

探究與實作課程之外—師生的教學相長

劉獻文

國立臺南第一高級中學

Email: betterman0925@gmail.com

新課綱上路，探究與實作課程已逐漸成為培養學生批判性思維與解決問題能力的重要途徑。對於學生與教師而言，如何通過後續活動加深和擴展學習，成為教育中的一項課題。謹以敝校為例，分享學生在探究實作課程之外，如何透過微課程、撰寫小論文等開放式探究歷程，持續深化學習。同時教師在教授學科課程時，也可根據探究與實作中的探究學習內容，設計結構或引導式的探究課程模組，以促進學生的探究能力。

■ 開設微課程

在探究與實作課程中，學生透過各個探究主題，學習如何通過「發現問題」、「規劃研究」、「論證建模」、「表達分享」來系統化他們的探究成果。

探究實作課實施一段時間後，部分學生對於探究主題有強烈興趣，而敝校週三第 5、6 節為彈性學習時間、第 7 節為社團活動，有足夠的額外時間加深、擴展學習。於是筆者與自然科好夥伴們討論後，分別於高一、高二彈性學習時間開設微課程，其中高一微課程讓學生針對校內的探究主題繼續優化探究成果。若學生因此啟發對專題研究的熱情，高二微課程便以專題為目標，結合學術性社團活動，於週三 5 至 7 節進行加深、加廣的專題探究。

舉例來說，敝校學生在探究「泡泡」主題時，對於二氧化碳泡膜縮小的現象很有興趣，他們利用微課程時段，改良實驗裝置並成功量化此縮小現象，例如：將二氧化碳泡泡打入雙邊皆開通的量筒，以此將泡泡的形狀固定為圓柱狀，藉由量筒的刻度，計算泡泡隨時間經過的體積變化。此裝置較流量計簡單，可直接定量二氧化碳泡膜的縮小速率。接著改變不同操作變因，如泡泡體積、截面積、濃度差、外加電場、清潔劑種類等，討論泡膜的縮小受何因素影響，裝置圖如圖 1 所示。另一組學生則是改變不同氣體種類，進一步對泡膜縮小之過程做出模型論述（學生作品請見附錄 1）。

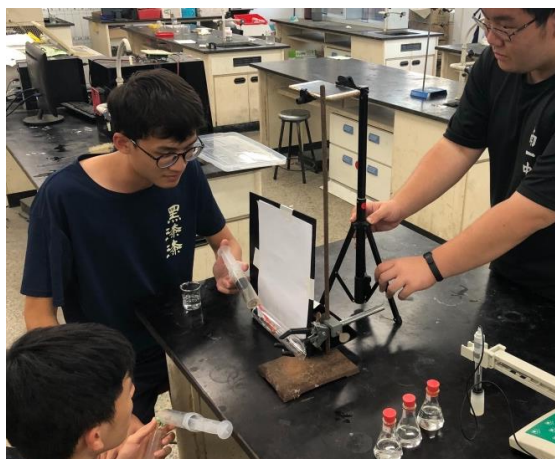


圖1：學生以塑膠針筒將氣體打入兩端皆開通的量筒

而在「鑑識科學」主題中，學生以寧海德林顯現指紋，發現蘿蔓紫的顯色隨時間變深，此意味著網路查詢到的製程，有反應尚未完全、藥品浪費等問題。於是學生在以濾紙、微量滴管等器材改良指紋的顯色步驟，利用手機錄影並紀錄蘿蔓紫顏色的 RGB (Red, Green, Blue) 值，換算成灰度值後，成功量化寧海德林顯現指紋的顏色深淺。接著呼應綠色化學原則，提出製程的修改建議，成功達成藥品減量、節約能源、催化反應等目標(學生作品請見附錄 2)。

■ 撰寫小論文

通過撰寫小論文，學生可以在一定的格式規範下，學會撰寫動機、引用資料、設計實驗流程，有系統地呈現實驗結果、表達自己的觀點等。而筆者將小論文網站提供之範本加以修改，以空白模組的格式(保留標題並對其加註寫作說明)，引導學生在數週內逐步完成小論文。小論文作品不僅系統性整理學生的探究歷程與成果，亦可做為學生精彩的學習歷程檔案。

■ 探究式教學

新課綱將原子模型的教材內容，分別列入物理科「自然界的尺度與單位」、「量子現象」、化學科「物質組成與元素的週期性」、「科學發展的歷史」等單元(教育部，2018)，筆者參考洪振方教授提出探究類型的三個向度(洪振方，2003)，設計以下結構式、半封閉式的探究式教學，將原子模型的教材跨科整合，並搭配探究學習內容中「發現問題、規劃與研究、論證與建模、表達與分享」，設計以下教學活動：

- (1) 先將學生以3~4人分組，由教師引言回顧組成原子的粒子，接著請小組閱讀課本內容，如下圖2，請各組找出課文中有關質子、中子、電子的各項描述，將其分類為定性/定量、靜態/動態描述，整理學生發表內容如圖3。此活動可呼應探究學習內容中的表達與溝通、發現問題等。

表達與分享



圖2：請學生分類課文中有關質子、中子、電子的各項描述

(圖文引用自南一書局化學課本#1-4 原子的結構)

定性VS定量--以描述原子為例

定性資料	定量資料																		
<ul style="list-style-type: none"> ● 組成原子的粒子有三種：原子核外的電子、核內的質子和中子 ● 質子帶負電、質子帶正電、中子不帶電 ● 質量：中子>質子>電子 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 原子直徑約為10^{-10} m、原子核直徑約為10^{-15}m ✓ 組成粒子的質量、電量整理： <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">粒子名稱</th> <th rowspan="2">質量(克)</th> <th colspan="2">電量</th> </tr> <tr> <th>庫倫</th> <th>基本電荷★</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>電子(e)</td> <td>9.109×10^{-28}</td> <td>-1.602×10^{-19}</td> <td>-1</td> </tr> <tr> <td>質子(p)</td> <td>1.673×10^{-24}</td> <td>$+1.602 \times 10^{-19}$</td> <td>+1</td> </tr> <tr> <td>中子(n)</td> <td>1.675×10^{-24}</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	粒子名稱	質量(克)	電量		庫倫	基本電荷★	電子(e)	9.109×10^{-28}	-1.602×10^{-19}	-1	質子(p)	1.673×10^{-24}	$+1.602 \times 10^{-19}$	+1	中子(n)	1.675×10^{-24}	0	0
粒子名稱	質量(克)			電量															
		庫倫	基本電荷★																
電子(e)	9.109×10^{-28}	-1.602×10^{-19}	-1																
質子(p)	1.673×10^{-24}	$+1.602 \times 10^{-19}$	+1																
中子(n)	1.675×10^{-24}	0	0																

圖3：整理課文描述原子的定性/定量資料(筆者自製簡報)

(2) 根據上述定性/定量資料與靜態/動態描述，以6W分析(who、when、what、where、why、how)產出相關問題，請小組討論可能原因、判斷哪些是科學可驗證的問題，如圖4。此活動可呼應探究學習內容中的訂定問題、表達與溝通。

發現問題-形成與訂定問題

➢ 根據定性or定量、靜態or動態觀察，形成下列問題：

who (誰)： 誰發現組成粒子？

when (何時)： 什麼時候發現組成粒子？

what (什麼)： 組成粒子有什麼特性？

where (哪裡)： 組成粒子分布在哪裡？

why (為什麼)： 為什麼是分布在那裡？

how (如何)： 如何證明是物質組成粒子？如何定量粒子的特性？

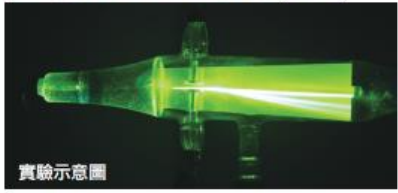
➢ 聚焦所形成的問題，討論可能原因？優先次序？

➢ 形成的問題可以驗證嗎？查閱相關文獻了嗎？

圖4：根據各種描述，以6W分析法產出相關問題（筆者自製簡報）

(3) 以圖4中how為例，引導學生討論問題：「如何證明電子是物質組成粒子？電子電量、質量如何測得？」接著讓學生閱讀物理課本中，有關湯姆森陰極射線實驗、密立坎油滴實驗相關教材（原子的尺度與結構），讓各組判斷各實驗驗證的科學問題為何？例如陰極射線實驗可驗證電子的受力情形、油滴實驗可驗證帶電油滴的飄浮情形。接著針對問題：「電子的電量、質量如何測得？」讓學生討論陰極射線實驗的研究計畫，例如：控制、操作、應變變因為何？實驗結果如何測量？實驗裝置、流程為何？如圖5所示。此活動可呼應探究學習內容中的訂定問題、擬定研究計畫等。

規劃與研究-擬定研究計畫

研究主題		陰極射線在電場中的偏移情形
目的：		測量不同原子受激後放出之射線於電場或磁場中的偏移情形，了解此射線的特性，進而推敲組成原子之粒子特性
材料：	變因：	● 控制變因：氣體種類、氣體壓力、放電管長度、電場強度... ● 操作變因：陰極材料 ● 應變變因：陰極射線偏折之曲率半徑(荷質比)
實驗方法：		 <p>實驗示意圖</p> <p>圖片出處—南一課本</p>
預期結果：		

玻璃管兩端置入金電極，連接一高壓直流電源，玻璃管內含少量氣體，當直流電源提高至約一萬伏特時，管內的氣體發出色光，此時把殘餘氣體抽出幾近真空，則氣體發光的現象消失，在陰極對面的管壁上塗上螢光物質，觀察管壁發出螢光情形

圖5：整理陰極射線實驗的研究計畫，如目的、變因、實驗方法等（筆者自製簡報、其中實驗示意圖引用自南一書局物理課本第二章-原子的尺度與結構）

- (4) 針對陰極射線的實驗結果，讓學生依CER論證模型，從各項實驗證據中作出主張，並完善其中的推理過程。例如，射線經過障礙物後形成陰影、射線使小輪軸轉動、射線使螢光物質發光...屬於證據，而射線直線前進、具有粒子特性、帶負電是推理得出，接著結合「在不同金屬中獲得相同實驗結果」等證據，作出主張：「陰極射線是由一束具有質量、且帶負電荷的粒子所組成，為原子的基本組成粒子之一」。另外「電子的電量、質量如何測得？」此問題，可引導學生討論出：單由陰極射線實驗僅能獲得電子的荷質比，無法單獨測得電子的帶電量或質量。如圖6所示。



圖6：以陰極射線實驗結果整理出CER論證模型（筆者自製簡報）

湯姆森根據陰極射線實驗提出原子模型：原子是一個帶正電的球體，其中有帶負電的電子均勻分布於其中，就像葡萄乾灑在布丁上面一樣。針對此模型進一步提出新問題，讓小組討論、察覺模型的侷限處，最後引導學生了解原子模型的修正與發展（西瓜模型→核原子模型→氫原子模型→軌域...）。如圖7所示。此活動可呼應探究學習內容中的論證建模。

其他的課程單元例如共價鍵理論的發展、氣體性質的實驗設計、理想與非理想溶液比較等，實施探究教學的效果亦佳，老師們可鼓勵學生事先閱讀文本、踴躍發表(避免教師直接教授)。透過小組的探索、解釋、交流、評價，除了活化教學氛圍、複習探究實作學習內容外，更能刺激學生將課本知識重新梳理，使之更具邏輯、程序性，進而不斷練習、培養帶的走的探究能力。

發現問題-形成與訂定問題

who (誰) : 主要影響原子性質的是哪種粒子?
when (何時) : 描述原子的不同模型何時適用?有何限制?
what (什麼) : 粒子的特性與什麼因素有關?不同模型的相同、相異點?
where (哪裡) : 電子分布在哪裡?可以定量嗎?
why (為什麼) : 為什麼電子的運動測不準?為什麼電子的運動要用軌域描述?
how (如何) : 如何描述電子的運動?有何應用?



圖7：提出新問題，引導學生了解原子模型的修正與發展（筆者自製簡報）

■ 結語

探究與實作課程為學生與教師提供了一個持續成長的機會。對於學生而言，微課程與小論文的撰寫使其在開放式探究中得到進一步的深化與擴展。對於教師而言，根據探究與實作的教學經驗，開發相呼應的探究教學，不僅提升了教學的靈活性，也為教育創新提供了契機。

■ 致謝

本文感謝敝校自然科探究團隊，透過多次共備提供 6W 分析、CER 論證...等教學模組，並感謝南一書局同意筆者引用部分課本圖文以便說明。

■ 參考文獻

王名儒（主編）（2023）。自然科學領域物理課本（第三版）。南一書局。

洪振方（2003）。探究式教學的歷史回顧與創造性探究模式之初探。高雄師大學報，15，641-662。

教育部（2018）。十二年國民基本教育課程綱要國民中小學暨普通型高級中等學校-自然科學領域。臺北市：教育部。

葉名倉（主編）（2023）。自然科學領域化學課本（第三版）。南一書局。

■ 附錄

附錄 1：「逸」猶未盡—量化探討不同氣體穿透泡膜速率不同之因素

作品介紹影片 <https://www.youtube.com/watch?v=l8C4aCp88N4>

附錄 2：指紋鑑識長見識

作品介紹影片 <https://www.youtube.com/watch?v=05O2X8pcHto>