資優教育季刊　民 112 年　第 161 期　第 1-8 頁
https://doi.org/10.6218/GEQ.202304_(161).1-8

資優生探究與實作教學
——密度量測實驗課程為例

陳育霖*
國立臺灣師範大學
師資培育學院暨物理學系
助理教授

摘　要

由於資優生的學習特性，科學課堂回應科學本質是課程的重要核心。為了資優學生的科學過程性技能培養，本文從探究與實作取向的素養導向教學角度出發，分析國中八年級理化實驗課程的課程設計與實踐細節，思考數理資優教學的可能設計。

關鍵詞：資優、探究、素養、科學本質

* 通訊作者：陳育霖（chendaneyl@ntnu.edu.tw）

Gifted Education Quarterly 2023 Issue No. 161 Page 1-8
https://doi.org/10.6218/GEQ.202304_(161).1-8

Gifted Student Inquiry-Based and Practice Instruction: A Case Study of Junior High School Eighth-Grade Chemistry and Physics Experimental Course

Yu-Lim Chen*
Assistant Professor,
School of Teacher Education &
Department of Physics,
National Taiwan Normal University

Abstract

Catering to the unique learning characteristics of gifted students, this paper underscores the role of aligning science instruction with the nature of science. In pursuit of nurturing the scientific process skills of gifted learners, this study adopts a competency-based approach centered around inquiry and practice application within a junior high school eighth-grade chemistry and physics experimental course.

Keywords: gifted, inquiry, competency, nature of science

*Corresponding Author: Yu-Lim Chen (chendaneyl@ntnu.edu.tw)

壹、前言

資優學生在學習上呈現出多方面的獨特特質。在認知方面，他們學習的速度極快，具有優異的記憶力、敏銳的觀察力、深入的理解能力、廣泛的知識、獨特的思維模式，常常提出深入的疑問並善於運用靈活的解決策略。而情意方面，資優生通常擁有豐富的理想和抱負，對於自己的期望較高，擁有強烈的自信心，追求卓越和完美、熱愛冒險，具有堅持不懈的毅力、享受獨立思考、相對較少追隨從眾。至於生理特質，他們表現出充沛的精力、複雜的生活作息、敏銳的感官觸覺，以及獨特的個人風格。資優學生不僅具有豐富的學習潛能，對於追求卓越有著堅定的意向，同時也擁有高度的精力與活力。資優學生的過度激動傾向 (overexcitabilities) 呈現著正面與負面的特質，然而這同時也是一種促使成長發展的動力（郭靜姿，2000；潘裕豐，2000；Dabrowski, 1964）。依此，筆者在教學上運用探究與實作取向的素養導向教學以因應資優課程教與學，課程設計以證據引導學生學習知識，從解決問題的過程中建構專家解決問題的過程性技能。

科學本質（nature of science，簡稱 NOS）是科學的後設視角，包括歷史、哲學、社會學、心理學和科學實踐方面的觀點 (Galili, 2019)。McComas 定義科學本質指出，NOS 包括了解科學如何運作、觀察科學家的工作，以及回顧他們在學術社群中的互動 (McComas, 2004)。科學本質同時是近年來科學教育中普遍強調的重點，因為它是科學素養的重要組成部分 (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Matthews, 2012)。從教學方法來看，資優生的自然科學課程更強調十二年國民教育自然科學領域課程綱要所提的探究能力、科學態度與本質及核心概念的素養導向教學（教育部，2018，以下簡稱自然領域課綱），需要從證據實例依靠學生自己的思考來解決問題並發現當中規則，進而達成學習。「以學生為中心」的探究與實作教學或問題導向學習（problem based learning，簡稱 PBL）回應科學本質及科學家解決問題的方法（陳育霖，2020），是可行策略。

在實際課程設計當中，依教學內容的取捨來看，資優生更需要強調過程性技能培養的課程，重視自然領域課綱的學習表現。藉以幫助資優生發現自我多元智慧及學習特性，從情意面找尋自我價值（郭靜姿，2000；潘裕豐，2000），同時建構可遷移且帶得走的素養。

「密度」的科學概念在自然領域課綱當中跨越物理、化學、地球科學、生物等科目，同時跨越第四、第五學習階段，共出現 23 次（教育部，2018）。到國中八年級才第一次出現，顯然不是相當直覺的概念，國中之後在數學、物理、化學、地球科學、生物等學科領域當中都常出現。對於未來在科學 (science)、技術 (technology)、工程 (engineering) 及數學 (mathematics) 等 STEM 領域發展的學生預計會在流體力學當中遇到大量「質量密度」，用來代換表述「質量」在牛頓力學方程式中的角色 (White, 2015)，電磁學運用各式電荷密度，像是線密度、面密度 (Jackson, 1998)，數學及量子力學使用機率密度 (probability density) 來描述各種系統特性 (Arfken & Weber, 2005; Shankar, 1994)。

密度 (density) 在國中階段的學習內容，是純物質的特性之一，因為是物體的平均體積當中的質量總和，所以用密度的值來辨識純物質並不是一個恰當的作法，但是純物質的密度是穩定的物質特性，所以古希臘時代阿基米德才會利用密度來辨識真金皇冠（郭奕玲、沈慧君，2017）。密度也是在重力場中判斷物體浮沉的物理量，如果加入物體或流體的密度大於原先流體，則物體上浮，流體位於上層（如果暫時不互溶）。因此密度差異是重力場中發生對流的重要原因 (Carroll & Ostlie, 2006)。地球科學課程當中，鋒面形成也是冷暖空氣集體的密度差異造成 (Ahrens & Henson, 2018)。行星科學對於地球內核的金屬成份，最初步的猜測也是來自於地殼的岩石成分與星球整體平均密

度的差異推測而來，因為地殼的密度小於整體星球的平均密度，所以推測地球核心的成分密度應該高於地殼的成分岩石 (Carroll & Ostlie, 2006)。

貳、水的密度實驗

國中八年級理化課本從國立編譯館版本至今一直都有一個相當有啟發性的實驗，是關於水（或者液體）的密度測量。在理化課程剛開始起步的時候，引導學生從長度、面積、體積及質量的量測，進而認識密度是物質的特性之一，從日常生當中常見的物質特性認識，同時學習初步科學量測與數據取樣處理和解讀。由於物質固態及液態都能夠在實驗室中量測得出密度，所以課程當中都會設計密度相關實驗。

實驗的步驟方法大致都相同，然而單元名稱從早期的「水的密度測量」到現今有些課本寫成「水的體積、質量與密度的關係」，課程進行步驟也因應單元名稱進行相對調整。考慮不同的教學設計思維，無論實驗的步驟是直接教學法中教師提供或探究與實作中學生探究得出，都是在量筒中逐次加入固定體積的水，測量不同體積的水所對應的質量。接著標示出不同體積的水所對應的質量，藉以從水的體積與質量關係圖中得出水的密度。

如早期的實驗單元名稱是「水的密度測量」，從實驗的名稱看來，目的就是要測量水的密度，其實只需要針對同樣體積的水重複進行多次測量，再取平均即可達成「水的密度測量」。但是這個實驗的進行方式，從國立編譯館版本時代開始，一直都是逐次增加水的體積，測量相對應的質量，在固定體積和質量的情況下的數據分佈來求得水的密度（國立編譯館，1999）。

事實上，一直重複同一個體積對應質量的量測平均，雖然多次量測取平均值呼應了量測的科學本質，但是多次重複的動作較難促進學生學習動機，同時，由於只得到特定體積量值附近的質量，無法得知其它體積的對應質量情形究竟如何，難以針對體積與質量的關係進行適當的掃描調查 (scan survey) ，不能更進一步確定體積對應質量的關係。

實驗中要求製作體積與質量的關係圖，除了可以從斜率或其中各組體積與質量比值平均得到水的密度，還可以看出在溫度、壓力不變的情況下，質量與體積成正比。

科學的過程技能方面，學生透過實驗歷程熟悉實驗器材的使用要領、量測技術、數據的有效位數取捨、準確值與估計值運用、數據表與關係圖繪製。數據點之間應該是任兩點以直線連接還是將所有數據點一起進行最小平方法 (least squares method) 的線性迴歸 (linear regression) (Arfken & Weber, 2005)。正是以科學家解決問題的方法來發展學生的科學素養。

關於以上單元「水的密度測量」，運用食譜式實驗教學步驟來達成教學，要求學生逐次加入水來量測質量的方法，其實是暗示「水的體積與質量成正比」的前提假設，似乎是已經知道結論再來進行實驗「驗證」，對於資優生來說較缺乏挑戰。如果設計成探究式課程，則可以直接變成「水的密度要如何測量？」的探究問題。學生如果缺乏背景知識，教師可以提供情境知識當作鷹架給學生進行探究與實作。如果沒提供更多引導，學生就時常選擇測量多次相同體積與質量來得出平均密度。所以單元名稱可以直接設計成更具有引導特性的「水的體積、質量與密度的關係」。

除了探究特性及挑戰程度之外，如果實驗的方法是找尋「水的體積與質量的關係」，且萬一實驗得出液體的體積與質量的關係並非線性關係，而是如圖 2 所示，學生還可以從中探究重力場對於液體內在結構的影響或者液體分子之間的作用力對於液體體積的可能影響。因此，將前述實驗設計成尋找「體積與質量的關係」比起「密度測量」，雖然實施步驟差不多，但是最後多了不少現象資訊，幫助了解液體的物質特性。由此，提供情境讓學生習慣不要把所有物理量之間的關係結果當作理所當然（學生通常認為物理量之間的關係是正比或反

比），常常是科學家需要面對的真實情境，這有助於資優生跳脫既有思考框架及培養面對未知的勇氣。

若單元名稱設計成「水的體積、質量與密度的關係」，解讀起來則是希望能夠找到水的體積、質量與密度這些物理量之間的關係，題目描述本身具備探究問題的特質。本質上就是引導學生進行實驗來找到「水的體積、質量與密度的關係」，較接近科學家日常面對未知情境的研究歷程。

所以基於科學本質，希望科學課堂營造接近科學探究情境，建議單元的實驗名稱改成「水的體積、質量與密度的關係」，提供一個解謎且具挑戰的情境給資優生，同時如果考慮較開放型的探究課程，可要求學生提出實驗假設對應控制變因、操縱變因及應變變因，甚至設計數據紀錄圖表。

「水的體積、質量與密度的關係」，執行不同體積的液體所對應的質量測量，實驗設計與探究步驟簡述如下：

1. 寫下實驗假設。
2. 依據實驗假設，寫出控制變因。
3. 依據實驗假設，寫出操縱變因。
4. 依據實驗假設，寫出應變變因。
5. 依據實驗假設及以上三個變因，設計實驗步驟並進行實驗與紀錄。
6. 利用量筒量取不同體積的液體，直接測量它的質量。
7. 改變不同體積的水測量不同體積水的質量，紀錄體積對應質量的數據，如表 1。
8. 依據體積對應質量的數據紀錄，以體積為橫軸，質量為縱軸，畫出體積與質量的關係圖，如圖 1 (a) 與圖 1 (c)。
9. 畫出斜直線之後，發現質量垂直軸的截距就是量筒的質量。
10. 整體斜直線往下平移會得到過原點的體積與質量成正比的圖。

質量垂直軸的截距 60.0g，所以總體質量數據都減去量筒質量 60.0g，再畫一次體積與

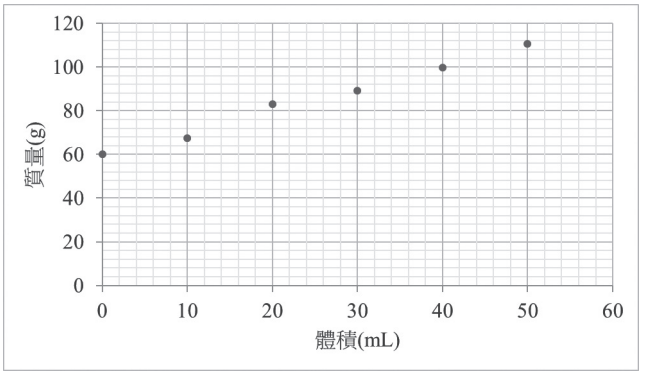
表 1

液體體積與質量數據記載表

體積(mL)	0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0
質量(g)	60.0	67.4	83.1	89.1	99.7	110.5

圖 1 (a)

液體體積與質量數據關係圖



質量的關係圖，就得到圖 1 (b)，於是可以發現液體的體積與質量成正比，質量除以體積或得出斜率就可以得到密度。

從素養導向教學的角度來看，為了培養資優生的科學過程性技能，我們會考慮將核心的探究問題對應後設思考，整理成表 2。

圖 1 (b)

液體體積與質量數據關係圖加上趨勢線

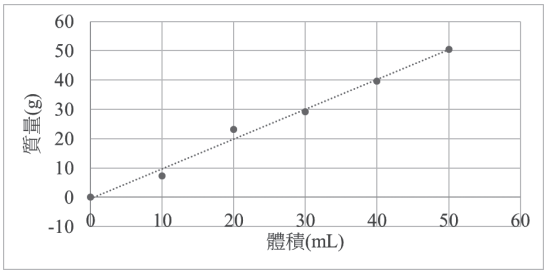


圖 1 (c)

液體體積與質量數據關係折線圖

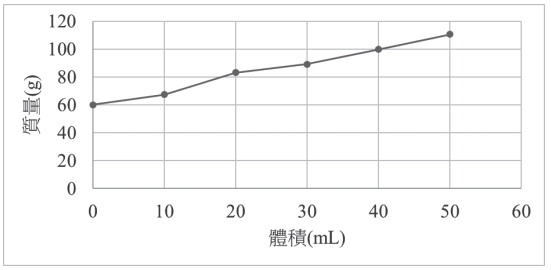


表 2

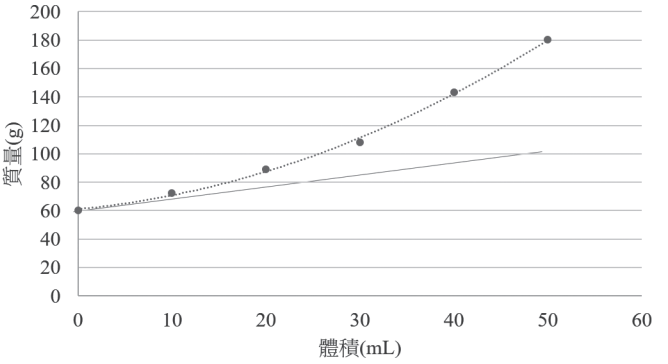
課程中對應科學素養的探究問題

次序	問題	後設思考
1	實驗設計中，控制、操縱、應變變因各自是什麼？操縱變因、應變變因，會如何在關係圖上對應呈現？	辨識實驗設計當中最核心的變因設定及其對應實驗假設的關係，另從圖上判讀橫軸與縱軸的變因關係
2	圖形的垂直軸上的截距代表的物理意涵是什麼？	因為截距，所以無法判讀正比關係，充其量是呈正相關，實驗過程，學生須意識到所有數據的真正意涵
3	請試著以數學模型關係及關係圖上直接畫圖描點來判斷 25 mL 的水，質量為多少？ 提示：在體積與質量關係圖上的所有的數據點，最後想要畫線來看出質量與體積的整體變化關係，應該是任兩數據點間以直線相連，畫成折線圖，還是取一條最接近所有點的直線或趨勢線？	利用數據內插法的任務促進學生探究數據處理及表達的方式。任兩數據點間以直線相連表示直線所過的點都是作者認為預測可行的數據，在內插過程中會發現不如運用趨勢線來得合理
4	說明以此關係來看液體的體積與質量的對應關係應該如何描述？	學生因此理解圖形所示正相關與呈正比的關係

次序	問題	後設思考
5	如果體積與質量的關係趨勢線不是直線而是慢慢的彎曲向上，如圖 2 所示，或者是慢慢的彎曲向下這兩者各自代表的意義又是什麼？	假設性的問題，希望學生能夠如科學家解決問題一般跳脫框架思考，同時想像更多模型的可能性，並由此發現，實驗設計找出體積與質量關係有更多探索物理現象的好處
6	如果要測量液體的密度，應該使用同體積同質量測量很多次，還是不同體積，不同質量測量完之後，由斜率來得出密度	需要學生學習探究平均計算與數據分布的關係，同時綜合思考整體實驗設計

圖 2

某種液體體積與質量的關係圖



參、建議與結論

密度的概念應用層面非常廣，屬於較高認知層次且為引入數學表述的概念，在數學、物理、化學、生物、地球科學各個領域當中都有相當多的運用，可見其重要性。

本文的重點不在探討學生在學習前後對於密度所產生相關迷思概念，主要著重在從實驗科學的本質來看待國中理化課程當中關於液體的密度測量這一個實驗的呈現方法，以及希望具有探究精神以回應科學本質的課程設計。但是教師可以透過實驗先行，讓學生發現密度這一物質特性，再來討論其物理定義——每單位體積的質量大小，可以從具體到抽象認知，幫助學生從證據建構理論概念，也是學生學習理論概念的素養導向教學取徑之一。

如果單元名稱定為「水的密度測量」，在過程中要求學生逐步增加體積來量測質量的標準步驟，食譜式實驗的教學引導過程，隱含了一個明顯假設「體積與質量成正比」，學生未實驗就先知道結論。

單元名稱換成「水的體積、質量與密度的關係」，是更進一步具體化探究實驗步驟，讓學生自身經歷實驗假設、變因設計等實驗設計的核心以解決科學問題。

以探究與實作取向的教學觀點看來，「水的體積、質量與密度的關係」較為符合原先「水的密度測量」當中的實驗方法步驟，同時能夠更加具體從實驗標題來讓學生準備經歷科學探究歷程。

實驗過程中，運用探究問題來幫助學生進一步建構知識，從內插數據的問題思考體積與質量關係圖上數據點的連接方式，對應選擇折線圖或者趨勢線的原因。假設體積與質量的關係圖並非直線關係，則可能的物理機制為何？以此來向學生揭示，為什麼了解水的密度需要大費周章，逐次量測不同體積的對應質量。

資優生的學習特質包括：對於自己的期望較高、擁有強烈的自信心、追求卓越和完美、熱愛冒險、具有堅持不懈的毅力、享受獨立思考、相對較少追隨從眾、希望接受挑戰並思考更多未知的可能性，與科學家日常解決問題的情境相近。所以課程設計提供更多情境與問題讓資優生進行探究與實作，則更加貼近教學設計的有效實務，也更加符應科學本質，營造更具科學精神的科學課堂。

參考文獻

郭奕玲、沈慧君（2017）。**物理學史**。五南圖書。

郭靜姿（2000）。談資優學生的特殊適應問題與輔導。**資優教育季刊，75**，1-6。

教育部（2018）。**十二年國民基本教育課程綱要——自然科學領域**。教育部。

陳育霖（2020）。科學本質導向的物理學探究式教學。載於陳昭珍、蔡雅薰（主編），**探究式教學法理論與實踐**（頁 77-79）。高等教育出版社。

國立編譯館主編（1999）。**國中理化課本，第一冊**。國立編譯館。

潘裕豐（2000）。談資優學生的情意教育。**資優教育季刊，77**，1-7。

Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, *22*(7), 665-701. https://doi.org/10.1080/09500690050044044

Ahrens, C. D., & Henson, R. (2018). *Meteorology today: An introduction to weather, climate, and the environment* (12th ed.). Cengage Learning.

Arfken, G. B., & Weber, H. J. (2005). *Mathematical methods for physicists* (6th ed.). Elsevier.

Carroll, B. W., & Ostlie, D. A. (2006). *An introduction to modern astrophysics* (2nd ed.). Addison-Wesley.

Dabrowski, K. (1964). *Positive disintegration*. Little, Brown.

Galili, I. (2019). Towards a refined depiction of nature of science applications to physics education. *Science and Education*, *28*, 503-537. https://doi.org/10.1007/s11191-019-00042-4

Jackson, J. D. (1998). *Classical electrodynamics* (3rd ed.). John Wiley & Sons Inc.

Matthews, M. (2012). Changing the focus: From nature of science (NOS) to features of science (FOS). In M. S. Khine (Ed.), *Advances in nature of science research* (pp. 3-26). Springer.

McComas, W. F. (2004). Keys to teaching the nature of science: Focusing on the nature of science in the science classroom. *The Science Teacher*, *71*(9), 24-27.

Shankar, R. (1994). *Principles of quantum mechanics* (2nd ed.). Springer.

White, F. M. (2015). *Fluid mechanics* (8th ed.). McGraw Hill.