

**【附件三】成果報告**（此為格式範例，詳情請見[格式說明](#)；請於系統端上傳 PDF 檔）

**封面 Cover Page**

教育部教學實踐研究計畫成果報告

Project Report for MOE Teaching Practice Research Program

計畫編號/Project Number：PMS1110086

學門專案分類/Division：數理學門

計畫年度：111 年度一年期 110 年度多年期

執行期間/Funding Period：2022.08.01 – 2023.07.31

普物電磁學實驗 PhET 模擬程式輔助教學之研究  
普通物理實驗（二）

計畫主持人(Principal Investigator)：謝立宜

協同主持人(Co-Principal Investigator)：甘宏志、陳姚真

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：中正大學／物理學系

成果報告公開日期：立即公開 延後公開（統一於 2025 年 7 月 31 日公開）

繳交報告日期(Report Submission Date)：2023 年 9 月 20 日

普物電磁學實驗 PhET 模擬程式輔助教學之研究

一. 本文

1. 研究動機與目的

(1)本系普物實驗的進展與目前困境

本系於普通物理實驗課程不斷持續進行創新與優化，提升教學品質，與時俱進，切合相關產業界的發展與需要。2005 年本系引進在麻省理工學院的普通物理創意互動教學法(TEAL)教學方式，改革普通物理教學與普通物理實驗[1-3]。其後依據學生學習上困難問題，持續改進教學，提供卡通畫板式的說明及實驗實作的影片，使學生更了解實驗內容。2019 年也進行「普通物理力學實驗智慧創客教學之探究」之計畫，引入 Arduino 介面系統，將工業 4.0 智慧生產的基本元素，即介面的控制，訊息的擷取與處理，程式語言的撰寫等內容，導入課程中，已顯著改善本系每學年上學期普通物理實驗力學實驗之教學。具體而言，在教學後，「力學實驗設計概念與架設能力」、及「程式設計概念與撰寫能力」皆顯著提升。而且，此計畫能有效建置普物實驗力學課程之智慧創客教學模組，使學生迅速精準地驗證物理定律；同時提升教學相關器材費用之成本效益。學生訪談結果也顯示，學生在教學後已具備自行設計實驗之基礎能力[4-5]。

然而相較於上學期普物力學實驗，下學期普物電磁學實驗課程對學生學習而言是迥然不同的挑戰。普物電磁學包括電學、磁學、電路學，其中所使用的實驗儀器包含三用電表、麵包板、示波器和波形產生器等，由於絕大多數學生在高中學習階段並未使用過上述儀器進行觀察與測量，實驗儀器的操作成為學生學習的首要挑戰。例如示波器與波形產生器之操作與調整，學生只能從實驗講義得到部分的操作概念，實驗課前無法練習儀器之操作。雖在課程中教師有充分的教學說明，但整體而言學生對於實驗及儀器缺乏練習與複習的機會，以致大部分學生需要較長的時間達成預期的學習成效。此現象在期末操作考試尤其明顯，以 104 學年至 108 學年之期末操考成績為例(表 1)，104 學年期末操作考學生的失敗率高達 40%以上，雖然經過多次對於教才與教法的改進，例如講義改寫、增加 ppt 圖文並茂的說明、操作影片的示範等，實驗操作考成績失敗率逐年減少至 24.6%，但學生需要較長的學習時間達成對電磁學實驗與儀器操作的熟悉度仍然是普物電磁學實驗的主要困境。

表 1:歷屆電磁學實驗操作考成績不及格人數及失敗率

歷屆電磁學實驗 (學年-學期)	104-2	105-2	106-2	107-2	108-2
期末操作應考人數	455	446	424	361	349
不及格人數	187	114	167	111	86
失敗率	41.7%	25.6%	39.4%	30.7%	24.6%

如圖 1 所示。學生在實驗前需閱讀實驗講義，並參考 ppt，並觀賞實驗操作影片，以兩頁文字結合圖表，撰寫預習報告，作為課前預習主要工作與準備。在實驗課中，學生依據老師的講解，實驗講義及預習報告內容，架設實驗，進行實驗數據讀取，然後進行數據處理與分析，以表格與圖形方式呈現實驗結果。助教依據學生之測量結果與數據分析結果評定實驗成績。本系之普通物理電磁學實驗課程之成績評定著

重學生於實驗課中所得到的測量，數據分析與計算結果，最後並以表格與圖形呈現實驗結果，以此訓練學生正確的基礎實驗操作及數據分析概念。

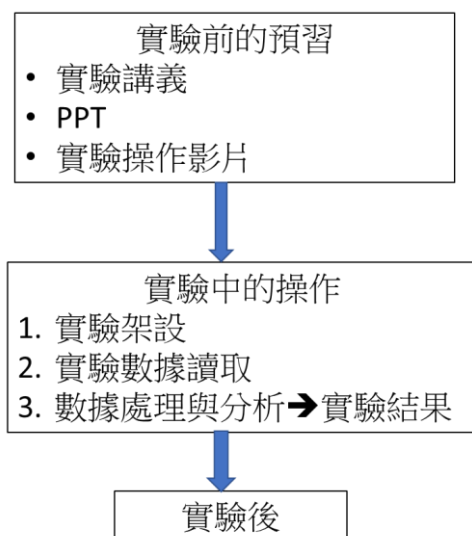


圖 1：現行教學模式

此種教學模式的限制是學生在預習僅限於閱讀教材，觀看影片，欠缺實際操作機會。在實驗課中，學生才實際進行操作。實驗課後則無重新複習練習，導致大部分課程的學習變成片段式的學習，無法逐課累積經驗，導致期末操作考高失敗率的現象。

## (2)研究目的

本研究計畫之目的為開發教學方法及教具使修習普通物理電磁學實驗之學生於教課時間之外，可以練習及複習實驗儀器之操作與測量。

以圖 2 所顯示之克希爾夫實驗（左圖）及 RLC 直流實驗（右圖）為例。學生於實驗操作中，需將電阻、電容、電感等元件在麵包板上按實驗講義之說明安裝架設電路，並使用電源供應器或信號產生器驅動電路，最後使用三用電錶或示波器進行實驗量測。如前所述，現行之教學模式中，學生只有在實驗課程進行中才有機會實踐操作圖中的儀器與設備。課前及課後只有只能依賴實驗講義、ppt 與影片想像或回憶實驗的操作，因此學生對於三用電表、示波器和信號產生器等常用之儀器欠缺熟悉度。課程中需花費相當的時間先複習儀器之操作後，始能開始進行實驗之預定測量。

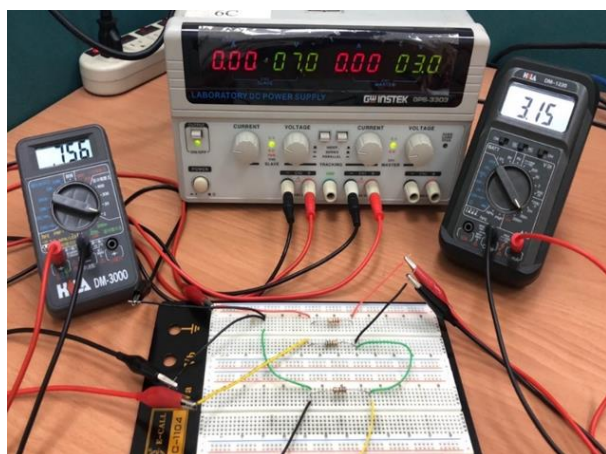


圖 2A：實驗六克希爾夫實驗

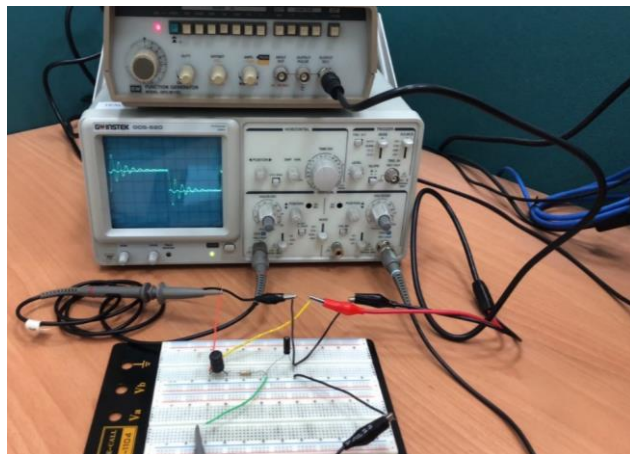


圖 2B：實驗十 RLC 直流實驗

為解決學生對於教學實驗儀器熟悉度的問題，本計畫擬開發 PhET 模擬程式，針對個別實驗設計客製化 PhET 模擬程式軟體，並規劃學生於課前使用此 PhET 軟體程式完成預定之操作練習，透過網路模擬互動的方式，增進學生於課前對於個別儀器操作與整體實驗的熟悉度。並研究運用此模擬程式之輔助教學是否可解決上述普通物理電磁學實驗學生之學習困境。

## 2. 研究問題

基於上述研究動機與目的，本計畫之研究問題是：

普物電磁學實驗 PhET 模擬程式輔助教學是否對學生實驗設計與儀器操作能力、實驗操作及數據分析能力、普物電磁學基本現象及實驗原理、單元實驗操作能力等學習表現有影響？

為執行此研究，本計畫需先依現行普物電磁學實驗教材及實驗設計建置 PhET 線上互動教學模擬程式。

## 3. 文獻探討

物理教育科技(Physics Education Technology, PhET)是由 2002 年諾貝爾物理獎得主，科羅拉多大學的 C. Wieman 教授所主持計畫發展的軟體，目的為以互動式模擬軟體幫助學生學習[6]。現在已發展的教學模擬互動程式包含物理、化學、數學、地球科學與生物等領域。在物理領域裡，Finkelstein 及 Wieman 團隊[7,8]在普通物理電磁學實驗課程中以電路實驗進行 PhET 模擬程式對學生學習成效的影響的教學研究，如圖 3，其中對照組學生僅操作實體電路架設及測量，實驗組學生則僅使用虛擬 PhET 互動式模擬程式練習電路架設，及進行電流與電壓測量。對照組及實驗組都有相同普通物理理論課程，兩組學生以同樣的試題進行測驗：結果顯示在實驗電路組裝上所花費的時間，實驗組短於對照組；在觀念理解程度上，實驗組也優於對照組。此實驗結果顯示 PhET 互動模擬程式之應用在普通物理實驗課程中，對於學生的測量實作與觀念理解有極大的幫助。

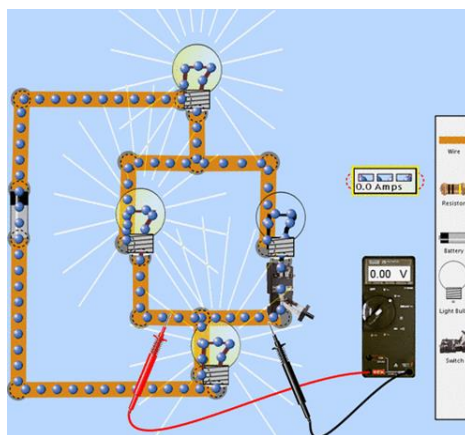


圖 3:電路實驗的 PhET 介面

此外，Promail 團隊利用相同的 PhET 模擬程式輔助高中學生的電路實驗課程[9]，大幅提升了學生對於電路實驗觀念的理解。在辛巴威等教學資源缺乏的地區，Manunure 團隊以 PhET 互動式模擬程式建立虛擬實驗室[10]，幫助學生在實體資源缺

乏的情形，仍能夠建立物理抽象概念及對實驗操作的概念。Clark 團隊 [11] 也將 PhET 互動式模擬程式應用在化學實驗課程的教學。

在量子化學實驗課程中他們使用 PhET 互動模擬程式輔助學生對氫原子模型的理解，如圖 4。在模擬程式裡，學生能從氫原子模型裡看到電子軌域，再藉由操作 PhET 模擬程式觀察電子軌域的各種變化，深入了解氫原子中電子軌域的特性。

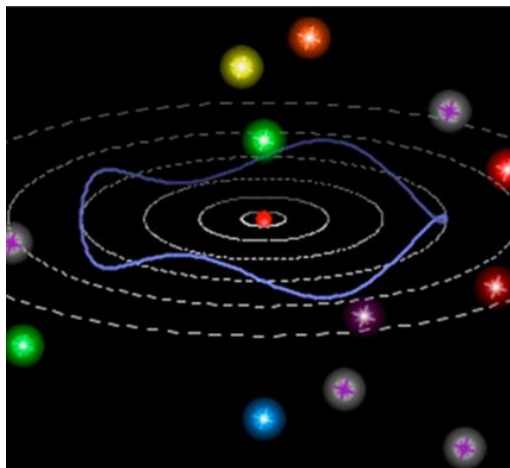


圖 4：氫原子模型電子軌域分布

最後，C. Wieman 團隊在其 PhET 官方網站上也提供了以下研究成果：

- PhET 在實驗上能幫助學生在觀念上的理解，但學生仍須於教學現場操作實驗以達成學習目標。
- 即使 PhET 設計得再有趣，還是有學生嘗試之意願低落，因此，老師在課堂上要提供誘因或要求，例如成績，使學生產生動機，願意嘗試 PhET 程式，輔助學生學習。
- 在實驗教學中，PhET 是很有效的學習工具，但操作內容必須簡單直接，讓學生與實驗的實際操作產生連結，提升學習成效。

因此本研究將建置之普物電磁學實驗 PhET 模擬程式，其目的並非為取代實際實驗操作，而是輔助學生於課前以操作模擬程式來建立先備知識，於課中依預習心得驗證實驗操作進行測量與數據分析來完成實驗，教師根據學生於平時實驗課程中所得到的實驗成果給予成績評量，來激發學生使用 PhET 模擬程式進行課前預習的意願，並鼓勵學生於課後持續使用 PhET 模擬程式所提供的題組延伸自主學習。同時本研究擬建置的普物電磁學實驗 PhET 模擬程式將朝向易於操作、使學生對於模擬程式及實驗實作能產生直覺上的連結為目標。

#### 4. 教學設計與規劃-PhET 模擬程式之建置

本計畫之 PhET 模擬程式之建置分為 (1) PhET 模擬程式設計與完成，與(2) 教學平台架設。

##### (1) PhET 模擬程式設計與完成

本系普通物理電磁學實驗課程包含 11 項實驗，為達到學生學習儀器功用與操作的教學目的，本計畫客製化設計各個實驗的 PhET 模擬程式軟體。讓學生在課堂實驗前即可以模擬方式練習電磁學實驗之實驗儀器操作。本計畫完成建置 7 項普物電磁學實驗 PhET 模擬程式如表 2 所示：

表 2：「普物電磁學實驗」課程規劃表與對應實驗的 PhET 線上模擬程式

實驗名稱	使用儀器	PhET 線上模擬程式
三：等電位實驗	三用電表	直流電壓測量
五：歐姆定律及電容實驗	三用電表	三用電表使用與接線
六：克希荷夫	麵包板 三用電表	麵包板接線 三用電表電壓與電流測量
二：示波器與波形產生器教學	示波器 波形產生器	示波器的使用 波形產生器的使用
七：RC 直流電路	麵包板 示波器 波形產生器	麵包板接線 示波器的使用 波形產生器的使用
十：RLC 直流電路	麵包板 示波器 波形產生器	麵包板接線 示波器的使用 波形產生器的使用
十一：RLC 交流電路	麵包板 示波器 波形產生器	麵包板接線 示波器的使用 波形產生器的使用

以圖 2 所示之克希荷夫實驗與 RLC 直流電路實驗為例，圖 5A 顯示實驗六克希荷夫實驗的 PhET 模擬程式的操作網頁，學生需完成麵包板上的電源供應器與電路架設，再進行兩個三用電表的測量。圖 5B 則是實驗十 RLC 直流實驗完成的的模擬程式的操作網頁。學生可在網頁上進行 RLC 線路在麵包板的架設，選擇波形行產生器的頻率與振幅，再選擇不同的頻寬與振幅領域呈現在示波器螢幕的結果。任何在波形產生器與示波器的改變，即刻在示波器的螢幕上顯現，達到互動回應的功能。

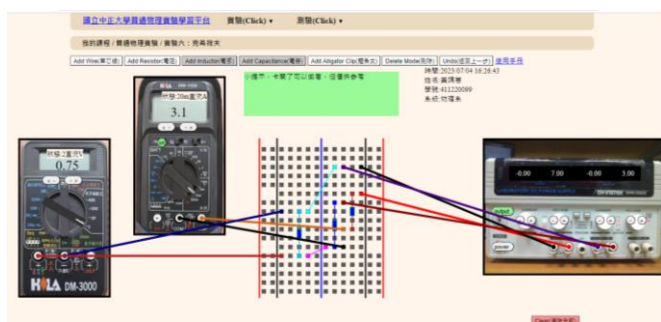


圖 5A：克希荷夫實驗之 PhET 模擬程式



圖 5B：RLC 直流實驗之 PhET 模擬程式

## (2) 教學平台架設

完成之普物電磁學實驗 PhET 模擬程式放置於全校性教學平台，如圖 6 上方標示。為教導學生學習使用 PhET 模擬程式進行實驗模擬，課程實驗講義改寫，並加入多個不同 PhET 模擬程式簡單操作影片與使用 PhET 模擬程式進行指定實驗過程操作的教學影片，如圖 7 下方標示。預習報告也隨之改變為呈現 PhET 模擬程式下的實驗結果。



圖 6：全校性教學平台

## 5. 研究設計與執行方法

### (1) 研究架構

本研究採用準實驗研究法，探究在物理電磁學實驗教學中，納入 PhET 模擬程式輔助教學，以評估學生的學習成效，研究架構如圖 7:

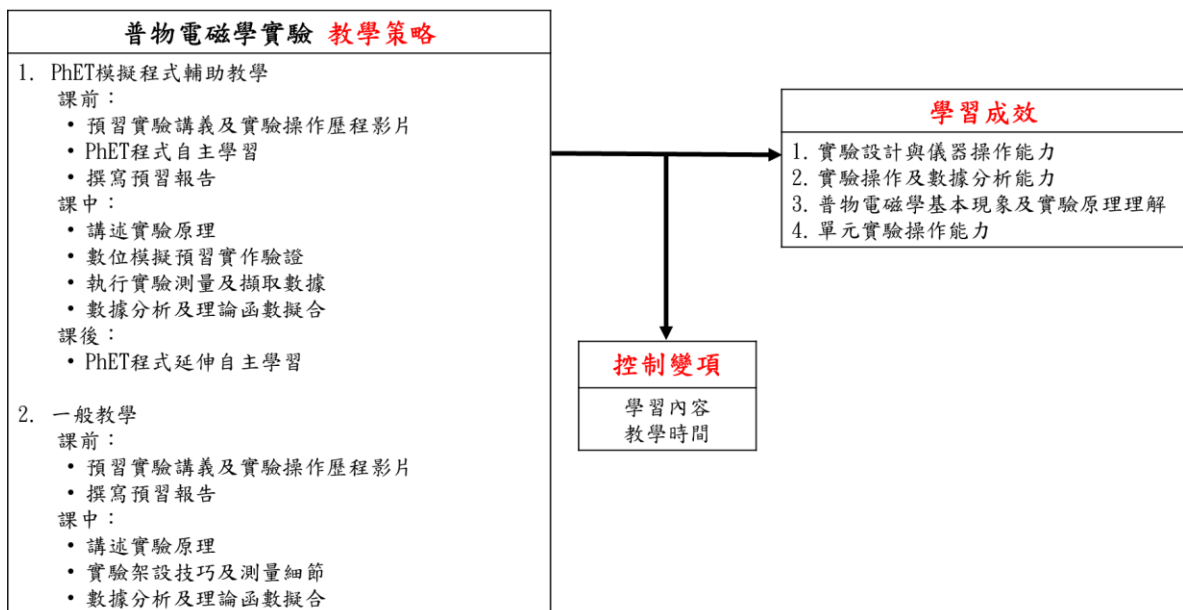


圖 7：普物電磁學實驗 PhET 模擬程式輔助教學研究架構圖

本研究的自變項為教學策略，包含 PhET 模擬程式輔助教學(實驗組)及一般教學(對照組)。對照組學生在課前需預習實驗講義、觀看實驗操作歷程影片及撰寫預習報告；在課中由教師講述實驗原理，學生架設實驗及進行測量，並分析數據，以完成實驗。實驗組在教學設計上除了上述之外，還增加了課前的 PhET 數位模擬實驗教學程式自主學習；課堂中學生依據數位模擬預習經驗進行實作驗證；及課後的 PhET 數位模擬題組測驗延伸自主學習。本計畫的依變項為學習成效，包括學生的實驗設計與儀器操作、實驗操作及數據分析能力、普物電磁學基本現象及實驗原理評量、單元實驗操作能力等學習表現。控制變項則包含學習內容、學習時間，並以前一學期共同修習

的普通物理理論課學期成績做為共變數。

## (2)研究範圍

本計畫主要以本校理工學院學士班一年級下學期普物電磁學實驗課程為研究範圍，建置 PhET 數位模擬實驗教學程式的輔助教學，培養學生自主學習能力，並激發學生探究實作的想像力與執行力，以達到學用合一之教學目標。

## (3)研究對象與場域

本計畫以 111 學年度第二學期本校工學院學士班一年級化工系、通訊系做為實驗組，有效樣本數為 68 名學生，另外以理學院學士班一年級地環系及化生系有效樣本數 85 名學生為對照組(表 5)，兩組在前一學期都會修習普通物理力學課程，但實驗組的通訊系學生因系上開課的考量不會修習普通物理力學實驗課程。對照組與實驗組化工系的學生都會修習融入 Arduino 微電腦模組的普物力學實驗。

表 3：研究對象與先備知識

組別	科系	人數	修課經驗	
			普通物理	普物實驗
實驗組	通訊系	68	已修	未修習
	化工系		已修	使用 Arduino
對照組	化生系	85	已修	使用 Arduino
	地環系		已修	使用 Arduino
合計		153		

## (4)研究方法及工具

本研究採「單組前後測」準實驗設計(如表 4)，考驗普物電磁學實驗 PhET 模擬程式輔助教學前後測平均數的差異顯著性。在教學前，對學生進行實驗設計與儀器操作之前測，其次以學生小組成就區分法(STAD)進行異質性分組，接著實施教學，最後進行後測，以檢驗學習變化。此外，本研究也將比較有修習普物力學實驗的化工系學生與未修習的電機系與通訊系學生之實驗設計與儀器操作後測表現。同時，為了檢驗 PhET 模擬程式輔助教學與一般教學的學習成效差異，本研究以 111-1 學期的普通物理理論課學期成績做為共變數，排除學生先備知識對學習結果的影響，檢驗實驗與對照兩組學生的學習成就平均數差異顯著性(表 5)。

表 4：「單組前後測」準實驗設計

組別	前測	實驗處理	後測
實驗組 (化工、通訊)	O1	X	O2

X：PhET 模擬程式輔助教學

O1, O2：實驗設計與儀器操作能力前、後測



表 5：不等組前後測準實驗設計

組別	前測	實驗處理	後測
實驗組 (化工、通訊)	01	X	05
	03		07
			09
			011
對照組 (化生、地環)	02		06
	04		08
			010
			012

X：PhET 模擬程式輔助教學

O1, O2：兩組實驗設計與儀器操作能力前測

O3, O4：兩組普通物理理論課學期成績

O5, O6：兩組期末操作考(學習成就評量 1)

O7, O8：兩組期末筆試(學習成就評量 2)

O9, O10：兩組各 11 次當週實驗成績(學習成就評量 3)

O11, O12：兩組實驗設計與儀器操作能力後測

本研究兼採質性研究，將於期末對學習成就評量結果高、中、低三組的學生，以立意取樣方式，選取 6 人進行個別訪談，搜集學生對 PhET 模擬程式輔助教學的回饋意見，主要訪談問題包括教學安排、教材內容、學習評量之建議及課程滿意度等。此外，教師也以課室觀察及教學省思札記，搜集相關資料，並與量化分析結果及學生回饋進行三角檢核，以建立本研究的信實度，並做為教學成效評估及日後教學改善的依據。

本計劃之量化研究工具包含：實驗設計與儀器操作能力前後測、實驗操作及數據分析能力實作評量、普物電磁學基本現象及實驗原理評量、單元實驗操作能力實作評量。上述工具均經難易度、鑑別度及信效度分析；而質性研究工具則為學生訪談大綱。

- 實驗設計與儀器操作能力前、後測  
(儀器功能、電路板接法、信號分析、電磁學基礎知識)
- 實驗操作及數據分析能力評量(期末操作考)
- 普物電磁學基本現象及實驗原理評量(期末筆試)
- 11 次當週實驗操作能力評量(平時實驗成績)
- 訪談大綱：學生訪談

##### (5)資料處理與分析

本研究收集之量化與質性資料，將分別採用下列方法進行統計分析與內容分析：

- 以 SPSS 進行相依樣本 t 檢定分析實驗組(化工系、通訊系)學生在 PhET 模擬程式輔助教學前後實驗設計與儀器操作的差異，以了解 PhET 模擬程式輔助教學對學生實驗設計與儀器操作能力的影響。
- 以通訊系 (實驗組、未修習普物力學實驗)與化工系(實驗組、已修習普物力學實驗)學生的實驗設計與儀器操作能力前測為共變數，進行單因子共變數分析，考驗這兩群學生在實驗設計與儀器操作能力後測的差異顯著性，以了解 PhET 模擬程式輔助教學對有無普物力學實驗修課經驗學生在實驗設計與儀器操作能力的影響。
- 以實驗組(化工系、通訊系)及對照組(地環系及化生系)學生前一學期的普通物理理論課學期成績為共變數，進行單因子共變數分析，考驗兩組學生在實驗操作及數據分析能力 (期末操作考)、普物電磁學基本現象及實驗原理測驗 (期末筆試)、單元實驗操作能力 (10 次期中實驗成績) 的差異顯著性，以了解 PhET 模擬程式輔助教學對學生上述三項學習成就的影響。
- 以內容分析法提取學生訪談內容之主題與意義，並歸納訪談結果。

#### (6)實施程序:

本計畫之課程準備工作包括建置 PhET 數位模擬實驗教學程式、測試可行性及講義改寫，在學期開始前將 PhET 模擬程式納入實驗測量架設及介面程式設計規格。學期中教學工作包括訓練助教、教學課室觀察及記錄及檢討會議。下學期普物電磁學實驗教學實施流程。

## 6. 教學暨研究成果

### (1)教學過程與成果

本計畫的各周實驗教學進度如表 6：

表 6：普物電磁學實驗 PhET 程架構

週數	實驗名稱	使用儀器	PhET 線上模擬程式
第 1 週	課程簡介、實驗設計與儀器操作前測		
第 2 週	實驗一：靜電實驗及靜電場模擬		
第 3 週	實驗三：等電位實驗	三用電表	直流電壓測量
第 4 週	實驗四：靜電力實驗		
第 5 週	實驗五：歐姆定律及電容實驗	三用電表	三用電表使用與接線
第 7 週	實驗六：克希荷夫實驗	麵包板 三用電表	麵包板接線 三用電表電壓與電流測量
第 8 週	實驗二：示波器與波形產生器教學	示波器 波形產生器	示波器的使用 波形產生器的使用
第 9 週	實驗七：RC 直流電路	麵包板 示波器 波形產生器	麵包板接線 示波器的使用 波形產生器的使用

第 10 週	實驗八：磁力實驗		
第 12 週	實驗九：法拉第定律		
第 13 週	實驗十：RLC 直流電路	麵包板 示波器 波形產生器	麵包板接線 示波器的使用 波形產生器的使用
第 14 週	實驗十一：RLC 交流電路	麵包板 示波器 波形產生器	麵包板接線 示波器的使用 波形產生器的使用
第 16 週	期末成就測驗及操作考試		
第 17 週	實驗設計與儀器操作後測、學生訪談		

為探究普物電磁學實驗 PhET 模擬程式輔助教學對學生「實驗設計與儀器操作能力」之影響，本研究以相依樣本  $t$  檢定對實驗組學生對此能力前後測之平均數進行差異顯著性考驗。結果（見表 7）顯示，前後測的平均值達顯著差異，後測均顯著高於前測， $[t(67)=11.95, p<.01, d=1.42]$ 。亦即學生在教學後，此能力有明顯的進步，因此普物電磁學實驗 PhET 模擬程式輔助教學能有效提升學生在電磁學實驗之實驗設計與儀器操作能力。

表 7：實驗組-普物實驗設計概念與架設能力  $t$  檢定摘要表 ( $N = 68$ )

項目	$\bar{x}$ ( $SD$ )		$df$	$t$	$p$	效果量 ( $d$ )
	前測	後測				
實驗設計 與儀器操作 能力	7.26 (2.08)	10.10 (1.92)	67	11.95**	0.00	1.42

\*\* $p<.01$

為進一步分析普物電磁學實驗 PhET 模擬程式輔助教學的成效，以共變數分析比較實驗組與對照組的四項學習成就評量測驗成績。在實驗設計上，為避免實驗處理教學以外的其他變數影響本課程的實驗效果，採單因子共變數分析，比較實驗組與對照組在學習成就上之差異。即以兩組學生在前學期理論課成績作為共變數，考驗兩組學生在四項學習成就評量測驗之平均數差異顯著性。各學習成就進行排除前學期理論課成績得分因素影響的單因子共變數分析（見表 8）。結果發現在實驗操作及數據分析能力及實驗與設計與儀器操作的表現上，教學方法與平時實驗操作考的「主要效果」之  $F$  值 $[F(1, 153) = .83, MSE = 102.39, p = .36 > .05; F(1, 153) = .69, MSE = 2.41, p = .41 > .05]$ 未達顯著水準。而在普物電磁學基本現象及實驗原理理解及單元實驗操作能力，教學方法與學習成就評量的「主要效果」之  $F$  值 $[F(1, 153) = 17.03, MSE = 2622.70, p = .00 < .01; F(1, 153) = 6.67, MSE = 100.42, p = .01 < .05]$ 達顯著水準，顯示普物電磁學實驗 PhET 模擬程式輔助教學可提升普物電磁學基本現象、實驗原理理解、及單元實驗操作能力。

表 8：共變數分析摘要

項目	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MSE</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	$\eta^2$
實驗操作及數據分析能力	1020.39	1	102.39	.83	.36	.01
普物電磁學基本現象及實驗原理理解	2622.70	1	2622.70	17.03**	.00	.13
單元實驗操作能力	100.42	1	100.42	6.66 *	.01	.04
實驗與設計與儀器操作能力後測	2.41	1	2.41	.69	.41	.01

\*\* $p < .01$ 、\* $p < .05$

由兩組受試者在學習成就評量的調整後平均數（表 9）可知實驗組在普物電磁學基本現象及實驗原理理解及單元實驗操作能力的表現優於對照組，而實驗操作及數據分析能力及實驗與設計與儀器操作則無差異。顯示普物電磁學實驗 PhET 模擬式輔助教學有助於普物電磁學基本現象及實驗原理理解及單元實驗操作能力的學習表現。

表 9：不同教學方法之調整後平均數及標準差

項目	實驗組	對照組	備註
實驗與設計與儀器操作能力前測	7.76 (0.24)	6.76 (0.22)	滿分 17
實驗操作及數據分析能力	63.69 (4.34)	58.32 (3.86)	滿分 100
普物電磁學基本現象及實驗原理理解	41.98 (1.53)	33.37 (1.36)	滿分 100
單元實驗操作能力	85.95 (0.48)	84.26 (0.43)	滿分 100
實驗與設計與儀器操作能力後測	9.90 (0.23)	9.64 (0.21)	滿分 17

## (2) 教師教學反思

普物電磁學實驗 PhET 模擬程式軟體輔助教學的成功關鍵在於模擬程式軟體的開發，程式軟體上教學平台與搭配學習 PhET 軟體的影片和老師教學的提醒與鼓勵與助教的在軟體上的協助。

整體教學成效評量，本研究使用四項教學項目作為教學評量，如表 8 所示。分析結果顯示實驗組在期末筆試及平時實驗成績的表現優於對照組，而期末操作考及實驗前後測則無差異。

實驗前後測主要是測驗學生對儀器基本功用的測試。前測實驗組雖比對照組成績稍高，更重要評比在後測，兩者之間差別極小。但在期末筆試(普物電磁學基本現象及實驗原理解)上，實驗組明顯優於對照組，而期末筆試題目偏向較複雜的實驗操作與實驗分析。兩個結果在顯明儀器的熟悉度學習有不同的深淺。簡單的儀器操作認識可由實驗時接觸儀器達到。然對儀器所提供的功能與數值幫助學生進行分析，明顯地 PhET 模擬程式軟體達到此目的。

在實際教學領域上，每個實驗所面臨的問題都不同。呈現在期末 7 項實驗操作考題目的失敗率多不相同。對照組與實驗組在個別實驗的表現也能呈現雙方學習的差別，需要細部分析，對日後微調教才與教法會有極大的幫助。

### (3) 學生學習回饋

本研究將實驗組學生在期末筆試的得分，分成高分組、中分組及低分組，並從各組分別隨機挑選兩位學生，進行 6 位學生的教學訪談。綜合訪談的主要結果如下：

- PhET 模擬程式輔助教學對實驗的助益
  - 波型產生器與實驗的操作感最一致，且顯示數值正確無誤。
  - 麵包板、電路設計 只要有麵包板電路的連結概念就大致能讀懂
- PhET 模擬程式輔助教學待改進之處
  - 示波器的顯示與實際操作最有差異，常出現不同的圖型。
  - 三用電錶、示波器與實際操作有落差，手動調整時產生的數值誤差較大
  - 模擬實驗介面與實際操作仍有落差，建議課前可開放學生使用
  - 部分實驗可彈性調整時數，如 RLC 實驗。
  - 增設鱷魚夾連續及刪除功能
  - 麵包板的操作可事前提供預習
  - 麵包板相關實驗改成 3D 模式電路圖
- 實驗講義及操作影片對課堂實作有幫助，若實驗講義能多些圖片輔助文字會更好。
- 傳統預習作業及線上平台作業對學習互不衝突，建議各實驗都同時進行，並依實驗難度調整作業份量比例；傳統預習作業有助組織整個實驗流程；而線上平台作業能增加腦中畫面感(如 RC 直流電路模擬操作有助觀念理解)；線上平台作業到了中期之後，許多前期操作都與前幾週有相同之處，建議可階段性去除。
- 肯定教師及助教的指導態度，但希望增加助教人數
- PhET 模擬程式輔助教學對課程的助益  
(滿分 10 分，四位 8 分、二位 7.5 分，平均 7.83 分)
- 課程整體滿意度  
(滿分 10 分：一位 9 分、四位 8 分、一位 7 分，平均 8 分)

## 7. 建議與省思

此計畫普物電磁學普物 PhET 模擬程式軟體的建立的確對普物實驗有很多的幫助。這對理工科有關電路學實驗，機械操作實驗等類似實驗提供預習前手操作的經驗。此計畫成功在於目標確定，欲達到的功能明確，對專門實驗提出各自客製化 PhET 模擬程式軟體。在學生正確的操作下，做有限度地展開，讓學生對偏離方向時即刻看到實際出現影像，進而判斷與修正，真正建立對此特一實驗操作概念，達到此計畫的目的。

全方位展開多功能的 PhET 模擬程式軟體只會造成學生學在複雜的按鈕中及無窮的嘗試中容易失去學習的方向。這是此計畫與 C. Wieman 團隊在其 PhET 官方網站上提議的 PhET 模擬程式軟體的差別之處。

## 二. 參考文獻 References

- [1] Dori, Y. J., Belcher, J., Bessette, M., Danziger, M., McKinney, A., & Hult, E. (2003). Technology for active learning. *Materials Today*, 6(12), 44-49.
- [2] Dori, Y. J. & Belcher, J. (2005). How does technology-enabled active learning affect undergraduate students' understanding of electromagnetism concepts? *The Journal of the learning sciences*, 14(2), 243-279.
- [3] 周志偉、陳姚真、甘宏志、梁贊全、包健華 (2010) 創意互動教學對大學普通物理學習成效影響之研究，發表於「第 26 屆科學教育學術研討會：機會與平權—多元科學教育新趨勢」，東華大學，12/10-12/2010。
- [4] 謝立宜、甘宏志、陳姚真、蕭和典 (2020)。普通物理實驗創客教學之探究。2020 全國物理教育聯合會議，淡江大學，2020/8/20-22。
- [5] 謝立宜、甘宏志、陳姚真、蕭和典 (2020)。普通物理實驗創客教學之探究。教育部教學實踐研究計畫成果報告-數理學門，交通大學，2020/8/24-25。
- [6] University of Colorado Boulder. *Physics Education Technology*. Retrieved October 5, 2020, from [https://phet.colorado.edu/zh\\_TW/research#other](https://phet.colorado.edu/zh_TW/research#other)
- [7] Finkelstein, N., Adams, W., Keller, C., Kohl, P., Perkins, K., Podolefsky, N., et al. (2005), "When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment," *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 1(1), 1.010103.
- [8] N. D. Finkelstein, K. K. Perkins, W. Adams, P. Kohl, and N. Podolefsky(2005), "Can Computer Simulations Replace Teal Equipment in Undergraduate Laboratories," *PERC Proceedings*.
- [9] Promail K.Y. Leung and Maurice M.W. Cheng (2021), "Practical Work or Simulations? Voices of Millennial Digital Natives," *Journal of Educational Technology Systems* 50, 48.
- [10] Kevin Manunure, Alice Delsérieys, and Jérémy Castéra (2020), "The effects of combining simulations and laboratory experiments on Zimbabwean students' conceptual understanding of electric circuits," *Research in Science & Technological Education* 38, 289.
- [11] M. Clark, & J. M. Chamberlain (2014), "Use of a PhET Interactive Simulation in General Chemistry Laboratory: Models of Hydrogen Atom,". *Journal of Chemical Education*, 91(8), 1198–1202.