物理教育學刊
2017, 第十八卷第一期, 51-64

Chinese Physics Education
2017, 18(1), 51-64

10.6212/CPE.2017.1801.04

探究與實作初探
－以菜瓜布海綿的最大靜摩擦力測量為例

陳家騏

新北市立錦和高級中學　物理科
tom49433016@gmail.com

（投稿日期：民國 105 年 11 月 24 日，接受日期：106 年 02 月 22 日）

摘要：探究與實作將要在 107 課綱上路後實施，探究與實作對大部分的老師來說是全然陌生的課程，若求順利實施則必須先掌握其中的要點。作者因緣際會下，有機會在任教學校試作課程。全班 36 位學生每組 4 人，分為 9 組，實施後發現：各組皆有能力皆完成了定性的摩擦力探究，發現看似較平整的海綿面和較粗糙的菜瓜布面，在其他條件相同的情況下，海綿面的最大靜摩擦力較大。而有 2 組學生繼續進行了進階的量化探究。其中一組發現最大靜摩擦力的大小隨正向力的增加而變大，顯示一、相同條件下，海綿面的最大靜摩擦係數大於菜瓜布面。二、若將正向力大小對應二接觸表面的接觸緊密程度，則無論是菜瓜布或海綿的實驗結果，皆顯示最大靜摩擦力和接觸的緊密程度正相關。另一組發現菜瓜布面之施力方向和水平方向的夾角θ與最大靜摩擦力量值 f_s 的關係為：$f_s= 0.0275\theta^2 - 4.3037\theta + 184.42$；海綿面之施力方向和水平方向的夾角θ與最大靜摩擦力量值 f_s 的關係為：$f_s= -0.0009\theta^3 + 0.1561\theta^2 - 8.9069\theta + 186.48$，其中的物理意義有待進一步考究。

因為探究與實作是一門新的課程，在試作時，老師和學生各遭遇了幾點困難，多數學生不具備科學探究能力以及研究方法的概念與操作技能，故可能需要額外設計教學活動，讓學生有機會練習科學探究的歷程或是研究方法。在探究與實作的課堂上，老師要即時給予學生引導、回饋。若僅以講述的方式，介紹科學探究和研究方法，學生恐怕還是難以理解科學如何探究。

關鍵詞：探究與實作、摩擦力

壹、 前言

臺灣的大學入學考試依據課綱內容命題，透過筆試成績選才。這樣的升學考試模式著重知識的背誦、記憶以及公式的套用，因此行為學派的教學策略為高中校園中普遍的教學方式。行為學派的教學策略固然有其長處，如教師以其專業主導課程、充分利用課堂時間、學生可在短時間內被灌輸大量知識(以應付以選擇題、標準答案為主的考試)。然而，這樣的教學容易養成學生習慣「確定性的問題」，喜歡跟著指定步驟然後得到標準的「正確」答案，而忽略了對於複雜大自然的理解和實際動手做相關知識，難以從更廣的角度、更多元的可能性去探求問題的本質(發問)，而這樣的特質對於臺灣產業想要往研發或文創的方向升級相當不利(陳育霖，2016)。作者任教於社區型完全中學的高中部，近年來觀察到學生的物理學習表現多為片段的知識以及公式，缺乏整合性、延續性。而在學習內容的實踐上，亦難以將所學應用於日常生活中。因此，作者常苦思改善之道。

耳聞 107 課綱新增了探究與實作課程，作者的反應是又驚又喜。喜是因為作者認同探究與實作課程就是改善目前教學現況的良方。驚，更準確地說應該是害怕，因為研究者不曾接受過探究式教學的相關訓練。而從事探究教學的最大挑戰，或許是如何營造合適的問題情境(劉湘瑤，2016；陳華傑，2016)。

後來，作者先是參加了探究與實作課程的相關研習，對探究與實作建立了初步的認識。之後，作者有幸加入探究與實作課程在職種子教師培訓計畫(中央大學朱慶琪教授領導)，對探究與實作建立了更進一步的概念，也學到了一些具體操作時必須掌握的要點，例如以跨學科的知識來承載探究能力(陳竹亭，2016)，使學生體驗以實做連結探究思考的跨科課程設計(劉湘瑤，2016)。

探究與實作課程中的實驗活動主題選擇是以「可以做」和「取材自生活」為優先考量(「可以做」是以學生的能力衡量)，無論教材內容新舊，要先了解學習者的知識及能力背景、需求、興趣後，訂定學習目標及規劃教材、評量(陳竹亭，2016)，所以必須花時間和學生溝通，以了解學生的先備知識基礎和能力。一開始可能不要對精密度和精確度要求太高，就算是只有定性也無所謂，學生若有能力做更深入的探究再引入定量的教學活動，甚至可以進一步練習建模。基於前述的考量，有什麼主題作為實驗活動的主題？作者想到的是「摩擦力」。

「摩擦力」此一主題，是自然科學中少數從國小到高中，一路循序漸進、按部就班介紹的典型(小學六年級以生活直觀切入做淺略的定性介紹，國中二年級深入定性介紹，到了高一複習定性、銜接定量)(教育部，2008； 教育部，2010)。這樣的螺旋式課程安排理應使高一學生對摩擦力有深刻的認識和了解，但事實上高一學生僅能掌握有關摩擦力的記憶性知識，若是要深入探究其中的細節，或是討論在日常生活中的應用，則大多數人知其然卻不知其所以然。

像摩擦力這樣螺旋式安排的課程，學生的學習成效尚且不如預期理想，推測其原因或許和台灣的學生習慣「確定性(determined problem)」有關(陳育霖，2016)。探究式教學法的實施，或許可讓學生在學習基礎知識後，能進行後續的整合性、延續性學習，使學生能夠從更廣的

角度、更多元的可能性去探求問題的本質，使學生的科學素養能夠有所增長(教育部，2014)，進而提升學生的問題解決能力。

作者抱持著學習和累積經驗的心情，於任教學校試作了 6 小時的探究與實作課程。

貳、 課程內容

一、教學活動前準備(設定)

探究與實作是 107 課綱的新課程，需要找機會練習以掌握其中的要點，但在現階段有既有的課程必須進行，而探究與實作的實施又充滿未知的情況下，貿然於現階段在課堂上實施需要承擔一定的風險，作者能有機會試作其實是具備了一些特別的條件：作者擔任高一特色班(醫事科學班)導師，而實施時間是在高一下學期。作者任教學校的高一基礎物理課程分上、下學期實施，而科學班導師多了一堂專題研究課，所以實驗探究與實作並不會影響進度的教學。另外，因為對象是作者自己的導師班，經過了一個多學期的相處有一定的信任基礎，否則貿然實施這樣不確定度高的課程很可能會招致反彈。

另外，課程內容的選定則是考量到摩擦力其實非常複雜，由教學經驗發現學生對於摩擦力概念常常難以真正具體理解，無法與真實現象做連結。摩擦力中，靜摩擦力的分析和動摩擦力相較之下，較為單純容易。靜摩擦力的量測上，學生學過「物體受力的大小可由形變的程度得知」以及靜力平衡的相關概念(表一)，讓學生操作彈簧秤量測最大靜摩擦力進行比較應該是可行的，故課程中所指的摩擦力將聚焦在「最大靜摩擦力」上。另外，「最大靜摩擦力的強度正比於作用於物體上的正向力」的量化關係理論可做為建模的例子，或延伸的理論驗證之探究。

課程採合作學習的方式進行，觀察重點緊扣以下 5 點：能投入在科學導向的問題之中、能學會判別可用來回答問題(支持或否定)的證據、能依據資訊(現象、數據)產生解釋、能建立解釋與科學知識間的連結以及能與他人溝通以及形成合理的主張(National Research Council，2000)。

二、實驗器材

共同部分有：切割墊*1、菜瓜布海綿*1、迴紋針*1(插入海綿方便和彈簧秤掛勾)、電子秤(公用)、彈簧秤*1、手機（攝影記錄器材）等等，各組自行發揮的有：重物(手機、文具袋…，各組自選)。(如圖 1、圖 2 所示)

三、課間觀察

（一）第 1 堂課

實驗前，作者先用問答的方式了解學生們對摩擦力了解的程度，確認大部分的學生在認知上都具備能夠進行探究和實驗操作的概念。接著將學生分為 4 人/組，告訴他們要進行「菜瓜布海綿的最大靜摩擦力量測」，要求各小組經討論後提出注意事項、設計實驗步驟及記錄表格，通過口試後才能進行實驗。提示完後，作者便在教室內走

動巡視，觀察學生們的反應，注意到幾個現象：

1. 部分學生雖然有摩擦力的知識，但在討論時並不會應用
2. 大部分學生不太會判斷變因
3. 大部分學生設計實驗步驟有困難
4. 少部分有實驗步驟想法的學生只能口述，很難將想法轉換成具體可行的步驟寫出
5. 學生無法自行設計實驗紀錄表格

沒過多久便有小組開始閒聊、玩耍，推測可能是因為這樣的要求超出他們能力所及。另外，雖然學生們能討論，但他們的想法也需要適當的引導才能聚焦。

（二）第 2、3 堂課

根據第 1 堂課的經驗，作者縮小課程的開放程度，準備了一些有關注意事項、設計實驗步驟及記錄表格的參考資料給學生，並講述的方式帶著學生看過資料。或許是因為第 1 堂課時遭遇了無法設計實驗步驟及記錄表格的困難，在作者以講述方式帶過這些資料時，多數學生的專心程度勝過平時上課。另外，實驗的內容也調整限縮為「在其他條件均相同的情況下，比較菜瓜布海綿的兩種接觸面(菜瓜布面和海綿面)和切割墊間的最大靜摩擦力」(定性比較)。經過講解後，實驗表格和實驗步驟的設計還是有困難，於是便把實驗步驟設計的開放程度降到系統化(結構式探究)的層次(請參考圖 6)，在黑板上寫下範例供參考。

（三）第 4~6 堂課

第 4~6 堂課的內容主要分為以下兩部分：

1. 實驗活動：

各組均要完成的工作是「在其他條件相同的情況下，分別量測不同的材質面(海綿、菜瓜布)的最大靜摩擦力(5 組數據)後，比較不同材質面的最大靜摩擦力大小的關係。，但各組的實驗能力不盡然相同(事後顯示各組的實驗能力有極大的差異)，所以作者把實驗工作分為兩個階段：初階和進階。初階就是上述的活動，進階的部分則是由各小組自行討論後決定要探究的摩擦力相關變因，設計步驟後進行實驗。在第 4 堂課結束時實施考核評量，評量的要點為實驗設計的可行性以及實驗完成度，通過考核的小組方可進行進階實驗。全班 36 位學生每組 4 人，分為 9 組，都完成了定性的摩擦力探究。只有 2 組學生繼續做了進階的量化探究。其中一組做了「正向力和最大靜摩擦力量值的關係」(以下簡稱 A 組)；另一組則做了「施力方向和水平方向的夾角與最大靜摩擦力量值的關係」(以下簡稱 B 組)。

A 組的進階實驗固然可以只做定性討論，但作者認為把實驗的結果用簡略的數值方法分析後，可以看出更多東西，於是考慮學生的能力之後，一開始決定用 Excel 軟體畫出實驗結果的作圖，讓變化關係更具體地呈現。但後來覺得只有這樣還不夠，而學生也想更進一步探究所以由作者求出實驗結果的關係方程式(方法則是向數學老師求救，分別以人工計算和丟入 Excel 求得)，再帶著 A 組的學生把方程式的內容和高中基礎物理二(B)的理論公式做對照、討論，一不小心就先修了高中基礎物理二(B)的內容，但學生有沒有想睡覺？沒有！而且還樂在其中。學生體會了理論的功能，也做

出了活生生的物理。B 組的進階實驗則是不小心做了超出學生分析能力範圍的結果，學生選擇以施力方向和水平方向的夾角θ作為操縱變因，實驗結果固然可看出最大靜摩擦力 f 隨θ改變而改變，但是作者先用計算解出根據理論的關係後，發現此關係非單純的一次函數，除了不易用簡單的口語描述外，處理上也超過學生的能力。得到理論的估計結果之後，作者便接手把數學分析的部分完成，再帶著 B 組的學生討論數學分析的結果。為了分析結果，學生硬是跟著作者學了一些沒學過的數學、試圖解讀實驗結果的變化趨勢，但最後學生還是無力掌握，頂多只能討論力圖和比對函數圖形，但他們表現出為了特定目的(分析)而學習困難工具(超出學生程度的數學)的行為。

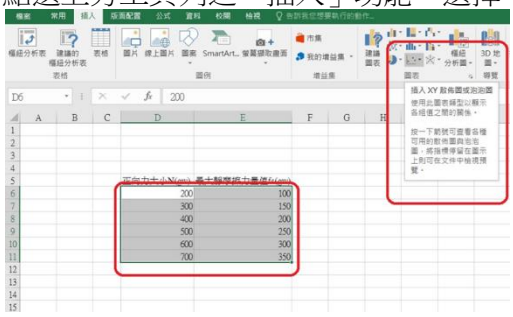
事後，因為實驗結果出爐的時間點接近作者任教學校的科學週活動，作者突發奇想，將這 2 組學生的實驗成果做成論文海報的形式發表作為獎勵，這 2 組的學生知道後覺得很興奮，更認真地學習研究實驗後的分析(因為要擔任解說員)。

2. 實驗結果的描述、呈現及誤差的討論、分析訓練：

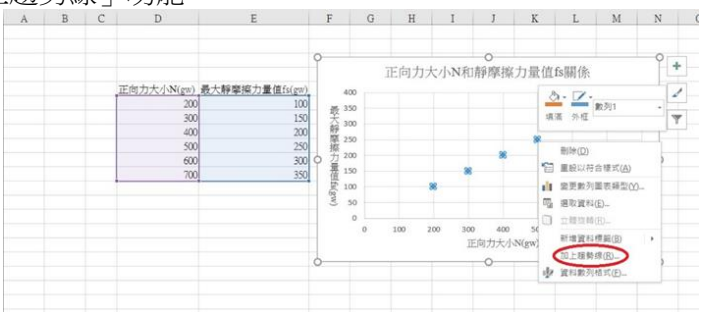
關於實驗結果的描述，唯一的要求就是就實驗的結果盡量以精確的語句忠實呈現。因為是初階部分是定性實驗，所以沒有要求圖表的繪製；而誤差的討論、分析方式則是以實驗過程拍攝的記錄影片或照片「看圖說故事」。

四、以 Excel 進行數據分析及作圖

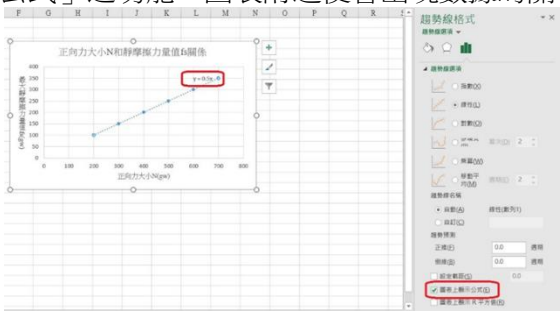
1. 圈選數據資料後，點選上方工具列之「插入」功能，選擇「插入 XY 散佈圖」功能。



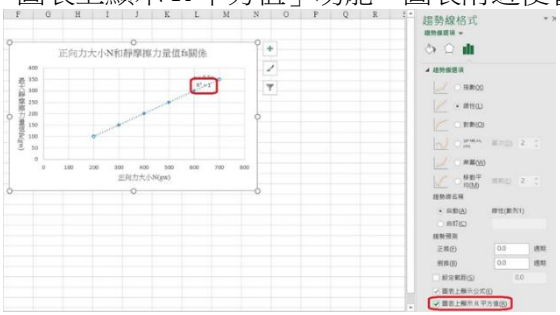
2. 按步驟 1 操作後，便會跑出數據點的散佈圖。將滑鼠游標移至數據點上，按滑鼠右鍵，選取「加上趨勢線」功能。



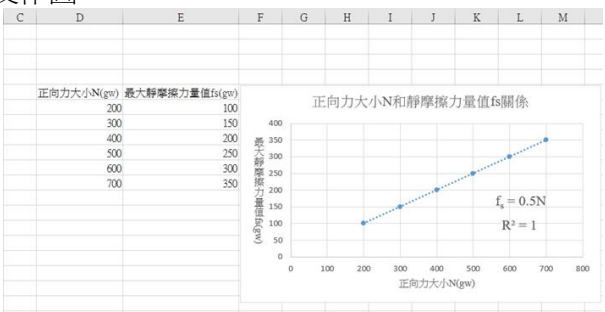
3. 按步驟 2 操作後，便會跑出數據點之趨勢線以及右方的「趨勢線格式」功能列表，點選「圖表上顯示公式」之功能，圖表附近便會出現數據的關係式。



4. 續步驟 3，選取「圖表上顯示 R 平方值」功能，圖表附近便會出現 R 平方值。



5. 完成數據分析及作圖。



正向力大小N(gw)	最大靜摩擦力量值fs(gw)
200	100
300	150
400	200
500	250
600	300
700	350

註：R^2 值為決定係數（Coefficient of determination），R^2 愈接近 1.0，代表此模式愈有解釋能力。

五、學生的探究發現

全班 36 位學生每組 4 人，分為 9 組，皆完成了定性的摩擦力探究，發現看似較平整的海綿面和較粗糙的菜瓜布面，在其他條件相同的情況下，海綿面的最大靜摩擦力較大。

另外，其中 2 組學生繼續做了更進階的量化探究，其中 A 組做的是「正向力和最大靜摩擦力量值的關係」，發現最大靜摩擦力的大小隨正向力的增加而變大(菜瓜布面之最大靜摩擦力 f_s 與正向力 N 之關係：$f_s=0.33\cdot N+5.43$，$R^2 = 0.98$；海綿面之最大靜摩擦力 f_s 與正向力 N 之關係：$f_s=0.96\cdot N-4.46$，$R^2 = 0.99$)，顯示：一、相同條件下，海綿面的最大靜摩擦係數大於

菜瓜布面。二、若將正向力大小對應二接觸表面的接觸緊密程度，則無論是菜瓜布或海綿的實驗結果，皆顯示最大靜摩擦力和接觸的緊密程度正相關。

B 組做的是「施力方向和水平方向的夾角θ與最大靜摩擦力量值 f_s 的關係」，發現菜瓜布面之施力方向和水平方向的夾角θ與最大靜摩擦力量值 f_s 的關係為：$f_s = 0.0275\theta^2 - 4.3037\theta + 184.42$，$R^2 = 0.99$；海綿面之施力方向和水平方向的夾角θ與最大靜摩擦力量值 f_s 的關係為：$f_s = -0.0009\theta^3 + 0.1561\theta^2 - 8.9069\theta + 186.48$，$R^2 = 1.00$，其中的物理意義有待進一步考究。

六、學生在課程進行期間所遭遇到的困難及收穫

學生在課程進行期間遭遇到的困難經歸納後，大致可分為以下三點：

1. 實驗上要注意的細節很多，擔心顧此失彼、難以周全。
2. 實驗操作的訓練及經驗不足，導致實驗技巧不夠完善。
3. 雖然將數據輸入 Excel 可得到變量的關係圖形，但後續的分析及解釋有困難。

而學生在課後意識到的自我改變有以下四點：

1. 會開始注意實驗的相關細節，確保變因和結果的單一對應關係。
2. 會開始懷疑所學的知識內容或接觸到的訊息。
3. 會有勇氣提出假設，挑戰未知。
4. 為解釋實驗結果而進行資料(文獻)搜尋，經交叉比對、驗證後，更深刻了解實驗結果和學習內容。

參、 教學實施後心得與結論

在探究與實作的課程實施上，老師的角色是以其專業作為觀察者、評量分析者以及協助者，在課程開始前首先分析並設法評估學生的起始能力，並規劃設計課程進行的方向以及評量方式；在課程進行期間給予協助，或是視學生狀況調整課程的開放程度。另外需要注意的是：探究的過程未必有實作，而實作的過程也未必有探究，進行探究與實作時要留意兩者的呼應關係，避免使「實作」淪為「勞作」。

探究與實作著重「歷程」和「問題解決」，在教學的安排上要考量學生的先備知識、過程技能以及引導學生進行教學活動的關鍵，例如：現象和先備知識的衝突點、現象的解釋和探究、日常生活中的問題解決或是改良…等，評量的時間點應該在教學的歷程中以及教學歷程結束後。課程中評量的方式建議可為「任務導向」，例如：完成學習單、上台發表想法、設計或是討論結果…等，課程結束後的評量方式可為較大型的「成果發表」。

老師在實施探究與實作課程可能會遇到幾個困難點：一、在進行探究與實作課程時，老師勢必要在各組間遊走，即時觀察、評估學生的執行情況。若學生人數過多，則可能有學生因為探究的技能和方向無法獲得即時引導，嘗試幾次後仍無法突破便索性放棄繼續，或有學生趁機打混摸魚等情況發生。二、因為探究與實作的課程中觀察很重要，若學生人數過多，則老師可能只能鎖定幾個特定的學生或小組觀察，可能無法全面性地評估學習成效或看到學生的成長。

學生在實施探究與實作課程可能會遇到幾個困難點：一、實驗上要注意的細節很多，擔心顧此失彼、難以周全。二、實驗操作的訓練及經驗不足，導致實驗技巧不夠完善。三、雖然將數據輸入 Excel 可得到變量的關係圖形，但後續的分析及解釋有困難。而課後學生也意識到有幾點改變：一、會開始注意實驗的相關細節，確保變因和結果的單一對應關係。二、會開始懷疑所學的知識內容或接觸到的訊息。三、會有勇氣提出假設，挑戰未知。四、為解釋實驗結果而進行資料(文獻)搜尋，經交叉比對、驗證後，更深刻了解實驗結果和學習內容。

課程試作的結果顯示，探究與實作課程對學生的科學態度養成，有正向的影響。但課程的實施方面，因多數學生不具備科學探究能力以及研究方法的概念與操作技能，故可能需要額外設計教學活動，讓學生有機會練習科學探究的歷程或是研究方法。在探究與實作的課堂上，老師要即時給予學生引導、回饋。若僅以講述的方式，介紹科學探究和研究方法，學生恐怕還是難以理解科學如何探究。

肆、 圖表與照片

圖 1：實驗器材 1

圖 2：實驗器材 2

圖 3：學生討論實況 1

圖 4：學生討論實況 2

圖 5：教學者(作者)講解實驗的注意事項及步驟設計

- 學習者所進行的探究學習活動的開放程度與複雜程度由低到高區可分成四個不同的層次(Banchi & Bell, 2008)：

探究的層級	研究問題	研究程序	研究結果
開放式探究 (open inquiry)			
引導式探究 (guided inquiry)	∨		
結構式探究 (structured inquiry)	∨	∨	
驗證式探究 (confirmation inquiry)	∨	∨	∨

ˇ：由教學者提供

圖 6：科學教室中常見的探究活動

本圖擷取自中央大學吳穎沺教授提供之研習講義〔原文出處：Bell, R. L., Smetana, L., & Binns, I. (2005). Simplifying inquiry instruction. The Science Teacher, 72(7), 30-33.〕

陳家騏

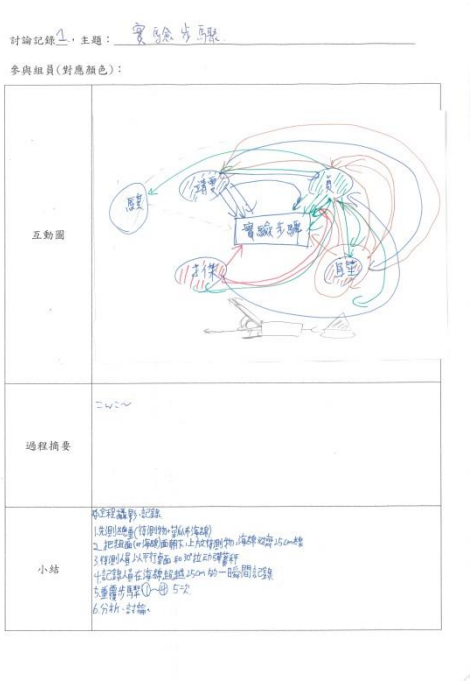


圖 7：討論過程紀錄

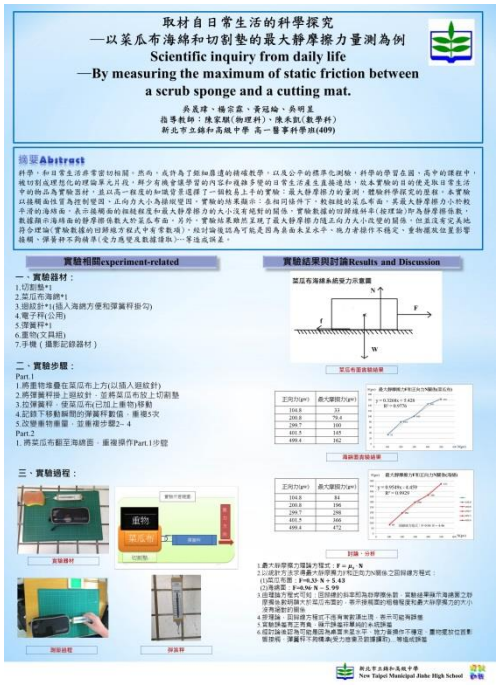


圖 8：A 組實驗成果海報

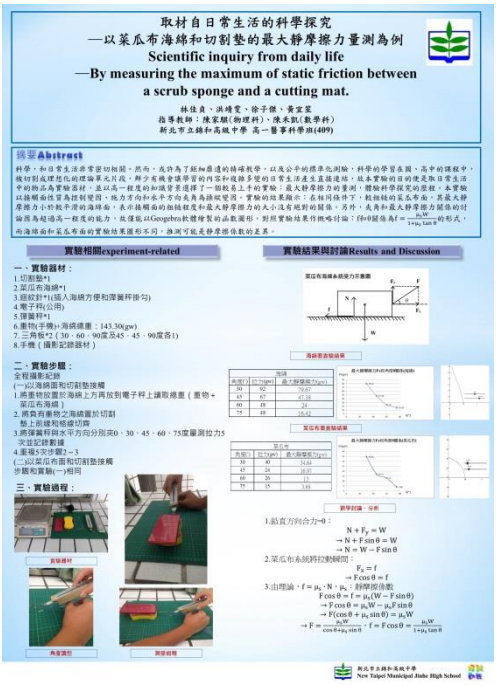


圖 9：B 組實驗成果海報

表一：節錄自課綱之各階段摩擦力相關教學內容

國小	國中	高一
平衡與不平衡： 3a.察覺物體受好幾個力的作用，仍可能保持平衡靜止不動。 摩擦力的影響： 3c.察覺摩擦力會影響運動，摩擦力的大小與接觸面的性質有關。	平衡 4b.知道達到平衡的物體所受合力為零、合力矩為零。 摩擦力 4e.探討影響摩擦力的因素。	三、物體的運動 2-2 說明日常生活中常見的摩擦力及彈簧力的性質。

致謝

作者能產出試作課程，首先要感謝朱慶琪教授和吳穎沺教授的引導。課程實的細節以及結果的分析與討論部分，感謝吳原旭老師的指導以及張仁壽老師的經驗分享。最後在課程的實施以及方向討論，感謝錦和高中教務處的協助以及自然科夥伴的幫忙，特別是楊鵬耀主任、張力中組長以及鐘建坪老師在訪談的過程中給了作者很多寶貴的意見，另外也要感謝陳維倫老師在課程中的協助觀察。最後特別感謝吳穎沺在稿件修改的過程中，為作者解惑並提供了寶貴的意見。

參考文獻

1. 吳穎沺(2016)：探究教學教學與學習。研習資料。
2. 吳穎沺(2016)：合作科學問題解決。研習資料。
3. 陳竹亭(2016)：探究式實事求是的第一步！。科學研習月刊，55-02，2-4。
4. 陳育霖(2016)：教育現場為什麼需要探究與實作課程？。科學研習月刊，55-02，19-27。
5. 陳華傑。(2016)。教師社群開發探究與實作課程的經驗分享。科學研習月刊，55-02，28-36。
6. 教育部(2008)：九年一貫課程綱要自然與生活科技學習領域。台北市：教育部。
7. 教育部(2010)：普通高級中學必修科目「基礎物理」課程綱要。台北市：教育部。
8. 教育部(2014）：十二年國民基本教育課程綱要。台北市：教育部。
9. 劉湘瑤(2016)：科學探究的教學與評量。科學研習月刊，55-02，5-11。
10. 鄭榮輝、林陳涌/主編，簡頌沛等/合著(2015)：科學實作教學理論與實務。台北市：國立臺灣師範大學科學教育中心。
11. National Research Council(2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*(pp.19) . Washington, D.C.：National Academy Press.

A Preliminary Study of Scientific Inquiry with Implementation —By Measuring The Maximum of Static Friction Between a Scrub Sponge and a Cutting Mat

Chia-Chi Chen
Department of Physics, New Taipei Municipal Jinhe High School
tom49433016@gmail.com

Abstract

Scientific Inquiry with Implementation will be bring into practice when the 107 curriculum guidelines are bringing into force. Scientific Inquiry with Implementation for most of the teachers is a completely unfamiliar course. If a teacher who teaches science want to run it smoothly, he/she must catches the main points at first. Occasionally, the author once had an opportunity to try to teach scientific inquiry with implementation in the school where the author works. During the Scientific Inquiry with Implementation course, the author divided his 36 students into 9 groups. There were 4 students in each group. After teaching, he found that all of the groups completed qualitative inquiry of friction. But only 2 groups of students continued to carry out advanced quantitative inquiry. Students showed that they were able to learn something difficult (the mathematics which beyond their level) for specific purposes (to analysis). In addition, the author also found that the Scientific Inquiry with Implementation course which involved with "Making announcement in public" and "task fulfilling" had made a positive impact on students' attitudes and emotions of learning. Scientific Inquiry with Implementation requires observing and self-examing. On the other side, the teachers need materials which are suitable for being the theme of the course, the questions for inquiry, and the experience of proceeding Scientific Inquiry with Implementation. To proceed Scientific Inquiry with Implementation may encounter several difficulties: First, if the number of students is too large, the teacher will not only be able to guide all of the students, but also may not be able to evaluate the students comprehensively and particularly. Second, the majority of the students do not have the abilities to proceed scientific inquiry. Also, they are short of the knowledge of research methods and operational skills. They need teachers to plan additional activities for practicing the process of scientific inquiry or research methods. For the experienceless students, it is difficult to understand how to do scientific inquiry by seeing words instead of practicing. Although the difficulties of proceeding Scientific Inquiry with Implementation have not been overcome yet. But the author is still looking forward to see the three ideals of the new curriculum guidelines:"voluntary", "interacting" and "sharing advantages" taking place in the Scientific Inquiry with Implementation course.

Key words： Scientific Inquiry with Implementation, Friction

陳家騏