

小而美的開放性探究實驗： 一個可融入國中浮力單元課室教學的活動

陳美玲 王淑琴

國立彰化師範大學物理系

摘要:本文主要在介紹一個可以融入國中浮力單元教學的開放性探究實驗教學活動。一般教師常以為進行探究式教學或開放性實驗只能當成課外補充活動，或是覺得實施上很困難且又花時間。本文以一個完整實施只需要二至三節課的 Schwab 第三級開放性實驗教學活動實例，提出具體可行的實施方式和教學成效等，希望能改變一般教師對於開放性探究實驗的看法與疑慮，進而願意嘗試實施甚至自行設計開放性實驗活動，以落實自然與生活科技領域課程綱要中希望教學朝向以學生為中心的開放性探究的課程精神。藉由文中所提有關實施「探討影響浮力大小的因素」的開放性探究實驗教學活動流程和相關的教學建議與變化，希望能拋磚引玉，引發教師和學者專家對能與課本內容結合的高度開放性探究小實驗之討論，進而有更多的具體做法和建議，以提高實務上實施高開放性探究實驗的教學活動之可行性。

壹、緣起：科學的教學中為何要進行開放性探究實驗？

教材的選擇或設計，以及採取的教學(包含評量)方法決定於課程和教學的目標。以九年一貫課程自然與生活科技領域而言，在教育部的課程綱要中提到課程主要目標是「提昇國民的科學與科技素養」，並將這些素養分成過程技能、科學與技術認知、科學本質、科技的發展、科學態度、思考智能、科學應用、設計與製作，共八項能力。

為了能達成前述課程目標，綱要中指出「自然與生活科技之學習應以學習者的活動為主體，重視開放架構和專題本位的方法」，並認為「經由科學性的探究活動」可使學生獲得相關的科學知識與技能、養成科學的思考習慣和運用科學知識與技能以解決問題的能力。這些主張固然背後有它的研究基礎和學理依據，在此並不打算贅述，不過，由這些綱要中的文字可看出，對於自然與生活科技領域的教學，教育部和相關的學者專家們是建議應朝向提供以學生為主體的開放性探究活動為主。

其實探究式教學的歷史由來已久，也有不同的稱呼，除了 inquiry 或 enquiry，另外例如 exploration 或 discovery 等，而且意義上有時不同學者的說法也有些微差異。此外，探究式教學也有不同的分類，但多半依照教學內容提供開放探究的程度和教師教學中給予引導的程度來區分，例如從 Carin & Sund (1985)的簡單分成 Guided Discovery 和 Free Discovery 兩大類，到近年美國 National Research Council(2000)將變化表成五列四行共二十種的複雜分類。這部分的詳細文獻探討在此省略，有興趣的讀者，請自行參考相關書籍或本文最後所附參考文獻。不過，一般提到探究式教學時，多數教師可能會覺得不太容易設計和實施，或者有題材不易取得、與課本單元內容相關程度不高而難以融入原來的教學中、學生的程度無法適應、教學時間一定會比原來的教學方法要多出許多等諸多疑慮，所以往往不敢輕易嘗試。

其實，老師可從實驗教學方面著手，因為實驗活動要轉換成探究式教學是比較容易的 (Schwab, 1962)。國內近年來在實驗教學愈來愈受到科學教師們的重視，所以大多數科學教師也許課堂上多採用講述式教學，但仍然會讓學生到實驗室做實驗。只是，多數讓學生做的實驗還是以課本上的實驗為主，而且實驗教學的主要目的多只是在讓學生驗證課本上的理論，很少融入探究的精神和教法。因此，無論是以實徵性研究為基礎，或是從學理上、實務上來考量，筆者認為老師從實驗活動的教學開始採用探究式教學是最為可行和比較容易實施的，同時對九年一貫課程目標的落實和學生的科學學習也能有相當大的助益，所以很值得研究、實施和推廣。

貳、驗證式或食譜式實驗如何轉換成開放性探究實驗？

Schwab 認為一般的實驗教學只要能在兩方面加以改變，就可以將驗證式實驗轉變成開放性探究實驗。一是改變實驗活動在整個教學中的優先次序，不要將實驗活動安排在教學的最後，讓學生在實驗前還不知道實驗的結果；第二是將以往實驗活動主要用來驗證課本知識，因此只重視實驗結果和只做一些典型的實驗項目(教科書中常見的實驗)，改變成比較重視實驗的探究過程和進行一些在典型實驗項目以外的小實驗讓學生加以探究。

另外，Schwab 將探究式的開放性實驗教學活動依照所允許的開放探究程度分成三個等級，從 the simplest level (最簡單，以下稱為第一級)、second level (以下稱為第二級)到 third level(第三級)，所允許開放的程度愈來愈高。根據 Schwab 的分類，各級開放性實驗簡單定義如下：

第一級：學生還未從課本學到之前，根據實驗手冊或活動單中已告知的實驗問題和方法、步驟，自行實驗找出答案。

第二級：實驗手冊或活動單中僅告知實驗的問題。實驗方法和答案開放給學生自行探究。

第三級：學生只經驗到一些初步現象，所欲探討的問題、實驗方法和答案全都開放讓學生自由探究。

換句話說，Schwab 所指的第一級開放性探究實驗只有實驗的結果是未知的，因此開放程度在開放性實驗分類中的層次是最低的，而第三級則是從決定實驗問題到實驗結果都開放給學生決定和進行探究，因此開放程度是最高的。也就是說教學中允許學生自主探究的部分愈多，表示實驗教學活動的開放程度愈高。

鄭麗華(2002)提到老師常因無法回答學生在探究過程中提到的問題而覺得無法勝任探究式教學，因此比較傾向只採用第一或第二級的實驗探究教學。其實老師的困難可能主要來自於教師對教學的觀念，仍是傾向以教師為中心、注重教師的權威性、和知識可灌輸等與建構主義教學觀不同的傳統想法。如果老師能改變觀念，以教師即研究者的觀點，在面對教學實務所遭遇到的困難與問題進行研究和解決，則反而有機會將問題轉化為自我專業上的成長。何況，如果要呼應前述的課程目標，而且做到真正以學生為主體的精神，筆者認為還是儘量採用開放程度較高的第三級開放性探究實驗，比較能達到養成學生科學的思考習慣，和運用科學知識與技能以解決問題的能力。

談到這裡，老師們可能會有個疑問，就是要怎樣去設計一個像 Schwab 所說不是課本的常見的實驗，而又屬於第三級的開放程度，但是卻是可行的實驗項目？從實務上考量，讓學生探究的必須是個難度不高而且沒有危險性的實驗，教師才能安心放手讓學生探究，而且實驗內容要能與上課內容直接相關，並且適合學生的程度，又不需額外增加太多教學時間，如此老師才易於安排和融入原來的教學進度中。其實，老師們所需做的只從現有實驗項目中挑選一些單元改變原有實驗教學方式再加一些巧思即可。以下我們就以國中的浮力單元教學為例，介紹可在一般課堂中進行的一個小型的開放性探究實驗的具體做法，供教師們參考。希望藉此拋磚引玉，讓老師們在自己的教學中能參考採用，甚至可以嘗試模仿，從課本的實驗題材中，找一些適合進行類似改變的單元來設計和實施開放性探究實驗教學。

參、開放式探究實驗的教學活動設計實例：探究影響浮力大小的因素

以下第(一)節將先說明挑選浮力單元來提出實驗教學活動設計實例的動機和背景，然後在第(二)節中介紹我們所設計的可在一般課室進行到浮力單元時實施的第三級開放性實驗教學活動，我們暫且稱它為基本型。最後一節，我們再針對基本型中的教法或教學策略上可做的進一步變化，提出一些具體做法供參考。

(一)選擇浮力單元進行設計的動機和背景

坊間教科書內有關浮力單元的教材，以目前常見的康軒版和南一版為例(均以九十二學年的版本來比較)，兩者教材中的實驗都有一個阿基米得原理的學生分組實驗活動，且實驗器材相似，也都附有詳細的實驗步驟。但是實驗目的敘寫不同：

藉由實驗的操作與觀察，驗證阿基米德原理。(康軒版國二上冊第 72 頁)
探討物體在不同液體中「所減輕的重量」與「排開液體重量」的關係。
(南一版國二下冊第 118 頁)

由上可看出康軒版的設計是屬於驗證式實驗，而南一版的實驗目的因為是採開放性的寫法，所以如果老師讓學生實驗之前不先介紹阿基米得原理和實驗結果，便可以算是 Schwab 所指的第一級開放性探究實驗。此外，康軒版在阿基米得原理實驗活動之前，比南一版多一個比較等重黏土和金屬塊受水浮力作用的情形，和兩個等重黏土塊分別受水和鹽水浮力作用情形的教師示範實驗。康軒版在教師手冊中另外有提供一個替代實驗，使用不同的器材，不過目的仍是驗證阿基米德原理。南一版則是將液體密度和物體沒入液體中的體積對浮力大小的影響之探討放入阿基米得原理實驗中一起進行。不過兩個版本的課本中都列有詳細的實驗步驟，因此都屬於食譜式的實驗，學生能自主探究的程度不高。

根據筆者平時與國中老師接觸的多年經驗，多數老師都表示，浮力單元對一般國中生來說是比較困難的，因此學生學過這個單元之後，雖然做過課本的阿基米得原理實驗，但是對浮力常常還是不太理解。因此，老師多半會再多花些時間進行講解和讓學生演算題目，希望幫助學生理解，但從建構主義的觀點來看，這些教學對學生概念真正理解的幫助是值得存疑的，何況老師也很難用講述或解題的教學方法訓練學生科學探究的能力，以及培養學生的科學素養。國內外也有一些研究顯示學生在浮力方面有不少的迷思概念(misconceptions) 或另有概念(alternative conceptions)，而這些利用一般常見的講述和食譜式實驗進行教學，往往也無法讓學生澄清概念和產生概念改變。因此筆者在一項由國科會經費補助的專題研究計畫中(參見後面文獻)，便挑選以浮力概念為核心進行教學模組和評量工具的發展，希望除了教科書中的實驗與內容，另外提供以建構主義為基礎，強調以學生為主體的一些探究小活動供老師參考採用，來培養學生的科學素養，同時增進學生對浮力概念的理解。

研究計畫中整個教學模組設計是參考 5E (Engage-Explore-Explain-Elaborate-Evaluate) 教學模式。模組的設計除了筆者外，還有多位國中老師參與討論設計或提供修改的建議。設計時為了增加活動的開放探究程度，在該模組中我們便設計了一個 Schwab 所指的第三級開放性探究實驗的教學活動。所完成的教材和評量工具經過三次的試用和修改，總共有兩所不同學校合計共八個班級試用過，結果獲得不錯的成效，因此特別在此提出來，一方面將經驗和心得與大家分享，另一方面也希望就教於更多老師以及學者專家們，並期望引發一些迴響和討論。

(二)「探究影響浮力大小的因素」開放性探究實驗教學活動的實施與建議-基本型

這個開放式探究實驗是前述國科會研究計畫所發展的教學模組「探索神秘的力量」其中的一個教學活動，活動名稱為「浮沉的秘密-浮力大搜查」。進行此活動前，學生從之前的課堂上已經學過實驗的「控制變因」方法，而且感受過浮力，知道浮力的方向和浮力大小等於物體在液體中減輕的重量。此外也做過物體沒入液體的體積和液體的密度會影響浮力的大小之簡單小實驗，所以已經有使用彈簧秤測量重量的經驗。不過，學生還沒學到阿基米得原理。

筆者所謂基本型的開放性探究實驗的教學流程，可簡單表示成圖 1。整個「探討影響浮力大小的因素」實驗活動所需教學時數是設計成三節課，且採合作學習的方式分組上課。這個開放性探究實驗活動的一般教學目標為：

- 1.小組能根據自己對浮力的原有想法提出可能影響浮力大小的因素和實驗假設，然後練習使用控制變因方法規劃實驗流程，並列出所需實驗器材、畫出實驗裝置、列出實驗步驟和設計實驗數據紀錄表。而且能將實驗設計以文字和口語清楚地傳達給老師和其他同學了解。
- 2.小組能合作進行相關的實驗數據測量、紀錄和分析，並完成實驗。
- 3.小組能根據所得實驗數據和分析，提出合理的實驗結論，以及說明實驗假設是否成立和判斷的理由。並且能將實驗過程和結果以文字和口語清楚地傳達給老師和其他同學了解。
- 4.學生能與別人溝通、討論，並尊重別人的想法。
- 5.學生能由實驗和討論中發現和澄清浮力的相關迷思概念。

根據以上的目標，此活動的分段能力指標最主要為「科學與技術認知」的 2-4-1-2：

由情境中，引導學生發現問題、提出解決問題的策略、規劃及設計解決問題的流程，經由觀察、實驗，或種植、搜尋等科學探討的過程獲得資料，做變量與應變量之間相應關係的研判，並對自己的研究成果，做科學性的描述。

其他與這項指標有關的能力指標還有「過程技能」項目中的 1-4-1-2、1-4-2-3、1-4-3-1、1-4-4-1、1-4-4-2、1-4-4-4、1-4-5-1、1-4-5-3、1-4-5-4，「科學與技術認知」的 2-4-1-1 和「思考智能」項目的 6-4-5-1。這些指標的內容與指標階層(hierarchy)關係圖請參考附錄一。另外，其實其他項目之能力指標也有一些是能經由科學探究過程的教學予以逐漸養成，例如「科學本質」中的 3-4-0-1 體會「科學」是經由探究、驗證獲得的知識，與「科學態度」的 5-4-1-1 知道細心的觀察以及嚴謹的思辯，才能獲得可信的知識。

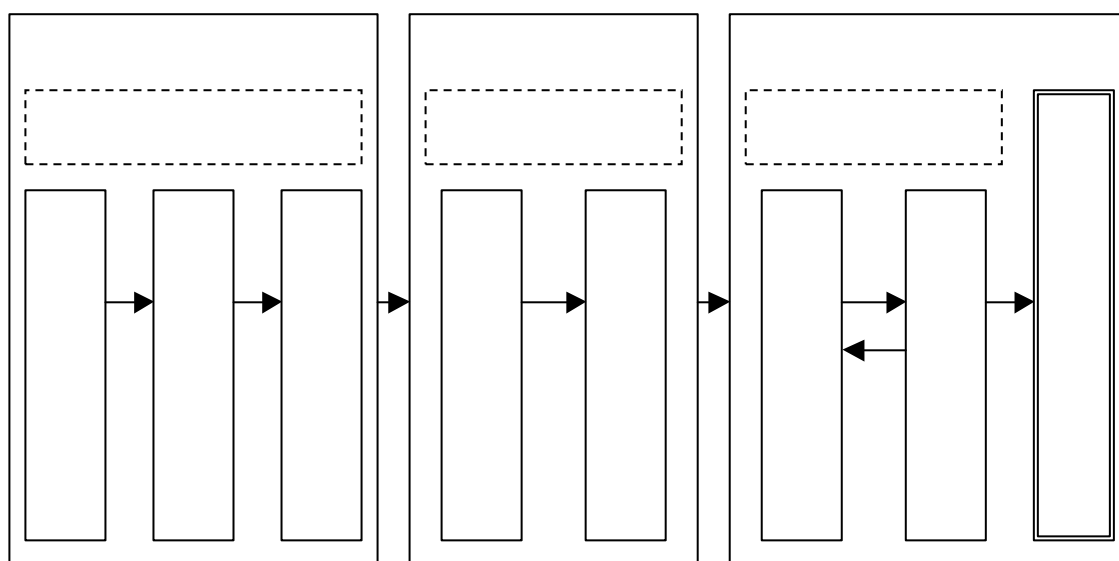


圖 1 基本型的第三級開放探究實驗教學的教學流程簡圖

針對教學目標和能力指標，第一節教學內容主要是學生分組討論設計「探討影響浮力大小的因素」和設計的發表。教師要求學生寫出的實驗設計內容，主要包含提出的實驗假設、列出實驗器材與畫出裝置圖、寫出實驗步驟、畫出實驗數據紀錄表。第二節課則是進行分組實驗，然後分析數據，最後整理和撰寫實驗報告。由於前一節課已經寫過實驗步驟，所以這一節的報告撰寫，主要需完成的是數據分析，以及寫出實驗結論，即需指出實驗假設是否正確。第三節課則是各組對實驗做完整的發表報告和全班做最後的討論以及老師的總結。

活動中的評量採多元評量的精神，因此設計有各式的老師和學生自評或互評用的評量表。各節的教學目標和詳細教學內容與教學資源，包括學習單、含有詳細師生活動內容介紹與教學評量策略建議的教師手冊，以及評量工具等，請見筆者的國科會研究計畫成果報告。不過，教師在參考使用時，實際的教學和評量的做法，應再根據自己的具體教學目標、評量的重點，和要強調的能力指標去作教學上的調整和增刪。例如，若老師想強調控制變因的使用，可另外要求學生列出實驗中的操縱變因、應變變因和控制變因項

目。如果老師想要強調數據紀錄表的設計，則可先和學生對紀錄表的設計和注意事項作簡單的討論。下面再補充說明實際實施時的一些建議。

- 1.如果希望教學時間再縮減，老師可以將學生實驗前的實驗設計發表那一節課再予以省略，並改成小組作業，讓學生利用課外時間討論完成後，直接將實驗設計先交給老師過目。如此的優點是一方面節省一節課堂的時間，而且學生利用課外時間討論設計，小組討論時間可能較為充裕，但是如此一來，一方面老師觀察不到學生的設計過程的組內成員互動情形以及實驗設計是如何產生的，而且由於組與組間的互動機會減少，將會影響到學生的自我省思和探究的學習，不過這個缺點如果老師可以善用合作學習的一些教學策略以及資訊網路的功能，則將有機會予以彌補，做法將在本文的第三節中再說明。另外第二節課的小組分析數據和撰寫報告如果因為學生進行實驗拖延而來不及在課堂上完成，則可以讓學生利用課後時間繼續討論完成，因此不會對原來的教學節數造成影響。
- 2.教師實施這種高度開放性的實驗教學活動時，要確實把握以學生為主體和讓學生自主探究的原則，因此不可主動給學生太多實驗上的意見或提示，即使是在學生停滯不前，主動表示遭遇困難或表示沒有想法而希望老師協助時，教師也要先嘗試以開放提問的方式引導學生去思考，而不要直接告訴學生怎麼作，才能落實開放性實驗和探究式教學的精神，也才能了解學生的真正想法和能力。
- 3.老師要多鼓勵和引導學生互相討論和聆聽同儕之間的不同想法，以及多要求學生進行自我省思並能多鼓勵學生將這些作成筆記。此外，雖然老師在學生設計和實驗過程中盡量不給予明確指導或直接糾正錯誤，多讓學生自己探究和發現，但等最後一節各組發表報告完和全班初步討論結束時，老師除了引導學生作摘記和整理外，還是需要對學生過程中出現的錯誤或不適當處，無論是科學知識上或是實驗設計、實驗結論等方面，再一次的給予提醒和強調。

此實驗活動經過實際試教後，發現學生在第一節提出假設和設計實驗的表現中，多數都能提出實驗假設、規劃出實驗步驟與合適的實驗裝置，並能使用控制變因的方法、設計可用的數據記錄表。不過學生較需加強的部分則是在有規則的改變操縱變因的變化方面。在第二節進行實驗、分析數據和撰寫實驗報告中，發現多數學生在實驗數據的紀錄成表、運用科學名詞以及表達方面，均能有不錯的表現。不過，只有少數學生具備運用科學符號的習慣以及能將數據採用合適的關係圖呈現的能力。第三節課的小組發表實驗與各組提問與討論中，學生則是在根據實驗數據指出實驗假設是否成立的理由說明方面的表現比較需要加強。學生們在發表、討論的過程中，多數都能認真參與和聆聽別組的實驗設計和結果，並從中學習到別人的優點與省思自己可改進之處，少數學生並能針對別組的實驗勇於提出問題或建議。

整體而言，從學生在這三節課的表現，發現此開放性探究實驗的實施，對一般老師而言並不很困難(研究中多數試教老師的教學年資在四年以下)，而且在普通的常態班級實施的可行性也很高，因為我們看到即使在老師給予極少的指引下，雖然有少數組別還是會想依賴老師或課本，但多數小組透過合作學習，都有能力根據自己的想法完成實驗設計、進行實驗和撰寫並發表實驗報告。此外，雖然有些組的實驗設計是有問題的，但整體而言，透過這樣的探究式實驗活動，學生多數不但表示能由自己想做的實驗去發現自己原有想法的錯誤，和聽到各組探討不同的實驗假設所得到的實驗結果，因此覺得對自己的浮力概念學習很有幫助，而且大多數學生也都提出對學習科學興趣和信心的提升、能發現和懂得欣賞別人的優點等正面的評價和感受。詳細的試教結果的分析和討論，請參考筆者 2004 年物理教育學術研討會論文或原來的國科會計畫成果報告。

第三級開放性實驗活動除了前述優點之外，對於迷思概念澄清方面，還有一般食譜式、驗證式或示範式實驗教學，甚至其他開放程度較低的實驗活動與以概念改變教學為主的教學法所沒有的一些優點。首先，老師不需額外花很多節課卻能讓學生有機會聽到較多與自己或同儕所具有的迷思概念的實驗探究結果。而且一般的概念改變教學策略或教學法都只能挑選認為是較多數學生可能有的迷思概念來進行對應的教學，因此對比較少見或特殊的學生另有想法將沒有機會給予澄清，但藉由讓學生自己提出他想探討的實驗問題與假設，將比較有機會照顧到不同學生可能有的不同想法，例如試教班級中有小組是探討液體的溫度是否會影響浮力。此外，從這樣的教學活動中，老師即使不用一般研究中常用的研究法和迷思概念診斷工具，也有機會從實際教學中發現學生迷思概念的類型而逐漸累積對學生迷思概念的了解。

(三)「探究影響浮力大小的因素」開放性探究實驗教學活動的實施與建議-變化型

如果老師有更充裕的教學時間，則可針對第一節的教學再作更進一步的變化和發揮，雖然教學時間會再增加點，但還不至於增加太多教學負荷，可是卻可以讓學生從更多同儕互動的過程中有機會獲得更多的省思和學習，因此所多花的時間應是值得的。以下針對可以在小組進行實驗設計前和在小組上台發表實驗設計前，各介紹兩項做法。

1. 原來各組只是提出一項實驗假設，可改成讓各組先在黑板上列出多項他們所能想到可能影響浮力大小的因素和實驗假設，老師和學生再根據全班列出的項目，協商各組選擇探討其中的一項實驗假設，一方面可讓各組盡量選擇不同的假設，另一方面可避免總是由組內地位比較強勢的學生，例如成績最好的、個性比較主動的學生，在主宰小組所選擇要探討的實驗假設。

- 2.讓學生對自己小組和別組所提出要探討的各項可能影響浮力的因素和假設，先做預測。由於不同學生對同一項因素，可能有不同的預測，因此老師可讓雙方提出自己的理由進行辯駁，如果學生間的辯駁與討論順利，可能有些學生的迷思概念就得到澄清而不必再花時間去作實驗。如此各組的實驗可以盡量選擇那些非得由實驗發現否則難以說服學生的實驗假設上。
- 3.老師可在各組學生完成初步的實驗設計後，讓每兩組學生交換閱讀和討論另一組的實驗設計，並且要求各組寫下自己從另一組設計中所發現到的優點，以及因此想到小組原來設計可以修改或補充的地方，並鼓勵各組對別組的設計提出問題和建議。然後老師讓小組再次修改自己的實驗設計，之後才讓各組上台報告自己的原來設計和修改後的設計。透過這樣組間的互動和討論的過程，學生有機會互相從別組學習到更多，例如文字的表達方式或實驗應該注意的地方等等，一方面加強學生反省思考的能力，而且學生的實驗設計可能的失誤或不足也會減少。這過程可變成課後作業要求小組完成，如教學時間許可，則可讓學生利用課堂上進行討論和分享。
- 4.和上面變化的目的與精神相同，老師可透過資訊網路的功能，要求學生將初步的實驗設計上傳至班級或學校的網頁上公佈給全班看，同樣鼓勵各組學生盡量對別組的設計提出問題和意見。同時也同樣要求各組討論後寫下小組從其他組設計中所看到的優點和因此想到小組原來設計可以加以修改或補充的地方，然後讓小組再次修改自己的實驗設計，之後才讓各組上台發表原來和修改後的設計。

肆、結語

融入教材的小型自由探究實驗不是「mission impossible」！

從以上介紹可用在國中浮力單元教學中的開放性探究實驗設計，可知設計與實施可融入一般課室教學中的小型開放性探究實驗，並非不可能的任務！探究實驗不一定很難或很花時間的，也不一定是要像專題研究或科展的形式，只能從課外尋找題材或做為學生的課外活動。

為了落實九年一貫課程和自然與生活科技領域的課程目標，除了一般的示範式實驗以及驗證式或食譜式的實驗之外，透過本文的介紹和活動設計實例，期望能減低老師們原先的疑慮，而有勇氣在自己的實驗教學中增加學生自主探究的部分，尤其是第三級的開放性探究實驗教學活動。第一步總是比較充滿不安的，但老師們一旦踏出第一步後，將會發現其實不是很困難或是會增加自己和學生很多的負擔，反而會發現原來學生是很有潛力的，而且實驗室中學生們可以是很投入地、很自主地進行探究，而不是一味盲目的操作或隨意吵鬧。

希望以後有更多教師和研究者願意投入這類開放性實驗教學活動的設計並提出來供人參考，相信會對有心培養學生實驗和探究能力的老師們會很有幫助。如果設計實驗對有些平日忙碌的老師們是有困難的，至少老師可以先參考採用別人已經設計出來的實驗活動去實施，例如本文所介紹的以「探究影響浮力大小的因素」為主題的開放性探究實驗教學活動。等有過實際的實施經驗後，再嘗試自己設計比較開放的實驗教學活動。

致謝

首先感謝行政院國家科學委員會科教處對筆者研究計畫 NSC 92-2522-S-018-002 的經費補助。同時，因為文中所提出的「探討影響浮力大小的因素」的活動設計最初來自原研究計畫中筆者與參與計畫的四位國中老師(三光國中江俊明老師、陳明瑜老師，雙十國中的黃平屯老師，以及東勢國中的林淑靜老師)的共同討論和修改，因此藉此機會向他們致謝，感激他們一年多來的參與和協助。最後還要感謝協助教材和評量工具審查的專家們提供修改意見和試用教材與評量工具等的學校、老師和學生們。

參考文獻

- 鄭麗華(2002)。以探究式實驗活動提升國二學生參與實驗活動及過程技能之行動研究。彰化師大碩士論文。
- 陳美玲和王淑琴 (2004)。發展九年一貫自然與生活科技領域教材模組與分段能力指標評量工具：浮力與壓力，國科會專題研究計畫成果報告。
- 陳美玲、王淑琴、林淑靜、黃平屯 (2004)。國二學生設計與進行開放性實驗的表現之個案研究--以探究影響浮力大小的因素為例。中華民國物理教育學研討會發表論文。
- Carin, A. A. & Sund, R. B. (1985). *Teaching Modern Science*. Columbus, OH: Charles E. Merrill Publishing Company.
- National Research Council (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. National Academy Press, Washington, D.C.
- Schwab, J. J. (1962). *The Teaching of Science as Enquiry*. *The Teaching of Science*. Cambridge, MA:Harvard University Press.

附錄一 教學目標中各主要分段能力指標間的階層關係圖(陳美玲和王淑琴, 2004)

