於兩節課中（圖 1），形成「語言模型 → AI 圖像模型」的進階歷程：



圖 1：GEM 圖

第一節課（傳統 GEM 循環）

課程開始前，教師先引導學生討論「什麼是模型」與「什麼是類比」，建立基本概念。接著進入正式活動，學生觀察「墨水在熱水與冷水中的擴散差異」，嘗試以語言描述其初步模型（建立，G）。在此基礎上，教師提供影片觀察與結構化學習單（圖 2），幫助學生對照自身模型與現象，檢視其中的一致性與不足（評鑑，E）。學習單上方呈現現象，下方要求學生以類比對應填寫出自己的類比模型，並利用色塊標示關鍵概念，使學生更容易對應「能量來源」「運動行為」等核心元素。最後，在教師引導下，學生根據評鑑結果修正文句，補充粒子運動與能量來源等科學概念（修正，M）。本節課的產出是語言模型，為第二節課奠定基礎。

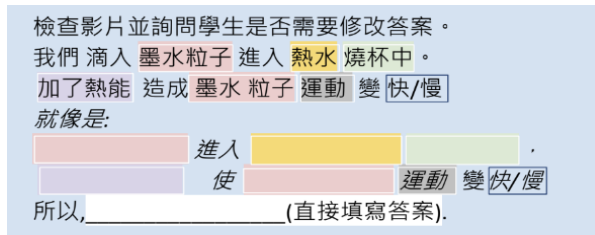


圖 2：結構化學習單內容舉例

第二節課 (AI 融入 GEM 循環)

在第二節課中，學生以上一節課完成的語言模型為起點，透過 ChatGPT 生成式 AI 圖像模型 (建立·G)。學生觀察 AI 生成的圖像，並與語言模型與實驗影片對照，覺察圖像呈現與科學概念的落差 (評鑑·E)。在這一過程中，教師會適時提醒學生檢查圖像是否能表現出「粒子運動變快」或「能量來源」等重點，協助他們重新聚焦於科學建模的意涵。同時提供語言鷹架支持，示範如何修正提示詞 (Prompt)，協助學生將對應的概念更清楚地描述說明在提示詞之中。透過這些策略，學生與 AI 的反覆互動中，能逐步調整圖像細節與科學概念，並持續回到現象影片與學習單作比對 (修正·M)。這使學生能夠逐步將抽象的粒子模型外顯化，發現並補足概念缺漏，最終完成 AI 圖像最終模型。在此同時，AI 的視覺回饋不僅降低語言表達的門檻，教師的引導也促進學生對模型品質的反思與修正，進一步展現出後設建模知識的發展。

■ 課堂執行說明

本次教學分享的對象為桃園市某國小六年級學生，共九名，並分成三組進行課程活動，為了更能清楚觀察學生與 AI 的互動情形，此次選擇的學生來自自治市團隊與科學社團，這些學生平時在校內外已有豐富的課外活動與合作經驗，具備良好的互動默契，能促進小組間自然的對話與協作，有助於示範課程中建模與評鑑活動的順利推展與真實呈現。未來若推廣於課程中，則推薦參與人數為 3 人以下的組別，以減少學生被非課程內容吸引的可能性或是意見不同無法取得共識等情形發生。

一、課堂探究歷程：學生類比粒子模型的演變

透過上述學生進行的二節課類比建模課程任務，學生依序發展出四個模型：初始語言模型、AI 圖像模型一、AI 圖像模型二、AI 圖像最終模型。在此建模歷程中，學生的思考以及概念是如何建構呢？以及又是如何提出提示詞給 AI 以修改自己的模型呢？以下針對三組學生在這四個模型發展階段說明：

(一) 初始語言模型

由圖 3 所示，觀察三組在初始語言模型中，多數的類比是先以巨觀的角度進行描述，並未將粒子概念融入其中。不過也發現設計的語言模型架構下，學生都能明確對應出「能量來源」的概念，也能描述到「運動」的行為，這也顯示模型架構的必要性，有利於學生清楚掌握到教師想要傳達的概念為何。透過階段式的引導，讓學生能在建模起始階段即清楚聚焦於關鍵概念的建構，為後續的模型修正與深化奠定基礎。

	T1 組	T2 組	T3 組
初 始 語 言 模 型	黑色的鳥進入晴天森林中，天氣變好使黑色的鳥運動變快，所以他們活動更大。	憤怒鳥進入堡壘遊戲中，大爆炸使憤怒鳥運動變快，所以粒子在熱水中運動較快	螞蟻進入糖果世界，甜食使螞蟻運動變快
AI 圖 像 模 型 一			
AI 圖 像 模 型 二			
AI 圖 像 最 終 模 型			

圖 3：三組於 PMM 建模歷程中形成的模型圖例

(二) AI 圖像模型轉變

接著加入了 AI 工具後，學生開始形成類比圖形模型: AI 圖像模型一，學生檢視 AI 圖像，意識到語言模型的不足之處，並針對圖像中缺少的概念進行補充，例如：第一組學生發現 AI

圖像模型一的圖都是單獨一隻黑色的鳥，雖然給了四隻，但都是不同場景，單獨的，沒有數量以及運動的概念，所以認為是未給予【類比】概念的關係。因此修正給予生成式 AI 的對話，句尾增加：「沒有類比？說產生類比的圖」。而當 AI 圖像模型二產生後，有學生發現圖像模型二缺少了粒子運動變快的相關概念，從學生互動的對話中可以看出嘗試在初始的語言模型增加語句「...加熱使墨水粒子運動加快...」以及「黑色的鳥進入森林中，...運動變快活動變大」反覆進行修正。在「粒子運動變快」概念上，學生便再經過四次修正，最後獲得滿意的 AI 圖像最終模型（見圖 4）。

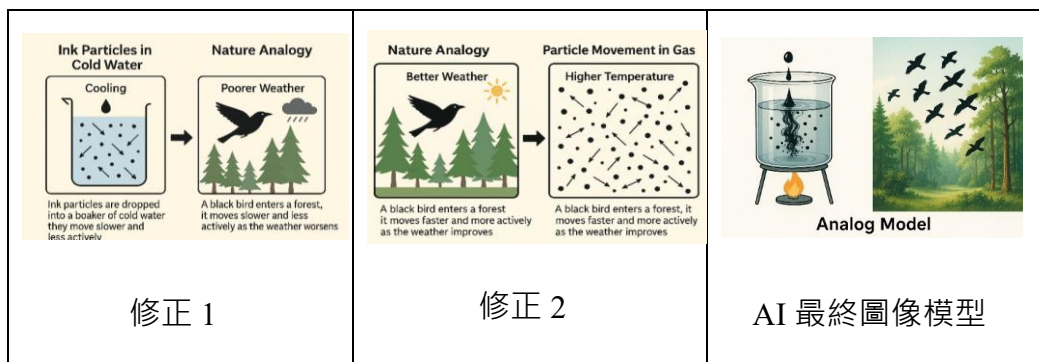


圖 4：第一組獲得 AI 最終模型的三次修正圖

另外，在 T3 組，學生也發現到產生的 AI 圖像模型一缺少了初始語言模型概念，因此學生討論後給予 AI 指令描述為：「很多小螞蟻，糖果小一點」，在「螞蟻」、「糖果」兩個概念上學生與生程式 AI 來回互動了四次，產出四張圖像（如圖 5），最後形成了 AI 圖像模型二。



圖 5：第三組獲得 AI 圖像模型二的四次修正圖

然而 AI 圖像模型二的圖形，學生又查覺到能量與運動概念未展現，於是給了提示語：「甜食使螞蟻運動變快」以及「要看起來快點」開始進行修正。經過與生程式 AI 互動了六

次（有一次未產生圖，生成式 AI 呈現的是解釋甜食與運動的關係文字），共產出五張圖像（圖 6），最後一張即為 AI 圖像最終模型。

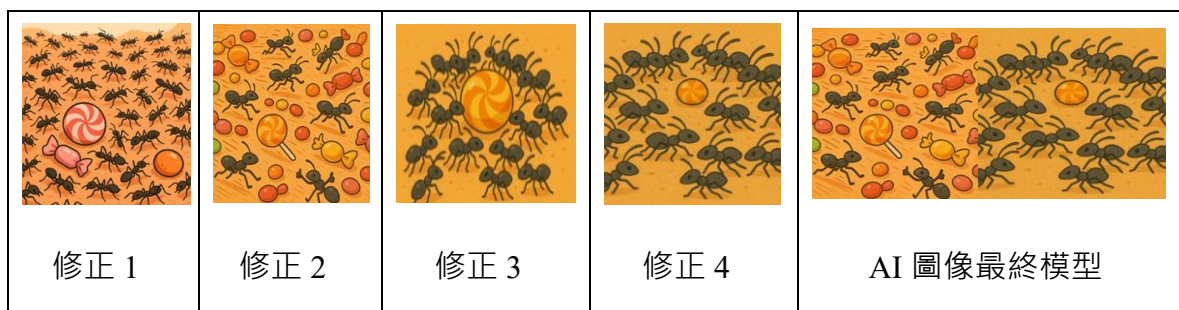


圖 6：第三組獲得 AI 最終模型的五次修正圖

如上述範例，圖像一二兩階段的圖像模型是在學生的反覆討論與互動後，不斷增加模型的概念完整度，而反覆修正後，學生在最終模型階段都能回歸到初始語言模型的框架進行對應，表示在與 AI 對話的過程中，透過視覺化的圖像補足缺乏的概念後，第一節課所提供給的「結構化學習單」，這時便發揮其連結的功能，幫助學生再次回到現象的彩色框進行對應，因此可以發現三組學生在此階段，均著重於強調「運動」的行為對應，這已突破了初始語言模型的巨觀概念，改變成具備微觀概念的「運動」。學生透過生成式 AI 將語言模型視覺化後，能進一步發現模型中的概念缺漏並進行修正，啟動了後設認知，明顯提升了心智模式。展現了 Schwarz 等人（2009）所稱的「後設建模知識」中關於模型本質、修正依據與限制的理解歷程。也補足了 Schwarz 和 White（2005）指出學生在模型評鑑能力上的不足。生成式 AI 圖像提供了一個視覺化、可外顯的中介，有效促進學生進行模型品質的自我評估與調整。

二、學生如何使用 PAD 評鑑標準在建模歷程中的動態發展

在生成式 AI 輔助下，學生將語言模型表徵轉換成圖像後，更能發現到其模型所需要補足的概念，於是強化了其模型評鑑與修正，歷程中學生如何評判圖像以決定是否完成，我們從錄影中所轉錄的學生對話逐字稿，以及整理學生對 AI 所提出的指令，先行根據建立 G、評鑑 E、修正 M 三個建模階段分段後，再依據 Lemke（1998）所提出的語言功能架構，將上述資料中的語句從三個面向來觀察與評估。首先是**科學合理性 (P)**，強調生成圖像是否符合基本的科學原理與常識；其次是**經驗與想像 (A)**，關注圖像與學生自身生活經驗及預期想像的契合程度；最後是**圖像細節 (D)**，著重於學生對圖像中元素與視覺特徵的要求。這三種標準共同反映了學生在運用生成式 AI 時，如何在科學正確性、個人經驗連結與視覺呈現之間取得平衡。觀察結果如下：

(一) 模型建立 G 階段

在將初始語言模型輸入給生成式 AI 指令時，雖然是依據第一節課的「結構化學習單」，但是輸入時，學生會將語句反覆斟酌，這時學生已經在進行自己初始語言模型的評鑑。三組學生在此時都聚焦在用什麼樣的語句準確的傳達所需要的類比模型，並設定條件。

比較三組學生在此階段的評鑑次數，第二組學生間互動次數明顯較多，透過組內設定的初始語言模型進行想像模型和圖像斟酌。例如：「我希望你依據我們給的類比產出粒子模型的圖片以下是我們的類比：我們滴入墨水粒子進入熱水燒杯中。加了熱能造成墨水粒子運動變快，就像是憤怒鳥進入堡壘空間中。大爆炸使憤怒鳥運動變快。所以，粒子在熱水中運動較快」。雖然此階段（模型建立 G 階段）尚未產出完整圖像，三組卻皆能見到評鑑語言已呈現在輸入與互動過程中，顯示這操作歷程對於學生初始的語言模型產生的自我評鑑與檢視的作用。

(二) AI 圖像模型一階段

接著進入 AI 圖像產生歷程，學生呈現高度興趣與建模動機，其中最多的語句互動集中於評鑑 E 階段，其次為修正 M 階段。而學生使用評鑑方式中，又主要以圖像細節（D）及經驗與想像（A）為主，顯示在圖像模型一生成的階段，學生較傾向依據個人想像與視覺偏好進行評價，而較少運用科學概念進行推理與判準。

(三) AI 圖像模型二階段

進入此階段後，學生對生成式 AI 圖像的調整與修正行為明顯增加，開始更有策略地對照圖像與概念。此時，圖像細節（D）成為最常被使用的評鑑標準，學生積極針對數量、動作或畫面元素等細節提出修正，顯示他們已經累積了多次觀察與討論，並能主動檢視 AI 產出的圖像是否符合自己的建模意圖。例如「熱是比喻爆炸」、「順便解釋冷水和熱水中的差異」，說明他們已能將細節調整與概念對應結合起來。雖然科學合理性（P）的使用比例在此階段並未大幅提升，但仍發揮了支持性作用，幫助學生確認模型方向不至於偏離科學原則。當學生透過經驗、想像與現象的對齊性（A）及圖像細節（D）完成模型修正後，會再回過頭以 P 作為對照，檢視生成圖像是否符合基本的科學邏輯。從此可推論學生在生成式 AI 的圖像輔助下，傾向先依據細節與直觀經驗進行調整，再逐步引入科學合理性的檢核，形成了以 D 與 A 為主、P 為輔的評鑑模式。由此可見，圖像細節不僅是評鑑的起點，也成為學生進入後設認知歷程、展現主動學習與概念深化的重要契機。

■ 結論與反思

本文的建模教學課程透過與生成式 AI 的互動，逐步發展出多階段的視覺圖像模型歷程，並進一步分析學生在建模過程中對生成圖像的評鑑行為與標準。根據研究結果，歸納出以下

結論與教學建議，以作為未來自然科學課程中應用生成式 AI 進行類比建模之參考。

一、生成式 AI 促進模型修正與科學概念建構

學生初始的語言模型大多停留在巨觀現象與直觀類比的層次，透過 AI 生成圖像後，有助於學生覺察模型概念的不完整性，並引發修正與學習遷移，逐步建立科學概念，達到心智模式更高層次。

二、生成式 AI 的視覺回饋中介角色，激發評鑑思維與後設認知

學生在建模歷程中，透過生成式 AI 的圖像回饋，展現出對評鑑標準的靈活運用，並逐步發展出後設認知能力。生成式 AI 作為一種「視覺回饋中介」，能在多模態的學習情境中，促進學生對模型的反思與調整，進而深化其科學意義的建構。

三、教學與研究建議

生成式 AI 在科學建模教學中能有效協助學生將語言轉化為圖像，讓抽象概念更具體易懂，提升理解與學習動機。然而，若缺乏課程架構與教師的適當引導，學生往往會被 AI 生成的圖像細節吸引，專注於修正或美化視覺呈現，而忽略了模型背後的核心科學意涵。因此，教師設計 AI 融入教學時，應能搭配課程引導與問題設計，並從中培養學生對於 AI 資訊的批判性思維與資訊判斷素養，唯有在足夠的教學框架下，AI 才能真正發揮支持學習與深化理解的價值。

■ 參考資料

教育部 (2018)。十二年國民基本教育課程綱要—自然科學領域。教育部。

林靜雯 (2024)。以物質粒子模型類比建模為核心的自然與雙語自然教與學第二年成果報告 (計畫編號 NSTC 112-2410-H-152-011-MY3)。國家科學及技術委員會。

顏榮泉 (2024)。從認知處理觀點評論生成式 AI 對學習的影響。臺灣教育評論月刊，13(3)，144–153。

Chen, C. Y., & Lin, J. W. (2024, July 15–19). Unveiling elementary school teachers' mental models: Utilizing the particulate nature of matter to explain water's three states and constructing analogical models for their students [Oral presentation]. *27th IUPAC International Conference on Chemistry Education*, Pattaya, Thailand.

Gilbert, J. (2005). Visualization: A metacognitive skill in science and science education. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education* (pp. 9–27). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_2

Harrison, A. G., & Coll, R. K. (Eds.). (2008). *Using analogies in middle and secondary science classrooms: The FAR guide – An interesting way to teach with analogies*. Corwin Press.

Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2002). The particulate nature of matter: Challenges in

- understanding the submicroscopic world. In *Chemical education: Towards research-based practice* (pp. 189–212). Springer.
- Khan, S. (2007). Model-based inquiries in chemistry. *Science Education*, 91(6), 877–905. <https://doi.org/10.1002/sce.20226>
- Lee, O., Eichinger, D. C., Anderson, C. W., Berkheimer, G. D., & Blakeslee, T. D. (1993). Changing middle school students' conceptions of matter and molecules: A longitudinal study. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), 249–270. <https://doi.org/10.1002/tea.3660300304>
- Lemke, J. (1998). Multiplying meaning: Visual and verbal semiotics in scientific text. In J. R. Martin & R. Veil (Eds.), *Reading science: Critical and functional perspectives on discourses of science* (pp. 87–113). Routledge.
- Murphy, D., Duncan, R. G., Chinn, C. A., Danish, J., Hmelo-Silver, C. E., Zhou, J., & Ryan, Z. (2025). Elementary students' metacognitive knowledge of epistemic criteria. *Journal of Research in Science Teaching*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1002/tea.22030>
- Pluta, W. J., Chinn, C. A., & Duncan, R. G. (2011). Learners' epistemic criteria for good scientific models. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(5), 486–511. <https://doi.org/10.1002/tea.20415>
- Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165–205. https://doi.org/10.1207/s1532690xci2302_1
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941–967. <https://doi.org/10.1002/sce.20259>