資優教育季刊　民 111 年　第 160 期　第 9-16 頁
https://doi.org/10.6218/GEQ.202212_(160).9-16

大學資優情意課程融入——以北部某大學普通物理實驗課程為例

陳育霖*
國立臺灣師範大學
師資培育學院暨物理學系
助理教授

摘　要

大學普通物理實驗課程是大學低年級學生的重要入門課程之一，由於臺灣學生學習特性及課程要求動手操作強度高，學生普遍投入情況落差相當大。筆者以北部某頂尖大學任教經驗分享因應數理資優生特質進行的普通物理實驗課程調整、上課方式及學生的回饋與學習表現。

關鍵詞：物理實驗、情意教育、數理資優

* 通訊作者：陳育霖（chendaneyl@ntnu.edu.tw）

Gifted Education Quarterly 2022 Issue No. 160 Page 9-16
https://doi.org/10.6218/GEQ.202212_(160).9-16

Integrating Gifted and Affectionate Courses in Universities: A Case Study of General Physics Laboratory Course at a University in Northern Taiwan

Yu-Lim Chen*
Assistant Professor,
School of Teacher Education &
Department of Physics,
National Taiwan Normal University

Abstract

The general physics laboratory course at the university level serves as a crucial introductory class for freshmen. However, due to the learning characteristics and high demand for hands-on activities among Taiwanese students, there exists a significant disparity in the level of engagement and participation. In this paper, the author shares their teaching experience at a top university in Northern Taiwan, focusing on the adjustments made to the general physics laboratory course to cater to the characteristics of mathematically gifted students. The study also explores the changes in teaching methods, student feedback, and learning outcomes resulting from these adaptations.

Keywords: physics experiment, affective education, math and science gifted

*Corresponding Author: Yu-Lim Chen (chendaneyl@ntnu.edu.tw)

壹、前言

大學的普通物理實驗課程是大學階段重要的入門實驗科學課程，目的是為了能夠增加各個相關科系學生的知識多樣性，提供更多元的基礎訓練，幫助學生以更寬廣的視角看待可能的職涯發展，在科技變化迅速的時代洪流中，保持適應彈性，同時依此基礎順利進行跨領域工作。

筆者任教北部學生拔尖的大學期間，負責全校物理實驗課程運作執行及助教教育訓練，有機會能夠接觸到超過 24 個班的普通物理學實驗課程。當中理、工、生命科學、農、醫、電資學院主修 STEM (Science、Technology、Engineering、Mathematics) 相關領域學生低年級共同必修普通物理實驗課程一、二。每週連續 3 小時，一學分，每學期進行 10 個實驗，實驗需要繳交報告。從 1978 年物理系進行普通物理實驗課程改進之後，課程設計難度相當高，有些實驗都是世界各大學物理系高年級才進行學習與實作，像是麥克生干涉實驗、微波的性質等實驗。以 110 學年度的課程為例（理學院物理系 110 學年度普通物理實驗課本），列出必修實驗內容如表 1。

實驗內容「克特——可倒擺」是系上師長及技師自行研製的實驗器材。「簡單迴轉運動實驗」是系上師長及技師自行開發的電動陀螺儀，學生可以在課堂中精確量測陀螺儀的自轉及公轉週期，依此找到重力場中力學進動的所有物理關係式。

「熱的傳導」是在實驗中找到一維熱傳導關係式。「都卜勒效應」是運用超聲波發射與接收器來量化聲學都卜勒效應關係式。「氣體定律實驗」是找到氣體狀態方程式。「口腔共振實驗」是重現亥姆霍茲共振 (Helmholtz resonance)。「霍爾效應」以半導體材料樣品進行霍爾效應量測。「簡單麥克生干涉實驗」每三位同學一組麥克生干涉儀實驗。「微波的性質」進行微波偏振、折射及漸逝場 (evanescent field) 等量測。

表 1

普通物理實驗課程單元

上學期	下學期
基本物理量量測實驗	滑線電位計
克特—可倒擺	霍爾效應
簡單迴轉運動實驗	光學基礎實驗
流體的黏滯性	簡單麥克生干涉實驗
熱的傳導	微波的性質
波動基本性質 (電子測量儀器之認識)	RC RL 基本交流電路
固體的線性熱膨脹係數	RLC 基本交流電路
都卜勒效應	磁滯曲線、磁矩測定
氣體定律實驗	光譜分析
口腔共振實驗	共振基本原理
	光電效應
	核磁共振實驗及其應用

實驗的難度並不低，同時由於許多實驗器材是歷年來師長及學長姐自行研發的器材，有些看起來並不像套裝器材包裝亮麗或烤漆完美，相當程度影響現代學生對於實驗課程的信賴度以及學習動機。像是 1980 年代由葉、高兩位學長自行研發製造的 8748 計數計時器，其實穩定度及量測性能至今都相當好，只是外觀不像套裝的新器材。另外像是迴轉運動實驗的陀螺儀、克特一可倒擺、都卜勒效應、固體膨脹係數的光學望遠鏡、霍爾效應的磁場及半導體樣品、微波稜鏡等，都是在物理系工廠自行加工完成。

早先負責的師長也察覺實驗難度影響學生的學習意願及投入程度，於是試圖調降難度及以即時反饋系統來增進學生投入。

有次筆者在學生餐廳用餐，聽到隔壁桌學生真實評論普通物理實驗，「實驗器材老舊、實驗內容難，不知道實驗在做什麼，每週三小時的課程只換到一學分，簡直浪費時間，投資報酬率低，學長姊都說報告抄家產應付過去就好」。

由於物理實驗課程對於 STEM 領域學生的生涯可以有相當程度的正面效應，同時學生的必修課程規定必須每週花 3 小時在物理實驗室，實驗難度、實驗器材等主客觀條件又影響學生的學習動機，所以筆者需要進行課程調整來促進學生的學習。

貳、學生及課程背景

一、學生的特性

該大學位於大臺北都會區，歷史悠久，學生總數超過 3 萬，是領域科系完整的綜合研究型大學。學生是大學入學成績拔尖，同名科系在臺灣的排名都在前列，多數 STEM 領域學生都算得上是數理資優生，當中部分學生為國際科展及國際奧林匹亞競賽成績保送。學生從小到大的課業學習成功經驗多，學習意願及克服困難的勇氣都相當高。

資優生在認知的特質上：學習快、記憶強、觀察微、善理解、知識豐、思想奇、疑問多、策略靈；在情意的特質上：理想多、期望高、自信強、要完美、喜冒險、易堅持、樂獨立、少順從；在生理的特質上：精力旺、作息繁、感覺銳、風格異。他們具有豐厚的學習潛能，要求完美的傾向，與旺盛的精力。過度激動 (overexcitabilities) 具有正負向的特質，但是一種發展動能 (Dabrowski, 1964)。專家建議在課程當中納入情意課程，同時教學與情意輔導結合（郭靜姿，2000；潘裕豐，2000）。

二、普通物理實驗課程

物理是一門實驗科學，無論任何創新研究都需要實驗結果進行歸納檢驗，許多研究前沿的進展也來自於實驗結果的新發現，工程科技的進步也都離不開實地實驗的進展。可見實驗在物理教學中扮演重要角色。

1972 年，諾貝爾物理獎得主，P. W. Anderson 在《科學》 (Science) 雜誌上發表一篇名為「多者異也——對稱性破缺與科學層次結構的本質」(More is different- Broken symmetry and the nature of the hierarchical structure of science) 的文章 (Anderson, 1972)，提醒大家，自然界不同尺度層級，需要有全新的科學概念來描述現象，形成科學知識的層級結構，沒辦法把宇宙中所有事情都化約成兩個原子之間的交互作用。文中舉例，「分子生物學家力圖將人體組織或機能完全化約還原為化學，範圍遍及普通的感冒、各種精神疾病一直到宗教本能。人類行為學與 DNA 之間的組織層次，顯然要比 DNA 與量子電動力學之間的層次要多，並且每個層次皆要求全新的概念構架。」作者在文章最後引用經濟學觀點，「量變會引起質變」來加強說明「多者異也」。由此可知，實驗與實作在科學研究過程中的重要性，針對研究範圍設計的實驗結果才能更完整真實呈現宇宙的樣貌，理論與實驗都需要學習。

研究發現，臺灣學生包含一般學生及數

理資優生的幾項科學學習特點分別是：（一）擅長直線化單向推理計算，尤其是套用公式；（二）擅長依循課本理論推演方向思考，速度極快；（三）不擅長非食譜式步驟實驗操作；（四）不擅長機率或排列組合之類的問題（陳育霖，2020）。動手實作實驗對於臺灣學生的科學學習完整性有相當的影響。

大學的普通物理實驗課程，是科學基本能力養成的重要課程，對於學生理解科學本質、培養動手探究與實作能力有相當重要的影響，尤其臺灣學生普遍對於理論型態課程接受度較高，對於動手實作的課程較不熟悉，然而實驗物理本質當中重要的內涵其實正是由於不同尺度底下，系統描述可能需要全新的物理概念，所以實驗結果對於科學研究甚至工程技術進展都至關重要。因為初學者對於實驗結果，過度依賴現有理論思考，時常無法回到實驗數據本身的規則與特性，難以突破知識架構當中的既有框架。從科學素養的角度看來，相對於重視理論的普通物理課程，大多以課堂講演形式進行，普通物理實驗課程是實驗科學基礎課，都需要學生自己動手實作。兩者用於培養學生的基礎科學能力，理論與實驗課程，共同組成科學方法的重要部分。

三、實驗課程進行方式

普通物理實驗每學期預計進行 10 個實驗，分三個段落進行，每一個段落進行 3 至 4 個實驗，每三個實驗結束進行總結報告。

課程開始先由助教說明實驗目的、相關物理原理、儀器操作方式及實驗步驟，接著讓學生開始進行實驗，有些班級先進行學生口頭預報或課前考試，考試內容包含前述實驗目的、相關物理原理、儀器操作方式及實驗步驟。每組實驗結束之後，由助教檢查量測數據並確認學生理解總體實驗數據的意義，學生可以下課。過程當中助教們隨時針對學生問題進行個別指導，技師也在旁協助排除儀器及量測技術上的問題。

由於實驗時間歷時 3 小時，學生對於許多關鍵細節的進行由於實驗理論較不容易理解且操作步驟相對複雜，動手精巧程度要求也較仔細，時常由於動機與能力的雙重影響，導致學生的學習狀況打折。

參、課程調整與設計

課程調整設計的流程依圖 1 所示，先分析課程特性，理解學生特質，接著進行課程設計與執行，最後收集學生學習表現，並反饋下一輪教學設計調整，設計流程再循環，或在任一步驟往回進行。

綜合前述原因，筆者從數理資優的物理實驗教學的角度切入，對於全校普通物理實驗課程進行調整。依照課程流程，分成課前、課中、課後三段程序。從以下面向切入：

（一）大學生的學習目標與社會責任；

（二）學生自我的生涯探索與規劃和普通物理實驗的關係；

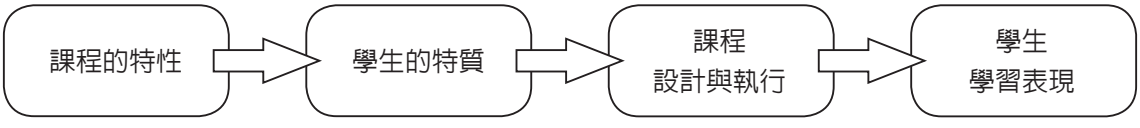
（三）實驗課程學習效率的理論與實務；

（四）歷來普物實驗課程及器材設計的過程與理念；

（五）大學生學習的態度與方法。幫助學生順利進入普通物理實驗課程，並且直接告訴

圖 1

課程設計的流程



學生普物實驗一點都不簡單，不能輕忽。

一、課前調整課程架構

定位普通物理實驗課程並不是為了驗證學生在普通物理課程當中所學的理論，而是一門方法不同於理論的獨立實驗物理課程。原先課程進行是如食譜教學步驟一般，先宣布目的、原理與操作步驟，學生依步驟動手操作來量測數據。最後檢核量測數據的分布範圍是否與系統情況匹配。

課程架構調整，將課程的進行方式調整為較接近「以學生中心」的問題導向學習，課程的流程改成先講演解說或演示課程原理、目的，接著拋問題給學生，由學生負責解決，「如果想要找到原理及目的當中的科學理論證據，應該要量測那些數據量測，才能發現特定物理量之間的關係？」基於問題挑戰，能夠促進資優生的課堂投入參與（陳育霖，2016）。

二、課中調整課程進行方式

作為課程負責人，筆者負責全校理工、生物、農業、醫學及電資學院共 24 個班級的普通物理實驗課程。每個實驗時段通常有 3 至 4 個班級同時進行，因此在學期初，筆者會親自前往每個班級，花 10 分鐘向學生說明課程概況。

而在每個實驗段落開始時，筆者還會到實驗室，再花約 10 分鐘向學生講解，內容包括：

（一）學習目的：為何要學習這些物理實驗？

（二）學科與未來發展：這些物理實驗與各科系的專業內容及未來發展有何關聯？（依不同科系調整說明）

（三）實驗器材背景：這些實驗器材是由歷屆師長、技師及學長們共同研發與製作，承載著學術傳承與技術創新的精神。

這樣的安排不僅讓學生理解課程的重要性，也能激發他們對物理實驗的興趣與投入。所說明的重要理念舉例如下：

「由於納稅人共同承認『能力高的人或許對社會有更多貢獻？』願意犧牲更多權益來成就資優生，所以學成之後幫助更多人，很有可能只是最低標準，算不上是高尚情操。接受大學教育的目的是為了『貢獻天下』，但這不是一個單方向利他主義，透過貢獻天下而發現自我價值，這才是念大學的真正目的。『貢獻天下』不需要到馬路上指揮交通，在課堂中發問、想點子，為同學的思考提供線索都算是貢獻天下，因為對於他人都有實質的幫助。」

「普通物理實驗課程與高中時的實驗不同，不是為了驗證或搭配物理課程當中所學的理論，這是一門方法與思考方式獨立的課程，對應普通物理課程的理論，普通物理實驗課程提供實驗科學的邏輯方法訓練，讓學生以更完整的眼光看待物理學學習。其難度相當高，超越許多名門大學的入門物理實驗課，所以學生務必要認真投入，期待能夠有所收穫。」

「課程當中所使用的器材，許多都是幾代物理系的師長、技師、學長們自己動手製作，所以看起來似乎不那麼商業化地高級，甚至有點舊，但是都有助於清楚掌握物理實驗過程當中的所有參數細節、來龍去脈以及如何改進實驗的每一個環節。知名物理學家理查費曼 (Richard P. Feynman) 曾經在書中提過，1940 年代，普林斯頓大學的粒子加速器外觀及尺寸都遠不及於麻省理工學院，實驗室當中爬滿電線、元件，但當時世界上半數的相關研究論文，都出自普大加速器 (R. P. Feynman, 2018)。」

「1980 年代，葉、高兩位學長以當年大三的高齡，共同發明 8748 計時計數器，沿用至今，穩定度仍然極高，許多實驗都共同使用，也鼓勵學生接續研發下一代物理實驗器材。」

「學生所坐的椅子，也是 1980 年代末期，由熊姓學長自己設計，委託家具廠製作，沒有使用任何一根釘子，完全只靠卯榫接合。」

三、課後與學生討論及回饋

課程進行當中所使用的工具及方法，鼓勵學生認真投入研究之後，思考課程與實驗設計是否有更多能夠改進之處，跟同學分享，達成「貢獻天下」的理想。

四、學生的學習表現及課程成果

由於定位不是物理理論課程的驗證實驗過程，學生對於課程的期待不像高中時期，總是期待有課本理論可以依循參考或者較能夠跳脫原先思維。學生總體的實驗態度與面對困難的勇氣相當程度提升。

課程進行當中，有工學院學生一開始的數學建模技巧學習一直撞牆，軟體使用一直有問題，後來終於在引導下學習發現到如何解決問題，最後終於做出了適切的數學建模結果，筆者鼓勵學生寫成完整文件貼到該大學學生交流板的不公開社團上與同學分享，學生充滿成就感。

電資學院的學生，對於微波實驗的探究方式很有想法，筆者鼓勵學生到實驗室進行更進一步實驗，把所有結果做了更深入的探討，支持學生到物理教育年會上進行論文發表，同時將相關內容寫進下一個年度的課本當中（陳致維、陳育霖，2016）。

課程進行半個學期之後，工學院的學生反應：「普通物理實驗課程非常有趣，是一個星期當中最期待來上的課」，理學院學生寫信回應普通物理實驗課程幫助學生認知來大學受教育的真正目的與應有的學習態度。有電資學院學生，在實驗過程中自願整理全班所有實驗組儀器，幫助提升實驗效率。有工學院學生整理自己數據分析的盲點與應注意事項的理論根源問題，公開分享給其他修課同學。電資學院的學生在寫給筆者的信件當中提到，班上同學對於「貢獻天下」非常有感，每次筆者要進教室進行說明的時候，學生們會在群組裡一起打上「貢獻天下」，還希望能夠索取該頁簡報內容。期末的學生意見調查表當中，理學院的學生提到從小到大，沒有聽過資優生「貢獻天下」的說法，但是非常認同，也深受感動，希望能夠身體力行。

某次下雨天，筆者站在實驗室門口看學生進教室，一位工學院學生穿著拖鞋經過，立刻拿起手上的鞋子，告訴筆者，外面下雨但是帶了鞋子來換，做實驗不可以穿拖鞋。顯見學生可以被要求。

肆、結論與建議

依臺灣學生的學習習慣，大學普通物理實驗課程進行不易，不同於先前將課程難度下降或運用課程即時反饋系統來增進學生參與，筆者從數理資優生情意教育的角度切入，在課程中直接告知學生，學習內容一點都不簡單，反而讓許多學生更加警覺投入。更多機會讓學生體驗學習充滿挑戰、過程充滿意義、還需要「貢獻天下」來發揮資優是公共財的理想，促進教學效能，同時也幫助筆者找到高等教育階段數理資優情意教育的一種可行樣態。

參考文獻

R. P. Feynman（2018）。**別鬧了，費曼先生：科學頑童的故事**（吳程遠，譯）。天下文化。（原著出版於 1985）

陳育霖（2020）。科學本質導向的物理學探究式教學。載於蔡雅薰（主編），**探究式教學法理論與實踐**（頁 77-95）。高等教育文化事業。

陳育霖（2016）。教育現場為什麼需要探究與實作課程？**科學研習月刊，55**(2)，19-27。

陳致維、陳育霖（2016 年 8 月）。**微波穿隧效應實驗方法討論**。2016年中華民國物理教育聯合會，臺南，臺灣。

郭靜姿（2000）。談資優學生的特殊適應問題與輔導。**資優教育季刊，75**，1-6。

潘裕豐（2000）。談資優學生的情意教育。**資優教育季刊，77**，1-7。

Anderson, P. W. (1972). More is different: Broken symmetry and the nature of the hierarchical structure of science. *Science*, *177*, 393-396. https://doi.org/10.1126/science.177.4047.393

Dabrowski, K. (1964). *Positive disintegration.* Little, Brown.