資優教育季刊　民 111 年　第 159 期　第 1-16 頁
https://doi.org/10.6218/GEQ.202208_(159).1-16

科學雙語教學是否雙予？問題導向教學促進雙語及科學本質學習

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

基於雙語教與學的研究，問題導向探究式教學策略，可以從認知要求較低的語言型態幫助實踐符合科學本質精神的科學教學。

問題導向探究式教學的特點，以問題結構搭建學生的知識概念鷹架，學習過程的主要角色是學生，知識是靠學生自行建構，不是單純由教師外在灌輸，教師扮演課程知識架構規劃者，引導學生連結知識概念，同時培養解決問題的過程性技能。運用認知負荷較低的人際溝通語言即可進行探究問題的情境鋪陳，學生參與課堂的門檻相對較低。

以問題導向教學法進行科學教學，不僅有利於引導學生體認科學本質，同時在使用第二語言教學時，能展現學習成效。

關鍵詞：問題導向、探究式學習、人際溝通語言、學術語言

* 通訊作者：陳育霖（chendaneyl@ntnu.edu.tw）

Gifted Education Quarterly 2022 Issue No. 159 Page 1-16
https://doi.org/10.6218/GEQ.202208_(159).1-16

Is Problem-Based Bilingual Teaching and Learning of Science a Double Benefit?

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

Abstract

The formation process of scientific knowledge points out the importance of a common scientific language. The internationalization of the nature of science and the use of bilingualism provide important reflections on the core literacy of bilingual science teaching. Based on the research on bilingual teaching and learning, a problem-oriented inquiry-based teaching strategy in bilingual education could align with the spirit of scientific teaching when considering cognitive demands with different language types, including interpersonal communication language and academic language. In summary, integrating a problem-based teaching strategy in scientific bilingual learning could be an effective approach.

Keywords: problem-based, inquiry-based learning, BICS, CALP

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

壹、前言

科學的發展推動人類文明與經濟進步，全球都在努力追求更適合的科學教育。尤其是當今社會，操縱量子態的能力有可能徹底改變我們社會和經濟的性質，就像當今網路與人工智慧對於今日社會產生的革命性改變一樣。然而，與這些新技術相關的工作將需要訓練有素的多元化人力資源來應對這些新挑戰 (Fox et al., 2020)。在人工智慧時代，非營利組織課程再設計中心 (Center for Curriculum Redesign) 致力於學生應該學什麼且如何學習，於2015年提出的 21 世紀技能 (Skills for the 21st Century) 也強調，21 世紀是充滿改變、不確定、複雜和模糊的時代 (Center for Curriculum Redesign, 2015)。人才須具備的能力不僅有知識，更需要求素養導向教育的思考（competency-based education，簡稱 CBE），以確保在真實社會生活具備生存能力 (Fadel et al., 2015; Trilling & Fadel, 2009)。

美國新一代科學教育標準（Next Generation Science Standards，簡稱 NGSS）提到未來人才特質當中的關鍵，問題導向探究式的教學引導策略 (inquiry-based strategies)，朝向科學素養培養並且注重與日常生活的連結，同時重視科學本質的認識及態度形成，是下一個世代人才培育的發展趨勢 (Frey & Osborne, 2013; NGSS, 2013)。

科學本質上國際化及科學通用語言的使用以及從探究事實證據來形成科學知識的過程，可以是科學雙語教與學的情境脈絡切入點（陳育霖，2022），實際課程設計與執行則需要對應自然科學領域及第二語言學習的核心素養，思考有效策略來幫助學生有效達成學科內容學習。

一、第二語言習得

雙語教育 (bilingual education) 是以兩種語言教學與評量 (Garcia, 2009)。運用兩種語言進行教學，一種是本國語，另一種是外語。雙語教學有可能在所有課程中實施，也可能只在部分課程中，每種課程當中使用兩種語言的比例多寡依課程模式而有所不同 (Anderson & Silver, 1984)。

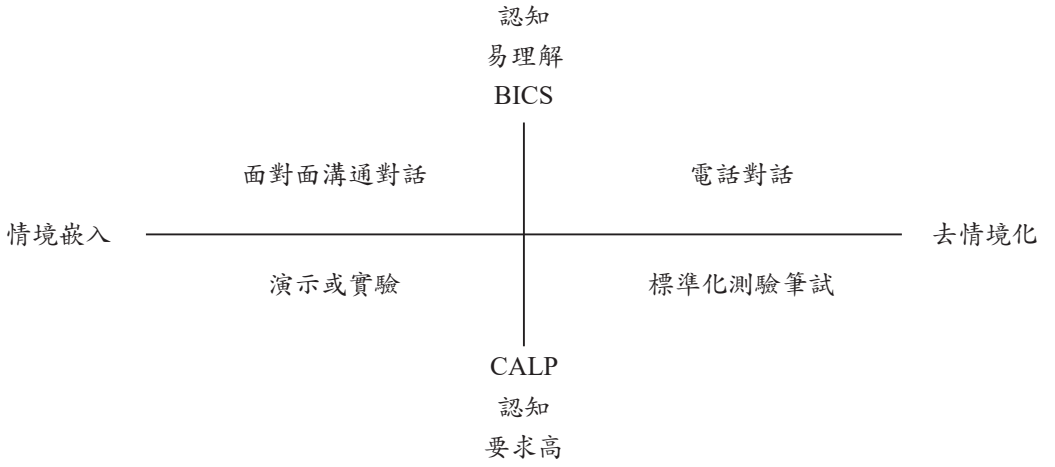
在非英文母語學生課堂中，以英語作為主要授課語言的相關研究，學者提出了以下幾個教與學的問題提醒 (Çankaya, 2017)，分別包含，理解概念的能力降低；對所學學科的知識程度難以提升；過度消耗時間；造成課堂疏離感；由於英語能力不足，參與投入課堂的人數少。

二、日常溝通用語技巧與認知學術語言能力

Cummins 在 1980 年代的雙語學習研究發現，學習者對於第二語言學習，需考慮兩種不同面向的語言能力，分別是日常溝通用語技巧（Basic Interpersonal Communication Skills，簡稱 BICS）與認知學術語言能力（Cognitive Academic Language Proficiency，簡稱 CALP）。學習者的日常溝通語言能力 (BICS) 流暢，不一定代表其學校學習當中使用的學術語言能力 (CALP) 佳。BICS／CALP 最初是在雙語教學的語言任務或活動中，用來區分認知需求和情境支持的範圍（情境嵌入或去情境化、認知要求低或認知要求高），考慮 BICS 與 CALP 使用時機的情境化程度，可以將溝通與知識傳播的過程劃分為幾種類型，見圖 1，將不同類型溝通呈現在四個象限當中，各舉例說明去情境化或情境嵌入及認知要求高或低的語言溝通情況。圖 1 右上的例子是講電話，使用認知需求較低的 BICS，因為看不到對方表情，是典型的去情境化，以現代來說，社交媒體上的的簡訊就是其中一種，雙方難以借助表情或肢體語言輔助情緒表達。圖 1 左上是使用 BICS，且情境化，例如面對面講話的溝通過程，可以藉由表情或肢體動作的情境嵌入來判讀對方語言訊息。右下是使用認知需求較高的 CALP，且去情境化，例如標準化測驗常用的考題內容描述，通常情境極短，但是充

圖 1

日常溝通用語技巧與認知學術語言能力使用時的情境化程度與認知要求



註：取自 Cummins, J. (1984). *Bilingualism and special education: Issues in assessment and pedagogy*. Multilingual Matters.

滿學術認知需求。左下是使用 CALP，且情境化，例如實驗或演示，提供情境，且學術認知要求高 (Cummins, 2008)。

學習者在雙語教學當中第二語言能力須先達到最低「門檻」，接著才能在雙語的課堂中受益 (Cummins, 1976)。如果學生在課堂當中，對於用來傳授學術素養的語言，能力相對較弱，學習成就往往越來越落後，除非教學過程能夠使學生理解課程的資訊輸入（包含書面和口頭傳達）並在課堂上進行學術參與 (Cummins, 1976)。所以幫助學生了解上課的訊息傳達並引導參與投入，顯然是透過雙語學習過程的重要核心思維。

針對加拿大學校當中以英語作為附加語言（English as an Additional Language，簡稱 EAL）學生的語言能力研究結果顯示（像是移民學生），學生的日常人際英語交流 (BICS) 學習熟練大約 1 至 3 年內可以達到同齡學生的水準，學校課堂當中使用的學術語言 (CALP) 大約需要 5 至 7 年才能掌握 (Cummins, 1980; Cummins, 1984)。

有學者認為針對 EAL 學生的有效教學應該主要集中在情境嵌入和認知要求高的任務上 (Coelho, 2004; Cummins, 1981)。以科學學習過程為例，運用更多演示實驗等情境化的鋪陳方式更容易幫助學習者學習 (Giamellaro, 2014; Perin, 2011; Sánchez Tapia, 2020)，同時為了讓第二語言學習者以更容易接受的語言媒介來聽、說、讀、寫學習，運用更多人際溝通語言或可促進教與學的溝通歷程更加順利。因此學習任務考慮的情境嵌入和認知要求可以是雙語課程的重要切入點與思考架構，用以設計有效的雙語科學課程。

考慮 BICS 與 CALP 的情境與認知分布，以較接近日常用語的問題層次及結構進行課程設計，學習者在教師引導下，依循課程的論證推理形成新知識，可以完備課程整體的邏輯架構。學習者藉由較低語言認知負荷的問題描述，從情境脈絡當中解決問題，過程中逐步熟練認知學術語言。為了避免過度去情境化所帶來的語言及新概念認知負荷過高，課程的情境問題須注意提供鷹架支持 (scaffolding) (van de Pol et al., 2015)，以利學生在順利建構知識與新概念。

由於學術語言 (CALP) 主要存在於書面文本中，因此學習者廣泛參與閱讀是有效學習的重要部分。研究發現，透過合作學習進行文本討論，可以促進學生內化理解文本中的學術語言 (Guthrie, 2004)。真實情境的寫作也有助於學術語言學習，當雙語學生敘寫自身見聞遭遇時，不僅鞏固學術語言的各個面向，還透過語言表達自己的身份認同，並且從教師和其他同儕的反饋進一步發展自我表達 (Cummins et al., 2007)。在教學策略上，可以在書面文本、學習單以及學生撰寫報告的模板中，設計嵌入學術語言。筆者實踐經驗當中發現，課堂裡相同學術語言不斷重複出現，即使門檻相對於日常溝通語言高，學生還是能夠熟悉運用。

從前述得知，EAL 學生的有效教學應該主要集中在情境嵌入和認知要求高的任務上。加上學習者較容易精通 BICS，所以運用問題導向教學，加以情境嵌入，安排高層次認知思考的問題是達成學科雙語教學的目標可行取徑，同時由於課程就是問題與動作指令鋪陳的架構組成，教師能夠透過教學過程當中針對學生的指令動作執行及問題回答，隨時進行形成性評量，理解學生是否跟上課程進度，這部分比起母語教學的課程顯然更加重要。

三、問題導向探究式教學

問題導向的教學（Problem-Based Learning，簡稱 PBL），教師在教學設計的過程當中不斷提出動作指令或問題，以此來凸顯學生是課堂中的主角，增加學生對於課程的投入，是實現「以學生為中心」教與學的可行策略 (Kwan, 2002)。當學生以解決問題的方式參與課程，學生及教師對於課程的回應自然也創造了課程內容的一部份 (Swartz, 1998)，教師可以針對團隊共創的內容結果，從較接近學生熟悉語言的描述進行聚焦整合，再依此建立對應學術語言的概念，可以避免課程一開始就過度使用去情境化的學術語言。此外，由於學習探究的概念經過情境鋪陳設計，研究表明問題導向探究型態教學策略能夠拉近學習者在學業成就上的起點行為，同時促進學習動機（陳育霖等，2014）。比起直接教學授課，證據為導向的探究式主動學習更加有效地提高學生在科學、工程和數學方面（Science, technology, engineering, and mathematics，簡稱 STEM）的學習表現 (Freeman et al., 2014)。

「以探究的方式教授科學」(Schwab, 1960) 在過去的半個世紀裡，一直是科學教學的時尚。在科學教育中，探究式學習 (Inquiry-based learning) 是促進科學推理的一種方法，要求學習者積極應用知識的不同面向來研究探索科學知識形成過程 (Kind & Osborne, 2017; de Jong, 2019)。透過像科學家一樣解決問題的方法，學習者使用相關背景知識以及方法技能（探究技能／科學推理技能）來研究現象或問題，課程核心是學習者問題解決的過程，課程設計的主體架構包含情境鋪陳及一系列待解問題及動作指令。如果情境任務都嚴謹注意取材自真實現象及數據，學生在探究問題的過程則是根據證據來進行推理，確保科學課堂都呼應科學本質，避免學生單純記誦定律及科學結論。

四、運用情境化的問題導向教學策略引導雙語科學課程設計

由於問題導向的教學策略從問題設計來架構課程，用以幫助學生在課堂當中從情境化的問題解決過程逐步建構概念，有機會從較低認知負荷的問題情境切入學習活動。所以教學步驟是運用教學策略從接近學生的起點行為搭建鷹架引導學生進入課程，學生解決問題時進行形成性評量，以了解學生的學習狀況。以上問題導向探究型態的教學與雙語科學課程的策略十分接近。雙語課程當中試圖利用日常人際溝通用語來鋪陳問題或任務，形成問題導向的教學架構，引導學生進行高層次思考的探究任務來建構學術語言能力，因為是面對非英文母語的學生進行雙語授課，為了確認學生是否跟上進度，需要隨時進行各種可能的評量來理解學生是否跟上進度。課程設計流程當中重視清晰

的問題情境鋪陳，能夠將情境問題清楚傳達，不一定需要全部使用學術語言。

課程實踐過程中發現，以學生的背景知識及生活經驗出發，設計探究問題情境，由學生進行問題解決，過程中透過教室社群的人際互動建構新知識，無論是科學探究課程或者雙語／全英語課程，都是可行的方式（陳育霖，2022）。

五、學術語言指標導入

世界許多國家從小學階段開始就在國際教育領域當中累積了豐富的雙語教育經驗。國際文憑課程 (International Baccalaureate) 是當中主要課程之一，該課程幫助小學生不僅能夠獲得與學科相關的能力和語言能力，有目標地建構學生認知學術語言能力 (CALP)，還能夠發展認知能力和高層次思維能力 (Gerasimova et al., 2019)。

素養導向教學的觀點看來，科學社群的通用語言習慣是雙語科學學習的過程技能與方法。用以論證推理的學術語言使用雙語溝通是科學的本質內涵之一（陳育霖，2022）。全球大學招生採計的幾個知名標準化學業成就評量，為了更加嚴謹地呼應學術語言學習，在評量目標中列出行動指令動詞彙列表，並詳細解釋其學術內涵，指明在測驗題目當中出現，用以具體評量學習者的學術認知能力，同時明白指出學生該如何運用學術語言素養來回答問題。國際文憑組織（International Baccalaureate Organization，簡稱 IBO）的國際文憑大學預科課程 （International Baccalaureate Diploma Programme，簡稱 IBDP）、進階先修課程 （Advanced Placement，簡稱 AP）、美國大學入學考試（American College Test，簡稱 ACT）、學術水準測驗考試（Scholastic Aptitude Test，簡稱 SAT）、英國中等教育普通證書（General Certificate of Secondary Education，簡稱 GCSE）都有對應評量題目的行動指令動詞彙（稱為 command terms 或 command words）(IBO, 2016)。

進階先修課程 (AP) 的行動指令動詞彙像是 justify、explain、calculate、determine、derive、sketch、plot 都具有精確的含義。學生作答時應特別注意這些詞彙的運用，以便獲得最高分數，並應避免在答案中包含不相關或無關的內容。從進階先修課程 (AP) 對於行動指令動詞彙 (command words) 要求嚴謹，可以看出讀寫學術語言能力的要求。

表 1 部分節錄國際文憑大學預科課程 (IBDP) 第四群組實驗科學課程依據評量目標 (Assessment objective) 劃分的三個不同認知層次行動指令詞彙 (command terms)，用以提示學生，考題的專門詞彙及評量目標，同時也是學習表達與論證的重要技能 (IBO, 2016)。

前述雙語課程設計若運用問題導向探究式教學法，課程當中主要以陳述、問題及行動指令構成課程邏輯的論證推理過程，與認知層次行為動詞對應的問題及行動指令組合之後，可以構成課程設計主線 (Dalton & Smith, 1986)，運用指令及問題搭建成課程的主軸，教師及學生的指令執行結果與問題解答共同形成課程內容的一部分。

利用語言來評量理解學生的認知能力，在評量當中依據布魯姆的認知層次劃分，提供了對應的行為動詞 (action verb) 可以用來進行課程與評量設計 (Anderson & Krathwohl, 2001; Linn, 2008)。

為了進一步發展有效和有意義的教學，設計活動和評量，挑戰學生從最基本的技能（記憶）轉向更複雜的學習，從而產生更高層次的思維（創造）。表 2 節錄呈現依批判思考層次劃分的行動詞彙，同時對應該層次行動詞彙的問題示例及活動設計與學習成果 (Dalton & Smith, 1986)。教師可以對應學習目標，在行動詞彙當中針對學生的學習目標選擇問題或學習活動設計，用以建構問題導向教學當中的問題及指令設計，組織設計探究與實作的課程流程步驟。舉例來說，教師預期學生能夠在記憶層次 (Remembering) 上能夠表現行動詞彙「描述 describe」，可以從表 2 當中選用問題示例以

表 1

國際文憑大學預科課程表列對應評量目標的行動指令術語及其定義

Command term 指令術語	Definition 定義
	Assessment objective 1 評量目標1
Define 定義	Give the precise meaning of a word, phrase, concept or physical quantity. 給出一個詞語、短語、概念或物理量的精確含意。
Draw 繪製或畫	Represent by means of a labelled, accurate diagram or graph, using a pencil. A ruler (straight edge) should be used for straight lines. Diagrams should be drawn to scale. Graphs should have points correctly plotted (if appropriate) and joined in a straight line or smooth curve. 通過標記的精確圖表或圖形來表示，使用鉛筆繪製。直線應使用尺來繪製。圖表應按比例繪製。圖形應正確地標出點，並用直線或平滑曲線連接。
	Assessment objective 2 評量目標2
Annotate 註解或加註	Add brief notes to a diagram or graph. 在圖表或圖形上添加簡短的註解。
Identify 識別或確定	Provide an answer from a number of possibilities. 從多種可能性中提供一個答案。
	Assessment objective 3 評量目標3
Analyse 分析	Break down in order to bring out the essential elements or structure. 解構以突出其基本要素或結構。
Comment 評論或註釋	Give a judgment based on a given statement or result of a calculation. 根據給定的陳述或計算結果給出評價。

註：取自 IBO (2016). *International baccalaureate diploma programme physics guide*. International Baccalaureate Organization.

及活動設計與學習成果，舉例如下。

問題：How would you describe……?
行動指令詞彙：Describe the Fourth Amendment.

如此能以日常人際溝通用語 (BICS) 形成課程架構，而課程內容則是教師鋪陳問題與動作指令之後，將學生的動作執行結果與問題回答內容進行團隊聚焦討論之後整合成為完整的課程內容。

貳、問題導向探究式在科學雙語課程的教學實踐

依據前述雙語教學研究發現，情境化的高認知層次學術語言能夠促進學習者第二語言學習 (Cummins, 2008)，在科學學習上，探究與實作的教與學能夠在科學雙語教學過程增進學生學習效果。教學者在問題導向的探究與實作教學策略設計上，能夠運用語言認知需求較低的人際溝通語言 (BICS) 來進行問題情境

表 2

節錄依據布魯姆認知層次進行分類的行動詞彙

Level of Thinking 思考層次	Verbs 行動詞彙	Sample Question 問題示例	Activities, Products, Outcomes 活動設計與學習成果
Remembering 記憶	Describe 描述 duplicate 複製 find 找出 list 列出	What is…? How did ___ happen? How would you describe…?	List the main events Write a timeline of events for… Describe the Fourth Amendment
Understanding 理解	Calculate 計算 compare 比較 define 定義	How would you classify the type of…? How would you compare or contrast…?	Explain what you think is the main idea Identify what you think are the most important supporting details
Applying 應用	classify 分類 construct 建構 Complete 完成 demonstrate 演示	How would you use…? What examples can you find to? How would you solve ___ using what you've learned?	Construct a marketing strategy for your organization Develop a storyboard of digital images to demonstrate a process

註：取自 Dalton, J., & Smith, D. (1986). *Extending children's special abilities: Strategies for primary classrooms*. National Library of Australia.

鋪陳，在探究課程問題過程中幫助學生在探究過程中進行高層次思考 (Mubarok et al., 2019; Sutiani, 2021)。

科學課程教與學的過程中，教學者可以依據教學目的選擇不同的教學策略，筆者由上述雙語教學當中人際溝通語言和學術語言的學習，以及問題導向探究式教學的設計安排，針對天文物理「天王星攝動微擾發現海王星」單元的教學內容，進行直接教學與問題導向學習的策略分析及實踐進行比較。探究式教學引用先前文獻中已有成效的科學史導向的探究式教學策略（陳育霖，2020）。兩者同時以法國天文學家勒維耶 (Le Verrier) 分析天王星繞太陽運行的觀測與理論軌道位置差異，從而推測並發現海王星存在作為實例 (Le Verrier, 1846)，分別在探究式教學法中設計成探究問題的情境脈絡，引導學生解決問題；在直接教學法中則是設計成情境舉例，用以補充說明理論鋪陳，如圖 2。

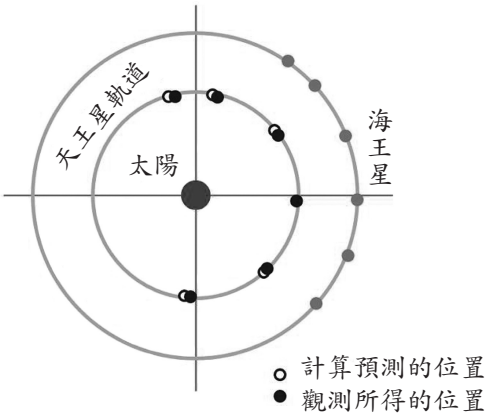
天文學中天體攝動微擾 (perturbation) 概念教授為例，兩個以上天體互動的空間概念相對不易理解，需要傳達的攝動微擾的定義是，「天文學中用來描述一個大質量天體受到一個以上質量體的重力影響而可察覺的複雜運動」。英文表達是：In astronomy, perturbation is the complex motion of a massive body subject to forces other than the gravitational attraction of a single other massive body.

一、直接教學法的步驟

直接教學法的教學步驟從教學單元標題宣告開始（表 3），先向學生講解主題是「天文物理中的攝動微擾」，接著陳述攝動微擾的定義，並且繪製示意圖指出天體之間的重力交互作用，分析力的向量組合。為了促進學生理解，補充情境實例來說明，舉出 1846 年天文

圖 2

天王星繞太陽軌道與海王星位置預測之分析圖



註：取自 Le Verrier, U. (1846). Sur la planète qui produit les anomalies observées dans le mouvement d'Uranus; quatrième partie: Détermination de la masse de l'orbite et de la position actuelle de cette planet. *Comptesrendus de l'Académie des sciences, 23,* 428-438 (séance du 31 août 1846).

表 3

「天王星攝動微擾發現海王星」單元直接教學法教學流程

步驟	教學流程	教學目標
步驟一	標題：天文物理中的攝動微擾	開頭說明課程單元名稱
步驟二	說明：攝動微擾的定義是，天文學中用來描述一個大質量天體受到一個以上質量體的重力影響而可察覺的複雜運動	以文字定義方式詮釋天文物理當中攝動微擾的含意
步驟三	繪製天體間萬有引力交互作用示意圖，分析力的大小、方向與組合	進一步說明天文物理當中攝動微擾的成因，將情境分析帶入科學歷程
步驟四	舉實例說明現象：1846年法國天文學家分析天王星的軌道位置觀測結果與理論結果的差異，藉以預測未知行星，後來果然發現海王星。	舉出天文學當中的情境實例，幫助學習者認識天體間的攝動微擾
步驟五	設計問題進行評量	確認學習者學習情形

學家以天王星的觀測及理論計算位置預測海王星的位置為例 (Le Verrier, 1846)，來進一步說明天體物理當中的攝動微擾。

二、問題導向探究式教學法步驟

問題導向探究式教學策略（表 4）先以 1840 年代天王星的觀測資料及理論計算結果呈現給學生，要求學生觀察觀測結果與理論計算位置的差異，並且想辦法表達呈現觀測與理論結果的位置差異。等待學生畫出參考座標系之後，再拋出問題請學生判斷，如果計算結果與觀測結果的差異是由於有一顆未被發現的星球重力影響。星球應該位在何處？最後公布未知星球的位置，再跟學生一起討論判斷的依據與

表 4

「天王星攝動微擾發現海王星」單元問題導向探究式教學法教學流程

步驟	教學流程	教學目標
步驟一	提供 1840 年代天王星的觀測資料及理論計算結果，請學生觀察觀測與計算位置的差異	確認學生都能夠進行位置觀察，並分辨位置差異
步驟二	請學生想一個合理的辦法利用描圖紙將天王星的觀測資料及理論計算位置同時標示在描圖紙上。	確認學生在同一張圖上標示觀測資料及理論計算位置之前能夠先畫出參考座標，再進行位置描繪
步驟三	請學生試著思考如果天王星的軌導觀測及理論位置是因為某一個未發現行星的萬有引力（重力）影響，以步驟二描圖紙上的觀測資料及理論計算位置描繪結果推理未發現行星的大致位置在圖上的何處?	確認學生能夠運用天王星觀測資料及理論計算位置，思考萬有引力對星球的影響進一步推理未知行星的所在位置。
步驟四	利用同儕審閱學生共同研究比較各自的推理結論有何不同，請學生提出各自推理未知星球位置的原因。接著與法國天文學家在 1846 年的研究結果進行比對。	幫助學生體認同儕審閱是科學知識的形成過程。
步驟五	教師結論說明，以上現象在天文學中是攝動微擾 (perturbation)，以上案例是其中一個天文學家的應用實作。 評量中請學生舉例或者說明現象發生的過程及原因。	確認學生的學習效果是否達成教學目標

合理性。

由於過程當中每一步，都是由指令或問題構成，教師透過學生在該步驟過程的執行成效或回應確認學生的學習狀況，每一個步驟都是進行評量的過程。

比較以上直接教學法及問題導向探究式教學法，問題導向探究式教學法，從事實證據或現象的數據分析著手，讓學生扮演科學家來解決問題，知識結論是由學生團隊聚焦，進行歸納推理，學生在課程最後除了可以習得知識內容，在探究歷程中同時練習科學家解決問題的過程性技能，是學生學習為中心的教學歷程，學生有較多主動參與課程的機會，同時教師依據提出的任務與問題，可以順勢理解學生的學習進度。直接教學法則是以去情境化的方式，在教學步驟之初，就灌輸定義認知負荷較高的科學概念，攝動微擾，再接以示意圖情境分析和真實案例，是教師主導的教學策略，過程當中以較為精簡的方式將知識傳遞給學生，學生以較接近複製教師思維的方式進行學習，教師需要以額外方式進行評量。

探究式教學課程當中知識形成的邏輯歷程是依據事實證據進行推理得出，與直接教學法當中先定義物理概念，再舉情境實例說明不同，是符合依賴證據進行推論的科學精神。

問題導向教學過程對於知識及主題的詮釋如圖 3 呈現了多模態 (multimodality) 雙語教學策略 (Grapin, 2022; Martínez-Álvarez et al., 2017; Siegel & Panofsky, 2009)，幫助學生不只單向接受教師的語言、文字及示意圖訊息，同

圖 3

探究式教學法與直接教學法之比較（以天文學攝動概念為例）

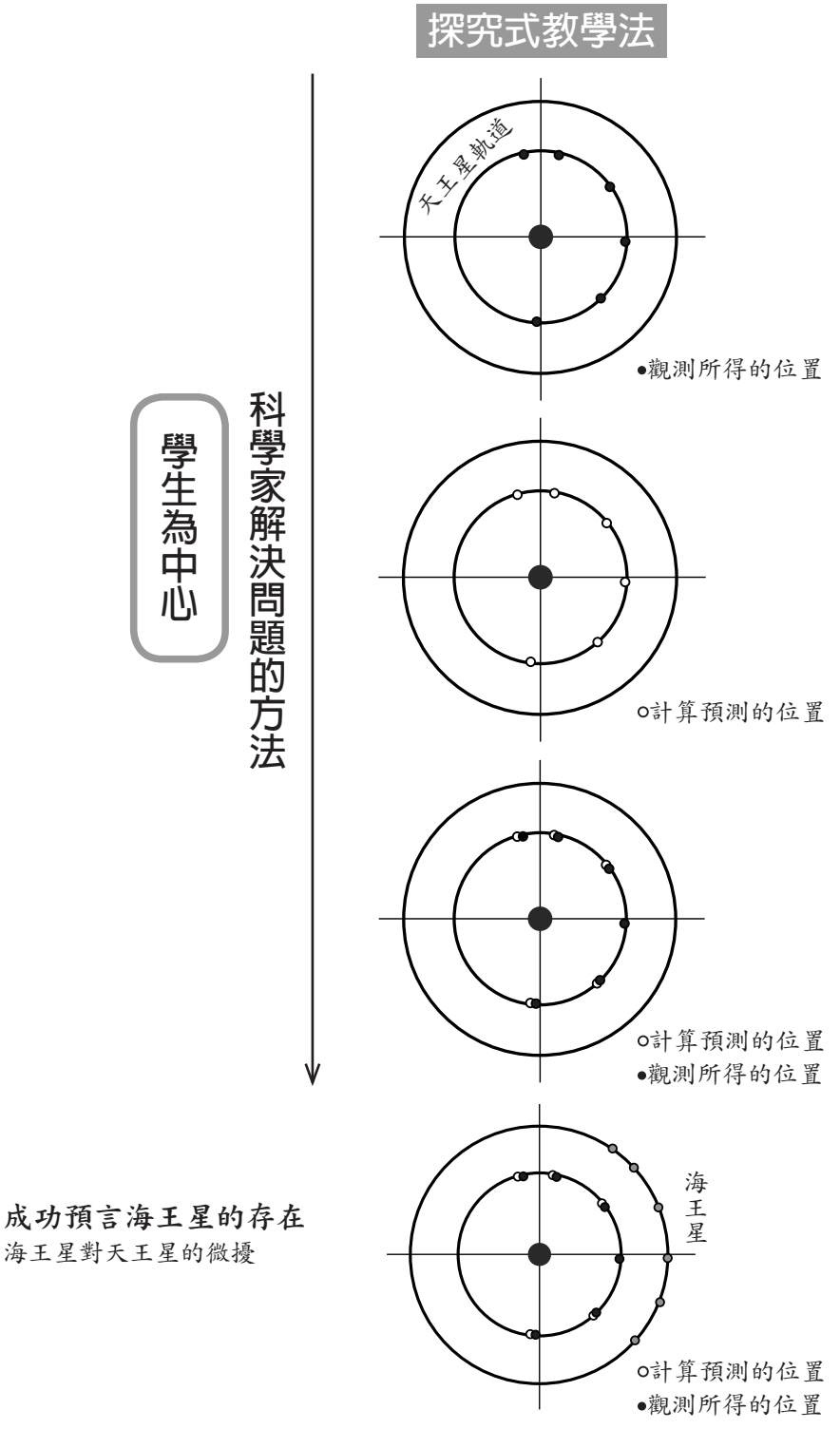


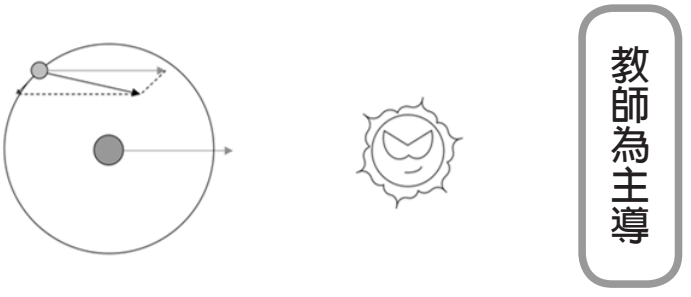
圖 3 (續)

探究式教學法與直接教學法之比較（以天文學攝動概念為例）

直接教學法

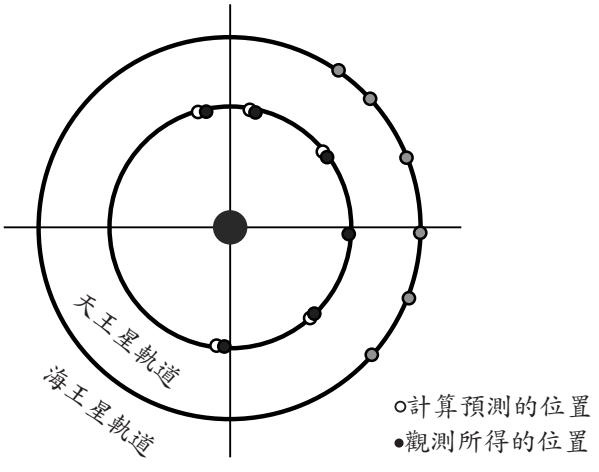
天體力學中的攝動或微擾

在天文學中，微擾或攝動是大質量天體在除了單個其他大質量天體引力之外的其它力作用下的複雜運動。



海王星對天王星的微擾

天王星時快時慢的公轉軌道速度，讓天文學家能夠運動天體力學計算鄰近行星的位置



時自己實作、思考、比較並且跟同儕討論建模的各種可性。運用多種管道方式與策略幫助學生接收學習資訊。

大學教師同儕在筆者全英語物理教學公開觀課中觀察到，教師運用問題導向教學把科學家的精神帶進學生的生命中，喚起學生原有的知識，再加入實驗、實例、提問、引導、思考、討論等方法，能夠鼓勵學生表達想法及問題觀點。課堂能夠實踐學生思考可能性的存在，而不是單純需要答案，整間教室滿滿的教與學的熱情。從課堂與同學身上深刻地發現，科學的學習不一定全然仰賴語言，好的真實情境設計能夠讓學生很想要投入、進而鍛鍊了語言及溝通表達能力。

從教學與評量的角度看，在科學雙語課堂中，由於使用非母語授課語言，教學更需要隨時確認學生是否投入參與課堂且跟上進度，問題導向教學法的課程主體是教師運用動作指令及探究問題與學生一起共創課程內容，學生的實作表現與問題回應形成課程的一部分，比起直接教學法，問題導向探究教學法在課程進行中，教師能夠更自然地提出問題與動作指令，再依據學生的回答與實作執行表現，來評估學生的學習狀況，進行學習診斷，以調整教學進度、內容與教學策略。

參、雙語課堂當中的英語導入

筆者的實踐經驗中發現，教師透過雙語教學設計過程，有機會意識到中文授課容易忽略學生的認知門檻。進一步反思教學中的課程設計的問題，主要涉及銜接學生背景知識、鋪陳鷹架、建構新知識的引導過程，減少學生語言學習障礙的重要性。

問題導向探究式教學法運用問題、指令引導學生建構知識與技能，可以避免過度去情境化教學歷程帶來的認知門檻，探究與實作過程引發學生主動投入學習，同時以證據為導向的論證過程符應科學課堂的基本精神與態度，科學國際合作與全球科學社群同儕審閱的運作傳統，更加凸顯科學本質中的雙語使用。

雙語在科學教學場域裡的運用與安排是實踐過程的重要問題，希望達成教與學的效能，同時符應科學的態度與精神，雙語科學教學需要雙語和科學教學同時考量。一般的雙語課堂當中使用英語的時機可以分成：（一）課室英語及人際溝通語言，（二）科學學科專業詞彙，（三）科學認知學術語言，也就是這領域的行話 (jargon)。

課室英語及人際溝通語言是教室當中教師與學生對話的一般性語言，例如「請找一位同學一起討論」、「三位同學成一組」等課堂指令，接近前文所提雙語教學研究的人際溝語言 (BICS)。科學學科專業詞彙像是速度、加速度、動量等科學概念的名詞。科學認知學術語言則是在科學學科內用以論證推理的關鍵詞彙，是領域內學術表達溝通用語，像是「A is proportional to B（A 與 B 成正比）」、「dependent variable（應變變因）」、「positive correlation（呈正相關）」。當中可以發現，第（三）類教學內容是與科學推理論證及表達最密切相關的學術語言，語言教師較難以替代教學任務。從科學情境出發來幫助學生投入學習相關的學術語言技能，在課程執行上較適合由科學教師進行教授。幫助學習者能夠使用認知學術語言 (CALP) 與科學學術圈當中的同行進行雙語表達及溝通。

由此可以看出，從科學本質當中的論證方法來看待雙語教學，能夠幫助教學者定位科學雙語教學當中學術語言使用的核心內涵與必要性，在雙語課程教學中找到適合的切入點與課程設計策略。

課堂運用人際溝通英語，學生較容易能夠理解課堂內容，然而研究發現，移民學生英語日常溝通流利，並不一定在校內的學習進度或學業成就好，學術語言需花更長時間精熟。為了幫助學生理解上課的陳述、指令與問題，使用日常人際溝通語言進行傳達，引導學生進行探究與實作，建構課程知識內容與架構，教師可以避免運用更多去情境化的英語來進行

溝通。在情境敘述、問題鋪陳與學習單當中設計嵌入認知學術語言，幫助學生漸漸熟悉學術描述，在課堂當中學術語言重複講出或在學習單中提供表達的模板格式及句型，像是 A is proportional to B，當作模板幫助學生在表達過程中套用累積學術語言能力。

實際教學策略當中，以認知門檻較低的日常人際溝通語言設計問句及指令，依據論證架構安排設計問句及指令排序，幫助學生容易參與投入課堂的問題情境，在動手實作並解決問題的過程中建構知識形成的邏輯，學習新的知識與技能，以此促進學生高層次思考與批判能力的培養。在情境文本及學生表達的架構模板當中運用設計認知學術語言，重要的學術語言重複出現與練習應用，增進學生對於學科認知學術語言的學習。

語言的使用明顯標示著學習者的自我文化，雙語教學當中學生的起點行為需要考慮學生的文化理解與團體次文化，在國際文憑大學預科學術語言課程設計文件中特別提到，明確重視學生在所有語言中的技能和知識，並將其視為教授和學習新思維和知識的基礎 (IBO, 2016)，先前筆者在國際交流經驗中也發現，對方最想知道的都是我們如何思考與執行，而不是我們有多了解國外的想法與行動。此外，雙語學習的重要核心原因之一是從自身的文化背景出發，幫助國際社會理解我們的價值與文化差異。2021 年的研究也指出，因為教授英語不僅需要母語能力，教學技能和文化意識往往對學生的學習成效更為重要。因此，提倡臺灣雙語教育可行的模式是全球在地化 (glocalization) (Graham et al., 2021)。

肆、結語及建議

為了因應雙語課程從較容易掌握的日常人際溝通語言入門，比對雙語教學當中人際溝通用語和認知學術語言的學習歷程，以及問題導向探究型態的科學教學，發現兩者在科學雙語課程設計執行上，可以同樣源於幫助學習者以接近自身起點行為的條件帶入高層次思考及學術語言學習。問題導向教學可以日常生活會話當作問題描述並且輔以認知學術語言動詞當作對應的問句或指令來幫助學生自行建構整體新知識的邏輯。期待教師設計或提供真實情境，讓學生扮演科學家來解決情境中的問題。此教學法多年來在科學教學領域中被視為實現以學生為中心教學以及回應科學本質，培養科學的過程性技能的有效教與學策略。科學教學實踐當中呈現其可行性，由文中的設計的科學探究課程發現高層次認知及情境化的實作演示型態課程設計能夠最有效率地幫助學習者在雙語教學課堂中獲得學習成效。在雙語科學學習當中，實踐探究與實作型態的課程，能夠順利幫助學生經歷較少認知負荷的歷程來建構新知識。同時整理提供希望進行教學實踐的教師可用於課程設計的雙語教學問題及行動任務模板。

由此可以看出，從科學的學科本質來看待雙語教學，容易切入科學雙語教學當中學術語言使用的核心內涵與必要性，同時以探究與實作的教學策略，符應科學態度與精神。除了能夠達成以學生為中心的教學，也可以在降低語言認知負荷的情況下，以日常溝通的語言來架構科學課程。雙語教學要求情境化的高層次思考及問題導向探究式的教與學的特性，科學雙語教學以問題導向的探究與實作課程設計，是一個可行的選擇。同時，就科學的本質談起，科學課程進行當中，強調實驗演示及實作為知識論證依據，是科學精神中凡事講求證據的核心素養。

未來希望能夠以更加在地的視角觀察學生進行科學探究雙語學習，除了找到科學本質當中核心的科學學術語言，同時進一步理解雙語問題導向教與學過程的核心關鍵。

參考文獻

陳育霖、劉子綺、高千惠、許宏傑、徐俊龍、丁國財、李孟玲（2014）。「2013魔術師的科學

帽」數理資優生校園物理實驗演示。**物理教育學刊**，**15**(1)，15-24。https://doi.org/10.6212/CPE.2014.1501.03

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77-95）。元照。

陳育霖（2022）。從科學的本質看雙語教學。**資優教育季刊**，**158**，1-16。https://doi.org/10.6218/GEQ.202204_(158).1-16

Anderson, B., & Silver, B. (1984). Equality, efficiency, and politics in Soviet bilingual education policy, 1934-1980. *The American Political Science Review*, *78*(4), 1019-1039. https://doi.org/10.2307/1955805

Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of bloom's taxonomy of educational objectives: Complete edition*. Longman.

Bayat, S., & Tarmizib, R. A. (2012). Effects of problem-based learning approach on cognitive variables of university students. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *46*(5-A), 3146 - 3151. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.027

Bean, J. C., & Melzer, D. (2021). *Engaging ideas: The professor's guide to integrating writing, critical thinking, and active learning in the classroom*. John Wiley & Sons.

Çankaya, P. (2017). Challenges in english medium of instruction from the teachers and students' eyes. *International Journal of Languages Education*, *5*(4), 830-839. http://dx.doi.org/10.18298/ijlet.2096

Center for Curriculum Redesign (2015). *Skills for the 21st century: What should students learn?* Center for Curriculum Redesign.

Coelho, E. (2004). *Adding english: A guide to teaching in multilingual classrooms.* Pippin.

Cummins, J. (1976). The influence of bilingualism on cognitive growth: a synthesis of research findings and explanatory hypotheses. *Working Papers on Bilingualism*, *9*, 1-43.

Cummins, J. (1980) Psychological assessment of immigrant children: Logic or intuition ? *Journal of Multilingual and Multicultural Development*, *1*, 97-111. https://doi.org/10.1080/01434632.1980.9994005

Cummins, J. (1981). The role of primary language development in promoting educational success for language minority students. In California State Department of Education (Ed.), *Schooling and language minority students: A theoretical framework* (pp. 3-49). Evaluation, Dissemination and Assessment Center, California State University.

Cummins, J. (1984). *Bilingualism and special education: Issues in assessment and pedagogy*. Multilingual Matters.

Cummins, J., Brown, K., & Sayers, D. (2007). *Literacy, technology, and diversity: Teaching for success in changing times*. Allyn & Bacon.

Cummins, J. (2008). BICS and CALP: Empirical and theoretical status of the distinction. In B. Street & N. H. Hornberger (Eds.), *Encyclopedia of language and education: Vol. 2. Literacy* (2nd ed.) (pp. 71-83). Springer.

Dalton, J., & Smith, D. (1986). *Extending children's special abilities: Strategies for primary classrooms*. National Library of Australia.

de Jong, T. (2019). Moving towards engaged learning in STEM domains; there is no simple answer, but clearly a road ahead. *Journal of Computer Assisted Learning, 35*, 153-167. https://doi.org/10.1111/jcal.12337

Fadel, C., Bialik, M., & Trilling, B. (2015). *Four-Dimensional education: The competencies learners need to succeed.* Center for Curriculum Redesign.

Fox, M. F. J., Zwickl, B. M., & Lewandowski, H. J. (2020). Preparing for the quantum revolution: What is the role of higher education? *Physical Review Physics Education Research*, *16*(2), 020131. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020131

Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M.P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(23), 8410-8415. https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111

Frey, C. B., & Osborne, M. (2013). *The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation*. University of Oxford.

Garcia, O. (2009). *Bilingual education in the 21st century: Global perspectives*. Wiley-Blackwell.

Gerasimova, A., Aristova, N., Salekhova, L., & Grigorieva, K. (March, 2019). *Developing Cognitive Academic Language Proficiency (CALP) via bilingual education: International baccalaureate experience in Kazan, Russia*. 13th International Technology, Education and Development Conference, Valencia, Spain. https://

doi.org/10.21125/inted.2019.0779

Giamellaro, M. (2014). Primary contextualization of science learning through immersion in content-rich settings. *International Journal of Science Education*, *36*(17), 2848-2871. https://doi.org/10.1080/09500693.2014.937787

Graham, K. M., Pan, W.-Y., & Eslami, Z. R. (2021). A critique of Taiwan's bilingual education policy through a ROAD-MAPPING of teacher experiences. *Current Issues in Language Planning*, *22*(5), 516-534. https://doi.org/10.1080/14664208.2021.1884434

Grapin, S. E., & Llosa, L. (2022). multimodal tasks to assess english learners and their peers in science. *Educational Assessment*, *27*(1), 46-70. https://doi.org/10.1080/10627197.2022.2028139

Guthrie, J. T. (2004). Teaching for literacy engagement. *Journal of Literacy Research*, *36*, 1-30. https://doi.org/10.1207/s15548430jlr3601_2

IBO (2016). *International baccalaureate diploma programme physics guide*. International Baccalaureate Organization.

Kind, P., & Osborne, J. (2017). Styles of scientific reasoning—a cultural rationale for science education? *Science Education*, *101*(1), 8-31. https://doi.org/10.1002/sce.21251

Kwan, C. Y. (2002). Problem-based learning: Properly balanced learning? *Trends in Pharmacological Sciences*, *23*(4),163-164. https://doi.org/10.1016/S0165-6147(00)01937-4

Linn, R. L. (2008). *Measurement and assessment in teaching*. Pearson Education.

Martínez-Álvarez, P., Cuevas, I., & Torres-Guzmán, M. (2017). Preparing bilingual teachers: Mediating belonging with multimodal explorations in language, identity, and culture. *Journal of Teacher Education*, *68*(2), 155-178. https://doi.org/10.1177/0022487116685752

Mubarok, H., Suprapto, N., & Adam, A. S. (2019). Using inquiry-based laboratory to improve students' higher order thinking skills (HOTs). *Journal of Physics: Conference Series*, *1171*, 012040. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1171/ 1/012040

NGSS Lead States (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. The National Academies.

OECD (2007). *PISA 2006: Science competencies for tomorrow's world.* Vol. 1. OECD.

OECD (2019). *OECD learning compass 2030 concept notes*. https://www.oecd.org/education/2030-project/teaching-and-learning/learning/all-concept-notes/

Perin, D. (2011). Facilitating student learning through contextualization: A review of evidence. *Community College Review*, *39*(3), 268-295. https://doi.org/10.1177/0091552111416227

Sánchez Tapia, I. (2020). Introduction: A broad look at contextualization of science education across national contexts. In Sánchez Tapia, I. (Ed.), *International perspectives on the contextualization of science education* (pp. 1-12). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27982-0_1

Schwab, J. J. (1960). Inquiry, the science teacher , and the educator. *The School Review*, *68*(2), 176-195. https://doi.org/10.1086/442536

Siegel, M., & Panofsky, C. P. (2009). Designs for multimodality in literacy studies: Explorations in analysis. In Leander K., Rowe D. W., Dickinson D., Jiménez R. T., Hundley M., & Risko V. (Eds.), *58th national reading conference yearbook* (pp. 99-111). National Reading Conference.

Sutiani, A. (2021). Implementation of an inquiry learning model with science literacy to improve student critical thinking skills. *International Journal of Instruction*, *14*(2), 117-138. https://doi.org/10.29333/iji.2021.1428a

Swartz, E. (1998). Using dramaturgy in educational research. In Kincheloe, J., & Steinberg S. (Eds.), *Students as researchers: Creating classrooms that matter* (1st ed.) (pp. 113-135). Falmer.

Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21st century skills, enhanced edition: Learning for life in our times*. John Wiley & Sons.

United Nations (2015). *Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development* (Resolution A/RES/70/1). https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication

Le Verrier, U. (1846). Sur la planète qui produit les anomalies observées dans le mouvement d'Uranus; quatrième partie: Détermination de la masse de l'orbite et de la position actuelle de cette planet. *Comptes-rendus de l'Académie des sciences, 23,* 428-438 (séance du 31 août 1846).

van de Pol, J., Volman, M., Oort, F., & Beishuizen, J. (2015). The effects of scaffolding in the classroom: support contingency and student independent working time in relation to student achievement, task effort and appreciation of support. *Instructional Science, 43*, 615-641. https://doi.org/10.1007/s11251-015-9351-z