

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：PEE1100782

學門專案分類/Division：工程學門

執行期間/Funding Period：2021/08/01~2022/07/31

結合程式模擬、課堂演示實驗與自造實驗以提升學生電磁學學習成效

Program simulations, experimental videos and self-made experiments -enabled active learning for electromagnetics

計畫主持人(Principal Investigator)：李企桓

共同主持人(Co-Principal Investigator)：

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：逢甲大學電機系

成果報告公開日期：

立即公開 延後公開(統一於 2026 年 9 月 30 日公開)

繳交報告日期(Report Submission Date)：2022/08/15

一. 報告內文(Content)

1. 研究動機與目的(Research Motive and Purpose).....p3
2. 文獻探討(Literature Review).....p4
3. 研究問題(Research Question).....p8
4. 研究設計與方法(Research Methodology).....p8
5. 教學暨研究成果(Teaching and Research Outcomes)p12
 - (1) 教學過程與成果
 - (2) 教師教學反思
 - (3) 學生學習回饋
6. 建議與省思(Recommendations and Reflections).....p25

二. 參考文獻(References).....p25

三. 附件(Appendix).....p26

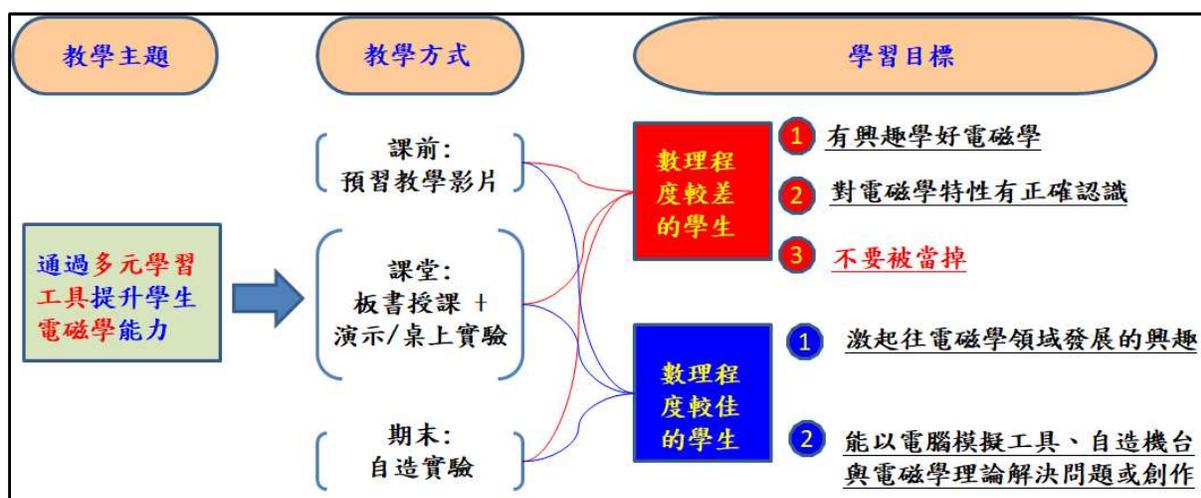
與本研究計畫相關之研究成果資料，可補充於附件，如學生評量工具、訪談問題等等。

一、報告內文(Content)

1.研究動機與目的(本部分內容在提案時有敘述過，今改寫部分如下)

據本人近年使用軟體(OSLO、Solidworks、MATLAB)輔助教授光學設計(含機構設計、3D列印)、信號與系統、智能光機電系統等課程的經驗顯示，學生對於有互動性、視覺化的授課方式很能接受，也更能掌握課程知識點，甚至進一步活用。此外本人也在課後之餘常和學生互動，發現有些學生的學習方式不佳，以至於成績落後，考試前雖然很努力但分數還是在及格邊緣徘徊。同時一些比較努力型的學生，直到大三後才掌握到學習訣竅。經過多方面比較與思考，我個人認為部分原因是電機系課程太重(以大二為例，上下學期本系要修的必修課程有電磁學一二、電路學一二、電子學一二、工程數學一二、微處理機、信號與系統)，無足夠時間學好每一科且部分技術課程沒有實驗搭配(例如電磁學一二、電路學一二、信號與系統)，造成學習障礙或雖然考高分卻不知如何運用所學。

基於上述背景，如圖一所示，本計畫規劃將電磁學課程**結合 VPython 或 MATLAB 程式模擬、youtube 演示實驗、桌上型小實驗與自造實驗**以提升學生電磁學自主學習成效，其中**課前預習用的教學影片將於開學前的寒暑假期間提早上傳**，以供學生預習。實驗對象的學生為修習本系電磁學一、二者。並於課程結束後調查學生學習心得。如果成效良好，將以此研究成果藉由教師成長社群模式推廣到其他科目與系所，以提升本校學生的能力。



圖一：本計畫規劃電磁學課程實施架構

圖二所示為“電磁學”改為搭配實作課程後，內容組成模組的比較。藉由申請教學實踐研究計畫添購較大型電磁學裝備，包含電場分布繪圖器、起電器(3D印表機申請人實驗室已有)，本課程將在計畫執行過程中改善傳統以講授為主的現象，以提高學生的學習興趣與學習效果。受限於授課時間仍只有18周，因此對於簡易的電磁現象將在課堂上由助教或老師演示，課後同學可以自己重複演示實驗。對於複雜或無法直接觀測的的電磁現象可由 VPython 或 MATLAB 動畫模擬，以將抽象化的電磁場觀念，以實際圖形表示出來，學生也可以自由操作，調整不同參數數值，獲得不同的數值結果，來瞭解場與力的形式變化。

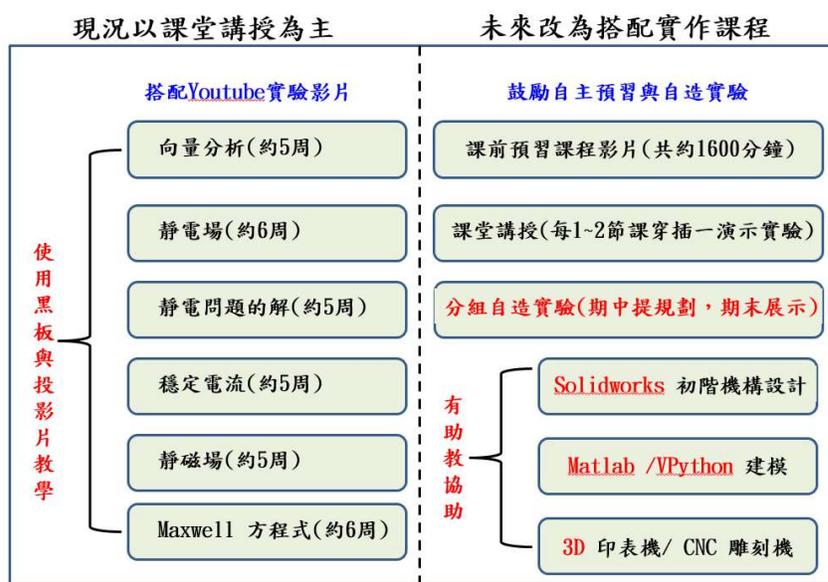
但課程中仍會要求同學分組(分組團隊協作的模式可促進學習共同小組的產生，減輕學習負擔，對學好電磁學有極大幫助)。每組需規劃一自造實驗(佔課程成績14%，後因疫情之故，面授課程提早結束，改為25%)，期中提出規劃，期中之後可在助教或老師的協助之下，使用 VPython 或 MATLAB 作電腦模擬，Solid-works 設計所需零組件，而 3D 列印機與 CNC 雕刻機用於製作塑膠件或鋁製件(其中 CNC 雕刻機因實際通過經費有限，故請有需求同學到機械系委請製作)。特殊零件則外購或委外製作。由於課程時間有限，因此 VPython/MATLAB 與 Solidworks 的入門學習，會由助教或老師另外開課教授，全程錄影，以方便其他未準備好的

學生之後自學，約各需 3 小時即可學會基本功能，若自造實驗須採用較複雜功能助教可代為協助或處理。

基於此，希冀藉由申請**教學實踐研究計畫**協助購置部分實作設備與提供開發課程的資源，作為強化本校電機系學生電磁學能力的指標課程，並藉此改善學生學習模式，達到下列兩主要目的：

第一：對學生而言，程式、演示實驗與自造實驗搭配的課程可協助同學認識到如何完整學好一門專業必修課程。且分組討論、實作可培養同學參與團隊競合能力，並由此認知到自身的優勢與學習方式不足之處。

第二：對教師而言，在課程實踐的過程中，探討何種課程經營方式才可充分激發學生的學習、創意動力，相關設備的建制也可以應用於其他電機課程。且研究過程中可以蒐集相關數據，作為未來課程內容與模式的學理基礎。



圖二：“電磁學”改為搭配實作課程後，內容組成模組的比較。

2.文獻探討(本部分內容在提案時有敘述過，今改寫部分如下)

--說明與本實踐研究計畫相關之國內外文獻及研究發展(如：相關教學實踐的個案參與或觀察資料等)

本節說明將分兩個項目進行，第一項說明本校在「電磁學」教育方面的概況，第二項說明本計畫所參考的 TEAL 與 CDIO 工程教育法，第三項則討論電磁自造實驗的重要性，並以舉出一自造實驗的示範例。

(I) 本校在「電磁學」教育方面的概況：

依據教育部大學課程網資料顯示，108 學年度全國大學有 81 個系所開設「電磁學」374 門，若進一步查詢「電磁學實驗」課程數，只有 5 個系所開設「電磁學實驗」13 門(圖三)。原因包含電磁學實驗設備的建置花費不低、已有多門其他實驗課程造成空間與資源排擠、部分實驗在一大一普通物理實驗已有教授。此外專門從事電磁研究的教師比較偏少也可能是原因之一。

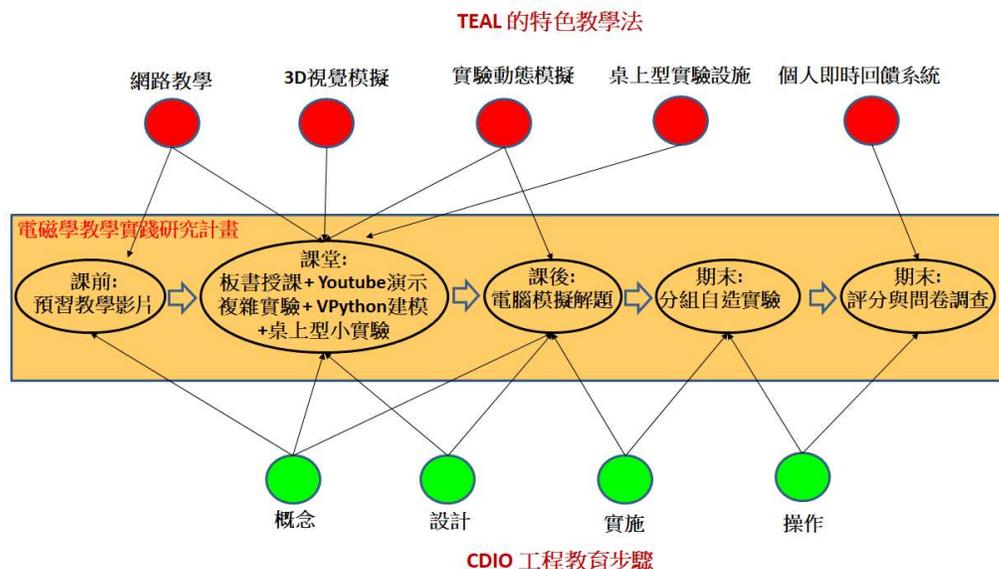
內容	課程名稱	總修課人數	課程數	系所數	校數
+	電磁學實驗	176	10	3	3
+	電磁學實驗專題	27	1	1	1
+	電磁學與電路學實驗	35	2	1	1
總計		238	13	5	5

圖三. 教育部大學課程網查詢「電磁學實驗」截圖[2]

而本校有 4 個系所開設「電磁學一、二」共 10 門，無實驗課搭配。由於本人多次開設電磁學，學生普遍反映此門課程很數學、很抽象。加上本人以前(1999 年)曾在交通大學電子物理系修過「電磁學實驗」，對電磁現象有直觀的認識，但礙於學校經費有限(以范式起電機為例，一組約 22000 元，建構 10 組設備即花費 22 萬元，且後續維修與實驗助教均須有經費支援)、學分數限制(本校畢業學分 128，每多開一門課，必須拿掉一門課，以免課程過於浮濫)無法額外開設「電磁學實驗」。因此變通方式之一是課堂教學時播放演示實驗的影片或自費買零件做簡單實驗，以提升教學效果。學生修完電磁學二之後，以本系為例，選擇電波學程者會繼續修讀「電磁波」，以後進入天線、電波等研究類型的實驗室後，再學習更深入的電磁建模或元件製作。其餘學生則往其他領域發展後便較少再接觸電磁方面。大體上最基本的電場與磁場實驗現象大部分學生沒實際接觸過，間接造成願意投入電磁研究的學生偏少。

(II) TEAL+CDIO 工程教育法

本計畫實踐方式參考多種教學模式，如下圖四所示，包含 MIT 的物理教育法 TEAL (technology-enabled active learning)[3-4]、本校推行多年的工程教育法 CDIO (Concept·Design、Implement、Operate)[5]與近年風行的自造實驗。考量本校學生程度與本計畫經費有限，本教學實踐研究計劃採取 TEAL 的電腦模擬法於課堂演示對應的學理及桌上型實驗裝置使學生更深入理解內容。而 CDIO 的核心概念(做中學、跨領域團隊合作)則以分組方式於期末提出一自造實驗結果展示。



圖四: 參考 TEAL 特色教學法與 CDIO 工程教育架構下的教學流程。

本課程將配有研究生的實驗助教協助學生於學期中進行相關實驗與解答疑問，整體實施程序如下。

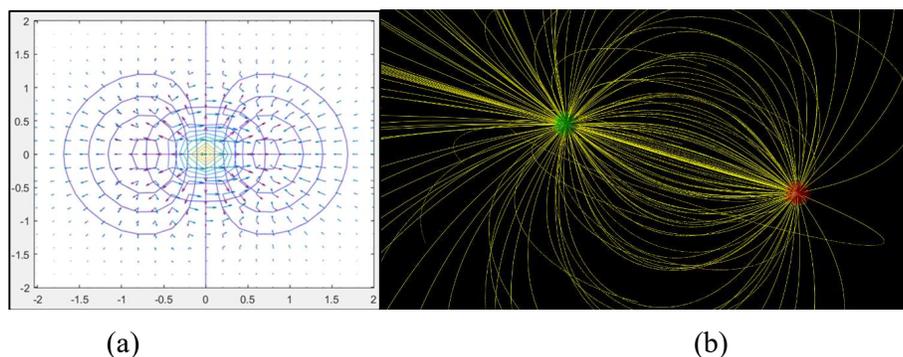
(a) 課前提供上課教學影片：

教學影片具有「一次教學、多次應用、遠程共享」的特點。本人近兩年已陸續將多門課程進行影片錄製，每一影片涵蓋一單一主題，片長約 5~15 分鐘為主。「電磁學」上課教學影片雖已錄製多年供學生使用，其中部分內容每年仍會隨教材更動與學生意見而重錄(替換率這兩年為 20%)，教學影片的預習可使程度較低的學生先行自學一遍，找出不易理解的地方，上課時可針對較疑難處專心聽講。對於考試不佳的學生，補考前看影片也能降低其心理負擔。

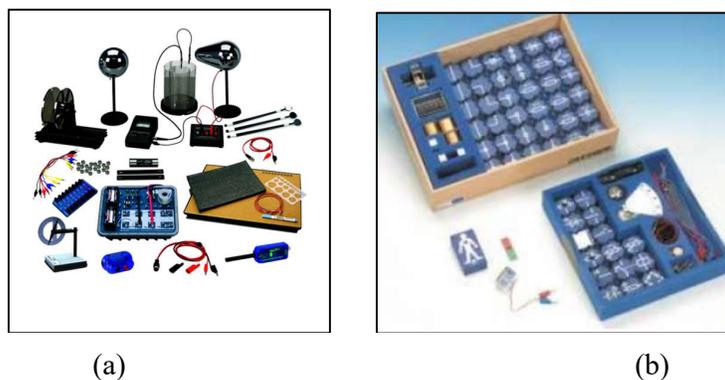
(b) 課堂上以電腦建模與演示實驗輔助教學。

申請本計畫前有部分章節本人已使用 MATLAB 建模輔助(如圖五 a)，2021 年參加教學實踐研究計畫的發表會後，發現有些學校力推使用 VPython 效果更佳，因此未來將引入 V-Python 的建模功能(如圖五 b)於教學中(後由於疫情因素，加上大一計算機概論大部分同學有使用 MATLAB 的經驗，因此課堂上仍以使用 MATLAB 建模為為主)。演示實驗方面，除一些基本實驗外(例如以布料摩擦壓克力片生電吸引紙片、簡易鋁箔驗電器、通電的線圈纏繞鐵釘產生磁力效果)，較複雜的實驗主要是擷取 youtube 上的教學實驗演示，以增加學習效果。

順利申請到經費後，較昂貴的設備(如圖六 a)由教師於課堂上演示，較易取得的實驗器材會以每 3-4 位學生配置一簡易實驗器材盒(如圖六 b)為標準，以方便學生於上課時間自行動手感受實驗現象，達到 TEAL「教室就是實驗室」的效果。



圖五：電腦建模案例(electric dipole)(a)現階段使用 MATLAB;(b)未來使用 VPython(此圖擷取自參考文獻[6])



圖六：欲使用之實驗設備(a)教師演示用法拉第籠、靜電球等(此圖擷取自參考文獻[7]) (b)學生使用之簡易實驗器材盒 (此圖擷取自參考文獻[8])

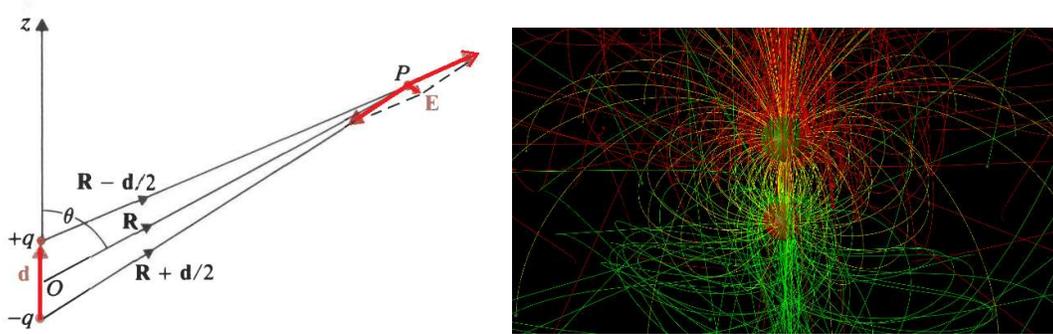
(c) 課後作業以程式輔助解題。

例如在課堂上推導如下式的電偶極電場分佈，大部分學生仍是無法理解場線分佈的具體形式，若以電腦模擬呈現會更直觀。課程中可由教師先介紹核心指令的寫法(圖七)，課後作業再由學生改變參數大小或加入其他繪圖形式將場線分佈畫出(圖八)，由於指令是學生自行測試而出，因此學習上效果會更印象深刻。

$$\vec{E} = \frac{+q}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{R}_1}{R_1^3} + \frac{-q}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{R}_2}{R_2^3} \Rightarrow \vec{E} = \frac{p}{4\pi\epsilon_0 R^3} [\hat{a}_R 2\cos\theta + \hat{a}_\theta \sin\theta]$$

```
# Two charge example in Python
Ri = array([[1,3,-1],[-3,1,-2]])
R = array([3,1,-2])
E = 2*(R - Ri[0,:])/norm(R - Ri[0,:])**3 - \
    4*(R - Ri[1,:])/norm(R - Ri[1,:])**3
# Include the missing scale factors
E*1e-5/(4*pi*8.85e-12)
```

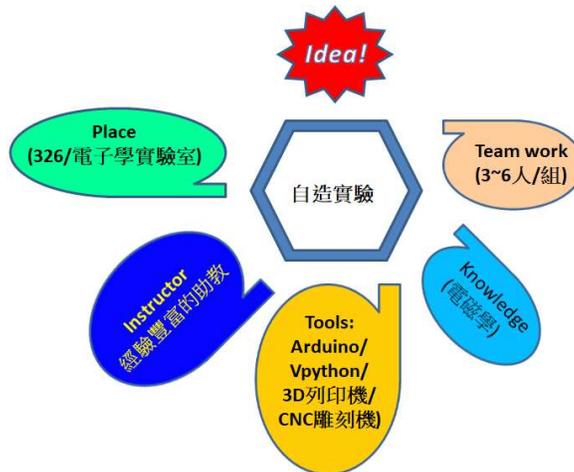
圖七：電偶極場線分佈之教師核心指令的寫法舉例[9]!



圖八：(a)電偶極正負電荷所在位置圖示(b)場線分佈之繪圖結果舉例[10]!

(d) 期末提出一自造實驗結果。

本課程期末之所以要學生分組提出一自造實驗的主要目的是可以使學生藉由實作過程，將教科書上的圖示或現象具體化。亦即提供另一角度認知課本上的知識。此外藉由分組合作可促進學生團隊創作。自造實驗與標準實驗最大的差異是：標準實驗步驟常為固定的程序，且實驗時數固定(一般為3小時)，學生較無機會驗證各步驟的合理性或有效性。且學生可預知標準的結果時，會有意將實驗數據修正，以避免需解釋實驗數據偏差過多所造成的困擾。



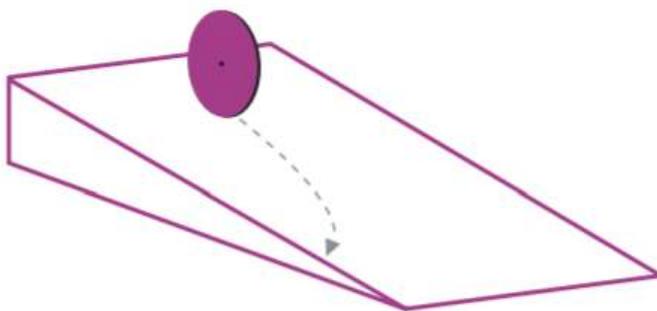
圖九：自造電磁學實驗支援圖。

由於學生大部分只有大一標準普物實驗的經驗，實作所需熟悉的工具較缺乏。圖九為自造電磁學實驗支援圖，原則上自造實驗的題目以簡單、富含創意、有利用到電磁特性為評分標準。此外會規劃熟悉程式建模、控制器、3D 繪圖與列印、電子電路的研究生助教協助各組完成自造實驗。自造實驗所需機台與工具可在計畫申請人的實驗室(資電館 326)與本系所屬的電子學實驗室完成。結果以實物、上台簡報與書面報告呈現。

以下圖十說明一個簡單的案例[11]以作為自造實驗的參考 (此案例筆者常用於教學，讓學生判斷原因。)

這個實驗裝置非常簡單，僅包含一個碟片型磁鐵(disk magnet)和一個光滑的平板。稍微傾斜板以形成傾斜平面。將磁鐵放在頂部附近，並使其向下滾動。令人驚訝的是，即使附近沒有鐵磁材料，碟片的滾動路徑會是一條曲線。若將其翻轉約 180 度，它將向相反方向彎曲。曲率的大小取決於平面的定向方式。您可以使用此實驗輕鬆地確定磁鐵的 N 極和 S 極。通過改變初始條件，可以繪製一些圖表並進行定量研究，這是一種針對創造力和好奇心的教育遊戲。

注意：在解釋實驗時，請不要忘記將想法侷限於試驗裝置的範圍。



圖十：自造電磁學實驗案例:磁性碟片的曲線路徑之成因..

3.研究問題

本研究計畫的主題是藉由加入實驗與模擬內容，研究如何有效執行才可提高學生對電磁學的興趣。是為既有板書教學方式的突破與改善，以使學生未來能在就業或唸研究所中對電磁相關議題有開發的興趣，並能與他人充分團隊合作！

因此本研究計畫主要是探索如何利用多元課程教學工具提升學生電磁學的程度。以使：

- (a) 數理程度較差的學生:有興趣學好電磁學、對電磁學特性有正確認識，學科成績也能過關。
- (b) 數理程度較佳的學生:可激起他們往電磁學領域發展的興趣，且學完本課程後能以電腦模擬工具、自造機台與電磁學理論解決問題或創作。

4.研究設計與方法

本研究計畫要採用的教學方法分三大階段，如下表一所示：

表一：各階段的教學方法與目的。

各階段教學方法	教學實施目的
(a) 課前階段: 開學前的寒、暑假即提供提供預錄的教學影片	<u>數理程度較差的學生</u> : 能預習內容，不至於上課無法掌握重點。
	<u>數理程度較佳的學生</u> : 能通過預習內容，上課時能以批判性角度聽課。

(b) 課堂階段: 板書授課、演示實驗、桌上型小實驗並安排經驗豐富的實驗助教協助	板書授課約占課堂授課時間的75%，包含： 課程知識點的觀念講解、公式推導與解題。
	播放影片與演示實驗約占課堂授課時間的25%，包含： 播放youtube的實驗影片、教師現場演示的電腦模擬與實驗、學生桌上型小實驗
	課後 Homework: 主要是改寫上課的電腦模擬程式後，由學生繳交書面報告，報告內容可包含實驗數值的定量分析、場型在不同源(charge/magnet/current)分布下的形式等。
(c) 期末自造實驗: 安排經驗豐富的實驗助教協助	以分組方式進行，以培養學生的實驗技能(控制板的使用、電腦模擬的輔助、3D列印機、CNC雕刻機)及團隊合作意識，自造實驗能對應某一種電磁現象，以創意為優先評分標準。

(4-1)成績考核方式:

本校電磁學課程包含電磁學一與電磁學二，授課時間各一學期(各 18 周，計 54 學時)。成績考核方式採多元評價，但書面考試佔比最高(75%)，如下表二。自造實驗評分方式為創新性(40%)、與理論的連結程度(15%)、各組成員分工狀況是否充分(15%)、作品完成度(15%)、各小組互評(15%)計分。

表二: 成績考核方式:

考核階段	時程	項目	評分佔比(共 100%)
第一次期中考 (含 Homework 4 次)	第 6 周	考卷	20%
		Homework 4 次	5%
第二次期中考 (含 Homework 4 次)	第 12 周	考卷	20%
		Homework 4 次	5%
自造實驗發表	第 17 周	上台報告	15%
		書面報告	10%
期末考 (含 Homework 4 次)	第 18 周	考卷	20%
		Homework 2 次	5%

(4-2)各周課程進度:

本課程的教科書採: David K. Cheng, “**Field and Wave Electromagnetics (2nd Edition)**”
課程安排分上、下學期，各周進度依教科書的教學章節順序安排，如下表三與表四。

表三：上學期各周課程進度：

周次	章節
第 1 周	Chap 1: The electromagnetic model
第 2 周	Chap 2-1 to 2-2: Vector Analysis (Addition and Subtraction)
第 3 周	Chap 2-3: Vector Analysis (Scalar/cross/Product of Three Vectors)
第 4 周	Chap 2-4: Vector Analysis (Orthogonal Coordinate Systems)
第 5 周	Chap 2-5: Vector Analysis (Integrals of Vector Functions)
第 6 周	Chap 2-6: Vector Analysis (Gradient of a scalar Field)
	第一次期中考
第 7 周	Chap 2-7/2-8: Vector Analysis (Divergence of a Vector Field /Divergence of Theorem)
第 8 周	Chap 2-9/2-10: Vector Analysis (Curl of a Vector Field/Stokes's Theorem)
第 9 周	Chap 2-11/2-12: Vector Analysis (Two Null Identities/Helmholtz's Theorem)
第 10 周	Chap 3-1/3-2/3-3: Static Electric Fields (Postulates of Electrostatics/Columb's Law)
第 11 周	Chap 3-4/3-5: Static Electric Fields (Gauss's Law/Electric Potential)
第 12 周	Chap 3-6/3-7: Static Electric Fields (Conductors/Dielectrics)
	第二次期中考
第 13 周	Chap 3-8/3-9/3-10: Static Electric Fields (Electric Flux/Dielectric Constant/ Boundary Conditions/Capacitors)
第 14 周	Chap 3-11: Static Electric Fields (Electrostatic Energy and Forces) Chap 4-1/4-2: Solution of Electrostatic Problems (Poisson and Laplace's equations)
第 15 周	Chap 4-3/4-4: Solution of Electrostatic Problems (Uniqueness/Method of Images)
第 16 周	Chap 4-5/4-6: Solution of Electrostatic Problems (Boundary-Value Problems in Cartesian/Cylindrical Coordinates)
第 17 周	計算機模擬發表
第 18 周	期末考

表四：下學期各周課程進度：

周次	章節
第 1 周	Chap 5-1/5-2/5-3: Steady Electric Currents (Current Density/Ohm's Law/KVL)
第 2 周	Chap 5-4/5-5: Steady Electric Currents (KCL/Joule's Law)
第 3 周	Chap 5-6/5-7: Steady Electric Currents (Boundary Conditions for Current Density/Resistance)
第 4 周	Chap 6-1/6-2/6-3: Static Magnetic Fields (Postulates/Vector Magnetic Potential)
第 5 周	Chap 6-4: Static Magnetic Fields (Bio-Savart Law)
第 6 周	Chap 6-5: Static Magnetic Fields (Magnetic Dipole)
	第一次期中考
第 7 周	Chap 6-6: Static Magnetic Fields (Magnetization/Equivalent Current Density)
第 8 周	Chap 6-7/6-8: Static Magnetic Fields (Magnetic Field Intensity/Permeability/Magnetic Circuits)
第 9 周	Chap 6-9/6-10: Static Magnetic Fields (Magnetic Material/Boundary Conditions for Magnetostatic Fields)
第 10 周	Chap 6-11/6-12: Static Magnetic Fields (Inductance/Inductors/Magnetic Energy)
第 11 周	Chap 6-13: Static Magnetic Fields (Magnetic Forces/Torques)
第 12 周	Chap 7-1/7-2: Time-Varying Fields and Maxwell's Equations (Faraday's Law)
	第二次期中考
第 13 周	Chap 7-3/7-4: Time-Varying Fields and Maxwell's Equations (Maxwell's Equations/Potential Functions)
第 14 周	Chap 7-5: Time-Varying Fields and Maxwell's Equations (Electromagnetic Boundary Conditions)
第 15 周	Chap 7-6: Time-Varying Fields and Maxwell's Equations (Wave Functions)
第 16 周	Chap 7-7: Time-Varying Fields and Maxwell's Equations (Time-Harmonic Fields)
第 17 周	自造實驗發表
第 18 周	期末考

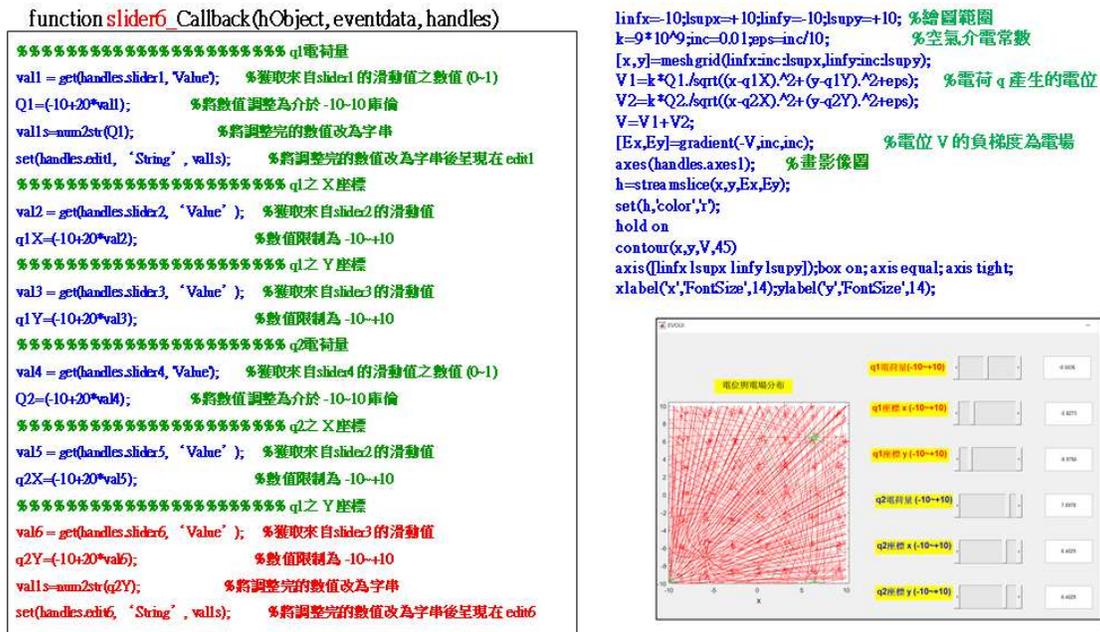
5.教學暨研究成果

(5-1) 教學過程與成果(含教師教學反思)

本計畫之教學現場安排在逢甲大學資電館資電 403 室(多媒體教學教室)。修課人數 70 人，每 2~3 人分組，共約 31 組。平時上課方式主要：

1. 教師先預錄課程內容，主要是使同學熟悉課程重點與解題過程。
2. 帶領同學學習使用軟體(MATLAB)、課堂演示實驗，每周上課一次，每次教師講解 0.5 小時，預留 0.5 小時讓同學以程式解一道設計題目，要求同學於當天課程結束前作完(允許同學互相討論)，並當場登記本周課程學習分數，圖十一 a 為一群帶電荷粒子間交互作用的電場線隨時間變化之上課案例(使用 MATLAB/GUI,只顯示出一部分程式)。由於有出席課程才能完成當日作業，因此缺課多的同學會被當掉(因設計作業未交足當掉 4 人，主要是出席率低的緣故)。

開學第 1 周簡述本課程內容與評分規則。第 2 周進行分組與期末專題說明，第 9 周安排期中報告(主要重點包含設計的產品創新性與可製作性如何、組內成員負責項目、所需經費預估)，第 18 周安排期末專題作品發表(另有邀請一評審委員協助評價各組產品)，如圖十一 b。



圖十一 a、使用 MATLAB 顯示一群帶電荷粒子間交互作用的電場線隨時間變化之上課案例



圖十一 b、期末報告現場

共約 31 組作品，其中有些題目類似，僅就擇一簡述，並將作品依複雜度、完整性分為優良(3 組)、佳(3 組)、尚可(3 組)分級簡述，其中教師教學反思以計畫主持人評價方式敘述。

優良組專題:

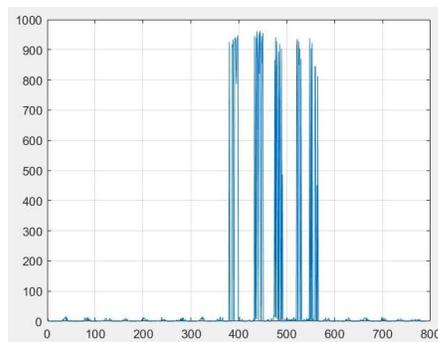
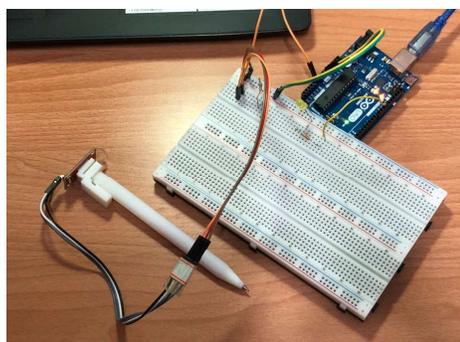
第一組作品: 手寫辨識觸控筆

在需要簽名的場合，如銀行存提款，主要是藉由人工辨識，更進階的版本是採用 AI 作影像辨識。但仍很難避免偽造簽名的高手。本組目標是製作一可對書寫字作辨識的觸控筆，方法為改造一簽字筆。如圖十二所是為觸控筆含一感測器連結一組 Arduino，將信號傳到 PC 後記錄其輸出信號分布。其中觸控筆末端的零件係以 Solidworks 畫出機構圖，並以 UV 光列印，使用本計畫經費向 3D 列印廠商訂製。Arduino 板與感測器一般電子材料行即可代訂！

計畫主持人評價:

作品目標為完成一個具有可手寫辨識的觸控筆。本設計創意初始由授課老師提出，並與同學多次互動改良後完成，由於時間有限且同學不具 AI 辨識的相關知識，因此已敦促同學進一步發展為畢業專題。其中 AI 辨識教師建議可採用語音辨識相關的演算法(由於訊號特性比較接近)，除此之外未來可考慮如下方向改進：

簽字筆的感測器可改為光學式，但須具備相關光學感測器的知識背景。



圖十二、第一組:手寫辨識觸控筆的外型、連接裝置、與信號輸出。

第二組作品: 水滴電池

目前能源議題幾乎天天上演，本組成員在相關網站與期刊資料搜尋後發現水滴電池非常罕見與有趣。因此該組目標是再現此實驗裝置，其原理為利用靜電感應，帶負電的金屬薄壁管把水中的正離子吸引過來，該邊的滴水管口便出現了正電荷。因此當水滴下落時，就會把正電荷帶到該邊帶負電荷較少的金屬水箱中。如此這般積少成多，循環進行，電荷分離速度逐步加快。最終，當兩個桶的電荷升高後，等效於一電池。如圖十三。本實驗小組在學生宿舍完成組裝，歷時約兩周，其中所需的零組件一般電子材料行即可購得！

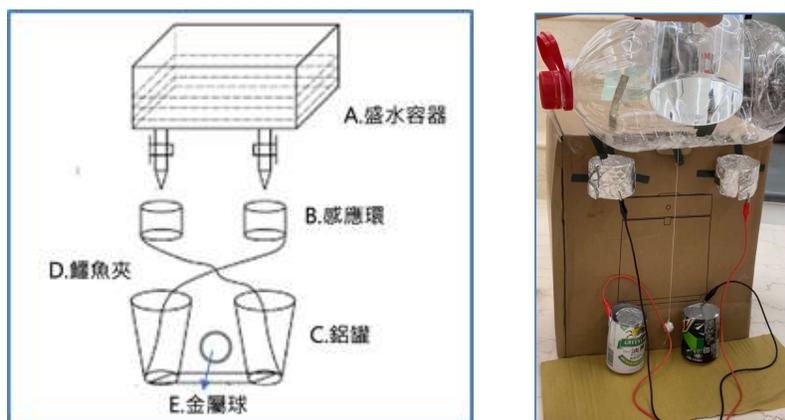
計畫主持人評價:

作品目標為完成一可產生電壓差的水滴電池。學期中小組成員多次反映失敗，先是水質可能有問題、再來是金屬瓶的如何選用。現場成品顯示最底部的兩個金屬杯因存在電壓差，所以近距離接觸時會放電，但須在較暗的環境才容易觀察到。由於該組選題非常用心、且實驗精神可佳，因此給予該組的分數較高。計畫主持人未來將規劃水滴電池為課堂的標準演示實驗，且會進一步延伸出多種形式。

(a)最上層的盛水容器中若加入食鹽等電解質，產生足夠電壓差的速度是否會比較快。

(b)水滴的滴速、水量與電壓差的關係為何？

(c)最終產生的電能是否可視為是成水容器中的水之位能轉化而來。



圖十三、第二組:水滴電池的原理(左圖)的與本組實際成品圖。

第三組作品:特斯拉線圈

特斯拉線圈有多種形式，此組同學的做法為一個感應圈、兩個特大電容器和一個線圈互感器所組成，能夠產生極高的「高壓電流」，如圖十四所示。當電流由「電力發射塔」發出，經由空氣就可作遠距離的「無線傳電」達至「接收器」處，不論「接收器」的數量有多少，所有「接收器」都可接收到「電力發射塔」所輸出的最大電量。同學進一步測試發現無線電傳送距離約為半徑 25cm 的圓、燈泡的數量不會影響訊號大小(亮度一樣)且電流在 25cm 內不隨距離而有顯著減小。由於線圈的組成是由同學到電子材料行購買零組件組裝而成，且 LC 電路亦是由同學自行設計，而非直接購自網路上的商品。因此給予較高分數的評價。

計畫主持人評價:

無線充電惟一熱門議題，而特斯拉線圈嘗試電學愛好者提升自身電磁感應技術所需的入門實作項目，加上實際可產生效果的特斯拉線圈實作前須先計算 LC 值(共振頻率)，牽涉到電學技術是否扎實，因此計畫主持人給予該組較高的評價。本計畫所需硬體成本僅約 400 圓台幣，適合爾後開設電磁學課程的固定演示項目或同學自行製作之桌上型實驗項目



(a)



(b)



(c)



(d)

圖十四、第三組:特斯拉線圈的製作成品(a)發射訊號器;(b)接收訊號器;(c)當發射器與接受器距離 25cm 時可點亮一顆燈泡亮。(d) 當發射器與接受器距離 25cm 但兩器材處於特定位置時，可點亮兩顆燈泡亮。

佳作組專題:

第一組作品: 法拉第馬達

法拉第馬達屬於單極馬達，由 Lorentz force 驅動，其原理為置在與磁場垂直的載流導線會產生一個垂直磁場與導線的力。此力產生一旋轉力矩，當旋轉軸與磁場平行，且磁場方向不變，此時電流不需要切換方向即可持續旋轉。驗證法拉第馬達所需材料不多，如圖 十五所示，包含強力磁鐵(三顆)、電池盒、電池 8 顆(1.5V)、筷子、碗、食鹽、單芯線、漆包線。此組同學共花費兩個禮拜，金額約 750 元。由於同學的結報指出很多實驗上的小細節，因此除學習到法拉第馬達是如何運作外，並發現到線圈的匝數、磁鐵數量以及線圈纏繞的密度會影響線圈轉動的幅度及速度，在實驗過程中亦了解它所需的電壓要大於 9V，否則電壓不足不能使線圈轉動。也證明了下列公式是對的，當磁鐵數增加線圈所受的力會加大，以及電流也會影響轉動的速度。藉由這個實驗來驗證公式以及了解它運作的過程。

$$f = IBL\sin\alpha$$

因而給予佳作的分數。

計畫主持人評價:

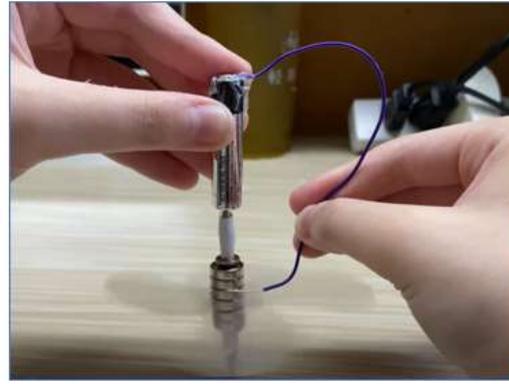
單極馬達為一般馬達的始祖，因此在科技史上具有重要的意義。其架構雖然簡單，但已具備電磁能量輸出的效果，此作品實用性雖不高(圖十六所示的簡易電風扇為其應用)，但很適合爾後開設電磁學課程的固定演示項目或同學自行製作之桌上型實驗項目。



圖十五、法拉第馬達的組成元件、實品圖、上視圖。



(a)



(b)

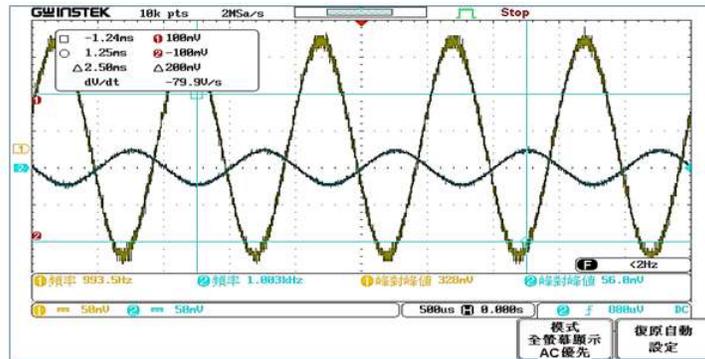
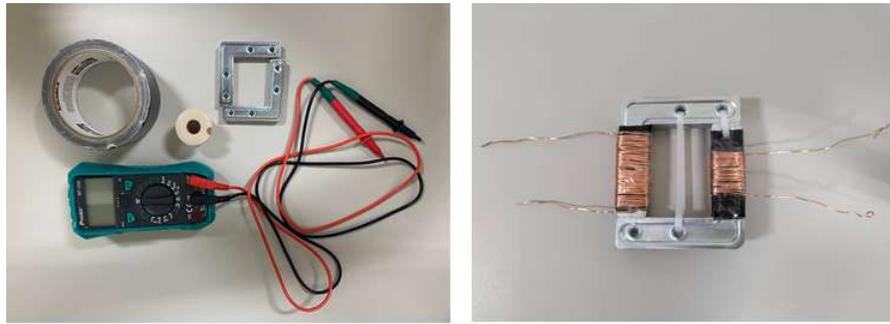
圖十六、法拉第馬達的的進階應用:簡易電風扇。

第二組作品: 簡易變壓器

變壓器是電磁學課程裡靜磁的應用，簡單的變壓器由兩塊導電體組成。當其中一塊導電體有一些不定量的電流（如交流電或脈沖式的直流電）通過，便會產生變動的磁場。根據電磁的互感，變動的磁場會使第二導電體產生電位差。變壓器的原理是由變化的電壓加到原線圈在磁芯上產生變化的磁場，從而激發其他線圈產生變化的電動勢。原線圈、副線圈的電壓 V_S , V_P 和兩者的繞線的匝數 N_S , N_P 之間有正比的關係。此組的同學做法如下圖十七所示，使用的零組件為銅線、L 型鐵、布膠帶、紫線帶、電阻，量測設備有信號產生器(1kHz 弦波)、示波器、三用電表。三位同學總共花費約七天與 500 元，由於選此題目與理論課程關聯性直接，因此給予較佳的分數評價。

計畫主持人評價:

簡易變壓器麻雀雖小五臟俱全，為一般變壓器的雛形，本組同學除組裝出簡易變壓器外，也仔細量測其功能，該組同學在實驗過程中一開始低估所需線圈數，藉由逐步加多線圈數，並探討能量損耗誤差原因(主要是電路中的電轉熱的能量消耗)，研究態度良好，由於所需費用不高(低於 500 元)，計畫主持人未來亦會考慮將此題目規劃為標準桌上型實驗項目，以加深同學認識變壓原理的深度。



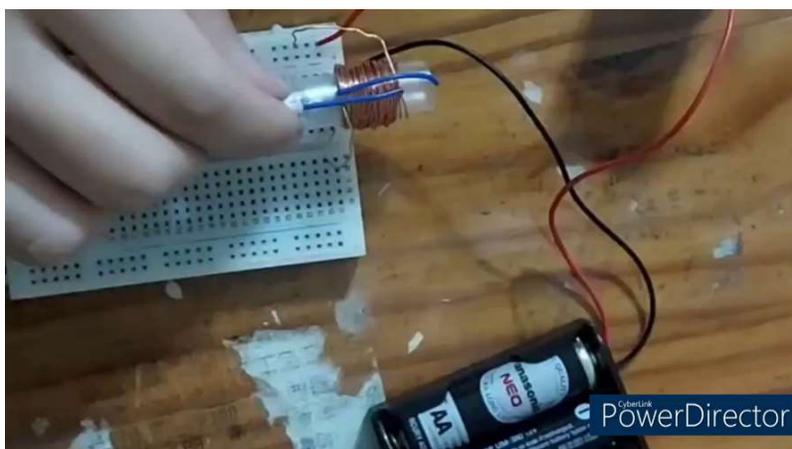
圖十七、簡易變壓器的製作與效果量測。

第三組作品: 電磁炮

電磁炮是電磁學課程裡勞倫茲立的應用，電磁炮利用電池使線圈提供 SN 極，將可磁吸物體吸入線圈中，並於線圈中加速前進，在被磁吸物體未超過線圈中心時將線圈斷電，以免另一端的反向磁極將被磁吸物體吸住而無法射出，本組同學的作品如圖十八所示，組成元件與所需設備有線圈、電池、磁鐵、塑膠吸管，實驗時要注意線圈盡量遠離麵包板，以減少磁力干擾。

計畫主持人評價:

電磁炮具有軍事功能，本組同學所製作版本較為簡易，且 youtube 上可以找到很多類似實驗裝置，因此分數給予較低。但本實驗具有重要意義，第一，可加深實驗同學對螺線管線圈 SN 極作用力相反的印象;第二，如何讓磁吸物體未超過線圈中心時將線圈斷電為實驗裝置的重點(本組同學在出口端將線圈做簡易連接，一旦物體頭端輕觸到此連接裝置即造成斷電)，另一種做法是使用電容器造成瞬間放電，以使物體高速射出。此種做法可加深同學對電容的使用直覺度。由於所需費用不高(低於 200 元)，計畫主持人未來亦會考慮將此題目規劃為標準桌上型實驗項目，以加深同學認識螺線管功能。



圖十八、簡易電磁炮的製作與驗證。

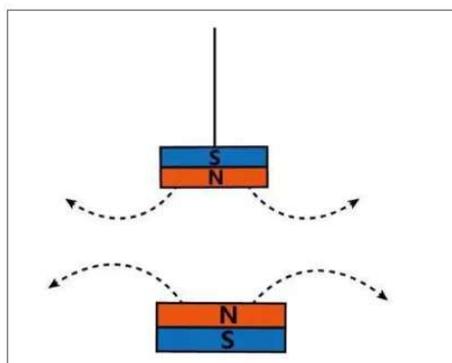
尚可組專題:

第一組作品: 電磁鐵鞦韆

電磁盪鞦韆的原理是利用電流磁效應，在線圈通電後，周圍產生磁場，讓漆包線本身相當於一個小型磁鐵，與下方磁鐵相互影響，兩磁場反覆相斥、相吸，讓線圈前後擺動如同鞦韆般。本組實驗所需零件為強力磁鐵、漆包線、兩顆3號串聯電池盒、木棒以及紙板(當作底座)。實驗步驟是先將底座做出以作為穩定的鞦韆架、再將漆包線繞好圈，並使兩邊等高。之後在線圈底下放上磁鐵，開啟電源通電。一開始仍需以外力助推，結果如圖十九所示。所需成本約200元，耗時約3個工作天。

計畫主持人評價:

電磁鐵鞦韆可與所學靜磁理論相佐證，同上組實驗裝置，本組同學所製作版本較為簡易，且youtube上可以找到很多類似實驗裝置，因而評分不高。但本實驗仍具教學意義，爾後同學進行類似實驗裝置應考慮加以改良，例如通低頻交流電會導致何種震盪狀況。



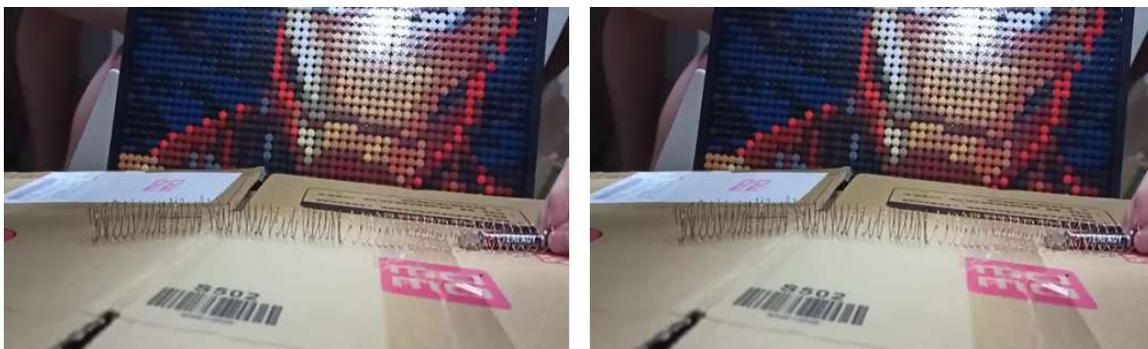
圖十九、電磁鐵鞦韆的製作與驗證。

第二組作品: 電磁列車

電磁列車的原理是吸附著磁鐵的電池進入銅線圈後，在銅線圈所形成的磁場中，與電磁體之間的相吸、相斥，造就了電池的移動，亦正極、負極的電流沿著銅線移動，與電池上的磁鐵彼此相互牽引、排斥。本組實驗所需零件為電池、強力磁鐵4顆、銅線圈(圖二十)。成本約250元，所需工作時數1天，主要適用於纏繞形狀正確可用的螺線管。要注意的是銅線外表面不可有絕緣塑料包覆。

計畫主持人評價:

電磁列車可與所學靜磁理論相佐證，同上組實驗裝置，本組同學所製作版本較為簡易，且 youtube 上可以找到很多類似實驗裝置，因而評分不高。但本實驗仍具教學意義，爾後同學進行類似實驗裝置應考慮加以改良，例如銅線外接電流源是否可達到移動非電池物體的目的。



圖二十、電磁列車的製作與驗證。

第三組作品: 跳動的星星

跳動的星星的原理是利用電流磁效應以及磁場與電流行成一作用力使星星彈跳。實作時是利用鋁箔紙當作導線，兩端接上上電磁後即形成迴路，由電流磁效應以及電流的作用產生一個作用力。組成元件與所需設備包含鋁箔紙、強力磁鐵、雙面膠、紙、兩顆電池。總共花了 79 元，以及 2 個小時製作時間。實驗時先將鋁箔紙黏貼成門字型，再接上電池即可看出星星在跳動(圖二十一)。要注意事項:不可將鋁箔接觸電池太久，否則會過熱燙到。

計畫主持人評價:

此實驗裝置過於簡陋，雖有對應本課程學習目標，但仍給予低分。



圖二十一、跳動星星的製作與驗證。

計畫主持人總結:

1. 創意性普遍不足:以後會安排在期中報告前一兩周，花一小時講解歷屆學長姊的設計，並評價其優缺點，另外會展示 youtube 上有創意的設計以打開同學的思路!
2. 本學期設計專題不限題目範疇，不易橫向比較各組的設計特色，以後考慮將題目專題化。例如題目可改為
 - (a)請將電磁列車的實驗模組做創意性的實驗設計。
 - (b) 在現有電磁炮的實驗模組為基礎下，提出或實作出更高速的電磁炮!

(5-2) 學生學習回饋

(A) 學生學習成果評估

下表四所示為逢甲大學校方於本學期末會對學生做學生學習成果評估的問卷。本課程上下學期分別獲得分數為4.47、4.59(滿分為5)，居電機系課程滿意度前15%，顯示學生對教學內容、方式與學習成果大致滿意。此問卷提供定量結果。

表五

逢甲大學110學年度 第1學期 一般科目課程意見調查結果(非開放題部分)									
單位	資電學院 電機系		教師姓名	李企桓		科目名稱	電磁學(一)		
班級名稱	電機二甲				選課代號	1615			
修課人數	69	回收份數	51(73.91%)		有效份數	51			
1. 填答這份問卷時，我很認真地思考每一個題目。	5. 很同意	4. 同意	3. 普通	2. 不同意	1. 很不同意				
	38 (74.51%)	13 (25.49%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)				
2. 這學期中，我在本科目的缺課(含請假及曠課)節數	5. 0節	4. 1-6節	3. 7-12節	2. 13-18節	1. 19節以上				
	28 (54.90%)	20 (39.22%)	3 (5.88%)	0 (0%)	0 (0%)				
3. 經努力，我對本科目學習結果的滿意度	5. 29%以下	4. 30-49%	3. 50-69%	2. 70-89%	1. 90%以上				
	1 (1.96%)	0 (0%)	8 (15.69%)	26 (50.98%)	16 (31.37%)				
4. 本科目的教材內容適中。	5. 很同意	4. 同意	3. 普通	2. 不同意	1. 很不同意	平均值	標準差		
	26 (50.98%)	20 (39.22%)	2 (3.92%)	1 (1.96%)	2 (3.92%)	4.31	0.95		
5. 本科目上課內容符合教學目標。	5. 很同意	4. 同意	3. 普通	2. 不同意	1. 很不同意	平均值	標準差		
	27 (52.94%)	19 (37.25%)	5 (9.80%)	0 (0%)	0 (0%)	4.43	0.67		
6. 教師教學準備充份。	5. 很同意	4. 同意	3. 普通	2. 不同意	1. 很不同意	平均值	標準差		
	31 (60.78%)	18 (35.29%)	2 (3.92%)	0 (0%)	0 (0%)	4.57	0.58		
7. 教師關心學生對本科目的學習情形。	5. 很同意	4. 同意	3. 普通	2. 不同意	1. 很不同意	平均值	標準差		
	27 (52.94%)	20 (39.22%)	4 (7.84%)	0 (0%)	0 (0%)	4.45	0.64		
8. 教師曾就本科目的教學目標、進度、方法及成績考評等事項做說明。	5. 很同意	4. 同意	3. 普通	2. 不同意	1. 很不同意	平均值	標準差		
	28 (54.90%)	20 (39.22%)	3 (5.88%)	0 (0%)	0 (0%)	4.49	0.61		
9. 教師的表達與解說清楚且有條理。	5. 很同意	4. 同意	3. 普通	2. 不同意	1. 很不同意	平均值	標準差		
	30 (58.82%)	17 (33.33%)	4 (7.84%)	0 (0%)	0 (0%)	4.51	0.64		
10. 教師的教學方法靈活調整，有助於提升學習效果。	5. 很同意	4. 同意	3. 普通	2. 不同意	1. 很不同意	平均值	標準差		
	30 (58.82%)	16 (31.37%)	5 (9.80%)	0 (0%)	0 (0%)	4.49	0.67		
11. 教師將作業與試卷的結果回饋給學生，有助於學生學習。	5. 很同意	4. 同意	3. 普通	2. 不同意	1. 很不同意	平均值	標準差		
	28 (54.90%)	15 (29.41%)	8 (15.69%)	0 (0%)	0 (0%)	4.39	0.75		
12. 本科目的成績考評客觀公正。	5. 很同意	4. 同意	3. 普通	2. 不同意	1. 很不同意	平均值	標準差		
	32 (62.75%)	15 (29.41%)	4 (7.84%)	0 (0%)	0 (0%)	4.55	0.64		
13. 本科目的考評方式與配分比例能評量出我的學習成果。	5. 很同意	4. 同意	3. 普通	2. 不同意	1. 很不同意	平均值	標準差		
	30 (58.82%)	14 (27.45%)	7 (13.73%)	0 (0%)	0 (0%)	4.45	0.73		
14. 若有機會，我樂意修習這位教師所開設的其他課程。	5. 很同意	4. 同意	3. 普通	2. 不同意	1. 很不同意	平均值	標準差		
	33 (64.71%)	13 (25.49%)	4 (7.84%)	1 (1.96%)	0 (0%)	4.53	0.73		
15. 本科目的任課教師是教的好的老師。	5. 很同意	4. 同意	3. 普通	2. 不同意	1. 很不同意	平均值	標準差		
	32 (62.75%)	16 (31.37%)	3 (5.88%)	0 (0%)	0 (0%)	4.57	0.61		
16. 整體而言，我在本科目的收穫豐盛(如專業知識、技能、態度或價值觀等方面)。	5. 很同意	4. 同意	3. 普通	2. 不同意	1. 很不同意	平均值	標準差		
	26 (50.98%)	20 (39.22%)	5 (9.80%)	0 (0%)	0 (0%)	4.41	0.67		
17. 我不擔心這份調查的結果會影響我在本科目的學期成績。	5. 很同意	4. 同意	3. 普通	2. 不同意	1. 很不同意	平均值	標準差		
	33 (64.71%)	10 (19.61%)	7 (13.73%)	0 (0%)	1 (1.96%)	4.45	0.88		
18. 明瞭本科目教學目標。	5. 很同意	4. 同意	3. 普通	2. 不同意	1. 很不同意	平均值	標準差		
	30 (58.82%)	17 (33.33%)	4 (7.84%)	0 (0%)	0 (0%)	4.51	0.64		

逢甲大學110學年度 第1學期 一般科目課程意見調查結果(非開放題部分)

單位	資電學院 電機系	教師姓名	李企桓	科目名稱	電磁學(一)
班級名稱	電機二甲	選課代號	1615		
修課人數	69	回收份數	51(73.91%)	有效份數	51

19. 我覺得老師在教學上做得很好的項目：(可複選，若無建議可免填)

項次	次數
(8). 充滿熱誠	39
(7). 善用教學媒體	35
(6). 鼓勵學生獨立思考	31
(5). 樂於協助學生解決學習問題	27
(4). 依課綱進度教學	31
(3). 與學生互動良好	26
(2). 教學內容清楚	33
(1). 教學態度認真	35

(B) 研究成果之分析評估

項目一：

請問大一主要科目成績	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
(a) 普通物理	76	93	87	72	60	99	84	90	67	82	66	63	89	75	94	64
(b) 微積分(一)	86	94	84	81	60	99	88	98	71	81	80	86	93	87	95	60
(c) 微積分(二)	78	89	91	78	76	94	86	95	60	80	76	70	88	72	85	60
(d) 邏輯設計	79	90	92	82	87	99	88	88	69	76	97	71	98	86	94	84
(e) 線性代數	76	84	86	62	75	97	97	75	61	75	76	75	84	77	78	73
(f) 計算機概論(一)	69	77	80	77	69	86	80	74	52	76	75	72	73	64	72	43
(g) 計算機概論(二)	78	79	90	78	72	85	71	返選 選	77	78	75	74	91	81	未 收	68
average	77.4	86.6	87	75.7	71	94	84.9	87	65.3	78	77.9	73	88	77	86.3	65

計畫主持人說明：回收問卷屬不強迫性，有回覆的同學大一主科成績有高有低算是相當平均。

項目二：

2. 課前教學影片	請問課前教學影片你會看的頻率有多少?原因為何? (a)必看 (b)常看 (c)偶爾看 (d)很少看 (e)從不看	(A)77.4, 選c, 大部分看講義居多。 (B)86.6 選 a, 必看, 因為考前可以加深印象, 彌補上課有時的恍神。 (C)87 選 a, 我本身上課時比較需要思考, 所以回家會把不懂的地方看到懂。 (D)75.7, 選 e, 考前複習才看較多。 (E)71, 選 d, 很少看, 因為我自己的讀書習慣比較屬於先聽上課講解再自己讀懂, 若是先自行先看教學影片我會完全無法進入狀況。 (F)94, 選 c, 在課前看可以先預習上課內容為何並知道自己不會的點, 在實際上課聽完可以解決自己不會的地方。 (G)84.9, 選 d, 因為沒有多餘的時間。 (H)87, 選 e, 沒有預習的習慣, 但是在讀書的過程中, 遇到不會的題目或觀念會看影片。 (I)65.3, 選 c, 考試前有助於複習課程內容。 (J)78, 選 a, 雖說為課前複習, 但課後複習看影片較多。 (K)77.9, 選 c, 有空的時候會看, 沒空的時候就等老師上課。 (L)73, 選 d, 沒有額外花時間看影帶。 (M)88, 選 d, 有時間才會看。 (N)77, 選 a, 必看, 課前教學影片對我來講比較常在課後看, 因為上課不是每個地方都能馬上理解, 所以需要輔以影片複習, 在段考前, 影片也對我的考試很有幫助。 (O)86.3, 選 a, 常看, 我比較屬於自學型的學生, 在開始一個課程之前, 我會選好一本書跟適合的開放課程, 然後就開始學習了。因此我經常在課前預習, 反正我原本進度就比學校快。 (P)65, 選 c, 因為都擠到考試前才看。
-----------	---	--

計畫主持人說明:同學回覆顯示,雖然並非每位同學都會常態性看視頻,但仍顯示視頻影帶隊有興趣的同學幫助很大(可作為預習或強化觀念用),對於學習態度較不投入的同學,教學視頻有利於考前學習。鑒於此些正面反應,以後課程仍會採取教學視頻先行上傳的教學策略。

項目三:

3.學習時間	請問平均每周課後花多少時間學電磁學	(a) >8 小時 (b) 6~8 小時 (c) 4~6 小時 (d) 2~4 小時 (e) <2 小時	(原因說明)D (A)77.4, 選 d, 有點不固定。 (B)86.6 選 d, 2~4 小時, 看完影片後加練習題目。 (C)87 選 c, 課後至少會再讀一次 ppt 和看影片 (D)75.7, 選 e, 大致複習 (E)71, 選 d, 由於我讀書習慣有點不好, 總是偷懶等到要考試才準備要讀書 (F)94, 選 d, 平時上課認真聽, 回去複習的時間可以降低, 把其他時間拿來讀其他科目。 (G)84.9, 選 b, 因為電磁學很抽象, 比較難理解 (H)87, 選 e, 我是爛學生, 不想讀太久。 (I)65.3, 選 d, 電磁學的出題方式單純, 需要花的時間相對少 (J)78, 選 d, 眾多科目需學習 (K)77.9, 選 b (L)73, 選 d, 會稍微看一下上課內容 (M)88, 選 c, 電磁學是玄學, 有時候看著看著就睡著了 (N)77, 選 d, 2~4 小時, 排除上課時間, 通常都在結束課程後馬上複習, 所以複習時間不會花很久, 只有接近段考才會花更多時間在電磁學上。 (O)86.3, 選 b (P)65, 選 d
--------	-------------------	--	---

計畫主持人說明:同學回覆顯示,普遍讀電磁學的時間不多,原因為要修的主科太多(逢甲電機主修有電子學、電路學、微處理機、工程數學、電磁學、信號與系統),有些同學覺得內容抽象而不願意花太多時間,另外有些同學覺得題目不難所以沒花太多時間在電磁學上。此些現象顯示欲提升同學學習時間的可行性仍低(主修科目太多),另外本校電機系學生程度差異大,不適合提高考題難度,在搭配條件矛盾的狀況下,計畫主持人仍會選擇以提升同學對電磁學學習興趣為主的策略,考試難度維持適中。附錄:電磁學(一)全班平均 68,修課 70 位同學,15 位被當。電磁學(二)全班平均 73,修課 70 位同學,13 位被當。

項目 4

4.未來修課方向	請問你會繼續修習右欄本系電磁學相關的課程嗎? (可複選)	(a)電磁波 (b)電磁干擾 (c)高頻電路 (d)天線原理 (e)電磁波傳播 (f)外系相關課程 (請與右欄寫出課名)	(A)77.4, 選 a, 電磁波 因為基礎是電磁學感覺可以試試看 (B)86.6 選 a、c 電磁波與高頻電路, 未來想走電波領域, 且對於上面兩門較有興趣。 (C)87 選 a、c 我本身選電磁組左欄應該會全修(a)(c), 下學期應該會先修到 (D)75.7, 選 a,c,d (E)71, 應該以上都不會修習, 本身對於電波方面較無興趣 (F)94, 可能不會修關於電波的課程, 因為自己是走電磁能源組的, 所以大多修課都是有關於能源組的課。 (G)84.9, 不會, 因為想選擇光電類的方向 (H)87, 選 a。電磁波為必修, 其餘不修是因為我是電力學程的學生, 右欄課程不在我的選課範圍。 (I)65.3, 不會, 我比較有興趣修習微處理機等程式撰寫相關科目 (J)78, 可能不一定會修習, 本身方向位於光電組 (K)77.9, 選 c (L)73, 選 d 天線原理, 在逢甲電波類的好像風評不錯, 可以的話想盡我的能力帶走一些東西 (M)88, 不太想選, 電磁太難了 (N)77, 選 c 高頻電路 將來走的路線比較以光電為主, 所以選擇比較沒那麼電磁性質的課程 (O)86.3, 選 c,d,e, 我選擇走電波組。 (P)65, 選 a
----------	---------------------------------	--	--

計畫主持人說明:同學回覆顯示,普遍選讀電磁學進階課程者為以後要走電波組的同學。走其他方向的同學,大部分不會選此些進階課程,主要是覺得難,加上選其他專業也需花時間。在此計畫主持人認為他組別若有與電磁學相關的進階科目,也可考慮加開以連貫課程的深度。例如光電組的波導光學。

項目 5

5.開課建議 I	請問你在一些課程或專題中有使用 VPython/ MATLAB 的經驗嗎, 如果有, 你會想建議系上進一步開設 <u>電磁學數值建模</u> 課程嗎?	(a)意願強烈 (b)看狀況再決定 (c)不會選修	(A)77.4, 選 a, 可以學習軟體, 在未來模擬可能會用到 (B)86.6, 選 a, 意願強烈, 在現在的學習環境, 希望可以多進行些實際且實用的操作, 不會一直像過去的課程樣。 (C)87 選 a, 計概實習有帶過 MATLAB 但不熟, 意願強烈, 聽起來有趣, 多學一件實用的工具, 之後專題或許能用到。 (D)75.7, 選 b. (E)71, 沒有多次使用的經驗, 無法評論。 (F)94, 選 b, 專題會用到 MATLAB 但是希望是開設跟能源有關的方面, 若有開設電磁學建模, 有可能會修這門課。 (G)84.9, 選 b, 但不確定自己有沒有辦法兼顧。 (H)87, 選 b。我沒有經驗, 但是我覺得配合數值模擬會讓學生更好的理解課程, 所以應該可以試試看。 (I)65.3, 選 a, 我認為多一些數據模擬的內容能有助同學了解課程。 (J)78, 選 a, 程式對於未來也有幫助。 (K)77.9, 選 b。 (L)73, 選 b, 看狀況再決定, 雖然有初步了解, 但是感覺不是很熟悉 (M)88, 選 b, 感覺都是以後用的到的東西, 如果有時間會想學學看 (N)77, 選 b, 看狀況再決定, 以目前的課業繁重程度, 已經沒辦法把每一科都顧好, 因此會希望將課程的選擇放在以後真的會用到的地方上, 但目前很多選修都不知道以後會不會用到, 若在日後了解電磁學數值建模課程對之後升學的重要性, 會再對此做評估。 (O)86.3, 選 b, 看情況再決定有機會會想要多試試看 V Python 與 MATLAB. (P)65, 選 b.
----------	---	---------------------------------	--

計畫主持人說明: 同學回覆顯示, 部分同學對軟體計算電磁學感到興趣。接近一半的同學需評估再決定。從近一年的教學實驗顯示, 計畫主持人認為電磁學理論對同學而言普遍覺得抽象, 加上主科太多無法深入學習, 軟體輔助學習與實驗課程確可提高同學的學習深度, 但缺點還是卡在教學時數有限、其他課程太重。我個人推測較好的解決方式是另外同步開一門 3 學分的課程(同時包含實驗與軟體操作), 所學電磁課程才能完備(學得到也有能力應用), 且此課程應列為可抵科技類通識學分。另一種方式為大二的修業應當分流一部份到大一暑期、大二暑期或大三, 以讓同學在時間較充裕條件下把內容學好

項目 6

6.開課建議 III	由於電磁學難度較高, 上課進度感受如何? 如果電磁學在大一暑假開課, 你會建議學弟妹先修嗎?	(a) 會, 因為可以學得較完整 (b) 會, 但仍要看課程安排的時間 (c) 不會, 因為暑假想安排自己的活動 (d) 不會, 因為學期中學時間尚足夠。 (e) 其他會與不會的原因	(A)77.4, 選 d, 覺得目前難度剛剛好, 暑假我覺得是額外探索的時間 (B)86.6 選 b, 上課進度剛好, 不會過於太快, 考試來不及準備, 吸收較好。但仍要看課程安排的時間, 有足夠的時間學習, 我相信會學得更好 (C)87 選 a, 上課進度剛好, 蠻喜歡老師上課的節奏與台風, 選 a 是因為可以學得較完整對有興趣的同學能多一種選課的選擇 (D)75.7, 選 a, 但上課速度快, 有時間可以學得較完整。 (E)71, 選 C, 我認為大一暑假是最好的時光之一, 可以多去做想做的事情 之後大二以後的暑假就有點忙了, 例如準備考研究所等等 (F)94, 選 b。進度剛好, 需要看學弟妹們有無相關科目的學習, 因為若沒有相關經驗去修電磁學, 對學弟妹他們修課可能聽得很吃力。 (G)84.9, 進度適合我, 選 b, 還是要先看看自己有沒有其他安排, 但可以抽空預先學習。 (H)87, 選 a。進度再慢一點比較好, 雖然我覺得想要先修的學生可能不多, 但是如果先學習的話並且搭配其他實驗或程式模擬, 必定會對這門課程有理解上的幫助。 (I)65.3, 選 b, 我認為老師的說明非常詳細, 如果能在暑假利用空閒時間完成課業肯定是好事。 (J)78, 選 b, 電磁學較難, 接受難度較高, 能再放緩一點更好, 暑假會建議大一學弟妹修習, 但暑假許多人不在台中, 所以難度較大。 (K)77.9, 選 a, 因為電磁學難度較高, 如果先修了, 二年級學弟妹可能還是不及格, 那這時候他就可以拿出證明說他之前有先修過了, 表達出他不是不認真, 那教授就可以以此為依據可能不要當他。 (L)73, 進度過快, 選 c, 雖然老師都會大概告訴學生考那些內容, 但感覺都是在背公式, 以我的素質帶不走太多東西, 只能勉強面對考試。不想在暑期修課是因為暑假想安排自己的活動。 (M)88, 課程還是太快, 還沒搞懂。選 a, 暑假有很多時間可以學習才不會三電一工都擠在一起也學的不夠精。 (N)77, 進度剛好, 上課結束看看影片複習節奏剛剛好。選 a, 會, 因為可以學得較完整電磁學應該是三電一工裡最難理解的東西, 有太多東西建立在複雜的數學上, 還有很多是高中指考的範圍, 對於學測就上的同學來講入手難度有點難, 所以滿推薦暑假可以先修電磁學, 在沒有其他科的壓力下, 才能完整真正知道電磁學在幹嘛, 大二在學的話其實施間的壓迫, 有些時候都不是真的懂, 只是將題目、公式背下來, 不知道怎麼運用。 (O)86.3, 進度還可以, 選 a, 會, 此外我也建議大家都可以在大二之前先去修一些高職的基本電學。 (P)65, 進度剛好, 選 b。
------------	--	---	---

計畫主持人說明: 同學回覆顯示, 2/3 覺得上課速度可以接受, 1/3 左右覺得過快。沒有人覺得慢。主要是學校有規定上課進度, 無法調慢, 加上有 1/3 同學自外系轉入, 普遍程度較差,

歷屆調查顯示，這些同學都得重修才能過關。少部分念的大五或大六後再通不過只能轉系(每年約有 3 人)。另外資料也顯示還是有一半座左右的同學對於開暑修還是贊成，主要理由是時間較足夠。

項目 7

7. 開課建議	整體而言，你希望電磁學課程可以再做那些改變! 請在下欄敘述你的建議
<p>(A)沒有建議~</p> <p>(B)無，認為現在的課程規劃良好。</p> <p>(C)建議可以開設電磁學數值建模課程,我覺得以學生立場來說對未來會用到那些工具或課程其實都很陌生,像電磁學數值建模,我也是第一次聽到,所希望能借老師的專業判斷與經驗,那些是對學生有益的先試試看,在依結果和有經驗同學感覺來決定是否改變,畢竟同學在專業領域不會比老師熟悉,可以說自己需要什麼都不一定清楚。</p> <p>(D)課程應拉長教學時間</p> <p>(E)無</p> <p>(F)我覺得電磁學課程不需要做改變,這樣的上課方式跟進度都剛剛好,不會讓人有太大的壓力,看影片可以讓人更輕鬆了解電磁學的實驗以及公式。</p> <p>(G)我覺得老師講解的很詳細,內容完整,ppt也很用心。</p> <p>(H)可以把這麼課排在必修課程較少的學期,這樣有更多時間讀,且課程放慢一些(可能上到一半停一下讓學生想一想或討論)也可以讓學生有更多時間在課堂上理解。</p> <p>(I)我覺得老師很棒</p> <p>(J)老師的教課態度相當好,也都會過於拘束學生,我覺得很好。</p> <p>(K)老師教得很好!</p> <p>(L)可以講解得更詳細,題目在淺顯易懂一點</p> <p>(M)上課步調可以慢一點</p> <p>(N)整體上課節奏跟方式對同學來講都很好,因為有影片的關係,即使生病或臨時有事無法上課,也可以透過影片學習,只是電磁學的難度真的挺難的,希望以後課程能在大二前結束,避免跟其他兩電一工撞期,像是在一上升一下的寒假到一下期中修電磁學一,一下期中到暑假結束修電磁學二,這樣才能好好學習電磁學在幹嘛。</p> <p>(O)大致上非常習慣老師的上課模式了,目前沒有覺得要改進的地方,謝謝。</p> <p>(P)希望有些實作 幫助了解書面所學</p>	

計畫主持人說明：整體而言，我們未來課程會針對上述建議做改善!

- (a)暑修可以預先開課，約一半同學有意願想把電磁學學得更完整。
- (b)如時間充裕應搭配更完整的數值電磁學或模擬課程、實作課程。

Comment: 因本研究計畫所提供的經費已購買大型或較高價的電磁學教學設備。因此在課程條件允許下以後電磁學課程仍會搭配小型實作課程、軟體課程，但系上仍應提供 1 萬元左右的消耗性零組件費用。

6.建議與省思

反思

1. 本課程上課內容以理論為主，實驗為輔，由於牽涉到複雜的數理公式，因此大部分學生學習速度只能勉強跟上教學進度。
2. 軟體可視化(例如 AMTLAB/Python)的程度越高，學生學習時所遇到的障礙越少，越能理解教師所講述內容。因此建議其他較為抽象的專業科目，如工程數學、信號與系統等以後應盡可能以適當軟體表述，降低學生的學習門檻!
3. 學生提出自己的自造實驗時時，普遍創新性不足。個人認為創新不足的因素有下列幾項：
第一是本校的電機教育仍以傳統單向教學為主軸，成績的評定是以能解題為主。鮮少要學生提出自己的創見。
第二是工業設計教育不足，因此對自造設計的敏銳度太低、偏見太高。
第三是學生普遍無廣泛閱讀的習慣，因此對不同技術間的整合能力相對薄弱，作品發想的思維封閉!
第四是有些團隊的合作程度仍不夠深入。部分同學只想依賴動手能力較強的同學完成題目。根本原因還是能力較弱造成。
此些問題非短期所能解決，未來將在系上與各位老師溝通後，或於本人所授課程中盡量改善之。

建議

由於本課程結束後，已無經費支援。但以自造實驗的開銷計算，一個班級修課學生60人，每3人一組，可分20組。且大部分實驗零件花費均可控在500元以下。建議教育部以後應該鼓勵無實驗搭配的工程課程，搭配2萬元左右的實驗費用或搭配至少1/3的時數為模擬或實作(也可以是4學分一門課)，以有效提升學生的應用能力。

二、參考文獻

- [1] MIT 電磁學。 <https://www.youtube.com/watch?v=wcBCmIggNII&t=1116s>
- [2] 教育部大學課程網。 http://ucourse-tvc.yuntech.edu.tw/web_nu/search_course.aspx
- [3] MIT TEAL 教學介紹網站。 Icampus.mit.edu/projects/teal/
- [4] 國立中正大學 TEAL 創意互動教學教室網站。 tealcourse.ccu.edu.tw
- [5] 李靜儀等, "CDIO 理念對台灣工程教育的啟發", 臺灣教育評論月刊, 2016, 5 (2), 頁 101-104
- [6] <http://carlosmccosta.github.io/Electric-Dipole/>
- [7] 美商: [Electrostatic Charge Experiment - EX-5532 - Products | PASCO](http://www.pasco.com/products/ex-5532)
- [8] 台商: [TESS 精密電學·電磁學·電子學系統實驗箱 \(science.com.tw\)](http://www.science.com.tw)
- [9] 指令參考資料: [VPython dipole pdf - Bing](#)
- [10] VPython 建模參考資料: [GitHub - carlosmccosta/Electric-Dipole: Physics II](https://github.com/carlosmccosta/Electric-Dipole: Physics II)
- [11] Physics Teacher: <https://aapt.scitation.org/doi/pdf/10.1119/1.1845992>
- [12] 迪威科技: <https://www.3dway.com.tw/>
- [13] 育新數位科技公司: <http://news168.com.tw/>

三、附件：

表 A：教師角色的研究調查表

調查項目	問題	評分等第(請直接圈選)
1. VPython/MATLAB	請問課堂使用 VPython/MATLAB 作演示是否有助於理解課程內容	優(5) 良(4) 可(3) 不佳(2) 無任何助益(1)
2. 3D 列印工具	貴組熟悉 3D 列印機的使用後，執行構想的製作時認為此機台的幫助程度為何?	優(5) 良(4) 可(3) 不佳(2) 無任何助益(1)
3. CNC 雕刻機	貴組熟悉 CNC 雕刻機的使用後，執行構想的製作時認為此機台的幫助程度為何?	優(5) 良(4) 可(3) 不佳(2) 無任何助益(1)
4. 課堂演示實驗	請問課堂演示實驗是否有助於理解課程內容	優(5) 良(4) 可(3) 不佳(2) 無任何助益(1)
5. 課堂桌上型小實驗	請問課堂桌上型小實驗是否有助於理解課程內容	優(5) 良(4) 可(3) 不佳(2) 無任何助益(1)
6. Home-work	同學使用 VPython 做 Homework 後，是否對對應理論的電磁現象有更直觀的了解。請在此圖框簡單舉例!(以文字與圖於背面說明之)	優(5) 良(4) 可(3) 不佳(2) 無任何助益(1)

表 B: 學生角色的研究調查表(匿名與 e-mail 方式調查)

調查項目	問題		分數
1.基本資料	請問大一主要科目成績	(a) 普通物理	
		(b) 微積分(一)	
		(c) 微積分(二)	
		(d) 邏輯設計	
		(e) 線性代數	
		(f) 計算機概論(一)	
		(g) 計算機概論(二)	
2.課前教學影片	請問課前教學影片你會看的頻率有多少?原因為何?	(a)必看 (b)常看 (c)偶爾看 (d)很少看 (e)從不看	(原因說明)
3.學習時間	請問平均每周課後花多少時間學電磁學	(a) >8 小時 (b) 6~8 小時 (c) 4~6 小時 (d) 2~4 小時 (e) < 2 小時	(原因說明)
4.未來修課方向	請問你會繼續修習右欄本系電磁學相關的課程嗎? (可複選)	(a)電磁波 (b)電磁干擾 (c)高頻電路 (d)天線原理 (e)電磁波傳播 (f)外系相關課程 (請與右欄寫出課名)	(原因說明)
5.開課建議 I	請問你在本課程使用 VPython/ MATLAB 後,如果系上有進一步開設電磁學數值建模課程,你有意願選修嗎?	(a)意願強烈 (b)看狀況再決定 (c)不會選修	(原因說明)
6.開課建議 II	你對本課程的上課進度感受如何?	(a) 過快 (b) 剛好 (c) 緩慢 (d) 其他	(原因說明)
7.開課建議 III	由於電磁學難度較高,如果電磁學在大一暑假開課,你會建議學弟妹先修嗎?	(a) 會,因為可以學得較完整 (b) 會,但仍要看課程安排的時間 (c) 不會,因為暑假想安排自己的活動 (d) 不會,因為學期中學時間尚足夠。 (e) 其他會與不會的原因	(原因說明)

8. 開課建議	整體而言，你希望電磁學課程可以再做那些改變！ 請在下欄敘述你的建議

表 C: 自造實驗效益評價表。

項目	問題	評分等第	評分人	評分與建議
1. 構想創新性	你認為某組構想的創新性如何?	優(5) 良(4) 可(3) 不佳(2) 無新穎之處(1)	教師(20%)與 各位同學(全班學生 總權重佔 80%)	
2. 構想與理論 關聯性	你認為某組構想 與電磁理論關聯 性如何?	優(5) 良(4) 可(3) 不佳(2) 無任何助益(1)	教師(20%)與 各位同學(全班學生 總權重佔 80%)	
3. 各組成員分 工狀況是否充分	貴組執行構想的 分工狀況如何?	優(5) 良(4) 可(3) 不佳(2) 無任何助益(1)	教師(包含討論程 度、分工是否合理、 是否有邊緣人、各成 員時間與資源投入 程度。)	
4. 作品完成度	構想的完成度如 何?	優(5) 良(4) 可(3) 不佳(2) 無任何助益(1)	教師	
5. 各小組互評	你認為某組的作 品總體評價如 何?	優(5) 良(4) 可(3) 不佳(2) 無任何助益(1)	各組組員	
6. 外部委員總 評	你認為各組的整 體評價為何?	第 1~2 名(5) 第 3~4 名(4) 第 5~6 名(3) 第 7~8 名(2) 第 9~10 名(1)	外部委員	