

教育部教學實踐研究計畫成果報告

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

計畫編號/Project Number：PMS1080072

學門專案分類/Division：數理

執行期間/Funding Period：2019-08-01-2021-01-31

融合程式設計的電磁學教學
電磁學上、電磁學下

計畫主持人(Principal Investigator)：石明豐

共同主持人(Co-Principal Investigator)：

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：國立台灣大學物理系

成果報告公開日期：立即公開

繳交報告日期(Report Submission Date)：2021/3/13

融合程式設計的電磁學教學

一. 報告內文(Content)(至少 3 頁)

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

電磁學是銜接大一與高年級課程的核心關鍵課程，是所有物理領域研究的核心知識。但傳統電磁學教學著重以方程式的推導、例題與習題之演練，來塑造電磁學觀念，以使學生具備日後在遇到相關電磁學問題時的解題能力。但電磁學這門課包括了大量(一)單以方程式難以理解，而需利用圖像來了解的原理，(二)列出方程式後，需以高等或繁複的數學來解的方程式，而常讓學生迷惑於解數學而非學觀念或原理，等兩部分。為解決上述兩個主要的學習障礙，此計畫將現已普遍被使用的程式計算工具與 3 維繪圖顯示模組，讓學生以架構觀念為先，從中學習建立電磁學圖像，將方程式轉化為電腦程式，而解決問題，並在電腦的虛擬世界中，以三維與動態的方式將各種電磁學的現象呈現出來，加深學生對此學科的認知與了解。此外在此過程中，學生學得使用程式和計算工具來解決筆算無法處理的複雜問題的能力。

2. 文獻探討(Literature Review)

以程式來模擬或計算來做為物理相關學科的教法，一直以來都有，但是在過去並沒有成為流行或大規模執行的原因在沒有合適的工具，因為物理本身是一個困難的學科而大多數程式語言(C、C++等)也不容易上手，如果兩者同時學習，會因雙重困難而造成學習成果低下，這個困境直到以 Python 為原始架構的 vpython 由 Carnegie Mellon University 在 2000 年開發出來，這項以程式模擬來做為物理學習的方式，才因為核心為 Python 這個易學的程式語言，才開始有新的契機。Vpython 以其建構的三維繪圖模組來描述虛擬的物理世界，讓使用者可以輕易的利用程式來做三維空間的物理繪圖，具備有動態的時間演進和不同的視角觀察，使學生可以更直覺的利用程式來學習物理，尤其是針對需要視覺化和動態觀察的物理現象。因為核心是 Python 程式語言，所以對於初學者的進入門檻是除了圖形化程式語言(如 Scratch)之外最低的。2013 年起，台灣大學開始以這種教學法做大一普物課程的設計，由學生的學習情況和

教學評鑑知道，這一方法非常有效，可以將學生最大的潛力發揮出來，也因為成效良好，也推廣到台大物理、電機、資訊、數學等系的普物課外，也被中央、中興、東華、輔仁、逢甲、成功...等大學部分學系採用。電磁學是物理的一個重要分支，其抽象性更重，因此若能以此類似的方法來輔助教學，一定能幫助學生以電腦產生的三維圖像與減低的數學計算的複雜度，來幫助學習。

3. 研究問題(Research Question)

一門課要讓學生學到東西，就要先了解學生學過什麼，也才能知道該給學生什麼內容，給的不夠，學生覺得無趣且沒有充分學習，給的太多太深，學生無法吸收甚至放棄；此外，學生在學習低階課程時，會發展出學習模式，影響他們在學習高等課程的態度與方法。這兩個與課程相關的學習面向，對處於開始接觸專業科目的大二學生來說更是如此，對於理工等科系的學生，這個最基礎的課程就是電磁學。這些年因高中課程改革與入學方式改變，大一生入學時，學過的物理和我們這些大學教授當年唸高中時所學過的物理比較起來，尤其是其中的電磁學部分，其深度與廣度都下降很多。此外，許多學生在高中學習物理，為準備升學考試，多將時間花在解題，看到題目會列式和解答，但對其中的內含與整體性(即所謂的物理圖像)，並無太多的感覺；上大學之後，隨課程難度、廣度與抽象度大幅增加，學習就很容易「卡住」-- 也就是方程式或公式看的懂，也可以用來解選擇題或簡單的計算題，但就是無法對於其中的物理圖像有深刻的認識，更不用說，利用物理圖像建立更好的直覺，來創造性地應用這些物理知識，這也造成之後當他們修習較高等的科目時，需要花更多的時間學習，卻因缺少物理圖像和直覺，而更容易遇到學習困難和挫折。因此，我們想要知道，從傳統的教學法轉變為結合程式、三維圖像、和課程內容的教學方式，使學生對於空間抽象複雜學科(如電磁學)的學習效果，是否有提升效果。

4. 研究設計與方法(Research Methodology)

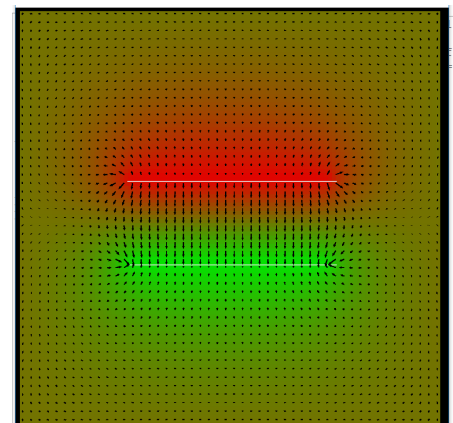
本計畫以一學年的電磁學（上）（下）共六學分的課程為研發目標，教學對象為大二的物理系學生，教學內容依序由向量微積分、電學、相對論、磁學、至電磁波、波導和天線為止。在實施電磁學教學的同時，將以下兩部分一起放入教學內容（一）以三維的動態呈現程式工具(python 的 vpython)來做抽象觀念的呈現；和(二)以程式來解並呈現難以用筆算的真實電磁學問題。這些內容在電磁學教學時，一起融入教學內容，本計畫並設計作業，讓學生在學習後可以應用這些工具來解電磁學問題，增進對電磁學的觀念理解，及增加學生之後的研究或研發能力。

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

(1) 教學過程與成果

配合電磁學加入上述兩項程式工具的教學，是以如下方式和進度進行：(一)在進入電學的範圍後，一開始主要都是在處理電場和電位等三維空間的向量或純量場的問題，這些場因為看不到實體，對學生來說是非常抽象的，所以在教如何處理電場和電位時，教導學生利用 vpython 的工具，將這些問題，以程式來讓場在模擬的三維空間呈現出來，使學生可以在腦中有三維的場的概念。(二)有些電磁學問題，是找不出解析解，只有級數解或是數值解，這時電腦程式就可以輕易的解決這樣的問題，如以下，就是以一個 25 行左右的程式來解 Laplacian，以處理

“真實電容”的空間電位和電場的結果。而這樣的問題在處理靜電學、靜磁學、波導、天線時，就常常會遇到，這類的問題雖然對於學電磁學的核心觀念並不造成影響，但是這類問題，卻是學生將來在做研究或是做產品研發時最常遇到的問題，在大二時，能對這些計算工具有基本的熟悉度，會對他們將來的發展有重大的影響，所以在教靜電學時，就導入數值計算方法，



並在之後(靜磁學、波導、天線)，引導學生做這方面的學習。

當然在上課時若只有學生看老師操作這些程式，並不足以使學生具備這些能力，所以也設計了作業，讓學生可以自己寫程式就上述面向以程式來計算、呈現、模擬以解決這些電磁學問題。這些作業的內容包括：

1. 空間中有任意點電荷分布時的電力線表示
2. 空間中有連續電荷所造成的電位和電場分布
3. 以數值求非理想電容值
4. 電荷漂移速率
5. 不同電流密度在空間中產生的磁場計算
6. 互感
7. RLC 暫態電路計算
8. 在介質中的電磁波折射
9. 繞射
10. 近光速運動時，相對時間位置之計算
11. 電荷在運動時，由相對論求空間中的電力線和磁力線分布

(2) 教師教學反思

資訊科技是這幾年來最重要的科技核心技術，其重要性在於它可以和其他領域結合，而發揮極大的威力，我們現在看到非常多的突破，不管是產業或是科學上的進展，都和資訊科技有關，然而要能掌握資訊科技，則須要有程式能力，而台灣因為教育和升學制度的原因，多數的學生在這一方面有實質性的接觸，通常是到大學高年級之後，因為課程、研究、或專題需要，才開始學寫程式，所以我們希望能夠讓學生可以儘早學到這個極為有效的工具，讓我們的下一代，更能發揮他們的能力，將下一代由「使用軟體、APP 等資訊工具的消費者」改造成「自己可以寫程式的資訊工具生產者」(也就是結合知識和程式工具的專業者)。

(3) 學生學習回饋

在這一年的計畫執行中，由學生回饋來看，目前學生上課接受程度良好，雖然有部分同學對同時學習程式與科學概念時，感覺到程式能力不足，但仍未達到不能接受的程度，但是因為電磁學已經是一門很重的課程，對於之前沒學過程式的同學來說，這些程式作業的負擔仍然是太重。

6. 建議與省思(Recommendations and Reflections)

在執行本計畫時，在上學期的電磁學部分，進行的都還算順利，但在下學期時，因為新冠病毒的原因，而我所任教電磁學的班級是近百人的大班教學，因為教育部的規定，必須改為純線上教學，所以很少和學生有面對面的機會，也在這個上課過程中發現，沒有實體課的進行，很多面對面可以很簡單解決的問題和觀念溝通，會變得很沒有效率。另外，有部分同學對同時學習程式與科學概念時，感覺到程式能力不足，但因電磁學已經是負擔很重的課程，對於沒學過程式的同學來說，這些程式作業的負擔仍然是太重，因此如果要實施結合程式於其他學科課程的話，這也會發生在學科負擔較重的科目上。所以，作法上應由較容易負擔的學科開始，讓學生適應程式和學科的結合教學，則在困難的學科上操作時，就比較不會有雙重負擔的困難發生。