科學教育學刊
2023, 第三十一卷第一期, 53-79
DOI:10.6173/CJSE.202303_31(1).0003

Contemporary Journal of Science Education
2023, 31(1), 53-79

聊天機器人結合擴增實境對大專院校學生科學學習自我效能、學習投入之影響：以科學模擬實驗為例

游師柔　劉懿文　孫之元*
國立陽明交通大學　教育研究所

摘要

本研究探討聊天機器人整合擴增實境提供之學習回饋，對大專院校學習者運用科學模擬實驗學習科學實驗操作之科學學習自我效能與學習投入之影響。研究參與者為89位大專院校學習者，皆無修習過氣體定律相關課程與使用聊天機器人進行學習的經驗，經由隨機分派至傳統學習組、聊天機器人組、擴增實境組、聊天機器人結合擴增實境組，四組學習者在學習前需填寫科學學習自我效能量表前測，在學習後需要填寫科學學習自我效能量表後測、學習投入量表與開放式問卷。根據詹森內曼法分析結果顯示，低科學學習自我效能學習者適合使用傳統學習、擴增實境與聊天機器人結合擴增實境提升科學學習自我效能。科學學習自我效能的高層次認知技能子構面較低的學習者使用傳統學習和擴增實境能促進高層次認知技能子構面。此外，在高層次認知技能子構面中，聊天機器人組與聊天機器人結合擴增實境組之間存在專家反轉效應。學習投入分析結果顯示擴增實境組的學習投入顯著高於聊天機器人組。本研究建議教學者於科學模擬實驗教學前可考量學習者的科學學習自我效能程度予以提供較適合的學習回饋方式。最後，擴增實境教材有助於提升學習者的學習投入。

關鍵詞：科學教育、科學學習自我效能、聊天機器人、學習投入、擴增實境

壹、研究背景

由於新型冠狀病毒肺炎(COVID-19)疫情影響，高等教育的化學教學面臨諸多挑戰，Huang (2020)經由問卷調查432位化學系大學生對疫情期間的線上化學學習觀點，87%的學習者認為無法實際進行化學實驗是線上化學教學的首要困境，其次為缺乏面對面互動和師生互動。尤其各項COVID-19防疫措施容易造成社會孤立，導致人們的壓力與焦慮情緒增加(Chiu et al., 2022)。認知焦慮會降低學習者在使用數位設備學習科學的信心，而學習信心降低會對學習成效造成負面影響(Hong et al., 2017)。Kolil等(2020)驗證學習

*通訊作者：孫之元，jerrysun@nycu.edu.tw；ORCID：0000-0002-7892-4313
投稿：2022/12/11，修訂：2023/3/9，接受：2023/3/24，線上出版：2023/5/31

者會因信心低落和焦慮導致無法在實驗室順利完成實驗，其中採用實驗自我效能探討學習者的信心程度。自我效能能促使行為改變(Bandura, 1977; Kolil et al.; Sun et al., 2016)，同時是探討科學學習投入的重要指標(Yang et al., 2021)，此外，不同的教學策略與學習情境會影響自我效能的表現，例如：運用眼動鷹架(Sun & Hsu, 2019)與非沉浸式虛擬實境(Shu et al., 2019)對提升學習者的自我效能皆有幫助。由此可見，從實體到線上化學實驗教學，教學策略與學習情境之轉變，將會影響高等教育學習者對化學學習的自我效能與學習投入。

化學概念的推理(reasoning)需要透過多層次的思考相互協調，其中多層次的思考可分為三種層次，分別是巨觀(macro level)、次微觀(sub-micro level)與符號層次(symbolic level)(Johnstone, 1991)。Talanquer (2011)指出大部分的化學教育較針對次微觀到符號層次的階段，缺少三種層次之間的互動，對學習動機和學習成效造成負面影響。此外，Talanquer針對教授化學知識的方法提出三個主要知識類別：經驗(experiences)、模型(model)與可視化(visualisations)，「經驗」的定義是指人們透過與環境互動發展出的經驗與知識，「模型」則是用抽象且不可見的化學概念解釋和描述經驗事件，「可視化」是指透過化學符號、公式、模擬方式直觀的表現出核心的組成方式。雖然學習者可以從巨觀世界中觀察化學現象獲得經驗知識，但解釋化學反應發生的原因和原理需要透過次微觀的化學概念進行描述，而描述過程中通常以符號表達科學意義或總結科學概念(Hunter et al., 2019)，顯示三種知識類別對學習者在轉換不同化學知識和實踐化學知識具有相互支持效果。邱美虹等(2013)指出學生在巨觀世界的經驗不一致，以及氣體的粒子運動之微觀層次與氣體壓力的巨觀層次的連結不易，是理想氣體概念的學習與教學需克服的議題，尤其氣體本身無法具體觀察到其中的變化，容易造成不正確的概念連結與學習迷思。

科學模擬實驗平臺為次微觀學習工具，學習者運用科學模擬實驗平臺學習化學實驗能幫助化學概念的理解，且是具有互動性的學習方式，但其中仍有訊息不足的問題，以及其對巨觀的影響需再進一步驗證(Correia et al., 2019)。在教學層面而言，學習者在進行實體實驗操作前，先運用科學模擬實驗平臺模擬實驗流程與操作方式，將有助於降低焦慮和提升自我效能(Kolil et al., 2020)。可見科學模擬實驗平臺已達到模型與可視化知識類型的傳遞，對於抽象的理想氣體教學應有助益，但尚缺乏經驗知識的設計，因此，期望透過在科學模擬實驗平臺加入巨觀層次的設計改善學習者對巨觀層次的經驗落差，故本研究選用理想氣體為教學主題，期望能透過本研究改善學習者學習抽象氣體粒子的學習動機。

擴增實境(Augmented Reality, AR)是增加學習經驗的重要工具(Garzón et al., 2019)，AR是整合現實和虛擬資訊的媒介，使用者可透過AR看到現實世界以外的視覺化虛擬補充資訊(Chang et al., 2014)，過去研究指出AR能提升身歷其境感受、促進學習成效、提升學習動機(Garzón et al.; Yu et al., 2019)與學習投入(Barmaki et al., 2019)，以及幫助抽象概念的學習與達到學習自主性(Garzón et al.)，支持自主性的教學會影響學習投入與其子構面(Chiu, 2022)。AR能呈現科學實驗的巨觀與微觀層次的畫面，在整合兩種層次的學習之下，顯著促進學習者的學習動機(Cai et al., 2014)。Akçayır等(2016)將AR應用於科學實驗室教育，發現AR能顯著提升大學生的實驗技能，

以及產生積極的學習態度。AR已被證實適合作為實驗學習的經驗獲取來源，亦為經驗知識傳遞與巨觀層次設計的呈現方式之一。

然而，學習者在解決日常化學問題調度的化學心智模型，若缺乏邏輯輔助，將可能使用到非相關的心智模型或不一致的知識片段，發生轉譯困難，造成理論與實踐的落差(Zarkadis et al., 2017)。邱美虹等(2013)指出學習者依照概念發展的脈絡學習，有助於理想氣體的學習效果。Yu等(2021)運用人工智慧(Artificial Intelligence, AI)設計智慧化回饋說明理論概念與引導學習者操作步驟，有效提升學習者的學習成效。智慧化回饋的個人化引導，對於化學實驗學習的知識連結與邏輯輔助可能具有助益。聊天機器人是一種AI結合自然語言處理(Natural Language Processing, NLP)的智慧化系統，透過預設的回應資料庫立即回答學習者提出的問題，達到擬人的互動效果，適合作為知識搜尋工具(Lalwani et al., 2018)與教學工具(Adamopoulou & Moussiades, 2020)。因此，聊天機器人預期可以替代Huang (2020)提出的線上化學實驗教學方法要素中的教師講解與回饋。Chang等(2022)比較大學生使用行動式聊天機器人和傳統教學方法的自我效能、學習投入和學習表現，研究結果顯示行動式聊天機器人能引導學習，透過即時回饋提升互動性，使學習者的自我效能、學習投入與學習表現顯著較佳。

貳、文獻回顧

一、AR

AR意旨運用定位感測或情境感測，在真實環境覆蓋上可相互參照的的虛擬資訊(Klopfer & Squire, 2008)，AR提供的實驗操作影片能幫助學習者更快速地完成實驗，並促進學習者的實驗室技能與學習動機，減少對教師的依賴，適合應用在難度較高或複雜的實驗教育(Akçayır et al., 2016)和自主學習。由於化學教育的知識類別分為經驗、模型與可視化(Talanquer, 2011)，過去研究已瞭解AR有助於三種知識類別的學習並獲得良好學習效果與促進學習動機，例如：Cai等(2021)透過實證研究發現學習者運用AR學習物理實驗，在真實操作行為中獲得視覺化即時回饋，彷彿體驗真實實驗歷程，此擬真的互動性對高層次的物理概念有顯著提升效果。Cai等(2014)也指出AR提供的具體補充資訊有效增加學習者對化學微觀概念的理解與學習動機，對於低學習成就者的幫助更為顯著。此外，在AR中採用第一人稱觀看視角，能體驗專家眼中的實驗操作歷程(游師柔等，2020)，能減少學習者面對化學實驗操作風險的不安情緒(Fung, 2015)，幫助學習者集中於操作目標(Rochlen et al., 2017)。具體且詳細的學習內容對初學者更有幫助(Cooper et al., 2001)，AR將抽象資訊具體化和視覺化特色能提供更豐富的學習內容。然而，AR應用在科學實驗探討高層次認知技能(higher-order cognitive skills)方面較缺乏(Putri et al., 2020)，以及大多數的AR應用多為教師課前安排的內容(Bower et al., 2014)，較無法依照學習狀況彈性調整，因此可能會與學習者個人學習需求產生落差，造成高層次認知技能應用之困難。AI得以在學習過程中提供即時回饋，即時改善學習者的學習行為(Yu et al., 2021)。

二、聊天機器人

Thorat與Jadhav (2020)預測未來幾乎80%的溝通會由機器人協助。聊天機器人是機器人的其中一種。聊天機器人透過AI與自然語言開發而成，根據使用者輸入的內容，經由預先定義的資料庫媒合資訊，再以模擬人類回應的方式與使用者互動，幫助使用者達

到問題解決之目的(Lalwani et al., 2018)，而資料庫的設定可以決定聊天機器人的回應靈敏度與智慧化程度，因此建構運作順暢的聊天機器人需投入許多時間與人力(Al-Zubaide & Issa, 2011)。Setlur與Tory (2022)提出聊天機器人的溝通互動設計六大原則，包含針對第一次使用者給予問候語和說明聊天機器人提供的功能與目標、必須為來回對話、確認使用者意圖以提升信任、根據使用者意圖重點式回覆與提供後續查詢、針對模糊問題給予引導，以及透過視覺化操作介面幫助使用者釐清語意。聊天機器人可分為規則式聊天機器人(rule-based chatbot)和自我學習聊天機器人(self-learning chatbot)，前者是根據開發者編寫的的配對規則與流程運作，後者是運用機器學習演算法幫助聊天機器人自學(Adamopoulou & Moussiades, 2020; Thorat & Jadhav)，分別對應弱AI (narrow AI)與強AI (general AI)應用概念(European Commission, 2019)。由於自我學習聊天機器人在學習過程容易回覆不相關的訊息，導致使用感受不佳(Thorat & Jadhav)，而弱AI的智慧化回饋能針對特定目標設計學習內容、減少學習干擾，以及偵測學習者行為提供改善行為之回饋，並提升學習成效(Yu et al., 2021)，以及促進學習動機(Chang et al., 2022)。此外，規則式聊天機器人適合教學者根據學習需求設計內容，無時無刻皆能與學習者互動，無地域與時間限制(Hew et al., 2023)，回饋的內容更為精確(Singh et al., 2019)，與自我學習聊天機器人相較，規則式聊天機器人能掌控互動內容，且不會有資料不足造成冷啟動的問題(Thorat & Jadhav)，學習內容更加符合學習目標且有脈絡可循。雖然規則式聊天機器人具有多項優勢，但仍存有回應可預測、重複性高，無法根據過去對話內容改善回應(Ramesh et al., 2017)，以及錯誤理解學習者意圖導致使用意願降低的待改進項目(Adamopoulou & Moussiades)。

在科學教育應用方面，Topal等(2021)指出聊天機器人能提升學習者的科學學習成效，學習者也有意願在線上學習時使用聊天機器人協助學習。Korsakova等(2022)比較傳統學習與聊天機器人對學習者準備化學科國家考試的學習成效，使用聊天機器人組的學習成效顯著較高。此外，Stefanidi等(2020)探討AR結合聊天機器人的教育應用，學習者在AR程式語言遊戲的學習過程接收聊天機器人輔助，AR提供主要學習內容，聊天機器人則是擔任助手角色協助問題解決與資料查詢等功能，研究結果發現學習者透過此學習策略可達到82%的任務成功率，學習者與聊天機器人的互動確實可以獲得指引與達成解決問題的目的，並從中感受到學習樂趣，建議未來的學習主題操作介面能更接近實際操作將會更擬真。然而，Moriuchi等(2021)指出AR較聊天機器人更能觸發投入度。由於將聊天機器人應用於科學教育的研究較缺乏，以及聊天機器人的學習策略之開發具有研究潛力(Hwang & Chang, 2021)，綜上所述，本研究除了探討聊天機器人在科學模擬實驗平臺的應用外，也將進一步瞭解聊天機器人搭配AR教學主題之創新學習策略，對科學學習的學習動機之影響。

三、科學學習自我效能

自我效能意旨人們認為自身的表現能夠達到指定水準之信念，影響自我效能的來源包含掌握經驗、替代經驗、社會說服、生理與情感狀態，其中掌握經驗對自我效能感知最具影響力(Bandura, 1994)。當時間壓力提高時，可促使在最佳狀態的學習者腦

力激盪，提升自我效能(洪贊凱等，2008)，自我效能也是影響學習成效(Diseth, 2011)和長期投入學習(Yang et al., 2021)的因素之一，而中低自我效能者較能透過主動學習獲得學習樂趣，投入其中(Tsai, 2019)。然而，自我效能需根據特定情境進行自我判斷(Bong & Skaalvik, 2003)，故Lin與Tsai (2013)針對科學學習開發科學學習自我效能問卷(science learning self-efficacy questionnaire)，透過多維度方式探討學習者的科學學習自我效能狀態，其中維度包含五項：概念理解(conceptual understanding)、高層次認知技能、實作(practical work)、生活應用(everyday application)與科學溝通(science communication)，此研究接著探討科學學習方法和科學學習自我效能之間的關係，研究結果顯示深度學習策略和內在動機的提升，皆正向預測科學學習自我效能，採用深度學習策略的學習者較容易對高層次認知技能有信心。Kolil等(2020)比較參與模擬實驗和真實實驗的學習者實驗自我效能之差異，研究結果顯示模擬實驗能顯著提升實驗自我效能。Cai等(2021)比較學習者使用AR和Flash動畫學習物理實驗，研究結果發現AR組的物理學習自我效能中的概念理解、高層次認知技能、實作與社交溝通(social communication)子構面皆顯著提升。Chang等(2022)則是分析聊天機器人教學和傳統講述教學進行疫苗接種課程的學習動機與學習成效差異，期望找出提升學習者的醫療決策力之學習方案，研究結果顯示聊天機器人可以提升學習者的自我效能、學習投入與學習成效，聊天機器人的即時回饋和引導可以幫助學習者釐清概念，提升信心。整合科學模擬實驗、AR和聊天機器人對科學學習的優勢，可能對科學學習自我效能程度會產生不同的影響。

四、學習投入

學習投入是指學習者主動對教育目標和學習的投入，包含學校相關課程或課外活動(Christenson et al., 2012)，學習者對學習相關任務所花費的時間也是影響學習投入程度的因素之一(Kuh, 2003)。當學習者投入學習，有助於提升學習動機與學習成效(Sinatra et al., 2015)。Fredricks等(2005)將學習投入細分為行為投入、認知投入與情緒投入子構面，深入探討不同層面的學習投入狀態。Chiu (2022)研究發現學習者的線上學習的勝任感、自主性與關係感越高，學習者的學習投入也越佳，並建議在線上學習中，教師可以採用多元方式提供更全面的學習資源和開發多媒體、有趣的教材。過去在科學學習情境中，學習者達到完全學習投入的比例僅11%，進一步分析不同科學學習學習活動的學習投入比例，其中學習者對科學實驗的學習投入偏低的比例最高(Schmidt et al., 2018)，因此，如何促進學習者在科學實驗的學習投入將是重要議題。根據過去操作技能方面的相關研究，Yip等(2019)使用AR進行針織操作技巧教學，經數據分析結果，與傳統紙本教學相較，學習者透過AR教學能提升學習興趣、學習投入、概念理解和學習成效，且更容易學習複雜的概念，顯見AR教學對實作技巧學習的優勢。此外，若在科學實驗情境中，給予學習者選擇權較能達到完全的學習投入(Schmidt et al.)。學習者與聊天機器人之間自由選擇問答內容獲取相關知識(Lalwani et al., 2018)的模式可增加自主選擇權。當聊天機器人用於提供學習歷程的教學回饋(Smutny & Schreiberova, 2020)，其中豐富的知識與友善的互動、運用多媒體能加深印象，學習者對學習歷程感到滿意，因此整體投入度佳，對行為改變也有幫助(Pithpornchaiyakul et al.,

2022)。若以AR增加多媒體與實驗室情境的關聯性，再加上聊天機器人的自主查詢的互動功能，或許能提升科學實驗學習的學習投入程度。

五、氣體學習與科學模擬實驗平臺

粒子理論是學習難度較高的理論之一(Johnson & Papageorgiou, 2010)，鍾曉蘭(2020)在教育部化學學科中心出版之教學資源彙整理想氣體粒子之定義為：

> 氣體粒子是隨機運動的，理想氣體粒子之間是無吸引力，理想氣體粒子是剛性粒子、粒子之間的碰撞為彈性碰撞、其體積與容器體積相比是可以忽略不計的。(頁7)

學習者可透過壓力、體積和溫度認識理想氣體的巨觀層次，但粒子的動能、速率的微觀層次(鍾曉蘭，2020)，無法透過直接觀察獲得具體經驗，大多經由假設和想像認識氣體粒子，容易造成學習偏誤，例如：使用不正確的巨觀現象解釋氣體粒子、誤將巨觀現象的物質性質類推到氣體粒子的性質，以及使用非相關的外在因素解釋氣體粒子性質(邱美虹等，2013)。針對以上學習偏誤，邱美虹等建議透過巨觀現象教材引導學習者依據概念建構歷程逐步學習，逐漸導向氣體粒子微觀概念。鍾曉蘭與邱美虹(2012)則建議利用多重表徵的教學工具能幫助學習者建立科學概念心像，而教材可針對二度或三度空間的動態視覺化微觀粒子為發展方向。根據Correia等(2019)研究發現，科學模擬實驗平臺模擬的氣體行為有助於學習者習得微觀氣體概念，因其簡化操作程序、結合即時回饋與可視化特徵，學習者得以更聚焦於自己的操作與比對結果，並即時修正，但仍有缺乏指導和較費時探索的改善空間。此外，科學模擬實驗平臺可以幫助學習者獲得實驗技能與知識，動畫與影片可加強學習投入，進而提升學習成效，對於從真實實驗室轉換至遠距課程是良好的學習工具(Goudsouzian et al., 2018)。針對科學模擬實驗平臺與氣體學習之難點，規則式聊天機器人能透過教師設定學習概念順序和關鍵字查詢功能，在線上學習情境改善科學模擬實驗平臺缺乏引導和費時的疑慮，而AR則可以具體呈現實驗操作流程，輔助學習者觀察視覺化的粒子微觀概念。

本研究為了改善線上化學實驗學習缺乏實際經驗與互動的困境(Huang, 2020)，根據文獻回顧，科學模擬實驗平臺為解決互動性和促進氣體粒子微觀概念學習效果的良好方案，然而，學習者認為科學模擬實驗仍需要學習引導與提升學習效率(Correia et al., 2019)，也指出氣體粒子的學習需依循概念脈絡逐步建構(邱美虹等，2013)，本研究導入規則式聊天機器人作為引導策略(Hew et al., 2023)與更精準的搜尋工具(Singh et al., 2019)，預計能提供結構式的學習脈絡與提升效率，此外，科學模擬實驗平臺針對氣體概念學習所缺乏的巨觀層次概念仍需補強，故本研究將AR的視覺化與具體化特色融入學習活動(Cai et al., 2021)，試圖開發以科學模擬實驗平臺為基礎的次微觀與巨觀的整合應用模式，並進一步探討聊天機器人結合AR的應用效果。過去研究指出AR與聊天機器人應用於教學對於自我效能與學習投入皆有正向影響，且自我效能與學習投入為提升學習成效之前提，但兩者對科學實驗技能與整合兩者優勢應用於科學教育議題對自我效能與學習投入之效果尚需釐清。此外，雖然高中階段已有理想氣體相關課程的規劃，但大學階段部分課程為理想氣體的延伸應用，例如：熱力學與氣體動力學等，基礎知識的穩固將十

分重要，探討科學模擬實驗平臺結合AR與聊天機器人的應用，能幫助大專院校學生複習基礎知識與自主學習。綜上所述，本研究目的是探討大專院校學習者使用科學模擬實驗平臺時，透過傳統學習、聊天機器人、AR和聊天機器人結合AR的不同回饋方式對科學學習自我效能(概念理解、高層次認知技能、實作、生活應用、科學溝通)與學習投入之影響。圖1為研究架構圖，以下為研究問題：

研究問題一：大專院校學習者在使用科學模擬實驗平臺學習實驗操作過程，採用傳統學習、聊天機器人、AR和聊天機器人結合AR回饋對科學學習自我效能(概念理解、高層次認知技能、實作、生活應用、科學溝通)的影響為何？

研究問題二：大專院校學習者在使用科學模擬實驗平臺學習實驗操作過程，採用傳統學習、聊天機器人、AR和聊天機器人結合AR回饋對學習投入的影響為何？

參、研究方法

一、研究對象

本研究採便利取樣與真實驗研究法，以89位年滿20歲之大專院校學生為研究對象，受試者皆無修習過氣體定律相關課程與使用聊天機器人進行學習的經驗，隨機分為控制組(傳統學習組) 18位，男性8位(44.44%)，女性10位(55.56%)、實驗組一(聊天機器人組) 22位，男性14位(63.64%)，女性8位(36.36%)、實驗組二(AR組) 22位，男性6位(27.27%)，女性16位(72.73%)與實驗組三(聊天機器人結合AR組) 27位，男性16位(59.26%)，女性11位(40.74%)，平均年齡為23.70 (*SD* = 3.05)。人文社會學院34 (38.20%)人、資電學院17 (19.10%)人、管理學院9 (10.11%)人、工學院12 (13.48%)人、理學院7 (7.87%)人、法律學院6 (6.74%)人、醫學院4 (4.49%)人。

二、研究流程

圖2為研究流程圖，本研究於受試者參與實驗前，由研究者說明研究流程，並提供受試者同意書，當受試者瞭解實驗流程並簽屬同意書後，即可進入正式實驗流程，在實驗

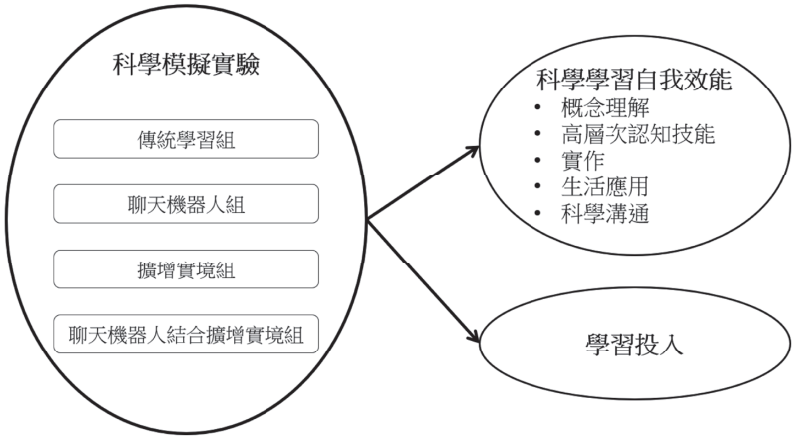

圖1：研究架構圖

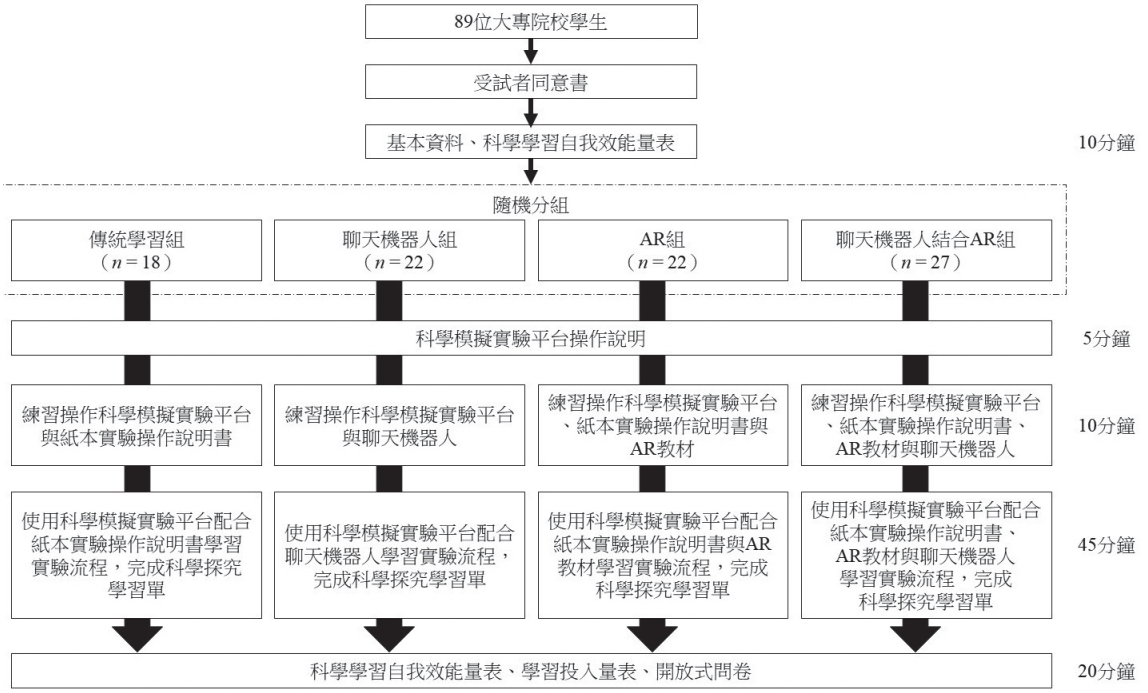

圖2：研究流程圖

過程中，受試者保有隨時退出實驗的權益。學習過程皆為學習者自主學習，無教師的相關引導與教學。首先，受試者需填寫基本資料與科學學習自我效能量表約10分鐘，接著將受試者隨機分為傳統學習組、聊天機器人組、AR組、聊天機器人結合AR組，在學習開始前，由研究者說明使用平板電腦操作科學模擬實驗平臺的方式，約5分鐘，以及科學模擬實驗平臺和學習工具操作練習時間，約10分鐘，其中四組的學習工具分別為傳統學習組的紙本實驗操作說明書，聊天機器人組為聊天機器人，AR組為紙本實驗操作說明書結合AR教材，聊天機器人結合AR組為紙本實驗操作說明書結合AR教材與聊天機器人。確定受試者皆瞭解學習工具操作方式後，開始學習活動，四組皆採用平板電腦操作科學模擬實驗平臺完成科學探究學習單，相異之處在於傳統學習組透過紙本實驗操作說明書查詢資料與學習實驗流程；聊天機器人組使用聊天機器人查詢資料與學習實驗流程；AR組使用紙本實驗操作說明書結合AR教材查詢資料與學習實驗流程；聊天機器人結合AR組是透過紙本實驗操作說明書結合AR教材與聊天機器人查詢資料和學習實驗流程，約45分鐘。學習活動結束後，受試者完成科學學習自我效能量表、學習投入量表與開放式問卷，約20分鐘，即結束實驗。圖3為四組實驗情境。

三、研究工具

(一)科學學習自我效能量表

科學學習自我效能量表的目的是瞭解學習者進行學習活動前後的科學學習自我效能程度，本研究採用的科學學習自我效能量表修改自Lin與Tsai (2013)的科學學習自我效能問卷，以及修改學習活動名稱以符合本研

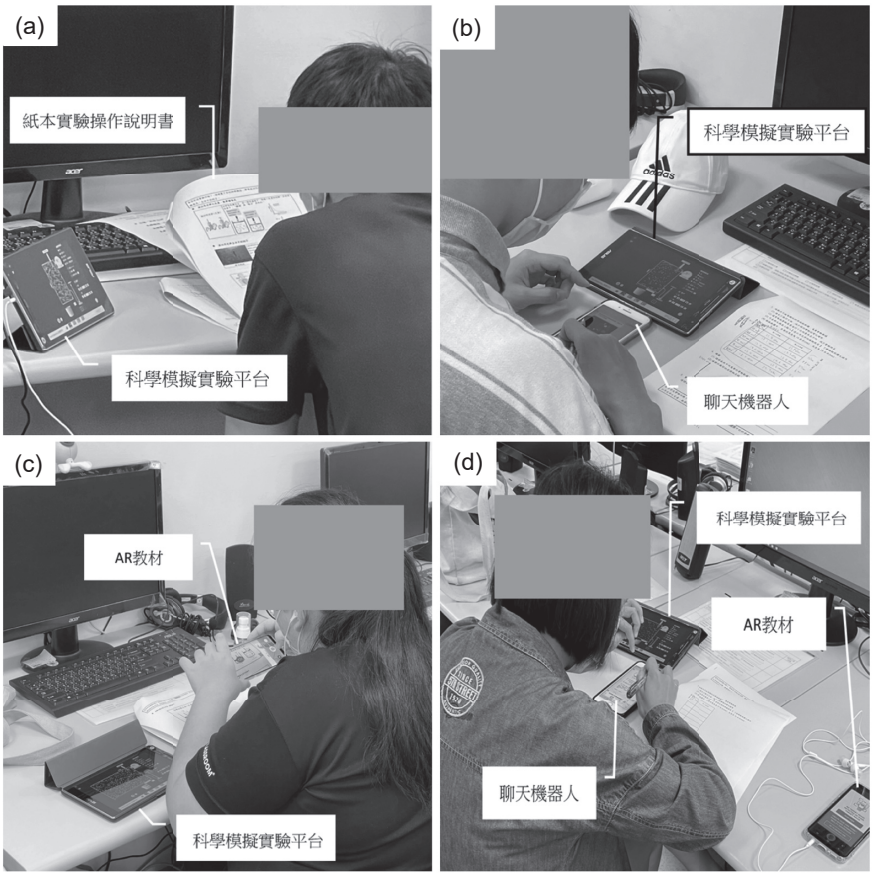

圖3：四組實驗情境：(a)傳統學習組；(b)聊天機器人組；(c) AR組；(d)聊天機器人結合AR組

究的學習情境，並經由三位數位學習領域專家協助審查，包含二位國立大學教授與一位獨立博士後研究學者，以達到專家效度。此量表共28題，分為五個子構面，分別為「概念理解」4題，定義為學習者對自身能使用認知技能理解科學概念、原則和理論的信心程度，例題：我能夠向他人解釋科學定律和理論；「高層次認知技能」6題，定義為學習者對自身能運用更複雜且精密的技能的信心程度，例題：我能夠嚴謹地評估科學問題的解決方案；「實作」4題，定義為學習者對自身完成實驗室活動的信心程度，例題：我知道如何在科學模擬探究實驗中執行實驗程序；「生活應用」8題，定義為學習者認為自身能將科學概念和技能應用於日常的信心程度，例題：我能夠用科學知識來解釋日常生活；「科學溝通」6題，定義為學習者認為自身能和他人溝通與討論的信心程度，例題：我能夠運用我在科學模擬探究實驗學到的科學知識與他人討論。此量表採用李克特式六點量表，1表示非常不同意，6表示非常同意。本量表前測之Cronbach's α值為.98，概念理解、高層次認知技能、實作、生活應用、科學溝通子構面之Cronbach's α值依序為.94、.96、.92、.96、.95；本量表後測之Cronbach's α值為.97，概念理解、高層次認知技能、實作、生活應用、科學溝通子構面之Cronbach's α值依序

為.86、.92、.88、.93、.94，符合Nunnally (1967)提出之.70以上表示量表具有良好信度之標準。

(二)學習投入量表

學習投入量表的目的是瞭解學習者在學習後的學習投入程度，本研究採用的學習投入量表修改自Fredricks等(2005)的學習投入量表(engagement scale)，參考Sun等(2019)的中文翻譯，以及修改學習活動名稱以符合本研究的學習情境，並經由三位數位學習領域專家協助審查，包含二位國立大學教授與一位獨立博士後研究學者，以達到專家效度。此量表共19題，分為三個子構面，分別為行為投入5題，定義為學習者運用實際執行任務和遵守規則的方式達到投入，例題：我會遵守此科學模擬探究實驗的規範；情緒投入6題，定義為學習者透過興趣、情緒等內在因素達到投入，例題：我喜歡參與此科學模擬探究實驗；認知投入8題，定義為學習者透過努力和學習策略等方式達到投入，例題：我會檢查我的回答是否有錯誤。此量表採用李克特式六點量表，1表示非常不同意，6表示非常同意。本量表之Cronbach's α為.87，符合Nunnally (1967)提出之.70以上表示量表具有良好信度之標準。

(三)開放式問卷

本研究使用開放式問卷蒐集質性資料，目的在於瞭解學習者使用科學模擬實驗平臺，配合不同回饋方式(傳統學習、聊天機器人、AR和聊天機器人結合AR)進行實驗操作達成科學探究歷程的優點與建議，輔助解釋量化資料之結果。開放式問卷題目共5題，包含「產生學習信心的因素」、「產生投入的因素」、「教材編排與呈現是否感到複雜或促進學習」、「提供的學習資訊是否感到資訊量過大」、「其他建議」，其中依照組別差異調整對應回饋名稱，各組編碼為N代表傳統學習組，A代表聊天機器人組，B代表AR組和C代表聊天機器人結合AR組，阿拉伯數字代表受試者編號。

(四)科學模擬實驗平臺

學習者需運用科學模擬實驗平臺完成波以耳定律、查理定律與亞佛加厥定律之科學探究學習任務，波以耳定律之模擬實驗平臺取自The Concord Consortium (https://bit.ly/40dPPdZ)，查理定律與亞佛加厥定律之模擬實驗平臺取自PhET (https://bit.ly/42CkIub)，學習者可以透過模擬實驗平臺調整參數進行模擬實驗，並記錄實驗結果與完成學習單。以波以耳定律科學模擬實驗平臺為例(圖4)，學習者可點選「體積增加」按鈕，將隔板向右移動增加空間，或是點選「體積減少」按鈕，將隔板向左移動壓縮空間，氣體體積將會依照體積狀態自動產生對應之數值，接著，學習者點選「啟動」按鈕，即可看見氣體粒子的移動狀態與壓力參數，透過此科學模擬實驗平臺可以將抽象的氣體粒子與壓力視覺化與具體化，增加巨觀層次的概念與經驗。

(五)AR

本研究採用UniteAR (https://www.unitear.com/)設計AR教材，研究者使用UniteAR的Image-Based AR編輯平臺製作AR的實體物定位與疊加的虛擬資訊。學習者使用智慧型手機開啟UniteAR app掃描實體科學模擬實驗平臺畫面或學習單後，即可看見疊加於實體物上的虛擬補充資訊，虛擬資訊為科學模擬實驗操作示範影片，影片中會呈現實驗操作

流程，以及運用文字顯示學習提示與重點概念。學習者可以透過觀察與比對實體物與虛擬資訊進行學習。AR教材示意圖如圖5。

(六)聊天機器人與聊天機器人結合AR

本研究之聊天機器人採用Google Dialogflow (https://bit.ly/3TCS5cv)進行開

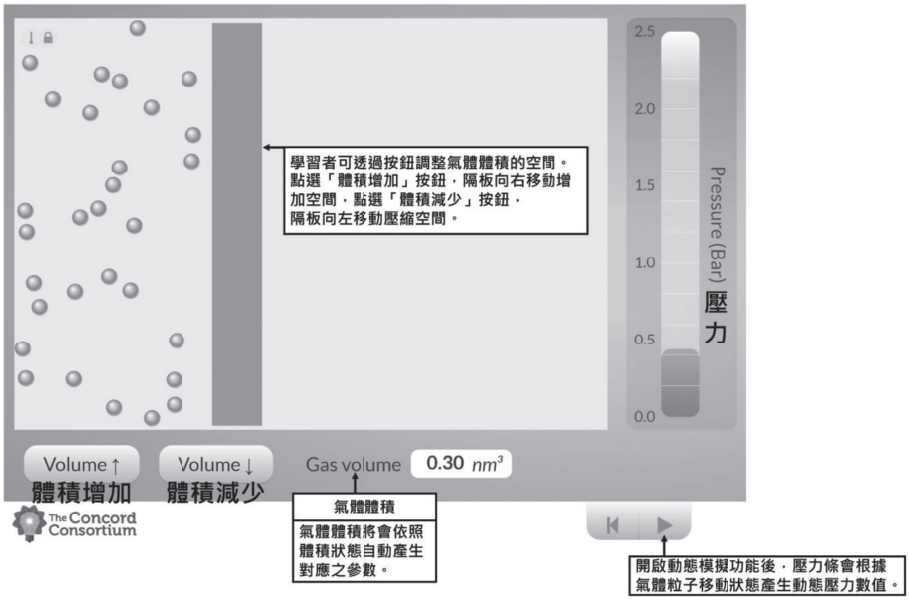

圖4：波以耳定律科學模擬實驗平臺

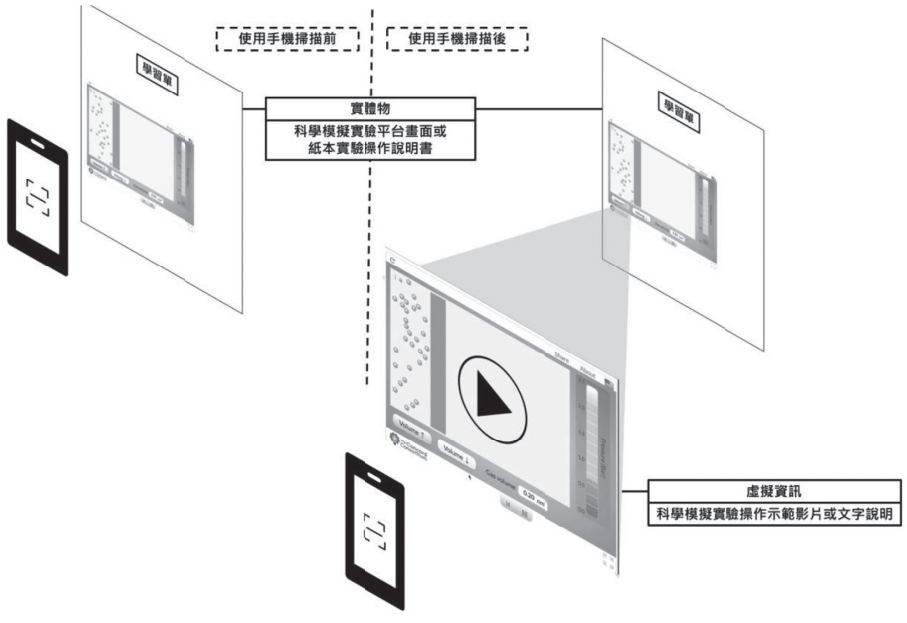

圖5：AR教材示意圖

發與設計對話流程，當學習者輸入關鍵字，聊天機器人可根據關鍵字進行NLP後媒合資料庫內容給予特定回饋。本研究將聊天機器人建置於LINE平臺，皆採用按鈕方式觸發回饋，回饋內容包含文字、圖片、影音、選單等，模擬人與人對談情境。學習者將聊天機器人加入好友後，即可開始與聊天機器人對話互動，透過問答的方式引導思考脈絡，共同完成學習單。聊天機器人根據Colburn (2000)提出的結構式探究、引導式探究與開放式探究幫助學習者進行科學探究學習活動，學習者可依據個人學習需求選按主選單的選項，啟動不同的科學探究歷程，學習內容包含科學概念性知識與科學探究方法的程序性知識，也可以進一步尋求更多的學習幫助。聊天機器人使用者介面如圖6。聊天機器人結合AR的應用是指學習者可以透過AR觀看科學模擬實驗操作示範影片或文字說明，也可以參閱聊天機器人提供的不同科學探究方式進行學習活動與資料查詢。

四、資料分析方法

本研究採用IBM SPSS Statistic 26進行資料分析。本研究採用單因子共變異數分析(Analysis of Covariance, ANCOVA)探討四組的科學學習自我效能(概念理解、高層次認知技能、實作、生活應用、科學溝通)之平均分數是否達顯著差異，以回答研究問題一。接著，採用單因子變異數分析(Analysis of Variance, ANOVA)探討四組的學習投入之平均分數是否達顯著差異，以回答研究問題二。

肆、研究結果

各組的科學學習自我效能與其子構面，以及學習投入的偏態絕對值皆小於3，峰度絕對值皆小於10，故各組皆呈現常態分布

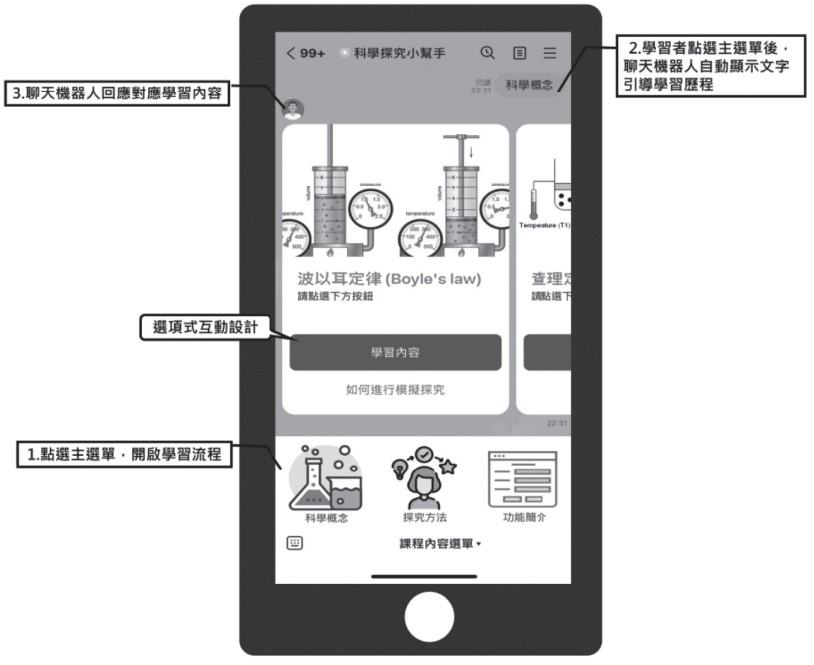

圖6：聊天機器人使用者介面

(Kline, 2010)。科學學習自我效能部分，接著進行組內迴歸係數同質性假設檢定，科學學習自我效能拒絕組內迴歸係數同質性假設(F = 3.00，p < .05)，表示四組組內迴歸係數不同質，因此改採用詹森內曼法(Johnson-Neyman technique)進行分析。根據詹森內曼法分析結果，在科學學習自我效能前測分數小於89.5分時，傳統學習組的科學學習自我效能顯著高於聊天機器人組(t = -2.19，p < .05) (圖7)，受試者回饋為「紙本寫出來能夠讓我對內容的掌握度提高，以利完成」(N2)、「紙本的解釋詳細，遇到的問題紙本上都有解釋」(N14)、「一開始還沒習慣的時候覺得有好多東西要點」(A15)。在科學學習自我效能前測分數小於99.2分時，AR組的科學學習自我效能顯著高於聊天機器人組(t = -2.31，p < .05) (圖8)，受試者回饋為「流程上更清晰，能依序按照特定問題提示」(A21)、「根據AR輔助可有效完成學習活動，並投入學習中注意其內容」(B2)、「利用影片學習我認為是很有幫助的」(B21)。在科學學習自我效能前測分數小於96.1分時，聊天機器人結合AR組的科學學習自我效能顯著高於聊天機器人組(t = 2.03，p < .05) (圖9)，受試者回饋為「看了又看還是看不太懂，不過一步步的帶我完成所有實驗還是挺開心」(A16)、「聊天機器人提供的資訊量很少」(A30)、「藉由影片及機器人的輔助教學，一步驟地完成實驗紀錄……也能連結日常生活中的相關例子」(C18)、「藉由聊天機器人與AR，能夠瞭解定律的定義，以及生活中有哪些例子，聊天機器人可以清楚瞭解實驗步驟……」(C19)。

接著深入探討科學學習自我效能子構面，概念理解(F = 1.43，p = .240；F(3, 85) = 0.16，p = .923)、實作(F = 2.26，p = .088；F(3, 85) = 1.03，p = .383)、生活應用(F = 1.86，p = .144；F(3, 85) = 0.61，p = .610)不拒絕組內迴歸係數同質性假設和變異數同質性假設，因此適合進行ANCOVA，表1為概念理解、實作和生活應用共變異數分析結果，分析結果顯示四組的概念理解(F = 0.39，p = .761，η^2 = 0.01)、實作(F = 1.60，p = .196，

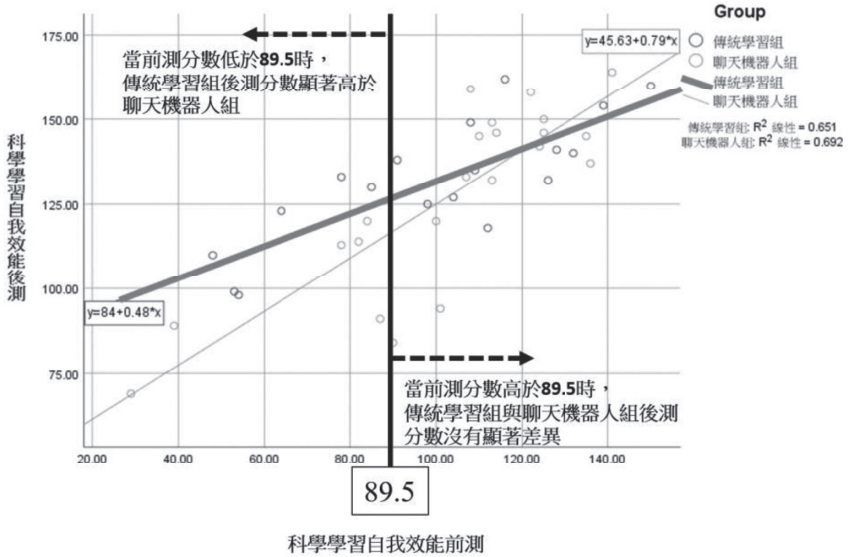

圖7：科學學習自我效能詹森內曼法分析結果(傳統學習組與聊天機器人組)

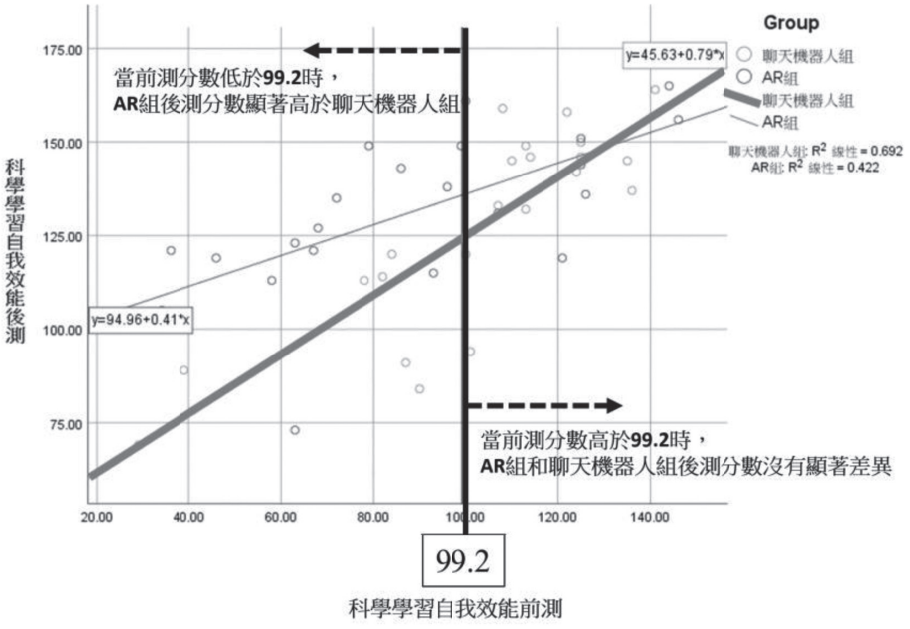

圖8：科學學習自我效能詹森內曼法分析結果(AR組和聊天機器人組)

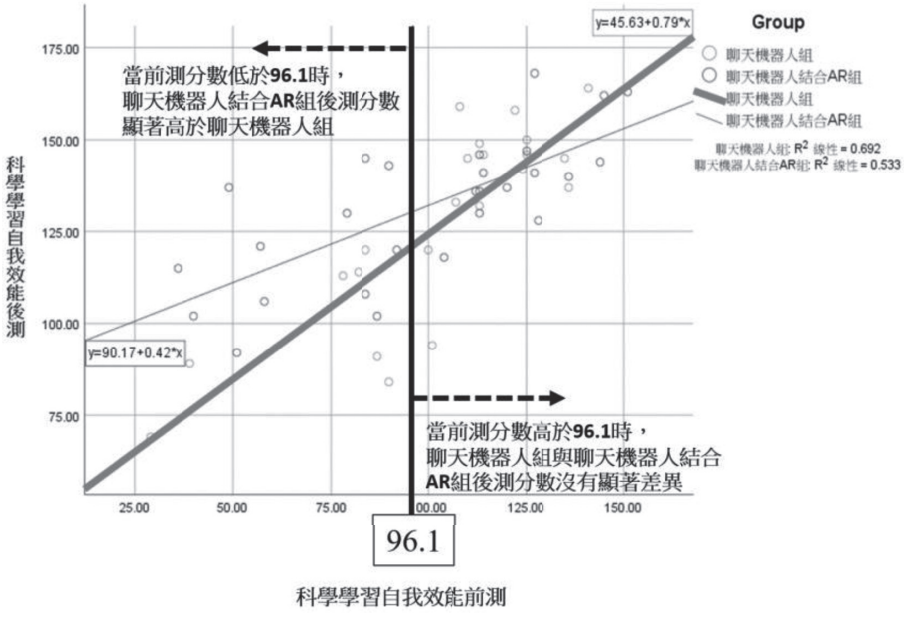

圖9：科學學習自我效能詹森內曼法分析結果(聊天機器人組與聊天機器人結合AR組)

$\eta^2 = 0.05$)和生活應用($F = 2.18$，$p = .10$，$\eta^2 = 0.07$)無顯著差異。

高層次認知技能，拒絕組內迴歸係數同質性假設($F = 2.83$，$p < .05$)，故改採用詹森內曼法進行分析。根據高層次認知技能詹

表1：概念理解、實作、生活應用共變異數分析結果摘要表

變項	調整後平均數(標準差)				F	η^2
	傳統學習組	聊天機器人組	AR組	聊天機器人結合AR組		
概念理解	18.03 (3.22)	18.00 (3.97)	18.45 (3.73)	18.78 (3.00)	0.39	0.01
實作	18.86 (0.73)	17.63 (0.67)	19.67 (0.68)	19.11 (0.60)	1.60	0.05
生活應用	39.19 (1.04)	37.38 (0.94)	40.60 (0.95)	38.16 (0.85)	2.18	0.07

森內曼法分析結果，在前測分數小於15.1分時，傳統學習組的高層次認知技能顯著高於聊天機器人組(t = -2.04，p < .05) (圖10)，受試者回饋為「紙本說明很簡單易懂」(N14)、「紙本的操作手冊可以對照螢幕上的畫面，幫助操作過程順利。在提示和解答以及後續的概念解析與實例補充都對理解相當有幫助」(N26)、「聊天機器人有時候會跳出來的內容會跟問題不符合，需要多試幾次」(A3)、「部分對話關鍵字會引導到錯誤的步驟，需要檢查一下」(A10)。在前測分數小於17.25分時，AR組的高層次認知技能顯著高於聊天機器人組(t = 2.06，p < .05) (圖11)，受試者回饋為「有問題才會去詢問聊天機器人」(A3)、「能在我不會的地方給予提示」(A22)、「根據AR輔助可有效完成學習活動，並投入學習中注意其內容」(B2)、「透過影片可以清楚的連結實例與理論」(B21)、「操作蠻簡單的」(B24)、「因為有具體說明，所以可以瞭解它的運用以及於生活中的應用；因為用手機就能快速掃瞄瞭解內容很方便」(B29)。在前測分數小於17.2分時，聊天機器人結合AR組的高層次認知技能顯著高於聊天機器人組(t = 2.37，p < .05)，此外，當前測分數大於34分，則是聊天機器人組的高層次認知技能顯著高於聊天機器人結合

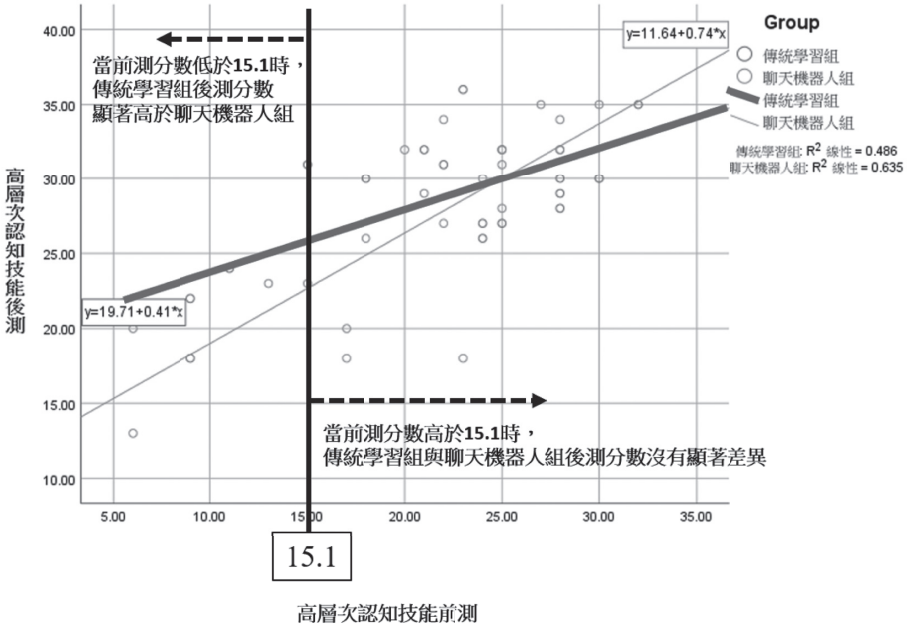

圖10：高層次認知技能詹森內曼法分析結果(傳統學習組與聊天機器人組)

AR組(t = -2.04，p < .05) (圖12)，受試者回饋為「發現不懂的地方可以透過聊天機器人詢問」(A3)、「很適合學習基礎課程」(C2)。

科學溝通子構面，不拒絕組內迴歸係數同質性假設(F = 1.37，p = .258)，但拒絕變異數同質性假設(F(3, 85) = 2.92，p < .05)，代表

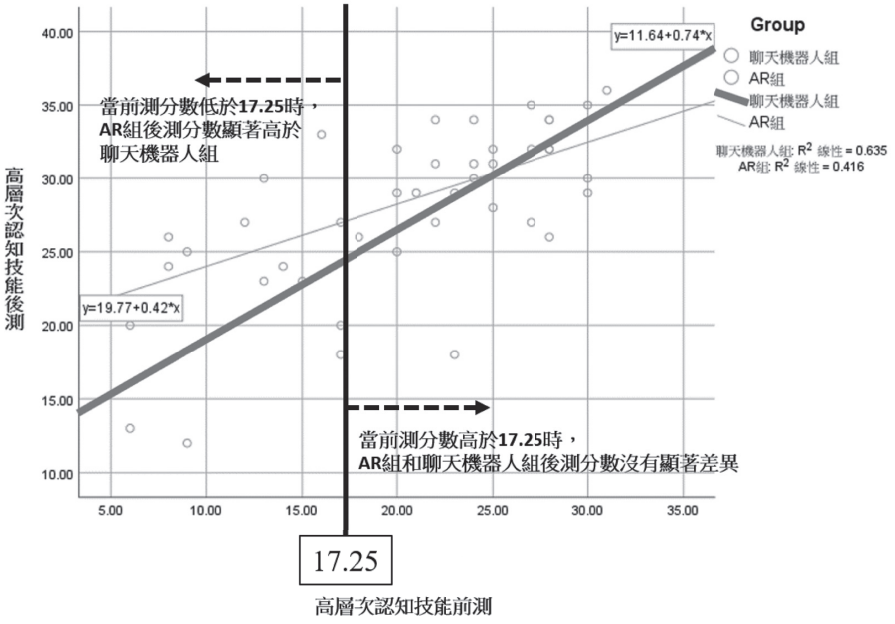

圖11：高層次認知技能詹森內曼法分析結果(AR組與聊天機器人組)

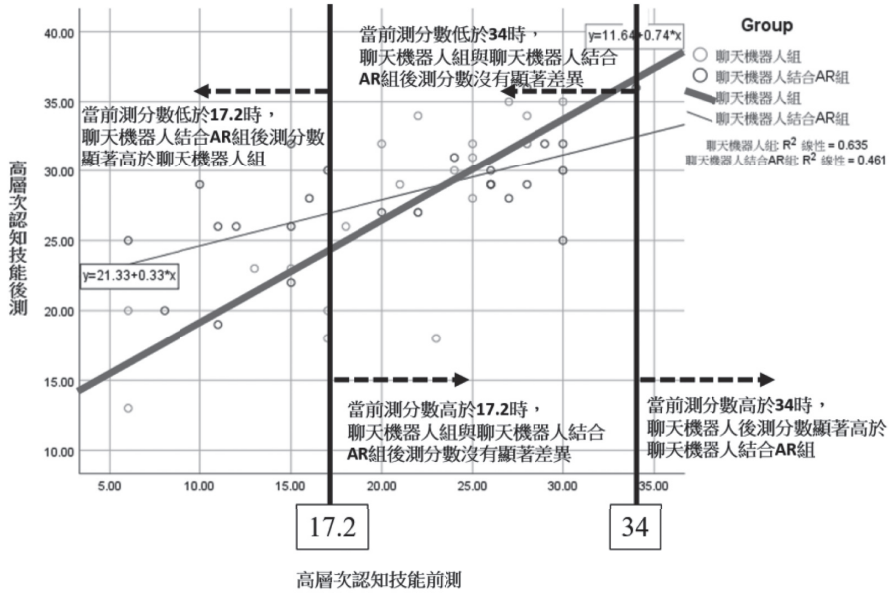

圖12：高層次認知技能詹森內曼法分析結果(聊天機器人組與聊天機器人結合AR組)

三組的變異數不同質，改採用ANOVA進行分析。檢驗ANOVA分析的同質性假設，經由同質性變異數檢定(Levene's test)結果，科學溝通前測($F(3, 85) = 0.33$，$p = .804$)與後測($F(3, 85) = 1.26$，$p = .295$)皆顯示不拒絕變異數同值假設，故可進行ANOVA分析。科學溝通前測分析結果顯示四組之間的科學溝通無顯著差異($F = 0.85$，$p = .472$，$\eta^2 = 0.03$)，代表學習前四組的科學溝通程度具有一致水平。表2為科學溝通後測變異數分析結果，分析結果顯示四組之間的科學溝通無顯著差異($F = 0.47$，$p = .704$，$\eta^2 = 0.02$)。

最後，學習投入不拒絕變異數同質性假設($F(3, 85) = 1.24$，$p = .30$)，符合進行變異數分析之假設條件。表2為學習投入變異數分析結果，分析結果顯示四組之間的學習投入存在顯著差異($F = 3.06$，$p < .05$，$\eta^2 = 0.10$)，根據事後比較，AR組的學習投入($M = 93.91$，$SD = 10.24$)顯著高於聊天機器人組($M = 84.32$，$SD = 13.86$)，受試者回饋為「引導好，但有些內容有點無聊」(A4)、「程序有點太多」(A6)、「補充的資訊好多，一下子不知道要從哪裡開始看起」(A16)、「(聊天機器人)有些結果跑得比較慢，可能期間會導致重複按」(A21)、「蠻新奇，較吸引我投入」(B1)、「根據AR輔助可有效完成學習活動，並投入學習中注意其內容」(B2)、「清楚實際(實驗)流程後能更投入」(B19)。

伍、討論

本研究探討大專院校學習者使用科學模擬實驗平臺學習實驗操作與科學探究歷程，採用傳統學習、聊天機器人、AR以及聊天機器人結合AR回饋對科學學習自我效能與學習投入之影響，首先回答研究問題一，經由詹森內曼法分析科學學習自我效能之結果顯示，學習前的科學學習自我效能水平差異是判斷學習者適合使用何種回饋方式的判斷條件，當科學學習自我效能前測分數小於89.5分時，傳統學習組的科學學習自我效能顯著高於聊天機器人組，如同游師柔等(2020)研究結果，學習者過去透過傳統學習歷程獲得的成功經驗已累積多時，進而影響自我效能的掌握經驗來源相對較高，Bandura (1994)指出提升自我效能感受最有效的方法是強化掌握經驗，故聊天機器人的創新應用方式相較傳統學習方式，學習者可能較無法從聊天機器人學習方式中快速取得超越傳統學習方式的掌握經驗，以及學習者為初學者，在面臨時間壓力的狀況下較無法活用相關知識腦力激盪提升自我效能，因此與洪贊凱等(2008)之結果不相同。根據學習者N2、N14和A15之回饋顯示紙本學習方式流程清楚且掌握度高，聊天機器人則因為不熟悉較需要時間適應。

當前測分數小於99.2分時，AR組的科學學習自我效能顯著高於聊天機器人組。使用AR回饋學習科學實驗，足以幫助學習者獨力完成實驗，減少對教學者的依賴(Akçayır et

表2：科學溝通後測與學習投入變異數分析結果摘要表

	平均數(標準差)						
變項	傳統學習組	聊天機器人組	AR組	聊天機器人結合AR組	F	η^2	Post hoc
科學溝通後測	27.06 (4.84)	25.59 (6.65)	27.27 (4.74)	27.26 (5.71)	0.47	0.02	
學習投入	87.06 (9.14)	84.32 (13.86)	93.91 (10.24)	90.07 (10.05)	3.06*	0.10	3 > 2

註：*$p < .05$。

al., 2016)，AR回饋是提供科學學習內容的具體經驗(巨觀層次)，而聊天機器人回饋主要是提供學習歷程的資料查詢輔助，兩者相較，AR回饋內容與科學實驗操作的學習目標較直接相關，且游師柔等(2020)指出學習者能透過AR提供的操作影片取得替代經驗，因此促進科學學習自我效能較有優勢。根據學習者A21、B2和B21之回饋顯示AR能夠幫助學習者完成學習任務和提升學習投入與注意力，聊天機器人則是輔助問題解決為主。

當科學學習自我效能前測分數小於96.1分時，聊天機器人結合AR組的科學學習自我效能顯著高於聊天機器人組，如同Lin與Tsai (2013)之研究成果，學習者在學習科學的歷程中，採用深度學習策略會產生較高的科學學習自我效能，其中深度學習策略意旨與科學學習相關的有意義策略，像是促進概念連結和摘要重點的策略。聊天機器人是良好的知識搜尋工具(Lalwani et al., 2018)，也能控制對話流程(Al-Zubaide & Issa, 2011)幫助學習者依循邏輯脈絡連結不同的化學概念，結合AR回饋呈現巨觀層次的化學概念，完整呈現化學概念的三個層次，學習者得以運用三個層次的化學知識相互參照，同時獲得具有邏輯的多元學習體驗。因此，聊天機器人結合AR回饋與聊天機器人回饋相較，前者使用的回饋方式更符合深度學習策略的概念，有效提升學習者的科學學習自我效能。根據學習者A16、A30、C18、C19之回饋顯示單獨使用聊天機器人會有看不懂的狀況且資訊量不足，而聊天機器人整合AR則可以提供影片輔助，促進學習內容與生活的連結，同時也能學習實驗步驟。

科學學習自我效能子構面部分，根據統計分析結果，概念理解、實作、生活應用與科學溝通在四組之間皆無顯著差異，僅高層次認知技能具有組間差異。運用詹森內曼法分析高層次認知技能之結果顯示，在前測分數小於15.1分時，傳統學習組的高層次認知技能顯著高於聊天機器人組。高層次認知技能包含科學探究技能、問題解決與批判思考能力(Lin & Tsai, 2013)，規則式聊天機器人存有重複性高、高度可預測性與較缺乏人性(Ramesh et al., 2017)，容易錯誤判斷使用者的想法，導致使用者容易產生挫敗感(Adamopoulou & Moussiades, 2020)，對解決使用者問題容易造成干擾，以及根據學習者N14、N26、A3和A10的回饋顯示，學習者確實感受到聊天機器人有引導錯誤、回應內容與問題不符的狀況，而傳統學習組可根據科學模擬實驗平臺和紙本教材獲得學習且無錯誤資訊的干擾，故聊天機器人對提升高層次認知技能的效果較低落。

前測分數小於17.25分時，AR組的高層次認知技能顯著高於聊天機器人組。AR能提供具體物件畫面輔助化學微觀層次的學習(Cai et al., 2014)，以及學習者透過AR與虛擬物件互動獲得即時回饋，強化學習內容與環境的關聯性，幫助學習者觀察科學現象(Cai et al., 2021)，所以能更專注於科學探究歷程。聊天機器人較屬於資料查詢的輔助角色(Lalwani et al., 2018)，和AR學習內容相較，聊天機器人提供的回饋與實驗操作之間非必要相關，此外，AR的操作便利性優於聊天機器人，此可能為影響因素之一，因此聊天機器人對高層次認知技能影響較小。學習者A3、A22、B2、B21、B24和B29的回饋能加以佐證此觀點。

前測分數小於17.2分時，聊天機器人結合AR組的高層次認知技能顯著高於聊天機器人組，反之，當前測分數大於34分，則是聊天機器人組的高層次認知技能顯著高於聊天機器人結合AR組。此結果可推論聊天機器人

與聊天機器人結合AR的適用對象存有專家反轉效應(expertise reversal effect)，專家反轉效應意旨新手所需的詳細教學內容對專家而言是學習阻礙(Kalyuga, 2007)。掌握經驗是影響自我效能來源之一(Bandura, 1994)，Diseth (2011)指出先備知識程度正向預測自我效能。由於AR是提供學習者具體且詳細的實驗操作流程，而聊天機器人主要依賴使用者主動查詢資料，故對專家而言AR呈現的具體實驗操作方法已具備心像，如同Cooper等(2001)的研究結果，以至於AR提供的回饋資訊對提升專家的高層次認知技能較無幫助，聊天機器人則可以針對專家的學習需求提供回饋，與Cai等(2014)的研究成果一致，AR對學習成就低落者較具有學習效果。因此在學習前高層次認知技能程度較高者，較適合使用聊天機器人進行學習，反之，在學習前高層次認知技能程度較低者，較適合使用聊天機器人結合AR的詳細學習回饋方式進行學習。根據學習者A3和C2之回饋，聊天機器人結合AR適合需要學習基礎概念的學習者，聊天機器人則是能針對疑問給予回饋。

回答研究問題二，在學習投入方面，研究結果顯示AR組的學習投入顯著高於聊天機器人組。本研究根據Setlur與Tory (2022)提出的聊天機器人設計原則進行設計，聊天機器人會即時確認學習者的訊息以表示有收到學習者輸入的資訊，並提供即時回饋，但聊天機器人的互動程序過多、反應較慢導致重複按選項、資訊太多不知道從何處看起且感到無聊，可見此設計使行為之後果難以獲得對應的學習成果，導致投入的時間非與學習任務相關，因此學習投入程度較低(Kuh, 2003)，此外，Smutny與Schreiberova (2020)研究指出聊天機器人主動推播訊息能幫助學習者保持投入，但本研究之聊天機器人無設計主動推播功能，可能因此產生學習投入較低的狀況。反之，學習者A4、A6、A16、A21、B1、B2和B19的回饋表示AR具有新奇感、吸引人、對完成學習任務有幫助，以及提升注意力與投入其中，此結果與Moriuchi等(2021)的研究結果一致，聊天機器人促使使用者投入的效果較不理想，AR則可以帶給使用者更愉快的體驗。

陸、結論與建議

本研究探討運用科學模擬實驗平臺學習科學實驗與科學探究歷程時，搭配傳統紙本、聊天機器人、AR與聊天機器人結合AR對大專院校學習者的科學學習自我效能與學習投入之影響。根據研究問題一之研究結果，在理想氣體學習中，學習者較熟悉的傳統學習方式對科學學習自我效能仍存在較大的影響力，AR提供的視覺化與巨觀層次概念的具體經驗有效促進科學學習自我效能，以及聊天機器人結合AR組的回饋方式符合深度學習策略之概念，同時驗證視覺化與具體化的氣體粒子AR教材相較引導學習脈絡與提升學習效率的聊天機器人，前者對提升科學自我效能更有幫助。在高層次認知技能子構面部分，傳統學習組與AR組與科學自我效能的研究結果相似，較特別的是聊天機器人結合AR與聊天機器人對高層次認知技能的影響存有專家反轉效應，學習前高層次認知技能程度較低者，適合使用聊天機器人結合AR，反之，學習前高層次認知技能程度較高者則適合使用聊天機器人，在未來教學時，教師可根據學習者對於理想氣體概念的完整度提供個人化的教材選擇。根據研究問題二之研究結果顯示，本研究之聊天機器人缺乏主動性設計，以及設計的回應流程程序較多、資訊量過多引起無聊感受皆與學習投入的組成概念相牴觸，AR則帶給學習者更愉快的使用經

驗，提升注意力與投入，因此AR提升學習投入的效果顯著優於聊天機器人。整體而言，在理想氣體學習中，巨觀與微觀的整合策略應優先考量，而概念層次的引導與提升學習效率的策略較適合非初學者應用。

在實驗設計方面，受試者是使用自己的智慧型手機進行學習，使用者介面無一致性為研究限制之一，建議未來研究可探討使用者介面差異，或嘗試控制使用者介面的一致性。此外，本研究透過自陳式問卷排除具有先備知識的學習者為研究限制之二，建議未來可透過瞭解受試者高中時期的專長類組與更詳細的氣體定律學習經驗，更精確的分析受試者背景，以及使用標準化方式劃分學習者的先備知識程度，並且探討學習者的科學概念學習成效。受限於詹森內曼法的限制，尚無法同時比較四組的學習前水平以釐清其中差異，建議未來研究可分析高低科學學習自我效能者運用四種學習方式的差異。在研究主題與內容方面，未來研究可比較不同巨觀與微觀整合策略，對理想氣體的學習動機與學習成效之影響，也建議嘗試探討適合運用聊天機器人的學習條件或學科，輔助未來STEM人才與精準教育之發展。

誌謝

本研究感謝國科會(MOST 111-2410-H-A49-018-MY4、MOST 110-2511-H-A49-009-MY2、MOST 109-2423-H-009-001-MY2)之支持，感謝黃國禎教授、陳雅君教授給予的建議，以及葉宣靈老師對本研究的協助。最後，感謝國立陽明交通大學互動學習科技與動機研究室(https://iltm.lab.nycu.edu.tw/)成員、參與本研究的全體參與者和提供本研究建議的審查委員與主編，謹此致謝。

參考文獻

邱美虹、吳文龍、鍾曉蘭、李雪碧(2013)。以概念演化樹探討跨年級學生理想氣體心智模式之發展歷程。**科學教育學刊**，**21**(2)，135-162。https://doi.org/10.6173/CJSE.2013.2102.01

[Chiu, M.-H., Wu, W.-L., Chung, S.-L., & Li, H.-P. (2013). Investigating students' mental models of ideal gas across grade levels via the conceptual evolutionary approach. *Chinese Journal of Science Education*, *21*(2), 135-162. https://doi.org/10.6173/CJSE.2013.2102.01]

洪贊凱、王智弘、蔡瑩璇(2008)。創意時間壓力與創意績效間非線性關係之探討。**人力資源管理學報**，**8**(2)，21-44。https://doi.org/10.6147/JHRM.2008.0802.02

[Hung, T.-K., Wang, C.-H., & Tsai, Y.-H. (2008). The empirical study of curvilinear relation between creative time pressure and creative performance. *Journal of Human Resource Management*, *8*(2), 21-44. https://doi.org/10.6147/JHRM.2008.0802.02]

游師柔、葉宣靈、孫之元(2020)。STEM模式整合穿戴式擴增實境和穿戴式虛擬實境應用於科學教育：探討科學學習自我效能來源對高中生科學學習自我效能和學習成效之影響。**數位學習科技期刊**，**12**(3)，25-57。https://doi.org/10.3966/2071260X2020071203002

[Yu, S.-J., Ye, S.-L., & Sun, J. C.-Y. (2020). Application of the STEM model integrated with the

wearable augmented reality and wearable virtual reality in science education: Effect of the sources of science learning self-efficacy on high school students' science learning self-efficacy and performance. *International Journal on Digital Learning Technology*, *12*(3), 25-57. https://doi.org/10.3966/2071260X2020071203002]

鍾曉蘭(2020)。**模型化教學：以理想氣體為例**。https://bit.ly/3Zbbu5l

[Chung, S.-L. (2020). *Moxinghua jiaoxue: Yi lixiang qiti weili*. https://bit.ly/3Zbbu5l]

鍾曉蘭、邱美虹(2012)。高二學生在理想氣體多重表徵教學前後心智模式的改變。**教育科學研究期刊，57**(4)，73-101。https://doi.org/10.3966/2073753X2012125704003

[Chung, S.-L., & Chiu, M.-H. (2012). The evolution of the 11th graders' mental models of ideal gas. *Journal of Research in Education Sciences*, *57*(4), 73-101. https://doi.org/10.3966/2073753X2012125704003]

Adamopoulou, E., & Moussiades, L. (2020). Chatbots: History, technology, and applications. *Machine Learning with Applications*, *2*, Article 100006. https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2020.100006

Akçayır, M., Akçayır, G., Pektaş, H. M., & Ocak, M. A. (2016). Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students' laboratory skills and attitudes toward science laboratories. *Computers in Human Behavior*, *57*, 334-342. https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.12.054

Al-Zubaide, H., & Issa, A. A. (2011, November). *OntBot: Ontology based chatbot*. International Symposium on Innovations in Information and Communications Technology, Amman, Jordan. https://doi.org/10.1109/ISIICT.2011.6149594

Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review*, *84*(2), 191-215. https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.2.191

Bandura, A. (1994). Self-efficacy. In V. S. Ramachaudran (Ed.), *Encyclopedia of human behavior* (pp. 71-81). Academic Press.

Barmaki, R., Yu, K., Pearlman, R., Shingles, R., Bork, F., Osgood, G. M., & Navab, N. (2019). Enhancement of anatomical education using augmented reality: An empirical study of body painting. *Anatomical Sciences Education*, *12*(6), 599-609. https://doi.org/10.1002/ase.1858

Bong, M., & Skaalvik, E. M. (2003). Academic self-concept and self-efficacy: How different are they really? *Educational Psychology Review*, *15*(1), 1-40. https://doi.org/10.1023/A:1021302408382

Bower, M., Howe, C., McCredie, N., Robinson, A., & Grover, D. (2014). Augmented reality in education—Cases, places and potentials. *Educational Media International*, *51*(1), 1-15. https://doi.org/10.1080/09523987.2014.889400

Cai, S., Liu, C., Wang, T., Liu, E., & Liang, J.-C. (2021). Effects of learning physics using aug-

mented reality on students' self-efficacy and conceptions of learning. *British Journal of Educational Technology*, *52*(1), 235-251. https://doi.org/10.1111/bjet.13020

Cai, S., Wang, X., & Chiang, F.-K. (2014). A case study of augmented reality simulation system application in a chemistry course. *Computers in Human Behavior*, *37*, 31-40. https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.04.018

Chang, C.-Y., Hwang, G.-J., & Gau, M.-L. (2022). Promoting students' learning achievement and self-efficacy: A mobile chatbot approach for nursing training. *British Journal of Educational Technology*, *53*(1), 171-188. https://doi.org/10.1111/bjet.13158

Chang, K.-E., Chang, C.-T., Hou, H.-T., Sung, Y.-T., Chao, H.-L., & Lee, C.-M. (2014). Development and behavioral pattern analysis of a mobile guide system with augmented reality for painting appreciation instruction in an art museum. *Computers & Education*, *71*, 185-197. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.022

Chiu, T. K. F. (2022). Applying the self-determination theory (SDT) to explain student engagement in online learning during the COVID-19 pandemic. *Journal of Research on Technology in Education*, *54*(Suppl. 1), S14-S30. https://doi.org/10.1080/15391523.2021.1891998

Chiu, T. K. F., Sun, J. C.-Y., & Ismailov, M. (2022). Investigating the relationship of technology learning support to digital literacy from the perspective of self-determination theory. *Educational Psychology*, *42*(10), 1263-1282. https://doi.org/10.1080/01443410.2022.2074966

Christenson, S. L., Reschly, A. L., & Wylie, C. (Eds.). (2012). *Handbook of research on student engagement*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2018-7

Colburn, A. (2000). An inquiry primer. *Science Scope*, *23*(6), 42-44. https://reurl.cc/XLn91R

Cooper, G., Tindall-Ford, S., Chandler, P., & Sweller, J. (2001). Learning by imagining. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *7*(1), 68-82. https://doi.org/10.1037/1076-898x.7.1.68

Correia, A.-P., Koehler, N., Thompson, A., & Phye, G. (2019). The application of PhET simulation to teach gas behavior on the submicroscopic level: Secondary school students' perceptions. *Research in Science & Technological Education*, *37*(2), 193-217. https://doi.org/10.1080/02635143.2018.1487834

Diseth, Å. (2011). Self-efficacy, goal orientations and learning strategies as mediators between preceding and subsequent academic achievement. *Learning and Individual Differences*, *21*(2), 191-195. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2011.01.003

European Commission. (2019). *A definition of artificial intelligence: Main capabilities and scientific disciplines*. https://reurl.cc/V8VQab

Fredricks, J. A., Blumenfeld, P., Friedel, J., & Paris, A. (2005). School engagement. In K. A. Moore & L. H. Lippman (Eds.), *What do children need to flourish? Conceptualizing and measuring indicators of positive development* (pp. 305-321). Springer. https://doi.org/10.1007/0-387-23823-9_19

Fung, F. M. (2015). Using first-person perspective filming techniques for a chemistry laboratory demonstration to facilitate a flipped pre-lab. *Journal of Chemical Education*, *92*(9), 1518-1521. https://doi.org/10.1021/ed5009624

Garzón, J., Pavón, J., & Baldiris, S. (2019). Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings. *Virtual Reality*, *23*(4), 447-459. https://doi.org/10.1007/s10055-019-00379-9

Goudsouzian, L. K., Riola, P., Ruggles, K., Gupta, P., & Mondoux, M. A. (2018). Integrating cell and molecular biology concepts: Comparing learning gains and self-efficacy in corresponding live and virtual undergraduate laboratory experiences. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, *46*(4), 361-372. https://doi.org/10.1002/bmb.21133

Hew, K. F., Huang, W., Du, J., & Jia, C. (2023). Using chatbots to support student goal setting and social presence in fully online activities: Learner engagement and perceptions. *Journal of Computing in Higher Education*, *35*(1), 40-68. https://doi.org/10.1007/s12528-022-09338-x

Hong, J.-C., Hwang, M.-Y., Tai, K.-H., & Tsai, C.-R. (2017). An exploration of students' science learning interest related to their cognitive anxiety, cognitive load, self-confidence and learning progress using inquiry-based learning with an iPad. *Research in Science Education*, *47*(6), 1193-1212. https://doi.org/10.1007/s11165-016-9541-y

Huang, J. (2020). Successes and challenges: Online teaching and learning of chemistry in higher education in China in the time of COVID-19. *Journal of Chemical Education*, *97*(9), 2810-2814. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00671

Hunter, V., Hawkins, I., & Phelps, A. J. (2019). Comparing the influence of visualization type in an electrochemistry laboratory on the student discourse: Who do they talk to and what do they say? *Chemistry Education Research and Practice*, *20*(4), 851-861. https://doi.org/10.1039/C9RP00064J

Hwang, G.-J., & Chang, C.-Y. (2021). A review of opportunities and challenges of chatbots in education. *Interactive Learning Environments*. Advance online publication. https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1952615

Johnson, P., & Papageorgiou, G. (2010). Rethinking the introduction of particle theory: A substance-based framework. *Journal of Research in Science Teaching*, *47*(2), 130-150. https://doi.org/10.1002/tea.20296

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

Kalyuga, S. (2007). Expertise reversal effect and its implications for learner-tailored instruction. *Educational Psychology Review*, *19*(4), 509-539. https://doi.org/10.1007/s10648-007-9054-3

Kline, R. B. (2010). *Principles and practice of structural equation modeling* (3rd ed.). Guilford

Press.

Klopfer, E., & Squire, K. (2008). Environmental detectives—The development of an augmented reality platform for environmental simulations. *Educational Technology Research and Development*, *56*(2), 203-228. https://doi.org/10.1007/s11423-007-9037-6

Kolil, V. K., Muthupalani, S., & Achuthan, K. (2020). Virtual experimental platforms in chemistry laboratory education and its impact on experimental self-efficacy. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, *17*, Article 30. https://doi.org/10.1186/s41239-020-00204-3

Korsakova, E., Sokolovskaya, O., Minakova, D., Gavronskaya, Y., Maksimenko, N., & Kurushkin, M. (2022). Chemist bot as a helpful personal online training tool for the final chemistry examination. *Journal of Chemical Education*, *99*(2), 1110-1117. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00789

Kuh, G. D. (2003). What we're learning about student engagement from NSSE: Benchmarks for effective educational practices. *Change: The Magazine of Higher Learning*, *35*(2), 24-32. https://doi.org/10.1080/00091380309604090

Lalwani, T., Bhalotia, S., Pal, A., Bisen, S., & Rathod, V. (2018). Implementation of a chatbot system using AI and NLP. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*, *6*(3), 26-30. https://doi.org/10.2139/ssrn.3531782

Lin, T.-J., & Tsai, C.-C. (2013). A multi-dimensional instrument for evaluating Taiwanese high school students' science learning self-efficacy in relation to their approaches to learning science. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *11*(6), 1275-1301. https://doi.org/10.1007/s10763-012-9376-6

Moriuchi, E., Landers, V. M., Colton, D., & Hair, N. (2021). Engagement with chatbots versus augmented reality interactive technology in e-commerce. *Journal of Strategic Marketing*, *29*(5), 375-389. https://doi.org/10.1080/0965254x.2020.1740766

Nunnally, J. C. (1967). *Psychometric theory*. McGraw-Hill.

Pithpornchaiyakul, S., Naorungroj, S., Pupong, K., & Hunsrisakhun, J. (2022). Using a chatbot as an alternative approach for in-person toothbrushing training during the COVID-19 pandemic: Comparative study. *Journal of Medical Internet Research*, *24*(10), Article e39218. https://doi.org/10.2196/39218

Putri, C. R., Soleh, S. M., Saregar, A., Anugrah, A., & Susilowati, N. E. (2020, September). *Bibliometric analysis: Augmented reality-based physics laboratory with VOSviewer software*. Young Scholar Symposium on Science Education and Environment, Lampung, Indonesia. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1796/1/012056

Ramesh, K., Ravishankaran, S., Joshi, A., & Chandrasekaran, K. (2017). A survey of design techniques for conversational agents. In S. Kaushik, D. Gupta, L. Kharb, & D. Chahal (Eds.),

Information, communication and computing technology: Second International Conference, ICICCT 2017 (pp. 336-350). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6544-6_31

Rochlen, L. R., Levine, R., & Tait, A. R. (2017). First-person point-of-view-augmented reality for central line insertion training: A usability and feasibility study. *Simulation in Healthcare*, *12*(1), 57-62. https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000185

Schmidt, J. A., Rosenberg, J. M., & Beymer, P. N. (2018). A person-in-context approach to student engagement in science: Examining learning activities and choice. *Journal of Research in Science Teaching*, *55*(1), 19-43. https://doi.org/10.1002/tea.21409

Setlur, V., & Tory, M. (2022, April). *How do you converse with an analytical chatbot? Revisiting Gricean Maxims for designing analytical conversational behavior*. CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, New Orleans, LA. https://doi.org/10.1145/3491102.3501972

Shu, Y., Huang, Y.-Z., Chang, S.-H., & Chen, M.-Y. (2019). Do virtual reality head-mounted displays make a difference? A comparison of presence and self-efficacy between head-mounted displays and desktop computer-facilitated virtual environments. *Virtual Reality*, *23*(4), 437-446. https://doi.org/10.1007/s10055-018-0376-x

Sinatra, G. M., Heddy, B. C., & Lombardi, D. (2015). The challenges of defining and measuring student engagement in science. *Educational Psychologist*, *50*(1), 1-13. https://doi.org/10.1080/00461520.2014.1002924

Singh, J., Joesph, M. H., & Jabbar, K. B. A. (2019). Rule-based chabot for student enquiries. *Journal of Physics: Conference Series*, *1228*, Article 012060. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1228/1/012060

Smutny, P., & Schreiberova, P. (2020). Chatbots for learning: A review of educational chatbots for the Facebook Messenger. *Computers & Education*, *151*, Article 103862. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103862

Stefanidi, E., Arampatzis, D., Leonidis, A., Korozi, M., Antona, M., & Papagiannakis, G. (2020). MagiPlay: An augmented reality serious game allowing children to program intelligent environments. In M. L. Gavrilova, C. J. K. Tan, J. Chang, & N. M. Thalmann (Eds.), *Transactions on computational science XXXVII: Special issue on computer graphics* (pp. 144-169). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-61983-4_9

Sun, J. C.-Y., & Hsu, K. Y.-C. (2019). A smart eye-tracking feedback scaffolding approach to improving students' learning self-efficacy and performance in a C programming course. *Computers in Human Behavior*, *95*, 66-72. https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.01.036

Sun, J. C.-Y., Yu, S.-J., & Chao, C.-H. (2019). Effects of intelligent feedback on online learners' engagement and cognitive load: The case of research ethics education. *Educational Psychology*, *39*(10), 1293-1310. https://doi.org/10.1080/01443410.2018.1527291

Sun, J. C.-Y., Yu, S.-J., Lin, S. S. J., & Tseng, S.-S. (2016). The mediating effect of anti-phishing

self-efficacy between college students' Internet self-efficacy and anti-phishing behavior and gender difference. *Computers in Human Behavior*, *59*, 249-257. https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.02.004

Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry "triplet". *International Journal of Science Education*, *33*(2), 179-195. https://doi.org/10.1080/09500690903386435

Thorat, S. A., & Jadhav, V. (2020, April). *A review on implementation issues of rule-based chatbot systems*. International Conference on Innovative Computing & Communications (ICICC), New Delhi, India. https://doi.org/10.2139/ssrn.3567047

Topal, A. D., Eren, C. D., & Geçer, A. K. (2021). Chatbot application in a 5th grade science course. *Education and Information Technologies*, *26*(5), 6241-6265. https://doi.org/10.1007/s10639-021-10627-8

Tsai, C.-Y. (2019). Improving students' understanding of basic programming concepts through visual programming language: The role of self-efficacy. *Computers in Human Behavior*, *95*, 224-232. https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.11.038

Yang, X., Zhang, M., Kong, L., Wang, Q., & Hong, J.-C. (2021). The effects of scientific self-efficacy and cognitive anxiety on science engagement with the "question-observation-doing-explanation" model during school disruption in COVID-19 pandemic. *Journal of Science Education and Technology*, *30*(3), 380-393. https://doi.org/10.1007/s10956-020-09877-x

Yip, J., Wong, S.-H., Yick, K.-L., Chan, K., & Wong, K.-H. (2019). Improving quality of teaching and learning in classes by using augmented reality video. *Computers & Education*, *128*, 88-101. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.014

Yu, S.-J., Hsueh, Y.-L., Sun, J. C.-Y., & Liu, H.-Z. (2021). Developing an intelligent virtual reality interactive system based on the ADDIE model for learning pour-over coffee brewing. *Computers & Education: Artificial Intelligence*, *2*, Article 100030. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100030

Yu, S.-J., Sun, J. C.-Y., & Chen, O. T.-C. (2019). Effect of AR-based online wearable guides on university students' situational interest and learning performance. *Universal Access in the Information Society*, *18*(2), 287-299. https://doi.org/10.1007/s10209-017-0591-3

Zarkadis, N., Papageorgiou, G., & Stamovlasis, D. (2017). Studying the consistency between and within the student mental models for atomic structure. *Chemistry Education Research and Practice*, *18*(4), 893-902. https://doi.org/10.1039/C7RP00135E

科學教育學刊
2023, 第三十一卷第一期, 53-79
DOI:10.6173/CJSE.202303_31(1).0003

Contemporary Journal of Science Education
2023, 31(1), 53-79

Effects of Integrating Chatbots and Augmented Reality on University Students' Science Learning Self-Efficacy and Engagement: The Case of a Scientific Simulation Experiment

Shih-Jou Yu, Yi-Wen Liu and Jerry Chih-Yuan Sun*
Institute of Education, National Yang Ming Chiao Tung University

Abstract

This study aimed to examine the effect of incorporating chatbots and augmented reality on university students' science learning self-efficacy and engagement in a scientific simulation experiment. A total of 89 students, who did not have the law of gases knowledge and the experience of using chatbots to learn, were randomly divided into four groups: traditional learning group, chatbot group, augmented reality group, and chatbot with augmented reality group. Before the experiment, students completed a pre-test of the science learning self-efficacy scale. After completing the learning task, the students completed a post-test of the science learning self-efficacy scale, an engagement scale, and an open-ended questionnaire. The results of the Johnson-Neyman technique indicated that students with low science learning self-efficacy were suitable for traditional learning, augmented reality, and the chatbot with augmented reality for increasing science learning self-efficacy. For students with low higher-order cognitive skills sub-dimension of science learning self-efficacy, the use of traditional learning and augmented reality helped improve the higher-order cognitive skills sub-dimension. In addition, the expertise reversal effect was shown between the chatbot with augmented reality group and the chatbot group in the higher-order cognitive skills sub-dimension. The engagement of the augmented reality group was significantly higher than that of the chatbot group. It is suggested that instructors can consider students' science learning self-efficacy levels before student learning and choose suitable feedback. Lastly, the format of augmented reality material helps improve students' engagement.

Key words: Science Education, Science Learning Self-Efficacy, Chatbot, Engagement, Augmented Reality

* Corresponding author: Jerry Chih-Yuan Sun, jerrysun@nycu.edu.tw; ORCID: 0000-0002-7892-4313
Received: 2022/12/11, Revised: 2023/3/9, Accepted: 2023/3/24, Available Online: 2023/5/31