

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：PEE1090678

學門專案分類/Division：工程

執行期間/Funding Period：109年8月1日至110年7月31日

問題導向學習與做中學於電磁學教學應用

Applications of Problem-Based Learning and Learning-by-Doing in Electromagnetics

配合課程：電磁學(一)、(二)

Course Name: Electromagnetics I & II

計畫主持人(Principal Investigator)：高川原

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

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)：110年9月17日

問題導向學習與做中學於電磁學教學應用

一、研究動機與目的(Research Motive and Purpose)

電機系的專業電磁學課程為核心的基礎課程，近十幾年隨著電子產品的電路設計為了速度和節能的考量，漸漸往更高的頻率和更小的體積發展，電磁波理論必需融入電子電路設計中，因此課程也日益受到重視。傳統電磁學課程教學方法大部分延續科學史的角度為主軸，以歸納觀察到的物理現象、輔以物理數學模型的建立，而得到物理定律，此即所謂的歸納法。與其相反的演譯法教學，則從馬克士威爾方程式(Maxwell's eqs.)出發，藉由嚴謹的數理邏輯推導而得到解釋各種電磁學現象的數學式子，David K. Cheng 所著的電磁學教科書即為此例[1]。在電磁學的十幾年教學經驗中，上述兩種不同的教學邏輯都給學生相同的印象，即「數學艱難」和「觀念抽象」。

教育家認為，學習者必須積極參與學習活動，才能由學習中得到認知。而參與的過程直接影響認知的程度。因此一人唱獨腳戲的傳統課堂教學方式無法滿足所有班上的同學，因為只有一種講演的學習風格。「問題導向學習」與「做中學」就是要突破這層困境，讓學習風格掌握在學生手上，達到主動學習的效果[18],[16]。再者，因為本系的電磁學課程並無搭配的實驗課程，大一普通物理實驗也已經停開超過十年。在無相對應的實驗課程配合下，傳統的被動式課堂講授的教學方法，已經無法誘發學習者的學習動機。在無相對應的實驗課程配合下，傳統的被動式課堂講授的教學方法，已經無法誘發學習者的學習動機。

動手做實驗一直是在科學學習上解決「觀念抽象」的金科玉律。透過實驗，學習者可以增加對實驗證明的結論的理解和對物理的數學模型產生信心，進而產生興趣，而有學習動機。當學生對主題有了學習動機，「數學艱難」的情況應即可迎刃而解。因此萌生設計以電磁定律為主題的動手做的實驗，搭配問題導向的教學方式預先進行理論探討。在這個利用實驗教學為輔助教學的例子將電磁學課程的教學型態從「傳統被動式課堂講授」轉變為「問題導向、做中學」的教學[18]-[17]，引導電磁學課程學生思考物理定律與現象的本質，利用群體合作學習，用以貫穿學習，解決本系學生學習電磁學的困難，增進師生之間的交流互動，而達到提高學習效益的目的。

二、文獻探討(Literature Review)

綜觀現階段電磁學的教學方法：

1. 國內電磁學線上開放式課程大多是採現場錄製的影音課程[5]-[7]，這受限於講者的個人魅力與板書技巧。

2. 教學現場示範實驗：這是傳統的輔助教學方法。著名的前 MIT 教授 Hermann A. Haus 與同事在 MIT opencourse 中仍然沿用此教學方法(2008)[8]。此法受限於需要投入較長久的時間累積研發相關示範教具與龐大的後勤支援，並且如果沒有實驗課搭配的話，學生比較無法直接參與，將失去動手做親身驗證的機會。
3. 電腦輔助教學：模擬和可視化工具，這是現階段許多電磁學課程採用的方法之一[9]-[13]，尤其是這幾年電腦計算能力的迅速提高和 FDTD 演算法的普及，在電磁波的教學上有非常大的幫助，受到很大的重視，也是電磁學輔助教學的主流[14]。值得一提的是在上個世紀 90 年代，美國國家科學基金會（NSF）和 IEEE 贊助的「電腦輔助電磁學教育」（Computer Applications in Electromagnetics Education, CAEME）計劃，該計劃由 Magdy Iskander 教授主導[9],[10]，發展了許多軟體和動畫影片，以幫助理解和可視化電磁波概念，是早期投入電磁學電腦輔助教學的先驅者。2017 年其學生 C. Furse 出版了一本專論電磁學教學的專書，兩人合寫第 25 章，在文中回顧並且展望了電磁學教學的發展[11]，但是討論的主題是偏電磁波的應用教學。

對於電磁學的入門課程，靜電學與靜磁學，曾於 103 - 104 學年度，參與學校「做中學」的活動，嘗試寫點簡單的 Matlab 程式，讓學生體會「做中學」。在電磁學教學圈，「做中學」和「問題導向」受到廣泛的重視與採用[15]-[23]，諸如 MIT opencourse 的 Jin Au Kong 教授，在 Tools 中加入一些 Matlab 程式，讓學生練習。但也發現，此教學的方法很容易流為「看影片」的教學活動，原因是學生必須在修習此門課前掌握相當程度的撰寫程式技巧，才有能力更改所給的示範程式，也才可能在更改程式的活動當中體驗「做中學」。再者此法較適合個人單獨解決問題，缺乏且較難融入團體解決相關問題的活動。因此設計在「做中學」和「問題導向」的框架下，以演譯電磁定律為主軸的「做中學」實驗，輔以「問題導向」式學習的課程設計。

三、研究問題(Research Question)

「做中學」實驗結合「問題導向」的議題討論為解決教學現場所遇到的問題，即

- ➡ 學習動機：抽象的電磁定律，無實例或實證，只靠講演方式，學習者無法認同或體會電磁定律。造成上課分心。
- ➡ 電磁定律的理解：不會或不能周延的用已學的電磁知識，解釋所遇到的電磁現象。
- ➡ 數理能力：不會解題。電磁學的學習是物理與數學高度結合的課程，要兩者兼顧，一直被認為是學習困難所在。

所以，本教學研究計畫為解決教學現場的問題，以提高學習動機和深化理解電磁定律為目標，使本課程的教學品質及教學成效有所提升。

四、研究設計與方法(Research Methodology)

因受限於經費¹，課程時間與課程的特性，本課程實驗的設計必須滿足一些教學條件與目的，

1. 實驗的材料必需隨手可得，即生活周遭的器具、標準電機教學實驗室所擁有的器材、或低成本的電子材料製作教材，很容易在本校複製實驗或教學環境。
2. 讓學生了解生活周邊的物理現象，與課程有所連結，產生共鳴。
3. 議題討論和實驗的時間不可太長，即不可拖累上課進度，形成主客反易。
4. 問題導向學習與做中學實驗，目的在提高學生學習動機，讓電磁學成為一門有趣的課程。因為此課程偏重數理，預計無法整學期的課都以學生為主場。在適當的時候還是要回到教科書。

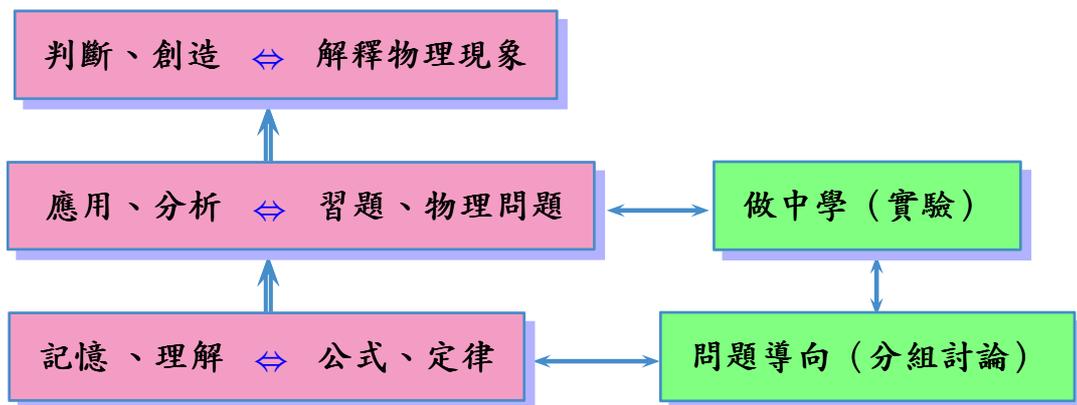


圖 1 問題導向學習結合做中學實驗的方法

「做中學」實驗結合「問題導向」的課程設計希望在傳統的教學主軸上，在課程理論進行講解之前，先行實施問題導向學習結合做中學的方案，如圖 1。也就是在自我學習，與做中學完後，再回到課本。

課程架構與教學方法：

1. 學習問題，在教導相關電磁定律前，於一周前給出預先所設計的學習問題作為作業，希望同學能深入研究問題。課堂上學生以分組方式，採集體討論方式，將結果寫在學習單上。各組派出一位說明或補充各組「問題導向」的結論。

¹原計畫規劃的期末專題，也因經費問題刪除。

2. 做中學實驗，由前述學習問題所學的理论基礎，驗證做中學設計的簡單實驗所給出的問題。各組派出一位說明實驗的結果並討論結果是否符合預期。
3. 發現問題，各組設計相關問題，提出討論。
4. 回到教科書，完整的理論與例題的講解。如果有疑問，隨時可回到前面任一個階段。在測驗後均有問卷用以微調整下次的教學，如圖 2。

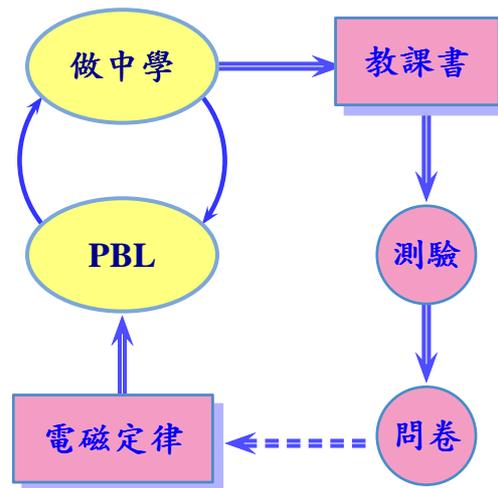


圖 2 課程實施架構

課程內容：課程分上下學期，各做四次做中學實驗與問題導向討論，

課程實驗設計只給出大方向，希望同學在既定的框架下自由發展。

電磁學(一)：

1. 何謂靜電-庫倫定律？製作簡單靜電計，探討生活周遭的靜電危害。實驗利用玻璃空罐，在蓋子上鑽孔置入兩小鋁箔片於銅線架上，自製靜電計。
2. 何謂高斯定律？利用鋁箔包覆手機，以探討高斯定律的本質與應用。
3. 何謂電容器？利用鋁箔包裹紙或塑膠片，製作簡單的電容器，以了解電容器。
4. 何謂歐姆定律？惠斯登電橋 (Wheatstone bridge) (探討惠斯登電橋與橋式整流器的不同及其功能。)

電磁學(二)：

5. 何謂安培定律？利用直流電與電子秤，製作簡單的電流天平，以探電流與磁場的關係。
2. 何謂法拉第定律？利用自製變壓器，了解法拉第定律。

3. 何謂電感？利用簡單的 RLC 電路由已知的電容電阻測量電感值。
4. 偶極天線與電磁感應。

實驗七與八因疫情影響取消，只實施問題導向。

五、教學暨研究成果(Teaching and Research Outcomes)

1. 教學過程與成果

- 本教學實踐研究計畫所開發的教案應用生活周遭的器具、標準電機教學實驗室所擁有的器材、或低成本的電子材料製作教材，很容易在任何學校複製實驗或教學環境，大多數是屬於可以 home made，希望能破解高貴實驗才是科技的迷思，對教學社群學子有所助益。
- 「做中學」實驗和結合「問題導向」的議題，詳見附錄。
- 讓學生了解生活周邊的物理現象，與課程有所連結，產生共鳴。
- 提高學生學習動機，讓電磁學成爲一門有趣的課程，上課分心的比例減少。

2. 教師教學反思

在教學的過程中，對於學生解電磁學習題過程中，所面對的數學問題，仍然無法全面提升。與當初構想，學生有了充足的學習動機後，可重拾工程數學課程的內容，自主學習，克服數學基礎薄弱的困境。

因此，電磁學課程的數學比例到底可以減少到什麼程度？數學比例的減少，是否會危害對電磁學的全面理解？這中間的拿捏，會是一個值得研究的問題。

3. 學生學習回饋

本教學實驗在課程中與學期結束後的普遍和學生的訪談與不記名的問卷，瞭解學生對此實驗的反應是一致而正面的，他們都認爲此實驗

- 有趣，提高了學習電磁學的熱度。
- 原來冰冷的數學式子，應用在生活上的例子，對數學式的物理意涵有了更清楚的概念，有些同學平日沉默寡言，居然燃起對電磁學的興趣，開始問起問題。

問卷樣本數上學期爲 83 人，下學期爲 79 人，有效問卷約爲九成。表1爲問卷題目和六次問卷的平均值，同意以上佔 89%。

問題	同意 %	非常同意 %	普通 %
教師設計之討論議題或實驗及引導方式能啟發我的學習興趣。	60	25	15
教師對本課程所安排的作業、報告或考試，能確實反映我們的學習內容。	60	26	14
教師於課程中運用多元且創新的教材內容。	55	30	15
教師於授課時會引導我們思考，增加對議題或實驗問題的理解，進而組織出解決方案。	50	35	15
教師實施做中學問題導向式教學之上課模式能增強我的學習效果。	50	40	10
教師上課態度熱忱、認真、負責。	60	32	8
我認為做中學問題導向式教學型態的課程，相較傳統課程更具有學習效果。	65	25	10
總平均	56.9	31.6	11.5

表 1 問題導向學習結合做中學實驗的方法

這個結果讓人心鼓舞，作完六個做中學實驗，問卷調查結果證實做中學實驗受到同學的肯定。相較以往課堂講授型態，同學比較投入於課程，師生之間有較多的雙向溝通和比較活潑的教學氛圍。同學也會對實驗的細節建議改進，是為教學相長。例如實驗1靜電計，同學提出提前放電的靜電保護電路問題。實驗2高斯定律，提出微波爐門上網格設計的問題。實驗3電容器，有同學題出紙浸油的構想，難能可貴。其中實驗3，設計自製電容的電容值大小競賽作為該次成績，所得到的迴響與學習熱度最高。因此在往後將一些競賽適度的帶入課堂中，將是一個很好的設計。

不可諱言，引入問題導向和做中學教學，是壓縮了傳統電磁學課程的教學內容，大概減少 15% 的章節。但此課程實驗的結果顯示，教學型態改變所帶來的益處，足以彌補課程內容減少的缺憾。

六、建議與省思(Recommendations and Reflections)

課程宜搭配助教課後輔導，以補足

- ➡ 引入問題導向和做中學教學，所減少的電磁學課程的教學內容；以及
- ➡ 解電磁學習題所遇到的數學問題。

課程宜導入期末專題，即加入專題式學習之課程設計。雖然「做中學」實驗結合「問題導向」的已經改變傳統教授者為中心的教學型態，著重在群體合作學習方式。專題式學習則是以學生自己為中心的教學策略，本質上為研究式學習，較適合學生探究艱難一點的問題。

參考文獻 (References)

- [1] David K. Cheng, *Field and Wave Electromagnetics*, 2nd ed., Addison-Wesley, Reading, Mass., 1989.
- [2] M. Dawood, Kwong Ng and J. McShannon, "Hybrid of PBL and ACL to enhance student learning in electromagnetic undergraduate courses," *2009 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, Charleston, SC, 2009, pp. 1-4.
- [3] D. Raine and S. Symons, "Electromagnetic theory by problem-based learning," *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, June 2005.
- [4] E. Helerea, A. Matoi, I. Oltean, A. Munteanu, "Problem-Based Learning Applied to Electrical Engineering," *Proc. of International Conference on Engineering Education*, 2008
- [5] 臺大開放式課程 <http://ocw.aca.ntu.edu.tw/ntu-ocw/>, 電磁學, 授課教師: 易富國教授。
- [6] 國立交通大學開放式課程 <http://ocw.nctu.edu.tw/>, 電磁學(一) Electromagnetics (I), 授課教師: 電機工程學系, 邱一教授。
- [7] 國立中山大學開放式課程 <http://ocw.nsysu.edu.tw/>, 電磁學, 授課教師: 蔡秀芬教授。電磁學, 授課教師: 周啓教授。教育概論
- [8] Hermann Haus, James Melcher, Markus Zahn, and Manuel Silva. "RES.6-001 Electromagnetic Fields and Energy." Spring 2008. Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare, <https://ocw.mit.edu>.
- [9] M. F. Iskander, "The NSF/IEEE CAEME Center-what is next?," *Antennas and Propagation Society Symposium 1991 Digest*, London, Ontario, Canada, 1991, pp. 259-260 vol.1.
- [10] M. F. Iskander, "Computer applications in electromagnetic education," *Proceedings Frontiers in Education Twenty-First Annual Conference. Engineering Education in a New World Order*, West Lafayette, IN, USA, 1991, pp. 208-211.
- [11] C. M. Furse, & E. T. Iskander, (2017). Electromagnetics education: Past, present, and future directions. In *The World of Applied Electromagnetics: In Appreciation of Magdy Fahmy Iskander* (pp. 655-675). Springer International Publishing.
- [12] Y. J. Dori and John Belcher, "Learning Electromagnetism with Visualizations and Active Learning," *Visualization in Science Education*, pp.187-216, 2005, Springer International Publishing.
- [13] K. W. E. Cheng, X. D. Xue, K. F. Kwok and T. K. Cheung, "Improvement of classroom teaching of electromagnetics by means of an electronic book," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 39, no. 3, pp. 1570-1573, May 2003.
- [14] M. Auer, D. Guralnick, I. Simonics (Eds.), *Teaching and Learning in a Digital World - Proceedings of the 20th International Conference on Interactive Collaborative Learning - Volume 1*, Springer, 2018.
- [15] W. Zhuoyuan, L. Lingong, Y. Ping and W. Yigang, "Virtual laboratory technology for educational electromagnetics," *2016 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)*, Ningbo, 2016, pp. 997-1000.
- [16] D. Raine and S. Symons, "Electromagnetic theory by problem-based learning," *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, June 2005.

- [17] E. Helerea, A. Matoi, I. Oltean, A. Munteanu, "Problem-Based Learning Applied to Electrical Engineering," *Proc. of International Conference on Engineering Education*, 2008
- [18] M. Dawood, Kwong Ng and J. McShannon, "Hybrid of PBL and ACL to enhance student learning in electromagnetic undergraduate courses," *2009 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, Charleston, SC, 2009, pp. 1-4.
- [19] T. Kikuchi, S. Yamashita, M. Suzuki, K. Ozawa, H. Takahashi and M. Kimura, "Comparative study of passive and active learning classes in basic mathematics training for electrical engineering," *2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, Sapporo, 2016, pp. 838-843.
- [20] Shaohui Quan, "A problem-based introduction to microwave technology for undergraduates," *International Journal of Electrical Engineering Education*, Oct 2014, Vol. 51 Issue 4, p383-394.
- [21] R. Cutri, L. Marim, J. Cardoso, "Teaching Physics for Engineers using an Active Learning approach", *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA)*, 2018
- [22] S. R. Kasjoo, M. N. Mohd Yasin, W. M. Wan Nor Haimi and M. R. Zakaria, "Teaching and Learning on Selected Topics in Electromagnetic Theory Course Using Problem-Based Learning Approach in a Class with a Large Number of Students: A Sharing Experience," *Proceeding of The 1st International Joint Conference Indonesia-Malaysia-Bangladesh-Ireland 2015*, pp1065-1070.
- [23] R. Cutri, D. Baracat, L. Marim, F. Witkowski, "Active-learning for Physics (Electromagnetism) teachers in an Engineering Course.", *Proceedings of the ASEE Annual Conference & Exposition*. 2015, pp1-11.

附錄：

實驗一：靜電-庫倫定律，製作簡單靜電計

電磁學（一） Electromagnetics I

kao@chu.edu.tw

PBL 1. 靜電

Class : EE B01209A

Tue. Oct. 6, 2020

1. 為什麼用布擦過塑料尺有能力吸起小紙片？潮濕的日子是否影響？
2. 日常生活中被電到的情況？
3. 靜電計帶電時，兩片金屬薄片互相排斥並保持平衡。原因為何？
4. 日常生活中較易感覺重力或靜電力？
5. 人造雨？
6. 被車子門把電到，是否與天氣相關？
7. 蜜蜂振動翅膀對生態的影響？
8. 討論 Tesla 球。
9. 討論最容易被雷擊的運動。
10. 討論跨距電擊。¹

¹<https://www.independent.co.uk/news/lightning-kills-an-entire-football-team-1181336.html>



實驗二：高斯定律

電磁學 (一) Electromagnetics I

kao@chu.edu.tw

PBL 2. 高斯定律？

Class : EE B01301A&B

Due: 10:00 AM, Tue. Oct. 27, 2020

1. 什麼是高斯定律？
2. 如果通過封閉曲面的電通量為零，則電場在曲面上的所有點必然為零嗎？相反的：如果在所有點上電場=0，通過曲面的電通量是零嗎？
3. 電場在閉曲面上的所有點均為零。閉曲面內肯定沒有淨電荷嗎？如果一個閉曲面內淨電荷為零，電場在曲面上的所有點都必須為零嗎？
4. 點電荷被半徑 r 的球形高斯面包圍。如果球體由一個邊長 r 的立方體代替。電通量會更大，更小還是相同？
5. 包裹一個電偶極子的封閉曲面。電通量=?
6. 高斯定律是否有助於確定電偶極子產生的電場？
7. 法拉第的籠子 (Faraday's cage) 是什麼？
8. 點電荷 q 放置在氣球的中心。氣球然後慢慢地充氣變大。描述電通量如何隨充氣變大而變化。
9. 如何避免雷擊？
10. 電氣接地的的重要性是什麼？
11. 手機可以在加油站使用嗎？
12. 被車子門把電到，是否與天氣相關？



實驗三：電容器

電磁學 (一) Electromagnetics I

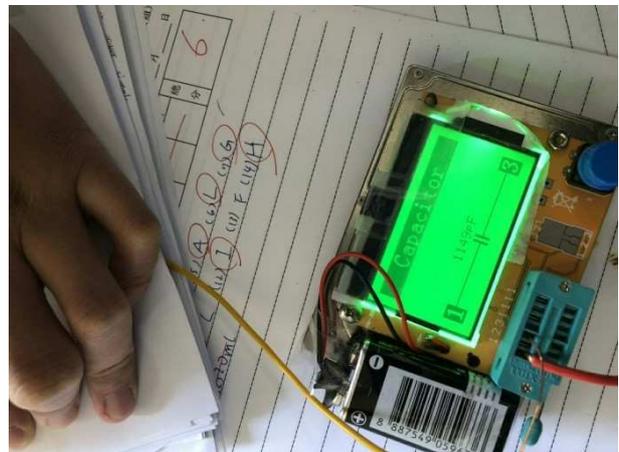
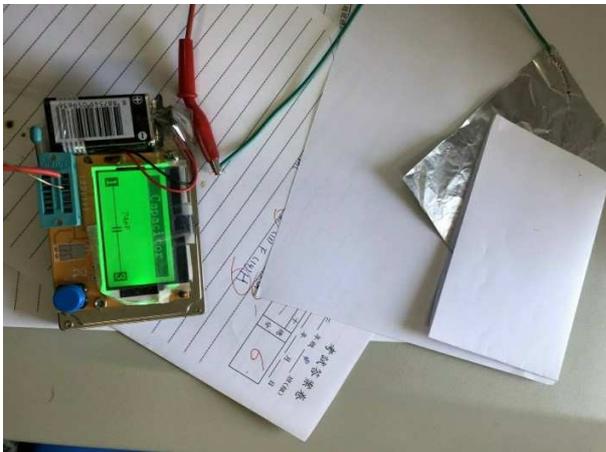
kao@chu.edu.tw

PBL 3. 電容 Capacitance

Class : EE B01301A&B

Due: 8:00 AM, Wed. Oct. 18, 2020

1. 什麼是電容？
2. 電容和電池有何不同？
3. 什麼因素影響電容值大小？
4. 什麼因素影響電容奈電壓值大小？
5. 假設電容極板的兩個導體帶有相同的負電荷。它們之間可能存在電位差嗎？電容的定義可否在這裡使用？
6. 平行極板電容器中的平板的間距 d 與電容器的平板尺寸相比不是很小，即 $d \approx \sqrt{A}$ ， A 為平板面積。則實際電容值與電容值公式比較是較高還是較低？
7. 當電池連接到電容器時，為什麼兩個極板獲得相同數量的電荷？如果兩個導體的尺寸或形狀不同，是否結果相同？
8. 如何使用電容器測量 ϵ_0 。
9. 假設三個相同的電容器連接到電池。如果串聯或併聯連接，結果為何？
10. 在電容器的平行極板之間放置一塊厚度為 ℓ 的銅板，但不接觸電容極板。電容值有何影響？
11. 下列電容器中的能量如何變化？如果
 - (a) 電位差加倍，
 - (b) 極板上的電荷加倍，
 - (c) 極板的間距加倍。



實驗四：歐姆定律-惠斯登電橋

電磁學 (一)

Electromagnetics I

kao@chu.edu.tw

PBL 4. 直流電路 DC Circuits

Class : EE B01301A&B

Due: 8:00 AM, Wed. Jan. 6, 2021

1. 討論點形式的歐姆定律 point form of Ohm's law。
2. [10 %] 討論連續方程式 (equation of continuity) 和電荷守恆 (charge conservation) 的關係。
3. Wheatstone bridge。

Solution: KCL at points b and d ,

$$I_3 - I_x + I_G = 0$$

$$I_1 - I_2 - I_G = 0$$

KVL at loops $abda$ and $bcdb$,

$$I_3 R_3 - I_G R_G - I_1 R_1 = 0$$

$$I_x R_x - I_2 R_2 + I_G R_G = 0$$

when $I_G = 0$,

$$\Rightarrow I_3 R_x = I_1 R_1 \quad (1)$$

$$I_x R_x = I_2 R_2 \quad (2)$$

and $I_3 = I_x \quad (3)$

$$I_1 = I_2 \quad (4)$$

from eqs. (1) and (2),

$$\Rightarrow R_x = \frac{R_2 R_3 I_2 I_3}{R_1 I_1 I_x}$$

from eqs. (3) and (4),

$$\Rightarrow R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

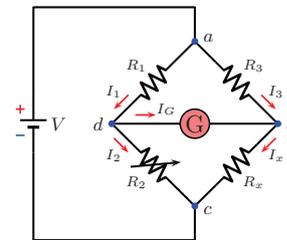


圖 1

4. **Wheatstone bridge.** 惠斯通電橋是一種用於測量電阻的「電橋電路」。將要測量的未知電阻 R_x 放置在電路中，電阻 R_1 , R_2 和 R_3 為已知，如圖 2。其中 R_3 是可變電阻器，可調節該可變電阻器，以便當開關瞬時閉合時，電流表電流為零；

(a) 根據 R_1 , R_2 和 R_3 確定 R_x 。

(b) 如果當 $R_1 = 630 \Omega$, $R_2 = 972 \Omega$ 且 $R_3 = 78.6 \Omega$ 時惠斯通電橋是「平衡的」，那麼未知電阻值是多少？

Solution:

(a)

$$V_{ab} = \mathcal{V} - Ir$$

$$\begin{aligned}\therefore I &= \frac{\mathcal{V}}{R+r} \\ &= \frac{12\text{ V}}{(65+0.5)\ \Omega} \\ &= \frac{12\text{ V}}{65.5\ \Omega} \\ &= \boxed{0.183\text{ A}}\end{aligned}$$

(b) 電池的端電壓 V_{ab} ，

$$\begin{aligned}V_{ab} &= \mathcal{V} - Ir \\ &= 12\text{ V} - (0.183\text{ A})(0.5\ \Omega) \\ &= \boxed{11.9\text{ V}}\end{aligned}$$

(c) 電阻器 R 的功率消耗，

$$\begin{aligned}P_R &= I^2 R \\ &= (0.183\text{ A})^2 (65.0\ \Omega) \\ &= \boxed{2.18\text{ W}}\end{aligned}$$

電池內阻 r 的功率消耗，

$$\begin{aligned}P_r &= I^2 R \\ &= (0.183\text{ A})^2 (0.5\ \Omega) \\ &= \boxed{0.02\text{ W}}\end{aligned}$$

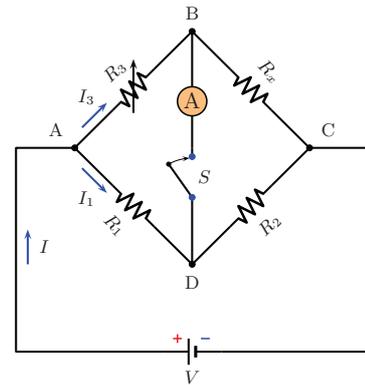
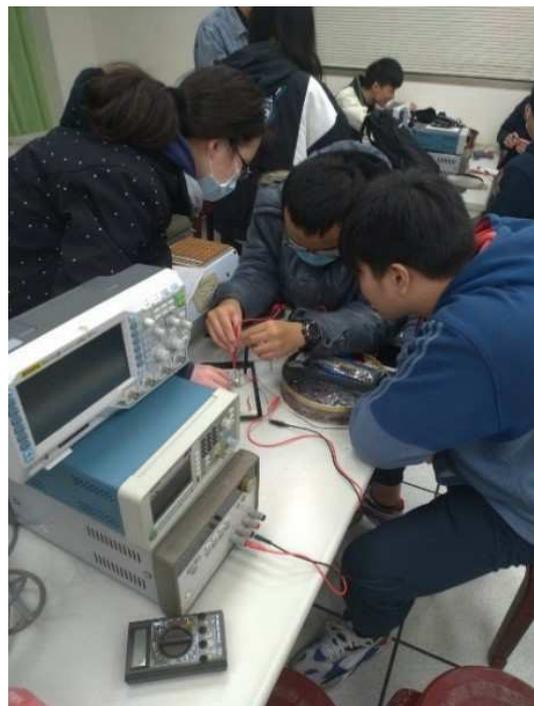
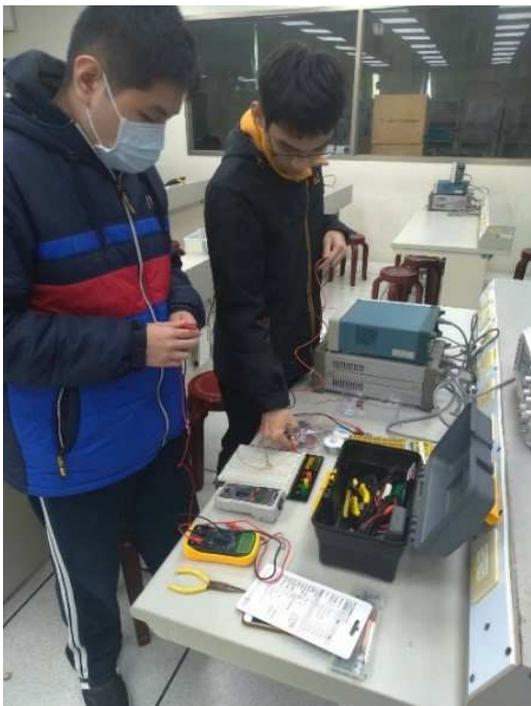


圖 2



實驗五：安培定律

電磁學 (二) Electromagnetics II

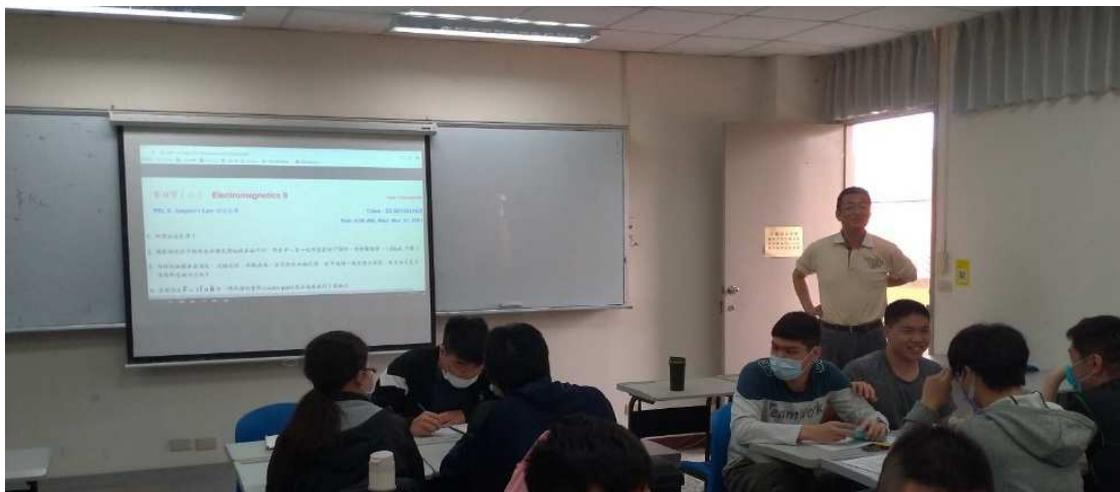
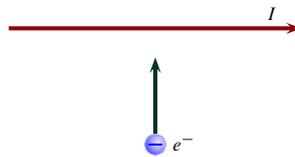
kao@chu.edu.tw

PBL 5. Ampère's Law 安培定律

Class : EE B01301A&B

Due: 8:00 AM, Wed. Mar. 31, 2021

1. 何謂安培定律？
2. 觀察指南針平衡時並非總是與地球表面平行，即水平。其一端可能會向下傾斜。請繪圖解釋。(Hint: 力圖)
3. 馬蹄形磁鐵垂直固定，北極在前，南極在後。在等距的兩極之間，水平通過一載有電流電線，電流由左至右。導線所受磁力方向？
4. 在關係式 $\vec{F} = I\vec{\ell} \times \vec{B}$ 中，那兩個向量對 (vector pair) 是永遠垂直的？請論述。
5. 討論家裡電線中的電流所產生的磁場是否影響指南針？包括交流或直流。
6. 請討論電磁泵 (electromagnetic pump) 的可行性。原理為何？有何應用？
7. 解釋為什麼在 CRT (cathode-ray tube) 陰極射線管電視附近放置一塊強磁鐵，會導致螢幕圖像失真。設計陰極射線管電視的揚聲器要注意什麼？
8. 請討論地磁是否影響 CRT 螢幕的解析度？
9. 設計一個小實驗，測量指南針的磁偶極矩 (magnetic dipole moment)。
10. 一水平導線，電流從西向東傳輸。一電子束由南至北射向導線 (圖)。電子束偏轉的方向？



實驗六：法拉第定律

電磁學 (二) Electromagnetics II

kao @ chu.edu.tw

PBL 6. Faraday's Law 法拉第定律

Class : EE B01301A&B

Due: 8:00 AM, Wed. April 14, 2021

1. 何謂法拉第定律？
2. 磁場 (magnetic field) 和磁通量 (magnetic flux) 有什麼區別？
3. 通常為 120 V AC 輸入設計的變壓器 如果連接到 120 V DC 電源，是否可用？請解釋。
4. 解釋為什麼在以下情況下燈光可能會短暫地變暗？冰箱馬達啓動。當打開電熱器，電熱器的指示燈可能一直保持暗淡。解釋差異。
5. 設計一金屬分類器幫助固體廢物進行回收，分離金屬與非金屬。
6. 沒有磁場的情況下，一根一端固定的金屬棒可任意自由旋轉；但是在磁場中，它的振盪很快就被抑制了。請繪圖解釋。
7. 由於麥克風基本上就像揚聲器，實際是否可以用揚聲器當作麥克風？。請繪圖並討論麥克風和揚聲器在結構上的不同。
8. 變壓器具有四根導線，如何確定兩者的線圈匝數比？如何知道哪根電線與哪根電線配對？



實驗七：電感

電磁學 (二) Electromagnetics II

kao@chu.edu.tw

PBL 7. Inductors 電感

Class : EE B01301A&B

Due: 8:00 AM, Wed. June 15, 2021

1. 何謂電感？
2. 兩個互感線圈也會有自感嗎？
3. 固定長度的導線，如何能獲得最大的自感值嗎？
4. 為何具有大電感的電路，如果打開一個開關，可能會有一個非常大（有時是危險的）火花或“電弧”。
5. 在交流 RLC 電路中，如果 $X_L > X_C$ ，則稱該電路主要為 inductive。如果 $X_C > X_L$ ，則電路主要為 capacitive。討論原因。
6. RLC 諧振電路通常稱為振盪器電路。振盪的是什麼？
7. 簡述源電動勢的頻率如何影響
 - (a) 純電阻的阻抗，
 - (b) 純電容，
 - (c) 純電感，
 - (d) 接近諧振頻率 (resonance frequency) 附近的 RLC 諧振電路 (R 小)，
 - (e) 遠離諧振頻率的 RLC 諧振電路 (R 小)。



實驗八：電磁波

電磁學 (二) Electromagnetics II

kao@chu.edu.tw

PBL 8. Inductors 電磁波

Class : EE B01301A&B

Due: 8:00 AM, Wed. June 22, 2021

1. 如果無線電發射機有垂直天線，接收器的天線（桿式）應垂直或水平獲得最佳接收？
2. 調頻廣播的載頻要高很多比 AM 廣播。根據你所學的繞射，解釋為什麼在山後或建築物後，AM 信號可以比 FM 信號更容易被檢測到。
3. 迷路的人可以通過打開和關閉手電筒來發出摩爾斯電碼信號。這實際上是調製的電磁波。是 AM 還是 FM？載波的頻率大約是多少？
4. 聲音是電磁波嗎？如果不是，是什麼樣的波？
5. 無線電波和聲波的頻率可以一樣嗎 (20 Hz - 20,000 Hz)？
6. 兩個電台或電視台可以在同一個載波頻率上廣播嗎？
7. FM 廣播信號的波長大約是多少？
8. 你肉眼所能分辨的物體大小，最小大約是多少？這個大小的電磁波波長是何波段？

