

教育部教學實踐研究計畫成果報告(封面)

Project Report for MOE Teaching Practice Research Program (Cover Page)

計畫編號/Project Number：PMS1080035

學門專案分類/Division：數理

執行期間/Funding Period：108/08~109/07

(計畫名稱/Title of the Project)

融入實務能力訓練對提升物理學習興趣與教學效益之探討

(配合課程名稱/Course Name)

普通物理學

計畫主持人(Principal Investigator)：施明智

共同主持人(Co-Principal Investigator)：

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：國立中興大學物理系

成果報告公開日期：

■立即公開 延後公開(統一於 2022 年 9 月 30 日公開)

繳交報告日期(Report Submission Date)：

## 一. 報告內文(Content)

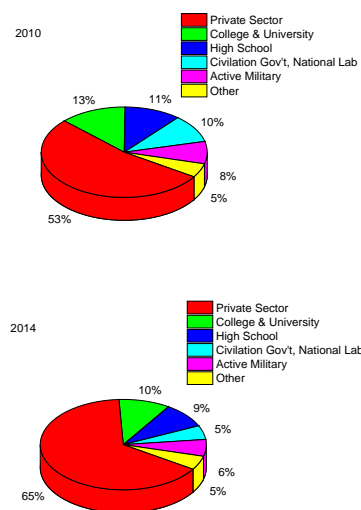
### 1. 研究動機與目的(Research Motive and Purpose)

#### 動機一: 學生對物理科學興趣的流失—人才培育的危機 I

全球經濟發展已傾向倚重 STEM (science, technology, engineering, and mathematics) 技能，然 Cornell University 於”The Crisis in Physics Education” [1] 議題中指出，然而具有此專業能力之人才卻逐漸衰減，此不僅為美國的困境，亦為全球共同趨勢。美國物理協會也極力呼籲，基本的物理知識不僅是 STEM 專業人士所應具有，即使是商務或行政、政府領導者也皆應具備[2]。然而美國高中畢業生中，曾修習物理課程的人數卻僅有三分之一[3]。英國學者 Smithers 與 Robinson 於 2005 亦指出[4]，物理學科於國家教育體制中，正處於逐漸消失之關鍵時刻。同年十一月泰晤士報網路新聞亦提出警告，物理教育所訓練的邏輯思維與解決實務問題技巧，符合支撐現代經濟發展之各項產業。因而物理教育之衰弱，勢必嚴重影響到所需人才的培育。我國因招生考試制度的約制，表面上學生於物理科學訓練人數比例遠高於歐美國家，看似無他們所指出的危機，然而我們意識到也因此制度的約制，我國所訓練的學生於邏輯思維與解決實務問題技巧方面極為薄弱，於 STEM 人才培育上的危機嚴重性，恐更甚於歐美國家所擔憂。

#### 動機二: 大學物理學科的訓練與市場脫節—人才培育的危機 II

1999 年二十九個歐盟國家在義大利博洛尼亞大學共同簽訂宣言，主要目的為確保歐盟各國高等教育可達相似標準，以便利歐洲國家可相互銜接高等教育，稱之博洛尼亞進程 (Bologna process)。為了解此制度於歐洲地區高等教育(European Higher Education Area EHEA)實施狀況並提出未來發展預測，歐洲大學聯盟學會(European University Association EUA)於 2015 年再次對歐洲高等教育 451 所大專院校進行調查[4]，提出確保高等教育學校學術品質及教育改革動力之趨勢。該報告書顯示將學校所傳授知識，轉換成學生足以應對未來生涯發展所需的能力，為學校與學生共同注重的課題。根據美國物理學會(American Institute of Physics, AIP)的統計研究中心針對該國物理系畢業生就業狀況統計報告[5]，絕大多數學生起始工作為非學術單位(圖一)。比較 2010 與 2014 的數據，進入中學就職的由 11% 變成 9%，進入大專院校任職的由 13% 衰減成 10%，而其中成為物理教授僅約 5% 左右。數據顯示，唯一成長的為私人企業，由 53% 增長成 65%，此數據在台灣恐怕會更加偏頗。然而現今大學物理系課程架構，仍停留於傳統的學術訓練範疇，以致學生所學知識與市場需求技能嚴重脫節。



圖一 AIP 統計 2010 年與 2014 年物理系學生起始就業行業比較[5]

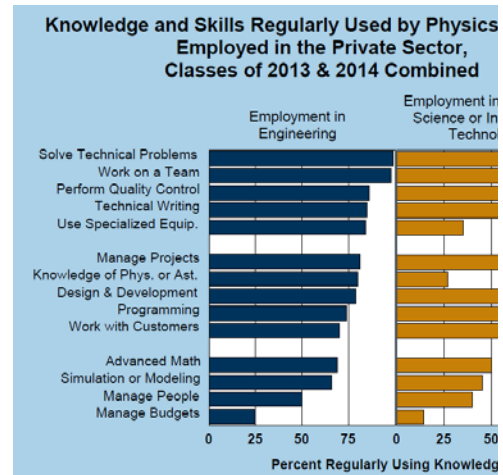
## 2. 文獻探討(Literature Review)

因應全球高等教育改革之呼聲，許多教學創意不斷的被提出與採用，其中重視學習成果(learning outcomes)的概念逐漸蔓延，對歐洲教育的發展有重要的影響。因 EUA 報告特別針對 EHEA 實施採用學習成果概念的課程學習進行調查，數據顯示由 2010 年統計的 53% 全校採用 32% 部分課程採用，成長到 2015 年統計的 64% 全校採用 21% 部分課程採用[4]。此調查結果客觀的陳述多數國家有此共同政策，如丹麥、荷蘭與瑞士達 100% 的普及率，德國與奧地利也將近有 70% 的比例。然而並非沒有不同意見與想法，以法國與瑞典為例，其採用比例僅有 11%，因此對此概念的接受度仍有區域性的不同意見。

類似的傾向也出現於美國地區，根據 Boston Consulting Group 於 2014 年公布的報告[7]，就業市場對學生學習成效能要求有具體指標，成為了影響美國高等教育發展的重要演變趨勢動力。而 Competency-based education (CBE) (源於更廣義的 Outcome-based education OBE) 的理念因切合需求而廣泛被討論與採用。CBE 的思維強調，能力訓練應該是以學生個體為主軸，重視學習過程與能力吸收成效，而非單存的訊息傳遞模式。學生得到甚麼具體的知識與技能為重點，不應被傳統教材內容，或上課的形式所約制。

具體而言，學生(或STEM人才)應該具備什麼樣的competency?根據調查統計[5]，就業市場中對STEM人才的實際技術與能力需求主要以解決問題能力、團隊合作、技術寫作、物理背景、程式與系統模擬...等能力為主(見圖二)。然而所列多數的技能，皆非目前大學課程裡所提供的訓練。Laurie McNeil 與 Paula Heron於2017發表的文章中更明確的指出[9]，現在的物理系學生除了應持有注重解決問題能力，廣泛接觸不同科技的認知外。電腦分析、實務經驗、物理原理與實際應用的連結等能力，將為於未來成功的基礎。

傳統的物理課程訓練，多半以教導物理觀念與知識為重，於建立學生物理基礎是足夠的。然若欲整合其他能力的訓練於課程中，勢必於教學方式上有所更動。CBE 的運作基本上以線上教學平台為工具之一，其中 ICT (Information and Communication Technology) 的應用，為改變現代教學的重要技術走向。此與近年來盛行的磨課師 (Massive Open Online Courses MOOCs) 網路教學模式不大一樣，雖然有點類似翻轉教室 (flipped classrooms) 的理念，但其獨特性較適用於以延伸磨課師教學，翻轉教室教學所發展出之混合學習 (blended learning) 式教學，最能銜接 CBE 的精神。The NMC Horizon Report: 2017 Higher Education Edition 的研究報告[8]明確的指出，混合學習與合作學習 (collaborative learning) 為現今推動高等教育所採用技術的近期趨勢。混合學習因同時結合了線上學習與面對面教學的優勢，具有靈活性且可鬆綁課堂學習的侷限性，加上易於融合豐富的多媒體技術，容許各類教學活動設計的引入，可讓學習更具有多樣性。合作學習為社群學習模式，以小組活動合作進行學習，主要重點原則包含:以學習者為重心，重視小組彼此間互動、強調團隊合作與解決實務問題等。合作學習提供了另一個課堂學習方式的選擇，Cornell University Center for Teaching Excellence 的研究[6]亦指出，此方式有助於提升學習者思維的層次、自我的信心與領導能力。此學習模式為學習者熟悉人群互動，為進入職場前的極佳訓練。因此，本計畫之主要目的將先專注於:(一) 探



圖二 AIP 統計 287 名就業於私人單位物理畢業生之問卷結果。[5]

索利用混合學習教學架構，設計增加軟體計算/模擬解物理問題所造成的教學與學習效益影響；(二)探討以小組活動合作模式，於實務能力訓練的 mini-project 活動設計可行模式與所需克服的問題。

### 3. 研究問題(Research Question)

基於現行教學體制僵硬難於短期內鬆綁，此提案計畫將以兩項特質進行先導性研究：(一)ICT 技術應用 I:探索學生利用網路數位平台學習之適應，鼓勵善用線上豐富資源強化學習效果，創造一個學生自我中心的彈性學習環境之成效；(二) ICT 技術應用 II:研究經由科學軟體能力之訓練，賦予解決開放性問題之作業，於提升學生思考邏輯及科學興趣之效益。(三)合作學習活動設計:嘗試以小組學習活動替代部分傳統課堂教學，要求學生共同合作完成 mini project，探討此方式對學生學習成效之影響。

### 4. 研究設計與方法(Research Methodology)

#### (一)、應用 ICT 創造彈性學習環境與傳統課堂學習之比較

網路的普及與隨身攜帶裝置的進步，已具備突破個人學習時間與空間限制的可行性，將課堂教材數位化置於網路平台，為混合教學模式設計的基本架構。異於現行磨課師(MOOCs, Massive Open Online Courses)，此計畫之數位教材以微型化主題格式呈現，縮短影片時間，建構十分鐘長度以內的影音教材為原則，讓學生因易於搜尋與選擇。其主要概念為避免因上課鐘點為單位的時間過長，導致學生難以全程集中注意力，降低吸引學生持續觀看的動力，有礙於彈性學習環境的創造。網路教材的使用旨在培養學生主動學習習性，鼓勵善用網路資源，以豐富自主學習。

教學影片加上課堂講義，為網路平台教學資源的主軸。所有資料包含所有作業問題，皆於開學時即完成上傳，提供學生自主學習。課堂教學則著重導引重要觀念為主，不講授較簡易或直觀的部分，但要求學生利用網路平台學習，並利用即時回饋系統(IRS)當場檢驗觀念。相較於傳統序列性的課堂傳授，此重點式講解與自主學習的組合，是否會影響物理觀念的認知效益，可參考小考等測驗方式結果來檢測。

#### (二)、以軟體能力訓練強化專業技能與科學學習興趣

科學軟體能力的訓練，除可強化個人專業能力之外，亦可提升對科學問題的思考與興趣。讓學生熟悉數據分析與繪圖軟體(Origin)的使用，可經由將科學問題數據化與圖像化，對問題有更具體化的認識與了解。進一步學習程式撰寫(Python)，可透過模擬物理系統，深入探討問題與現象，跳脫代入公式的解題模式。

#### (三)、合作學習活動設計:多樣化學習工具與團隊合作能力訓練

合作學習著重團隊合作與集體智慧，如何營造適當團體氣氛與課堂管理，將為活動設計之挑戰。學習活動強調實務能力成果，此計畫將透過分組賦予不同 mini project 的方式，探討開放性科學問題，訓練學生資料搜尋整理、邏輯推理、問題解決能力等能

力。利用課堂時間，要求各組分別經歷提案、進度與成果三階段報告，通過全班共同考核。

## 5. 教學暨研究成果(Teaching and Research Outcomes)

### (1) 教學過程與成果

(一)、ICT 未能增進學生自主學習:縱然一開學即將所有資訊置於網站，學生點閱率僅於開學前有超前閱讀紀錄，開學後只餘講義會事先下載，其餘教學影片不僅事先點閱率迅速衰減，到學期中連點閱率也逐漸消失。除講義外唯一例外，持續有點閱率的為程式教學影片。

(二)科學軟體訓練成果顯著，但參與涵蓋率偏低:學生於 origin 或 python 的學習參與成不對稱兩極化分布。有心於軟體學習的學生，多半能將所學應用於報告或解題上，顯示學生對新工具的學習與應用較課本內容興趣高。然而另一端未參與人數佔班級 3/4，多數選擇不以軟體學習為課業評量。

(三)合作學習的不熟悉:學期中以加分為鼓勵學生組織讀書小組及工作小組之措施，形式上(以聚會次數及人數論)看似成果豐碩，然於學習效益上而言卻無顯著差異。以課堂報告及程式專題工作小組為例，所謂合作多以個人總包獨立工程，於分數謀取上則相互掛名，以獲得最大分數量為合作策略。

### (2) 教師教學反思

(一)ICT 科技引導學生自主學習:現代通訊科技的確消除了學習的時空限制，然而此便利性能有助於提升自主學習，尚且欠缺一個重要的前提—需求。多數學生對課堂知識的需求只在有考試存在時，沒考試就沒有動機去學習物理。即使是那些所謂‘對物理有興趣’的學生，其所謂興趣多半指的是宇宙太空，或未來科技，絕非課本所教授的”日常生活物理”。在缺乏自我動機推動下，只剩考試是難以朔造出自我學習的環境。如何引導學生萌生需求與動機，為營造學生自主學習習性的重要議題。

(二) 軟體學習強化實務能力:以實例物理問題做引導，目標明確易懂且可於極短期時間內達成，較易引起學生學習動機與興趣。致使網路教材點閱率較高，且做小程式專題之意願也較高。Origin 軟體運用較便利且學習門檻值低，缺點是非開放軟體，因經費不足無法全學生回家使用，阻礙了學生學習。Python 為開放性免費軟體，學生可行安裝於個人電腦，只是入門門檻稍高，許多學生半途而廢。

(三) 合作學習反向效果:雖有獎勵措施，學生習慣於考試制度下的單打獨鬥學習，

加上標準答案的認知，不挑戰解答的合宜性。以至於所謂的討論多半是有人提出意見觀點後，即進入執行階段(且多半由提案人執行)，而未經合理性討論與判斷。少了中間的討論，即失去合作學習的意義。而分工成了個案分配獨立工作，合作成了一起掛名做一分多。如何打破學生的利益結群，導向正面的集體智慧合作，仍需詳盡設計。

### (3) 學生學習回饋

學生分別為對 python 教學、origin 教學、考試、寫作業及課堂報告等五項教學活動的回饋意見:(以 t-test 分辨)

提升物理學習效益: python > 課堂報告 = origin = 寫作業 > 考試

加強解決實務問題的能力: python = 課堂報告 = origin > 寫作業 = 考試

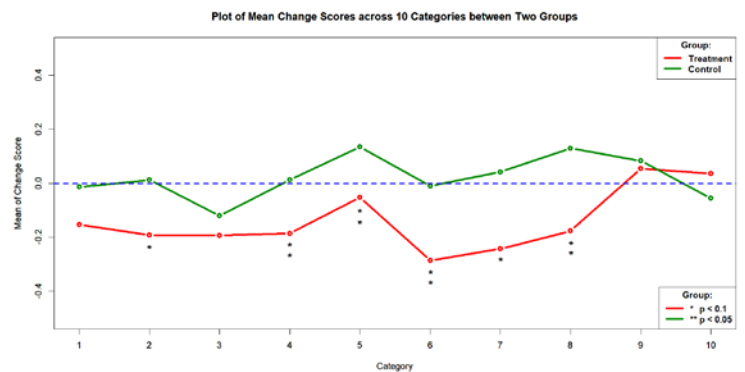
實質獲益較多: python = 課堂報告 = origin > 寫作業 > 考試

思考問題中的物理: 課堂報告 = python = origin > 寫作業 = 考試

## 6. 建議與省思(Recommendations and Reflections)

認知與現實之差異:由學生回饋意見顯示，學生對於實務能力訓練、邏輯與表達能力訓練等教學活動是正面肯定的。然而在另一項問卷分別針對:

1. Real World Connection
2. Personal Interest
3. Sense Making/Effort
4. Conceptual Connections
5. Applied Conceptual Understanding
6. Problem Solving General
7. Problem Solving Confidence
8. Problem Solving Sophistication



等八個類別前後測比較(圖:1~8 項)，發現接近傳統教學的對照組班級(圖:綠線)，想法認知上並無顯著變化，而混和式教學法則顯著的對學生有影響(圖:紅線)。然而此影響卻是負面的，學生態度反趨向保守消極，此與上述回饋意見相左。合理的可能解釋為學生對程式與報告之訓練觀念上是認同的，然於操作上因耗時費力而打堂鼓，轉而尋取投資報酬率最高，最低付出之途徑。

學生因習性以致慣性變大，要改變學習模式建議從改變習性開始。此研究顯示學生因長年習慣，因而傳統教學難以帶入衝擊改變，而混和教學模式牽動學生的變化是顯著的。此次實驗因過於著重全面性改革，造成學生負擔過重而退縮，為檢討

與改良之處。學生如何由聽課、寫作業而後考試的傳統教學被動學習模式環境裡，萌生自我意識衍生學習動機的主動學習，全依賴創造有選擇性的教學環境，以利學生能無隔閡演變習性。因此，混和式教學有此優勢，只是還得有持續的漸層銜接改革支持。

## 二. 參考文獻(References)

1. Cornell University Physics Teacher Education Coalition, “The Crisis in Physics Education”, <https://phystec.physics.cornell.edu/content/crisis-physics-education>
2. Colin B. Price: (2006) A Crisis in Physics Education: Games to the Rescue! The Higher Education Academy Journals, *Innovation in Teaching and Learning in Information and Computer Sciences* 5(3), DOI: 10.11120/ital.2006.05030003
3. American Physics Society, Policy & Advocacy <http://www.aps.org/policy/resources/upload/teacher121115.pdf>
4. Andree Sursock; “Trends 2015: Learning and Teaching in European Universities”, European University Association publication 2015
5. <https://www.aip.org/statistics/reports/physics-bachelors-initial-employment2014>  
<https://www.aip.org/statistics/reports/physics-bachelor's-initial-employment>
6. Tyce Henry, Ernesto Pagano, J. Puckett, and Joanne Wilson;” Five Trends to Watch in Higher Education”, Boston Consulting Group 2015  
[https://www.bcgperspectives.com/content/articles/education\\_public\\_sector\\_five\\_trends\\_watch\\_higher\\_education/#chapter1](https://www.bcgperspectives.com/content/articles/education_public_sector_five_trends_watch_higher_education/#chapter1)
7. Laurie McNeil, and Paula Heron; “Preparing physics students for 21st-century careers”, *Physics Today* 70, 44 (2017); 10.1063/PT.3.3463
8. Adams Becker, S., Cummins, M., Davis, A., Freeman, A., Hall Giesinger, C., and Ananthanarayanan, V. (2017). *NMC Horizon Report: 2017 Higher Education Edition*. Austin, Texas: The New Media Consortium.
9. Smithers, A., Robinson, P., (2005) *Physics in Schools and Colleges: Teacher Deployment and Student Outcomes*. Carmichael Press, University of Buckingham, Buckingham UK

## 三. 附件(Appendix)

與本研究計畫相關之研究成果資料，可補充於附件，如學生評量工具、訪談問題等等。