科學教育學刊 Chinese Journal of Science Education
2003, 第十一卷第四期, 391-406 2003, 11(4), 391-406

由哈佛到逢甲：普通物理互動教學的實施與成效

張慧貞
逢甲大學物理教學研究中心　光電物理所

（投稿日期：民國 91 年 12 月 16 日，修訂日期：92 年 4 月 10 日，接受日期：92 年 6 月 26 日）

摘要：本文主旨為論述作者在逢甲大學所進行的普通物理教學革新的實施與成效，並與哈佛等美國許多大學近年來的教學改革計畫相比較。逢甲與哈佛的教學改革原則雖大致相同，但實施細節則仍有差異。兩校均是藉由生活化題材協助物理觀念的澄清，減少複雜的數學推導，並修改演講式教法，引入小組討論，以提高學生在課堂主動參與學習的機會，簡稱為「互動式教學」。文內也同時闡述支持這些改革的學習理論基礎，並解釋兩校之實施差異與理由。學習成效的評量工具，包含翻譯自美國文獻的兩份力學標準化考題和作者設計的情意成效問卷。參與本研究之學生除了包含作者所授課之互動班，與其他教授的演講班之外，還包含作者先前以演講式教學的學生，三組學生做交叉比較，以深入探討互動式教學的學習成效。研究結果顯示，經由長期實施後，互動式教學有助於學業成就與情意成效之提昇，甚至對部分學生的學習觀產生啟發。互動式教學為我國普通物理的教學提昇，提供了一個努力的方向，值得逐漸推廣，並繼續探討其實施之困難與成效。

關鍵詞：互動教學、建構主義、教學改革、普通物理、概念學習。

壹、緒論

近 20 年來，以美國為首的西方國家，已有許多的物理教授投入大學普通物理教學研究的行列，並逐漸帶動真實課堂之革新風潮。這一股改革風潮主要源自於建構主義學習觀的發展，與對現有學習成效的低落感到失望，例如：居高不下（超過 30 %）的不及格率（Rowell, Dawson & Pollard, 1993; Tobias & Hake, 1988），許多物理教授被迫降低標準，以避免當太多人（Redish, 1996）。在學術研究上，Halloun 和 Hestenes（1985）則發現，多數學生在其入學時的既有概念（preconceptions），並未隨著修習大一普物而有明顯的改變，而此一問題似乎也並不因某些教師優越的講解能力而有所減緩。學習成效低落的現象不僅表現在學業上，也顯現在學習態度上，來自美國與澳洲的文獻均發現大一普物的學生多數偏向強記學習（rote learning）策略、而少主動尋求理解，同時也有許多人對

這門必修科抱著但求及格的應付心態（Redish, Saul & Steinberg, 1998; White et al., 1995），隨著修課的過程，這些負面的學習態度並有逐漸強化的趨勢（Redish, et al., 1998）。

受到建構主義學習觀的影響，上述問題就逐漸被歸因於傳統的傳輸式教學，忽略了課堂內學習參與的重要性。例如：Elton（1997）和 Zollman（1996）批評許多物理教授將學生視為被動的接收器，由老師為其填滿課程內容；Gautreau 和 Novemsky（1997）則指出傳統物理課堂中，「學習」已成為被遺忘的孩子（neglected child）。傳輸式教學成效不彰的事實逐漸被揭示的同時，國外的普物課程改革遂逐漸興起，而其主要的宗旨就是引領學生主動的參與課堂的學習活動。

相對於國外的蓬勃發展，在國內，每年雖有超過三萬名大一理工學生需要修普通物理一科，但在普物課程革新的推動，則顯得相當沉寂。1996 年以前，作者已任教普物課程超過十年。這些年來所採取的教學模式以傳統的教師講解原理、例題為主，課堂上部分學生努力地跟著抄筆記，部分學生則分心神遊，也常有令人尷尬的打瞌睡問題，上課中除了偶而老師指名同學答問之外，幾乎不見任何師生互動。連續課堂的中間下課，則見教室內趴著一片疲憊的學生。偶有同學請益，其內容也不外乎考試的範圍，不見為了興趣或好奇而問的課外問題。學期末批改考卷時，則常失望地看到學生們寫出不相干的公式，企圖湊出答案。如此令人沮喪的教學景象與成效，或許在國內外的許多普物課堂均普遍存在（eg., Gautreau & No-vemsky, 1997; Mazur, 1996）。因此，作者於 1997-1998 兩年的科學教育博士進修課程之後，於 1999 年返國開始進行普通物理的教學改革，評量其成效並據以逐漸修正出較適宜的實施細節。

本文主旨為介紹近年來在國外所進行的普通物理的教學改革計畫，並選擇以哈佛大學為首的 peer instruction 與作者在逢甲大學所實施的策略及成效作比較，以提供國內有意進行類似教學改革者在學理與實務上之參考。

貳、文獻探討

本文之相關文獻，包含建構主義學習觀，及國外普通物理的革新動向兩部分。前者提供互動教學之學理根據，後者則提供課堂互動的實務經驗及教材資源，茲分別論述如下：

一、建構主義學習觀

建構主義認為學習過程為學習者根據自己過去的既有概念（preconceptions）與經驗，以闡釋新的科學概念（Hewson, & Thorley, 1989）。這些既有概念卻往往與科學知識相異。例如，Clement（1982）發現，受測的大一學生中有 88%，認為球上拋後仍受一向上的力，且此力將逐漸"耗盡"，直到抵達頂點。既有概念的文獻，拓展了人們對於學習任務的視野：學習者在建立新概念的同時，還須顧及既有概念的改變（conceptual change）。

然而，概念改變卻不是一件容易達成的任務，文獻探討了概念改變困難的理由：在面對一個新概念時，人們可能採取與其既有概念相諧和（coherent）的方式來整合，或是對新概念作錯誤的詮釋，也可能忽略前後的矛盾，接受新概念的同時，並保有一相衝突的既有概念而不自覺（Hewson & Thorley, 1989; Osborne & Freyberg, 1985; Osborne & Wittrock, 1985）。Roth, McRobbie, Lucas 和 Boutonne（1997）也發現，單靠教師口頭解說，或在課堂上示範違反直覺的異象（anomalies），並不能有效促成學生的概念改變。Roth 等人指出，人們在觀察現象時，會根據既有概念架構來區分"信號"（signal）與"雜訊"（noise），致使學生對教師所想呈現

的異象“視而不見”。灌輸式教法，未能提供學生一個反省既有概念的機會，挑戰概念架構的和諧性，故無法有效促成概念改變的學習任務（Roth et al., 1997）。

學者進一步指出，促成概念改變的任務不但艱鉅，即使達成，也往往難以由原有情境（context）中擴展至其他（Gunstone & White, 1981; Hennessy, 1993; Stead & Osborne, 1980）。例如 Stead 和 Osborne（1980）發現，學生認為蠟燭的光線在晚上可傳遞，但不在白天傳遞。Gunstone 和 White（1981）則發現部分大一學生並未對其理論計算結果與示範現象間所顯示的分歧提出質疑，課堂理論與真實生活似乎形成不相關的兩個世界。

綜合而論，建構主義闡述了學習者既有概念的存在，及其不易更改的堅韌性（persistency），也提醒了情境的提供在概念發展所扮演的關鍵角色。建構主義揭示了學習的複雜性，凸顯出學習者主動參與學習的必要性。為了促成概念改變的任務，文獻建議教師應由單純的知識提供者，轉變為學習輔導者（mediator）的角色，包含熟悉學生的既有概念架構，提供刺激思考的問題（facilitating），觀察概念發展的進展（mon-itoring），並視需要提供介入解說（intervening）（Scott, Asoko & Driver, 1992, pp.326-327）。相對於建構主義的學習觀，灌輸式學習觀就顯得過度簡化而淺薄，而基於灌輸式學習觀所發展出的演講式教學，因未能重視學習者的既有概念架構及學習進展，而受到質疑。

二、普通物理革新動向

在建構主義學習觀發展的同時，國外針對普通物理的教學改革也逐漸展開。以美國為例，較著名的教學改進方案包括全國性的 IUPP 計畫（Coleman & Griffith, 1997; Ridgen, Holcomb & Di Stefano, 1993）、華盛頓大學的 PEG（McDermott & Shaffer, 1997），以及哈佛大學為首的 Peer Instruction（Mazur, 1996; Crouch & Mazur, 2001; Meltzer & Manivannan, 2002）...等。綜合這些教學改進方案的實施，可以歸納出以下幾點特徵：

1. 強調物理觀念的理解，並減少數學推導；
2. 藉由文字（非數學符號）闡明物理觀念；
3. 引用生活化情境來包裝問題；
4. 教學步調合理化；
5. 破除單向傳授，強調學習參與。

上述幾點，有許多特徵是與建構主義的學習觀互相呼應的，尤其是修正演講式教學，提高學生在課堂上的學習參與，已成為當今許多普通物理教學改革計畫之重要依循原則。其教學模式雖然各校不盡相同，但在共同的理念下，仍具有一些共同的特徵，在此文，作者將其定義為「互動式教學」。綜合國外的相關文獻，演講式教學與互動式教學設計的主要差異歸納如表 1（Cottle & Hart, 1996; Gautreau & Novemsky, 1997; Heller, Keith & &erson, 1992; Meltzer & Manivannan, 2002; Redish, 1996）。

表 1 顯示互動式教學的設計理念無論在學習任務、過程及模式上，均與建構主義學習觀較為契合，而對教學者也同時賦予更複雜而挑戰性的任務，期望藉由上述原則的改革能提升普物的學習成效。

在一項包含 6000 多位學生，48 所大學的大規模的研究中，Hake（1998）發現互動式教學的學生在力學概念測驗中進步的幅度，超過演講式教學的兩個標準差。Hake（1998）定義互動式教學為『學生藉由與同儕間或與老師的討論，主動的動腦思考，教師並提供學生立即的回應...』。以普通物理為背景的許多研究也顯示，互動式教學刪減課堂解題時間以提供討論的做法，不但有助於學生的概念發展，同時並未損及（甚至有利於）其學生在傳統計算題的表現（eg., Gautreau & Novemsky, 1997; Meltzer & Manivannan, 2002;

Thacker, Kim, Trefz & Lent, 1994)。

表 1：演講式與互動式教學設計的主要差異

	演講式教學	互動式教學
學習過程	藉由知識傳輸與累積	學生主動進行概念改變與發展
教學者任務	提供清晰講解或實驗演示	誘導、觀察、並介入學生之概念發展過程
學習者任務	被動接收知識	將新概念與原有概念統整成和諧的架構
課堂重心	教師及教材	學生彼此及師生間的互動
學習模式	個人化的競爭	小組內的合作

在國內相關文獻不足之下，國外普物互動式教學的文獻，提供了作者執行普物教學改進的珍貴參考資源。其中又以哈佛大學為首的 Peer Instruction 互動教學計畫所涵蓋的實施範圍最廣（上百所大學)、最久（超過 10 年)，所提供的資訊也最為完整，包括實施策略、教材、學業成就、及學生評語…等 (Eg., Fagen, Crouch & Mazur, 2002; Crouch & Mazur, 2001)。

哈佛等美國大學所採取的 peer instruction 與逢甲大學的普物教學情境有許多相似之處，包含大班教學，教室內的擺置為演講廳模式，兩種改革計劃都是在不大幅提高教學資源的前提下(包含師資與設備)，尋找改進學習的途徑，因此有其推廣的潛力。兩者的學生來源相似之處為其主修之領域：逢甲的學生來自理工科系，而哈佛大學的學生來源則包含理、工、醫 (Mazur, 1996)。

然而，考量兩校其它的差異，包括國情文化及學生學習經驗、背景…等，以及研究者對相關學習理論的不同詮釋，使得作者在逢甲所進行的互動式教學實施細節，不能完全由國外文獻直接套招，而必須做部分修正，並藉由真實課堂的實施，仔細琢磨與再修正。

叁、研究方法

本文將闡述 Dr. Mazur 等人在哈佛大學與作者在逢甲大學所實施的普通物理互動式教學實施策略與成效。哈佛大學包含 1991 至 2000，10 年來的實施及評量（Crouch & Mazur, 2001; Mazur, 1997)，而逢甲大學則包含實施較完整且成熟的第二、三年度（2000, 2001)。

學習成效的評量包含學業表現與情意成效（affective learning outcomes）兩方面。研究工具、資料分析方法、施測對象，以及相關之考量，分別敘述如下：

一、學業成就評量

Force Concept Inventory（FCI）(Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992）以及 Mechanics Baseline Test（MBT）(Hestenes & Wells, 1992）兩份來自美國的力學能力評量工具，是經過許多文獻檢驗及修改的標準化考題，並廣為物理教育學者採用（eg., Hake, 1998; Savinainen & Scott, 2002; Willson, Ackerman & Malave, 2000)。FCI 與 MBT 都是單選題型式，其中 FCI 著重於物理觀念的理解，而 MBT 則整合物理觀念與簡單的數學。兩份考題著重概念澄清且刪除繁雜計算的題目設計頗能呼應物理教育學界的改革理念，同時，基於這兩份考題的高嚴謹度與充足的國外數據，作者選擇這兩份考題翻譯成中文，並邀請兩位具物理碩士學位之教師測試，且對其中之用語提供修改建議後，成為學業成效之評量工具。

為了檢測學生學習的成效，Hake（1998）定義前後測的標準化增益比，簡稱 Gain %，其

計算式定義為「Gain % = （後測-前測）/（100-前測）×100 %」，其意義為學生在大學所學的，對前測中所答錯的部分所佔的比例，Gain %值可能介於 0 %到 100 %之間，文獻顯示 Gain %值與學生原先背景如何無關（Savinainen & Scott, 2002）。

本研究中參與測驗的學生包含演講式四班，分別由三位物理教授任教，以及作者所授之互動式教學四班，每班人數為 55-65 人。前測時間為開學第一堂課，後測時間則在力學單元結束後，前後測之時間相距約 8-10 週。兩份考題在本研究中所得之折半信度 r = 0.63 ~ 0.78，為了維護測驗的效度，減少考題的重複曝光率，作者採取兩份考題間隔年度實施的方法。MBT 分別於 1997 與 2000 年實施於演講班及互動班，而 FCI 則在 2001 年同時實施於兩種班級。

二、情意學習成效

學生情意成效的評量使用作者所發展的問卷，包含 5-Likert scale 的封閉式問題（內部信度為 r = 0.58 ~ 0.83）及開放式問題，分別進行量與質的分析。封閉式問題包含「教師特質/教學表現」與「學習收穫」兩方面。前者包含學識背景、教學態度、及教學設計/風格等三個向度，本文僅著眼教學設計上的差異，包含講解表現、教材情境化，以及引導學習參與三項。至於學習成就/收穫方面，則根據課程目標，包含學習態度、學習能力、以及知識發展三個向度（Angelo & Cross, 1993; Elton, 1997）。

在評量的三個年度（1996、2000、及 2001）中，問卷中除了封閉式問題之外，還包含開放式問題：請學生各提出這門課值得保留的優點，及需要改進的缺點，而在 2000 與 2001 年問卷中，並請學生對課程下一總評。情意成效的評量結合量與質的分析，不僅提供學生對不同教學給予的二極化評價，更可在開放式問題之回應中，提供多面向的觀點，深入了解各教學法之特徵。

參與問卷之學生包含三群：(1) 作者在 2000/2001 年所授的互動班；(2) 1996 年作者教授之演講班，以及(3) 其它物理教授在這三年度任教之演講班。封閉式問題將對這三組學生做交叉比較，以單尾 t 檢定的方法，檢驗其各兩組之間在統計上的差異顯著性機率，以深入了解學生對「教」與「學」之評價差異，究竟是由於教學者之不同，或教學法的調整。而開放式問題部份，提供作者採取不同教學法所得之不同評論，並與封閉題之統計結果相比較。藉由多重檢驗之方法，以提高本研究結論之嚴謹度。

本研究中，作者將其他參與本研究的物理教授的教學均歸類為演講班，此一歸類，除根據先前研究中作者與這些教授間所進行的訪談內容，由其對課堂教學的描述而得（張慧貞, 2002），同時，也由其任課班學生在問卷調查的回應得到進一步檢驗（Chang, 2000, p.293）。

考量到研究者同時擔任教師的角色，為降低因作者角色重疊對問卷之作答造成之潛在干擾，三年度之問卷調查均採取以下幾項因應措施：1. 等到學生修完此課程，進入新學年後才實施問卷，故學生在填答時不會有影響成績的疑慮；2. 問卷的發放由助理執行，所有任課老師，包含作者在內均予迴避，以避免學生受到不必要的干擾。3. 強調問卷的目的並非為評判教師的優劣，而是更積極地提供未來教學改進的具體方向。近年來「教師即研究者」（teacher as researcher）的研究設計已受科教研究學界之認同，並肯定其對理論與實務之結合與互利所產生的功效（eg., Porter, 2002; Roth, 1998），此種行動研究之設計模式，也是多數大學物理教育研究所普遍採用的（eg., Crouch & Mazur, 2001; Meltzer & Manivannan, 2002）。

肆、互動教學之策略與實施

考量到兩校的背景與文化差異，作者在逢甲實施的教學策略與 Dr. Mazur 在哈佛所實施有些差異。以下將闡述兩校之教學設計：

一、哈佛教學策略

哈佛研究群首先將 50 分鐘的演講課分成各約 15 分鐘的小時段，由教師先作 10 分鐘的原理講解後，再進行 5 分鐘的觀念題討論（concept test），先由學生自己作答後，再與鄰坐同學討論，最後由老師講述正確答案。整體而言，觀念題之討論約佔去全部上課時間的 1/3。

對這項互動教學的實施，大量且高品質觀念題的提供，是決定其成效的重要關鍵近幾年來哈佛研究群已積極研發觀念題，並同時引用經由其它教學研究群所開發，如 McDermott 和 Shaffer（1997）之討論題組。哈佛所研發的觀念題，已上網分享所有物理老師，但謝絕學生使用，以確保其評量之功效，其網址為 http://galileo.harvard.edu/。

其次，為了彌補討論觀念題所占用的上課時間，哈佛實施了學生預習及考核制度，要求學生在課前預習並利用教學之網站，回答下堂課將學習的基本內容。同時計算題之推導也在「演講課」中被大幅刪減，以此策略省下寶貴的授課時間，提供學生課堂討論。文獻顯示（Gautreau & Novemsky, 1997），學生在解題上面臨困難，其主要關鍵多是物理觀念不清楚，而非數學上的困難，所以利用課堂以觀念題協助學生澄清其物理觀念後，學生即可於課後自行練習解題。

為了增強學生概念之發展並兼顧其解題能力，哈佛修改原有每週 2 小時的實驗課程，綜合成迷你實驗、觀念探討及解習題等三項任務，上課也採小組討論模式。

綜合而論，哈佛所實施的課程革新是藉由刪減教師課堂之講授，強調學生在課堂之學習互動，以提升其學習成效。上述的實施策略均與多數現有科教文獻之論點相一致。

二、逢甲教學策略

作者在逢甲所實施的互動課程也如哈佛一般，刪減計算題推演以騰出寶貴的教學時間（約 1/4）供學生作小組討論，但實施細節則不盡相同，實施之差異與其原因闡述如下：

首先，刪減課堂解題之策略，必須配合課後指定習題的作業，由學生自行於課後練習。這項配合措施在國外看似常態，多數文獻僅輕描淡寫一筆帶過，但在逢甲首度（1999 年）實施時，卻遭遇嚴重之困難，實施初期學生先以抄襲之策略應付，接著甚而質疑繳交作業的必要性。有鑑於此，嚴密督促學生確實於課後演練習題成為第二年（2000）實施互動教學的重要任務。在作業繳交的同時，花費 10 分鐘抽考其中之一題，並於考後簡短講解其重點。此一作業抽考的實施，似乎已發揮其預期的功能，成為互動教學的重要配合策略。

其次，作者在逢甲的教學設計中，原理講授與觀念題討論，不一定採固定的先後順序；對於學生在高中較熟悉的主題，作者多採先提問題再講解相關原理的模式，以提高課程的挑戰性，刺激學生反省既有觀念的瑕疵，並體認學習這門課的必要性。這項「先問後教」策略，有別於哈佛等許多國外之互動教學設計。作者實施這項修正，除了符合建構主義所強調學習者自省的功夫之外（eg., Baird & Penna, 1996），還考量台灣學生在高中物理的基礎較國外學生強的事實。有關提高普物課程挑戰性的詳細設計原因與學習成效，已發表於作者先前之論文中（Chang & Bell, 2002）。

第三，小組討論的安排，作者也由原有哈佛的模式：隨機分組，每組兩人，調整為以 3-4 人為一組，固定組員方式進行，希望以較具組織的分組方式，強化組員間的向心力，促進同學的互動。另一方面，初期（1999）的實施結果顯示，多數班級在討論問題時，常需經過約 3-5 分鐘的「沉默期」後，才能聽到逐漸熱絡的

討論聲。這種現象或許與台灣學生過於拘謹的特有文化有關。因應上述問題，作者修改了哈佛的單題討論模式，整合 5-10 觀念題，製成一份工作表（worksheets），引導學生進行 20-30 分鐘的小組討論後，再整體檢討，大約每 3 堂課討論一次。這項修正，除了可以減少「沉默期」所佔用的課堂時間，還能實現 Heller 等人（1992）所建議的有利情境：將組員間之座位由「肩並肩」調整為「膝對膝」，以利組員間之交流。

討論過程中，作者巡視各組之進展，給予必要的提示，並指定部分組別上台做答，之後，再鼓勵同學主動更正黑板上之錯誤。指定作答之結果通常不列入成績，但自動更正者則酌予加分。分數誘因（grade incentive）雖可成為鼓勵討論參與的工具，但仍需謹慎使用，以避免誤導學生專注於「標準答案」的獲得，忽略其原理概念的琢磨，並損及學生之內在動機(intrinsic motivation)。

最後，針對討論題的設計，作者也修改並補充哈佛現有的題目。主要之差異在於作者強化了生活情境的包裝（context-rich questions），參考文獻之建議，討論題之設計原則說明如下（eg., Heller & Hollabaugh, 1992）：

1. 題目為學生所熟悉之生活化題材，著重觀念澄清而非複雜計算。真實之情境，為賦予概念意義（intelligibility）之必要因素，並可提高學習興趣。某些國外常見之實例，如：冰上曲棍球，對台灣學生卻是非常陌生，恐難引起共鳴，應予刪除；
2. 情境單純化，以凸顯主題。生活化題材往往包含非常複雜之變數，並涉及多項概念，為協助學生概念之發展，應設法簡化題材；
3. 題材創新，且相關變數呈故事性敘述，以杜絕背誦或套招，提高問題挑戰性，以促進概念發展。

根據上述準則，作者所用之討論題，除了修改部分哈佛所提供的觀念題之外，還參考其他的文獻，包含 McDermott 等（1997）研究群所開發的 Tutorials in Physics、Epstein（1983）的 Thinking Physics、Hewitt（1998）的 Conceptual Physics、和 The Physics Teacher 期刊...等。台灣現行的科普刊物或翻譯品，如：物理迷宮-從驚訝到醒悟...等，也提供了設計討論題的靈感來源。觀念討論題若能搭配圖片、影片、或實物示範等教具，將使教學更生動，並使題目的情境更具體化。

題目經原始設計後，還需在真實課堂中評估其難度。哈佛研究群 Crouch & Mazur (2001) 建議，觀念討論題的難度最好落於 35 % -70 % 之間。作者所實施的結果顯示，哈佛提供的題目，對逢甲學生而言，多能符合上述難度之要求。然而，許多經由其他資源蒐集而得的題目，難度則略高，(約 0 % - 40 %)。綜合而言，題目越創新，變因越複雜模糊，則對學生挑戰性也會越高。針對這類高難度之題目，作者並未與以捨棄，而是補充更多的線索與引導。

茲舉一轉動力學之實例說明題目原始設計與修正過程:

問題：旋轉之陀螺受重力作用為何不會倒下？（配合圖 1 及實物示範）

1. 陀螺目前的自轉角速度方向？
2. 重力對轉軸之力矩方向？
3. 角動量變化之方向？
4. 此時重力對陀螺造成的效果為何？
5. 若陀螺原來為靜止，則重力對陀螺造成的效果應為何？

首度討論此題時，顯示難度偏高，故作者於往後之討論中，先補充學生以下之提示:試以牛頓第二定律 $\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt}$ ，來討論，其中之 $\vec{L} = I\vec{\omega}$ ， $\vec{\omega}_f = \vec{\omega}_o + \Delta\vec{\omega}$ 。

另外，陀螺對作者現有學生既已偏難，則

多層次的迴轉儀問題的引用，則應更加審慎。

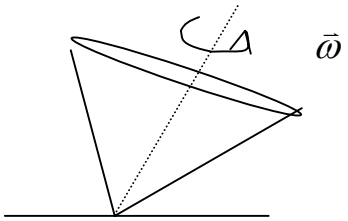

圖 1：陀螺進動現象

伍、研究結果

作者在實施互動式教學的過程中，也進行了一系列的學習成效評量並將其結果與哈佛大學的文獻相比較，以下將就互動式教學之學習成效，包括學業成就及學生對課程評價兩方面，分別闡述。

一、學業成就

作者在逢甲所實施的物理概念測驗結果顯示，演講式教學之學習成效普遍低落。經由 7-8 週的學習，由三位不同教授以演講式教學，與作者以互動式教學之學生，經由 FCI 與 MBT 兩份考題測驗結果分析如表 2。

表 2 顯示演講式教學法學生之前後測標準化增益百分比（G %）僅為 5 %-9 %之間，明顯低於互動班之 13 %-27 %。

對照作者之研究結果，哈佛大學所得之學業成效比較，整理如表 3（Crouch & Mazur, 2001）：

表 3 顯示哈佛大學互動班的學業表現也明顯高出演講班許多，互動教學有利於學習成效的結論與美國其他大學所獲得的數據相符（Hake, 1998）。比較國內外之結果，哈佛互動班在 FCI 所得之標準化增益（G %），以及在 MBT 之後測成績，雖然明顯優於逢甲所得之數據，但互動式教學較演講式教學更有助於概念學習的結論，則均在兩校中得到相同之引證。學習成效在演講式教學法中普遍低落的問題，已在國外文獻廣泛探討（eg., Holton & Horton, 1996; McDermott, 1993），此結果暗示，無論教師的講解如何清晰有條理，單方向灌輸的教學，對學生整體之概念發展幫助不大。

除了標準化考題的成效之外，Mazur（1997）還提到哈佛互動學生在傳統題型的表現也明顯優於原先之演講式班級，使得學期成績的不及格率驟降。作者在逢甲 2000 及 2001 年度互動班的不及格率，也由過去演講式教學的 20 %-30 %大幅降至 6-10 %。

綜合而論，互動式教學似乎對低落的學業表現問題，提供了一線契機，無論是在美國的眾多教學改革實例，或是作者在台灣的小規模嘗試，互動班學生在學業測驗的表現，似乎都優於他們在傳統班的同儕。未來，值得繼續實施並持續評量其成效。

二、情意學習成效

除了較客觀的學業成就測驗以外，學習者本身對課程設計的主觀評價，也將提供教學改革者的重要參考，協助教學者得以逐漸修改更適合學習者的實施細節。另一方面，學生若能對改革的方向產生正面的認同，則必能更願意參與學習活動，使得新課程設計的預期目標得以彰顯。在學生對教學表現的評價方面，來自哈佛的資料並不充足，Crouch 和 Mazur（2001）僅簡短描述，互動式教學的實施，並未使得學生對老師的教學表現，產生明顯的轉變，學生心目中所謂的"教學表現"（teaching performance）似乎與教師的人格特質較為相關。

(一)封閉性問題回應

針對情意學習成效的評估，作者在逢甲則花費較多的心力作探討。首先，將比較作者之學生與其它物理教授之學生在封閉式問題所回應之差異顯著性（probabilities of one-tail t-test），包含 1996, 2000, 及 2001 三個年度，1996 作者

採用演講式教學，而 2000/2001 則為互動式教　　學。同時列出兩種教學的顯著性比較，除了可

表 2：逢甲大學演講式與互動式教學之班級學業成效比較

	演講式				互動式			
考題名稱	年度（教師*）	前測	後測	增益（Gain %）	年度（教師）	前測	後測	增益（Gain %）
FCI	2001 (A)	60.9	64.6	9 %	2001 (R)	62.6	68.7	16 %
	2001 (B)	68.6	70.8	7 %	2001 (R)	63.8	73.4	27 %
MBT	1997 (A)	48.6	51.2	5 %	2000 (R)	45.0	51.9	13 %
	1997 (C)	52.8	56.8	9 %	2000 (R)	50.9	63.0	25 %

*演講式教學包含 A, B, C 三位不同教授任教之四個班級，互動式教學包含研究者(R)任教之四個班級

表 3：哈佛大學演講式與互動式教學之學業成效比較

	演講式				互動式			
考題名稱	年度	前測	後測	增益（G %）	年度	前測	後測	增益（G %）
FCI	1990	70	78	27 %	1991-1997	67-71	85-92	49 % - 74 %
MBT	1990		66		1991-1997		71-79	

*哈佛大學並未進行 MBT 之前測，雖無法推算哈佛在 MBT 之增益，但表中三項 MBT 與 FCI 後測之比值均非常相近（0.83 ~ 0.86），顯示兩項測驗工具的一致性。

以了解作者之互動式教學與其它教授之演講式教學所給予學生之觀感之外，也可藉由作者在兩種不同教學之比較，佐證作者由 1996 到 2000/2001 年在教學所做的調整。分析結果如表 4 所列：

由表 4 顯示，在 1996 年作者採演講式教學，除了「講解清晰」與「概念理解」兩項，比其他教授獲得較多學生的肯定之外，其他方面並無明顯差異。到了 2000 年作者採互動式教學時，則在「鼓勵討論」及「生活化」的努力上，獲得學生的認同，互動教學似乎同時也有助於「學習興趣」及「思考力」，並且不損及作者原有之教學特色。至於 2001 年之比較結果則與 2000 年相仿，顯示互動式教學的成效有其穩定性。

順帶一提的是在 2001 年互動班與演講班在「促進物理概念理解」之顯著性檢驗中（$p = 0.0296$），並未達統計上的顯著水準，但當年度互動班學生在力學成就測驗（FCI）的增益卻明顯高出演講班甚多。因此，互動班學生在自述型問卷中的回應似乎並無特別「寬厚」的現象。

(二)開放式問題回應

除了封閉式問題所提供的統計數據比較之外，學生們在開放式問題中，也對作者的教學中提出了看法。三個年度的結果分析如表 5，結果顯示，兩個互動式教學年度學生的意見相當一致，而演講式與互動式教學的學生則明顯地對作者教學持有分歧的看法：

首先，兩互動年度學生中，均有約一半及四分之一主動對「生活化」與「小組討論」的課程設計表示肯定。而 1996 的傳統班學生回應則顯示，作者的教學嚴重缺少師生互動，並有 32 %的學生對教材不夠生活化提出批評。例如：

所學的物理和現實的離太大，學過不久，又忘

的差不多（1996, 演講式）；

表 4：學生對教學設計學習成效之觀感-研究者與其他教授之比較

	研究者之教學法	演講式教學	互動式教學	
	年度	1996	2000	2001
	（研究者學生數：其他教授學生數）	（77：125）	（80：87）	（143：141）
		單尾 t 檢定顯著性（probability）		
教學設計學習成效	提供清晰的講解	*0.0043	*0.006	*0.00289
	鼓勵課堂討論	0.293	*0.003	**2.4E-18
	引用生活化教材	0.065	**3E-06	**2.2E-10
	提高學習物理的興趣	0.0673	**4E-06	**2.44E-04
	鍛鍊思考推理能力	0.4831	**2E-04	*0.00893
	提升數學能力	0.0954	0.253	0.373
	加強物理概念之理解	*0.0086	**3E-04	0.0296

* p < 0.01 **p < 0.001

表 5：研究者學生對演講式及互動式教學之意見比較

	演講式教學	互動式教學	
	（1996 年, N = 54）	（2000 年, N = 80）	（2001 年, N = 131）
	回應學生數，百分率		
引用小組（課堂）討論	1 2％	20 25％	32 24％
教材生活化	19 35％	33 41％	65 50％
（生活教材不足）	（17 32％）	（7 9％）	（3 2％）
生動、引人興趣	3 6％	8 10％	17 13％
（枯燥、無趣、疲勞）	（7 13％）	（3 4％）	（5 4％）
刺激思考、動腦	3 6％	11 14％	14 11％
講解清晰、教學認真、有條理	22 41％	8 10％	15 11％
（講解不清）	（0 0％）	（6 8％）	（10 8％）

上課同學與同學間最好能夠討論，我不覺得會影響上課品質（1996, 演講式）；

滿生活化的，比高中的那些教學公式一大堆好太多了！生活乃物理之基本。（2000, 互動式）；

可以和同學討論，這樣可以促進和同學之間的默契，且在討論中可以知道不同的觀念理念，並了解自己的缺失（2000, 互動式）；

經由同學間小組討論與互動，激發學習的興趣（2001, 互動式）。

其次，互動式教學似乎對提高學習興趣，扭轉傳統學生對課程的枯燥、刻板印象，產生有效助益。例如：

課程乏味，學無致用（1996, 演講式）；

上課較悶，上課有點恐懼（1996, 演講式）；

以前的高中物理真痛苦，現在普物又有趣又好玩（2000, 互動式）；

上課生動活潑，能讓同學們來討論一些物理問題（2000, 互動式）

上課很有活力，因為討論非常有深度（2001, 互動式）。

第三，互動式教學除了有助於提高學習興趣之外，似乎也比演講式教法更能有助於刺激學生動腦思考。例如：

增加思考能力（1996, 演講式）；

很有互動的課，讓我動腦想了許多（2000, 互動式）；

在課堂上鼓勵同學參與班上之討論是個不錯的教學方式，因為這樣能夠增加同學的思考能力（2000, 互動式）；

在課堂上的討論，互相較勁能刺激彼此進步（2001, 互動式）。

事實上，演講班的學生對作者之教學表現，也有許多正面的回應，但是卻與互動班學生的著眼點明顯不同。高達 41 %演講班學生對當時作者在"知識傳授"（knowledge transmission）上的努力表示感激或讚賞。相對的，作者在"講授上"（instruction）的表現，卻不再是互動班學生關心的議題，只有約 10 %表示激賞，並有 8 %提出質疑。例如：

（老師）上課認真，講解清楚，舉證適合，講義很好，一目了然（1996, 演講式）；

重點觀念沒有非常強調，感覺學了很多，卻沒有重心（2000, 互動式）；

有時候感覺沒有確定答案（2000, 互動式）。

教原理時有點雜亂，使學生不易理解（2001, 互動式）；

上面的引述顯示，作者的教學留給傳統班及互動班學生的印象，呈現明顯的轉變，在學生心目中，作者在實施教學改革的過程中，原先受到讚賞的"演講者"特點，似乎已逐漸的退去，甚至引起少數互動班學生（8 %）對教學成效的質疑。這項轉變，可能是由於互動課程著重於學習引導，而淡化教師所扮演的「知識傳輸者」角色。同時，為了提高學生在學習的自省能力，誘導學生整合新舊觀念，作者常將正確答案刻意保留，這項策略可能損及其"傳授知識"的效率。

引述中，無論學生的評語是褒還是貶，所透露的均是灌輸式教學觀對教師的期許，著眼於知識的傳授，而非對學習者之啟發。互動班學生在這項議題上的回應（18~19 %），明顯少於演講班（41 %），除了可能反映出教師教學模式的轉變之外，也可能暗示互動班學生本身在學習觀的發展：由教師之教學表現轉而注重課堂之學習參與。

陸、結論與討論

綜合以上的敘述，可以對作者在逢甲大學普物課所實施的互動式教學的成效歸納幾點結論，並藉由與哈佛等國外之改革實例相比較，對未來國內之普物教學革新提出討論。

首先，國外文獻與逢甲之研究均顯示出著重學習者思考、討論的互動式教法，較演講式教法，更有助於學生之學業表現。作者在逢甲互動班所得的學業增益雖然不如國外的高，但與其他演講班相比，似乎仍透露了一絲改進的契機，值得繼續嘗試。

其次，由學生在開放式問題的回應（表 5）顯示，作者的教學風格似乎得以突破演講式時的嚴肅、枯燥、與乏味，逐漸在互動班中引出生動、活潑的氣氛。兩相比較，凸顯了教學設計對情意成效的關鍵影響，並可藉由教學設計克服教師個人特質的弱點。這項推論是與哈佛大學的論點（Crouch & Mazur, 2001），有所分歧的。許多科教的文獻（Pintrich, Marx & Boyle, 1993; Rennie & Punch, 1991）均強調情意成效對學習深度與學業表現的密切關聯性，故互動式教學對情意成效之影響，值得未來繼續探討。

另外，與演講班學生相比，互動班學生似

乎較能把課程重心由教師的教學表現，轉移到自己的學習參與，如討論、動腦等之上。這種轉變暗示著教學模式的改革，似乎還能啟發學習者體會其主動參與課堂學習的重要性。針對互動式教學對學生所持學習觀的衝擊，作者另有論文深入探討（Chang, 2002）。

本文中雖闡述了國內外普物互動式教學所獲得的正面成效，然而，作者不希望本文誤導讀者對於教學改革的成效產生過度樂觀的想法，輕忽了改革過程所將面對的多方面的挑戰。文內所報導的情況是實施較完整且成熟之第二、三年度（2000/2001 年），許多細節上的修正是建立在第一年（1999）課程改革時，來自學生的質疑、批評，與令人沮喪的負面結果之上。限於篇幅，本文僅摘述課後作業，在首年度實施所面臨的困難與後續之修正。其它方面，互動式教學仍須面臨許多嶄新且多元的挑戰，需要在享受教學改革的成效之前，先面對並克服的，作者之另一論文有較詳盡之剖析（Chang, 2003）。

再者，來自國外的成功革新實例，雖可誘導並提供國內教學改革者的初步參考，但由本研究顯示，許多教學設計的實施細節與修正尺度，都是需要在真實教學情境中謹慎推行，並根據學生之反應仔細琢磨。若僅直接由國外實例依式套招，不顧現有教學情境之差異，則其失敗的結果將是可預期的。同時，現有科教文獻所提供的相關理論，則可提供教學設計時所必備之學理基礎，並在面對學生所提出之不同回應時，規範出修正之方向。因此，學習理論基礎、前人的成功範例，與真實課堂的長期琢磨，是促成互動式教學成功的三項必要因素。教學改革是一項需要長期努力、精雕細琢的任務，並需要保有一份不畏挫折的堅韌信念。

本研究為普通物理的教學改進，提出了一個努力的方向：在教學資源不需大幅增加的前提之下，在大班的演講課中，適量引進小組討論，並配合教材的生活化，以提高學習動機及成效。本研究雖然獲得初步的正面成效，但因研究範圍僅止於作者個人的小規模嘗試，難以遽下定論。未來值得擴大實施的範圍，並深入探討其實施過程之潛在障礙與相關成效。

致　　謝

感謝逢甲大學多位教授與數百位學生參與或協助本研究之執行，部分內容承蒙國科會專案研究計畫（NSC-90-2511-5-035-001-），與教育部「提昇大學基礎教育計畫」（90M503）補助，僅此誌謝。

柒、參考文獻

1. 張慧貞（2002）由教授與學生對教與學觀感探討其學習觀。載於 Y. Y. Yeung, (ed.), *In-novative ideas in science teaching theories and exemplars* (pp.73-81). Hong Kong: New Concept Design Production Company.
2. Angelo, T. A., & Cross, K. P. (1993) *Classroom assessment techniques: A handbook for college teachers* (pp.148-153). San Francisco: Jossey-Bass.
3. Baird, J. R., & Penna, C. (1996). Challenge in learning and teaching science. *Research in Science Education, 26*(3), 257-270.
4. Chang, W. (2000). *Improving teaching and learning of university physics in Taiwan.* Unpublished Doctoral Thesis, University of Waikato, Hamilton.
5. Chang, W. (2002). The impact of constructivist teaching on students' perceptions of teaching and learning. *Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching.* New Orleans, LA.

6. Chang, W., & Bell, B. (2002). Making content easier or adding more challenge in year one university physics? *Research in Science Edu-cation, 32*(1), 81-96.
7. Chang, W. (2003). The rewards and challenge of teaching innovation in university physics：Four years reflection. *Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching.* Philadelphia, PA.
8. Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics, 50*, 66-71.
9. Coleman, L., & D. Griffith. (1997). Physics in context: An IUPP course. In E. F.Redish & J. S. Ridgen (Eds.). *The changing role of physics departments in modern university.* Proceedings of ICUPE. (pp.887-890). New York: American Institute of Physics.
10. Cottle, P., & Hart, G. (1996). Coorperative learning in the tutorials of a large physics class. *Research in Science Education, 26*(2), 219-231.
11. Crouch, C. H., & Mazur, E. (2001). Peer in-struction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physic, 69*(9), 970-977.
12. Elton, L. (1997). University physics teaching in reducing circumstances. *Physics Education, 32*(5), 346-350.
13. Epstein, L. C. (1983). *Thinking Physics is Gedanken Physics,* (2nd Ed.). San Francisco: Insight Press.
14. Fagen, A., Crouch, C., & Mazur, E. (2002). Peer instruction: Results from a range of classrooms. *The Physics Teacher, 40,* 206-209.
15. Gautreau, R., & Novemsky, L. (1997). Concepts first-A small group approach to physics learning. *American Journal of Physics, 65*(5), 418-428.
16. Gunstone, R. F., & White R. T. (1981). Un-derstanding of gravity. *Science Education, 65*(3), 291-299.
17. Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics, 66*(1), 64-74.
18. Halloun I. A., & Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics, 53*(11), 1043-1055.
19. Heller, P., Keith, R., & Anderson, S. (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 1: Group versus individual prob-lem solving. *American Journal of Physics, 60*(7), 627-636.
20. Heller, P., & Hollabaugh, M. (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part2: Designing problems and structuring group. *American Journal of Physics, 60*(7), 637-644.
21. Hennessy, S. (1993). Situated cognition and cognitive apprenticeship: Implications for class-room learning. *Studies in Science Education, 22*, 1-41.
22. Hestenes, D., & Wells M. (1992). A mechanics baseline test. *The physics Teacher, 30*(3), 159-166.
23. Hestenes, D., Wells M., & Swackhamer G. (1992). Force concept inventory. *The physics Teacher, 30*(3), 141-158.
24. Hewitt, P. (1998). *Conceptual Physics* (8th ed.). Mass: Addison Wesley Longman.
25. Hewson, P. W., & Thorley, N. R. (1989). The conditions of conceptual change in the class-room. *International Journal of Science Edu-cation, 11*(5), 541-553.
26. Holton, B., & Horton, G. (1996). The Rutgers

physics learning center. *The physics Teacher, 34*(3), 138-143.

27. Mazur, E. (1996). *Peer instruction: A users' manual*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
28. Mazur, E. (1997). Peer instruction: Getting students to think in class. In E. F. Redish & J. S. Ridgen (Eds.), *The changing role of physics departments in modern university*. Proceedings of ICUPE. (pp.981-987). New York: American Institute of Physics.
29. McDermott, L. (1993). How we teach and how students learn- A mismatch? *American Journal of Physics, 61*(4), 295-298.
30. McDermott, L. C., & Shaffer P. S. (1997). *Tutorials in physics*. NJ: Prentice Hall.
31. Meltzer, D., & Manivannan, K. (2002). Trans-forming the lecture-hall environment: The fully interactive physics lecture. *American Journal of Physics, 70*(6), 639-654.
32. Osborne R. J., & Freyberg P. (1985). *Learning in Science: The implications of children's sci-ence*. Auckland: Heinemann.
33. Osborne, R. J., & Wittrock, M. (1985). The generative learning model and its implications for science education. *Studies in Science Edu-cation, 12*, 59-87.
34. Pintrich, P. R., Marx, R. W., & Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research, 63*(2), 167-199.
35. Porter, J. (2002). Teachers working alongside researchers: Research and development? *Edu-cation in Science, 199*, 22-23.
36. Redish, E. F. (1996). New models of physics instruction based on physics education research: part1 and part 2, Retrieved August 18, 2001, from http://www2.physics.umd.edu/~redish/redish /htm
37. Redish, E. F., Saul, J., & Steinberg, R. N., (1998). Student expectations in introductory physics. *American Journal of Physics, 66*(3), 212-224.
38. Rennie, L. J., & Punch, K. F. (1991). The relationship between affective and achievement in science. *Journal of Research in Science Teaching, 28*(2), 193-209.
39. Ridgen, J. S., Holcomb, P. F., & Di Stefano, R. (1993). The introductory university physics proj-ect. *Physics Today, 46*(4), 32-37.
40. Roth, W. M. (1998). Teacher-as-researcher re-form: Student achievement and perceptions of learning environment. *Learning Environments Research, 1*(1), 75-93.
41. Roth, W. M., McRobbie, C. J., Kucas, K. B., & Boutonne, S. (1997). Why may students fail to learn from demonstrations? A social practice perspective on learning in physics. *Journal of Research in Science Teaching, 34*(5), 509-533.
42. Rowell, J., Dawson, C., & Pollard, J. (1993). First year university physics: Who succeeds? *Research in Science & Technological Education, 11*(1), 85-94.
43. Savinainen, A., & Scott, P. (2002). The Force Concept Inventory: A tool for monitoring stu-dent learning. *Physics Education, 37*(1), 45-52.
44. Scott, P. H., Asoko, H. M., & Driver, R. H. (1992). Teaching for conceptual change: A review of strategies. In R. Duit, Goldberg, & Niedderer (Eds), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical issues and empirical studies*. Proceedings of an Inter-national workshop (pp.310-329).

University of Bremen, Germany.

45. Stead, B. F., & Osborne, R. (1980). Exploring students' concepts of light. *Australian Science Teachers' Journal, 26*(3), 84-90.
46. Thacker, B., Kim, E., Trefz, K., & Lea, S. M. (1994). Comparing problem solving perfor-mance of physics students in inquiry-based and traditional introductory physics courses. *Amer-ican Journal of Physics, 62*, 627-633.
47. Tobias, S., & Hake, R. R. (1988). Professors as physics students: What can they teach us? *American Journal of Physics, 56*(9), 786-794.
48. Willson, V., Ackerman, C., & Malave, C. (2000). Cross-time attitudes, concept formation, and achievement in college freshman physics. *Journal of Research in Science Teaching, 37*(10), 1112-1120.
49. White, R., Gunstone, R., Elterman, E., Mac-donald, I., Mckittrick, B., Mills, D., & Mulhall, P. (1995). Students' perceptions of teaching and learning in first-year university physics. *Re-search in Science Education, 25*(4), 465-478.
50. Zollman, D. (1996). Do they just sit there? Reflections on helping students learn physics. *The American Journal of Physics, 64*(2), 114-119.

From Harvard to Feng-Chia: The Implementation and Outcomes of Interactive Teaching in University Physics

Whei-jen Chang
Institute of Optical Physics, Physics Teaching and Research Center,
Feng-Chia University

Abstract

The purpose of this paper is to describe the implementation and outcomes of an innovative teaching program in university physics, which was conducted by the author at Feng-Chia University. The results were compared with a similar program at Harvard University. The central themes of the programs at Feng-Chia and Harvard were consistent, while many details of the adopted teaching strategies were different. With respect to the modification in teaching, both universities introduced everyday life examples to facilitate the students' conceptual comprehension, reduced complex manipulations, and modified the didactic teaching by encouraging student discussion in class. The teaching program is defined as 'Interactive Teaching'. This paper also elaborates on the rationales that underpin 'Interactive Teaching', as well as explaining the differences in the implementation strategies between the two programs. In this study, the tools for evaluating the learning outcomes included two standardized tests originating from the US and a questionnaire regarding affective learning outcomes, which was developed by the author. Three groups of students participated in this study, i.e., an interactive group taught by the author, and two traditional groups taught by the author and other physics professors respectively. The comparison amongst the three groups of students may provide better insights into the outcomes of 'Interactive Teaching'. The results showed that the Interactive Teaching at Feng-Chia seemed to be beneficial to the students' academic performance and the affective learning outcomes. Interactive Teaching provides a feasible direction for improving the teaching of university physics in Taiwan. Further implementation and evaluation is suggested.

Key words: Interactive teaching; Constructivism; Teaching innovation; University physics; Conceptual development.