

114學年度科學教育專案年度期中報告綱要

計畫編號：42

計畫名稱：科學探究與跨領域實作之素養課程重塑_以國小資優課程為例(第四年)

主持人：謝沛原

執行單位：臺南市中西區永福國民小學

壹、計畫目的及內容：

科學資優教育的核心目標，不僅在於傳授知識，更在於激發學生的探索熱忱，培養自主學習與解決問題的能力。本計畫基於過去三年的實踐經驗，針對具備高層次思考能力與優異學習潛能的科學資優生，設計了一套從「知識消費者」轉化為「知識生產者」的進階課程。

本年度（第四年）課程以「聲音」為核心主題。有別於傳統物理教學側重公式計算或單向講述，本計畫將聲音視為「能量」的一種具體展現，並導入科學史脈絡，引導學生重歷科學家發現問題、設計實驗驗證的探究歷程。希望透過跨領域的實作機會，讓學生整合物理、數學、科技與藝術等領域知識，從中體會科學對生活的實際價值。

四年的行動研究積累，讓本計畫具備了其他計畫難以在短期內複製的核心優勢。當多數學校的資優科學課程仍停留於個別單元的設計層次時，本計畫已建立起以年級為縱軸、以探究能力為橫軸的進階課程體系，並透過「跨屆傳承」機制，讓每一屆學生未及驗證的科學假設，成為下一屆的探究起點——這不只是課程設計，而是一種科學研究文化的養成。更關鍵的是，這套體系的知識載體不僅是課程文件，更深植於持續共備的教師團隊之中：四年的實踐讓每位教師都培養出將理論語言轉化為資優課室具體策略的敏銳度，這種教學智慧無法透過閱讀教材手冊取得，也無法由外部

人員短期複製。在國小階段資優科學教育尚缺系統性課程架構的現況下，本計畫的持續推動具有填補空缺、示範可行路徑的重要意義。

透過共備，我們盤點出聲學概念（如波動、頻率、共振）抽象不可見的教學難點，本年度課程以「聲音躲貓貓」為主題包裝，將抽象的物理探究轉化為具體的挑戰任務：

1. **上學期主軸（聲音的隱身）**：探討聲音作為「能量」的傳遞與耗損。引導學生思考如何透過介質改變、阻隔或吸收，讓這股能量「躲起來」。
2. **下學期主軸（聲音的現形）**：將聚焦於「共振」與「接收」，探究如何透過頻率對接與科技工具，將特定的聲音「找出來」。

貳、研究方法及步驟：

採行動研究法，依循「計畫→行動→觀察→反思」的循環歷程進行課程發展與修正。

一、教師共備與專業對話

- ◇ **跨領域社群運作**：由資優班自然科教師與音樂、科技領域教師組成跨域教學團隊，定期召開共備會議。共讀科普書籍共備與文獻研讀，建立教師背景知識庫，並從中轉化出適合國小資優生的教學譬喻與實驗活動。
- ◇ **專業諮詢**：邀請專家學者針對課程架構進行審視，確保科學概念的正確性與探究活動的適切性。

二、課程設計與實施

- ◇ **UbD 逆向設計**：以「能量」為核心概念，先確立預期的學習成果（理解聲音是能量、能解釋波動現象），再設計評量任務（聲音躲貓貓實作），最後規劃教學活動。

◇ 5E 學習環模式：

- 投入：透過「聲音躲貓貓」情境任務，引發學生好奇心。
- 探索：提供音叉、樂器、鹽巴等材料，讓學生進行「發抖的鹽巴」、「水波紋」等第一手探究。
- 解釋：師生共構概念，引入「頻率」、「波長」等科學詞彙詮釋觀察結果。
- 精緻化：應用知識解決新問題，如設計吸音裝置或共振實驗。
- 評量：透過多元評量檢核學習成效。

課程設計：以「科學探究」結合「跨領域實作」為核心理念，設計具備思辨與實作性的資優自然主題課程。

以下流程呈現本課程將 5E 各階段具體化為教學設計原則的架構，包含「設計前先確認」的三項前置準備、各階段的核心設計原則與策略，以及供教師自我檢核的設計提問，以利後續推廣與複製。

(一)設計前先確認 (Pre-design Checklist)

- STEP 01：選定核心現象
 - 找一個學生在日常生活中接觸過、卻從未認真「問為什麼」的自然現象。
- STEP 02：確立驅動問題
 - 一個沒有簡單答案、能讓整個單元「值得繼續下去」的核心問題。
- STEP 03：挖掘先備迷思
 - 學生對這個現象，最常見的直覺錯誤或理所當然的假設是什麼？

(二)五個教學階段與設計原則 (5E Model)

階段 (Stage)	核心宗旨 / 設計原則	具體執行策略	核心設計提問 (自我檢視)
E1：投入 (Engage)	製造「需要知道」的時機	迷思 vs 真實對照情境任務導入感官衝突引發	什麼樣的開場，能讓學生覺得「這個問題我非搞清楚不可」？
E2：探索 (Explore)	讓現象先說話，觀察先於解釋	親手接觸現象對比兩個情境 (A vs B) 記錄而不急著解釋	如何讓學生直接接觸這個現象，而不是透過老師的描述才知道它存在？
E3：解釋 (Explain)	術語為學生的發現命名，不是引入新事物	學生先分享觀察術語對應具體經歷科學史 / 人物串聯	這個單元核心術語有哪幾個？怎麼讓它們從學生的觀察裡「長出來」，而不是被記憶？
E4：精緻化 (Elaborate)	用任務驗證理解，遷移才是真正懂了	設計 / 製作 / 建造向他人說明原理應用於新情境	什麼樣的任務，沒有真正理解概念就無法完成？
E5：評估 (Evaluate)	評量長在學習裡，而不是學完後才出現	找出錯誤 / 診斷矛盾改進方案提案開放性論述	怎麼設計讓學生必須「批判性思考」——而不只是「回憶答案」——的評量形式？

(三)貫穿五個階段的核心原則

1. 情境一致性

- 一個故事、任務或角色貫穿整個單元，讓每個活動都在同一條意義的線上，而不是孤立的片段。

2. 核心提問串聯

- 每個階段都有一個核心提問，後一階段的問題從前一階段的發現自然生長，形成認知累積的鏈條。

3. 開放任務容納差異

- 任務型設計比填空測驗更能容納不同速度的學習者：快的學生往深走，慢的學生仍能完整參與。

模組：5E 探究課程設計框架（含各階段設計原則、核心策略與設計提問）

三、創新教學策略：雙重影片鷹架

針對科普影片資訊量大且稍縱即逝的特性，團隊發展出「慢速播放提示」作為認知鷹架：

- ◇ **第一階段（建立架構）**：以正常速度播放，教師在關鍵節點（起承轉合）暫停並進行觀念引導，協助學生建立初步的知識掛鉤。
- ◇ **第二階段（知識轉譯）**：以 0.5 倍速慢速重播。此階段教師刻意淡出，利用慢速播放釋放出的認知負荷空間，讓學生有充裕時間進行「知識轉譯」，將動態影像轉化為筆記本上的靜態圖文或心智圖。同時間，教師在此階段實施區分性教學，針對不同程度學生給予個別化指導，面對感興趣的學生可以延伸提問問題，而面對比較沒有想法的學生，會提供架構，如以老師停頓點作為分點的紀錄，若學生仍需引導，則鼓勵其以心智圖的方式進行紀錄與發想。

四、學生學習成果評估

- ◇ **弱結構學習單與交互式筆記**：採用「弱結構」學習單設計，僅提供關鍵情境提問，保留大量空白。要求學生將學習單浮貼於筆記本中，並在周圍延伸紀錄實驗數據、個人反思與補充知識，形成「學習單為骨架、筆記為血肉」的個人化學習歷程檔案。
- ◇ **多元評量**：包含實作評量（聲音裝置製作）、口頭發表與筆記本內容分析。

參、目前研究結果：

根據這四年的逐步更新細節，我們在**5E學習環模式**課程，設計出在每一環都有獨特的教學技巧，將這些教學技巧與5E的架構模式整合，我們有了以下的課程模組：

一、投入階段 (Engage)：營造認知衝突與情境沉浸

我們跳脫傳統單向引發動機的框架，致力於設計能促進學生高層次思考的學習情境。

(一)**科學史脈絡沉浸**：引入科學史上大師的爭議（如：牛頓 vs 惠更斯），讓學生代入時代背景，面對「大師也無解」的困境。

(二)**證據導向的吐槽**：提供一段看似正確但有邏輯瑕疵的科普影片，讓學生扮演「科學糾察隊」找碴，引發認知衝突。

(三)**跨屆傳承的真實探究**：科學研究往往是一個持續不斷的歷程。我們刻意將前一屆學長姐在單元中提出、卻因課程時間受限而未及驗證的科學假設，系統性地保留並轉化為學弟妹接續探究的挑戰主題。這種承先啟後的課程設計，不僅還原了真實科學研究的延續性，更讓學生深刻體認到自己是知識建構社群的一環，進而激發出更深層的學習責任感與對探究歷程的投入承諾。

2. 探索階段 (Explore)：虛實整合的去標準化探究

此階段強調將抽象概念具體化，並提供學生高度自主的探究空間：

(一)**虛實螺旋驗證**：利用數位模擬軟體如 PhET 模擬軟體觀察微觀現象（如分子震動），再對比現實實作（如鹽巴抖動），讓抽象物理概念具體化。

(二)**留白式探究筆記**：捨棄填鴨式的實驗紀錄，改以「預測-觀察-解

釋」或「視覺化筆記」記錄靈感，展現資優生的自主建構能力。

(三) **高層次情境挑戰**：規劃如「無聲實驗室」或「聲音隱身術」等極限任務，引導學生在複雜情境中整合多重變因。

3. 解釋階段 (Explain)：多元面向的知識轉譯與建構

屏除單純的知識講述，我們提供充足機會讓學生進行深層的知識建構：

- (一) **雙重影片鷹架**：考量到科學影片往往資訊量龐大且稍縱即逝，我們重新設計了影像媒材的引導策略。影片將安排兩次觀看：首次以正常速度協助學生建立整體的概念架構；第二次則切換為半速（0.5倍速）播放。這種刻意放慢節奏的教學設計，能有效釋放學生的認知負荷，讓學生在撰寫探究筆記時，能擁有充裕且即時的視覺資源作為參考鷹架，從容地將動態的影像資訊轉譯並建構為個人的內化知識。
- (二) **科學譬喻轉化**：鼓勵學生發明生活化的譬喻來解釋抽象概念（如將繞射比喻為水流過大石），以落實真正的知識轉譯。
- (三) **概念邏輯重組**：運用心智圖等工具，將零散的觀察發現進行邏輯化分析，釐清各變因之間的關聯性。

4. 精緻化階段 (Elaborate)：跨域實踐與社會連結

強調學習遷移，引導學生將知識轉化為有意義的實質產出：

- (一) **跨領域共創**：例如結合音樂班的專業，探討科學原理如何影響音質，產出「跨域實驗報告」。
- (二) **生活工程改造**：利用所學解決真實問題（如：學校辦公室隔音改造、打造個人化音箱），讓學生成為「問題解決者」。
- (三) **知識生產行動**：將研究成果製作成「科學導覽看板」或「科普懶人

包」，回饋校園社群。

5. 評量階段 (Evaluate) :

進行【數據化與歷程性真實評量】，強調「數據說話」與「成長看得到」。

開發的核心策略：

- (一) **數位客觀檢驗**：使用教師自建的分貝儀、感測器或 AI 工具，取得精確的科學數據作為評量依據（教授極力讚許這點）。
- (二) **進步幅度評量**：著重於評量實作（如改裝前後）的性能成長幅度，而非僅比較絕對數值，以確保評估工程設計能力的公平性。
- (三) **師生互動歷程檔案**：紀錄教師在學生卡關時提出的引導提問，呈現動態評量的過程。

肆、目前完成進度：

回顧過去四年的行動研究，我們發現團隊淬鍊出的「四大教學特色」，已能系統性地對應並深化傳統的 5E 探究模組。我們並非為了套用模型而設計活動，而是將實證有效的教學亮點，收斂成一套具有永福 DNA 的「探究螺旋 5E 模組」，讓資優生的學習從知識消費轉向生產。目前各階段實施進度如下：

一、投入階段 (Engage) × 特色一：破解學習框架的「高認知衝突情境」

許多資優生因為覺得「太簡單」而容易在課堂上「待機」或懶惰。本計畫最大的突破，在於精準掌握了激發高層次思考的教學契機，擅長設計「讓孩子需要用力」的開局。

具體舉例：從第一年讓學生代入「牛頓 vs 惠更斯」的光學歷史世紀爭議，到第四年用「發抖的鹽巴」和「聲音躲貓貓」這種帶有懸疑感的現實情境。不直接給答案，而是給予一段有反差、有違和感的現象，強迫資優生的大腦必須「開機」去解謎。

二、探索階段 (Explore) × 特色二：虛實整合的「雙重鷹架」探究法

教學團隊成功搭建了知識轉譯的橋樑。我們結合了「數位模擬看見微觀」與「實體操作驗證巨觀」的雙重鷹架，有效將抽象概念瞬間具體化。此教學策略不僅具備實務操作的便利性，在之前的計畫報告中，有獲得了審查委員的正向肯定。

具體舉例：不是只有單一的動手做，而是採用「數位模擬（如 PhET）看見微觀現象」+「現實操作（如敲擊、隔音箱改造）驗證巨觀結果」的雙重影片與操作鷹架。這種讓抽象概念瞬間「具體化」的轉譯能力，是極具學術價值與實務價值的教學策略。

三、解釋階段 (Explain) × 特色三：賦權學生的「留白式探索筆記」

傳統的學習單往往是「填空題」，限制了資優生的發散思維。透過反覆的實作與學生反饋，我們將學習單轉化為個人的「科學探究筆記本」。

具體舉例： 這本筆記本強調「不強制、去標準化」，提供視覺化的引導與留白，讓學生記錄靈感、畫出沒有標準答案的心智圖。這真正觸發了學生的「內在動機」，讓他們把學習成果當作自己的作品，而不是老師交代的作業。

四、評量階段 (Evaluate) × 特色四：數據化與遊戲化的「真實歷程評量」

本計畫跳脫國小階段常見的紙筆測驗，發展出能客觀評估「學習遷移」能力的多元評量模式。例如運用「進步幅度評分 (Delta 評量)」，藉由比較改裝前後的數據落差，解決了不同實作材料間的立足點差異，真實評估學生的工程設計能力。同時，結合數位感測工具與情境化的闖關任務，使評量過程本身轉化為學生樂於挑戰的學習體驗。

具體舉例：

進步幅度評量： 不比較誰的隔音箱絕對數值最好，而是看「改裝前 vs 改裝後」的分貝落差，這解決了不同材料間的立足點不公平，真正評量到學生的「工程設計能力」。

數位客觀檢驗與 AI 遊戲： 運用粉紅噪音與分貝計 APP 來取得精準科學數據，甚至結合 AI 設計聲波探險闖關遊戲，讓評量本身變成一場資優生極度渴望挑戰的遊戲。

五、精緻化階段 (Elaborate) X 本計畫核心目標：化身知識生產者的跨域工程實作

本計畫最關鍵的完成進度，在於將前四項特色整合於「精緻化」階段，落實跨領域的學習遷移。我們要求學生運用先前建構的科學概念（如波的傳遞、共振原理），投入真實世界的工程問題解決。這正是計畫最初的構想：讓資優生從「知識消費者」轉變為「知識生產者」。

例如，在聲音單元末期，學生不再只是回答課本問題，而是必須結合「物理聲學」、「數學數據分析」與「生活科技實作」，利用生活廢棄材料進行極具挑戰性的「隔音箱改造工程」。

★本校「永福探究螺旋 5E 模組」

綜合前述各階段的具體實踐，本校已形成一套具備識別度的「永福探究螺旋 5E 模組」，如下圖所示。這套模組並非對現有理論框架的單純套用，而是四年行動研究中逐步淬鍊出的在地化教學語言，兼顧資優教育的高層次思考需求、探究科學的嚴謹程序，以及學生主體性的充分保障。

(一)設計前先確認三件事 (Preparation)

STEP 01. 選定核心現象

找一個學生接觸過，但從未認真問「為什麼」的自然現象。

STEP 02. 確立驅動問題

一個沒有簡單答案、能讓整個單元值得繼續探究的核心提問。

STEP 03. 挖掘先備迷思

學生對這個現象最常見的「理所當然但其實不正確」的直覺是什麼？

(二)五個教學階段 (Five Teaching Phases)

E1 · ENGAGE 投入 —— 製造「需要知道」的時機

在任何教學開始之前，先讓學生感到困惑或強烈好奇。

- 迷思 vs 真實對照
- 情境任務導入
- 感官衝突引發

設計提問：什麼樣的開場，能讓學生覺得「這個問題我非搞清楚不可」？

E2 · EXPLORE 探索 —— 讓現象先說話，觀察先於解釋

學生在聽到解釋之前，必須先親自接觸現象本身。

- 親手接觸現象
- 對比兩個情境
- 記錄不急著解釋

設計提問：如何讓學生直接接觸現象，而不是透過老師的描述才知道它存在？

E3 · EXPLAIN 解釋 —— 術語為發現命名，不是引入新事物

科學語言是為學生已有的觀察「取名字」。學生的聲音在老師的講解之前。

- 學生先分享觀察
- 術語對應具體經歷
- 科學史 / 人物串聯
- 老師補充不足處

設計提問：這個單元的核心術語有哪幾個？怎麼讓它們從學生的觀察裡「長出來」，而不是被記憶和背誦？

E4 · ELABORATE 精緻化 —— 用任務驗證理解，遷移才是真正懂了

只有應用到新的情境或任務，才能知道學生是否真正理解。

- 設計 / 製作 / 建造
- 向他人說明原理

- 應用於新情境

設計提問：什麼樣的任務，沒有真正理解就無法完成？

E5 · EVALUATE 評估 —— 評量長在學習裡，不是學完後才出現

好的 E5 沒有標準答案，只有更深刻或更淺薄的回應。

- 找出錯誤 / 診斷矛盾
- 改進方案提案
- 開放性論述

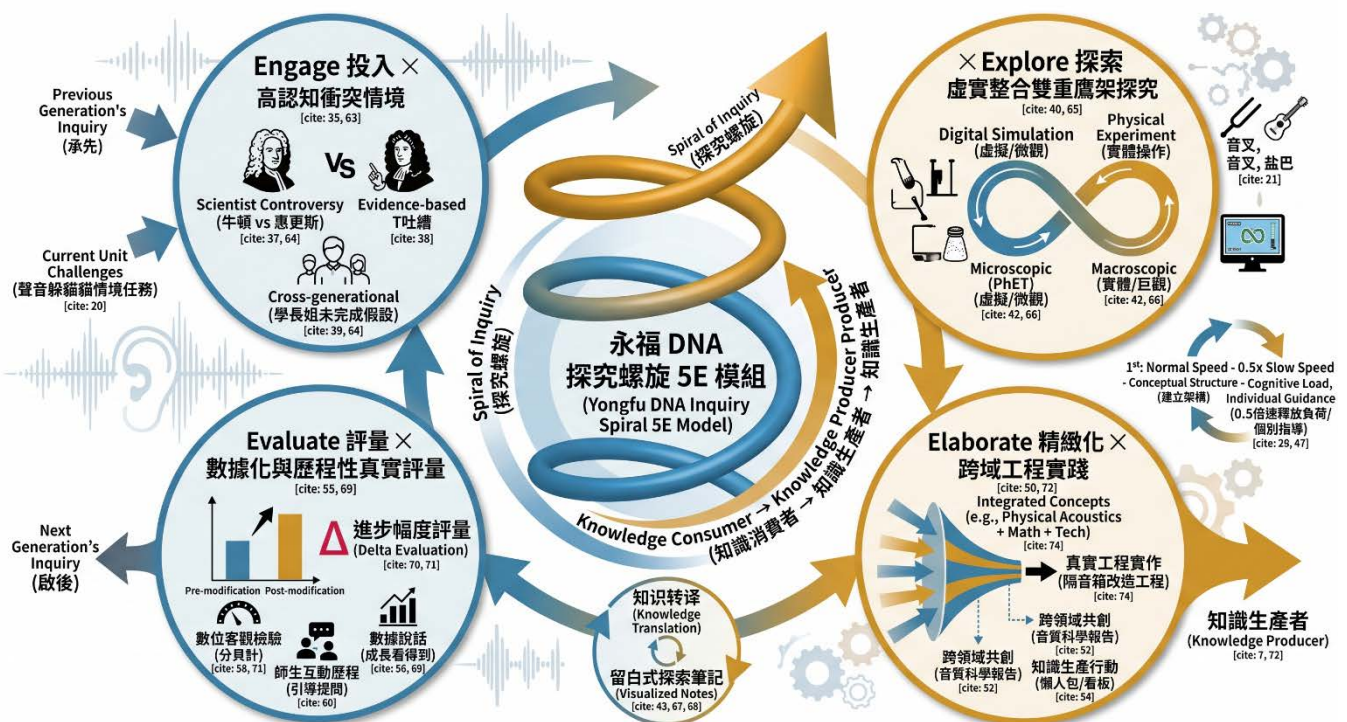
設計提問：怎麼設計讓學生必須「批判性思考」而不只是「回憶答案」的評量形式？

(三)貫穿五個階段的設計原則 (Design Principles)

- ◆ 情境一致性：一個故事、任務或角色貫穿整個單元，讓每個活動都在同一條意義的線上。
- ◆ 核心提問串聯：後一階段的問題從前一階段的發現生長，形成認知累積的鏈條，而非跳躍。
- ◆ 開放任務容納差異：任務型設計讓不同速度的學習者都有參與空間：快的往深走，慢的仍完整參與。

模組：永福探究螺旋 5E 模組——以聲音單元為例之課程架構全覽

值得特別指出的是，本計畫的貢獻並不止於產出一套課程設計，而在於以四年的實踐驗證了一個長期被視為理想、卻難以落實的命題：國小階段的資優生，在適當的教學環境下，確實能夠從知識的被動接收者，轉化為能夠提出假設、設計驗證、並產出有意義成果的知識生產者。四年來，學生親手操作分貝儀量測隔音效益、設計聲波探險闖關遊戲、完成兼具科學數據與藝術感知的跨域實驗報告——這些成果並非偶發的亮點，而是系統性課程設計的可重複成效。更重要的是，本計畫的縱貫設計讓我們得以觀察到：在連續接受高認知挑戰的課程之後，學生提問的深度與探究的複雜度確實逐年提升——這正是資優教育最應追求、卻最少被系統記錄的學習成效，也是本計畫持續深耕的核心理由。



陸、建議與討論：(含遇到之困難與解決方法)

課程模組的推廣潛力與社會影響：

從更廣的視角來看，本計畫最深層的貢獻或許不在課程設計本身，而在於它所示範的一種可能性：科學資優教育可以是一套有論述、有架構、有歷程紀錄的系統性實踐，而非仰賴少數資深教師的隱性知識與個人直覺。當一位優秀的資優班老師離開，這套知識通常也隨之消散；而本計畫所做的，正是將這四年的教學智慧轉化為可被描述、可被討論、可被傳承的課程框架。建議後續以「教師共備工作坊」或「跨縣市觀課」等方式，邀請其他資優班教師在自身課室脈絡中試驗此框架，逐步累積跨校的比較性實踐資料；長遠而言，這將有助於深化「國小科學資優課程設計」這一尚未充分建構的研究議題，讓台灣資優科學教育的本土知識從個別教師的經驗積累，走向可對話、可傳承的專業社群共識。

一、物理原理轉化之困境：

困難：聲音、波長及頻率等現象雖然存在於生活中，但其物理本質具備抽象性與不可見性，國小資優生在建立微觀分子運動模型時仍容易遇到認知瓶頸。

解決：面對知識建構的過程，我們探索了幾種做法，因此開發了「雙重影片鷹架」策略，透過「0.5倍速慢速播放」來釋放學生的認知負擔，也透過大家比較熟知的「PhET 數位模擬軟體」，讓學生在進行實體操作前，能先透過虛擬影像具體化微觀現象，有效降低了知識轉譯的門檻。

二、探究時程與假設驗證之衝突：

困難：資優生在實驗過程中常會生發出許多深入且多元的延伸假設，但在有限的課程節數內，往往難以將每一項假設都完成完整驗證。

解決：我們想到反倒可以成為一個很棒的情境，「跨屆探究傳承」機制，將前一屆學長姐未完成的數據或未及驗證的疑問，整理為學弟妹的探究起點。這不僅確保了科學研究的延續性，也讓學生學會如何從前人的基礎上繼續前行，解決了單一年度時間不足的問題。