

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：PMS1136804

學門專案分類/Division：數理

計畫年度：☒113 年度一年期 ☐112 年度多年期

執行期間/Funding Period：2024.08.01 – 2025.07.31

基礎物理實驗課程之學生學習改進評估:分析從實驗前到實驗後的轉

變/Evaluating Improvements in Student Learning during Fundamental Physics

**Experimental Classes: Analyzing Pre-Lab Preparation to Post-Lab
Transformations**

計畫主持人(Principal Investigator)：吳勝允

協同主持人(Co-Principal Investigator)：

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：國立東華大學 / 物理系

成果報告公開日期：☒立即公開 ☐延後公開

繳交報告日期(Report Submission Date)：2025 年 9 月 15 日

計畫名稱

基礎物理實驗課程之學生學習改進評估:分析從實驗前到實驗後的轉變

一、本文 (Content)

前言

本報告旨在深入探討國立東華大學物理系「基礎物理實驗課程」在課程實施後對學生學習成效所造成的具體影響，聚焦於學生在課前與課後於三大學習指標：「實驗摘要內文理解」、「理論說明掌握」與「操作方法熟悉度」之變化。本研究採用配對式量化問卷為主要評量工具，輔以質性回饋資料，檢視整體課程結構、模組設計與學習策略之有效性，實驗課程內容詳見**附錄 1:表格 S1-S2**。

首先介紹問卷設計與統計方法，接著分別討論第一學期與第二學期（共 16 個實驗模組）之學習成效表現，最後從數據中歸納教學設計之優勢與不足，並延伸出具體教學反思與教育意涵。

1. 研究動機與目的

本研究動機緣起於東華大學物理系多年基礎物理實驗教學的第一線觀察：傳統「食譜式」實驗與大班輪替制度，已難回應當前強調跨域數位能力與自主探究的學習需求；同時，疫情推動之遠距與可視化實驗經驗，顯示以 AIoTs、3D 列印、Arduino 與 Python 為核心的自製實驗，能有效降低成本、提升參與度，卻亟需一套系統性的「學習成效—人格特質」雙軌評估來驅動課程迭代。基於此，本計畫以 Kolb 經驗學習循環與 Bloom 認知層次為理論脈絡，針對每一項實驗建構「Pre-Lab/Post-Lab」工具、評分量規與觀察量表，從「知道—理解—應用—分析—評估—創造」全譜系，驗證學習遷移與批判思考是否確實發生。

研究目的如下：一、建立可重複、可比較的學習成效（LE）評估系統，涵蓋實驗安全、儀器原理、資料處理與科學書寫；二、發展人格特質（PT）指標（協作、責任、抗壓、主動、紀律與創新），對照產業資歷查核需求，以檢驗課程與就業能力的對接；三、比較三種實施型態——自製 AIoTs 實驗、商用套件與線上可視化——對 LE 與 PT 之差異效果；四、建置學習歷程與量規資料庫，形成期末共享與次學期校準的閉環改進機制，納入助教培訓與教案優化；五、彙整可推廣的教學模組、評量工具與實證結果，於學術社群與年會發表，供各校參採。透過上述設計，我們期望把「課前準備—課中操作—課後反思」轉化為可量測、可追蹤且能驅動創新的課程動力，最終達成以學生為中心、兼具實作深度與產業對接的基礎物理實驗課程新範式。

2. 研究問題

面對學院擴班與學生學習取向轉向軟／韌體實作，傳統基礎物理實驗已難滿足需求，亟須以新課程與系統化評估回應此挑戰。本計畫以「學習成效（LE）—人格特質（PT）」雙軌為主軸，結合系上既有之自製 AIoTs、商用套件與線上可視化三類型實驗場景，構築可比較之研究設計。

核心研究問題分三層六題：

（一）學習成效層面

Q1：學生對基礎物理實驗課程「前／後」之學習成效變化與自我評估為何？是否呈現統計上顯著的進步與遷移？

Q2：不同實施型態（自製 AIoTs、商用套件、線上可視化）在 LE 上的差異為何？哪一型態對資料處理、儀器原理與科學書寫最具增益？

（二）人格特質層面

Q3：學習成效的提升是否伴隨人格特質（如協作、責任、主動、紀律、創新）之塑形？兩者關聯的方向與強度為何？

Q4：小組規模、師生比與資源配置（允許自行組裝與嘗試錯誤）是否能有效提升溝通協作與實作自信？

（三）課程與評量設計層面

Q5：在成本限制下，開放「自行組裝—失敗—復原」歷程能否轉化為可觀測的 LE／PT 成果指標？

Q6：以 Bloom 分類建置「前測—後測—量規—觀察量表」之閉環評量，能否形成有效迴圈，持續校準教案與助教培訓？

本研究據此檢驗課前後變化、教學型態差異與 LE-PT 耦合關係，並將證據回饋於課程迭代與系統性改進。

3. 文獻探討

本研究以「經驗學習—認知層次—實作評量」為主軸。理論上，Kolb 提出之經驗學習循環（具體經驗、反思、抽象化、主動實作）提供實驗課程的教學邏輯與活動設計基礎，能驅動學生在做中學的遞迴精進；其後續研究亦強調以循環化機制連結課前準備與課後反思，有助形成可持續的學習閉環 [1-3]。同時，修訂版 Bloom 認知分類由「記憶、理解、應用、分析、評估、創造」構成，常被用來對齊課程目標、題目與評量層級，作為設計前測／後測與量規的重要框架 [4-6]。

近年實證顯示，低成本開源工具能顯著提升參與與學習成效：以 Arduino／智慧型手機建置之物理實驗課，在問卷與前後測上呈現正向增益；低成本感測亦

被證實可支持材料與力學主題的定量量測，擴大學生的操作與資料分析能力。3D 列印與自造素養的導入，除能強化抽象概念之具體化與空間想像，也被系統性回顧與課程研究指出可提升 STEM 態度與跨域整合能力，但仍需更嚴謹的學習成效證據與研究設計 [7]。在教學型態方面，疫情促發之遠距／虛擬實驗被多篇研究評估：一方面其可在資源受限情境提供訓練與信心建立，另一方面在觸覺回饋與儀器協作上仍存在侷限，顯示實作、遠距與混成模式各具優劣，亟需情境化比較[8]。評量面向上，前導活動與鷹架能提升學生在實驗中的理解與程序品質；同時，評分者訓練與採用解析型量規可顯著改善評分一致性與信度，為「可比較」的學習成效評估奠基。此外，非認知（人格／軟實力）對 STEM 表現具差異化影響，提示課程應同時追蹤協作、責任與創新等指標，以補足傳統認知評量之不足 [9]。

綜上，理論與實證均支持本研究之設計：以 Kolb 循環與 Bloom 層級整合「自製 AIoTs、商用套件、線上可視化」三種實施型態，並以標準化量規、前後測與人格特質量表進行比較與迭代，建立可推廣之基礎物理實驗教學模式。

4. 教學設計與規劃

本計畫採「模組化＋混成」設計，14 週課程分為：導入週（安全/SOP、量測與誤差、Python/Colab 與 ImageJ 上手），三大主題模組（電學、力學與振盪、光學/材料），以及期末整合專題。

每模組遵循 Kolb 循環：①概念導入與前測；②AIoTs/Arduino 與 3D 列印之實作（ESP32、ThingSpeak 雲端記錄）；③Python 資料處理與不確定度分析；④小組口頭簡報、反思與後測。

三種教學型態並行 A/B 測：自製 AIoTs、商用套件、線上可視化（PhET/模擬），比較學習成效與人格特質差異。評量採「四軌」：前/後測、解析型量規（儀器操作、資料品質、科學書寫）、觀察量表（協作、主動、責任、創新）、同儕互評與 e-portfolio。助教培訓以教案試跑與評分者校準確保信度；設備與耗材以低成本可替代清單管控，建置 SOP 與維護紀錄。風險應變：設備故障以線上模擬替代、學習落差以分層任務與補救教學處理、資料遺失以雲端版本管理。期末產出含：開源教材與程式庫、可重用量規與資料庫、學生作品集與教學工作坊，形成可擴散之課程範式。

5. 研究設計與執行方法

為深入探討課程實施對學生學習成效的具體影響，本研究設計一套結構化的學習成效問卷，並於每次實驗進行前與實驗結束後實施配對施測。問卷設計之原則，係依據學習目標導向理論（Outcome-Based Education, OBE）與布魯姆認知分

類架構（Bloom's Taxonomy），聚焦於學生對「知識理解」與「操作應用」層次的反應，結合數位教學平台與實作模組的特性，發展出具針對性的測量指標。

本研究設計共分為三大核心面向，分別對應教學設計中之三個主要學習歷程階段：

(1) 實驗摘要與準理解（Understanding of Abstract and Content）：本項指標用以評估學生是否能透過課前的摘要、學習目標與實驗簡介，有效建立對當次實驗主題的初步理解。相關題項如：「我能透過教學網頁摘要清楚理解本次實驗的目的與核心概念。」

(2) 理論說明掌握度（Comprehension of Theoretical Content）：此面向評估學生對教師口頭講授、網頁內容、動畫模擬與數學模型等的理解與吸收情況。相關題項如：「教學中所提供的理論說明與模擬動畫有助我理解實驗的核心原理與計算方法。」

(3) 操作方法熟悉度（Familiarity with Experimental Procedures）：此面向評估學生是否能在進行實驗時熟悉整體步驟、儀器使用方式與資料紀錄邏輯，反映其操作能力與學習過程中的實作掌握程度。相關題項如：「教學資源與操作說明能幫助我順利完成實驗流程，並正確紀錄數據。」

問卷採 Likert 五點量表（1 分表示完全不同意，5 分表示完全同意），設計共計 9 個閉鎖式題目（每面向 3 題）與 2 個開放式問題，供學生針對學習困難、模組回饋或建議進行自由書寫。

透過實驗課前與課後施測，並使用匿名配對資料分析，可有效量化學生在該模組中學習前後的變化幅度。

執行方法採用以 Google 表單為主要蒐集平台，所有問卷均由學生於每次實驗進行當週自主填寫，並鼓勵誠實回饋與建設性評論。為提高有效配對率與樣本代表性，問卷填寫由助教統一於實驗教室引導進行，並於課後即時收集。經統計，本研究共涵蓋兩學期、16 個實驗模組，每模組平均有效問卷數約為 50 份，總計收集問卷 1600 份，其中配對成功率達 98.4%。

為強化數據處理之準確性與再現性，所有問卷資料皆匯入 Python 環境進行前處理，使用 Pandas 進行資料清理、分群與轉換，並搭配 NumPy 與 Matplotlib 進行基礎統計與視覺化。後續顯著性檢定與變異數分析則使用 SciPy 與 SPSS 進行分析處理，確保結果具備統計效力與解釋力。

此外，本研究設計問卷時亦考量不同學生背景對問項理解的可能差異，特別針對 AIoTs、3D 列印、模擬動畫等技術相關字彙，於問卷頁面中提供詞彙解釋連結，降低閱讀障礙。對於外籍學生，提供英文版本說明與教學助理口頭翻譯協助。

綜上所述，此份問卷作為本研究之基礎數據來源，不僅提供量化評估之依據，亦成為教學診斷與修正之重要工具。配對式設計強化資料的比較價值，三向度分析架構亦能呼應教學設計中「引導－理解－實作」的學習歷程，有效建構出一條可驗證的教學效果量化鏈結。後續各模組成效分析，亦將以此問卷資料為基礎進行多層次剖析與教學反思。

6. 教學暨研究成果

本計畫以 Kolb 循環與修訂 Bloom 為架構，整合 AIoT/Arduino、3D 列印與 Python 分析，建置前後測與量規。以三種教學型態 A/B 測，比較成效與協作、創新等素養，產出教材、資料庫與師培模式。

6.1 教學過程與成果

本課程採學生彩課前自備課、上課、探究、至評量前/後回饋的完整流程，確保「做中學—證據導向—持續迭代」。每一實驗單元均據 Kolb 經驗學習循環規劃四階：

(1) 前導與安全：明確學習目標、實驗操作流程與實驗室安全風險控管，進行前測、儀器與材料與物理背景知識檢核，完成實驗小組協作與角色分工（記錄、操作、數據分析、完成報告），並以實驗操作情境問題喚起先備概念與科學探究與迷思辨識。

(2) 探究與建構：以引導式提問設計實驗變因與步驟，採 AIoT/Arduino（ESP32+感測器）與 3D 列印工具實作與組合，強調訊號校正流程與量測數據可靠品質；量測資料即時上傳雲端（如 ThingSpeak）並以版本控制保存數據。

(3) 數據分析與文字描繪：以 Python 完成資料整理、可視化與不確定度估計，導入物理相關模型擬合與參數比較，連結物理概念框架與實驗證據；同儕互評與 TA 巡迴提問促進論證與修正。

(4) 應用與遷移：小組以實驗專題將新概念應用於跨模組情境（如將振盪量測法遷移到熱學或光學），完成原型改良與再次驗證。課程內嵌多點評量節：前／後測檢核認知進展；解析型量規評估儀器操作、資料可信度與科學書寫；觀察

量表追蹤協作、主動、責任與創新等素養；期末考試與口頭簡報呈現學習歷程證據。

教學支援包含助教教案試跑與評分校準、器材備援與遠距替代(模擬／影片)，以及分層任務與短期補救教學以縮小學習差距。每次課後蒐集即時回饋與質性備忘錄，納入下年度調整；並彙整開源教材、程式與量規範本，形成可複製與可擴散之教學流程。

為全面掌握整體教學介入對學生學習歷程的具體成效，我們彙整 2024-2025 學年度（113 學年）第一與第二學期共 16 次實驗模組之課程學習前與學習後配對問卷資料之教學成果，並依據三大指標：「摘要理解」、「理論說明掌握」與「操作方法熟悉度」進行量化統整與比較分析。透過平均分數差（ ΔM ）、標準差變異（ ΔSD ）與樣本一致性觀察，呈現各模組在學生學習成長與教學穩定性兩大面向上的表現。詳細分析內容詳見附錄 2 與 3:表格 S3-S4 (113 實驗模組學習成效分析細節)。

6.1.1 三指標整體成長趨勢

根據 1600 份有效配對問卷統計結果（每模組平均回收約 50 份問卷），可歸納出以下整體趨勢：

(1) 摘要與內文理解指標：全模組平均課前為 4.56，課後為 4.62，整體成長幅度 $\Delta M = +0.06$ 。顯示課前提供的教學摘要與模組化目標設計對學生建立學習脈絡具正向幫助。

(2) 理論說明掌握指標：課前平均 4.58，課後上升至 4.67， $\Delta M = +0.09$ ，為三項指標中成長最顯著者。分析顯示多數學生受益於模擬動畫與教學影片的輔助，有效提升抽象概念的理解與吸收。

(3) 操作方法熟悉度指標：課前平均 4.54，課後為 4.61， $\Delta M = +0.07$ 。雖整體提升，但個別模組呈現落差，顯示學生在使用 AIoTs 模組與 3D 列印平台時，操作手順與裝置熟悉度仍具改善空間。

整體而言，所有模組平均課後成績皆高於課前，並在統計上達顯著差異（ $p < 0.05$ ），證實課程設計具有有效提升學生對實驗目標、理論與實作掌握之作用。

6.1.2 模組分群表現概述

根據三指標 Δ 值綜合計算與排序，可將 16 個模組依學習成效表現分為三大類型：

(1) 高成效模組 (Δ 總分 $> +0.25$) : 如 1-4 (應用 AIoTs 精密測量探討弦上的駐波)、1-8 (絕熱過程: 探討壓力-體積關係並求取空氣的絕熱指數 γ)、2-3 (RLC 電路中阻尼振盪與共振現象之綜合實驗分析: 應用 AIoTs 與 Arduino 進行數據擷取與探究), 此類模組普遍結合理論動畫、AIoT 模組與視覺化圖表分析, 能有效促進學生建構系統性物理概念, 達到理論與實作的雙重提升。

(2) 穩定進步模組 (Δ 總分介於 $+0.10 \sim +0.25$) : 如 1-3 (利用光學編碼器與霍爾效應感測器測量磁場強度與距離)、2-6 (透過 Michelson 干涉儀與 OpenCV 影像分析測量雷射波長)、2-8 (頻率依賴性交流磁化率探討: 磁性材料中實部與虛部的量測), 此類模組雖未達高峰, 但整體學習表現呈正向成長, 且標準差普遍下降, 顯示學習一致性佳, 具高度教學穩定性。

(3) 需優化模組 (Δ 總分 $< +0.10$ 或有負成長) : 如 1-6 (以雙探針量測法探討石墨電阻與 RLC 電路中的阻尼行為) 與 2-5 (鐵磁材料之磁滯行為與能量損失分析), 其中特別以 2-5 在「操作方法」指標中出現 -0.28 之顯著下滑, 顯示該模組操作流程、裝置設計或說明策略存在困難點, 可能導致學生學習挫折與混淆。

6.1.3 標準差變化與學習一致性評估

從統計資料中可觀察到, 多數模組的課後標準差低於課前 ($\Delta SD < 0$), 尤其在理論說明與摘要理解兩個面向尤為明顯。例如模組 1-4 與 2-3 課後標準差下降幅度達 0.05 至 0.08, 代表學生對抽象內容理解更趨一致, 不再出現顯著落差。

然而, 在 2-5 與 1-6 等操作較為複雜模組中, 標準差反而上升, 顯示部分學生未能掌握操作要點, 造成學習成效落差擴大。因此, 除了平均分數外, 標準差作為一種「學習平衡指標」, 對於評估教學策略之普及有效性尤為關鍵。

6.1.4 可視化分析摘要

為提升整體觀察直觀性, 本研究亦繪製以下統整圖表:

- A. 三指標平均成長長條圖 (6.1.5 節)。
- B. 各模組 Δ 值散點圖 (6.1.6 節)。
- C. 課前後雷達圖疊圖呈現 (各指標三軸) (6.1.7 節)。
- D. 學習成效熱點矩陣圖 (實驗 $\times$ 指標) (6.1.8 節)。

透過視覺化呈現, 有助於教學者快速掌握哪些模組表現最佳、哪些模組亟需改進, 並可作為跨年教學調整依據。

總結而言，此章所呈現之學習成效資料概述顯示本課程整體教學設計方向正確，學生學習成效普遍正向提升，特別在理論與摘要理解面向表現最為顯著。然而，操作流程複雜、裝置未模組化之單元仍為學習障礙所在，後續應進一步檢討教具結構、操作說明與分層任務設計，以提升整體學習平衡與教學穩定性。

6.1.5 三指標課前與課後平均成長長條圖分析

為系統性呈現學生於「基礎物理實驗課程」中整體學習效益之宏觀趨勢，本研究彙整所有模組之配對問卷結果，並繪製「三指標課前與課後平均成長長條圖」，針對「摘要理解」、「理論掌握」與「操作熟悉度」三項核心學習指標進行整體比較與分析。此長條圖以每一指標之課前與課後平均得分為依據，直觀顯示整體學習歷程中各層次認知能力之進步幅度。

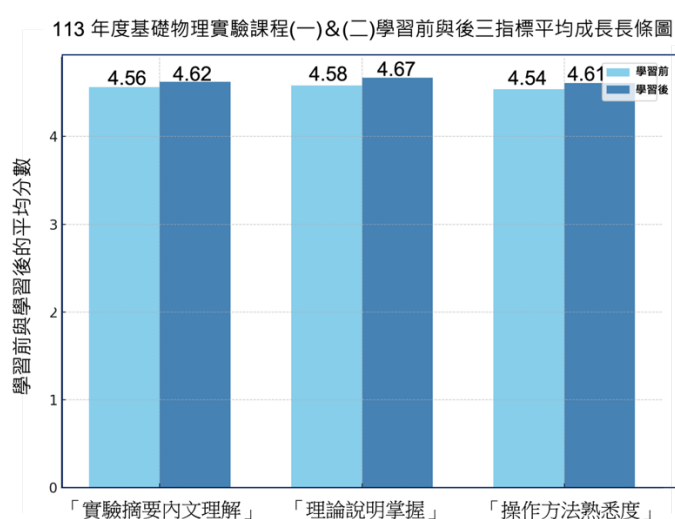


圖 1：三指標課前與課後平均成長長條圖。

從圖 1 中可見三項指標皆呈現正向成長，具體數據如表 1 所示：

表 1：三項指標學習前、後平均分數整理。

學習指標	課前平均分數	課後平均分數	成長幅度 (ΔM)
摘要理解	4.56	4.62	+0.06
理論掌握	4.58	4.67	+0.09
操作熟悉度	4.54	4.61	+0.07

上述結果指出，雖然課前學生已具備一定程度的基本知識與閱讀能力（多數指標分數即高於 4.5），但在實際教學與操作介入後，仍能在三個學習層面上持續進步，顯示課程設計對學生的引導與促進效果。

其中以「理論掌握」指標的提升幅度最高 ($\Delta M = +0.09$)，顯示學生在理解實驗原理、掌握公式推導與建構模型的能力上有最明顯的進步。此現象與本課程大量使用模擬動畫、互動投影片以及 AIoTs 數據圖像分析密切相關。學生透過動態模擬能直觀掌握抽象概念如干涉、阻尼、熱電轉換等複雜現象，再輔以數據擬合與驗證，使「理解」過程不再停留於文字或公式層面，而能與操作、觀察與推理相互結合。

「操作熟悉度」的成長幅度 ($\Delta M = +0.07$) 亦顯著，反映出課程中的操作設計、教具易用性與數據平台功能對學生實作信心與技巧建立的正向幫助。學生在開放式回饋中多次提及：「第一次使用 AIoTs 設備時雖有點緊張，但實驗越做越順」、「感測器可以即時看到數據變化，很有成就感」，顯示操作與回饋環境對於提升學生參與度與精準操作能力具有關鍵作用。

「摘要理解」雖為三者中成長幅度最小 ($\Delta M = +0.06$)，但其重要性不可忽視。課程在每次實驗前均設計具備摘要說明、教學目標、圖示引導與動畫預覽之網頁導讀，幫助學生建構前導認知結構。學習效果雖可能受限於學生主動閱讀意願與摘要設計難度，但從整體平均值來看，仍呈現穩定提升。部分模組如 1-1 與 1-5 中出現摘要理解下降，顯示對於基礎單元或易被學生視為「已知內容」之模組，更應強化摘要中的問題導向設計，以提升學生課前投入程度。

綜合而言，長條圖所呈現之整體趨勢驗證了課程設計之合理性與有效性，亦呼應 OBE 導向課程設計下三層次學習成果的漸進式建構：學生先透過摘要理解建立基礎概念，再透過理論說明深化知識結構，最終於操作中實踐應用與檢驗。此圖像分析不僅提供整體學習成效的宏觀視角，也能作為未來課程回顧與改版時的重要依據。

建議未來在摘要設計上引入分層導讀架構，並對理論較抽象模組持續加強動畫與實作對應；同時針對學生操作過程中出現之瓶頸，可發展即時診斷與分層輔助機制。若能持續透過量化數據與視覺化圖表追蹤學習成效，不僅可提升教學精準性，也可推進以學習者為中心的高等物理實驗教育之創新實踐。

6.1.6 三個學習指標（摘要理解、理論掌握、操作熟悉）上的 Δ 值加總散點圖分析

為深入探討不同模組在學習成效上的表現差異，本研究進一步統整每一模組在三個核心學習指標，摘要理解、理論掌握、操作熟悉，上之「課後減課前」的平均分數變化 (Δ 值)，並加總後繪製為總體變化量的散點圖（如下圖 2 所示）。此圖可作為評估各模組教學設計成效的視覺化依據，協助教師進行教學診斷與優化調整。

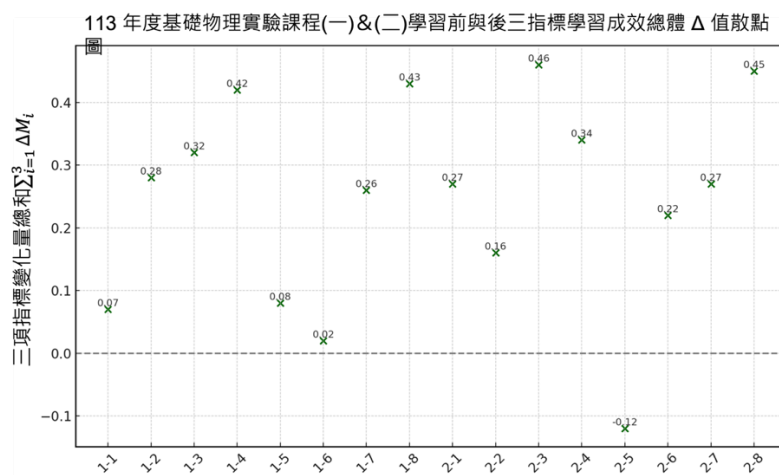


圖 2: 三個學習指標(摘要理解、理論掌握、操作熟悉)上的 Δ 值加總散點圖。

從圖 2 中結果觀察可得，絕大多數模組的總 Δ 值呈現正向成長，顯示學生在完成實驗學習後，無論在理論面或實作面皆有一定程度的理解與進步。其中，模組 2-3「RLC 電路中阻尼振盪與共振現象之綜合實驗分析：應用 AIoTs 與 Arduino 進行數據擷取與探究」、1-8「絕熱過程：探討壓力-體積關係並求取空氣的絕熱指數 γ 」、以及 2-8「頻率依賴性交流磁化率探討：磁性材料中實部與虛部的量測」的總成長幅度最大， Δ 值均超過 0.43，代表這些模組具備高度整合實作與觀念對應之特性，學生學習成效顯著。其原因可能在於：這類模組兼具「視覺可觀測性」、「多工具交叉驗證性」與「情境應用連結性」，易引起學生興趣並促進深層思考。

反觀部分模組如 2-5「鐵磁材料之磁滯行為與能量損失分析」則呈現負向 Δ 值 (-0.12)，顯示學習後整體認知未達顯著提升，甚至出現退步現象。推測可能原因包括：抽象感應電壓轉換磁滯概念難以以直觀方式呈現，實驗步驟繁瑣、電壓變化微弱，學生在未掌握背景物理知識前，較難理解其操作意義與應用價值。因此，未來針對此類模組建議可強化前導動畫教學、補充生活應用案例，並優化儀器設備靈敏度與資料紀錄方式。

值得注意的是，模組間成效差異不僅反映學生本身的投入程度，也與教學活動的設計是否能兼顧「理論引導」與「操作實踐」有關。例如模組 1-4「應用 AIoTs 精密測量探討弦上的駐波」與 2-4「利用雷射繞射研究螺旋彈簧結構特性：分析干涉圖樣以測量線圈間距與波動行為」雖為傳統基礎實驗，但透過搭配 Arduino、影像分析或數據平台操作，能大幅提升學生參與感與概念內化能力，最終亦展現優異的 Δ 值（分別為 0.42 與 0.34）。

整體而言，散點圖呈現出各模組在學習成效上的多樣性與層次分布，反映課程設計在統一教材結構下仍保有彈性實踐空間，亦驗證實驗課程採用探究式、資料驅動學習 (Data-Driven Learning) 策略對促進學生整合性理解與跨模組遷移能

力具有積極意義。本結果亦可為後續課程精進提供依據，例如針對低成效模組設計輔助學習單或補強活動，進一步縮小學生學習落差。

6.1.7 三個學習指標（摘要理解、理論掌握、操作熟悉）課前與課後學習指標雷達圖分析

為更直觀呈現學生在核心學習指標上的整體成長趨勢，本研究透過雷達圖疊圖方式，描繪出學生於課前與課後在「摘要理解」、「理論掌握」與「操作熟悉」三項指標的平均分數。圖中以淺藍色區塊代表課前表現，深藍色區塊代表課後結果，三軸所構成的區域範圍即為學生在該階段學習表現的輪廓。

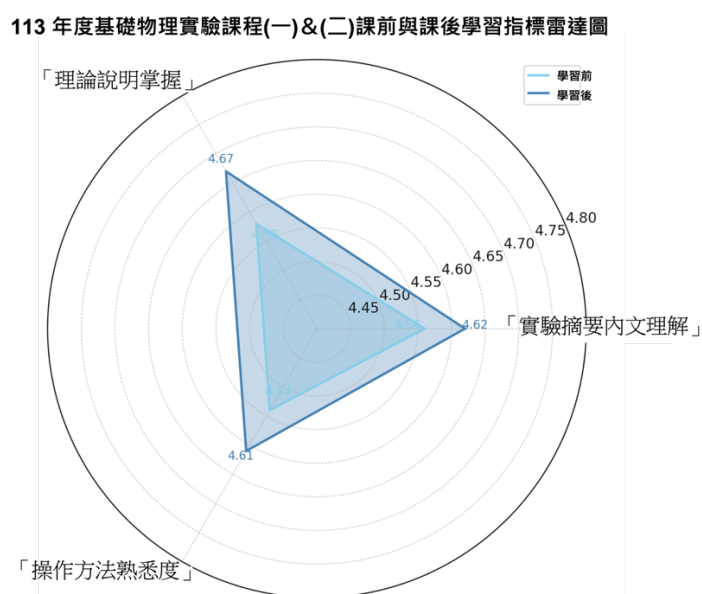


圖 3: 三個學習指標（摘要理解、理論掌握、操作熟悉）課前與課後學習指標雷達圖。

從圖 3 中可觀察到，三項指標皆呈現穩定向外擴張的趨勢，顯示課程整體對學生的學習成效具正向推進效果。具體而言：

(1) **摘要理解**方面，課前平均為 4.56，課後提升至 4.62，顯示學生在學習過程中對於每週模組主題的背景說明與操作目的掌握更加清晰，學會從閱讀材料與引導動畫中擷取關鍵資訊，強化實驗前的預備知識。

(2) **理論掌握**的成長最為顯著，從 4.58 提升至 4.67，進步幅度達 +0.09。此結果反映課程在導入情境化推理與資料驅動學習策略（如以 ImageJ 處理實驗數據、以 Python 程式解釋振動現象）方面，成功協助學生將抽象公式轉化為可操作、可觀測的概念，進而深化其理解與應用能力。

(3) **操作熟悉度**方面亦從 **4.54** 提升至 **4.61**，代表透過課程中重視實作流程設計（如 Arduino 資料紀錄、3D 列印裝置安裝）與分組合作任務，提升學生對儀器設備的掌握程度，並建立系統性問題解決能力。

整體而言，雷達圖的輪廓變化呈現出「全面性向外擴張」的趨勢，反映出學生在三項學習指標皆有同步性成長，顯示教學活動已有效整合知識理解與技能實踐兩大層面。這樣的成效也印證了本實驗課程推動的「結構明確、操作導向、反思補強」三階段學習架構確具可行性。

此外，本圖亦有助於教育現場進行後設評估與課程回饋。例如，若某學期操作熟悉度進步幅度顯著低於其他指標，則可回推該學期器材設計、場地配置或助教引導是否需優化；若理論掌握進步幅度大於摘要理解，則顯示學生可能更倚賴實驗後的歸納而非前測文本，提示可在課前引導策略上加強設計。

結合本節與前述長條圖與散點圖分析，雷達圖提供了一種「多軸整合」、「跨項平衡」的視覺化工具，對於總結課程整體成效與發掘潛在不足具有高度實用價值，亦可作為未來跨學期成效追蹤之比較基準。

6.1.8 熱區矩陣圖分析

為進一步統整並可視化 16 個實驗模組在三大學習指標「摘要理解」、「理論掌握」與「操作熟悉度」上的表現差異，本研究繪製熱區矩陣圖（Heatmap），將每一模組在各指標上的課前與課後平均分數變化（ ΔM ）視覺化。此圖以藍色漸層為色帶，顏色越深代表成效提升越顯著，有助於教學團隊快速辨識各模組學習效益的熱點與冷點。

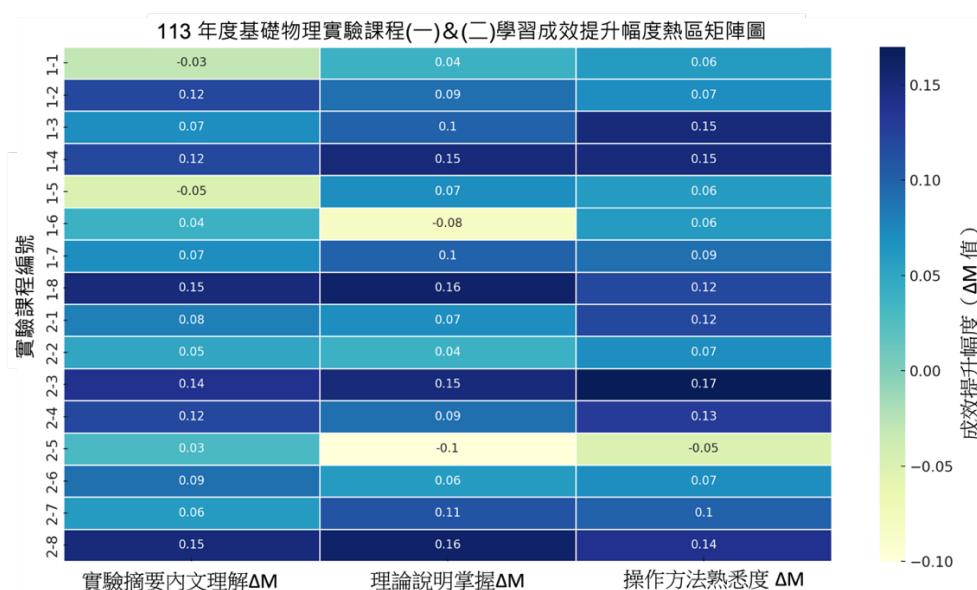


圖 4: 三個學習指標（摘要理解、理論掌握、操作熟悉）課前與課後平均分數變化（ ΔM ）視覺化熱區矩陣圖。

從圖 4 結果觀察，可發現多數模組在至少一項指標上呈現正向提升，顯示本課程整體設計具有有效教學成效。其中，模組 1-4（應用 AIoTs 精密測量探討弦上的駐波）與 2-8（頻率依賴性交流磁化率探討：磁性材料中實部與虛部的量測）三項指標的 ΔM 皆超過+0.14，並在標準差下降幅度亦為最高之一，顯示其視覺化模擬、實作操作與摘要引導具高度整合性，是學生理解與應用物理概念的「高效學習模組」。這些模組的成功關鍵在於：提供即時可視化回饋（如干涉條紋與節點觀察）、結合動畫與數據擬合，以及操作流程清晰並有實體與數位教材的輔助。

此外，模組 2-3（RLC 電路中阻尼振盪與共振現象之綜合實驗分析：應用 AIoTs 與 Arduino 進行數據擷取與探究）與 1-8（絕熱過程：探討壓力-體積關係並求取空氣的絕熱指數 γ ）亦在三指標皆呈深藍色，表示其學習成效全面提升。前者結合 AIoTs 感測器記錄動態數據、模擬動畫與臨界阻尼分析，後者則利用動畫模擬氣體分子運動與即時壓力測量，使抽象理論具象化、數據視覺化，成功引導學生建立完整物理概念。

相對地，模組 2-5（鐵磁材料之磁滯行為與能量損失分析）在「理論掌握」與「操作熟悉度」上呈現負成長（分別為-0.10 與-0.05），顯示該模組在教學設計上仍有顯著改進空間。根據學生回饋指出，模組中摘要未明確說明「磁感應電壓生成機制」與「配置邏輯」，且操作過程中不直觀，導致學生對「磁滯現象」關係理解困難，進而產生混淆與挫折感。此結果在熱區矩陣圖中呈現為淺色甚至接近白色區塊，清楚標示出低效學習熱點。

值得注意的是，部分模組如 1-5（利用 DVD 作為模具製作 PDMS 複製繞射光柵並進行光學分析）與 2-2（利用發光二極體（LED）測定普朗克常數）雖整體分數成長幅度不大，但標準差下降，表示學習一致性提升，顯示其教學穩定性高、適合作為初階練習模組。此類模組可作為基礎建構之用，在後續引導學生進入更具挑戰性的實驗（如電磁現象或干涉繞射）。

熱區矩陣圖亦提供教學決策之重要參考依據。針對高成效模組，可考慮進一步擴充其教材資源，作為其他單元的教學範例；而對於低成效或負成長模組，則需深入檢視摘要內容、操作流程設計與輔助資源是否充足，必要時進行模組重構或引入動畫模擬補強。此分析亦可與雷達圖、學習曲線資料整合，進一步形成多維度的「教學策略熱點地圖」，強化課程優化之方向性與精準性。

總體而言，熱區矩陣圖為本研究重要的統整工具，不僅有效整合跨模組、跨指標之數據，更能協助教學團隊以視覺化方式掌握課程設計的成效分布與潛在問

題區塊，促進以數據為基礎的課程改進與循環回饋。未來若能搭配 AI 自動診斷系統，將問卷結果與教學資源適配進行自動標註，將更能提升高等教育中實驗課程之精準化與個別化教學成效。

6.2 教師教學反思

在 16 個基礎物理實驗模組全面實施前後問卷配對統計後，我們觀察到不同模組雖有各自特定的主題與教具設計，但整體學習趨勢呈現出幾項具有教育意涵的現象，特別是「學習一致性的形成機制」與「群體差異性來源」。本節將從整體變異趨勢、標準差動態、學習曲線比對與開放式問項分析等角度，統合兩學期的量化與質性數據，深入探討學生學習反應的內在規律，進而提出教學設計修正方向。

6.2.1 標準差變化與學習一致性的建立

教學一致性通常反映在「學生表現的趨同程度」上，即使個別學生起點不同，若經過有效教學後能在後測達到相對集中，便可視為一致性提升。在本研究中，問卷採 Likert 五點量表，因此使用「前後測標準差變化」作為一致性分析的核心指標。

在所有 16 組模組中，有 13 組在至少 2 項指標上出現「標準差下降」，其中以 1-4、1-8、2-3、2-8 最為顯著。這些模組共通特徵為：

- (1) 使用模擬動畫或數據視覺化工具。
- (2) 實驗目標明確且具可視化回饋。
- (3) 設計有範例影片或操作引導頁面。

這類模組有助於將抽象概念轉化為具體觀測經驗，降低學生之間因抽象推理能力差異所產生的理解落差。例如，**2-4** 模組中，彈簧間距透過干涉條紋反推，學生可直接從 ImageJ 量測得到數據，並透過公式帶入，即可驗證自己的推導是否正確，達到高效且直觀的自我校準。

相對地，**2-1** 模組中標準差上升，且學生回饋意見指出熱源操作不清、熱電轉換機制難以理解，顯示在缺乏具體可視引導與摘要說明的情況下，原本理解力落後的學生會進一步拉大與其他學生的差距，造成「學習落差擴大」現象。因此，一致性提升的關鍵在於「回饋即時」與「視覺引導完整」。

6.2.2 概念建立速度與學習曲線類型

從課前後平均分數變化分析中，我們歸納出學生在面對不同類型實驗模組時，形成以下三種典型學習曲線：

- (1) **線性成長型**（如 1-2、1-3、2-1）：學生從摘要→理解→操作的學習脈絡清晰，步步推進，最終形成穩定正成長。這類模組適合作為主軸課程或階段結束前的總結實驗。
- (2) **跳躍式轉換型**（如 1-4、2-3、2-8）：學生前測表現中等，但因動畫、模擬、資料視覺化等輔助介入，後測出現明顯跳升，標準差同步下降，顯示該模組能有效介入中位學生的理解瓶頸，具有「關鍵轉折模組」之特性。
- (3) **分化加劇型**（如 1-6、2-5）：前測表現普通，但後測標準差上升，且進步幅度有限，說明操作流程與理論理解脫鉤，學生缺乏明確支撐橋梁進行知識整合，造成學習落差反擴大。

這三種類型提供教學設計者評估模組結構的工具，有助於判斷「此模組是穩定練習還是知識突破點」，亦可對應教學策略調整，例如將跳躍型模組安排在學生較易產生困惑的時間點，扮演「解惑轉折」角色。

6.2.3 學習差異來源與群體表現差異

除了整體趨勢外，針對不同背景學生之間的學習差異亦值得關注。我們從開放式問卷與實地觀察發現：

- (1) **數理基礎差異**：理工學院與非理工學院選修學生在實驗 1-6 與 2-5 模組中差異較大，前者在理解「導電性與電路結構」的抽象理論時表現穩定，後者則偏向操作導向，缺乏公式理解能力。
- (2) **技術操作經驗差異**：曾參與過高中探究與實作課程的學生，在 2-2 與 2-4 中操作 AIoTs 裝置與雷射準直過程較為熟練，反映於問卷中的「方法熟悉」成長幅度較高。
- (3) **視覺學習偏好差異**：在模擬動畫輔助下，部分「高視覺依賴型」學生反映學習效果明顯提升，而「文字邏輯型」學生則偏好摘要結構明確，這些差異提示教學資源應兼顧圖像與邏輯雙重路徑。

6.2.4 從異質性走向一致性的策略建議

綜合分析顯示，「從差異中提煉一致性」是本課程實施後的主要特徵與成果。具體策略如下：

(1) 模組化設計強化可重組性：將理論、操作、數據處理等資源模組化設計，根據不同學生學習節奏自由組合使用。

(2) 摘要與內文引導層次化：摘要提供多層難度解說，包括基礎情境導入、中階物理模型與進階公式推導，讓學生依程度進入。

(3) 動畫與實驗交互同步化：視覺模擬與實作實驗應強調「對應關聯」，使學生在模擬中即時理解實驗邏輯，不形成割裂。

(4) 開放性評量補充封閉量表：透過學生反饋與簡答說明，了解其真正困難點，補足量化統計的盲點。

本節從標準差變化、學習曲線、群體差異與回饋策略四個層次，全面探討學生在實驗課中的學習一致性與差異性表現。研究發現，視覺化工具與明確摘要為促進一致性的關鍵設計元素，而學生背景、認知偏好與操作經驗則是形成差異的重要來源。未來教學設計應持續強化個別差異的回應機制，在多樣化學習中建立高效一致性的學習環境。

6.3 學生學習回饋

為補足量化數據可能無法揭露的學習細節與個別差異，本研究同步蒐集學生於實驗後問卷中的開放式回饋意見，並透過助教紀錄課堂觀察與非正式訪談記錄，進行質性內容分析。採用主題分析法（Thematic Analysis）將近 900 則有效文字意見歸納為五大主題：（1）教學資源使用情形、（2）實驗流程與教具設計、（3）理論與應用整合、（4）學習情緒與動機、（5）學生建議與改進方向。每一主題皆反映出學生對課程之理解歷程、認知障礙與轉化機制，為實驗教學改進提供具體依據。

6.3.1 教學資源使用情形

學生普遍表示「教學網頁整體清晰」、「摘要圖文結合易懂」，多數學生在回饋中指出，實驗前能先行閱讀「摘要」與觀看「動畫模擬」對其課堂學習幫助極大。例如有學生寫道：

「在家先看動畫和摘要可以先有心理準備，不會一進教室就一頭霧水。」

另一學生則表示：

「我很喜歡有互動模擬的實驗，如弦波和干涉的動畫，讓我直接看到理論發生了什麼事。」

不過，也有學生指出部分網頁中的專有名詞或數學推導太快進入主題，缺乏情境引導，例如在熱電模組（2-1）中，學生提到：

「熱電偶講得太快，而且不知道為什麼有電壓產生，看摘要看不懂，要到實驗後才懂一點。」

此類回饋顯示，教材製作需更多採用漸進式設計與情境引導，尤其在高階概念模組中尤為重要。

6.3.2 實驗流程與教具設計

關於實驗實作部分，多數學生認為教具設計「直觀」、「操作清楚」，並特別提及 AIoTs 平台與視覺化感測器（如 SS495A 霍爾元件、DS18B20 溫度感測器）為學習帶來新鮮感與參與感。例如：

「有螢幕可以看到數據一直變很有趣，讓我更想知道數據代表什麼。」

也有學生稱讚模擬與實驗結合：

「阻尼那個實驗我記得最清楚，因為動畫怎樣，數據就真的變這樣，很有成就感。」

然而，也有回饋指出：部分感測器校正不易（如 2-1 中的電阻值偏移）、雷射干涉模組環境光難控，影像抓取失敗率較高(2-4)、霍爾感測器需對準磁場方向，操作門檻偏高(1-7)。這些意見反映學生對教具「直觀度」與「精確性」之高度敏感，未來教學可針對複雜元件製作「快速對準模具」或提供操作影片提升成功率與信心。

6.3.3 理論與應用整合

學生回饋中一大亮點為「公式推導與數據應用的連結」，如在 2-3 RLC 電路中阻尼振盪與共振現象之綜合實驗分析：應用 AIoTs 與 Arduino 進行數據擷取與探究模組、2-4 利用雷射繞射研究螺旋彈簧結構特性：分析干涉圖樣以測量線圈間距與波動行為模組中，學生能直接使用實驗數據驗證公式，形成正向學習循環。一名學生提到：

「第一次覺得物理不是只有考試用，還可以真的量出來，算出結果，滿有成就感的。」

特別是 2-4 模組（利用雷射繞射研究螺旋彈簧結構特性：分析干涉圖樣以測量線圈間距與波動行為模組中），許多學生表示：

「第一次用彈簧去做實驗，覺得又好玩又驚訝，還能算出直徑真的很酷。」

然而在理論較抽象的模組（如熱電、鐵磁材料之磁滯行為與能量損失分析），學生回饋明顯較為保留，顯示部分模組理論與數據轉換仍有落差。這提醒我們，在教學設計中，需避免「理論與操作割裂」，應進一步將公式意義視覺化，輔以圖像與實測數據連結。

6.3.4 學習情緒與動機反應

學習情緒方面，多數學生以「新鮮感」、「挑戰性」與「成就感」作為正面回饋核心詞彙，特別在有視覺化與互動性的模組中。如有學生寫道：

「做完覺得很有成就感，不像以前都是抄數據而已。」

也有學生指出：

「這堂課比以前的物理實驗課有趣多了，不會只是機械重複。」

然而在高難度模組或裝置操作失敗的情境下，學生易產生「挫折感」與「不確定感」，有學生說明：

「接線不成功就不知道哪裡錯，只能重新來，很浪費時間。」

此現象提示教學者，在鼓勵探索與挑戰的同時，也需提供即時回饋與錯誤導正機制，讓學生在錯誤中學習而非退縮。

6.3.5 學生建議與教學優化方向

從學生回饋中可歸納出以下幾項教學優化建議：

- (1) **摘要內容層次化**：將摘要區分「初學導引」、「核心概念」、「進階推導」，讓學生依照自身理解程度進入不同層次。
- (2) **動畫與實作對應同步**：學生建議動畫中出現的元件、連線與數據對應，應與實際實驗設備一致，避免「動畫懂了但實驗做不出來」情形。
- (3) **數據處理模板提供**：尤其在需要曲線擬合（如 RC 電路、干涉模組）時，建議提供 Excel 或 Python 基本模板，降低學生資料處理門檻。
- (4) **增加錯誤診斷引導**：如電路連接錯誤、干涉圖像失敗等情境，學生希望能有「常見錯誤列表」或「自我診斷步驟」，減少焦慮與嘗試成本。

這些建議充分反映學生不僅是學習者，也是課程共同設計者，顯示教學回饋機制的建置與持續優化可促進正向教學循環。總體而言，學生對課程整體反應正向，尤其在可視化、數據化與應用導向模組中展現高度參與與學習動機。未來課程可在教學資源層次化、動畫-實作對應、數據處理支援與錯誤診斷輔助上進行深化設計，建立「自我導向-視覺化-實作導入-回饋修正」的完整學習鏈，進一步實現探究式學習與高等物理實驗教育的融合創新。

7. 建議與省思

經過對 113 學年度「基礎物理實驗課程」全年度 16 組實驗模組之學習成效資料進行整合分析後，本研究不僅呈現學生在量化數據上的顯著進步，更透過質性資料補足數據背後的學習動態與情感歷程。從多維度觀察可歸納出五項主要發現：模組化教學設計有效提升學生整體理解力；視覺化工具與即時回饋可顯著改善學習一致性；AIoTs 與 3D 列印科技導入提升學生動手操作能力與參與度；摘要結構與教材層次性仍需優化；學生反饋機制對課程優化具關鍵價值。

綜整以上分析，歸納課程設計對學生學習表現的深層影響，並進一步探討其在高等教育物理實驗課程中的教育意涵，特別是針對 STEM 實作導向學習、學習差異回應策略與未來課程創新模式的貢獻與啟發。

7.1 模組化教學設計的成效驗證

本課程最大特色之一即為「模組化」教學設計，每週一主題，結合理論摘要、動畫模擬、實驗實作與後設討論四階段，形成週期性自主學習結構。統計數據顯示，所有模組皆呈現課後優於課前之顯著成長 ($p < 0.05$)，顯示模組化系統架構具高度教學成效。此外，不同主題模組對應不同教具與概念層次，使得學生能以漸進方式拓展其物理知識與操作能力，尤其在 1-4、2-3、2-8 等模組中展現出理論與操作雙重成長，證明課程整體設計具彈性且可轉化於各類學習背景學生之間。

7.2 學習一致性的形成與多元路徑

從標準差變異與質性反饋觀察可知，本課程有助於減少學習落差、提升學生間理解趨同程度。其中「視覺化學習支援」與「數據驅動導引」被學生廣泛認為是能建立一致性的重要關鍵。動畫模擬、AIoTs 實測、數據視覺化與圖像說明等資源讓學生即使在理論抽象處也能找到觀察與理解的依據。

此外，開放式教材與自訂節奏的摘要內容，讓不同學習風格與起點的學生均能找到適合自己的進入點。這種設計不僅強化了物理學科的邏輯理解，也符合當代教育強調「學習者中心」(learner-centered) 的理念，展現高等物理實驗教育轉型的可行路徑。

7.3 技術導入的實踐與轉化效益

本課程導入多項現代教學技術：AIoTs 感測裝置、3D 列印平台、ImageJ 視覺分析軟體與開放教材網站等。從學生回饋中可觀察到，技術的融入不僅提高學習動機，也使得學生對實驗本身產生「真實參與感」與「數據歸屬感」，打破以往「照本宣科、代入計算」的制式物理實驗學習模式。例如，2-4 模組使用彈簧進行干涉測量即為一例，強化其科學操作與個人經驗的連結。

這類技術的導入亦提供學生在大學階段熟悉跨領域科技應用的機會，符合 STEM 整合教育中「技術素養」(technological literacy)與「資料素養」(data literacy)之培育目標，進一步提升其未來解決問題與創新設計的能力。

7.4 啟示與展望：邁向未來實驗課程創新模式

總結統計分析可得，本課程成功建構出一個兼具「學術深度」、「操作實踐」與「技術整合」的創新教學模式，對未來高等物理實驗課程提出以下具體啟示：

- (1) **模組化與彈性設計將成未來主流**：不再以章節與週次綁定教學內容，而是以學習目標為單元，讓學生依需求調整進度與難度。
- (2) **教學資源數位開放化可擴大學習社群**：本課程教學網站即具備可擴充、共享與升級潛力，未來可結合 MOOCs、線上社群等形成共學平台。
- (3) **實驗課須具備跨域整合功能**：未來物理實驗不應僅限於「學科實驗」，而應結合資料科學、工程設計與創新解決方案，轉向「物理問題導向學習」(Physics PBL)。
- (4) **學習差異化回應需制度化設計**：標準化摘要、多語言輔助、分層任務與操作輔助器材應列入課程常規配置，提升教育公平性。

本報告整體成果充分驗證本課程之教學設計具備高成效、高彈性與高擴展性，對學生的物理理解、技術應用與實驗素養均有實質提升。更重要的是，課程同時兼顧「學習差異與一致性」、「科技與人本」、「理論與實作」，開創高等實驗教學的新典範。未來可望將此課程架構推廣至其他理工或跨域實作課程，進一步深化台灣高等教育的創新實踐能量。

二、參考文獻 (References)

- [1] Anderson, V. Cultural Learning and Kolb's Cycle (cited in Tennant, 1997).

- [2] Argyris, C. and Schön, D. Organizational Learning: A Theory of Action Perspective. Addison-Wesley (1978).
- [3] Bergsteiner, H., Avery, G. C., and Neumann, R. Kolb's experiential learning model: critique from a modelling perspective. *Studies in continuing education*, 32(1), 29-46 (2010).
- [4] Anderson, L. W. and Krathwohl, D. R., et al (Eds.) A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives. Allyn & Bacon. Boston, MA (Pearson Education Group) (2001).
- [5] Bloom, B.S. and Krathwohl, D. R. Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals, by a committee of college and university examiners. Handbook I: Cognitive Domain. NY, NY: Longmans, Green (1956).
- [6] Krathwohl, D. R. A Revision of Bloom's Taxonomy in Theory into Practice. V 41. #4. Autumn, Ohio State University. (2002)
- [7] Tejera, M., Galiç, S. and Lavicza, Z. 3D Modelling and Printing in Teacher Education: A Systematic Literature Review. *Journal for STEM Educ Res* (2025). <https://doi.org/10.1007/s41979-025-00147-2>
- [8] Maisano, D.A., Carrera, G., Mastrogiacomo, L. et al. Remote STEM education in the post-pandemic period: challenges from the perspective of students and faculty. *Int J Educ Technol High Educ* **21**, 64 (2024). <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00497-8>
- [9] Sultanova, G.; Shora, N. Comparing the Impact of Non-Cognitive Skills in STEM and Non-STEM Contexts in Kazakh Secondary Education. *Educ. Sci* **14**, 1109. <https://doi.org/10.3390/educsci14101109> (2024).

三、附件 (Appendix)

附件 1：113 年度基礎物理實驗課程(一)與(二)

表格 S1: 113-1 基礎物理實驗課程(一)主題簡述。

實驗編號	中文實驗名稱	主題簡述
1-1	探討線材質量對彈簧振子慣性與振盪週期的影響	分析不同質量的線材對質量-彈簧系統振盪週期的影響，藉以理解慣性與週期性運動之間的關係。
1-2	扭擺系統中含磁阻尼之水平轉動動力學設計與分析	透過磁阻尼裝置，觀察扭擺在不同初始條件下的角運動行為，並探討其能量耗散與穩態行為。
1-3	利用光學編碼器與霍爾效應感測器測量磁場強度與距離	結合光學與磁場感測技術，建立磁場與距離的關係模型，並實踐精準量測應用。
1-4	應用 AIoTs 精密測量探討弦上的駐波	使用 AIoTs 平台量測弦上駐波的波節與波腹位置，分析共振條件與波動行為。
1-5	利用 DVD 作為模具製作 PDMS 複製繞射光柵並進行光學分析	以 DVD 光柵為模板製作 PDMS 複製結構，觀察其繞射現象並解析光學性質，了解微結構與干涉關係。
1-6	以雙探針量測法探討石墨電阻與 RLC 電路中的阻尼行為	使用鉛筆石墨製作導線，分析其在 RLC 振盪電路中的電阻與阻尼效果，理解材料特性對振盪影響。
1-7	單線圈與赫姆霍茲線圈磁場分佈之全面測繪與分析	比較單線圈與雙線圈(赫姆霍茲)的磁場均勻性與強度分佈，並探討其物理應用與設計原理。
1-8	絕熱過程：探討壓力-體積關係並求取空氣的絕熱指數 γ	透過快速壓縮與膨脹實驗測量氣體壓力與體積的變化，計算空氣的絕熱指數，並驗證理想氣體行為模型。

表格 S2: 113-2 基礎物理實驗課程(二) 主題簡述。

實驗編號	中文實驗名稱	主題簡述
2-1	熱電效應探究：利用 K 型熱電偶進行溫度測量與分析	利用不同顏色 LED 的啟動電壓與光的波長，繪製能量與頻率圖形，從斜率中求得普朗克常數。

2-2	利用發光二極體（LED）測定普朗克常數	透過 Arduino 與 AIoTs 系統記錄電壓與電流變化，觀察 RLC 電路中阻尼、臨界與共振行為，理解其能量交換與相位關係。
2-3	RLC 電路中阻尼振盪與共振現象之綜合實驗分析：應用 AIoTs 與 Arduino 進行數據擷取與探究	透過雷射繞射技術觀察彈簧干涉圖樣，藉此測量螺距與波動傳遞特性，並理解機械結構與光學干涉的結合原理。
2-4	利用雷射繞射研究螺旋彈簧結構特性：分析干涉圖樣以測量線圈間距與波動行為	觀察並繪製磁滯回線，分析磁場循環中磁能的儲存與耗散行為，探討材料磁性特性與能量損失的關係。
2-5	鐵磁材料之磁滯行為與能量損失分析	結合光學干涉儀與電腦視覺，精確測量雷射波長，訓練學生掌握影像處理與干涉現象的物理應用。
2-6	透過 Michelson 干涉儀與 OpenCV 影像分析測量雷射波長	利用超音波反射與都卜勒效應原理，測定聲波在空氣中傳播的速率，並探討相關物理變因。
2-7	利用超音波與都卜勒效應測量音速	量測磁性材料在不同交流頻率下的磁化率變化，解析其實部與虛部成分，以了解磁性反應與能量損耗的頻率依賴性。
2-8	頻率依賴性交流磁化率探討：磁性材料中實部與虛部的量測	利用不同顏色 LED 的啟動電壓與光的波長，繪製能量與頻率圖形，從斜率中求得普朗克常數。

附件 2：113-1 實驗模組學習成效分析細節

第一學期模組分析（實驗 1-1 至 1-8）

第一學期的八組實驗設計主要聚焦於量測原理、運動學、波動現象、熱學效應與氣體性質，屬於物理學中基礎核心主題。本學期教學設計強調操作結構明確、學習目標清晰，搭配圖文摘要、實驗步驟圖示與簡易教具，使學生在逐步練習中建立實驗邏輯與理論模型的連結。將依據配對問卷所蒐集的數據，逐一分析各模組在「摘要理解」、「理論說明」與「方法熟悉」三個指標上的課前後變化，並整合呈現在表格 S3 中。

表格 S3 第一學期各模組課前後問卷統計總表（n = 48-50）。

實驗編號	主題簡述	摘要理解 ΔM	理論說明 ΔM	方法熟悉 ΔM	標準差變化(↓ 代表改善)	教學成效概述
1-1	分析不同質量的線材對質量-彈簧系統振盪週期的影響，藉以理解慣性與週期性運動之間的關係。	-0.03	+0.04	+0.06	微幅下降	穩定，適合作為入門單元
1-2	透過磁阻尼裝置，觀察扭擺在不同初始條件下的角運動行為，並探討其能量耗散與穩態行為。	+0.12	+0.09	+0.07	↓↓↓	三項指標皆明顯成長
1-3	結合光學與磁場感測技術，建立磁場與距離的關係模型，並實踐精準量測應用。	+0.07	+0.10	+0.15	↓↓	操作與理論連結佳
1-4	使用 ALoTs 平台量測弦上駐波的波節與波腹位置，分析共振條件與波動行為。	+0.12	+0.15	+0.15	↓↓↓	視覺化與模擬設計最優
1-5	以 DVD 光柵為模板製作 PDMS 複製結構，觀察其繞射現象並解析光學性質，了解微結構與干涉關係。	-0.05	+0.07	+0.06	波動	整體尚可，摘要設計略不足
1-6	使用鉛筆石墨製作導線，分析其在 RLC 振盪電路中的電阻與阻尼效果，理解材料特性對振盪影響。	+0.04	-0.08	+0.06	↑	理論難度高，理解斷層顯現
1-7	比較單線圈與雙線圈(赫姆霍茲)的磁場均勻性與強度分佈，並探討其物理應用與設計原理。	+0.07	+0.10	+0.09	↓	動態觀測結合動畫效果佳

實驗編號	主題簡述	摘要理解 ΔM	理論說明 ΔM	方法熟悉 ΔM	標準差變化(↓代表改善)	教學成效概述
1-8	透過快速壓縮與膨脹實驗測量氣體壓力與體積的變化，計算空氣的絕熱指數，並驗證理想氣體行為模型。	+0.15	+0.16	+0.12	↓↓↓	全面表現最佳模組

附件 3：113-2 實驗模組學習成效分析細節

第二學期的實驗模組設計進一步導入 AIoTs 平台、霍爾感測器、雷射干涉、熱電偶與電化學元件等先進裝置，強化學生於物理應用、跨領域整合與工程實踐的能力。相較第一學期以基礎量測與力學為主軸，第二學期之內容更具技術挑戰性與系統操作性，對學生在理解深度與操作熟練度上提出更高要求。透過第二學期實施的八組實驗模組課前後問卷結果進行分析，依據「摘要理解」、「理論說明」、「操作方法」三指標進行統整比較，結果整理如**表格 S4** 所示。

表格 S4 第二學期各模組課前後問卷統計總表 (n = 48-50)。

實驗編號	主題簡述	摘要理解 ΔM	理論說明 ΔM	方法熟悉 ΔM	標準差變化(↓代表改善)	教學成效概述
2-1	利用不同顏色 LED 的啟動電壓與光的波長，繪製能量與頻率圖形，從斜率中求得普朗克常數。	+0.08	+0.07	+0.12	↓	AIoT 模組協助操作熟悉提升
2-2	透過 Arduino 與 AIoTs 系統記錄電壓與電流變化，觀察 RLC 電路中阻尼、臨界與共振行為，理解其能量交換與相位關係。	+0.05	+0.04	+0.07	微幅改善	傳統模組穩定，需強化摘要引導
2-3	透過雷射繞射技術觀察彈簧干涉圖樣，藉此測量螺距與波動傳遞特性，並理解機	+0.14	+0.15	+0.17	↓↓↓	整體最優模組之一

實驗編號	主題簡述	摘要理解 ΔM	理論說明 ΔM	方法熟悉 ΔM	標準差變化(↓代表改善)	教學成效概述
	械結構與光學干涉的結合原理。					
2-4	觀察並繪製磁滯回線，分析磁場循環中磁能的儲存與耗散行為，探討材料磁性特性與能量損失的關係。	+0.12	+0.09	+0.13	↓↓	影像處理 + 圖形擬合效果佳
2-5	結合光學干涉儀與電腦視覺，精確測量雷射波長，訓練學生掌握影像處理與干涉現象的物理應用。	+0.03	-0.10	-0.05	↑	理論理解與操作皆需改善
2-6	利用超音波反射與都卜勒效應原理，測定聲波在空氣中傳播的速率，並探討相關物理變因。	+0.09	+0.06	+0.07	微幅下降	跨領域操作整合表現穩定
2-7	量測磁性材料在不同交流頻率下的磁化率變化，解析其實部與虛部成分，以了解磁性反應與能量損耗的頻率依賴性。	+0.06	+0.11	+0.10	↓	數據與模型擬合良好
2-8	利用不同顏色 LED 的啟動電壓與光的波長，繪製能量與頻率圖形，從斜率中求得普朗克常數。	+0.15	+0.16	+0.14	↓↓↓	高階模擬與圖像結合優異