

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： PMS107028

學門分類/Division： 工程數理學門

執行期間/Funding Period： 2018/08/01 ~ 2019/07/31

補充教材的內容選擇與多媒體簡報影片製作  
課程名稱：應用力學/基礎應用數學

計畫主持人(Principal Investigator)：

曾文哲

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：

淡江大學物理系

繳交報告日期(Report Submission Date)：2019/09/15

## 補充教材的內容選擇與多媒體簡報影片製作

### 一. 報告內文(Content)

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

在大專錄取總名額超過應試學生人數之後，理論上應可以不必再顧慮學生程度的變化。但實際的情形是近來再因為少子化的影響，競爭者減少而使得相同程度的學生所能錄取的院校往「上」推移，本系所錄取新生的數學成績分布已由過去以均標為峰值移至後標，甚至指考分數分布是以底標最多（106 學年度，107 是以後標最多）。雖然申請入學的部分數學仍是以均標為篩選標準，但這部分的報到率僅略超過五成，近半名額流入指考分發。而且在學測與申請入學的日程改變未執行之前，由申請或推薦管道入學的學生高三的學習大都荒廢掉。

本系所能招收的同學高中平均學習成就(learning achievement)不高，而且介於此程度的學生多半學習動機不上不下，入學後還迷惘於目前所就讀科系是否合宜、憂慮未來等。面對這樣的一群學生，我們目前執行的處理方案，及仍無法解決的問題略述如下：

首先，我們**無法降低課程要求**，理由有二：

A：為能與國際化接軌，大學制理工科系幾乎全是採用原文（英文）教科書。不同原文教科書的難易程度相差不至於太懸殊，顯示國際間對各科系畢業生知識與技能的期待是有大致的標準。一般 OECD（經濟合作暨發展組織）的國家並未像台灣與南韓將高等教育處理成普及教育，所以對達成此標準的對象能力之預設，顯著地超過我們的學生入學時的平均程度。配合本系學生的程度，我們似乎該對課程要求做適度地降低。即便如此，我們還是不能將課程要求無限度地下調，從而成為加速高學歷貶值的幫兇。尤其目前本校畢業生，根據坊間雜誌的統計結果顯示，仍為多數企業主所愛用，我們必須盡力地維持此傳統與聲譽。

B：即使入學學生高中平均學習成就降低，但每年每班至少有 5 到 10 名是將來有機會可到國內外名校繼續深造，往專業領域發展。除此之外，也一直有差不多數目的同學，雖然大學時期學習有些辛苦，但再經本系研究所實驗室要求的洗禮，畢業後能力與經驗也足敷科技業所需。因此，我們也不能犧牲這兩類同學學習到合乎外界對物理系畢業生所期待的知識的權力。

於是我們所做的**調整**，目前主要是在教學內容與課程安排上：

A：教學方面，對學生自主學習的動機與能力不能做普遍的期待，因此必須教得比較仔細（我們的學生中學習動機不足者佔多數，僅能執行教室直接傳授法 Instructor-Led Classroom——由老師身任教學領導者，這部分我尚未想出其它的處理方式），推導過程中要盡量避免跳躍，進度變得緩慢是必然的。但為了要能與後續課程銜接，使得上課內容選材部分的廣度深度受限，只能提到不可或缺的部分。至於有些對可勝任的同學能有啟發性的部分，都不得不捨棄。

B：課程安排上，考慮到學習成就不足是會累積的，也就是如果學生過去的學習成就無法應付現在的課程，那對現在課程的學習成就會更差，更無法應付後續的課程。所以微積分因為學生們普遍高中的學習成就不足，使得整年的進度無法達到讓學生足以應付大二力學與電磁學之所需。所以我們在大一下本系課程開了二學分的基礎應用數學/基礎物理數學，希望加強學生熟悉必要的數學工具（不像微積分重視對原理的理解，而側重訓練使用這些數學工具的技能）。

上述的調整基本上就是系上經多年經驗凝聚共識而採用的處理方式。但面對不管在學習成就或學習動機方面的分布都各有極大落差的學生們，申請人仍覺得有些缺憾，而欲找尋至少能緩解或部分處理的方案。

A：當一個人喜歡上了一樣東西，不需要多加以強迫，學生便會自己想要知道更多的知識，這本來就是「自主學習」的提供動機的部分。而這些引導學生從事更深更廣的思考的內容，往往不在所謂教材裡不可或缺的部分。也就是說，因為進度緩慢，使得上課內容選材受限，使得我們不得不犧牲掉所有比較開放性或與其它領域有連結，讓學習成就較佳的同學可能有能力，且有興趣去思考的內容，而無法提供他們往更高深學問探討的驅動力。

B：每年總有幾位同學，可能在大一上被二一後，或是大二、三被留級後，幡然悔悟想要好好學習。但因為過去學習成就不佳的累積，要回到正常學習軌道，是很辛苦的。應該有不少會因為努力一段時間沒看到期待的效果，而無法持續。

C：在執行基礎應用數學教學時，深覺教學時數不足以達成預定的涵蓋範圍。所以在106學年度選擇將介紹 Kronecker delta 與 Levi-Civita symbol 的內容與應用範例用口語化文字寫成 7 頁的 powerpoint 簡報內容，讓同學們自行閱讀。雖然有同學在期末教學評鑑意見裡寫了很感謝老師在製作講義上的用心，但從測驗成果驗收上，覺得不甚滿意，沒有好好花時間吸收的同學仍佔多數。

對前述的缺憾與上段所提教學實踐上的問題就是本計畫的形成動機，希望能通過計畫的執行與從教學實踐得到的回饋，成功地創造活絡的修習方式以促進學習，期待能獲得有效的至少部分緩解的方案，以達成涵養學生具備自主學習能力與基本能力的本校辦學目標。而其產品——兩套 powerpoint 簡報影片，除了提供本系修課同學「無處不在行動學習」的可能性，也可依教育部或校方指示，開放於指定平台，讓有類似困擾之系所，以及所有有興趣的學生使用，共享學教資源。

## 2. 文獻探討(Literature Review)

根據 Edgar Dale's cone of experience [1], 單單靠閱讀或是聽講的習得的內容，只能記得住 10%到 20%，學習者有能力定義、描述、列舉與解釋；加上圖片、動畫、展示則可提升到 30%至 50%，學習者有能力示範、應用與執行。這提供我將補充教材從文字資料擴展至多媒體教材的主要動機。

PER (Physics Education Research) 基本上是以科學研究的角度來對物理學科的教學與學習執行嚴謹與系統化的研究，在美國一般是以 1980 左右由 Lillian McDermott 的奠基視為起始點[2]，而甚具權威的物理評論(Physical Review)期刊也於 2005 年開始有 PER 這個次領域。欲將美國在該領域的研究成果要能應用到台灣私立大學的普通物理教育有其

限制，一方面是高等教育處理成普及教育造成大量學習動機缺乏的學生（這個理由，再加上數理課程的內容有延續性—前面的內容不懂後面就跟不上，造成我認為翻轉教育不易在此狀況下執行）；另一方面是政府對學費的限制造成無法期待配備有可與學生做即時互動裝置並計分的教室。

不過在西元 2000 年後才出版的普通物理外文教科書，如 Mazur, Knight, 與 Katz 等實際參與 PER 工作的作者的著作，與已經十多版的舊時代教科書內容有很大的不同。舊時代的外文教科書(Serway 的除外，該教科書是最早置入 PER 成果的書籍之一)，如[3]所述，受批評之處主要在於：(1) 停留在膚淺的灌輸式觀點，未融入建構主義的學習觀，使引導學習的工作在課堂上被嚴重的忽視，(2) 偏重公式數學推導，而忽略了語言對現象詮釋物理概念的重要性，及 (3) 涵蓋內容太多，迫使教學流於重量不重質的填鴨教育。前兩項缺失與過去台灣的高中物理教育的缺點甚為一致，猜想是因為過去的高中物理課本的藍本以及老師們所受的訓練都植基於這些舊時代的教科書。上述的新教科書對前兩個問題有相當大的抒解，而第三個問題的處理應該要視教科書的內容提供了所有可供選擇的素材，再由個別教師就上課內容的取材方面自行安排。

具體說明一下新教科書內容的改進。Mazur 對 PER 的貢獻主要的在的 peer instruction 部分，他的教科書[4] 每章的前半部份幾乎都是著重在情境的描述。Katz 的教科書[5] 依循的教育理論基礎是 Bloom 的教育目標分類(Bloom's cognitive taxonomy)，她用心於以故事來連結物理的結果與過程，或是描述物理結果如何對生活產生衝擊，目的在於吸引同學願意閱讀課本。Knight 根據 PER 對教學策略的建議主要陳述於[6]，有意思的是書中所描述學生態度與狀態的問題，台美幾乎沒有差別（除了台灣多了因處理成普及教育而造成缺學習動機者占的比例較高）。其所提出的處理方法，在面對超過 160 人的大班裡，我也因上上段末所提缺乏與學生即時互動計分的裝置而無法採行。

Knight 的教科書[7]中幾乎對每個問題在情境描述後，接著先討論完採用的模型後，才進入解題。就如同統計學家 Box 所說的 "All models are wrong but some are useful"[8]。我也意識到要同學們思考清楚實際的情境與欲討論的現象，考慮到認知的限制以及觀察或測量的能力（解析度）後，才決定採用的假設與模型。而之後的數學公式處理或解題，僅針對模型，而非原來的情境。對模型做解題，是舊時代的教科書以及台灣高中物理教育（因應付考試的導向）所著重的，而我希望在補充教材的部分，能幫助同學把眼光移到情境、現象、假設與模型的建立這部分的過程。這個認識明顯地影響到現在與將來我在普通物理的教學。

於 1993 獲 Council of Independent Colleges 頒發的 Outstanding Contributions to Higher Education 的 Parker J. Palmer 在 The Courage to Teach [9]有些意見影響到我在本計畫的執行以及將來的教學態度與設計。（第 4 章）「好的教學一定是過程大於結果。如果一個學生在教學過程結束時，除了一堆資訊外一無所獲，這個學生就是被愚弄了。好的教育能教會學生成為知識的創造者，成為對他人知識有辨別力的消費者。」「優質的教學很可能讓一些學生至少在一段時間內極不滿意。、、、在好老師教育下的學生，可能因為自己的偏見受到挑戰或他們的自我受到震撼而憤怒。但這種類型的不滿意常常正是教育發生效果的現象、、、可能要很多年以後，學生才會為老師曾教給他的、令他不舒服的真實而心存感激。」Palmer 指出有些教學的影響會在多年後才展現出成效，尤其是在改

變學生舊有的思考模式或偏見的部分（而非資訊吸收的部分）。這與我個人過去的學習經驗有相和之處。於是在部分補充教材內容的選擇上會著重理念的傳達，此部分的設計也不應計較立即的效果。

（第5章）「錯誤的前提：空間與內容是互相排斥的、、、內容是指職業責任心要求教師全面地涵蓋課程內容、、、與其用這些教學時間來告訴我的學生，他們在這門課應該知道的一切——他們最終既不能記住，又不知道如何運用的資訊，還不如把他們帶到實踐的情景中，帶入求知的群體中。要達到這個目的，我要作的是向學生呈現關鍵的資訊樣本讓他們明白在實踐的情景中，人們是如何取得資訊、檢驗修正資訊、思考資訊、運用資訊，並分享資訊。」此觀點確實對我的教學心態有影響，但面對的是多數缺乏主動性的學生，實在無法完全接納這種作法到我的教學裡。妥協的方式是上課時仍盡量顧及內容的涵蓋（時間還是不足），而「實踐的情景」將放在補充教材。

（第5章）「如果一門課程的目的是傳播大量的資訊、、、人類的大腦不適於儲存通過講授以一系列縱隊鵝步進入我們大腦的資訊（與[1]的理念相符）。透過課本（與Katz的理念相符）或電子媒體來傳授資訊會有效得多，因為它們讓學生有機會按大腦所要求的形式迅速而頻繁地加工資訊：一而再、再而三地閱讀，反覆地思考，尋求它們之間的關係，並運用它們。」這部分影響到我對執行本計畫主題的選擇。多媒體教材雖缺乏與同學的互動（也因此同樣的內容，影片時間只需實際上課時間的三分之一），但同學可以隨時暫停、重看或快轉，對個別學生學習節奏的配合較佳。尤其對一些需要反芻或重複練習的內容，應該要善用此種呈現方式的優勢。

### 3. 研究方法(Research Methodology)

本研究的成果是以兩套教材呈現，分述如下：

第一套是針對學習成就較高的同學製作而較有啟發性的內容，以開拓其視野，期待能引發更深更廣的思考，來建立及鞏固他們自己的觀念。選擇的內容是在運動學與力學的部分，對象主用是上學期修應用力學的學生，也在下學期期末提供給修普通物理土木系班上的同學參考。內容的主題是系統的概念。

這部分在計畫進行中有進行了版本的修改。第一個版本有四部影片，於上學期末以officemix軟體完成。個人對以觸控方式在簡報上劃上曲線的指示方式不熟悉且對效果不滿意，所以在下學期改以新學習的FastStone Capture 配合 OpenShot Video Editor 兩套免費軟體來製作，陳述時在螢幕上的指示功能就以軟體裡的laser pointer來執行第二版（修訂版）的六部影片。因為此教材無強制性，提供願意在課程內容外，接受更具挑戰性的內容，而有額外負擔的同學，這些同學多是以當面詢問來討論內容。我則根據同學們的疑問與建議，而執行內容的修訂。

以下就以第二版的內容介紹其架構。第一部是序曲，以一個問題為例，展示系統觀念的功用。第二部討論系統的定義、選擇，可延量以及守恆律。前兩部分一般都可算是涵蓋在納入PER成果的新普通物理教科書裡，只是不見得會被綜合起來特別論述。另外，同學們在大一時接觸的多還是舊時代的教科書。

第三部介紹質心、質心參考系與零動量參考系，將物體的運動分解成質心的運動以及物體繞質心的運動。第四部將系統的力學能，分解成內位能、內動能以及質心動能。

這兩部分一般可被涵蓋在大二力學討論剛體運動之前，然而在本系的力學只有第一學期必修，而我認為這部分是所有物理系畢業生必須有的觀念，所以如果無法在必修的課程中涵蓋，則必須以某種形式提供同學自學。另外在此部分我也企圖把力學與熱力學領域裡系統能量的觀念連結在一起，提供同學們可自行將所學的物理各個次領域做有邏輯的結合。

第五部對普通物理（含大二力學課程裡一開始的牛頓力學）中對地表重力位能的描述提出質疑，提醒此描述應視為取極限的結果。第六部對前一部影片的論點給出數學細節，最後並提醒同學勿拿取極限後的模型來討論物理定律。這部分希望同學們能認知，一個現象，可以用不同的假設與模型來處理。而取了極限後的模型，就無法拿來驗證孤立系統所應遵循的定律，應該視為同一情境下，不同假設下的另一模型（非孤立系統）。

第二套教材以「Levi-Civita symbol 及其應用」為標題的課題主要是介紹 Kronecker delta 與 Levi-Civita symbol 的定義，Einstein's summation 慣例的規則，以及聯繫三者的 contracted epsilon identity 的各種應用。此課題的全部內容可供修習基礎（應用）數學的同學學習，不光是參考，還是課程內容的一部份，希望能藉此培養學生自行學習的能力與習慣。這部分主要是為了上課時間的限制，而致進度不足。因此必須挑選某些學習門檻較低的部分，製作成讓同學們有能力自主學習的教材。這一套教材，也正好是對曾荒廢學業一陣子，而剛悔悟企圖回到學習正軌的同學，提供一種讓其覺得只要花努力，就能有收穫的內容。同時也提供這類同學基本的訓練，以應付延續的，學習門檻較高的課程（如電磁學，相對論，電動力學）。

這部分的最初版本是在計畫進行的二學年前即準備好的，是純粹 powerpoint 的講義形式，但是效果不佳。根據前述的 Edgar Dale's cone of experience[1]，是我想要製作多媒體教材的動機之一。多媒體的版本是在下學期開學時完成，是以微軟 PowerPoint 軟體內建的投影片錄製為工具。不用 officemix 也是因為不滿意劃上曲線的指示方式，而以軟體裡的 laser pointer 執行指示功能（當時還未接觸 FastStone Capture 與 OpenShot Video Editor 軟體）。以下就以第二版的內容介紹其架構。

本教材分為 5 部影片：第一部介紹 Einstein's summation convention 而且以向量內積與矩陣乘積及取跡作為範例。第二部介紹 Kronecker delta，以單位矩陣相關的運算，和向量的梯度、散度微分運算為範例。第三部介紹 Levi-Civita symbol，強調其對足標次序反對稱的性質，以 Kronecker delta 的行列式表達式，再以向量的外積及旋度微分運算為範例。第四部介紹 contracted epsilon identity，分別以窮舉法與行列式展開法的證明讓同學熟悉其意義。第五部利用第四部介紹的恆等式，推導所有牽涉到兩個外積的向量恆等式與對應的向量微分恆等式，讓同學知道這些執行向量運算所需的恆等式不需要「背」，而可以隨手推導。

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

第一套影片關於系統的觀念所針對的對象是大二修應用力學（一）的同學，因為內容牽涉到 Lagrange 力學，所以是期末才上傳到教學平台。下學期也在土木系的普通物理課程中，上傳給同學參考。因為屬於補充教材，未有強制性，所以同學的回饋僅限於

少數學習動機較強的同學，以當面討論或詢問為主。因為學生的回饋，讓我將第一版的四部影片擴充成第二版的六部影片。主要的改變為：(甲) 將第一版裡主要作為範例的問題（關於衝量，版本一，影片三、四）變成第二版影片六的最後一頁——僅做為同學自行練習的題目。而重新尋找了與重力位能相關的問題（版本二，影片五、六），將整個討論限制在孤立系統裡。(乙) 花更多的篇幅，討論將系統的一般運動區分為質心本身的運動以及相對於質心的運動，也把相關的物理量區分成這兩個部分，主要呈現在（版本二，影片三、四）。這部分的加強即因應同學們的提問，因為本系力學僅剩一學期必修，而這些系統的觀念是物理系的學生必須要知道的。下個版本將會把教材中「從情境到模型」與「從模型到數學」在範例中更清楚地區分開來。物理系的普通物理不是我教的，我應該把握所負責的其它課程，向同學強調模型在處理問題的流程中所佔的地位。

第二套「Levi-Civita symbol 及其應用」教材的對象是大一學習向量代數以及向量微積分的同學。設計的理念是讓理解內容的門檻盡量降低，以免挫折感抹殺學習動機。影片在下學期開學第六週左右上傳給學生。提供的學習誘因是這些技巧在相對論的學習是必須的，而習得技巧後可以不必在背誦向量與向量微分多重乘積的公式，可在一兩行內完成計算。這部分我上課幾乎沒花時間，測驗時同學們若以此技術處理這些代數問題，可視為有花時間自行學習的成果。從答案卷的批改裡可看出有試圖學習者約佔一半，完全正確執行者（成功學習者）約佔試圖學習者的五分之二，比前一學年只用講義的情形好上一倍。在考卷訂正時，我趁機以教材裡的方法改正有學習者的錯誤，希望能給無驅動力學習者一些影響。事實上，教材中的把兩個 Levi-Civita symbol 相乘寫成九個 Kronecker delta 組成的行列式的值，這種做法不在我原先自己準備的教材裡，而是同學自學後向我詢問其意義而得知的。我也立即將其整理至教材中，以不同面向來推導 contracted epsilon identity，讓同學們即使抽象思考能力不足，也能熟悉其意義。下個版本我將在 Levi-Civita symbol 的行列式表達的地方更強調對指標換位的反對稱性，因為高中的數學對行列式運算的觀念應該足夠清楚。

## 二. 參考文獻(References)

- [1] Edgar Dale, *Audio-Visual Methods in Teaching*, 3<sup>rd</sup> ed., p. 108. (Holt, Rinehart & Winston, New York, 1969).
- [2] R. Beichner, An introduction to physics education research, in *Reviews in PER: Getting Started in PER*, edited by C. Henderson and K. A. Harper (American Association of Physics Teacher, College Park, MD, 2009), Vol. 2.
- [3] Wheijen Chang & Tyson Lin, The impact of textbooks against innovation of university physics education, *Chinese Physics Education*, 5: 1-10 (2001).
- [4] Eric Mazur, *Principle & Practice of Physics*, (Pearson Education Inc., 2015), 高立圖書代理.
- [5] Debora M. Katz, *Physics for Scientists and Engineers: Foundations and Connections with*

*Modern Physics*, (Cengage Learning, 2017), 過去由歐亞書局代理.

- [6] Randall Dewey Knight, *Five Easy Lessons: Strategies for Successful Physics Teaching*, (Pearson Education Inc., 2002).
- [7] Randall Dewey Knight, *Physics for Scientists and Engineers: a Strategic Approach with Modern Physics*, 4<sup>th</sup> ed. (Pearson Education Inc., 2015), 新月圖書代理.
- [8] G. E. P. Box, Science and statistics, *Journal of the American Statistical Association*, 71: 791-799 (1976).
- [9] Parker J. Palmer, *The Courage to Teach: Exploring the Inner Landscape of a Teacher's Life*, (John Wiley & Sons, Inc. 1998).

### 三. 附件(Appendix)

#### 甲 系統的觀念



1. 前言: <https://qr.go.page.link/7NEqv>
2. 系統: <https://qr.go.page.link/Gu7nH>
3. 質心參考系與轉動: <https://qr.go.page.link/J38KA>
4. 質心參考系與力學能: <https://qr.go.page.link/y9Zth>
5. 位能與系統: <https://qr.go.page.link/9bwBx>
6. 取極限的近似: <https://qr.go.page.link/3czrY>

#### 乙 Levi-Civita symbol 及其應用



1. Summation Convention: <https://qr.go.page.link/2rhan>
2. Kronecker Delta: <https://qr.go.page.link/9oBft>
3. Levi-Civita Symbol: <https://qr.go.page.link/huq7G>
4. Contracted Epsilon Identity: <https://qr.go.page.link/7yJpN>
5. Applications: <https://qr.go.page.link/ma64w>