

「2013 魔術師的科學帽」數理資優生校園物理實驗演示

陳育霖^{1,2,*} 劉子綺^{1,3} 高千惠¹ 許宏傑¹ 徐俊龍^{1,4} 丁國財¹ 李孟玲¹

¹ 新北市立永和國民中學

² 國立台灣大學物理系博士

³ 國立臺灣師範大學特殊教育行政碩士班

⁴ 國立臺灣師範大學課程與教學研究所博士班

*通訊作者：d00222019@ntu.edu.tw

(投稿日期：民國 103 年 01 月 03 日，修訂日期：103 年 02 月 11 日，接受日期：103 年 02 月 24 日)

摘要：本研究以「2013 魔術師的科學帽」為主題，透過一年半基礎實驗能力培養、與學習者溝通討論選擇有趣並且有意義的實驗演示內容及演練演示與解說技巧，激發學習者勇於挑戰學習更高深物理知識的潛質，並且促進學習者繼續探究科學的興趣與能力。

關鍵詞：課堂翻轉、學習共同體、多元評量

壹、前言

國中數理資優班學生在校園當中為其他班級同學做物理演示實驗，一邊進行物理概念陳述解說。實驗及演示內容全程攝影、錄影紀錄並剪輯，上傳到網際網路上(YouTube 實驗頻道)，公開與更多大眾參觀分享。實驗演示進行過程中，學習解說並且製作實驗架構者，是最大學習受益者，對於激發學習興趣與學習效率成效極佳。正好符合二十一世紀的資優教育，鼓勵資優者勇於建立自信與發揮自我特質(WCGTC, 2007)。同時知識管理觀點的研究發現，人力資源是社會的公共

財(public goods)(Liebowitz 2001)。

貳、設計與實施理念

為了瞭解學習者的學習歷程並評估教學成效，多元評量(multiple assessment)的理念與方法在教育部民國八十七年九月三十日公布的「國民教育階段九年一貫課程總綱綱要」中就曾提及評鑑方法應採多元化方式實施。面對教育改革，教師紛紛希望能夠真正達成有效教學的同時，多元評量的各種可能形式，都是教師用來了解(或者說是「量測」)學習者的重要工具。

建構主義(Constructivism)在傳統師授生

學的習慣上給了教育工作者重要的提醒，學習者的知識是經由舊有概念或從小累積的經驗與新學的概念做結合轉換而得來。常常也是科學教育者期待能夠有效進行教學工作的基本信念，在科學與科學教育領域很早就成為重要的主流思想之一(AAAS, 1993)，因為學習者探究新知的過程，正好與科學社群研究摸索未知知識的歷程對應相合。愛因斯坦(Albert Einstein)曾經說過「無法簡單說明就表示瞭解不夠透徹」(If you can't explain it simply, you don't understand it well enough)。二十世紀知名理論物理學家理查費曼(Richard P. Feynman)更具體要求，針對一個物理概念，能夠舉三個有意義的(non-trivial)不同例子來說明，才表示真的瞭解。

「以學生學習為中心的教學(learner-centered teaching)」的想法由1996年Nolan的發現可以看出成效。學生學著去教會別人的同時，學習效率可以高達95%，其次是學習者親身體驗，學習效率可以達80%，透過與他人討論，學習效率還是有70%(Nolan 1996)。Fink的教學改善模式(Teaching Improvement Model)則強調學習者在獲得外在的訊息(Information)與想法(Ideas)之後需要透過兩個主要的內化過程來達成學習改變，分別是親身經驗(Experiences)－實作、觀察，模擬真實情形與內心反映(Reflection)－與同儕一起體會什麼是學習與如何學習(L. D. Fink 2003)。近年來，課堂翻轉(flipped classroom)與學習共同體(learning community)想要體現的正是這樣的精神，課堂中教師角色的改變，也由教學轉成幫助學生學習，由傳達課程內容變成揭示學習方法。

參、展演活動設計理念

活動設計理念主要來自於筆者在台大物

理系受教育期間，陳卓老師雖然身為理論物理學家，每回上課總是在一連串物理理論與數學符號之後，不忘補上一句「提個真實可行的物理圖像來聽聽看」，用來幫助學生反思並確定自己的物理概念是不是足夠清晰。蔡定平老師也在實驗室開會看數據的時候，時時提醒學生「實驗結果才是最真實的，因為那是上帝給的」。自己再多的猜想都不是真實結果。讓我們相信，傳授物理的真實以及觀察物理真實的方式才是物理教學最重要的核心之一。

2005世界物理年，筆者擔任物理演示實驗解說員，參加解說員訓練期間，有幸全程見識到台灣物理界先進陳秋民、孫維新、房漢彬、周建和、周鑑恆等老師，真正讓人眼睛為之一亮又新奇的大師級物理演示活動，除了學習做好展場解說員工作，最後發現其實講者自己才是最大的受益者，除了學會新的物理演示技術，還能夠好好重新檢視自己舊有的物理概念，是否完整正確。

精心特意設計過的物理科學演示活動，可以讓「發現物理真實」這樣的過程，確實且深刻地引發觀眾天生的好奇心與求知欲望，除了可以幫助學習者產生學習興趣與動機，並且能夠真正學會許多重要概念，這過程提供課本沒辦法延伸的角度和思考層次。所以許多有價值的科學演示實驗設計，即使是已經受過許多訓練的專家看來，都能夠有耳目一新的暢快感受。

關於學生要自己做物理演示講師，既是上台表演，學生的學習培養過程則是依循知名管樂團指揮家葉樹涵的教育理念。葉樹涵老師基於多年的藝術表演經驗，認為一個好的管樂團訓練，指揮者必須要有遠見，有耐心與自信，所以應該「Prepare the band, not prepare the concert!」時時刻刻把整個樂團的實力提升準備好，而不是單純針對某一次的

演奏會曲目做準備，這樣才能夠使樂團時時有好的臨場演出水準，同時也才是真正培養學生的各方面能力。

平時學生並不特別針對即將進行的物理演示實驗加以訓練，而是以其它物理實驗來培養基本的動手操作、分析與物理進階知識的學習。同齡的同學做實驗並且做解說，比起老師做實驗雖然需要更多的訓練，但是讓現場的學生觀眾較容易信服，如果自己願意，應該也可以做到，並且學習解說的學生，也是科學知識與實驗技術最大收穫者。

整體課程進行方式相當類似麻省理工學院(MIT, Massachusetts Institute of Technology)機械工程系源自 1970 年代國際知名的大學部課程，課號 2.007「設計與製造課程一」(Design and Manufacturing I)(Frey & Gossard, 2009)。先鋪陳基礎知識與技術，再進行期末實作測驗總驗收。

演示實驗內容的選擇，則是由學生與老師共同討論。基於中學生想到要發展的實驗，常常都與爆炸、噴火等特效相關聯，教師常常必須導引學生往其它方向思考或研究進行周全的安全措施。今年的演示活動由許多先進的發想改進而來，詳細表列在表 1 當中。

肆、預期目標與流程

期望達成以學生學習為中心的教學活動，分四個步驟進行課程設計：

步驟(一)依據學生的能力、預計學習的內容、最關心的事項來進行課程計劃。

步驟(二)了解學生的起點行為、可能的學習動機。

步驟(三)互動學習，學生透過預先設計好的實習實驗進程發現、討論、學習、歸納，實地動手完成實驗。

表 1：2013 魔術師的科學帽物理演示實驗

演示名稱	實際傳達物理內涵
多多火焰槍	酒精氣爆
共振吧！神奇的蛇擺	單擺頻率等差排列
跳動的聲音	二維橡皮膜共振模態
一點都不冰的冰	醋酸鈉過飽和
一飛衝天	交/直流電電解水
色素賽跑	色層分析
水會燃燒？	丁烷密度大於空氣
迴力鏢	厚紙板邊界層流體力學現象
「水」鏡	轆轤造成棕櫚油拋物面鏡
力學能守恆	秤錘單擺的最大高度觀察
激光傳聲	雷射與太陽能板光通訊

步驟(四)多元評量，與教師討論實驗主題的可行性與物理內涵，自己實作實驗，對其他不認識的同學進行演示與解說物理實驗與理論。

透過學習者自己表達科學概念希望能夠達成：

- (1)利用多元評量形式，評估學習者學習狀況；
- (2)表達溝通能力的訓練；
- (3)動手製作訓練實驗能力；
- (4)策展能力。

進行流程為：

- (1)專題研究訓練基本實驗技能；
- (2)與學生溝通選擇實驗；
- (3)嘗試實驗流程；
- (4)演練演示與解說技巧。

學生要進行的演示實驗，幾乎所有的實驗器材都由學生自己學習製作並組裝完成。熱熔槍、焊錫技術、電路、木架製作、鑽孔。實驗內容設計是與教師討論，具備物理重要性，且不容易在中學課堂內傳達的知識理論，所以學生並不能夠為了吸引路過同學，作些爆炸或危險的實驗。

課程實施是利用數理資優班每週兩節專題研究課程時間，每週完成一個實驗進度。從最基本的數據分析統計計算方法、繪圖表整理技術、最小方差法、力學、光學、熱學、電磁學、天文物理到分析化學等實驗。以個人或小組為單位進行實驗，鼓勵學生互相討論(由於實驗課程步驟事先經過設想，老師多數時候不進行提示)，必須找到關鍵影響因素讓實驗成功，並且當天能夠完整整理寫成書面向老師與同學說明簡報，才算完成一次實驗，由於是最後兩節課，到天黑才完成實驗是常見的狀況。為期一年半的實驗課程內容依難度分三階段，多數都是動手實驗，依次增加難度與要求標準。教師的課程設計與麻

省理工學院機械系課程安排一樣需要先有一個完整的邏輯連續性並且設定清楚的教學目標與脈絡，但是最後的演示實驗要發揮在什麼樣的主題上，雖然都是用來評量學生的學習狀況，MIT 是由教師決定主題，學生依共同的目標展現不同的創意和實力，本課程則是由學生提出與老師和同儕討論研究可行性，進行演示實驗準備同時一邊討論、修改，課堂翻轉與學習共同體的特性較為明顯，同時學生在研究學習過程中還能產出科展研究題目，參加科展競賽或為自己將來的科展題目奠定前期的研究基礎或訓練自己科學競賽技巧。

實施結果發現，學生經由互相討論突破實驗瓶頸的歷程當中，由於每一個實驗都要求學生能夠獨立完成，向同學報告說明原因，並且記錄整理實驗數據、實驗參數與科學理論，確實可以看出學生在成績與理論運思之外的其他能力。課程進行過程觀察發現，學生在面對問題的時候，共分成三種類型：首先，動手能力極佳，相信理論，但是心中沒有理論可以支持如何往下一步前進。其次，理論佳、善推導又超前學習，動手操作能力不佳。第三種是實驗能力好，一知半解，但是討論積極。

第一種類型的數理資優學生除非有課本教科書或權威者提供理論基礎，否則絕對不擅自亂嘗試，然而許多實驗雖然課本都有記載基本原理，但是不同的物理尺度層級，會有相當不同的物理參數甚至遵循完全不同的物理定律(Anderson 1972)，沒有經過實驗很難發現真正的規律，凡是需要自己動手才能夠得到好的實驗結論，學生還是會努力達成目標，只是通常速度較慢。這正是這一系列實驗課程設計最初的目的，希望所設計的實驗能夠提升學生探究自然的能力與興趣，所以一來實驗設計需要有趣，二則不能夠讓學

生直接利用課本公式就推算出實驗的參數。第二種類型學生相信自己的知識能力，先推導可能的理論公式，相信一定有標準答案，縱使平時成績表現較好，一般來說最常向老師探求解決方案，也最容易卡在關鍵步驟，並且容易放棄，需要更多的鼓勵或者轉換挫折的情境，完成速度反而最慢。第三種類型，知道的理論最少，但是動手實驗的能力佳，可以較早見到實驗先期的可能結果，樂於和同學討論下一步，通常最快能夠拼湊出實驗理論以及完成實驗結果。推測可能是實驗的成就感帶來的自信，加上部分完成的實驗成果能夠為學生帶來判斷真相的覺察能力，因為線索較為齊全，比較容易快速理出頭緒來想像科學真像是什麼。因此能夠凸顯實驗能力培養的課程目的。

透過課程，訓練學生動手實驗能力確是達成目標，因為每一個課程當中，學生幾乎都必須先認真做好每一個步驟的實驗，才能在實驗歷程當中，透過與同儕比較、討論探究出背後的原理與規律。但是對於過度依賴理論與習慣傳統教學方式的學生而言，反而需要更多的鼓勵和激發，讓學生能夠充滿自信並且勇敢地動手完成實驗、看出規則與真相，否則學生做到一半想放棄的情形會常常發生，尤其是平時考試成績表現越優秀的學生越容易出現類似的情形，另外則是資優班當中超前學習的學生會難以接受或者由於找不到標準答案而感到沮喪。為了讓學生能夠保持高度的學習興致，針對學生特性來安排實驗的內容與方向變得非常重要，有些實驗重視細心，有些實驗需要大方放棄細節，有些實驗需要互相合作，有些實驗需要繁複的公式推導歷程來協助，有些實驗需要生活常識和技巧，除了能夠維持學習熱情，還能夠發掘學習者多元的學習能力與天份，設想的多元性越高，更能夠在許多意想不到的地

方，看見學生驚人的創意或發揮。設計課程的時候考量面向可以很多，但是原先要訓練學生的整體概念還是最高原則。此外，教師須注意要能夠十分清楚正確的實驗邏輯發展順序，適時幫助學生整理歸納已知與未知和猜想的部份，引導並且時時提醒學生回到原先安排好或者應該進行的邏輯方向上，才能夠達到有效教學的目的。

課程最後階段則是進行科學演示活動。這個評量活動不需要教師的考試卷，下課時間經過駐足參觀同學的關注眼神與好奇程度就是最直接的評分者，他們通常很自然地表現出聽懂或者不懂，解說並演示的資優班學生必須運用清楚簡潔的表達方式，讓這些觀眾能夠意會這些科學內涵，成績就打在每個資優生的心裡。由於每個實驗都刻意安排演示兩次，從資優生想方設法改進第二次演示或向老師尋求協助修正的建議，不難看出學習者內在追求自我實現的歷程以及課程是否達成預期目標，附圖當中參觀同學的表情顯示演示成果相當好。此外，資優生也因此有機會能夠服務其他同學，將自己的才能貢獻社會。與以往專題研究的簡報發表形式比起來，學生多了自我激勵的熱情。對象從資優班同儕擴大到一般同學，學生需要對所有細節透徹了解，保證能夠把實驗作好並且使用最清楚的語言邏輯解釋所有內容，同時要應對現場觀眾所有可能冒出來的問題，對科學概念不能有任何含糊不清。資優生透過解說傳達知識來修正自己認知建構的科學概念，教師則不斷從旁以前述愛因斯坦及費曼觀點檢視傳達內容及解說方式，幫助學生建立一套針對自我學習成效進行評估的方法，資優生看起來像是協助他人學習，最終成為最大受益者。

每一個科學展演活動都進行錄影及相片紀錄，內容全部經過剪輯、整理，影片傳上

YouTube(參考文獻 5)，利用雲端資料庫讓數理資優班教師可以快速交換、研討、分析資料，擬定並檢討教學策略。同時能夠讓次一年級的學生了解課程實施狀況，並且能夠讓其他校內或他校學生甚至世界各地有興趣的網友能夠一起分享科學之美。資優班學生同時寫了一篇名為“致我們永不遺忘的青春~2013 魔術師的科學帽”網誌當作活動後記(蔡鎮丞 2013)。

伍、結論

讓資優生去向其他班同學做實驗演示並且想盡辦法解說清楚，原本就是一個多元評量的形式與過程，尤其是解說實驗的資優學生的熱情會感染其他來圍觀的同齡同學。

實驗演示進行過程中，學習解說並且製作實驗架構者，是最大學習受益者，學生的基本操作能力大幅度提升，像是每一位學生焊電路板與太陽能板的速度及技術都有相當水準，能夠定下心來面對未曾學過的物理實驗器材，想辦法操作或修好它；九年級之後電子學單元的學習興趣、成績與實驗技術明顯超前其他未受過理化專題訓練的資優班同學。

另外，試圖去告訴路過同學自己做的物理實驗室非常有趣，並且充滿物理內涵，這樣的過程本身就是一個相當能夠激勵學生學習的多元評量形式，也確實達成以學生學習為中心的教學活動，同時呼應了課堂翻轉(flipped classroom)與學習共同體(learning community)的學習思潮。我們相信多數人對於週遭自然現象都有與生俱來的興趣，只是漸漸長大之後，慢慢被遺忘，這些學生喚醒了圍觀同學、老師、主任、校長的好奇心，在每一次的下課短短實驗中，大家一起共享了這個大自然的奧秘是非常愉快的過程。

誌謝

特別感謝台南佳興國中陳坤龍老師的協助與國立中央大學物理系朱慶琪教授在2013年物理教育年會上的專業指導以及新北市立永和國中校長及行政人員的全力協助。

參考文獻

1. 「新北市立永和國中數理資優班網路教室」, <http://giftedyh.pixnet.net/blog>
2. 「2013 魔術師的科學帽」, 新北市立永和國中數理資優班科學實驗頻道, <http://www.youtube.com/user/giftedyh>
3. 「冒牌自然老師」, <http://chendaneyl.blogspot.tw/>
4. 蔡鎮丞, “致我們永不遺忘的青春~2013 魔術師的科學帽 -- 後記”, (2013) <http://giftedyh.pixnet.net/blog/post/238168205>
5. American Association for the Advancement of Science, (1993), “*Benchmarks for science literacy*”, New York: Oxford University Press.
6. Anderson, P. W., (1972), “More Is Different”, *Science*, 177, pp. 393-396.
7. Fink, L. D., (2003), “*Creating Significant Learning Experiences: An Integrated Approach to Designing College Courses*”, New York, Jossey-Bass Press.
8. Frey, D. & Gossard, D., (2009), 2.007 Design and Manufacturing I, Mechanical Engineering, MIT OpenCourseWare, Spring. <http://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-007-design-and-manufacturing-i-spring-2009/>

9. Liebowitz, J., (2001), “Knowledge management and its link to artificial intelligence”, *Expert Systems with Applications*, 20, pp. 1-6.
10. Nolan, J. F., (1996), An evaluation of the professional development system, master clinical teacher project. *Presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, New York.*
11. WCGTC World Conference, (2007), World Council for Gifted and Talented Children.

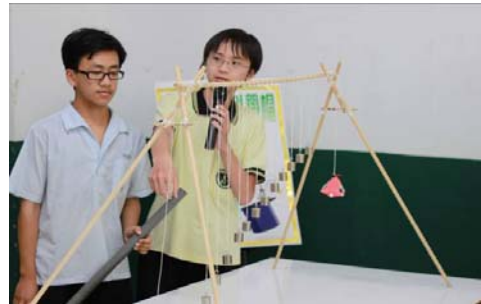


圖 1：學生解說自製的蛇擺實驗。



圖 2：學生解說自製的聲學的李沙傑曲線實驗。



圖 3：學生解說並試圖證明丁烷的密度大於空氣。



圖 4：學生解說氣態酒精氣爆的威力，校長第一個示範。



圖 5：學生解說利用拉胚用的轉輪製造拋物面鏡的放大虛像。



圖 6：學生解說利用過飽和醋酸鈉結晶。



圖 7：學生在實驗室研究最佳的溫度條件與醋酸鈉結晶的關係



圖 8：學生在實驗室試著解決直流電泳產生氫氣與氧氣時電極老化的問題



圖 9 學生在實驗室拆回收箱裡找到的收音機，取得需要的放大器



圖 10 學生在實驗室調整自製的蛇擺擺長



圖 11 學生在實驗室研究光通訊的組成元件



圖 12 學生在實驗室調整轉輪

“2013 Magic Hat of Science”-Gifted Students’ Physics Demonstration on Campus

Yu Lim Chen^{1,2,*}, Zi Qi Liu^{1,3}, Chien Hui Kao¹, Hung Chieh Hsu¹,
Chun Lung Hsu^{1,4}, Kuo Tsai Ding¹, Meng Ling Li¹

¹New Taipei Municipal Yong He Junior High School

²Department of Physics, National Taiwan University

³Department of Special Education, National Taiwan Normal University

⁴Graduate Institute of Curriculum and Instruction, National Taiwan Normal University

*Corresponding author: d00222019@ntu.edu.tw

Abstract

In this study, the “2013 Magic Hat of Science” as the theme, through a long-term experimental ability training and interactive learning, science gifted student are courage and inspired to conduct interesting and meaningful demonstrations in physics for general students on campus. The science exhibition can promote learners and audience to study more advanced physics and explore their science potential.

Key words: Flipped classroom, Learning community, Multiple assessment

