

微統整式課程單元應用於普通物理實驗

黃明輝

國立聯合大學 能源工程學系
mahuang@nuu.edu.tw

(投稿日期：民國 105 年 08 月 31 日，接受日期：105 年 10 月 15 日)

摘要：普通物理實驗是大部分理工與電資學院大一必修的課程。工程教育認證規範中第 3 項的八項核心能力中有五項與普物實驗有密切相關。其中最直接相關的是「運用數學、科學及工程知識的能力」及「設計與執行實驗及分析與解釋數據的能力」。對於學習成果的評量，主要藉由實驗報告、期末筆試、操作考等方式。這三種方式都只能評量到部分的學習能力，無法了解學生是否能「設計與執行」一項新實驗，能不能應用已學過的分析與解釋數據等能力。針對這種缺失，本文提倡在課程中改以一個探究式實驗，統整一學期以來的各種實驗能力。課程進行方式是以開放性的題目，讓學生從設計實驗過程、執行實驗、分析數據、成果報告。以三週的時間做實驗，再以一週的時間做集體報告。學生在之前已經累積了先備知識，然後在此最後一個單元進行統整，作為本學期教學成果的主要直接評量方式。此教學法符合工程教育認證學會推廣之統整式(Capstone)課程之目的，但只是一學期課程的一個單元，故稱之為『微統整式課程單元 (Mini-Capstone module)』。近兩年試用此統整式課程單元，上學期做重力加速度實驗，下學期作單極馬達實驗。教學成果顯示學生能自由發揮創造力，設計出許多創新之實驗方式；同時又可有效評量學習的成果。

關鍵詞：探究式教學、工程教育認證、統整式課程、重力加速度、單極馬達

壹、概論

普通物理是大部分理工與電資學院銜接未來專業課程的大一必修科目，普通物理實驗不只是輔助理論課程的實作課程，實驗課本身亦負有傳授科學實驗的知識與技能的教育目標。多數理工與電資學院的系參與工程教育認證，其中『認證規範 3：教學成效及評量』指出學生在畢業時須具備的八項核心能力（中華工程教育學會，2016），其中五項與普物實驗有密

切關係：

- 3.1 運用數學、科學及工程知識的能力。
- 3.2 設計與執行實驗，以及分析解釋數據的能力。
- 3.3 執行工程實務所需技術、技巧及使用現代工具的能力。
- 3.5 …、有效溝通、領域整合與團隊合作的能力。
- 3.6 發掘、分析、應用研究成果及因應複雜且整合性工程問題的能力。

實驗課程的教育目標就是要學習這些能力，並以適當的評量方法，檢視學生學習成果是否達成這些能力。本文提出一種直接評量的方法，在每一學期課程的最後一個單元，以四週的時間進行一項探究式實驗，作為統整一學期實驗成果。此教學法符合工程教育認證學會推廣之統整式(Capstone)課程之目的(邱于真, 2014)，但僅為單一課程之統整，故稱之為『微統整式課程單元 (Mini-Capstone module)』。近兩年的教學成果顯示學生能自由發揮創造力，設計出許多創新之實驗方式；同時可有效評量學習的成果。

本文以「重視理解的課程設計(Understanding by Design, UbD)」(劉怡甫, 2011; McTighe & Wiggins, 2008)的方式介紹此『微統整式課程單元』教學法。第貳節先定義普通物理實驗的學習成果，然後說明評量學習成果的方式；第參節說明微統整式課程單元的理念與教學方式；第肆節呈現近兩年微統整式課程單元的教學成果；第伍節總結教學心得與建議。

貳、普通物理實驗的學習成果與評量

一、定義學習成果

在教學設計的過程中，教師必須考慮學生所屬科系的需求。工程科系參加的工程教育認證的規範中已明確列出主要的核心能力，各系再針對自己系的方向做出細部變化。理工與電資學院的普物實驗雖然開課的系各有不同，但主要的核心能力則大同小異(黃明輝, 2007)！以下僅以筆者任教的能源工程系為例，設計本系普通物理實驗課的六項教育目標(Learning Objective, 簡稱 LO) (黃明輝, 2009A)，依照認知、情意與技能分成三層面敘述如下：

- LO1：能應用物理原理設計與執行實驗(認知面)；
- LO2：能應用物理與統計的原理，分析實驗數據(認知面)；
- LO3：能協助理解普通物理課程(認知面)；
- LO4：能完整與客觀的詮釋數據(情意面)；
- LO5：能與同學合作、相互溝通、共同完成實驗(情意面)；
- LO6：能使用基本工具與自動化量測設備(技能面)(黃明輝, 2009B)。

表 1 列出三階層核心能力與教育目標的對照，從工程教育認證的規範，到系的核心能力，直到課程的教育目標。

微統整式課程單元應用於普通物理實驗

表 1：三階層核心能力的檢核表

項次	工程教育認證規範 (EAC 2016)	系級核心能力	普通物理實驗課程教育目標
1	運用數學、科及工程知識的能力	運用數學、科學及工程知識於能源問題之能力。	LO1：能應用物理原理設計與執行實驗 LO2：能應用物理與統計的原理，分析實驗數據 LO3：能協助理解普通物理課程
2	設計與執行實驗，以及分析解釋數據的能力。	設計與執行實驗，分析及解釋數據之能力。	LO1：能應用物理原理設計與執行實驗 LO2：能應用物理與統計的原理，分析實驗數據 LO4：能完整與客觀的詮釋數據
3	執行工程實務所需技術、技巧及使用現代工具的能力。	執行能源工程實務之技術、技巧及使用工具之能力。	LO6：能使用基本工具與自動化量測設備 LO4：能完整與客觀的詮釋數據
4	設計工程系統、元件或製程的能力。	設計能源工程系統或元件之能力。	無
5	專案管理（含經費規劃）、有效溝通、領域整合與團隊合作的能力。	有效溝通與團隊合作之能力。	LO5：能與同學合作、相互溝通、共同完成實驗
6	發掘、分析、應用研究成果及因應複雜且整合性工程問題的能力。	發掘、分析及處理能源問題之能力。	LO1：能應用物理原理設計與執行實驗 LO2：能應用物理與統計的原理，分析實驗數據
7	認識時事議題，瞭解工程技術對環境、社會及全球的影響並培養持續學習習慣與能力。	關心國內外能源時事議題，持續學習及探究未來發展之能力。	無
8	理解及應用專業倫理，認知社會責任及尊重多元觀點。	理解專業倫理與社會責任。	LO4：能完整與客觀的詮釋數據

二、實驗的教學成果評量

對於學習成果的評量，宜由多元的方式，綜合交叉檢視所有教學目標。實驗課的主要評量方式包含：實驗報告、筆試、操作考等。實驗報告是團隊成績，全組交一份報告，得一個成績；筆試與操作考是個人成績。針對六項教育目標，這三種主要評量方式分別有擅長的教育目標，詳細的對照關係如表 2 所示。表格內的最下方一行的量化參數提供配分的參考，最右一欄的量化參數幫助檢視現有的評量方式是否足夠或有偏差。

從認知能力而言，實驗報告最容易看出學生「理解與應用知識的能力」；技能方面，可以看出學生「在實驗講義的引導下，能執行實驗」。實驗報告大致上能評量大部分能力，但是在實驗設計、使用何種方式做數據分析、詮釋數據，這三項就是依賴實驗講義。學生照著

做，就可以看到結果，但是否具有「應用」的能力，就無法確定！另一方面，組員是否有溝通與合作與實際動手做實驗，這兩項都無法反映在實驗報告中，只能依賴教師平日的觀察。

表 2：對照不同評量方式達成教學目標的程度。★★★：能完整評量所有能力；★★：能評量近半數的能力；★：只能評量少部分能力；✕：無法評量。最右欄與最下行的量化參數是該欄或行內★的數量，約略與其重要性成正比。

分類	評量方式	實驗報告	筆試	操作考	量化參數
認知	LO1：能應用物理原理設計與執行實驗	★★ ✕設計	✕	★★ ✕設計	4
	LO2：能應用物理與統計的原理，分析實驗數據	★★ ✕依賴講義	★★★	★ 只能測被抽中的項目	6
	LO3：能協助理解普通物理課程	★★	★	✕	3
情意	LO4：能完整與客觀的詮釋數據	★★ ✕依賴講義	★★	★ 只能測被抽中的項目	5
	LO5：能與同學合作、相互溝通、共同完成實驗	★★ ✕溝通	✕	✕	2
技能	LO6：能使用基本工具與自動化量測設備	★★ ✕誰動手做？	✕	★★★	5
	量化參數	12	6	7	25

筆試的內容比較偏向於認知能力的「記憶、理解、應用科學知識」。命題時要注意重點不在於知識的內容，而是如何應用。情意面的題目不容易命題，但仍可從實驗數據的分析，然後推理出結論。

操作考偏向於技能面的「能技巧地操作使用實驗設備」，這是對 LO6 最直接的評量，也是改進了實驗報告中無法反應個人學習成果的缺憾。由於操作考非常耗費時間，本課程採取預告十題，考試時每次十人入場，每人抽籤選一題。因此能評量到內容侷限於被抽中的項目，難免會有較大的漲落。

最少被評量到的是 LO5 的溝通與合作，如前所述，需要教師平時的觀察。不過教師不一定能記住所有學生的面孔與姓名，這種光憑印象的分數就不夠客觀。為了協助評量，近三年試行了「學生互評」的機制。以每組十分，由同學自行依照組內同學在該組的貢獻決定各組員如何分配這十分。每人的得分是這組所有人給分的總和；所以全班此項分數的平均就是 10 分，但有人會高於十分或低於十分。此項分數反應了自己對自己的評量，也反應對同組同學的同儕評量。對於自私的學生，可以從自評高分與組員互評低分挑選出來，有效地去除個人評分誤差；若有此例，則其自評分數將不計算，只看組員對其評分。

其次較少被評量的是 LO3 協助普通物理論課，此能力並非本課程主要目標，其成效應該要看普通物理的成績。此項功能僅需以意見調查了解即可，將在第四節的成果調查報告中呈現。

參、微統整式課程單元

一、如何評量實驗設計

表 2 中顯示「LO1 設計與執行實驗」的評量是第三低的項目，最主要的缺失是沒有評量到「設計實驗」！從 Bloom 的認知領域學習目標 (Bloom, 1956; 李坤崇, 2004) 的層次來區分，創造是最高層次的認知能力，「設計實驗」正是創造的一種表現方式。缺乏對此能力的評量，教師就無法得知學生學習成果是否達成高層次能力，形成教學的一個盲點！

為了解除此困難，需要另一種讓學生從設計實驗開始的評量方式。探究式教學 (Inquiry-based learning, IBL) 強調讓學生經由探索的過程，發現問題與解決問題 (Prince & Felder, 2007; 洪振方, 2003; 教育百科)。所以本文提倡使用探究式實驗，以開放性的題目，讓學生從設計實驗→選擇器材→執行實驗→紀錄與分析數據→檢討與改進→呈現成果、說服他人。全部過程涵蓋所有的學習目標，此教學方法符合工程教育認證學會推廣之統整式課程 (Capstone course) 之目的 (邱于真, 2014)，但只是一學期課程的一個單元，故稱之為『微統整式課程單元 (Mini-Capstone module)』。

表 2 中也顯示另一問題，學生依賴實驗講義取得相關知識；如同普通物理的理論課程的教科書一樣。大學以前的實驗講義幾乎都是傳統的「食譜式講義」，將實驗過程詳細描述，數據分析也採用固定表格。學生照著做就不會出錯，但是完全沒有學到為何如此做實驗，為何如此分析。學生會模仿實驗，但常出現「知其然、不知其所以然」地套用實驗技術。本課程的講義先由傳統「食譜式講義」開始，逐漸減少說明，過渡到最後一單元的「探究式講義」。讓學生有充裕的時間累積先備技能，與修改高中時期的實驗習慣，最後才能適應此『微統整式課程單元』。

二、課程實施方式

此微統整式課程單元已經試用兩年，以下簡述課程實施方式。此微統整單元安排在學期的第 13 ~ 15 週做實驗，第 16 週做口頭報告，第 17、18 週安排筆試與操作考。

上學期的實驗題目是「測量重力加速度 g 值」，講義的內容只有：「使用本學期所用到的各種實驗儀器與技術，設計一個實驗可以測量重力加速度 g 值，儘可能提高精度與準度。」上學期的普通物理實驗做了許多滑車與軌道的實驗，用到的儀器有轉動感應器、超音波感應器、光電閘門等，這些儀器的技術都可以轉移到這個實驗。在數據分析方面，上學期用到統計分析、誤差傳遞、線性或反比適配 (fitting)，這個統整實驗也可能用到這些分析工具。整體設計可以完整評量本學期的授課內容與學習目標，達成統整式學習的目的。

下學期的題目是「單極馬達」，講義內容是：「以電池、磁鐵與銅線製造一個單極馬達，使用儀器量測相關數據，說明單極馬達運轉原理，驗證網路資料的正確性、如何改進。」下學期的普物實驗課程，在此單元之前為熱學、光學、與電磁學，各三個實驗。所涵蓋內容太多，不像上學期那樣可在一個單元統整所有能力，不過此單元還是具有統整電磁學實驗的效能。

三、課程單元評量方式

在「微統整式課程單元」的第四週，各組必須以簡報方式，報告給全班，並由教師與同學一起評分。每位學生都要評量其他組；為避免自私，不評自己分數。教師與學生使用相同的評分表格，參閱表 3 與表 4 的評分量尺(Rubrics)。為避免個人因素造成分數高低相差太多，每一個學生對各組的評分先算出平均與標準差，然後以標準化參數(Standardize variable)重新定義新分數，使每一個人的平均值與標準差都相同。然後各組的分數就是所有評分人新分數的平均值。詳細過程參閱附件一。

學期成績中，此微統整單元的成績是其他實驗的兩倍，其中教師評分與學生評分的平均值各佔一半。整合各種評量方法，普通物理實驗的總成績評分表列於表 5。

表 3：表上學期微統整單元的評分項目量尺(Rubrics)

評分項目與標準	5 分	4 分	3 分	2 分	1 分
1 實驗方法能控制變數，分離出未知變數	完全符合或只有不影響成果的小瑕疵	大致符合但有影響成果的小瑕	部分符合、但有影響成果的重大缺失	少數符合、多數有缺失或無關	幾乎無關，或有嚴重缺失。
2 實驗程序正確、涵蓋所有變因。					
3 分析方法正確，結果與誤差都有。					
4 成果的正確性(精度與準度)	精度與準度都 $\leq 5\%$	精度 $\leq 5\%$ 且準度 $\leq 10\%$	無精度或精度 $>10\%$ ，但準度 $\leq 10\%$	無精度之估算，但準度 $\leq 20\%$	無精度與準度之估算
5 報告內容準備充分，解說清楚	內容充實、講解清楚、具有說服力。	內容充實、但講解稍微不清。	內容普通，稍有遺漏或講解不清楚，沒抓住重點。	內容只有簡單文字，或有圖無解說，難以理解。	內容過於簡略，或解說者不明白內容。

表 4：下學期微統整單元的評分量尺(Rubrics)

評分項目與標準	5 分	4 分	3 分	2 分	1 分
1 實驗結果正確，單極馬達運轉正常。	完全符合或只有不影響成果的小瑕疵	大致符合但有影響成果的小瑕	部分符合、但有影響成果的重大缺失	少數符合、多數有缺失或無關	幾乎無關，或有嚴重缺失。
2 實驗過程能探討單極馬達運作原理。					
3 對磁場與電流的關係講解具有說服力					
4 對馬達運作及原理有創意性的探討	正確解說原理、並有創意性的深入探討	有解說原理、或有深入探討，但不完全正確或完整。	比照著網路文件講解原理，內容與講解都正確。	比照著網路文件講解原理，但引用內容不完全正確。	無原理說明或深入探討。
5 報告內容準備充分，解說清楚	內容充實、講解清楚、具有說服力。	內容充實、但講解稍微不清。	內容普通，稍有遺漏或講解不清楚，沒抓住重點。	內容只有簡單文字，或有圖無解說，難以理解。	內容過於簡略，或解說者不明白內容。

微統整式課程單元應用於普通物理實驗

表 5：普通物理實驗的總成績評分方式與配分

分類	評量方式	配分
1	10 次實驗報告*，每次 5%。	10×5% = 50%
2	筆試	10%
3	微統整單元：教師與學生各 5%	5% + 5%
4	操作考	20%
5	出勤(缺席一次扣 3%)、團隊合作(學生互評)	最高 10% (可負分)

*：各學期假日天數不同，總實驗次數可能有小變化。

肆、微統整教學成果與課程檢討

上學期的微統整式實驗「測量重力加速度 g 值」，在 103 與 104 學年各進行過一次；下學期的微統整式實驗「單極馬達」則僅在 104 學年進行過一次。每一學期都作了學生意見調查（參閱附件二）。以下第一、二節從學生的實驗成果與口頭報告分析此教學的成果，第三節再從問卷分析學生的反應。

一、重力加速度實驗教學成果

上學期的重力加速度實驗，學生的想像中應該是很容易做的實驗。一但從頭開始，就發現許多關鍵地方，以往通常是省略或忽視，例如：軌道的水平、軌道與滑車的摩擦、空氣阻力、微小的啟動初速、人為反應的時間。要達到最高的精度與準度就必須把這些細節考慮進去，這些細節才是困難的所在。大多數學生是動手開始做了，才體會到這些隱藏的困難，才會開始學習「發現問題」，然後重新設計實驗，重複數次實驗。少數「先知先覺」的學生，事先想到問題，就會少走冤枉路；過半數的學生是需要教師或同學提醒，屬於「後知後覺」。只有極少數是「不知不覺」的學生，不學不問，隨便做做交差了事；這些學生在上台報告時，就明顯出現後悔與慚愧的樣子；在同儕壓力下，到了下學期時，這些「不知不覺者」的學習態度就會有所改善。

重力加速度的實驗方式約可分成四類，其實驗方式與學生的創意設計說明如下：

- (一) 滑車與落體：以不同砝碼牽連滑車在水平軌道運動，此方法為既有實驗的改良，需要合併「軌道摩擦係數」與「牛頓第一定律」兩個學期中做過的舊實驗，但將加速度當成正確值，改將重力加速度當應變量。此類實驗無特殊創新性，準度可以提高，但各種隨機誤差，如摩擦力，使精度難以提升。
- (二) 落體：以不同方式測量垂直落體的位置與時間的關係，關鍵是時間的精確量測。使用光電閘門是最佳方式。主要誤差來自物空氣阻力、初速的控制與距離的測量。學生的創新性作法有使用三組光電閘門，或以不同下落距離等方式，分離出初速的影響。空氣阻力與距離的誤差都只有用估計的方式。
- (三) 擺：以單擺測週期與擺長的關係。關鍵技術仍是計時方法，學生習慣的以手機的馬錶計時，聲稱時間的解析度可達 0.01 秒，卻忽略了人的反應時間(reaction time)可能長達 0.2 秒。忽略這一點點時間，就可能造成大誤差。為了解決這問題，有

一組學生特別加做反應時間的實驗，以其平均值校正自己做落體實驗的時間。避免人為誤差的更好的方式是以光電閘門當計時器，不過落下物體的形狀也會影響定時的精確性。當物體有旋轉時，物體的轉動會使觸發光電閘門的時間稍有不同。另一個系統誤差是沒有採用複擺的定義，而是採用簡化的單擺；對於擺長的測量方式也有來自繩子張力造成的少量誤差。

- (四) 阿特伍德機(Atwood machine)：以不同砝碼重量測量多組加速度，這也是簡便的實驗，但需要考慮轉動感應器的轉動慣量與摩擦力。有三個變數，同時出現，需要三組實驗。最有創意的一組是使用許多組重量組合的數據，再用數值方法解出三元一次聯立方程式的解答，再從許多組解答中找出平均值。由於大一學生尚未學到最小平方差法，不知道可以用數值方法直接用最小平方差法找出最佳解答。本案例也可以證明此單元可以統整不同科目的能力。

二、單極馬達實驗教學成果

下學期的單極馬達實驗，學生上網找到許多文件與影片後，都認為這是非常簡單的任務。等到動手後才發現到處暗藏玄機：銅線要怎麼彎曲？接觸點該如何處理？如何轉得平順？如何轉得穩、轉得快？這些實際動手的細節開始考驗學生的「解決問題」的能力。在實驗設計的部分，有些組想到如何增加力矩、或是減少轉動慣量，有些組改變線圈的形狀與其跟磁場的角度，有些組在正負極各放一個磁鐵、討論兩者同向或反向。儀器整合技能部分只有一組測量磁場強度與電流大小，一組改良正負極的接觸點。整體而言，創意性的成就低於上學期的表現！

最後的報告還要講解原理，學生的解說如同網路上的多數網頁，約可分成以下兩類型。兩種說法都可以解釋單極馬達的原理，但理解的難易程度相差甚大。

- (一) 羅倫茲力：以電流在磁場所受羅倫茲力，產生力矩，推動線圈轉動，如圖 1 所示。右半邊的電流 AB、BC、CD 三段電流所受的羅倫茲力都是穿出頁面（ \odot ），左半邊的電流 AF、FE、ED 三段電流所受的羅倫茲力都是穿入頁面（ \otimes ），所以整個線圈會朝同一方向轉動、右出左進。此說法容易理解，且此圖對電池與磁場的軸心對稱，任一橫截面都可符合。
- (二) 電流的磁效應：如圖 2 所示，以電流產生磁場（圖 2 之藍色環），再與磁鐵的磁場（圖 2 之綠色環）產生吸引力或排斥力，推動線圈轉動。主要的疑問在於電流產生的磁場（藍色環）與磁鐵的磁場（綠色環）的方向是隨著不同位置與截面而變化，難以用相同原理解說整個導線所受的力。而且圖 2 的側面圖的左邊標示「磁場方向相反（吸引）」，右邊標示「磁場方向相同（排斥）」。部分上台報告的學生直接引用這些內容，聲稱正確的受力方向與前一類的羅倫茲力相同。可是這種以磁力線方向定義吸引或排斥的方式，與物理課本所講的『磁力線具有互相排斥的性質』有所不同。台下就有學生舉出如圖 3 所顯示的磁力線方向與磁鐵的吸

引或排斥的關係，恰好與圖 2 所述完全相反¹。這個矛盾造成許多學生無法理解此說法。採用圖 2 的各組，幾乎都被同學或教師的問題考倒了！

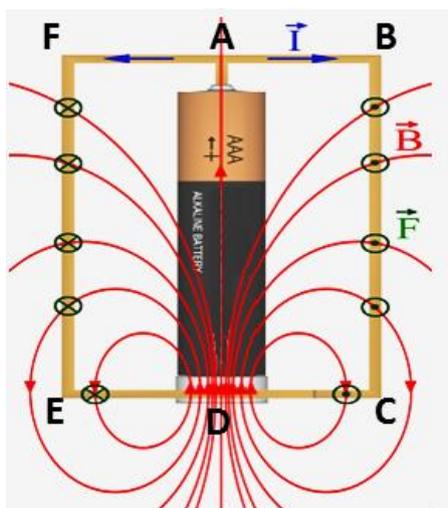


圖 1：以羅倫茲力解說單極馬達的原理（圖修改自美國物理學會的 Physics Central 網頁）

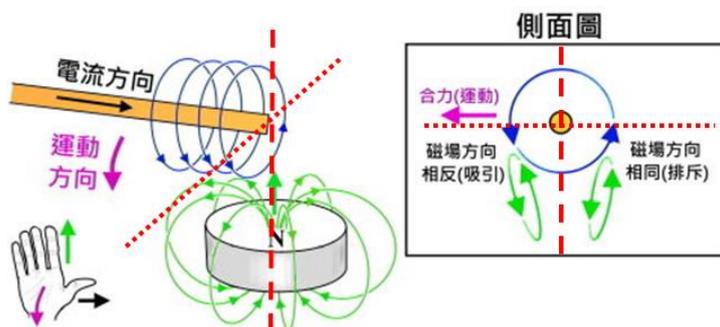


圖 2：網路資料上單極馬達原理的第一類（圖修改自台中教育大學科學遊戲實驗室網頁）

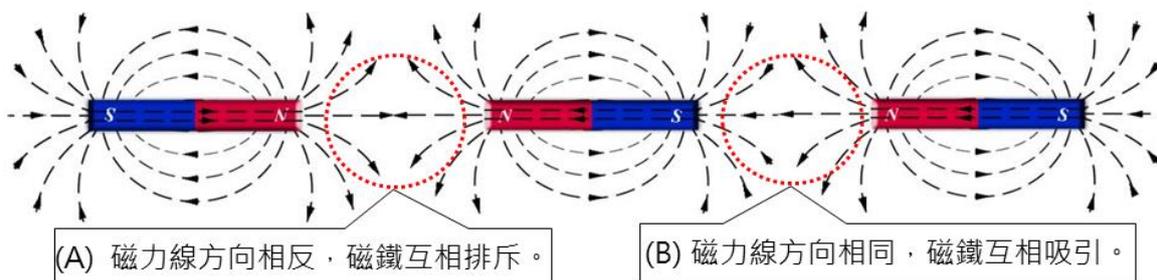


圖 3：兩個磁鐵之間的磁力線與兩者作用力的關係。(A)圖的中間為磁力線方向相反，磁鐵互斥；(B)圖的中間為磁力線方向相同，磁鐵互吸。此現象與圖 2 的側面圖所述恰好相反。

¹這兩種說法是等效的原理，但圖 2 需要修正。詳見下一期物理教育學刊的專文「單極馬達的原理與教學應用」。

三、微統整單元的教學意見調查

為了瞭解課程的設計與學習問題，通常會在學期期末筆試的時候，同時做了匿名的課程意見調查。問卷的主要內容為課程與本系的核心能力的關聯性、達成率、學生自評成績等。這些項目是為了工程教育認證所需要的課程檢討而設計的題目，與本文關聯不大，不再贅述。在 104 學年的問卷中特別針對此微統整單元多加了 6 個題目，詳列於表 6。統計方式依照「非常同意」為 5 分、「同意」為四分、「普通」為 3 分、「不同意」為 2 分、「非常不同意」為 1 分。各問題的內容與分數的平均與標準差列於表 6。班級學生人數 40 人，去除未作答或全部回答相同答案的問卷後，可供分析的問卷有 29 份，占班級總人數 72.5%。每題得分的平均值與標準差都列在表 6。

第 6 題「不需要花費太多時間，最簡單方式也可以達成。」是第 2 題「花費許多時間...」的檢驗題，兩題理應得到相反的成果。意見一致的問卷定義為第 2 題的分數 \geq 第 6 題的分數，符合者有 25 份問卷，比率是 $25/29 \cong 86\%$ 。不過，題目不完全相反，部分學生認為單擺就是符合這項敘述的簡單不耗時的方法。第 5 題與第 7 題也是相反的檢驗題，檢驗方式是第 7 題的分數 \geq 第 5 題的分數，符合者有 27 份問卷，比率是 $27/29 \cong 93\%$ 。綜合這兩組檢驗題，可以推測這份問卷調查回答的內容相當一致，可信度非常高。

贊同分數最高的是第 4 題「真實世界中充滿不理想狀況」， 4.52 ± 0.69 ；次高的是第 1 題「看似簡單處處充滿玄機」， 4.34 ± 0.72 。兩者有著類似內容，結果也一致。贊同分數第三高的是第 2 題「花費許多時間，思考實驗方法，解決實驗過程的問題。」，學生的贊同分數為 4.14 ± 0.74 。這正是探究式實驗的特性，也是本課程最重要的教育目標。第 3 題「用到了這學期所學到的大部分內容」，這是「微統整單元」的目的，贊同分數也是很高的 3.93 ± 0.92 。由第 2 題與第 3 題的結果來看，這個「微統整單元」確實達成原設定的教育目標。學生對這種實驗的態度可以從第 5 題與第 7 題來看，第 7 題贊同多做這種實驗的贊同分數是 3.55 ± 0.91 ，而覺得不想再做的第 5 題只有 2.55 ± 0.99 。明顯地多數學生也喜歡這種「微統整單元」的教學法。

表 6：104 學年上學期學生對微統整單元「測量重力加速度 g 值」的意見調查。最右側一欄內的數據為以五分量表轉換後的分數的平均值與標準差。

題號	問 項	平均	標準差
1	這個實驗看似簡單，實際上卻是處處充滿玄機，其實並不簡單。	4.34	0.72
2	我們花費許多時間，思考實驗方法，解決實驗過程的問題。	4.14	0.74
3	實驗過程中，我們用到了這學期所學到的大部分內容。	3.93	0.92
4	我們發現真實世界中充滿不理想狀況，需要更多知識來解決。	4.52	0.69
5	這實驗太難了，我再也不想做這種實驗！直接告訴我要做什麼就好了！	2.55	0.99
6	這實驗不需要花費太多時間，最簡單方式也可以達成。	3.17	0.89
7	這實驗讓我學到更多，應該多做這種實驗。	3.55	0.91

伍、結論與建議

設計實驗是一般實驗課程中重要的教育目標。教學上，傳統「食譜式實驗」的講義已經是教師設計好的實驗，學生很少有自己做設計的過程。評量上，實驗報告隨著講義而寫，沒有設計實驗的過程；一般常用的筆試與操作考受限於考題形式與時間，缺乏對設計實驗的能力做有效的評量。本文提倡以探究式實驗，做為訓練與評量設計實驗的能力。教學時採用開放的實驗題目，讓學生發揮創造力自行設計實驗內容；接著執行實驗與分析數據。過程中不斷地發現問題與解決問題，持續改進實驗；最後再報告成果。整體實驗過程可以統整學期中所學到的各種技術與能力，符合工程教育認證所推動的統整式課程的目的。

探究式教學經常出現的缺點是學生欠缺先備知識，學生不斷試誤、打擊學生信心，進度緩慢、師生投入額外時間與精力（洪振方，2003；教育百科）。推動此「微統整單元」時，預先考慮這些問題。在課程設計方面，每學期先以傳統的實驗方式累積學生基礎的儀器使用能力、數據分析能力、實驗設計概念等背景知識與實驗技能。進度方面，可在期中考後就預先告知此實驗內容，並給于三週的充裕時間做實驗。教學現場上，教師必須多走動，觀察學生實驗狀況。此單元強調學生獨立自主的學習，教師不宜「替代學習」。所以教師切勿當成「老師傅」一樣，要求學生跟著做、或者直接講出錯誤所在與解決方案。教師的身分只能當作「奧客」，出難題去點醒學生未注意事項；唯有讓學生發現問題，才会有解決問題的學習過程。另外在選題上，需要避免太淺顯、缺乏探討深度，或者太難、超越學生背景知識太多的題目。本次的「單極馬達」就是一個執行時很容易做的實驗，內容雖有深入探討的可能，仍需教師適當引導，否則學生無法探索深層的物理。

此「微統整課程單元」已經測試三個學期。從學生的意見調查顯示，此教學方法達成教育目標的比率在八成以上，對此單元的喜好及希望繼續實施的比率也在七成以上。證實此種「微統整單元」是有效的教學與評量的方式，值得推廣使用。

參考文獻

1. 中華工程教育學會 (2016)，**工程教育認證規範 (EAC2016)**。網址：
[http://www.ieet.org.tw/userfiles/files/\(105\)工程教育認證規範 \(EAC2016\).pdf](http://www.ieet.org.tw/userfiles/files/(105)工程教育認證規範 (EAC2016).pdf) (下載日期 2016 年 8 月 21 日)
2. 台中教育大學「科學遊戲實驗室」網址：
<http://www.ntcu.edu.tw/scigame/electric/electric-019.html>；修改增加橫截面示意軸線。(下載日期 2016 年 6 月 1 日)
3. 李坤崇 (2004)：修訂 Bloom 認知分類及命題實例。教育研究，122，98-127。
4. 邱于真 (2014/05)：教與學的合頂石——總整課程 (Capstone Course)，評鑑雙月刊，49；
網址：<http://epaper.heeact.edu.tw/archive/2014/05/01/6153.aspx>
5. 洪振方 (2003)：探究式教學的歷史回顧與創造性探究模式之初探。高雄師大學報，15，641-662。
6. 美國物理學會的 Physics Central 網頁：
<http://www.physicscentral.com/experiment/physicsathome/homopolar-motor.cfm>。修改原圖、

- 去除商標與加入註解文字 A~F。(下載日期 2016 年 6 月 1 日)
7. 黃明輝 (2007)：建立符合工程認證的普通物理實驗電子教材。2007 物理教學及示範研討會，(逢甲大學，8/23/2007)
 8. 黃明輝 (2009A)：普通物理實驗的教育目標與評量。2009年中華民國物理教育學術研討會，(台灣師範大學，3/13~14/2009)。
 9. 黃明輝 (2009B)：自動化的普物實驗教學課程。2009年兩岸大專院校基礎物理課程教學研討會 (台灣大學，9/26-27/2009)
 10. 教育部之「教育百科」網址：<http://pedia.cloud.edu.tw/Entry/Detail/?title=探究式教學法>
 11. 劉怡甫 (2011)：21 世紀教師不知不可的 UbD。輔仁大學深耕教與學電子報，25 期；網址：<http://www.teachers.fju.edu.tw/epapers/index.php?Itemid=315>
 12. Bloom B.S. (1956) Taxonomy of Educational Objectives, Handbook I: The Cognitive Domain. New York: David McKay Co.
 13. McTighe J. & Wiggins G. (2008)，譯者：賴麗珍。重理解的課程設計－專業發展實用手冊。心理出版社。
 14. Prince M. & Felder R. (2007) The Many faces of inductive teaching and learning, J of College science teaching, 36(5), 14-20

The Implementation of the Mini-Capstone Module in the General Physics Experiment Course

Ming-Huey Huang

Department of Energy Engineering, National United University
mahuang@nuu.edu.tw

Abstract

In almost all colleges of science and engineering in Taiwan, many departments require first-year students to study general physics experiment as a core course. In the Institute of Engineering Education Taiwan (IEET) accreditation criteria 3, five out of eight core capabilities are closely linked to the physics experiment course. Among them, the “ability to apply knowledge of mathematics, science, and engineering” and “ability to design and conduct experiments, as well as to analyze and interpret data” are the most relevant. In order to assess the outcome of learning, three common measures are used: laboratory reports, written examinations, and operational tests. However, these can evaluate only a part of the learning objectives, especially in terms of the students’ ability to “design and conduct experiments”. In order to improve the ability of students to analyze and interpret the data collected from the experiments, this study proposes the implementation of an inquiry-based-learning approach to integrate all the skills and knowledge acquired by the students in one semester. In this course module, an open question is presented by the teacher, and then students design experimental procedures, conduct experiments, analyze data, and finally present their results. This course module requires three weeks for performing experiments and one week for presenting reports. Students must acquire the knowledge and skills required to conduct the experiments prior to performing this course module, which is used to enhance and assess their capability to “design and conduct experiments.” This teaching method performs the same function as the capstone course, which is actively promoted by the IEET. However, this module is simply a part of a course; hence, I named it the “Mini-Capstone Module.” Over the past two years, this module was tested, measuring gravitational acceleration in the first semester and homopolar motors in the second semester. Reports from students show that they could use their innovations and designs in many different experiments. In addition, teachers can effectively assess the performance of their students using this module.

Key words: Inquiry-Based-Learning, Engineering Education Accreditation, Learning Outcome Assessment, Capstone course, Gravitational acceleration, Homopolar motor

黃明輝