

整合生成式人工智慧於國小機器人教育：提升學習興趣與知識理解

Integrating Generative Artificial Intelligence into Elementary School Robotics Education: Enhancing Learning Interest and Knowledge Acquisition

莊聖文，洪暉鈞

台灣中央大學 網路學習科技研究所
qoo10123@gmail.com

【摘要】 本研究探討將生成式人工智慧（GenAI）融入機器人程式教育，以增強 STEAM（科學、技術、工程、藝術和數學）領域的基礎科學教育。透過實踐 STEAM 活動，學生能提升解決問題和協作能力，並對科學產生濃厚興趣。結果顯示 GenAI 在支持 STEAM 教育中的關鍵作用，增強學習興趣，培養創造力和團隊合作，促進學習能力。GenAI 是人工智慧的重要發展，具有潛力為教育帶來變革，特別是在 STEAM 領域。它鼓勵提問、調查和知識建構，使學習更有效且具吸引力。GenAI 透過 6E 體驗式學習，在各學習階段擔任多重角色，提供科學探究活動的支持與專業指導。

【關鍵詞】 STEAM；程式教育；探究式學習；生成式人工智慧；運算思維

Abstract: This study explores the integration of Generative Artificial Intelligence (GenAI) into robotics programming education to enhance foundational science education in the STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics) disciplines. By engaging in STEAM activities, students can improve problem-solving and collaboration skills while fostering a strong interest in science. The results demonstrate GenAI's critical role in supporting STEAM education, enhancing learning interest, fostering creativity and teamwork, and promoting overall learning capabilities. As a significant advancement in artificial intelligence, GenAI holds transformative potential for education, particularly in STEAM. It encourages questioning, inquiry, and knowledge construction, making learning more effective and engaging. Through 6E experiential learning, GenAI assumes multiple roles across learning stages, providing support and professional guidance for scientific inquiry activities.

Keywords: STEAM, Programming Education, Exploratory Learning, Generative Artificial Intelligence, Computational Thinking.

1. 前言

人工智慧教育在先進國家受到高度重視，重點在於培養學生的跨領域能力，包括學習能力、跨領域能力、實踐技能和創造力。STEAM（科學、技術、工程、藝術和數學）教育整合來自各領域的知識，並與人工智慧的發展緊密相關，因為人工智慧所需的技能涵蓋多個領域，如技術、工程和數學。

近年來，程式設計和機器人教育逐漸受到重視，將程式與運算思維融入課程中，提升學生的邏輯思考與問題解決能力。機器人教育透過課程和競賽推動 STEAM 教育，培養學生的團隊合作與問題解決能力。生成式 AI 具有創造力、自動化、個性化和學習能力等優勢，但也面臨如安全風險、隱私問題和社會影響等挑戰。這些領域相互交織，共同塑造現代教育趨勢，為學生提供更豐富的學習經驗。本研究以小學生為對象，提供結合科技、數學和體育元素的跨領域實踐經驗，激發學生對科學的興趣，並培養創造力與問題解決能力。研究主要探討學生的學習動機與機器人專業知識對其技術探究能力的影響。

為了更深入了解受試者的學習表現，本研究探討了兩個關鍵因素對學生學習的影響：

研究問題 1：使用生成式 AI 的學生在製作機器人時，是否更能提升學習興趣？

研究問題 2：學生在機器人相關知識的測驗分數，是否因生成式 AI 在評鑑過程中的應用而有所差異？

2. 文獻回顧

2.1. 跨領域科學教育(STEAM)研究

研究指出美國的 NGSS (Next Generation Science Standards) 強調學生參與科學和工程實踐，將科學知識應用於實際問題解決(States, 2013)。STEAM 教育的目標是培養學生跨領域的科學、技術、工程、藝術和數學能力。在這框架下，強調「探究」成為關鍵的學習方式，培養學生解決問題的能力。結合 NGSS 的理念，以更好地設計 STEAM 棒球機器人的教育內容和活動(Wang et al., 2011)。

2.2. 6E 取向的 STEAM 實作活動

6E Learning by DeSIGN™ 是美國國際科技與工程教師學會 (ITEEA) 提出的學習模型，主要應用於 STEAM 教育領域，以強化學生設計與探究能力的培養。該模型在原本 5E 學習循環 (Engagement、Exploration、Explanation、Elaboration、Evaluation) 的基礎上，新增了實作 (Engineer) 階段，進一步突顯設計思維在教育中的重要性(Burke, 2014)。

該模型特別適合以學生為中心的教學方法，注重培養學生的問題解決能力與創造性思維。研究表明，透過引入 6E 模型的教學活動，能有效促進學生在 STEAM 領域的學習成效，並提高其學習興趣和實作能力(Lin et al., 2020)。

2.3. 體驗式學習與探究式學習

探究式學習和體驗式學習是 STEAM 教育中重要的兩個元素，強調透過參與和實驗培養解決問題的能力。根據(Kolb, 2014)的「體驗學習理論」，學習是一個連續的循環，包括實際參與、觀察和思考，最後形成新的概念。為體驗式學習探討了一個案例研究，(Inguva et al., 2021) 研究團隊設計了一個動手操作的化學分離活動，要求學生解決現實世界中的工程問題，並著重於經驗的真實性與安全性。這項研究強調了經驗原則和綜合性基礎設施支持，創造出真實的操作環境，以提升學習過程(Inguva et al., 2021)。將探究式學習與體驗式學習結合，能加深學生對 STEAM 知識的理解，提升問題解決能力和運算思維。本研究透過實際使用 LEGO SPIKE 設備開發一個 STEAM 棒球機器人。

3. 研究方法

本實驗探討了使用生成式 AI 工具與傳統教學方法對學生學習興趣及學習機器人相關知識的影響。實驗涉及兩組學生：一組使用生成式 AI 輔助學習，另一組則採用傳統教學方法。資料收集方法包括問卷調查以及機器人相關知識的測驗評分。

3.1. 研究對象

在一項涉及台灣小學 48 名學生的研究中，提供了跨領域的實作經驗，目的在激發學生對科學的興趣，並培養創造力和解決問題的能力。這項為期八週的實驗涉及教導 Scratch 和 LEGO 機器人程式，分為兩組學生，其中一組學生獲得來自生成式 AI 工具的協助。

課程內容包括 Scratch 和 LEGO 機器人程式。課程使用了具有中文介面的 Scratch v3.0，學生們利用 Scratch 創建了棒球遊戲，並使用 LEGO Spike Prime 套件構建了機器人。在第一週後，通過問卷收集了前測，並在最後一週進行了後測，以進行比較。

3.2. 實驗設計

本研究採用統計方法進行量化分析，比較兩組學生在學習興趣和機器人相關知識分數的差異。題目包含 10 個選擇題和 25 個測驗題。問卷使用五點李克特量表進行評分。從 1 分(非常不同意)到 5 分(非常同意)不等。在為期 8 週的課程結束時，所有學生被要求完成兩次問卷調查。

學習興趣問卷：通過 MSLQ(Motivated Strategies for Learning Questionnaire, MSLQ)問卷和專案實施，本研究調查學生在 STEAM 棒球機器人活動中的學習動機，並分析他們在機器人操作和設計過程中的投入和學習興趣變化(Pintrich & De Groot, 1990)。

機器人相關知識：機器人檢定學科題目裡面採用與打棒球機器人相關的 25 題題目做測驗，全面評估學生在打棒球機器人專案中對機器人相關知識的掌握程度。透過測驗方式深入了解學生對於程式編寫、機械結構原理、力學等方面的知識，研究他們在機器人專業領域的學習成效，並考察這些成績與實作活動之間的相互影響(Association, 2016)。

3.3. 資料分析

本研究將採用量化分析方法進行資料處理。透過前後測的問卷，觀察受測者在經過 8 週學習後，學習表現是否有所提升。學習興趣的問卷在前後測時使用相同題型，而機器人相關知識測驗的每一題均以 4 分計算，總分為 100 分。為了檢驗學習興趣的變化，本研究將使用成對樣本 t 檢定進行分析；另外，對於兩組受測者在機器人相關知識測驗的表現差異，則會採用獨立樣本 t 檢定來進行檢驗，目的在確定是否存在顯著差異。

3.4. 實驗過程與結果

在實驗中，學生將參加機器人課程，學習機器人組裝和程式設計，同時通過一系列活動提升他們的運算思維能力。透過與聊天機器人的互動，GenAI 將在支持學生思考過程中發揮關鍵作用，不僅提供即時建議，還能針對學生面臨的挑戰提供解決方案。課程內容涵蓋從培養基本程式設計概念到實際應用，如使用 SCRATCH 設計和開發棒球遊戲。隨後學生將學會組裝機器人的硬體元件，並使用積木化的程式設計工具實現各種機器人功能。這樣的學習經驗不僅促進創造力，還培養了解決問題的能力，並加強學生對機器人技術的理解(圖一)。

GenAI 將在學習的每個階段提供不同程度的支持。例如，當學生設計程式時，GenAI 可以根據他們的需求提供優化建議，幫助他們編寫更高效的程式碼。當程式碼出現錯誤時，GenAI 也會提供即時的除錯指導。這些協助使學生能夠更獨立地學習，深化對機器人技術和程式設計的理解。這種方式有助於學生建立更強的能力，以應對未來在科技領域的應用。



圖 1 實驗過程的照片

4. 結果與討論

這項研究探討了 GenAI 在小學科學教育中的應用。研究重點是將 GenAI 整合到 Scratch 程式設計平台和 LEGO SPIKE 機器人套件中，進行互動式學習。目標是透過實踐的 STEAM 活動，提升學生在科學學習中的問題解決能力、合作精神和好奇心。

4.1. 應用生成式人工智慧於科學探索與實踐活動的步驟指引

GenAI 在學習過程中扮演著至關重要的角色。它幫助學生理解問題、激發創意解決方案、指導實施、分析數據並促進反思以便改進。這種 AI 輔助的學習方法讓探索變得更有興趣，並使複雜的概念更容易理解，活動步驟如表一所示。

表一 生成式 AI 應用於科學探究實作活動之步驟說明

步驟	說明	GenAI 應用
情境引導探索	在教學活動所設定情境下，學生需要針對特定挑戰或目的清晰地定義問題，並理解問題的背景和脈絡。	作為專家提供參考資料和背景知識，分析相關資訊，透過互動幫助學生明確問題範疇，提供潛在問題描述和方向。
創意發想設計	針對上階段提出的問題設計解決方案，學生需考慮如何整合背景知識和技能，創造有成效的解決方案。	生成式 AI 能提供學生靈感、案例，多種可能的設計建議和解決途徑，幫助他們有效規劃方案。
(3) 實作產出	針對所提出之方案實際執行，其中包含實驗與建模。學生需要用工具和技術將其設計轉化為實際成果。	生成式 AI 協助學生理解資源和材料特性，提供建議、指導，並分析過去案例以提供技術支援。
(4) 驗證與觀察	在實作後觀察其結果並收集數據、以評估期方案之可行性。學生可運用科學方法和實驗技巧驗證其假設和觀察結果。	生成式 AI 可以協助學生進行實驗數據分析，協助學生對觀察結果進行解釋，以幫助學生理解其成效。
(5) 反思	透過實際驗證與結果分析，進一步進行反思、檢討錯誤與提出可能的改善方案。學生需要思考他們所學進行討論，並找出改進的方向。	生成式 AI 能協助學生進行反思和討論，透過分析結果資料或學習日誌，全面評估並改進他們的工作。

4.2. 學生使用聊天機器人的對話過程

本節將介紹學生如何與聊天機器人對話，以增強他們的學習體驗。學生在聊天機器人的指導下使用 SCRATCH 平台設計棒球遊戲。完成後，他們繼續與聊天機器人互動，學習如何使用樂高 SPIKE 設備來創建一個打棒球的機器人。這種綜合學習模式大大提高了學生的 STEAM 能力，學生與機器人的對話記錄為人機互動以及學生的學習體驗和成果提供了寶貴的見解(圖二)。

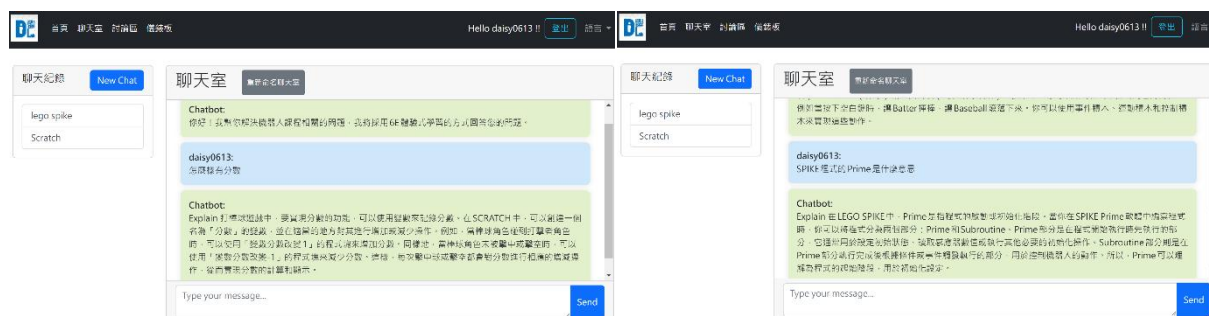


圖 2 學生與聊天機器人之間的對話

在學生提出的問題範圍很廣，有關於遊戲設計要求的基本問題，也有關於 Scratch 中程式語言和邏輯的具體問題。例如，學生 1 詢問了棒球遊戲的實體組件，接著又詢問了如何在 Scratch 中模擬球的運動，最後要求說明如何編寫球的程式。對打擊球者和球的互動程式表示困惑，需要機器人逐步指導。下面是一個典型的交流例子：

學生 1 詢問：「如何編寫球的程式？」

機器人回答：「在 Scratch 中，你可以使用程式指令來控制球的行為，首先使用當綠色旗幟被點擊。然後，新增一個重覆無限次指令來持續移動小球，使用移動 X 步來控制球的速度和方向。還可以使用條件指令進行調整，用於與其他角色進行互動。」

這次交流展現了聊天機器人將複雜的程式概念分解為簡易理解指令的能力，幫助學生實現了關鍵的遊戲機制。

4.3. 聊天機器人在學生學習體驗中的角色

4.3.1. 通過聊天機器人指導進行創意構思

學生經常報告說，聊天機器人是創意遊戲設計想法的靈感來源。例如，學生 1 提到聊天機器人如何透過輔助 SPIKE 機器人進行揮棒動作，幫助他們想像出更逼真的棒球遊戲。學生 10 根據聊天機器人的建議創造了一個魔法球，用富有想像力的元素增強了遊戲性。聊天機器人的指導不僅能培養學生的創造力，還能有效幫助他們克服對程式設計原理的陌生感，起到關鍵性的支持作用。許多學生，如學生 8 和學生 10 都表示不知道如何開始遊戲設計，也很難理解 Scratch 的基本程式設計概念。機器人提供技術和支援的能力有助於彌補這些不足，讓學生在掌握基礎技能的同時探索創造的可能性。

4.3.2. 聊天機器人協助下解決問題

在程式課程中，聊天機器人在幫助學生解決技術問題方面發揮了重要作用。例如，學生 6 在聊天機器人的指導下成功解決了 SPIKE 組裝問題。同樣，學生 16 指出，聊天機器人為機器人追求程式提供了有效方法，提升了遊戲性。

不過有些學生希望得到即時、直接的反饋，加快問題解決過程。學生 9 建議更具體的糾正可以提高聊天機器人解決技術問題的效率。學生詢問的問題具有重覆性，例如，如何使棒球移動或是如何對打擊者的動作進程式設計，這表明學生需要多次接觸相同的概念才能夠完全掌握程式邏輯。

4.3.3. 聊天機器人互動中需改進的部分

儘管聊天機器人整體上效果良好，但也有幾位學生指出了其互動中的不足之處。學生 3 認為聊天機器人的說明「太複雜」。同時，學生 8 覺得需要更詳細指導，覺得聊天機器人說明「太含糊」。學生 5 也表示需要更精確的指導，特別是在處理 Scratch 程式錯誤時。學生 11 和學生 18 等人認為，更具體的例子或直觀的教學會加深他們對複雜任務的理解。這些反饋突顯了學生在學習中面臨的一些挑戰，特別是在掌握 Scratch 程式和精確排除程式錯誤方面。雖然有些學生，如學生 12，表現出理解力並準備開始學習寫程式，但也有一些學生仍然感到困惑，尤其在面對較為抽象的概念時。例如，學生 6 表示：「我不知道如何寫程式」，這反映了初學者在理解程式邏輯方面經常遇到的困難。

4.3.4. 對聊天機器人功能的期望改進

學生們表示希望聊天機器人界面能夠提供更多互動或視覺化的學習輔助工具。學生 16 建議加入圖片，使解釋可以更加精確。除了視覺輔助外，學生 10 還建議聊天機器人提供更具體的例子，而學生 12 則要求按步驟解決問題，以幫助完成更複雜的任務。學生學習軌跡的顯著差異尤其體現了對擴展功能的需求。有些學生，如學生 9 和學生 11，能夠按照聊天機器人的指導快速完成項目；相比之下，另一些學生，如學生 6 和學生 12，則需要更詳細的逐步指導。聊天機器人能夠提供即時且具體的步驟指導，從基本的 Scratch 積木選擇到更高級的變數操作，這對於提供個性化支持至關重要，反過來又能提高學生的參與度和整體學習效率。

4.4. 學習表現的差異

控制組的前測與後測資料經過 Shapiro-Wilk 正態性檢定，結果顯示前測的顯著性為 0.278，後測的顯著性為 0.252，均大於顯著水準 0.05，表示兩組資料符合常態分布。此外，控制組的樣本數為 22，這符合小樣本情境下使用 Shapiro-Wilk 檢定的建議。因此，本研究選擇使用成對樣本 t 檢定 (Paired-Samples T Test) 來檢驗控制組在學習興趣前後測量的差異。

根據表二所示的成對樣本 t 檢定結果，控制組在學習興趣測驗中，前測 ($M = 3.3106$, $SD = 1.0439$) 與後測 ($M = 4.0151$, $SD = 0.4878$) 之間有顯著差異。根據 t 值 (-3.543) 與 p 值

(0.036)，結果顯示控制組在學習興趣上存在顯著變化，且 p 值小於顯著水準 0.05，表示前後測之間的差異是統計顯著的。

此結果表明，在學習興趣測驗中，控制組學生經歷了顯著的改善，進一步證實了處理措施對學習興趣的影響。

表二 對照組學生在學習興趣測驗成對 t 檢定結果

	測驗	M	SD	t	p
學習興趣	前測	3.3106	1.0439	-3.543*	.036
	後測	4.0151	.4878		

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

本研究使用 Shapiro-Wilk 檢定檢查實驗組前後測數據的常態分布情形。結果顯示，實驗組前測的顯著性為 0.964，後測的顯著性為 0.181，均大於 0.05，表示實驗組的前測與後測數據符合常態分布。本次檢定基於樣本數為 26，使用 Shapiro-Wilk 檢定適合小至中等樣本量的特性，確保分布檢定結果的可靠性。此結果支持後續使用參數檢定方法進行分析。

接著，研究使用成對樣本 t 檢定來檢驗實驗組學生在學習興趣測驗中的前後測差異。根據表三所示的結果，實驗組學生的學習興趣前測平均數為 3.4439，標準差為 0.7780，後測平均數為 4.1586，標準差為 0.5515。配對樣本 t 檢定的 t 值為 -6.836， p 值為 0.000，顯示出前後測結果之間有顯著差異，且該差異達到統計顯著性 ($p < 0.001$)，表明實驗組學生在學習興趣上有顯著的提升。

這一結果支持本研究的假設，即透過實驗處理，學生的學習興趣在學習過程中有顯著增長。根據統計檢定結果，學習興趣測驗的前後測驗差異反映了實驗處理的有效性，且此變化具有實質意義。此結果也進一步的證實，使用成對樣本 t 檢定分析學習興趣變化是適當且有效的。

表三 實驗組學生在學習興趣測驗成對樣本 t 檢定結果

	測驗	M	SD	t	p
學習興趣	前測	3.4439	.7780	-6.836***	.000
	後測	4.1586	.5515		

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

本研究對對照組與實驗組學生的機器人相關知識測驗分數進行統計分析。首先，使用 Shapiro-Wilk 檢定檢查正態性，結果顯示對照組的顯著性為 0.171，實驗組為 0.088，兩組顯著性均大於 0.05，表示數據符合正態分佈假設。接著進行 Levene 檢定以檢查變異數同質性（表五），結果顯示 F 值為 1.104，顯著性為 0.299，大於 0.05，表示兩組數據的變異數相等，滿足進行母數檢定的前提條件。

在此基礎上進行獨立樣本 t 檢定（表四），結果顯示對照組 ($N = 22$) 平均分數為 51.364，標準差為 14.5194；實驗組 ($N = 26$) 平均分數為 80.769，標準差為 11.9208。檢定結果顯示，兩組間的平均數存在顯著差異 ($t = -7.707, p < .001$)，且實驗組的平均分數顯著高於對照組，平均數差異為 29.4056。本結果表明，實驗組學生在機器人相關知識的測驗分數顯著優於對照組。

表四 對照組與實驗組學生在機器人相關知識分數獨立樣本 t 檢定結果

	組別	M	SD	MD	t	p
機器人相關知識	對照組	51.364	14.5194	-29.4056	-7.707***	.000
	實驗組	80.769	11.9208	-29.4056		

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

5. 結論與未來方向

5.1. 結論

人機互動對學習進展的影響：對話紀錄顯示，機器人提供的即時協助對學生的學習軌跡產生了積極影響。在機器人的指導下，學生逐漸理解如何設計棒球遊戲程式，這突顯了教育機器人能有效引導學生完成程式設計任務並且支持他們的學習進展的潛力。

程式設計教育中教學介面的有效性：當機器人提供可視化的步驟或階段性指導時，學生能更快掌握並應用程式設計概念。這表明，像 Scratch 這樣的教學介面可以通過加入更多的視覺輔助和結構化的指導來改進，這些改進有助於不同程式設計能力的學生。

聊天機器人語言風格的挑戰：機器人的語言風格往往精確且技術性強，這可能對缺乏程式設計經驗的學生造成困難。簡化語言並加入更多視覺化內容，有助於縮短學生理解的差距，讓他們能夠在程式設計中建立更清晰的概念聯繫。

聊天機器人支援下的學習挑戰與機會：研究也揭示了幾個常見挑戰，例如學生在理解 Scratch 程式結構和排除程式錯誤方面的困難。AI 聊天機器人在縮短這些差距方面表現出色，提供了技術協助和激勵支持。然而，學生通常需要多次接觸某些概念才能達到完全理解，這表明學習過程中需要更多的反覆練習與引導性支持。

5.2. 未來方向

量身定制的教學回饋需求：AI 聊天機器人可以提升教育機器人領域的運算思維與問題解決能力，但同時也揭示了在提供清晰且全面的回饋方面的局限性。經驗較豐富的學生能更有效地處理聊天機器人的回應，而經驗較少的學生則在面對模糊或含糊不清的指示時感到困難。聊天機器人應該提供更多量身定制、具上下文的回饋，以支持更廣泛的學習者能力。

改善聊天機器人介面：為了讓 AI 聊天機器人更具效能，納入更詳細的範例、視覺輔助工具以及逐步修正指導至關重要。這些增強元素能幫助澄清指示並改善學習成果，特別是對於那些可能無法完全理解編程中抽象概念的初學者。整合多媒體資源，如圖片與影片，將進一步提升聊天機器人的教學能力。

擴展 AI 在教育中的角色：隨著 AI 驅動的聊天機器人持續進化，對於改進其教學策略以更好地滿足多樣化學習需求的需求日益增長。回應邏輯和自適應學習工具的改善將能提升學生的自我效能感與技術能力，促進教育環境中更具意義的人機互動。

學生與機器人對話的文字紀錄突顯了人機互動在教育環境中的潛力。未來的研究可以集中於優化機器人的回應邏輯和教學策略，進一步增強學習者的自我效能感與技術能力。在聊天機器人系統中整合多媒體資源並量身定制個性化的 AI 互動，以滿足個別學習需求，也能進一步提升這些工具的效能。

致謝

本研究感謝國科會專題研究計畫（計畫編號：NSTC113-2628-H-008-001-MY3）以及中央大學學習科技研究中心支持。

參考文獻

- Association, T. T. R. (2016). *Robot certification: Level 1 subject question bank [Original in Chinese]*.
<https://www.robot.url.tw/19/data/Subject-data/TTRA%E6%AA%A2%E5%AE%9A%E9%A1%8C%E7%9B%AE%E4%B8%80%E7%B4%9A%E5%AD%B8%E7%A7%91%E9%A1%8C%E7%9B%AE%E5%85%AC%E5%91%8A.pdf>
- Burke, B. N. (2014). THE ITEEA 6E Learning byDeSIGN Model. *Technology & Engineering Teacher*, 73(6).
- Inguva, P., Shah, P., Shah, U., & Brechtelsbauer, C. (2021). How to design experiential learning resources for independent learning. *Journal of Chemical Education*, 98(4), 1182-1192.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00990>

- Kolb, D. A. (2014). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. FT press.
- Lin, K.-Y., Hsiao, H.-S., Williams, P. J., & Chen, Y.-H. (2020). Effects of 6E-oriented STEM practical activities in cultivating middle school students' attitudes toward technology and technological inquiry ability. *Research in Science & Technological Education*, 38(1), 1-18. <https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.1080/02635143.2018.1561432>
- Pintrich, P. R., & De Groot, E. V. (1990). Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance. *Journal of educational psychology*, 82(1), 33. <https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.1037/0022-0663.82.1.33>
- States, N. L. (2013). Next generation science standards: For states, by states. <https://doi.org/https://doi.org/doi:10.17226/18290>
- Wang, H.-H., Moore, T. J., Roehrig, G. H., & Park, M. S. (2011). STEM integration: Teacher perceptions and practice. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 1(2), 2. <https://doi.org/https://doi.org/10.5703/1288284314636>