



## 街頭物理：動手做讓物理動起來

文/周建和

深信大自然中存在著某些規律，許多人窮一生想要去接近它，從遠古、現在到未來，在所知道的世紀裡，學物理的人有幸在某個向度對大自然多點認識。跟隨著時間的水流，遵循著進化的規律。雖然所知顯得如此的渺小，每個人也曾都會想過，把那總算是一種的感覺和人分享。街頭物理就是在這樣的想法下開始的。讓我們隨著具體的操作，試著邀請您的學生或親友，一起分享思考物理的愉悅。



照片1 高雄師範大學物理系同學在高雄市文化中心假日藝術廣場設攤的「街頭物理」，4年級同學事先設計教案測試實驗，3年級同學接受培訓後執行活動當關主（穿背心後面坐著監視者），2年級同學當助手見習（穿背心面對鏡頭民眾者），1年級同學到處湊熱鬧跟著看（旗幟旁背被包被對鏡頭者，現在她是宜蘭某國中的理化老師）。

## 緣起

打從帶著高雄師範大學物理系的同學在街道旁、公園內設攤即席實驗與民眾分享開始(照片1),「街頭物理」有幸成為物理教育親和化的代名詞,物理也不再限於只是學校裡師生才能談論的話題。無形中,物理觸角開始伸入一般的民間社團中,包括:鄉公所、農會、社教站、社區發展協會、里長辦公室、文化局、國稅局等等公部門或民間社區組織。普賢寺、慈濟媽媽、教會、創價協會、資優協會、智能遲緩協會、過動兒協會、救國團、中輟生觀護所特殊學校、外籍新娘、仁愛之家長青族、彭婉如基金課後老師等等特殊團體或組織。民宿渡假村、百貨公司、建設公司、傳播公司、顧問公司、廣播電台、扶輪社獅子會、神腦及永豐餘文教基金會等等商業機構或半商業氣息單位。曾幾何時,物理悄悄地翻過了高牆走入人群中,增加了不少人們與物理接觸的機會與場合<sup>1</sup>(照片2)。



照片2 高雄市百貨公司前的假日街頭物理秀,台上是2位大三同學,正在把物理當魔術表演,民眾看完表演,可以在旁邊攤位自己動手做做看。

物理系學生的系學會在街頭物理開始一年後,覺得以專長發展社團很有看頭,越來越好玩,就主動成立科學教育組,每年編列預算安排專責人員。從此物理系的新鮮人,入學前就知道街頭物理,甚至有人是因為街頭物理才進高師大物理系就讀的。由此,看得

周建和

國立高雄師範大學物理系

E-mail: t1620@nknuc.nknu.edu.tw

出這群年輕人眼睛很銳利,想著讓街頭物理變成傳承。一直到現在,附近的中小學校慶活動,或假期育樂營,偶而會聯絡他們規劃科學活動。也會有公關找上門,安排他們像偶像歌星一樣,假日在百貨公司迴廊的舞台來場物理秀,這些機會無形中又成為了一次次的物理親善大使。由於學生民眾反映出極高的接受度,讓學校裡其他服務社團與物理系系學會學教育組交流頻繁,經常在文教社服活動中安排科學的節目。期間學生也曾幾次被邀請去擔任南部、及高雄縣市大型跨校社團交流活動,擔任社團的典範或重要交流媒介。

從學生方面看到科普推展效果發酵,只是Adept實驗室街頭物理豐年祭多面向中的一项。長久以來,藉著Adept實驗室參與的研習或演講場合,各地的一些老師會把簡單器材所組成的動手作實驗、以及伴隨引發的教學觀念回到他們的課室,在教學上嘗試著進行一些改變,期望讓學生學習物理的環境變得更好,這是街頭物理回到學校教育,效果擴散最有效的主流路線。從幼兒園遊戲教學活動、中小學自然科教學、到大學的科學通識教育、與基礎科學改進計畫,實驗室持續地把街頭物理開發出的軟硬體應用教學中,也都能看到發揮不錯的效果。以最近發展為例,高雄師大校方想要開始推展系列的服務學習課程,順理成章地就指派實驗室當前鋒部隊,實驗室下學期將要開一門課,叫做「服務學習」,以前這門課都是教育學院的專家們開的,他們通常認為別的學院是門外漢。話說回來,從課程名稱上完全看不出任何物理味道,實質內容卻有一半以上的時間在談論物理,回歸生活的物理學習就應該如此。修課學生會來自各學院各系,物理可用來達到服務學習的目的。……一路走來,不容易想像的驚喜事情陸續地發生中。

## 年輕人,物理需要你

如何吸引更多優秀的人才投入物理的行列,讓科學發展的腳步會比較快的,各大學的物理系都會如此期望。即使不是物理系的學生,如果能讓他們對物理多一點點了解,多些興趣,將來出了社會在各行各業

上的表現，或多或少物理的學習經驗，或許在專業知識，或許在解決問題的思路及方法，肯定會有所助益，甚至因此出現更多的創意。如果有機會在老板、民意代表、或達官顯要留下友善物理的印象，無形中他們做出重要決策時，物理的經驗可能會有許多正面的影響力。

2005年是愛因斯坦先生重要發現百年紀念的世界物理年，全球各地陸續舉行許多盛大的紀念會。在國內也不落人後，許多物理學者主動走出研究室及實驗室，透過一場接一場的演講或各類型活動，用著中學生能夠接受的語言，引導中學生認識物理的各種面貌。2年後的今天熱烈的氣氛繼續延燒著，台北市立教育大學戴明鳳教授一本熱情洋溢的風格，主動申請專案計畫號召各校教授一起參與，中華民國物理學會領導的「2007年與中學生暢談物理」活動，安排高達50場的高中生物理演講活動。不約而同地，以推廣大眾通俗科學教育、提高全民科學水準為任務的國立台灣科學教育館，也同時推出，以“吳大猷科普叢書”優良著作之作者現身說法推廣科學普及教育、和以推廣“趣味科學”為主題的兩項科普演講。前者以高中職為申請對象，後者以社教站為申請對象。兩項總計71場演講，由於社教站多與附近的高中職合作，加上講員一半以上來自物理系，所以今年物理學界與高中職學生面對面的機會比2005年世界物理年還來得頻繁。Adept-實驗室也因此增添許多與中學生結緣的機會，實驗室的演講安排，多以簡單器材設計即席動手做實驗為主，再配合不同的情境融入物理話題中，包括講者主控的互動性實驗演示，以及聽眾親自體驗的操作。這些實驗都經過現場因素控制、運作方式安排等的試驗與考量，保證在場學生操作幾分鐘內完成，80%以上實驗成功感受到現象與結果。單項實驗材料5元以下，完全不會有經費來源的負擔，即使想要在2000人以上的大型演講，除了讓全場同學看到實驗操作與現象外，也都一定安排每位聽眾在自己座位上的親自操作。多場演講聽眾的回饋與反應顯示，這些具有低花費、高互動性、效果佳等特質的物理動手做，的確做到了能夠提高學生學習的興趣、能夠讓

學生認同物理教育親和化。「廉價的器材隨手可得，卻明白顯示物理內涵」，這是參加過的人共同的感言。

#### 體驗科學的奧妙：

順著實驗室的特質，演講的目的設定為：克服一般人對物理的恐懼，提高學習物理興趣，感受物理世界的美妙與奧秘，落實物理學習生活化、幫助同學拓展視野、提昇科技素養。所以我們會以街頭物理的經驗，準備一些普通教室可以進行的簡單實驗，期望讓同學達到以下目標：

1. 由生活現象的體驗增進物理概念與規律的瞭解。
2. 由科學實作結合物理與日常生活的應用。
3. 培養科學實作技能與科學探究能力。
4. 培養科學知識的反思、統合與創新能力。

演講的開場很重要，許多人聚在一起，準備共同思考物理問題，這是千載難逢，多麼難得的機會與恩寵，可是偏偏情況是有點棘手的。在這種全校週會類似的演講場合，除非是偶像歌星、明星作家、或者高知名度的人物，通常學生還沒進門，就早已抱定要好好休息或睡覺的打算了。對於他們之中的每一個人，你一生也許就只有這麼一次的機會碰面，怎麼可以讓它就這樣流失。所以演講開始，一定就要能夠讓他們認同有趣、有用、不會遙不可及，進而讓他們感覺短暫的分心就可能錯失了甚麼，然後順著捨不得離開的情緒，很多聽眾短時間內下決定整場全心參與。

基於以上的考量，我們經常會在開場前段，安排一些讓人有印象深刻的操作與話題；像「新詩與空中水母」、「吹箭敲門人瑪莉史密斯」等，這些單元最難能可貴的賣點，是能夠融合人文的關懷，讓聽眾輕鬆感受周遭事物的自然法則。而且在操作上的設計，必須把學到的靜電原理和牛頓力學實際拿來好好用一用，學生會看到他們體會辛苦學物理不只是學來計算題目而已，巧妙地運用物理原理，就能做到原先以為很難達到的結果。

此外，科學魔術是最容易交到聽眾手上動手做，科學魔術本身蘊含高懸疑性，會輕易引人好奇想去操

作和探索。聽眾除了想學來玩以外，還可以在短暫時間裡，讓他們體驗科學探究的架構。探究是人類天生的基本能力（照片3），心理學家的研究結果顯示，2個月的嬰兒就顯示出具有辨識、比較、和推論等探索基本能力。探究能力的表現不只限於科學的領域，它是事事推動的基本架構。再說，重要物理定律的發現過程本身就是跨越時空的大型探究結果。如果遇上百人以下的場合，就安排人手一個如「魔戒套環」器材。至於碰到大型的場合，可以每一個人一張用過的紙做「念力蟋蟀」的活動（事先聯絡主辦單位請學生自己帶，就能節省花發放的時間）。通常這類清楚簡單的探究活動，從觀察引起好奇，到找出祕訣操作成功，進入探究，嘗到探究結果的果實，10幾分鐘內可以完成，不過要事先與主辦單位合作，從聽眾操作與致上，恢復回到安靜的聽講狀態需要費一番功夫的。接下來把前面提到的簡易動手做一一介紹<sup>2</sup>：



照片3 探究是與生俱來的本能，假日街頭物理活動裡處處可見證。

#### 「新詩與空中水母」

說明：運用靜電感應的原理，可以輕易地將一段普通膠繩變成章魚，張牙舞爪相當可愛，會主動地與你親切握手，甚至與你親臉。進一步再利用同性電相斥的原理，章魚會變成了空中優雅地飛舞中的水母，還會喜歡咬人。以上這兩個靜電實驗不只很好玩，不少人看到會當場瞬間愣在那邊。

簡單的科學原理，居然能夠讓塑膠繩交織成美麗

新生命，科學的美是許多科學革命的原動力。同為詩人的物理界學者曾經創作了一首新詩「花」，描述學生操作水母的情形。以後每次演示這個實驗時，我就會介紹這首詩，聽說那位新詩作者受邀演講新詩的創作時，也經常用物理操作來襯托，科學與人文關懷之間的關係密切由此可看到。由於靜電本來就不容易控制，這個操作有點難度，須正確充分運用靜電原理才能順利操作成功。所以自己操作成功沒問題，至於給同學做則得視各種配合條件而定。



照片4 膠繩因靜電排斥狀似章魚。



照片5 塑膠繩像水母一樣飄揚飛舞，中學生陶醉在快樂的操作中。

操作步驟：

1. 約1cm×20 cm 膠繩一頭打結，然後從旁邊撕成5-15條絲狀，平放在絕緣面的桌子上，用面紙或布摩擦讓它帶電。用手抓住其中一絲提起，膠繩會因靜電排斥狀似章魚，如果用手指靠近，章魚腳會與你握手。（照片4）

- 另備長條氣球打脹後摩擦帶電，再將膠繩拋向空中，利用氣球與繩的靜電排斥使其變成空中跳舞的水母。(照片5)

#### 「吹箭敲門人瑪莉史密斯」

說明：一位從小愛看書的可愛小女孩，參加過公園的街頭物理活動玩過吸管吹箭，回去後請她的老師展轉送到實驗室的一本繪本。繪本敘述著一個真實的故事，買不起鬧鐘的時代裡，一件像郵差一樣的工作，看起來簡單但是很重要的工作。聰明瑪莉史密斯受雇，使用豌豆與橡膠管，用吹箭方式來叫醒人家(註：三之三出版社網頁可以找到圖畫及內容)。通常我會利用十幾分鐘培養氣氛講完故事後，現場要求學生用吸管進行吹箭操作，剛開始一定吹不到2公尺，陸陸續續運用牛頓運動定律改進後，即使室外逆風也可以射到30公尺以上(照片6)。

記得一次南部某高中的演講裡，先徵詢同學志願操作，接著要求同學必須射到講台正對面的二樓看台，然後就開放同學提出辦法。有一位同學俏皮的說，直接連接吸管長到連接講台和看台就可以做到了，估計時間還夠用後我真的讓他們製作當場試驗，十幾個大男生興致勃勃地接好吸管，排成一長串扛著長長的吸管，在眾人期待下奮力一吹，然後……。他們知道他們正在討論物理，感覺就像平常生活中，如此自然。



照片6 吸管吹箭老少咸宜，老爸會搶著做。

操作步驟：

- 將小吸管穿進中吸管中，吹氣將小吸管射出。
- 將小吸管一端塞衛生紙後，再吹一次。
- 中吸管接成長管，再吹一次。繼續其他改良。

#### 「魔戒套環」、「念力蟋蟀」

說明：如果聽到你說魔術騙人，魔術師會用堅定及嚴肅的口氣回答你：「魔術都是真的」。的確，魔術吸引人的地方是你看不到其中一部份的真相，所以會覺得不可思議。熟練的手法，精心設計的道具都是達到錯誤引導的慣用方式。至於科學原理的運用則是上乘的魔術方式，隱藏在操作中的科學導致你沒想到，或者沒注意到，所以認定是魔術。科學裡豐富的探究內涵，會讓魔術神奇起來，說不定普通物理是魔術師的必修課程，沒想到吧。曾經就有一次，實驗室的課堂上來了一位職業的魔術師當學生，整整修了一學期的課，才過1年，課堂上討論內容就被換了面貌，變成一本物理動手做的科普書。別人告訴我才警覺到，我們這樣互相消遣安慰，有人會拿去用表示價值高。

市面上幾十塊的「魔戒套環」，實驗室找到單價才2塊多的材料來源，這是實驗室一貫的任務，壓低花費容易普及。當聽眾不多時，每人送1個讓他們親自操作到，聽完演講魔戒又有保存的價值，回去做給親朋好友看。其實在文具店找到大小不同的鐵環與鐵鍊，試驗後也可以用。

操作時用指頭張掛鐵鍊垂下，鐵環由底部套住鐵鍊上提，放手後鐵環應該掉落地面，妙就妙在它會自動打結掛住。這個魔術操作中手法、道具、科學，三種方式都用到，因為設計巧妙(運用碰撞與旋轉的理論)，一般人很快能學會。過程中會讓你注意到幾何、旋轉與碰撞等概念。尤其是等你探究清楚後，功夫就越厲害，穩定性極高，連繩子取代鐵鍊也可以。

「魔戒套環」操作步驟：

- 手指自然捲曲微微握拳在掌心，食指拇指伸出掛住鐵鍊，鐵鍊自然下垂。
- 另一手持鐵環由底部套住鐵鍊移至上方，然後放手

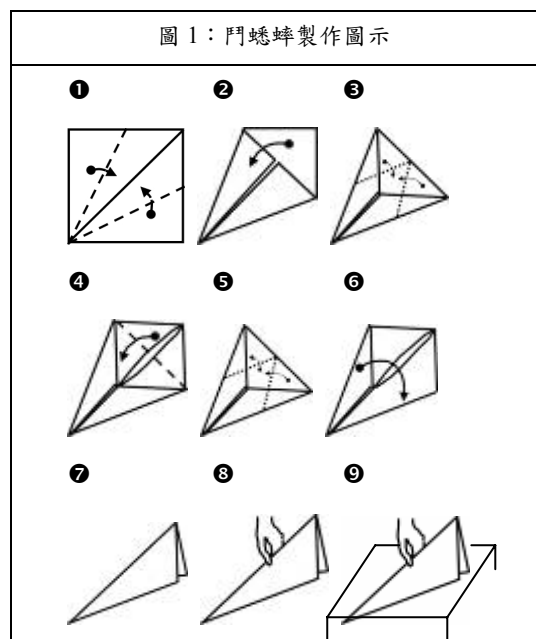
讓它掉落桌面。

3. 重複步驟 2，這次放手前鐵環內伸，一部分擱置在掌心的手指，讓鐵環落下因此翻轉，這次它會自動打結掛住。
4. 仔細地觀察推敲，探索魔戒掛住的操作秘密，你能發現打結前鐵環總共轉了幾圈嗎？

「念力蟋蟀」材料則只需一張紙，先用一般摺紙方式折成蟋蟀狀（如圖1），折好後平放桌面，你可以控制讓它自己翻轉，裝腔作勢後就變成念力讓它翻轉，十足增添趣味性。這個魔術操作方式科學成分佔大部分，用到了重心、彈性、槓桿與平衡觀念，短短時間內學生就能自我發現原理所在，又方便又清楚，效果相當好。

「念力蟋蟀」操作步驟：

1. 首先按照圖 1 所示做一隻蟋蟀。
2. 再將做好的蟋蟀平放於光滑的桌面，利用上稜摺線與前面張開的摺線之鬆緊控制蟋蟀翻身快慢。



#### 街頭物理猜猜猜：Adept-賭場

體驗科學奧妙的單元結束後，緊接著會藉著 Adept-賭場中的操弄，把會場情緒趁勢升至高點。幾

年前在教育部基礎科學改進計劃安排的演講第一次體驗到這種方式的威力，那次請來專責馬里蘭大學普通物理教學的Berg教授，用幾個大箱子裝載了一堆儀器，從美國坐飛機運到台灣來。當時Berg的實驗示範著時讓在場的人都震撼倒。

實驗室原本的許多動手做都可以如此安排，不必用大箱子裝，隨身包或提袋子就可以輕易帶著走，時間夠時還可以安排學生自己動手做做。我們給它取了一個俗氣但是平易近人的名稱，叫做「街頭物理猜猜猜」。活動前，先挑選具有豐富的科學探究內涵的項目，以該動手做的中心科學概念為主軸，設計成引人發想、趣味十足、的存疑問題。每個問題可能有幾種不同的答案，在大家都做好假設，選好答案以後，再利用精心設計、生活中簡易取材、可立即成功操作的趣味實驗當場親自感受。過程中，當問題的答案展現不可思議現象時，造成顯著的概念衝突，此時會喚醒我們天生探究的本能，進一步深入觀察分析現象、確立問題所在、提出假設、原理推導或設計實驗驗證、形成結論。從階段性的結論當中，除了可立即應用回歸生活外，又多會進一步發現新問題，如此循環不已。由於建議器材十分容易取得、製備、加工、改造，探究過程中有任何想法與假設，很快可以經過實驗看到結果。為了增添遊戲氣氛，賭局就需要賭資，賭資是小氣球先吹脹，猜錯時自己捏破，整個過程相當刺激熱鬧，碰！碰！氣球爆破聲中，夾雜著尖叫聲，想錯物理竟然可以如此興奮。

其實這是一種常見的教學策略，稱為 POE 教學策略，原來字面上意思為「預測－觀察－解釋」(Prediction - Observation - Explanation, 簡稱POE), 可以看成是晤談策略的一種延伸，用以探測學生應用知識能力的測量工具<sup>3</sup>。POE策略的目的就是在瞭解學生於某一情境下，如何應用相關的知識來預測、描述和解釋所看到的現象。POE策略能有效地鼓勵學生應用自己原有的概念去進行推理及解釋，教學者也較能獲知在真實情境中學生的認知結構，以及應用知識的能力。使用POE教學有幾個參考原則：1. 僅可能提供真實情境與問題給學生，2. 提供一個可基於個人理解進

行推理的情境或實驗以供學生做預測。3.讓學生的觀察是直接且可行的。4.方式可採用封閉式或開放性的題目，針對學生的預測設計與概念相衝突的情境，再讓學生解釋或修正。

以下介紹的幾個簡易器材動手作配以運作模式，具有以上所述之顯著特質，適合進行POE教學。

#### 吸管哪裡走？

說明：大氣壓力和浮力主宰結果，可是一開始不容易注意到。一個只用吸管和衛生紙就能進行的互動演示，用水量也不多，實驗後收實容易。這裡的設計分成三個部份，就算是科班出生的物理系的老師與同學，到第二部份就幾乎全部陣亡了，教學效果相當好。

操作步驟：(圖2)

**part1.** 將粗、細吸管一端塞緊衛生紙，粗吸管裝滿水後，細吸管塞住端向下放入粗吸管。用左手持粗吸管、右手掌托住細吸管，瞬間倒立後放開右手，請問此時細吸管：**A. 落下**、**B. 不動**、**C. 上升**？為甚麼？

**part2.** 將粗、細吸管一端塞緊衛生紙，粗吸管裝滿水後，細吸管塞住端向上放入粗吸管。用左手持粗吸管、右手掌托住細吸管，瞬間倒立後放開右手，請問此時細吸管：**A. 落下**、**B. 不動**、**C. 上升**？為甚麼？

**part3.** 將粗吸管一端塞緊衛生紙，粗吸管裝滿水後，細吸管(這一次沒有塞)放入粗吸管。用左手持粗吸管、右手掌托住細吸管，瞬間倒立後放開右手，請問此時細吸管：**A. 落下**、**B. 不動**、**C. 上升**？為甚麼？

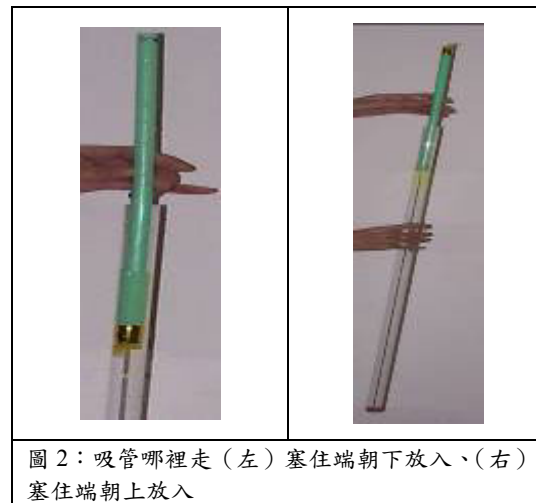


圖 2：吸管哪裡走 (左) 塞住端朝下放入、(右) 塞住端朝上放入

#### 彈簧掉下來？

說明：一般教學實驗室的彈簧就夠用了，玩具反斗城陳列的彩色彈簧玩具也很好用，一端固定在杯底的彈簧需要事先製作，聽眾少時我都會帶一推彈簧，等他們做好假設選好答案後，經由親自操作發現結果。活動時間夠時，我還幾次給同學分隊進行物理辯論比賽，高小、國中、高中、大一普物都試過，很精采的。物理辯論比賽不是辯對錯，而是辯證立論合理否、嚴謹否，通常會越辯越清楚，同時也體會了基本的科學方法。

操作步驟：(圖3)

**part1.** 手持自然下垂拉長的彈簧，手放開讓彈簧自由落下，請問在此瞬間，彈簧的底部運動如何：**A. 往下降**、**B. 保持原來高度**、**C. 往上升**？

**part2.** 手持杯子開口向下，彈簧一端固定在杯底，杯底朝下，彈簧另一端掛重物自然下垂，調整彈簧長度讓重物在杯口附近，手放開讓杯子與彈簧自由落下，請問在此瞬間手，掛重物的位置如何：**A. 往下降**、**B. 保持原來高度**、**C. 往上升**？

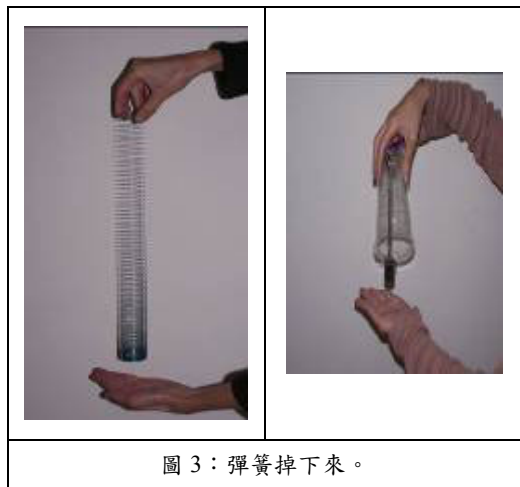


圖 3：彈簧掉下來。

## 迴紋針吃幾支？（照片 7）

說明：巧合的機會在某個教研研習場合看到這個實驗，「一個小塑膠杯，或者玻璃杯，高粱酒杯或者拜拜用的酒杯就很好用。杯子裝滿水後往裡面放迴紋針，滿出來之前可以丟進去幾支？」。裝滿水的過程得請現場同學上來加水才有公信力，水溢出來的偵測可以用衛生紙墊在杯子下面，溢出來衛生紙就會濕。幾乎沒有人猜測的數目會超過20枝，迴紋針一路丟下去，會聽到不斷的氣球爆破聲。小杯子裝了一大堆亮晶晶的迴紋針，水面越來越凸像極了大肚子晃來晃去，同學會主動紛紛走到前面來，睜大眼睛注視著，此時只見每個人連呼吸都特別小心，深怕成為破壞美麗畫面的罪魁禍首。書本上「表面張力」四個字原本是毫無表情的，今天親自目睹竟是如此的魅力。大家除了低估了表面張力外，普遍會存在迴紋針體積不會太小的迷失，兩者交會製造了這個驚喜。實驗室曾經用雷射筆準確定位，採用資料上水與玻璃的接觸角，理論計算可以準確估計實驗結果，相差值在個位數以內。



照片 7：迴紋針吃幾支？

操作步驟：

1. 先用衛生紙墊在杯子下面，杯子裝滿水至水面凸起，碰到杯子內緣為止。
2. 一枝枝放入迴紋針，紀錄幾支後水滿出來。

## 固體？液體？：輕功水上飄

用了過去3年的時間，實驗室嘗試將科學實做融入科學史小故事科學發現的情境，期望學生能從實際科學探究過程、和科學家一起經歷發現的過程，以培養學生正確科學態度與科學本質認知<sup>4</sup>。最近更進一步試著在課堂上安排一些與現代科技相關的實作，引導非理工學生深度認識諾貝爾獎的科學革命如何影響現代科技與文明。諾貝爾獎中的科學革命啟動了現代的文明，與今日社會、尖端科技息息相關。諾貝爾獎得主本人的養成、涵養特質、和其科學發現的過程都是後人爭相學習的典範。

人類知道原子的結合主宰著所有的化學反應，已經是近200年前的事了，可是大分子的了解與合成到最近才有進步，這是高分子結構龐大複雜，性質不穩定的緣故。即使合成聚合物是最近的事，天然聚合物卻從古早就在我們身邊了。相傳印地安人很早以前就知道將腳沾滿樹脂，乾了以後就有天然的鞋子穿。這雙鞋子穿一天就會壞掉，19世紀中期，固特異先生嘗試加了硫取代空氣中的氧的角色，發明了性質良好的橡膠。聚合物從此就深入我們生活的週遭。

一般的物質黏滯係數是固定的，聚合物就很不一樣，它在不受外力作用時，黏滯係數較大，受到外力作用時，其黏滯係數反而變小。此類剪應力不直接與變形率成正比的物質稱為非牛頓流體，通常會表現一些奇特的現象；例如，當突然很用力拉它時，物體就被拉斷掉了。可是當我們用力慢慢地拉它時，則因外力持續作用在物體上，物體的黏滯係數隨著作用時間的增加而慢慢變小，越拉物體就越來越軟就像在拉麵條。如果當我們把它用力擲向牆壁時，會像彈力球一樣彈回來。在精心的規劃下，讓這些平常不熟悉的奇特物理性質突顯出來，足夠會引發人們好奇探究的本



能，也能再度讓人們感嘆自然的簡單與奧妙。以下幾個實驗就是依照這樣原則設計的。

#### 創意魔球

說明：膠水的成分是聚乙烯或是聚醋酸乙烯，都是高分子聚合物，添加四硼酸鈉水溶液（俗稱硼砂）作為交叉連結劑，使得分子的結構更為堅固的網狀聚合物

操作步驟：

1. 先取 10 毫升合成膠水，加入 2 毫升食用色水攪拌均勻。
2. 再加入 1 毫升的四硼酸鈉水溶液（4g/100ml）後，迅速攪拌（一滴滴加四硼酸鈉，邊加邊攪拌），直到出現凝固結塊。
3. 倒在手上搓一搓，開始發揮你的創意吧（照片 8）



照片 8：創意魔球

#### 液體？固體？：

說明：玉米澱粉是天然的高分子聚合物，以重量比，玉米粉 3：水 2（約體積比 5：2）混合，將粉逐漸加入 850cc 塑膠碗的水中，用手捏抓使其混合均勻，確定所有玉米粉都已經混合到水中。製程魔法漿後，即可進行後續活動。

操作步驟：

1. 請將一根手指頭鑽進瓶內神奇物質，如果以慢板鑽進，則見物質像牛奶，可以順利鑽至底部。試著很快抽離，會發現很難抽動。

2. 如果以快板鑽進，則見物質像牛奶糖，居然一絲絲都無法鑽入。
3. 以 3 根手指頭伸入至底部，然後快速抽離，則可將整碗提起。
4. 請挖取一點點魔法物質放在手掌中，如果持續地搓，會看到手握著一顆貢丸，只要你停止搓，會發現手中一攤水流出。



照片 9：輕功水上漂

輕功水上漂：（照片 9）

說明：以重量比 3：2 泡製玉米漿，使用整袋的玉米澱粉可以充滿一半的大型整理盒，做成神奇魔法池。

操作步驟：

1. 踏入魔法池，雙腳逐漸陷入，採到底為止。
2. 試著很快將腳抽離，會發現很難抽動。
3. 第二次踏入魔法池，不斷地原地跑步，可輕而易舉在液面上蜻蜓點水。

#### 動手做！物理動起來

上面談到的動手做和實驗室裡我們熟知的設備器材有些差異。通常零零碎碎的，所以每次的活動或演講，即使是講過幾十次倒背如流的話題，出發前至少要花半天時間，把每樣示範的器材逐一檢查試驗，按照順序裝袋放入箱子內。要給學生親自動手的部份，得事先加工製作備妥足夠的份數。實驗室夥伴因此常陶侃地自稱為加工出口區。活動結束後，再把東

西拿出來，整理後歸位，這個工作往往得在例假日進行。

為甚麼要費這麼大的功夫呢？「以前我們學物理時都沒有如此麻煩」，我也這樣自問過。其實我們都知道，要討論物理或引起同學興趣的方法有很多種，動手操做只是其中之一。美國國家訓練實驗室（National Training Laboratories）曾經針對不同教學方式做過學習保留研究，學習兩週後還記得的內容，會因為不同的學習方式而有很大的差異。被動式的學習效果如預期般低落，分別是：光聽講，記得部份只剩5%；閱讀10%；聽加上看20%；透過示範展示，也只有30%。主動性的學習則會好些，分別是：小組討論，提昇至50%，透過實作與演練，可達75%，若立即的應用，或是轉教別人，則可高達90%。因為結果的分佈呈現金字塔形狀，所以習慣上叫做為學習金字塔（learning pyramid）。學習物理時需要思考、推理、實驗……等等，應該沒有研究中所談的學習那麼單純。不過關於實際經歷參與，消化後再拿出來用，學習效果會好很多這種論調，是多數人認同的事實與道理。而經由實際動手操作所佈置的學習環境，可望提供學生較多實際經歷參與，消化後再拿出來用等的有利學習機會。

多年來流傳這樣的說法：

I hear , I forget

I see , I remember

I do , I understand

民國86年清華大學讀書期間，第一次從著名Holiday & Resnick普通物理課本的作者之一Resnick先生提到的。再經過幾年國內科學教育活躍起來，國內外文章中，或者到學者的演講常常引用，他們都會說，這是來自中國古老的諺語。

一個偶然的機會裡，在帶完大氣壓力活動後的3個月碰到課堂中的小六學生。記憶中那個活動中，安排了許多會讓人驚艷大氣壓力的神奇威力<sup>5</sup>，至少當老師的會這樣認為。例如熟知的「杯水紙片覆蓋倒立」水也不會流出來的大氣壓力動手做，可經得起演示的教師，不經預先測試，直接執杯倒立在現場同學頭

上，然後大力地上下搖動杯子……，很少老師有信心如此穩定操作。活動中還有幾個同等級，精采的大氣壓力動手做演示。當時我興致勃勃地問小朋友記不記得那個活動？最有印象是哪個活動？結果呢，很慶幸聽到小朋友記得那個活動，但是他只記得自己操作成功的一個不起眼的操作（因為用到水，怕弄濕地面，只安排那一個讓小朋友自己操作，小朋友經過思考與嘗試，幾乎每個人都實驗成功）。那些我自認為偉大的不得了操作，他全沒印象了，推測原因就不難理解，因為那些都是老師做的，不屬於他們自己的。

上週在樹德家商演講完，收拾東西時學生上前圍在講桌附近，操弄剛才演示過的實驗，久久不肯離去。這學期因為研究工作所需，到輔英科大試驗教室內進行實驗為主的科學通識課程，一學期下來，缺課的、睡覺的、聊天的都比常態少很多。學生課堂中還會主動討論發表物理觀點。期末專題作品中，把科學原理結合他們專業變成美麗獨特的成品，清楚地感覺到他們的長處。這群人原先都是物理拒絕往來戶呢，他們的物理程度因此提升了嗎？我想至少短時間內答案是否定的。不過我們可以肯定，他們和物理之間的關係逐漸改善中。

似乎看到實驗室的夥伴們，和還有許多會安排類似活動的老師有著某種堅持的動力。也許有更多的人會想試試，不用全單照收，拿其中1個或2個隨時都可以是開始，或是網頁上其他動手做，或是別本書其他資料中。或者你實驗室的一些設備題材，通常經過設計包裝，都有可能。

前面用到另類的器材與方式，原本就是考慮讓想做的人能夠輕易找到材料。當時間足夠時，也可以儘量安排學生親自操作和體驗。動手做！讓物理動起來。

#### 參考文獻

- 1.《街頭物理：彈奏物理的民歌手》，周建和，物理雙月刊 pp.10-14，24 卷 1 期，2002；《街頭物理：從非制式物理教學做起》，周建和，第 10 頁，物理雙月刊 28 卷 3 期，2005。

- 2.《物理教學演示的輕鬆展現幾則》，周建和，莊庭禎，2005 物理教學及演示研討會論文集，高雄市，中山大學，2005。
- 3.《國中理化課試行 POE 教學之個案研究》，邱彥文、黃世傑、王國華，科學教育，12，頁 53-69，2001。
- 4.《簡易器材模擬電磁學發展歷程重要發現》，周建和，物理教學及示範研討會論文集，中山大學，2005。
- 5.《動手·做·科學大師—托里切利神燈》，周建和，物理教學及示範研討會論文集，海軍官校，2003。