
PODE 在國小資優班科學課程設計之應用 --以熱力旋轉杯為例

李函霽^{1*} 蔡碩穎²

¹臺北市立大學 應用物理暨化學系

²國立臺灣師範大學 特殊教育學系

壹、前言

概念改變一直是科學教育所關注的焦點之一(Lee, Wu, & Tsai, 2009)，因此能促進學生概念改變之教學策略探討，即受到國內外多位學者的重視(田耐青，1996；何秋萱，2005；林士峰，2006；莊育城，2012；郭重吉等人，2009；張英琦，2008；陳婉(女勻)，2012；許淑萍，2002；楊淑嬋，2002；趙毓圻，2008；歐守娟，2011；盧秀琴、黃麗燕，2007；蕭建嘉，2001；Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982; Tan & Treagust, 1999; Treagust, 1988; White & Gunstone, 1992)。其中 PODE (Prediction-Operation-Discussion-Explanation)教學模式(趙毓圻 2008, 2010)便以 POE (Prediction-Observation-Explanation)為基礎，建立在人本建構主義理論之主張上，融入實驗室教學與語言介入，以期提升科學概念、科學態度及科學方法的一種概念改變教學模式。在此模式下，透過矛盾衝突、實驗操作與互相討論激盪的過程，將可使喜愛挑戰性任務的資優生，在探索的歷程中保持高度

的學習動機，並滿足其強烈的求知渴望。據此，筆者認為 PODE 教學模式相當適用於資優班的科學課程設計，但在國內以此為理論基礎之相關課程可說是付之闕如，因此本文擬以 PODE 的概念闡釋國小資優班科學課程之應用，期盼此課程設計可作為實務現場參考之用。

貳、PODE 教學模式之內涵

PODE 是預測 (Prediction)、操作 (Operation)、討論 (Discussion) 與解釋 (Explanation)的縮寫，為一概念改變之教學模式。由國內研究者趙毓圻(2008, 2010) POE(Prediction-Observation-Explanation) (White & Gunstone, 1992)為基礎，依據人本建構主義理論、實驗室教學之成效及語言於科學學習之重要性，將觀察 (Observation) 修改為「動手操作實驗 (Operation)」及教師介入引導學生進行有意義的分享「討論(Discussion)」，形成所謂的 PODE 教學模式。本節將以 PODE 與概念改變之關聯、實驗室教學與語言在 PODE 之角色以及 PODE 的實施步驟作為論述的重點。

*為本文通訊作者

一、PODE與概念改變

人類基本能力之一就是將個人的經驗加以歸納整理，透過歸納整理建立起來的範疇或類目，就稱為概念(concepts)(鍾聖校，1990)。若學習者認為當前的問題無法以原有概念來解決時，便會對原有概念產生不滿足的狀態；倘若新的概念對學習者而言是有意義的、有說服力的、可理解的，概念改變可能就因此發生(蔡碩穎，2009)。是故，概念改變在建構論的觀點中即為學習(田耐青，1996；楊淑嬋，2002)，在學習者認知衝突或疑惑的驅使下，致使學習者反思、調整與重組，進而達到原有概念的改變(Rumelhart & Norman, 1981)。學者(Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982)認為概念改變有四個條件，分別是：

- (一) 學習者必須對既有概念感到不滿足，或者是自己的概念無法解釋所觀察到的現象(dissatisfaction)，導致認知架構產生衝突、不平衡。
- (二) 新的概念必須是學習者可以理解的(intelligible)，概念改變才可能發生。
- (三) 覺得新的概念應該是可行的，可能可以解決問題或可以解釋所觀察到的現象(plausible)。
- (四) 新的概念必須是豐富的(fruitful)，可以開展新的探究領域或能解釋更多現象。

符合上述四種條件再藉由調適的歷程，才可能達到概念改變的目標。

而PODE教學模式便是以教師事先設計，符合概念衝突的矛盾情境，讓學生以

自身之先備概念針對實驗結果加以預測(Prediction)，到經過實驗操作(Operation)後的結果解釋(O_E)之間不一致，將造成個體認知衝突並進入概念改變的狀態(趙毓圻，2010)。再者，學生在觀察實驗操作前多被要求將預測的結果及理由記錄下來，以防先備概念被實驗觀察結束後產生的新概念取代或掩蓋。且能更清楚比較操作結果與先備概念的矛盾與衝突之處，以利釐清迷思概念，提升概念理解層次。

二、實驗室教學與語言在 PODE 之角色

科學概念本身是抽象、複雜且微觀的(邱美虹，2000)，若無實際操作的機會，處於具體運思期的國小學童將較難以領會困難的科學概念(趙毓圻，2008)。因此，教師提供學生直接具體的動手操作經驗，將有助其建構自身的科學概念、富有挑戰的實務活動，使學生樂於參與科學學習，並能於實驗過程中培養孩子問題解決和科學過程技能等科學方法(趙毓圻，2010)。上述之實驗室教學精神已成為科學教學的核心(Hofstein & Lunetta, 2004)，並依多位學者(莊嘉坤，2003；Lazarowitz & Tamir, 1994；Roth, 1993)的研究結果顯示，實驗室教學在科學概念、科學態度及科學方法上多有正面成效。

然而，亦有學者(Roth, McRobbie, Lucas, & Boutonne, 1997)認為，若無足夠的解釋或重於講解疏於討論，反而易使實驗室教學流於引發學生興趣的工具，造成迷

思概念的產生。是故，筆者認為要提升學生原有概念的層次或產生新概念，便需要教師從旁引導，教師之介入具有決定性的作用 (Dreyfus, Jungwirth, & Eliovitch, 1990)，而實驗後的討論也能促進學生的概念理解(Lazarowitz & Tamir, 1994)。因此，科學教室中的語言是探測並發展理解的關鍵，也扮演了描述或記錄事件的角色；同時透過口語的互動討論，除了在聽與說者之間認知的調和與重整，亦能磋商知識、互相協助指引，挑戰先備知識，建立新概念，而產生知識的方式也經此重構(Bennett, 2005; Jones, 2000; Solomon, 1994; Tobin, 2006)。

綜上所述，與人本建構主義結合的 PODE 教學模式，重視學生先備知識及概念建構的獨特性外，亦融入實驗室教學中的動手操作(Operation)、教師引導學生透過語言進行意義分享與討論(Discussion)，以提升學生的概念學習與科學態度(趙毓圻，2010)。

三、PODE 的實施步驟

PODE 教學模式的主要實施步驟為 P-O-D-E，分述如下：

- (一) 預測(P)，教師事先設計好教學情境，讓學生依其先備知識有根據的預測且記錄下可能的結果及理由；
- (二) 操作(O)，進行實驗操作並記錄下實驗結果，必要時於學生操作過一次後，教師可再完整操作一次，之後讓學生操作第二次，以提高實驗準確度

或熟悉技巧。操作結束後，請學生將觀察記錄及實驗結果與之前的預測做比較，說明操作後概念增加或改變的部分，寫下操作後的解釋 O_E ；

- (三) 討論(D)與解釋(E)，教師根據實驗之關鍵概念，引導學生發表實驗觀察及結果與預測不同之處，嘗試提出可能的原因並加以解釋，適時強化正確概念，修改錯誤概念。學生經由討論再與之前的概念做比較，爾後概念增加或改變的部分，應寫下討論後的解釋 D_E (趙毓圻，2008，2010)。完整教學流程如圖 1 所示。

雖然 PODE 教學模式的主要步驟如上所述，但趙毓圻(2008)也建議教學者可依不同單元性質或呈現方式彈性調整，以循環 ($P_1-O_1-D_1-E_1-P_2-O_2-D_2-E_2$) 或 交互 ($P_1-P_2-O_1-O_2-D-E$)等方式進行。

參、PODE 教學模式與資優教育

布魯納指出：「在未經學生自己探索嘗試之際，即將答案告訴學生的教學方式，不是囫圇吞棗半知半解，就是因知之不詳而迅速遺忘。」(引自張春興，1994)，藉此彰顯傳統知識灌輸教學的缺失。而科學哲學觀點的演變和認知心理學方面的發展，更促使「教」與「學」有了異於傳統知識論觀點的看法(甄曉蘭、曾志華，1997)。而能促進學生概念改變的不同教學策略之探討，更成為我國行政院國家科學委員會於 2000 年推動的「學生科學概念研究」之整合型研究計畫的調查內容之一(郭重吉等

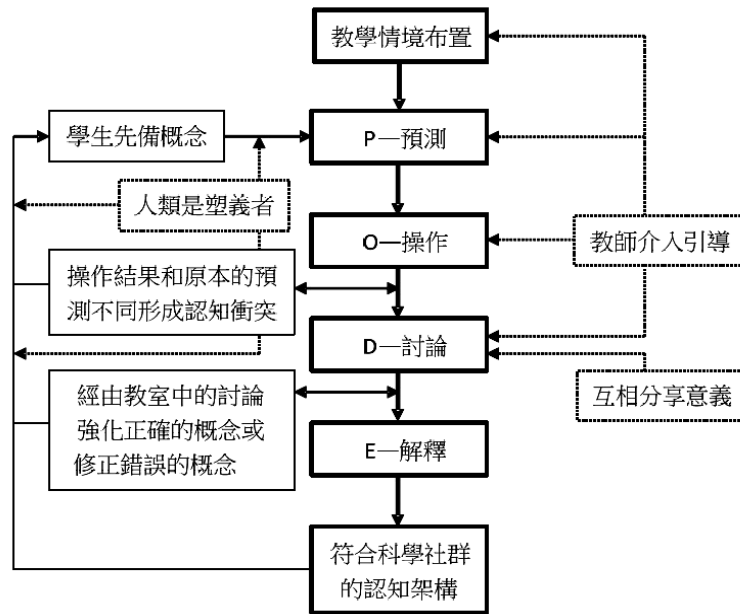


圖1 PODE教學流程圖。資料來源：出自趙毓圻（2008：56）

人，2009)。作為一概念改變之教學模式的PODE，便透過預測與實作引發認知衝突以啟動概念改變的契機；口語的科學對談則協助學生對較為抽象的科學概念能更快且清楚的掌握與理解(趙毓圻，2008)。

筆者任教於國小一般智能資優班，深感給予一個開放的學習環境，並引導學生進行發現，不僅能引起較高的學習動機，激發孩子們探究知識的好奇心，對於學習層次的提升也有正向的助益。而PODE教學模式藉由認知衝突引發學生的概念改變、提高學生思考層次的特點，與資優教育要求的目標可說是不謀而合。是故，本節茲就資優生特質、資優課程設計的原則與挑戰性，以及PODE在資優教育的應用，分述如下。

一、資優生特質

資優教育強調提供每位資優生適性化的教學服務，以符應資優生獨特的學習特質、興趣及能力(黃靜雯、蔡碩穎，2011)。Maker (1982) 認為資優生在學習的速度、瞭解的深度和興趣所在與普通生的學習特質有所差異。他們多具有好奇心、原創力、對知識強烈渴求、寬廣的興趣、記憶能力優異、知識體系規模較大且組織較完善的特質，且是主動、持續的學習者，致使資優生在學習能力上表現出快速的學習節奏和特別有效的資訊處理能力與記憶技巧，也因此能比一般學生學習到更多的學習成果。當他們面對困難與挑戰而顯示出高度學習動機時，需要一個開放與綜合的學習環境予以支持(Heller, 2007; VanTassel-Baska & Stambaugh, 2006)。

Klix(1983)則提出資優生的學習有兩個特徵：降低問題複雜度的個別能力、問題解決的認知活力。這兩項能力在學習中扮演很重要的角色，因為它們包含一種創造的動力以及為探索學習維持一個敏捷的程度，以使學習同化、達到問題解決的層次。由於資優學生有優異的能力在龐雜的知識網絡中進行提取、辨認相關訊息以進行問題解決，又或者在遭遇新現象時有能力進行推理與歸納，因此容易在問題解決的過程中促使自我的認知層次向上提升(VanTassel-Baska & Stambaugh, 2006)。是以，使資優生得到適性的發展，需符應資優生的學習特質，提供複雜且具有挑戰性的學習活動。

二、資優課程設計的原則與挑戰性

一套完整的課程設計應有其課程哲學觀，植基於哲學觀建構出適切的理念，並據以擬定教學內容(教材)與教學策略(教法)，最後實際應用於教學中(蔡碩穎，2009)。是故資優教育的課程設計哲學觀，為課程即認知發展的歷程(Eisner & Vallance, 1974)。為使學生能將學習結果遷移，並應用於日後的各種情境中，資優課程內容需重視學生的過程技能，將教材以高層次的思考技能來組織，透過試探、啟發及多樣性的課程，啟發其從事高層次學習及研究的興趣，進而鼓勵學生進行研究，以發揮創造力、努力及毅力(蔡典謨，1996；蔡碩穎，2009)。然而，目前的學校教育卻經常引導學生去仔細思考和發現一

個(或最佳的)答案、學習如何去避免錯誤，冒風險通常是不被鼓勵的，在團體裡教師也不太允許非一致性(Urban, 2007)。因此開放性與多樣性往往在教學中被忽略，而這正是資優課程設計中所不可或缺的。若以學校成就做為評斷成敗依據的學習習慣，會讓資優生喪失主動探求知識、學習研究方法的動力，甚至可能失去資優生最珍貴的兩種能力：創造力和主動學習力(王大延，1992)。

資優課程設計最基本的原則，是所提供的「學習經驗」必須有「質的不同」(qualitative difference)，要能顧及資優生的獨特性，提供有別於一般學生的課程(王振德，1996)。是以資優課程的設計重點需著眼於適異性，課程內容在質與量均須有別於普通教育之課程，且符應學生的學習特質。為使課程具有適異性，必須在內容、過程和結果有所調整。Gallagher認為資優學生的課程設計在內容上應包含抽象化、複雜化、多樣化、組織與經濟性、人的研究與方法的研究；在過程中要注重高層次思考、開放性、發現性、推理的證據、選擇的自由、團體互動活動、速度與種類(引自毛連塹，1990)。在結果的調整上，Renzulli則提出資優課程的設計必須使學習的結果能對應到實際問題、實際聽眾，而且具有轉換的能力及評量的可能性(引自毛連塹，1990)。因為課程的特殊性，資優教育教師在設計時往往具有一定的難度與挑戰性。

三、PODE 在資優教育的應用

一般智能優異的學生在認知發展上速度較快，較早進入形式運思期，因此需提供適異性課程，而他們的思考發展過程從簡單到複雜階段可分為：分類、概念發展、規則產生、結論獲得、通則的建立(Shiever & Maker, 1997)。這樣的歷程能擴大他們的知識體系，符合期望資優生應有能力將所學進行轉化與應用的教育目的，發現問題與問題解決便成為教材中必要的因素(蔡碩穎，2009)。透過問題情境引導學生發現、反思學習內容與既有基模之比對，能使資優生的學習內容具有抽象性與複雜性的挑戰，在過程上則可兼顧推理、開放與發現。而資優生的科學課程強調重要的科學概念和探究本位的活動，以真實世界的問題作為研究的起點，從有力的科技成分、探究技能、科技的歷史及其發展的科學課程，與鑑賞科學與科技的互動中，以能從事科學方面獨創性的研究(VanTassel-Baska & Stambaugh, 2006)。

在如此的資優課程設計理念下，PODE 不啻為一種教學模式的選擇。以真實的問題情境為起始，透過預測與操作結果的比較引起學生的疑惑或矛盾，使個體處於不平衡的狀態，因而產生學習的動力，為使個體重返平衡狀態，概念改變便會產生，個體的知識體系也將隨之擴大。再者，能產生認知衝突的概念，通常具有抽象性、複雜性的特質，這也正是資優教育課程中所重視的(蔡碩穎，2009)。

再者，於PODE教學模式中，為使概念

改變能穩固，亦藉由課堂中科學對話的互相激盪，朝概念簡明或概念層次提升的方向邁進。資優教育教師的角色除了設計出適切的教材內容及教學活動之外，更扮演了學生進行意義分享時社會互動中的促進者(趙毓圻，2010)，而此乃PODE理論基礎——人本建構主義的內涵之一。由此可知，PODE教學模式與資優教育目標彼此符應，因此筆者嘗試將PODE實際應用於國小資優班的科學課程設計並進行教學，讓學生自己建構科學概念，以提升高層次思考。

肆、PODE 在國小資優班科學課程設計之應用

資優生之科學課程應以真實的問題情境為起始，透過探究活動進行學習。因此筆者將 PODE 應用於國小資優班科學課程，作為教學設計之依據，本節茲就教材設計內涵、各單元教學成效分析以及教材設計回饋，分述如下。

一、教材設計內涵

(一) 教學目標

1. 能瞭解熱對流的概念。

- (1) 能清楚說明熱在空氣中的傳導方式。
- (2) 能輔以實驗作品說明熱對紙杯產生的影響。
- (3) 能以圖文解釋空氣受熱到紙杯轉動的歷程。
- (4) 能解釋影響紙杯轉動圈數的原因。

2. 能透過實驗活動提升問題解決能力。

- (1) 能從實驗裝置與實驗程序,有根據地提出可能的預測結果。
- (2) 能將實驗過程中所觀察到的現象詳實記錄。
- (3) 能針對觀察到的現象提出可能的解釋理由。
- (4) 能將觀察到的現象與實驗前的預測做比較,提出想法。
- (5) 能確認相關的變因,設計實驗步驟做操控運作。
- (6) 能歸納變因與實驗結果,提出兩者之關係。
- (7) 能清楚解釋原理並用以澄清或佐證實驗數據。

3. 能透過實驗活動提升科學學習興趣。

- (1) 能主動尋求方法解決科學問題。
- (2) 能願意嘗試具有挑戰性的科學活動。
- (3) 能樂於分享自己的觀點和發現。

(二) 教學對象

以國小四、五年級一般智能資優生為對象,共 40 人(男 26,女 14)。

(三) 教學時間

全程教學共 16~20 節(四年級 16 節,五年級 20 節),每節 40 分鐘。

(四) 教學方式

以 PODE 的教學流程為基礎,採循環的教學方式(P₁-O₁-D₁-E₁-P₂-O₂-D₂-E₂-P₃-O₃-D₃-E₃)從弱結構的問題情境起始,透過教師事先做好的教具(如圖 2)進行表象的觀察,並透過問題讓學生預測(P₁)燈泡置於何處能讓紙杯

動起來。之後進行實驗操作(O₁),並細心觀察測試過程中燈泡的放置位置與紙杯的晃動情形。操作結束後將預測與實驗結果相對照,若有不同者,便已出現了認知衝突,這時教師就可介入引導學生共同討論熱力旋轉杯會轉動的原因(D₁),並從學生既有之熱傳導的舊經驗,引導其與熱對流此一概念的結合。爾後,請學生運用熱對流來解釋操作過程中所記錄下的燈泡放置位置與紙杯晃動情形的關係(E₁),以強化學生熱對流的正確概念或修正錯誤的另有概念。



圖 2 教學教具--熱力旋轉杯

經由上述的活動操作後,透過限時轉動競賽的方式,讓學生依上一單元活動所習得的熱對流概念,預測可使熱力旋轉杯轉更快更多圈的作法(P₂),並於紙杯製作完成後進行競賽(O₂),並記錄下競賽過程中的轉動情形及結果。競賽活動結束後,教師透過提問讓學生觀察其他同學的熱力

旋轉杯並進行比較討論(D₂)，從熱力旋轉杯作法的不同和轉動的情形嘗試分析影響紙杯轉動圈數的可能因素並分類整理。爾後，根據可能的影響因素對照實驗紀錄中紙杯轉動情形與結果，請學生從而提出解釋(E₂)，讓學生強化改變後的熱對流概念。

上述為四年級的課程，五年級則增加第二次的改造活動，以增加轉動圈數來提高學習任務的複雜度，加強科學過程技能學習，透過提問引導學生根據自己提出的解釋，設計善用熱對流以提升轉動圈數的研究問題，再次提出預測假設(P₃)，設計實驗組與對照組，規劃實驗方法及步驟，改造自己的熱力旋轉杯(O₃)。第二次實驗結束後，請學生針對第二次的實驗提出結果、問題與特例一同分享討論(D₃)。並根據上述實驗結果綜合解釋運用熱對流原理使紙杯轉動圈數增加的方法(E₃)，以強化熱對流能量轉換的概念。

(五) 科學原理

此實驗活動主要是透過燈泡發亮時產生的熱，使周圍的空氣受熱而上升，帶動燈泡上方有開洞的紙杯旋轉。此種運用熱氣流驅動的方式便如同渦輪機的運作原理（蕭次融等人，2002），利用穿過自身帶有中心軸的扇葉型物件的流體中獲得動能得以運作轉動。因此在杯底自圓心外一段

距離，開逆時鐘或順時鐘方向的扇葉型孔洞，便是作為有中心軸的扇葉型物件，而通過孔洞的流體便是受熱上升的熱氣流，從熱能轉換成動能推動紙杯旋轉。

影響轉動圈數的物理因素有熱氣流被使用的程度，以及線的長短等（蕭次融等人，2002）。熱氣流的利用程度則有賴紙杯能否有效運用熱空氣，因此若將紙杯剪成電扇扇葉的形狀，就無法有效利用到熱空氣，反而削減了熱空氣推動紙杯的效果，因此孔洞開口不宜太大，並可考慮外加錫箔紙或紙筒以增加紙杯的長度，將更能有效地收集熱空氣。而線的長短則會因紙杯旋轉所造成的扭轉，產生抗力矩，使紙杯的旋轉速度變慢或停下。故線使用的長，可使紙杯在時限內持續轉動。

(六) 教學內容

此 PODE 融入之科學課程以熱對流為主題，主要分三個階段，首先以紙杯轉動與熱對流之關係進行第一階段的 P₁-O₁-D₁-E₁ 之探究歷程，以使學生強化其正確概念；第二階段 P₂-O₂-D₂-E₂ 以前述習得的熱對流概念，從變因操作深入瞭解熱對流對紙杯轉動的影響，強化學生已學得卻不穩定的概念，並主動建構自我的熱對流概念；到第三階段 P₃-O₃-D₃-E₃ 則以開放材料的方式，並運用熱對流原理，讓學生進行增加轉動圈數的挑戰

任務，在此階段強調實驗結果的比較與解釋之討論活動，以深化學生熱對

流能量轉換的概念及應用能力。其教學內容概述，如表 1。

表 1 教學內容概述

教學單元 / 節數	教學目標	教學內容概述	教學資源	PODE 應用
熱力四射 6	1-1	1. 教師展示自己的熱力旋轉杯(如圖 2)，並詢問學生這個杯子有何特別之處。	教具 大燈泡 學習單	P ₁ O ₁ D ₁ E ₁
	1-2	2. 教師提示透過發熱燈泡可使杯子轉動，並請學生預測應將燈泡放在熱力旋轉杯的何處，才可使紙杯轉動，並記錄下預測的理由。		
	2-1	3. 教師讓學生實際測試上述活動，細心觀察實驗過程中燈泡的放置位置與紙杯的晃動情形及最後結果並記錄之。		
	2-2	4. 待操作活動結束後，請學生將自己的預測和結果兩相比較，若有不同者，便已出現了認知衝突。		
	2-3	5. 教師從操作結果切入，與學生一同討論熱力旋轉杯會轉動的原因，並從學生既有之熱傳導的舊經驗，引導其與熱對流此一概念的結合。		
	2-4	6. 學生運用熱對流來解釋操作過程中所記錄下的燈泡放置位置與紙杯晃動情形的關係，以強化學生熱對流的正確概念或修正錯誤的另有概念。		
天旋地轉 10	3-3	1. 請學生依據上一單元所習得的熱對流概念，預測可使熱力旋轉杯轉更快更多圈的作法，並製作完成。	紙杯 竹筷 線美 工刀 剪刀 碼表 學習單	P ₂ O ₂ D ₂ E ₂
	2-2	2. 進行熱力旋轉杯的競賽活動。以懸在燈泡上空的紙杯，計時一分鐘轉動次數的方式競賽。並將競賽中紙杯轉動的情形與競賽圈數記錄於學習單上。		
	2-3	3. 競賽活動結束後，教師透過提問讓學生觀察其他同學的熱力旋轉杯並進行比較討論，從熱力旋轉杯作法的不同和轉動的情形嘗試分析影響紙杯轉動圈數的可能因素。		
	2-4	4. 教師引導學生將找出的影響原因進行分類整理。		
	2-5	5. 透過提問引導學生從影響因素對照實驗紀錄中紙杯轉動的情形與結果提出解釋，以強化改變後的熱對流概念。		
2-6				
3-1				

天旋地轉 II 4	1-2	1.學生根據自己之前提出的解釋，設計善用熱對流以提 升轉動圈數的研究問題，提出預測假設，設計實驗	旋轉杯	P ₃ O ₃ D ₃ E ₃
	1-3	組與對照組，規劃實驗方法及步驟，改造自己的熱	紙杯	
	1-4	力旋轉杯。(開放其他輔助圈數增加的物件，如錫箔	竹筷線	
	2-4	紙、紙筒等)	美工刀	
	2-5	2.學生實際操作實驗，驗證假設，並將實驗假設與結果	剪刀	
	2-6	記錄於學習單上。	碼表	
	2-7	3.教師請學生針對第二次的實驗提出結果、問題與特例	學習單	
	3-1	一同分享討論。	小白板	
	3-2	4.引導學生根據上述實驗結果，解釋運用熱對流原理使	黑板	
	3-3	紙杯轉動圈數增加的方法，強化熱對流能量轉換的 概念。		

二、各單元教學成效分析

(一) 熱力四射：透過預測活動引發認知衝突亦激起學生探究的興趣

學生雖知熱會透過不同的方式傳導，但對於熱空氣會上升的概念卻不甚瞭解，因而在預測紙杯能動起來與燈泡和紙杯的位置關係時，認為燈泡應倒放於紙杯上，因空氣會受到燈泡最上緣的熱度而往「垂直」於燈泡上緣的方向「前進」，這樣便可推動紙杯底部翹起的紙片而轉動。但經實驗操作後，學生便發現實驗結果與自己的預測不同，因此主動提出疑問和再次操作確認並仔細觀察。且在討論過程中，針對固定的熱源提供下，如何提升紙杯轉動圈數的改造有頗高的興趣，這也引發了學生想藉由實驗以測試自己想法的動機。

-- 今天我們進行了熱力旋轉杯的實驗，但結果卻和我的猜測不一樣，我覺得有可

能是紙杯和線的問題。(○茵)

-- 雖然課堂上同學說紙杯應該是佔了很重要的部分，但我覺得熱空氣有沒有流失也很重要。(○翰)

-- 我的預測沒有成功，甚至在用旋轉杯時，轉動得很不成功，所以我正在尋找解決方法。(○雯)

-- 果然實驗還是要自己動手測試，原先我以為燈泡倒著放在紙杯旁邊，紙杯就會轉動，因為熱空氣會上升嘛，但原來這個「上升」不是指燈泡的上面，而是指整個熱空氣的上面，這樣燈泡當然是要放在紙杯底下！(○洵)

學生比較後發現實驗結果與先前的預測不一致而產生認知衝突，因此提出了想深入探究的意願，不僅能主動建構自己的知識體系，亦作為學生主動探詢學習的重要動機之契因。

(二) 天旋地轉：從認知衝突引發的討論促進學生思考層次的改變

學生透過前述「熱力四射」單元活動的預測和操作後，始能比對實驗過程的轉動情況和實驗結果以提出可能的解釋原因，根據線索進行初步的歸納，亦能以此對同學分享的想法提出「兩者的關係真的是這樣嗎？」、「為什麼會如此？」等疑問。也透過這些問題引領學生朝解決這些疑問的實驗研究方向前進。學生便以在紙杯上開洞的數量、大小、位置以及紙杯的大小作為操作變項進行實驗（如圖 3 至圖 5），並將同學的實驗結果一同記錄在黑板上（如圖 6），以利實驗後的比較討論。



圖 3 熱力旋轉杯實作過程



圖 4 學生的熱力旋轉杯之一



圖 5 學生的熱力旋轉杯之二

A photograph of a chalkboard with handwritten data from a one-minute rotation competition. The data is organized into three columns, listing student names and their corresponding rotation counts.

蕭 11	晴 35.1	林 15
玟 13	青 7	6 政 2
郁 9	傑 12	5 金 2.5
亨 10	堯 9.3	1 倫 40
淨 11	恩 45	4 達 8
珉 10	皓 34.2	2 瑞 33

圖 6 計時一分鐘學生紙杯的轉動圈數

實驗之前，學生多認為洞開越多越好，這樣會加速熱對流的速度，促使紙杯轉動較快，然而在實驗後，以同樣大小的紙杯作比較，卻發現洞口開的數量以 4 個轉得較多圈。再者，大的紙杯雖開始轉動的時間較慢，可是當限時轉動競賽（如圖 7）的時間到時還是轉得頗快，但轉動圈數不一定是最多圈的。這時學生開始針對之前的預測提出質疑，並開始出現了少量的「你怎麼知道的？」這樣尋求根

據的提問。而部分進行說明的同學也會將其他同學的實驗結果作為舉例（如圖 8）。

- 我對於○凱說的，洞口多一些，熱空氣跑得比較多，這樣推動紙杯的力量就會比較大，不是很認同，因為老師問他時，他也解釋得不清楚，而我的洞沒開這麼多，轉的圈數卻跟他很接近，所以我覺得他的想法應該有問題。（○翰）
- 我的紙杯是這次轉最多圈的！紙杯小一點比較好，像○茵用的是我借她的杯子也是第二名。（○晴）
- 我後來覺得紙杯是因為空氣受熱上升，進到紙杯後從杯子旁邊的洞口流出，推動洞口的紙片而轉動，所以若洞開太多的話，熱空氣就會散掉，推動紙片的力量也就變小了，實驗後也是如此，洞開太多反而轉不快。（○暉）

在實驗歷程中，學生除透過認知衝突引發學習興趣，亦開始促使其在進行討論對話時思考層次的改變，趨向主動參與探詢以提出可深究的問題，並進行實作驗證。



圖 7 限時旋轉比賽

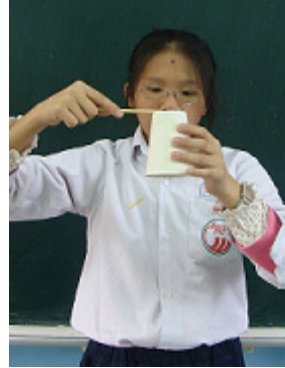


圖 8 說明熱對流與旋轉的關係

(三) 天旋地轉 II：經歷完整的 PODE 過程對學生問題解決能力有所提升

經過第一次限時旋轉比賽後，筆者欲透過比較彼此熱力旋轉杯的外型，讓學生思考造成結果相差懸殊的原因，並提供敗部復活的機會，讓學生能驗證自己的想法做出適切的結論，並強化熱對流概念，也可學習設計實驗以解決問題的過程技能。在第一次「天旋地轉」的實驗中，學生已能開始從自己的預測進行操縱變因及控制變因的設計，雖然變項還細分的不夠，僅是三種開洞數量、兩種開洞位置和紙杯大小的差異，但學生已知透過實驗操作後才能得知自己的預測是否正確，以得到結論。

因此，待進行第二次的實驗活動時，學生會將改造前與改造後的紙杯與比賽結果作一比較(如圖 9)，討論熱對流對紙杯旋轉的影響，進而探究因紙杯的改變影響熱對流對紙杯產生的動力與圈數的可能關係。也透過比較其他同學的紙杯，從孔洞大小、開

洞位置、開洞形狀、開洞扇葉和紙杯的角度，與紙杯的高矮胖瘦，以進行分析得到與紙杯轉動有關的完整變因(如圖 10 至圖 12)，並共同討論提升圈數的改進方法(如圖 13)。爾後各自挑選出認為影響最大的變因，提出預測以進行實驗。最後學生以能有效使用熱對流的想法，在固定熱源燈泡供應下，加長紙杯的長度，縮瘦紙杯的寬度，及集中熱對流產生的動力，於近杯底位置開四個長方形的洞，且長方形的紙片與杯壁呈約 45 度的方式製作，得到平均一分鐘 81 圈的記錄(如圖 14)。而這樣的結果與蕭次融等人(2002)認為影響轉動圈數的物理因素有熱氣流被使用的程度，以及線的長短的想法一致。



圖 9 比較改造前與改造後的紙杯差異

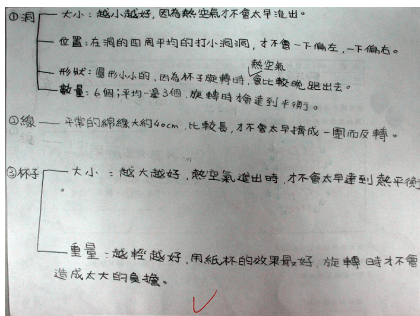


圖 10 A 生用結構圖清楚寫出影響紙杯轉動圈數的因素及原因

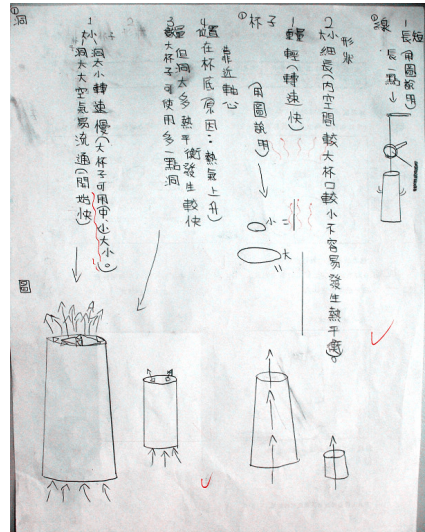


圖 11 B 生以圖片說明影響轉動圈數的因素

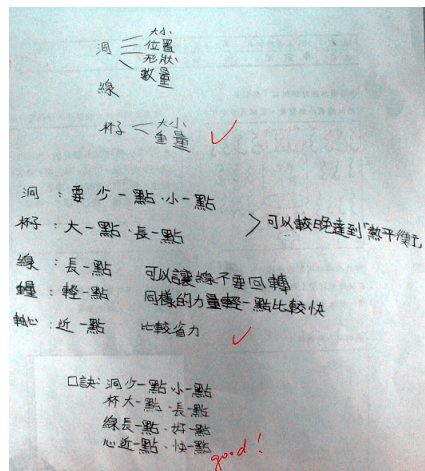


圖 12 C 生寫下紙杯轉動圈數的影響因素，並用口訣幫助說明



圖 13 共同討論提升圈數的改進方法



圖 14 學生 E 於底部多加紙捲，增長紙杯空間，更有效使用熱空氣以增加圈數

由兩次的實驗活動中，比較學生問題解決之能力與自主性，可發現學生透過 PODE 的學習歷程除了提高主動思考與提問的動機，也熟知透過共同討論能更清楚瞭解問題的性質，分析出更詳細的影響因素，並藉由實驗操作以驗證想法的正確性。由此可見，PODE 教學模式對於培養學生問題解決的能力有所助益。

三、教材設計回饋

(一) 教師教學省思

1. 課程調整

此份教材為歷時兩年之教學設計。第一年的教學對象為四年級資優班學生，第二年的教學對象則為五年級學生。筆者有感於四年級的學生不論在思考層次、資優班討論氛圍熟悉度以及生活經驗的廣度皆不及五年級，因此在第一年的實際教學中僅帶領學生嘗試此份教材的前兩個單元（熱力

四射、天旋地轉），而在五年級的部分則加上天旋地轉 II 此單元。筆者認為，對此份教材有興趣之教師亦可根據學生狀況彈性調整之。

2. 分組方式

資優班學生儘管年級相同也都有一定的異質性，因此分組方式可考量學生不同的學習需求、認知思考風格、科學相關知能及人際互動方式，做彈性的調整，期盼藉由合作學習提升學習成效。教師也可根據學生在此單元不同層面的表現，做為後續課程的分組參考。

(二) 學生回饋

學生課堂中的回饋對教師教學上的調整有著莫大的意義。教師可根據學生的回饋瞭解其學習情形與體悟，亦可由學生的想法與需求，調整上課方式與教學設計。茲摘錄部分學生回饋如下：

1. 過程技能

學生透過熱力旋轉杯的製作以從實驗資料中整理規則、提出結果，並調整自己的做法策略，且有傳達的意願。

-- 今天製作熱力旋轉杯，我沒有成功，和同學的比較後，原來是因為開口的紙片被我折成垂直的了，下次我只要折一點點就好。(○雯)

-- 要是重做的話，我會把洞口紙片的開口角度弄小一點，因為我之前的紙片用的太開太大了。(○宥)

-- 我要把熱力旋轉杯裡的知識告訴更多人讓他們知道。(○晞)

2. 科學與技術認知

藉由操作變因活動及觀察事象的變化並推測可能的因果關係之討論，提出假設或做出合理的解釋，以強化熱對流之概念，學生更能將科學知識內化。

- 原來是因為空氣受熱往上升，碰到杯底又往旁邊擴散，這時杯壁有開洞，熱空氣從洞口流出，並推動了洞口的紙片，所以杯子才會旋轉。(○暉)
- 今天和同學討論後我知道影響紙杯旋轉速度的因素了，收穫真多。(○程)
- 我今天做了兩個開口位置不同的熱力旋轉杯，一個是開口在比較高的位置，另一個開口在比較低的位置，結果是開口位置在上的杯子轉得比較多圈。(○雯)

3. 科學態度

學生在支持性的學習環境中，願意勇於嘗試錯誤，發現樂趣，對科學學習有正向的態度。

- 實驗很好玩，讓我瞭解了更多科學原理。(○潔)
- 在要上這堂課時，我又開始想著如果做錯怎麼辦，我現在知道，做錯沒關係，大不了再重做。而且在重做的過程中，對每一個步驟都可以更熟悉、更熟練呢！(○柔)
- 我覺得洞的大小要盡量一致，並且位置要排整齊會比較好，我下次的杯子要比這次更進步！(○薇)
- 我喜歡上科學課，因為能讓我體驗到解

決問題的方法不只一種，可以嘗試用不同的方法尋求答案。遇到問題時，能和同學討論與學習，養成共同學習的習慣，也可以讓我學習他人的優點。(○洧)

伍、結語

概念改變從以往便是科學教育所關注的議題，而做為概念改變教學模式的 PODE 是透過矛盾情境的認知衝突，引導學生進行實作與語言介入，讓學生產生概念改變並使之穩固的完整學習歷程。筆者認為，將 PODE 結合於資優課程設計，在學習內容上概念的抽象化、複雜化的調整；學習過程中預測、實驗操作及討論所強調的高層次思考、開放性、發現性、推理的證據及團體互動活動；最後透過解釋，在學習結果上能轉化習得概念並對應到生活中的實際問題。上述觀點皆與資優課程設計的要素相輔相成，又透過矛盾衝突和實驗操作，使喜愛挑戰的資優生，更能在探索的過程中易於提升思考層次，強化其求知的欲望，保持學習的熱忱。是故，PODE 教學模式對資優班課程有其價值及意義。

參考文獻

- 王大延 (1992): 資優學生與情緒困擾。資優教育季刊, 42, 11-15。
- 王振德 (1996): 我國資優教育課程與教學之問題與改進芻議。資優教育季刊, 59, 11-15、38。
- 毛連塏 (譯) (1990): 資優教育教學模式。台北市: 心理。

- 田耐青 (1996): 建構論的學習理念-以瞎子摸象故事為例。研習資訊, 13(6), 90-94。
- 何秋萱 (2005): Flash 融入五階段概念改變教學策略對國中生遺傳概念改變的影響。國立彰化師範大學生物學系碩士論文。
- 林士峰 (2006): POE 教學策略對國小六年級學生鐵生鏽的物質性質概念改變之研究。台北市立教育大學科學教育研究所碩士論文。
- 邱美虹 (2000): 概念改變研究的省思與啟示。科學教育學刊, 8(1), 1-34。
- 莊育城 (2012): 應用 POE 融入多面向概念改變架構對九年級學生功與能概念改變的行動研究。國立彰化師範大學科學教育研究所碩士論文。
- 莊嘉坤 (2003): 國民中小學九年一貫「自然與生活科技」領域教學與學習材料之研究與發展: 提昇中小學生正向科學態度 (II)。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告 (NSC91-2511-S-153-008)。屏東: 大仁科技大學休閒運動管理系。
- 郭重吉、邱美虹、黃台珠、張惠博、張俊彥、周進洋、王國華、陳忠志、譚克平、黃鴻博 (2009): 中小學學生科學學習成果的評量架構與命題示例之研發。科學教育學刊, 17(6), 459-479。
- 張英琦 (2008): 以多面向之概念改變架構融入 5E 探究式教學策略發展轉動與力矩單元探討國三學生概念改變之研究。國立彰化師範大學物理學系碩士論文。
- 張春興 (1994): 教育心理學。台北市: 東華。
- 陳婉(女勻) (2012): 由概念改變探討科學史建模教學對學生熱傳播概念與建模能力之影響。國立台灣師範大學科學教育研究所碩士論文。
- 許淑萍 (2002): 國小學生乘除法表徵能力與後設認知相關之研究。國立台中師範學院教育測驗統計研究所碩士論文。
- 黃靜雯、蔡碩穎 (2011): 國小資優班區分性課程設計-以選單法為例。國小特殊教育, 52, 68-81。
- 楊淑嬋 (2002): 國民小學高年級學童對有關重力概念認知之分析研究。國立台北師範學院數理教育研究所碩士論文。
- 趙毓圻 (2008): PODE 教學策略對國小中高年級學生科學學習成效之影響。國立台北教育大學自然科學教育研究所碩士論文。
- 趙毓圻 (2010): PODE 教學模式在資優科學課程設計之應用。資優教育季刊, 117, 25-32。
- 甄曉蘭、曾志華 (1997): 建構教學理念的興起與應用。國民教育研究學報, 3, 179-208。
- 歐守娟 (2011): 科學語言遊戲對溶解之迷思概念改變的研究。國立台中教育大學科學應用與推廣學系碩士論文。
- 蔡典謨 (1996): 充實模式之設計與實驗研究 (一)。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告 (NSC85-2511-S-017-010)。高雄, 國立高雄師範大學特殊教育學系。
- 蔡碩穎 (2009): 「認知衝突」在資優班教學的應用。資優教育季刊, 110, 8-19。
- 盧秀琴、黃麗燕 (2007): 國中「細胞課程」概念改變教學之發展研究。科學教育學刊, 15(3), 295-316。
- 蕭次融、施建輝、羅芳晁、謝迺岳、吳原旭、房漢彬 (2002): 動手玩科學 2。台北市: 遠哲科學教育基金會。
- 蕭建嘉 (2001): 以概念構圖的動態評量 (CMDA) 探討國小高年級學童的概念改變-以「地球的運動」單元為例。國立台北師範學院數理教育研究所碩士論文。
- 鍾聖校 (1990): 認知心理學。台北市: 心理。
- Bennett, J. (2005). *Teaching and learning science: A guide to recent research and its applications*. London: Continuum.
- Dreyfus, A., Jungwirth, E., & Eliovitch, R. (1990). Applying the "cognitive conflict" strategy for conceptual change: Some

- implications, difficulties, and problems. *Science Education*, 74(5), 555-569.
- Eisner, E. W., & Vallance, E. (Eds.). (1974). *Conflicting conceptions of curriculum*. Berkeley, CA: McCutchen.
- Heller, K. A. (2007). High ability and creativity: Conceptual and developmental perspectives. In A. G. Tan (Ed.), *Creativity: A handbook for teachers* (pp. 47-64). Hackensack, NJ: World Scientific.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28-54.
- Jones, C. (2000). The role of language in the learning and teaching of science. In M. Monk & J. Osborne (Eds.), *Good practice in science teaching: What research has to say*. Buckingham: Open University Press.
- Klix, F. (1983). Ability research: A new method of cognitive intelligence measurement? *Zeitschrift für Psychologie*, 191, 360-386.
- Lazarowitz, R., & Tamir, P. (1994). Research on using laboratory instruction in science. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 94-130). New York: Macmillan.
- Lee, M. H., Wu, Y. T., & Tsai, C. C. (2009). Research trends in science education from 2003 to 2007: A content analysis of publications in selected journals. *International Journal of Science Education*, 31(15), 1999-2020.
- Maker, C. J. (1982). *Teaching models in education of the gifted*. Rockville, MD: Aspen.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-228.
- Roth, W. M. (1993). Construction sites: Science labs and classrooms. In K. Tobin (Ed.), *The practice of constructivism in science education* (pp. 145-170). Washington, DC: AAAS.
- Roth, W. M., McRobbie, C. J., Lucas, K. B., & Boutonne, S. (1997). Why may students fail to learn from demonstrations? A social practice perspective on learning in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(5), 509-533.
- Rumelhart, D. & Norman, D. (1981). Analogical processes in learning. In J. R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition* (pp. 335-339). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Shiever, S. W., & Maker, C. J. (1997). Enrichment and acceleration: An overview and new direction. In N., Colangelo & G. A. Davis (Eds.), *Handbook of gifted education* (pp. 113-125). Boston: Allyn & Bacon.
- Solomon, J. (1994). Group discussions in the classroom. In R. Levinson (Ed.), *Teaching science* (pp. 76-84). New York: Routledge.
- Tan, K. C. D., & Treagust, D. F. (1999). Evaluating students' understanding of chemical bonding. *School Science Review*, 81(294), 75-83.
- Tobin, K. (2006). Verbal and nonverbal interactions in science classrooms. In K. Tobin (Ed.), *Teaching and learning science: A handbook* (Vol. 1) (pp. 79-89). Westport, CT: Praeger.
- Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, 10(2), 159-169.
- Urban, K. K. (2007). Assessing creativity: A componential model. In A. G. Tan (Ed.), *Creativity: A handbook for teacher* (pp. 167-184). Hackensack, NJ: World Scientific.
- VanTassel-Baska, J., & Stambaugh, T. (2006). *Comprehensive curriculum for gifted learners* (3rd ed.). Boston: Allyn & Bacon.
- White, R., & Gunstone, R. (1992). Prediction-observation-explanation. In White, R. & Gunstone, R., *Probing understanding* (pp. 44-64). London: The Falmer Press.