

結合物理魔術之 5E 探究教學對學習成就 與科學參與態度的影響

江耿仲¹ 黃琮閔² 洪耀正^{3,4*}

¹逢甲大學統計學系

²嘉義市立嘉義國民中學

³逢甲大學通識教育中心

⁴逢甲大學電機工程學系

摘要

本研究結合物理魔術教具「憑空出現」進行探究式教學，並融入 5E 探究學習環的精神，用以提升學生的學習興趣與學習成效。我們比較結合物理魔術之 5E 探究教學與傳統「食譜式」實驗教學在學習成效、實驗態度與活動滿意度三方面的差異。結果顯示，兩種教學方法皆能有效提升學生的學習表現，但短期內兩者無顯著差異。然而結合物理魔術之 5E 探究教學在實驗態度與活動滿意度方面明顯優於傳統教學，顯示其在激發學習動機與提升課堂參與度上具有優勢。本研究驗證了物理魔術作為教學媒介的可行性與潛力，也為物理教學引入新的元素。

關鍵詞：物理魔術、探究式教學、5E 學習環

*為本文通訊作者

壹、研究背景與動機

人類透過觀察自然現象、提出假設並進行實驗驗證，逐步建立起系統化的科學知識，推動科技與社會的發展。現代社會的進步與科學密不可分，因此，科學教育的提升與創新顯得尤為重要。科學教育的核心目標在於培養國民的科學素養，使其能運用科學思維解決日常問題，並積極參與相關議題的討論與決策。這一理念也體現在 108 課綱的設計中：課程規劃強調培養學生的核心素養，使其成為終身學習者。透過探究與實作，學生得以培養發掘問題、分析問題、解決問題的能力，進而發展出系統性的思考模式（教育部，2018）。簡而言之，素養導向的自然科學教育目標，是讓學生能夠像科學家般思考，對周遭事物保持好奇心，並具備以科學方法解決問題的能力。

在科學探究的過程中，學生應扮演主動探索的角色，而教師則需從傳統的知識傳授者轉變為學習的引導者。Palincsar 等(2002)指出，科學探究的第一步在於透過外在刺激喚起學生的學習興趣，並進一步引導其利用既有知識與經驗，設計解決方案，透過實作驗證結果並分享心得。若結果與預期不符，則需重新調整並進入新一輪的探究循環。另一方面，Kempa 和 Diaz(1990)認為，開放式探究教學能有效提升不同學生的學習成就，因此，教師不應拘泥於課本上的標準化實驗，而應運用創意設計有趣的活動與遊戲，使學生感受到科學探究的樂趣，進而提升學習動機與成效。簡言之，探究式學習的關鍵在於透過精心設計的情境或活動，激發學生的學習興趣，使其主動投入科學探究過程。而這正是 5E 探究學習環中「參與」(Engagement) 階段最為重要的目標 (Bybee et al., 2006)。

要設計兼具吸引力與探究價值的學習活動，「科學魔術」是一個極具潛力的選項。劉謙曾指出，魔術的魅力在於喚起人們如嬰兒般的好奇心，當觀眾對現象感到困惑時，便自然引發探索動機 (馬岳琳，2010)。不同於僅靠手法與道具創造錯覺的一般魔術，科學魔術根植於科學原理，透過展現違反直覺卻可驗證的現象，讓人驚奇之餘也促進思考。正因這些概念尚未普及，觀者才會產生「魔術」般的錯覺，實則其背後皆可由物理、化學等科學知識解釋。愛因斯坦曾言：「神秘，是一切藝術與科學的起源。」從神秘現象出發，透過觀察與驗證建立理解，正是科學探究的歷程。因此，科學魔術不僅能激發學生興趣，更可作為課程設計的引導工具，帶領學生在好奇中學習，於驚奇中思考。

基於這樣的理念，張峻翊等 (2024) 開發了名為「憑空出現」的物理魔術教具。該教具利用 Lubor's Lens 搭配雷射切割的機構，透過 Lubor's Lens 製成的遮罩，使其後方的物體變得模糊，從而產生物體消失的錯覺。由於 Lubor's Lens 由許多半圓柱透鏡組成，該教具不僅有機會激發學生的學習興趣，更具有教學上潛在的價值，能夠引導學生探究光的折射、透鏡成像，以及實像與虛像等光學概念。本研究進一步將物理魔術教具「憑空出現」融入探究式教學，結合 5E 探究學習環的概念與精神，藉以分析其對國中生學習成效的影

響。我們採用準實驗研究方法，比較實驗組（結合物理魔術之 5E 探究教學）與對照組（採用傳統食譜式的實驗教學）在學習成就、實驗態度及活動滿意度上的差異，藉此探討結合物理魔術之 5E 探究教學在科學教育中的應用價值。

貳、文獻探討

本研究旨在運用先前開發的物理魔術教具，結合 5E 探究式教學，設計適合中學生的理化教學模組，並進一步探討其對學生學習成就與實驗態度的影響。在此首先介紹探究式教學的概念，並回顧 5E 探究學習模式，以作為教學設計的理論基礎。最後介紹科學魔術與物理魔術在探究學習的重要性。

一、探究式教學

探究式教學是一種強調學生主動學習的教學方法，透過探究與發現的過程，使學生掌握知識與技能。此方法重視學生在學習中的積極參與，鼓勵他們自主思考並解決問題。研究顯示，實施探究式科學教學能顯著提升學生的學習成效、認知發展，以及對科學知識的整體理解，其效果優於傳統以記憶為主的知識傳授方式（Gibson & Chase, 2002；Hodson, 1990）。

美國國家研究委員會（National Research Council, NRC）早在 1996 年便強調科學素養與科學探究的核心地位，主張科學學習應以探究為導向（NRC, 1996）。NRC 指出，科學探究不僅是科學家研究自然界的方法，透過實驗證據來解釋現象，也是學生在學習過程中發展科學知識與技能的方式。探究涵蓋多種面向，包括觀察、問題定義、驗證資訊來源、系統性探索、運用工具蒐集與分析數據，並進一步解釋與評估結果。NRC(2000)後續進一步說明探究式教學應包含以下關鍵要素：學生能夠提出或討論科學探究中的問題、學生能夠透過實驗蒐集並提供證據、學生能夠透過數據分析，形成解釋來回答問題、學生能夠評估自己與同儕的解釋，以及學生能夠透過溝通表達並說明自己的科學解釋。因此，探究式教學不僅能夠提升學生的科學素養，更能幫助他們發展批判思考與問題解決能力，使其能夠以科學的方式探索世界。

相較於國際上對探究式教學的重視，台灣在這方面的發展相對較晚。劉宏文與張惠博（2001）指出，台灣的科學教材仍受邏輯實證主義的知識觀點影響，使得學校中的科學實驗活動普遍採用「食譜式實驗」的方式進行，過度強調學科知識的驗證，而與日常生活情境缺乏連結。此外，學生依照既定步驟操作的模式，未能反映科學發現的實際過程，限制了科學探究的多元性與深度。為因應此問題，108 課綱的自然科學教育以核心素養為課程發展的核心，期望引導學生對生活中的科學現象產生興趣與好奇，並透過觀察、探究與實作，培養他們發掘問題、分析歸納與解決問題的能力（教育部，2018）。這樣的轉變不僅

強化了科學學習與生活經驗的連結，也讓學生能夠在實際應用中深化對科學概念的理解，進而培養具備科學素養的終身學習者。

二、5E 探究學習環

如何有效設計自然科學的探究教學？陳美蓮（2021）指出，可運用 5E 探究學習環 等策略，透過階段性的引導，幫助學生循序漸進地掌握科學概念。5E 探究學習環是一種經過多年發展且廣泛應用於探究式教學的方法（Bybee et al., 2006），其核心目標在於提升學生的學習深度，同時培養解決問題與創造性思維的能力。該模式涵蓋參與（Engagement）、探索（Exploration）、解釋（Explanation）、精緻化（Elaboration）、評量（Evaluation）等五個階段，並依循以下方式進行：

- （一）參與（Engagement）：作為教學的開端，此階段透過精心設計的情境或活動，引起學生的注意並激發學習動機，進而引導他們進入探究過程。教師可設計與學習主題相關的互動體驗，提升學生的學習興趣，使其樂於進一步探索。本研究運用新開發的物理魔術道具進行演示，以激發學生的好奇心與探究意願。
- （二）探索（Exploration）：此階段教師設計探究任務，引導學生透過實際操作與觀察來探索科學現象。學生在過程中透過實驗操作、使用科學工具進行測量、收集並記錄數據。教師則可適時提出問題，引導學生思考，培養科學探究精神。
- （三）解釋（Explanation）：此階段著重於學生的思考、分析與解釋能力。學生需運用自身的先備知識與實驗數據，針對先前探究過程中觀察到的現象進行推理與闡述。其核心包含數據分析、假說建構與驗證、結論歸納，以及透過討論與交流來表達與分享學習成果。
- （四）精緻化（Elaboration）：此階段旨在幫助學生深化理解，將所學知識應用於新情境，並延伸至實際生活或其他學科領域。透過實際應用與跨領域連結，學生能夠鞏固學習成果，並發展更完整的科學概念。
- （五）評量（Evaluation）：此階段聚焦於學生的反思與評估，讓學生回顧自己的學習歷程與成果，並透過同儕或教師的回饋進行自我調整。教師則能藉由評量結果，適時調整教學策略，以提升教學成效並優化未來的學習活動。

三、科學魔術與物理魔術

魔術是一種以娛樂為目的的表演藝術，透過戲法、錯覺與心理學技巧，營造出超乎現實的視覺效果，以吸引觀眾並帶來驚喜與樂趣。魔術師運用各種道具，如撲克牌、硬幣、手套或箱子等，創造出違背常理的假象。然而，魔術的核心在於精心設計的手法與機關，而非真正違反物理規律，因此魔術師極為重視保持其技巧的神秘性，並遵循薩斯頓原則，

例如「相同的魔術不對同一觀眾重複表演」及「不對外揭露魔術的秘密」(劉謙, 2005)。

與傳統魔術不同,科學魔術融合科學原理與娛樂元素,運用物理、化學或數學知識來呈現神奇的視覺效果。其核心目標不僅是娛樂,更希望引發觀眾對科學的興趣,使其主動探索背後的科學概念。因此,科學魔術不僅不忌諱被破解,反而會搭配講解,透過分析與拆解魔術現象,幫助觀眾理解相關科學原理,培養科學探究精神與邏輯思維能力。下表簡單歸納出一般魔術與科學魔術的異同(許良榮等, 2012)。

表 1：一般魔術與科學魔術的比較

項目	一般魔術	科學魔術
障眼的手法或戲法	使用	鮮少使用,以科學現象為主
表演目的	商業或娛樂活動	教學、科學推廣
訴求效果	引起觀眾驚奇	引起觀眾好奇心、學習興趣
最終結果	疑惑、懸而未決	觀眾了解科學原理

物理魔術是科學魔術的一個分支,專指運用「物理原理」來設計和呈現各種令人驚奇的視覺效果。相較於基於其它科學的魔術,物理魔術具備操作簡單、準備方便、安全性高、現象多樣且吸引力強的特點。早在 1982 年,Ellenstein 便發表題為 *Magic and Physics* 的文章(Ellenstein, 1982),開啟了物理與魔術結合的研究方向。此後這一領域逐漸受到關注,並衍生出許多相關研究與應用。迄今國外仍有學者與教育工作者持續探索物理魔術的可能性,甚至有越來越多的物理演示實驗因其驚奇與趣味性,而直接被稱為「魔術」(Featonby, 2010)。

參、研究方法

一、研究樣本

本研究以某市立中學九年級學生為研究對象,採便利取樣方式選取兩個班級,共 50 名學生,其中實驗組 26 人,對照組 24 人。這兩個班級皆為常態編班,學生的理化學習成就與學習動機相近,以確保研究的可比性。實驗組採用融入物理魔術教具「憑空出現」的 5E 探究式教學,透過魔術演示引發學生的學習興趣,進而進行探究活動(詳如「三、研究工具」所示)。對照組則採用傳統「食譜式」的實驗教學,即移除物理魔術的演示與探究活動,改由學生按照固定步驟進行標準實驗操作。為確保學習公平性,在量化與質性數據蒐集完成後,對照組學生亦將接受物理魔術教具的探究活動。

二、研究設計

本研究採準實驗設計，詳見表二。為提升研究的信效度，研究團隊在教學活動開始前兩週，未預先告知學生的情況下，對實驗組與對照組進行成就測驗前測。教學活動結束後，則立即進行成就測驗後測與科學參與態度量表的施測。其中科學參與態度量表包含「實驗態度」與「活動滿意度」兩個核心構面。

本研究分為三個層面進行分析，依序如下：第一，檢視各組成就測驗前後測的差異，以評估教學方法對學生學習成效的影響；第二，比較兩組之間在成就測驗表現上的差異，以判斷不同教學方法之成效優劣；第三，探討兩組學生在實驗態度與活動滿意度上的差異，藉以分析教學方式對學生情意層面的影響。

在第一部分，將成就測驗的施測時點作為自變項，分別為前測與後測，並以其差值作為依變項，對各組差值進行成對樣本 *t* 檢定，以評估各組教學介入前後的成效。第二部分的自變項為教學方法，包括融入物理魔術教具「憑空出現」的探究式教學與傳統的「食譜式」實驗教學，依變項為成就測驗後測成績。分析上採用共變數分析 (ANCOVA)，並將前測分數納入共變項，以控制學生原始能力差異對結果的影響。第三部分同樣以教學方法為自變項，依變項為實驗態度與活動滿意度。分析方式採用獨立樣本 *t* 檢定，比較不同教學方法下學生在情意層面表現的差異。

表 2：準實驗研究設計

組別	前測	實驗處理	後測
對照組	成就測驗前測	傳統「食譜式」的實驗教學	成就測驗後測 實驗態度
實驗組		結合物理魔術「憑空出現」之 5E 探究教學	活動滿意度

三、研究工具

(一) 成就測驗

成就測驗試題乃由研究者根據探究活動的科學主題設計，並與研究對象學校的合作教師討論後修正，以確保內容效度。由於物理魔術教具「憑空出現」的核心概念涉及透鏡成像，實驗組與對照組皆安排透鏡成像實驗，因此成就測驗的題目涵蓋光的折射、透鏡成像，以及實像與虛像等光學概念。測驗題型為四選一的選擇題，共十題，每題十分，詳見附錄一。

為檢驗成就測驗的鑑別度，本研究對其進行了項目分析。首先，依據測驗總分將受試者分為高低分組（前 27%與後 27%），接著以 t 檢定分析兩組在各試題上的差異（吳明隆，2011）。分析結果如附錄二所示，第八題的 t 值未達顯著水準，顯示其鑑別度不足，因此需刪除；其餘試題的 t 值皆達顯著水準，具備良好的鑑別度，無需刪除。

為檢驗試題的內部一致性與穩定性，本研究對成就測驗進行信度分析，分析結果彙整於附錄三。結果顯示成就測驗的 Cronbach's $\alpha = .69$ ，幾近合乎普遍認知良好信度的標準（.70）。該係數也高於 Fogarty, G. J. (1999)所提及之非專業開發測驗的可接受下限（.60），顯示本研究採用試題之間具有一定程度的一致性，雖未達理想水準，仍具備一定的信度基礎。

(二) 科學參與態度量表

本研究的「科學參與態度」量表是根據楊悠娟（2019）所編製的版本加以修改，僅在題目敘述上進行適度調整，以符合本研究的目的。該量表涵蓋兩個核心構面：「實驗態度」與「活動滿意度」。「實驗態度」評估學生在實驗過程中的興趣啟發與難易感受，而「活動滿意度」則衡量學生對實驗體驗的整體滿意程度。量表採用 Likert 五點量表，從 1「非常不同意」到 5「非常同意」，讓受試者根據自身感受進行評分。科學參與態度量表的題項包含「實驗態度」：1.我覺得這個活動的實驗很有趣。2.我覺得這個活動的實驗很容易。3.我了解這個活動實驗的原理。4.我可以操作這個活動的實驗。5.我覺得這個活動使我更了解光學現象。以及「活動滿意度」：1.我覺得這個活動安排的內容很充實。2.我覺得這個活動的講解很清楚。3.我覺得這個活動的實驗器材很適當。4.我覺得這個活動安排的時間剛剛好。5.我想向別人推薦這個活動。

本研究分別對量表的兩個核心構面進行項目分析，分析結果如附錄四。兩個核心構面的題項皆達顯著水準，具備良好鑑別度，無刪題需要。本研究亦根據科學參與態度量表的兩個核心構面各自進行信度分析，結果如附錄五所示。由表可知「實驗態度」的 Cronbach's α 值 = .89；「活動滿意度」的 α 值 = .90，代表兩核心構面之 Cronbach's α 值皆達良好信度的標準（.70），亦即修改後的量表仍具備優良的內部一致性和穩定性。

為了更全面掌握學生對教學實驗的回饋，除了量表中預先設計的十道封閉式題目外，另增設一道開放式問題，供學生自由表達對實驗的建議或感受。

(三) 「憑空出現」魔術教具

本研究使用張峻翊等(2024)開發的「憑空出現」魔術教具。該教具運用 Lubor's Lens 製成的遮罩，使位在其背後物體的成像縮小而產生消失的視覺效果，故移開遮罩後即有物體憑空出現的效果，如圖 1(a)與 1(b)所示。輕觸 Lubor's Lens 表面可以發現，Lubor's Lens 由許多長條狀的圓柱凸透鏡所組成。若將 Lubor's Lens 置於方格紙上方，且其上的長條狀圓柱透鏡的軸向為垂直方向，則拉遠 Lubor's Lens 可以觀察到方格紙上的垂直線條逐漸縮小，最後只看見水平線條，如圖 1(c)。這是因為當 Lubor's Lens 距離物體遠大於圓柱透鏡的 2 倍焦距時，垂直線條的成像將縮小到肉眼無法觀察，因此產生了「消失」的錯覺。圖 1(d)展示了一般圓柱透鏡的成像結果，成功重現了 Lubor's Lens 使線條消失的現象。由於 Lubor's Lens 的原理實為「透鏡成像」，因此可與相關的學科主題相結合，作為探究式教學的教具。

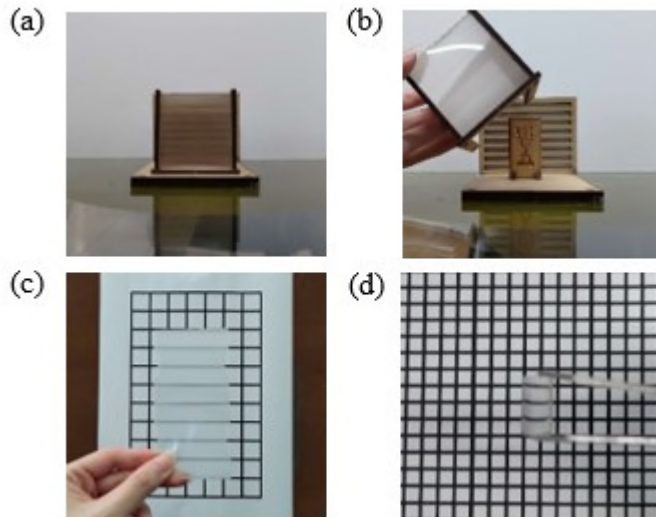


圖 1：(a) 物體被 Lubor's Lens 製成的遮罩遮蔽後，展現消失的視覺效果（但仍可看到背景板）。(b) 移開遮罩後，產生物體憑空出現的效果。(c) 與 Lubor's Lens 上的圓柱透鏡軸向平行的線條消失不見。(d) 透過一般的圓柱透鏡重現 Lubor's Lens 使線條消失的現象。

結合物理魔術教具「憑空出現」的 5E 探究教學（實驗組）包含「神奇的憑空出現魔術」、「透鏡成像實驗」、「圓柱透鏡成像」，以及「成就測驗」等 4 個教學活動，時間共計 135 分鐘（3 節課）。具體的活動內容、對應的探究策略，以及所使用的教學資源如表 3 所示。該探究教學活動融入了多項科學內涵的要素。例如「使用魔術教具引起學生興趣、激

發思考其原理與應用」涉及科學創意與模型構建能力，對應科學內涵的「創造性與想像力」面相；「學生透過整合理論（透鏡成像原理）來解釋魔術現象」則對應「科學是可解釋的」面相。而探究過程更對應了「科學知識是可修正的」、「以證據為基礎」、「理論與實驗的交互」等多個科學內涵面向。採用傳統「食譜式」的實驗教學（對照組）僅保留上述的「透鏡成像實驗」與「成就測驗」，並將實驗改成照固定步驟進行標準實驗操作，不進行探究式的引導。然而量化與質性數據蒐集完成後，對照組將回頭進行物理魔術教具的探究活動，以確保公平性。

表 3：結合物理魔術教具「憑空出現」的 5E 探究教學活動

活動名稱	活動內容	策略	時間 (分)	教學資源
1. 神奇的憑空出現魔術	1. 教師利用「憑空出現」教具進行演示。 2. 組裝「憑空出現」魔術教具。教師引導學生觀察 Lubor's Lens，透過 Lubor's Lens 檢視方格紙的成像，並完成學習單。	參與、 探索	45	憑空出現 物理魔術 教具、觀察 用方格紙
2. 透鏡成像實驗	1. 引導學生回顧與透鏡相關之物理量，如焦點、焦距、物距、像距、實像，與虛像。 2. 引導學生完成凸透鏡的成像實驗，探索不同物距下的成像結果，並完成學習單。	探索	45	透鏡實驗組
3. 圓柱透鏡成像	1. 引導學生了解 Lubor's Lens 由多組平行圓柱透鏡構成，並透過圓柱透鏡檢視方格紙的成像結果。 2. 基於透鏡成像實驗與圓柱透鏡成像的結果，探究「憑空出現」的原理。 3. 引導學生思考 Lubor's Lens 的應用，並完成學習單。	解釋、 精緻化	25	圓柱透鏡、 觀察用方 格紙
4. 成就測驗	學生填寫成就測驗與科學參與態度量表。	評鑑	20	成就測驗、 科學參與 態度量表

肆、結果與討論

一、各組成就測驗前後測之差異

如表 4 所示，實驗組與對照組在成就測驗後測中的平均得分均高於前測。為進一步檢驗兩組教學介入前後的成效，分別進行成對樣本 t 檢定。分析結果顯示，兩組學生的前後測差異皆達統計顯著水準 ($p < .05$)，顯示無論採用何種教學策略，皆能有效提升學生的學習成效。

表 4：兩組成就測驗之敘述統計與前後測差異之成對樣本 t 檢定

組別 變項	實驗組				對照組			
	樣本 大小	平均數	標準差	t	樣本 大小	平均數	標準差	t
前測	26	42.69	24.09		24	36.67	23.71	
後測	26	56.15	21.74		24	50.42	21.96	
前後測差值	26	13.46	24.32	2.82*	24	13.75	13.45	5.01*

註：前後測差值 = 後測成績 - 前測成績

* $p < .05$

二、兩組間成就測驗之差異

本研究採用共變數分析 (ANCOVA) 檢驗兩組在成就測驗後測之差異，藉由控制共變項 (即前測成績) 對依變項 (後測成績) 的影響，以排除因前測表現差異所造成的干擾，確保組間比較的效度。在進行共變數分析前，需先確認共變項與自變項間的獨立性，並檢驗兩組是否符合迴歸斜率同質性假設。以下針對相關檢驗結果進行說明。

進行共變數分析前，需確認共變項與自變項之間相互獨立，以避免共變項對自變項產生混淆效應。本研究針對實驗組與對照組 (自變項) 的成就測驗前測成績 (共變項) 進行獨立樣本 t 檢定，結果顯示 t 值 = 0.89 ($p = .378$)，即兩組在前測表現上並無顯著差異 ($p > .05$)。此結果說明，共變項與自變項間符合獨立性假設，亦即兩組學生在透鏡成像的先備知識水準相當。

共變數分析的核心在於透過共變項 (前測) 對依變項 (後測) 進行統計調整，而該分析的前提之一，是各組別的迴歸線須具有相同斜率，即需滿足迴歸斜率同質性假設。為此，本研究進行了斜率同質性檢定，分析結果表示 F 值 = 3.32 ($p = .075$)，檢定未達統計顯著水準 ($p > .05$)，無法拒絕虛無假設，兩組間的迴歸係數並無顯著差異。此結果支持後續進行共變數分析的基本假設已獲滿足。

本研究以成就測驗前測為共變項，進行共變數分析，以探討不同教學組別在成就測驗後測上的差異。分析結果顯示，組間變異未達統計顯著水準 ($p > .05$)，表示在控制前測影響後，實驗組與對照組之後測調整平均數並無顯著差異（實驗組後測調整後的平均數為 54.50；對照組後測調整後的平均數為 52.21）。亦即，結合物理魔術教具「憑空出現」之 5E 探究教學與傳統「食譜式」實驗教學在學生學習成效上並無明顯優劣之分。詳如表 5 所示。

表 5：兩組之成就測驗共變數分析

變異來源	平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性
共變數	8984.21	1	8984.21	30.32	<.001
組間	64.36	1	64.36	0.22	.643
組內	13927.01	47	296.32		
全體	23322.00	49			

三、兩組間實驗態度與活動滿意度之差異

表 6 呈現科學參與態度量表之敘述統計結果，顯示實驗組在實驗態度與活動滿意度兩項指標上，平均得分皆明顯高於對照組，即結合物理魔術教具「憑空出現」之 5E 探究教學更能有效提升學生的實驗參與感與學習滿意度。

進一步以獨立樣本 t 檢定檢視兩組在實驗態度與活動滿意度上的差異，結果如表 6 所示，兩者均達高度顯著水準（實驗態度 $p < .001$ ；活動滿意度 $p < .001$ ），顯示不同教學方法在情意層面上具有顯著差異。

表 6：兩組參與度之敘述統計與獨立樣本 t 檢定

構念	組別	樣本大小	平均值	標準差	Levene 檢定 (F)	獨立樣本 t 檢定 (t)
實驗態度	實驗組	26	4.49	0.54	0.38	5.75**
	對照組	24	3.53	0.65		
活動滿意度	實驗組	26	4.85	0.30	12.47**	9.59**
	對照組	24	3.65	0.54		

* $p < .05$

** $p < .001$

四、討論

本研究結果顯示，無論採用何種教學方式，皆能有效提升學生的成就測驗表現，顯示兩者在促進學習成效方面均具正向效果。此外，在成就測驗前後測的敘述統計可以發現，實驗組於前後測差值上的標準差大於對照組（詳見表 4）。進一步檢核資料後，我們發現實驗組有 4 位學生其前後測差值（進步幅度）遠大於組內同學，而對照組學生前後測差值則較為一致，因而導致此現象。若進一步比較整體成就表現的差異，結果發現結合物理魔術教具「憑空出現」之 5E 探究教學與傳統「食譜式」實驗教學間並無顯著差異。誠如李松濤等（2010）在其研究提到：探究式教學對科學思維能力的提升並非一蹴可幾，而是緩慢而漸進的。在經過一學年不間斷的施行後，方能證明探究式教學比傳統教學更能促進學童科學論證能力的發展。而 Derting 與 Ebert-May(2010)亦發現，雖然短期內(大一與大二)的學習成效差異並不明顯，但接受探究式教學的學生，在畢業時相較於傳統講授式教學的學生，對生物學展現出更深刻的理解，並在標準化測驗中取得更佳表現。因此本研究的教學介入時程甚短，短期內難以看出兩種教學方法在學習成效上的差異。

另一方面，結合物理魔術教具「憑空出現」之 5E 探究教學在實驗態度與活動滿意度上的結果明顯優於傳統教學。此結果指出，結合物理魔術教具與引導式探究策略，能營造更具趣味與參與感的學習情境，有助於提升學生的學習興趣與積極投入。學生在此教學模式下，展現出較高的參與意願與整體滿意度，顯示結合物理魔術的探究教學在促進情意面向的學習成效上具有顯著優勢。此結果與許良榮等（2012）的結果一致。儘管如此，由於本研究設計遵循 Andrà, C., Brunetto, D., & Pini, A.(2021)等人的實證研究，希望透過匿名蒐集資料的方式獲取更為有效的填答與真實感受。所以本研究無法透過共變項對科學參與態度後測成績進行調整，以彌平成就測驗前測成績所帶來的差異。因此上述結果仍應保守看待，未來可透過相關研究進一步釐清。

為更深入了解學生對教學活動的主觀回饋，本研究在參與度量表中除設計十題封閉式題項外，另增設一開放式問題，邀請學生針對實驗活動提出建議或分享感受。回收後的文字資料經統整後，以文字雲方式呈現，如圖 2 與圖 3 所示。從圖中可觀察到，實驗組學生最常出現的字詞包括「有趣」、「實驗」、「了解」、「好玩」。其中「有趣」與「好玩」合計出現 21 次，反應實驗組學生對活動的高度興趣與正面感受。以下摘錄部分學生的答題內容，編碼以 E 開頭代表實驗組的學生。

本研究亦指出無論採用結合物理魔術教具「憑空出現」之 5E 探究教學或傳統「食譜式」教學，都能提升學生成就測驗表現，但兩者之間並無顯著差異。此結果與教學介入時間較短有關，學習成效的累積需更長期觀察。綜合以上結果，未來將可進一步探討學習興趣與積極性的提升，是否能夠帶動長期學習成就的增長。

致謝

本研究成果承蒙國家科學及技術委員會專題研究計畫補助，計畫編號為 NSTC 112-2410-H-035 -010 -MY2，特此致謝。

參考文獻

- 李松濤、林煥祥、洪振方（2010）。探究式教學對學童科學論證能力影響之探究。*科學教育學刊*，**18**(3)，177-203。https://doi.org/10.6173/CJSE.2010.1803.01
- 吳明隆（2011）。SPSS 統計應用學習實務：問卷分析與應用統計。易習圖書。
- 許良榮、王家美、許瑋玲（2012）。科學魔術之發展與推廣。*科學教育月刊*，**346**，2-11。https://doi.org/10.6216/SEM.201203_(346).0001
- 教育部（2018）。十二年國民基本教育課程綱要：自然科領域。教育部。https://edu.law.moe.gov.tw/Download.ashx?FileID=31187&id=GL001823&type=LAW
- 馬岳琳（2010）。魔術師劉謙：魔術與科學都從神秘開始。*天下雜誌*，**460**。
- 陳美蓮（2021）。高中自然科學探究與實作課程之設計與實踐。*中等教育*，**72**(4)，93-106。https://doi.org/10.6249/SE.202112_72(4).0031
- 張峻翊、蔡和均、陳興誠、黃琮閔、洪耀正（2024）。物理魔術教具「憑空出現」的開發與教案設計。*物理教育學刊*，**25**(1)，1-11。https://doi.org/10.6212/CPE.202407_25(1).0001
- 楊悠娟（2019）。科學探究闖關實作融入大學通識課程設計之行動研究。*崑山科技大學人文暨社會科學學報*，**7**，149-162。
- 趙宥寧（2024）。2023 TIMSS 調查出爐：台灣學生科學、數學成績全球前三，學習興趣、自信卻持續低落。翻轉教育。https://flipedu.parenting.com.tw/article/009725
- 劉宏文、張惠博（2001）。高中學生進行開放式探究活動之個案研究－問題的形成與解決。*科學教育學刊*，**9**(2)，169-196。https://doi.org/10.6173/CJSE.200106_9(2).0004
- 劉謙（2005）。啊！敗給魔術。高寶出版社。
- Andrà, C., Brunetto, D., & Pini, A. (2020). Commentary on anonymous versus non-anonymous surveys. In C. Andrà, D. Brunetto, & F. Martignone (Eds.), *Theorizing and measuring affect in mathematics teaching and learning* (pp. 223–227). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50526-4_23
- Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J. C., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness*. BSCS.
- Derting, T. L., & Ebert-May, D. (2010). Learner-centered inquiry in undergraduate biology: positive relationships with long-term student achievement. *CBE life sciences education*, **9**(4), 462–472. https://doi.org/10.1187/cbe.10-02-0011
- Ellenstein, M. (1982). Magic and physics. *The Physics Teacher*, **20**(2), 104-106. https://doi.org/10.1119/1.2340960
- Featonby, D. (2010). Magic physics. *Physics Education*, **45**(1), 24-31.

- Fogarty, G. J. (1999). Principles and applications of educational and psychological testing. In J. Athanassou (Ed.), *Adult educational psychology* (pp. 375-408). Social Science Press.
- Gibson, H. L. & Chase, C. (2002). Longitudinal impact of an inquiry-based science program on middle school students' attitudes toward science. *Science education*, 86(5), 693-705. <https://doi.org/10.1002/sce.10039>
- Hodson, D. (1990). A Critical Look at Practical Work in School Science. *The School Science Review*, 71(256), 33-40. <https://eric.ed.gov/?id=EJ413966>
- Kempa, R. F., & Diaz, M. M. (1990). Motivational traits and preferences for different instructional modes in science: Part 1: Students' motivational traits. *International Journal of Science Education*, 12(2), 195-203. <https://doi.org/10.1080/0950069900120208>
- NRC (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academies Press.
- NRC (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. Washington, DC: National Academies Press.
- Palincsar, A. S., Magnusson, S. J., Cutter, J., & Vincent, M. (2002). Supporting guided-inquiry instruction. *Teaching Exceptional Children*, 34(3), 88.

投稿日期：114 年 04 月 28 日

接受日期：114 年 10 月 13 日

The Effects of 5E Inquiry-Based Instruction Integrated with Physics Magic on Learning Achievement and Attitudes Toward Science Engagement

Geng-Zhong Jiang¹, Tsung-Min Huang², and Yao-Chen Hung^{3,4*}

¹Feng Chia University, Department of Statistics

²Chiayi Junior High School

³Feng Chia University, General Education Center

⁴Feng Chia University, Department of Electrical Engineering

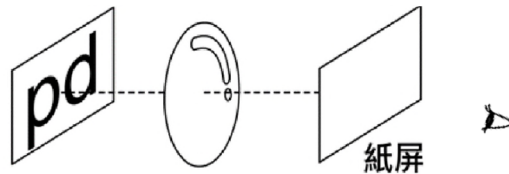
Abstract

This study integrated the use of a physics magic teaching aid, Sudden Appearance, into inquiry-based instruction, incorporating the principles of the 5E learning cycle to enhance students' interest and learning achievement. We compared the effects of 5E inquiry-based instruction integrated with physics magic and traditional "cookbook-style" laboratory instruction across three dimensions: learning achievement, experimental attitudes, and activity satisfaction. The results show that both instructional approaches effectively improved students' academic performance, with no significant difference between them in the short term. However, the 5E inquiry-based instruction integrated with physics magic significantly outperformed traditional methods in terms of experimental attitudes and activity satisfaction, suggesting its advantage in motivating students and increasing classroom engagement. This study validates the feasibility and potential of applying physics magic as an instructional tool, thereby introducing novel elements into physics education.

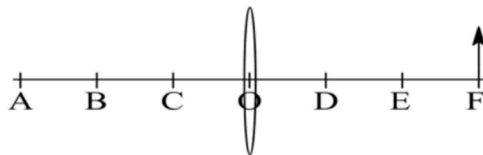
Keywords: physics magic, inquiry-based instruction, 5E learning cycle

附錄一：成就測驗試卷

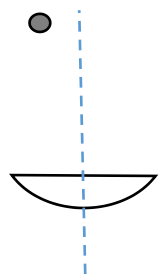
1. () 如圖，雷射光自左至右呈現英文字母 pd，放在凸透鏡的兩倍焦距外，則眼睛觀察到屏幕上所成的像為？(a) pd (b) bq (c) bp (d) qb。



2. () 承上，屏幕上所成的像為？(a) 放大實像 (b) 縮小實像 (c) 放大虛像 (d) 縮小虛像。
3. () 以凸透鏡所看到的像，與原物比較應為 (a) 放大正立 (b) 放大倒立 (c) 縮小倒立 (d) 皆有可能。
4. () 如圖，將凸透鏡置於 O 點，已知 $\overline{AB} = \overline{BC} = \overline{CO} = \overline{OD} = \overline{DE} = \overline{EF} = f$ (焦距)。將物體置於 F 點，則成像位置在哪個區域？(a) AB 區 (b) BC 區 (c) CO 區 (d) OD 區。



5. () 小小的電影底片能夠透過放映機的鏡頭呈現大螢幕的效果，因此電影放映機裡底片到鏡頭的距離應為？(a) 大於兩倍焦距 (b) 等於兩倍焦距 (c) 大於焦距且小於兩倍焦距 (d) 小於焦距。
6. () 將蠟燭置於凸透鏡前，在透鏡後的屏幕上得一實像。今將不透明紙板擋住凸透鏡的下半部，則屏幕上的成像有何變化？(a) 成像縮小 (b) 成像不完整 (c) 成像亮度減弱 (d) 無法成像。
7. () 如右圖，將竹筷放在圓柱凸透鏡後方大於兩倍焦距處，則其成像位置與性質為 (a) 偏右實像 (b) 偏右虛像 (c) 偏左實像 (d) 偏左虛像。



8. () 外公使用放大鏡（凸透鏡）看書，所看到的字為正立的且比書上的字大。你認為外公所看到的字應位在（即字的成像位置）？（a）放大鏡鏡面上 （b）放大鏡和眼睛之間 （c）書本之後 （d）皆有可能。
9. () 承上題，若外公將放大鏡逐漸靠近書本，則成像大小 （a）越來越大 （b）越來越小 （c）先變大後變小 （d）先變小後變大。
10. () 承第 8 題，若外公將放大鏡往上離開書本，則不可能出現何種現象？（a）像不見了 （b）像變大且倒立 （c）像變小且倒立 （d）像變小且維持正立。

附錄二：成就測驗之項目分析

題項	Levene 檢定	<i>F</i>	顯著性	<i>t</i>	<i>df</i>	顯著性 (雙尾)
1	採用相等變異數	0.30	.586	5.58	36	<.001
	不採用相等變異數			5.52	32.89	<.001
2	採用相等變異數	71.58	<.001	2.54	36	.016
	不採用相等變異數			2.83	20.00	.010
3	採用相等變異數	1.51	.227	5.69	36	<.001
	不採用相等變異數			5.81	35.98	<.001
4	採用相等變異數	128.84	<.001	5.68	36	<.001
	不採用相等變異數			6.33	20.00	<.001
5	採用相等變異數	773.05	<.001	3.48	36	<.001
	不採用相等變異數			3.87	20.00	<.001
6	採用相等變異數	27.49	<.001	2.49	36	.017
	不採用相等變異數			2.60	34.54	.013
7	採用相等變異數	0.48	.493	3.25	36	.003
	不採用相等變異數			3.27	35.09	.002
8	採用相等變異數	5.66	.023	1.12	36	.272
	不採用相等變異數			1.00	16.00	.332
9	採用相等變異數	9.21	.004	3.65	36	<.001
	不採用相等變異數			3.53	28.49	<.001
10	採用相等變異數	0.30	.586	5.58	36	<.001
	不採用相等變異數			5.52	32.89	<.001

附錄三：成就測驗之信度分析

Cronbach's α		.69	
題項	項目總分相關性	修正後項目總分相關性	Cronbach's α (若題項刪除)
1	.64	.48	.63
2	.44	.29	.67
3	.61	.43	.64
4	.58	.41	.65
5	.50	.33	.66
6	.42	.25	.68
7	.52	.33	.67
9	.43	.24	.68
10	.63	.47	.63

附錄四：科學參與態度量表之項目分析

一、實驗態度

題項	Levene 檢定	<i>F</i>	顯著性	<i>t</i>	<i>df</i>	顯著性 (雙尾)
1	採用相等變異數	2.38	.135	9.73	27	<.001
	不採用相等變異數			9.97	19.01	<.001
2	採用相等變異數	12.31	.002	9.77	27	<.001
	不採用相等變異數			10.06	17.29	<.001
3	採用相等變異數	9.59	.005	12.17	27	<.001
	不採用相等變異數			12.61	14.00	<.001
4	採用相等變異數	34.66	<.001	10.91	27	<.001
	不採用相等變異數			11.31	14.00	<.001
5	採用相等變異數	4.42	.045	8.29	27	<.001
	不採用相等變異數			8.53	17.29	<.001

二、活動滿意度

題項	Levene 檢定	<i>F</i>	顯著性	<i>t</i>	<i>df</i>	顯著性 (雙尾)
6	採用相等變異數	50.71	<.001	11.96	30	<.001
	不採用相等變異數			10.49	13.00	<.001
7	採用相等變異數	810.00	<.001	13.04	30	<.001
	不採用相等變異數			11.45	13.00	<.001
8	採用相等變異數	55.03	<.001	7.55	30	<.001
	不採用相等變異數			6.62	13.00	<.001
9	採用相等變異數	3.97	.055	12.55	30	<.001
	不採用相等變異數			11.02	13.00	<.001
10	採用相等變異數	40.02	<.001	13.49	30	<.001
	不採用相等變異數			11.84	13.00	<.001

附錄五：科學參與態度量表之信度分析

一、實驗態度

Cronbach's α		.89	
題項	項目總分相關性	校正後項目總分相關性	Cronbach's α (若題項刪除)
1	.84	.75	.86
2	.82	.69	.88
3	.83	.73	.86
4	.90	.85	.84
5	.79	.66	.88

二、活動滿意度

Cronbach's α		.90	
題項	項目總分相關性	校正後項目總分相關性	Cronbach's α (若題項刪除)
6	.89	.83	.87
7	.85	.77	.89
8	.82	.74	.89
9	.84	.74	.89
10	.90	.81	.88