

一位高中物理教師對於探究取向科學演示的詮釋以及其實施的影響因素之研究

林淑楞¹ 張惠博² 段曉林¹ 姜志忠¹ 楊巽斐¹

¹國立彰化師範大學 科學教育研究所

²國立彰化師範大學 物理系

(投稿日期：民國 94 年 1 月 14 日，修訂日期：94 年 10 月 12 日，接受日期：94 年 12 月 23 日)

摘要：本研究旨在探討一位具有建構取向教學經驗的高中物理教師，呈現他對於科學演示的觀點與慣有的教學模式，接著探討他對科學演示的詮釋，以及學生在轉動概念上的學習成效，最後探討影響個案教師實施探究取向演示活動之因素。本研究利用詮釋性研究法探討個案教師對科學演示的想法與作法。資料收集包括：課室觀察、教師和學生晤談，並輔以錄影和錄音，以及學生的概念歷程工作單與後測資料。此外，由三位研究者共同參與課室觀察的比較與分析，利用持續比對法獲致主張。然後，再將分析所得的資料與計畫行為理論進行比較分析，俾了解教師的信念與行動之間的關連。最後，針對演示班級和非演示班級學生後測的結果進行統計分析，以呈現教師演示教學成效與學生概念學習的成果。研究發現個案教師認為演示可呈現具體現象，具有表徵科學概念的範例功能，藉此引發學生產生關鍵概念。然而，個案教師對演示功能的觀點與迂迴提問的習慣，阻礙了他探究演示現象與概念之間的關連性。科學演示以範例形式呈現，雖可增加學生參與度，但未能有效提升學生概念的理解。科學演示與課程設計的密切性、學生的參與度、以及教師累積科學演示實務知識的機會均是影響個案教師實施成效的因素。

關鍵詞：高中物理教學、科學演示、計畫行為理論、實務知識

壹、前言

在一個注重主動學習與科學探究的課室中，教師必須成為一位協助學生參與探究學習的榜樣 (Brown, Ash, Rutherford, Nakagawa, Gordon, & Campione, 1993)。所以，如何促

進教師以探究為基礎的教學已成為目前教育研究的焦點課題 (Keys & Bryan, 2000)。探究取向的科學演示便是教師藉由科學演示的現象，誘發學生的質樸概念，並且透過教具的操弄驗證學生各種的想法，師生在辯證的過程中，對演示所蘊含的概念達到共識與理解。因此，探究取向的科學演示是以教師為

引導的科學探究。文獻顯示有技巧地呈現科學演示可以激發學生探究、建立科學概念，且資訊記憶得較久（林淑楞和張惠博, 2001; Benbow, 1987; Buncick, Betts, & Horgan, 2001）。有關科學演示的文獻中發現，大學中的科學演示大多是驗證所開發的演示課程，以提昇大學生科學學習之成效。一些研究（Buncick et al., 2001; Crouch, Fagen, Callan, & Mazur, 2004; Sokoloff & Thornton, 1997）指出科學演示可提高學生參與，透過學生參與次數的增加，可提高學生的自信心，改善對科學的態度，促進學生主動學習。此外，科學演示亦可營造情境豐富的課程（context-rich course），對物理相關概念的連結較佳（Buncick et al., 2001）。然而，在中、小學教師的科學演示研究中，則鮮少能獲得如同在大學課程科學演示的研究發現：學生可在社會建構的情境中以探究取向進行科學演示（Roth, McRobbie, Lucas, & Boutonne, 1997; Shepardson, Moje, & Kennard-McClelland, 1994）。Solomon（1994）即曾指出多數中小學教師本身缺乏從事科學探究活動的直接經驗，以致在指導學生進行科學探究時，常遭遇自己也難以解答的問題。這是否為中小學教師的科學演示常僅止於以傳統的演示方式呈現，較少以探究取向的方式進行演示的原因呢？所以，探討中、小學教師對科學演示的觀點，以及其實施科學演示的模式，應是改善中、小學教師實施科學演示的關鍵。

教師也是學習者，他們透過自己既有知識與信念詮釋其經驗，教師關於學習、教學、學科內容的知識與信念，對於其教學具有決定性的因素（Borko & Putnam, 1997）。長期以來，科教學者極欲理解信念與實務之間的關係。Pintrich（1990）即說過信念是師資培育中最有價值的心理構念。許多研究也發現

教師在詮釋教學知識、概念化教學任務，和逐步地產生教學決策的過程中，信念扮演著中樞的角色（Bryan, 2003）。過去有關教學的研究，由於受到行為主義研究派典的影響，較偏重於教師教學行為的探討，缺乏對教師信念作深層的理解，以致，無法瞭解教師信念與行動的關聯（孫志麟, 1999）。同樣，科學演示的研究也缺乏探討教師信念對於教學行為的影響。

當前的研究建議，探究取向的演示是需要具有社會建構觀點的教師進行教學，較能提供學生透過演示操作驗證他們想法的機會，理解演示所蘊含的概念、以及與他們所學的概念有何關連（Roth et al., 1997; Shepardson et al., 1994）。然而，是否具社會建構主義教學觀的教師，即能落實探究取向的科學演示？哪些因素會影響教師進行探究取向的科學演示？這些問題對於以後如何培育教師進行探究取向的科學演示有很深的影響。有鑑於此，本研究係探討一位具有社會建構取向教學經驗的物理教師，其演示功能的觀點如何影響他選擇活動設計的演示，以及如何詮釋探究取向的演示。並藉由持續比較個案教師詮釋探究取向與自行發展的科學演示、有無實施科學演示的教學、個案教師所詮釋的科學演示與活動設計目標之間的差異，以了解個案教師為何如此詮釋探究取向科學演示，以及教學演示對學生概念學習的影響。所以，本研究的待答問題如下：

- 一、個案教師對於科學演示的觀點與慣有的教學模式為何？
- 二、個案教師如何詮釋探究取向的科學演示？
- 三、學生在轉動概念上的學習成效為何？
- 四、個案教師實施科學演示成效的影響因素為何？

貳、文獻探討

本章將針對「科學演示」、「計畫行為理論」與「教師實務知識」逐一進行文獻探討。

一、科學演示

演示/示範 (Demonstration) 一詞即有驗證理論、說明、表演、示範的意義。本研究採「科學演示」的名詞，以強調教師透過有技巧的實物表演，帶領學生探究所欲傳達的概念。

在科學課室中，科學演示也可作為診斷學生具有迷思概念的好方法 (Glynn, Yeany, & Britton, 1991)。一個有效的科學演示具有七項功能：(一)激發學生好奇心；(二)引出學生的質樸概念；(三)透過感官知覺理解抽象的物理概念，減少迷思概念；(四)產生認知上的衝突事件，以引發內在的學習動機；(五)教師易於解釋科學概念，節省課堂講述時間；(六)促進師生互動，作為探究科學的真實媒介；介紹及總結單元，複習觀念，創造課堂的最高峰 (林淑楞等人, 2001; Chiappetta, Koballa, & Collette, 1998)。科學演示常被採用的一大特點便是製造概念衝突。概念衝突在教學上的運用原理便是基於 Festinger (1957) 的認知不協調理論 (theory of cognitive dissonance)，其基本假設有二：(一)不協調，造成心理的不舒服，將會激勵人們嘗試去減低不協調以達和諧狀態。(二)當不協調出現，而且正嘗試在減低它時，人們會主動避免那些會增加不協調的情況和資訊。所以，衝突事件能使觀察者或參與者激起強烈的情緒，教師可運用它在課程的介紹、師生互動與加深概念的印象等三個教學程序中 (Liem, 1987)。

有關演示對學生概念學習的文獻中，Shepardson 等人 (1994) 探討演示對學生理

解科學概念的影響，發現學生會利用先前的知識和經驗建構演示的目的與意義。學生對演示所看到的描述是「他所期望的」，也就是他基於先前知識的詮釋，而非「他所觀察的」。所以，演示對學生而言主要是加強他們先前的理解，未必是理解演示中真正的科學概念 (Osborne, Bell, & Gilbert, 1983; Shepardson et al., 1994)。所以，教師若未能對演示內容做適切的解釋，科學演示反倒容易形成學生的迷思概念 (Shepardson et al., 1994)。教師應鼓勵學生分享他們對演示現象的想法，提供教師瞭解學生如何建構對演示的理解，而非只是要求學生簡短回答教師所提的問題 (Roth et al., 1997; Shepardson et al., 1994)。所以，科學演示對學習的影響應該是透過科學演示，課堂上的社會互動以挑戰學生的先前概念，激發學生產生自省能力，甚至引發學生合作對話，以增進學生概念的理解。

有關教師在科學演示的相關文獻中，Clermont, Borko 和 Krajcik (1994) 對於有經驗與生手的化學演示教師進行診斷性的晤談研究，比較他們的學科教學知識 (pedagogical content knowledge, 簡稱 PCK) 之差異。研究發現有經驗的演示教師擁有較豐富多樣的教學表徵庫 (representational repertoire)，他們比生手演示教師者對演示的複雜性有較多的認識，甚且，對於這些複雜性會如何干擾教學、應如何簡化演示的複雜性以促進概念學習，都有較深的了解。他們會確認學生的困難，並且聚焦於某些變因，簡化演示的複雜性，避免學生關注於有可能混淆的變因上。他們對演示擁有較廣且豐富的心智表徵，這些正可說明教師在科學演示中的教學表徵庫是展現教師整體 PCK 的能力 (Shulman, 1986, 1987)。所以，教學表徵庫能反映出更完整而精確的專業知識基礎，有利於教師將

基礎的科學概念教授給學生。然而，生手演示教師在教某個概念時，會舉出一些不相關的例子，也會提出一些模糊不清，甚至錯誤的演示；而有經驗的演示教師較沒有這樣的表現。因此，Clermont 等人認為有經驗的演示教師呈現的是探究取向的科學演示，其特徵為：(一)要求學生預測演示的結果；(二)要求學生提供假說以解釋演示的結果；(三)教師應適當地回應學生對演示現象探究的問題；(四)教師應避免錯誤報告演示的程序和結果以及解釋。生手教師較常藉著觀察的現象，提出「為什麼」之類的問題，要求學生解釋演示結果的原因。然而，有經驗的教師較注重學生對現象進行預測，並提出假說和支持假說的證據，透過演示測試學生的想法。他們也會利用提問技巧協助學生聚焦於特定的觀察，以協助學生支持或拒絕他們的假說 (Clermont et al., 1994)。Roth 等人 (1997) 以重視社會建構取向的觀點，對科學演示也提出類似的建議。他們並進一步指出學生何以無法從科學演示中，成功地學習物理的六項原因：(一)缺乏將現象與雜訊分開的理論架構 (theoretical framework)；(二)被課堂上其他學習情境的對話所干擾；(三)被其他的演示或表面相似的印象所干擾；(四)學生對與演示相關的理論架構仍有存疑；(五)小考與演示的相關知識並不明顯；(六)缺少讓學生測試他們的描述、解釋的機會。其中第一與第四項著重教師是否能將演示與課程的概念架構關連起來，而第二與第六項則著重於師生之間的對話，第三項著重於和演示相關的表徵。另外，Crouch 等人 (2004) 在其研究中提到的科學演示的四個重要成分：預測、觀察、討論和解釋。預測是影響科學演示成功與否最顯著的因素。這點說明了預測是啟動認知系統運作的開始，歷經觀察、討論、解釋過程，在學生的大腦中經歷對原

有概念的加成或改變，以達到科學概念的理解。教師能否掌握學生在預測階段所呈現的原有概念，並經由合適的策略與師生互動，將成為影響學生理解科學概念的關鍵。所以，教師在課堂中使用科學演示時，即應提供學生進行預測的機會。

二、計畫行為理論

計畫行為理論 (theory of planned behavior, 簡稱 TPB) 被社會心理學家用來解釋人類行為決策過程，科學教育研究者也用它來瞭解科學教師的行為，期望能針對科學教師的信念進行改變，進而改變教師的行為，以提昇教師的專業成長 (Patterson, 2001; Zint, 2002)。其次，TPB 也常以統計的方式應用在許多科學教育的情境中，產生有意義的結果並展現出這個理論的效度 (Crowley, 1990; Patterson, 2001; Zint, 2002)。在 Zint (2002) 比較三種態度－行為理論 (Attitude-Behavior Theories) (理性行為理論、計畫行為理論、嘗試理論) 中，計畫行為理論是最能預測教師的意向 (intention) 與行為的模式。本研究即可藉著計畫行為理論探討教師對科學演示信念、決策與行為的關連性。

計畫行為理論 (Ajzen, 1985, 1988, 1991) 根源於理性行動理論 (theory of reasoned action, 簡稱 TRA) (Ajzen & Fishbein, 1980)，此兩者均是在解釋人類行為決策過程的社會心理理論，其中最大的不同在於計畫行為理論認為人類之行為決策並非都可以完全由個人的意志所控制，而是介於完全與不完全為個人的意志所能控制的範圍，因此 Ajzen (1985) 在理性行動理論中再增加一個不確定的決定因素，稱為知覺行為控制 (perceived behavioral control, 簡稱 PBC)。

計畫行為理論中提出個人的行為意向可

由三個重要的因素預測而得：(一)個人對此行為的態度 (attitude)，意即個人對此行為的總體評價，屬於個人內在因素。(二)主觀規範 (subjective norm)，意即個人採取此行為時，重視他人的看法對此行為支持或抑制的影響，屬於個人外在因素。(三)知覺行為控制，意即個人在採取此行為時，自己所感受到可以控制的程度。它是一種個人能力的評估，此評估受到某些促進或阻礙行為表現的因素所影響。這些因素包括內在控制因素，如個人的缺點、技能、能力或情緒等，外在控制因素，如機會、對他人的依賴性或障礙等。所以，知覺行為控制的基本假定可反映出個人致力於此行為所需的機會與資源，例如教育政策若提供額外的經費、時間和研習的機會等，可促進教師施行某種教學行為 (Haney & McArthur, 2002; Patterson, 2001; Zint, 2002)。因此，Ajzen (1988) 認為知覺行為控制不但可以預測行為意向，亦可以直接預測行為 (圖 1)。本研究將利用計畫行為理論，探討個案教師實施探究取向的科學演示時，在態度、主觀規範、知覺行為控制三個因素之內涵，以瞭解協助教師實施探究取向的科學演示所應考量的要項，由此理論角度切入，將有助於師資培育者，未來研擬有效的培育方式，協助教師利用科學演示進行教學。

三、教師實務知識

科學教師的實務知識包括教師對科學、

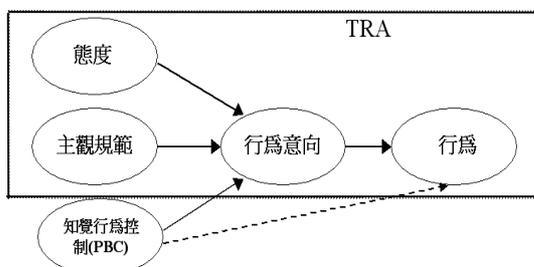


圖 1：計畫行為理論 (TPB) (Zint, 2002)

學科內容、教學與學習、學生，所融合的知識與信念。所以，教師實務知識又可分為個人實務知識 (personal practical knowledge) 以及 PCK (Van Driel, Beijaard, & Verloop, 2001)。個人實務知識是源自於教師的經驗史，包括專業和個人經驗，是屬於個人主觀的知識，也就是信念 (Furinghetti & Pehkonen, 2002)。另外，PCK 的概念是由 Shulman (1986) 所提出，PCK 是指在某個學科領域中最有系統的教學，或是呈現這些概念的最佳形式，例如類比、圖解、舉例、解釋、演示等，換言之，就是能讓學生瞭解概念所呈現的方式。所以，PCK 正是區別僅具有專業知識的科學家與會教這門知識的教師最明顯不同之處 (Shulman, 1987)。Grossman (1990) 曾以四個範疇描述 PCK：(一)學科中相關的概念；(二)教學策略及表徵的知識；(三)對學生在學科中的了解、思考及學習的知識；(四)課程及課程教材的知識。所以，PCK 常被當成教師實務知識的中心要素 (Cochran, DeRuitter, & King, 1993)。本研究將教師實務知識區分為信念與 PCK 兩個部分 (Van Driel et al., 2001)，並以這兩個組成要素探討個案教師對於探究取向科學演示的詮釋。

參、研究方法與步驟

一、研究設計

本研究主要是依據詮釋性研究 (interpretive study) (Denzin, 1989)，探討個案教師在參考研究者所提供探究取向的科學演示活動設計後，進行轉動單元的教學，及其對探究取向科學演示的詮釋。

研究者並不要求個案教師完全按照活動設計進行教學，而是尊重個案教師的選擇與詮釋，並且不以研究者個人的觀點干擾教師，藉此探討個案教師真實教學的面貌，並

瞭解個案教師對於科學演示的認識與實施。

二、科學演示的教學設計

本研究所採用的演示教學設計有兩層探究的意涵，第一層意涵是指教學設計依據 Glasson 與 Lalik (1993) 語言取向的學習環為設計架構，在探究、澄清與精緻/應用的每個階段提供 1~2 個演示，每個演示在概念架構中有其相關而不同的角色，以建立與主題相關的概念架構。第二層探究的意涵是指演示教學法具有科學探究的精神，教師以預測、觀察、討論、解釋的過程進行演示教學，學生經歷在預測、觀察之後，探究預測與所觀察現象的差異處，並分享討論可能的解釋，學生在整個過程中逐漸建立科學的概念。

基於上述對探究取向科學演示的想法，第一作者依過去數年物理教學經驗選定一個高中學生較難理解的物理概念 – 轉動慣量和角動量守恆，作為本研究的演示教學單元。從第一作者教學改進的過程中發現，倘在課程中根據 Glasson 等人 (1993) 的學習環，融入演示和動手做的活動，則能增強學生對這些物理概念的理解 (林淑楞等人, 2001)。因此，在轉動慣量單元中提供五個演示和一個動手做的活動，分別屬於探究 (轉動班牌、旋轉硬幣)、澄清 (製作筷子陀螺、演示旋轉器)、精緻/應用 (掃把倒立、斜坡滾瓶) 階段，在角動量守恆中提供實驗椅的演示。在活動設計中亦包含演示的提問問題，教師可引導學生進行預測，並提供工作單記錄學生預測、觀察、和教師教學後學生的回答，即可瞭解學生概念改變的歷程。有關個案教師的演示教學法在研究進行前已事先瞭解，符合預測、觀察、討論、解釋的過程進行演示教學。本研究提供個案教師這份活動設計，以期能促進學生轉動概念的理

解，從而探索個案教師的信念與教學行為。

三、研究步驟

本研究於九十一年十月起開始進行研究，研究者先研擬活動設計、概念學習歷程工作單 (簡稱工作單)、和後測的試題。在課室觀察前兩個月，與個案教師針對活動設計、工作單與後測意見溝通兩次，再經過專家審核。此外，並挑選十名高三學生進行預試。於九十二年三月開始共經歷九週的課室觀察，在上課前、後均與個案教師進行非正式晤談，了解慣有教學模式背後的教學觀點。後三週轉動單元的課程中，有兩週的轉動慣量與角動量守恆是以科學演示為主。個案教師參考探究取向的演示活動融入教學。

學生必須在教學前、教學中、和教學後填寫一份工作單，工作單的問題大多與上課時教師所做的演示相同，記錄學生的先前概念與概念學習的歷程。研究者可從學生概念轉變的記錄中，瞭解教學過程對學生的影響。在整個教學結束後兩週，進行兩段式的後測，第一段學生選擇適當的答案，第二段則陳述選擇答案的原因，比較工作單與後測第二段的答案敘述，俾瞭解學生對概念的真正理解。

四、研究對象

個案教師柯老師 (匿名)，男性，某師範大學物理系畢業，在教學期間同時在科學教育研究所進修不少科學教育的課程。柯老師教學經驗已有八年 (國中三年，高中五年)，思考反應以及講話速度皆快，凡事有主見，對自己的教學充滿信心，樂於嘗試新的教學策略。研究者在本研究實施前一、兩個月的課室觀察中，發現個案教師在教學上具有社會建構主義的理念，因為他在多年的教學經歷中發現在講述的教學中，學生視教

師所傳授的知識為權威，未有機會挑戰心中的想法。當學生未理解教師所傳達的科學概念時，便會堅持他原有的想法。但是若以小組討論進行教學，學生有機會與同儕討論他們的想法，在小組的辯論中檢視他人與自己想法的差異，學生便可能歷經概念的改變。因此，他相信學生需經過自己的思考，以及同儕辯論與協商過程，得以澄清自己的概念，所以他常以小組討論營造科學課室的情境。

柯老師施行小組合作學習已有六年之久，慣常使用自行設計的工作單，提供小組合作討論的任務。在他的課堂中七成的時間是小組討論與發表的時間。為了多讓學生思考以及聽其他同學不同的解釋，教師通常未做任何回應或評論，而是再拋出一個問題讓他們思考。在黑板上時常劃分兩個區域，一區紀錄著各組討論的答案，另一區提供教師與學生解釋說明之用。透過小組發表想法，師生間經由辯證的過程，達成共識。另外，他也常利用科學概念發展史融入物理教學，使學生了解知識的暫時性，知識是由科學社群辯證、協商意義的結果，從這些慣有的模式中，均可看出他所營造富有社會建構取向的課室情境（林淑榜和張惠博，2003），而科學演示是他偶而使用的教學策略。

柯老師所任教的高中是中區升學率最好的男校之一，其所教的兩個高二班級皆是準備升大學理工科系的學生，兩班在物理成績的表現上程度相當。柯老師選擇一班為演示班級（44人），在教學上使用科學演示，另一班級為非演示班級（45人），其教學內容與演示班級相同，亦均實施小組討論，惟未使用教具進行演示，而以繪圖、肢體動作或手勢說明問題。

五、資料收集與分析

為深入瞭解個案教師的教學相關信念，

在課程進行前、中、後期，進行了三次正式晤談及數次課後晤談。其中，正式晤談採半結構的方式，針對教師的教學、學生學習、科學演示等進行深入晤談，以了解教師的信念。課後晤談則針對該堂課教師在提問問題的立意所在與思考，以及教師對學生的反應之理解，俾探討教師在課堂中的瞬間思考決策。在資料分析期間，為確認個案教師有關演示的信念與行動的相關性，亦與個案教師進行電話晤談與電子郵件的回應。其他的資料收集，包括課室觀察、錄影、錄音、與學生的晤談等，並將晤談與轉動單元的錄影資料進行轉錄。多元收集教師、學生的資料，以及三位研究者共同進行課室觀察的觀察結果，並利用這些資料進行三角校正（包括課室觀察與課後晤談學生的轉錄資料、以及學生工作單的交叉檢核）。此外，研究者利用持續比較法（吳芝儀和李奉儒譯，1995）發展主張。並將所分析的資料與計畫行為理論進行比較分析（吳芝儀和廖梅花譯，2001），俾瞭解個案教師科學演示的信念與詮釋演示活動的行為之間的關聯。在初步發現形成後，與其它三位研究者和個案教師共同檢核，報告完成後再次共同檢核詮釋的資料，確認研究發現與結果，以建立研究的效度（Guba, 1981）。另外，有關學生轉動概念學習成效的資料分析，是將學生概念學習歷程的工作單，和後測第二段的陳述性答案，進行分類與編碼、計算各類迷思概念的比例。並藉由 t-檢定比較兩班的後測結果，了解演示對學生概念學習的影響。

肆、結果

首先呈現個案教師對於科學演示的觀點與其在轉動單元慣用的科學演示。其次，呈現個案教師對於探究取向科學演示的詮釋，

以及學生的學習成效。然後，再呈現個案教師實施探究取向科學演示及其成效的影響因素。

一、個案教師認為演示的功能有二：演示為表徵具體現象的範例，用來加強問題的說明或驗證物理概念的工具。有效的演示能立刻引發學生產生關鍵概念。

柯老師在平常物理教學時，偶而也會使用科學演示，特別是當他發現學生對某些現象無法了解其所蘊含的科學概念時，他便會試著設計一些演示教具，協助學生理解其中的物理概念。

R：何時您會使用科學演示？

T：(停頓3秒)除非我察覺到學生真的沒有辦法去想像了解的時候，我才會去考慮。
(晤談-T-0221)

柯老師以“範例”一詞作為詮釋演示的功能，

R：……您覺得這次轉動單元的教學與過去幾年的教學有何不同？

T：其實沒有什麼改變，唯一的不同就是增加了許多演示的範例。(晤談-T-0614)

T：範例就是指具體現象。……實物演示比圖示或說明更具體。(晤談-T-0316)

從課室觀察柯老師使用科學演示的時機與方式，發現他所謂的“範例”就是演示呈現具體的現象，或是說出日常的經驗(例如：電風扇的轉動)，用來加強問題說明以及驗證概念的工具。

學生也認為柯老師的科學演示可以讓他們與生活經驗產生連結，並且驗證科學的定律。

S₃：老師演示可以讓(學生)自己更確定是那個樣子(指學生的答案)。可以從自然生活中去發覺那些定律。看了之後可以

在心中更確定那些定律。

(晤談-S₃-0417)

個案教師認為演示所提供的是自然現象的觀察。學生可以藉由教師的演示檢驗他們心中的想法，說服他們相信科學定律的真實性。

另外，柯老師並未全盤採用活動設計中的科學演示，六項中選擇了四項，未採用的均是學習環中精緻/應用階段的項目(「掃把倒立易平衡」和「空瓶與裝滿水的瓶子何者先滾到斜坡下?」)。在教學後研究者問柯老師下次會選擇哪些演示作為轉動單元的教學時，他選擇轉動慣量的「旋轉器」和角動量守恆的「實驗椅」，而不會選擇「班牌」及「掃把倒立易平衡」的演示，是因為後兩個演示會引發學生一些無法切中核心的概念。Clermont 等人(1994)的研究也發現簡單、容易架設、可立刻引發核心概念的演示是教師們最樂於使用的。柯老師依照他對每一個演示的理解，選擇他認為可以明確演示出物理概念的項目，例如他未採用「掃把倒立易平衡」的演示是因為

T：學生會考慮到重心，阻力，還有底面積的關係，這就是我所謂的雜訊，會產生分岔的聯想，就比較難用。當然讓他們體驗每個現象有不同的體驗固然是好的，不過如果在你時間有限的情況下，你必須要很快的把那個關鍵的概念引出。

(晤談-T-0408)

由上可知，科學演示在柯老師的教學目標中主要係扮演引發學生對於關鍵概念理解的角色，此外，亦用來表徵具體現象，以加強問題說明及驗證物理概念的工具。所以，柯老師認為倘活動設計能提供數種演示，將有利於學生在不同的演示中應用同一概念。然而，某些演示可能干擾他想要單純的討論問題，也會讓學生無法專注於他想討論的焦

點，他便不採用此演示。因此，柯老師對演示功能的觀點不僅影響他對演示項目的選擇，同時也影響他的演示模式。在轉動單元中，柯老師有一項慣用的演示是他自行發展配合課程內容，下述可瞭解個案教師的演示模式。

二、個案教師對於自行發展的演示，提供完善的課程架構以展現概念的內涵。但是，對於學生無法辨識演示現象中所呈現的科學概念，個案教師以演繹推理的方式解釋，而非明示演示現象所欲表徵的概念。

所謂「自行發展的演示」意味著教師自行製作演示教具，以及建立與演示相關概念的課程架構。柯老師在轉動單元中慣用的演示活動便是他自製的演示（角動量守恆的教具：重物、活塞、繩子）（如圖 2）。他期望學生能從此演示中辨識力矩為零，以及轉動慣量與角速度反比的規則性。而且，為了讓學生理解這個演示，他提供有組織架構的教學流程：(1)建立先備知識：利用圖 3 計算物體所受的力矩，並判斷通過轉軸的分力（F'）無法產生力矩。(2)演示：他面對著學生揮動重物做圓周運動，說明如圖 2 的題目，並將繩子拉向自己時，可觀察到重物的圓周半徑瞬間變小，且轉速變大。(3)佈題：如圖 2，一物體在無摩擦力的平面上做圓周運動，當繩子受力往下拉時，重物的運動狀況有何改變？此重物有無受到力矩？如何解釋這種運

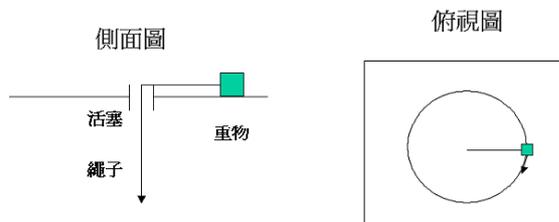


圖 2：角動量守恆之科學演示示意圖

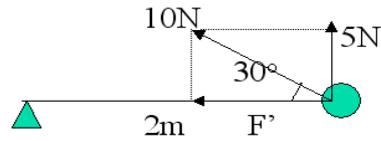


圖 3：個案教師建立力矩為零之先備知識的舉例

動狀態？(4)小組討論。(5)學生發表。(6)教師解說。(7)直線運動與轉動的兩組公式作對照：由「動量」的觀念提示「角動量」。(8)再次演示及小組討論。(9)學生再次發表與教師產生互動的對話。以下節錄此部分的對話：

T：.....照理說，角加速度為零，角速度不應該變快，可是當我們拉回來，它的角速度就會增加（教師同時在做如圖 2 的演示）為什麼？.....它必須遵守某種存在的規則，才會出現這樣的狀況出來。那個規則到底是什麼？

（教師再度演示，暗示他們由觀察中找出規則）

T：這個物體本來運動的時候半徑比較大，我們往下拉的過程當中，它的半徑越來越小，同學觀察一下這個轉動的過程當中，這個物體的哪個部分產生了變化？

此時，柯老師鼓勵同學猜測，建議可以操作演示教具幫助思考。小組討論一分鐘後，老師點名同學發表。

S_{8 組}：半徑越小，角速度越大。（第 4 組有人在操弄演示教具）

（老師鼓勵學生再深入想）

T：半徑越小意味著什麼東西？

S₁：（有一學生發言）轉動慣量變小。

T：好，半徑變小，代表著個物體的轉動慣量 I 變小，I 變小，角速度 ω 就變大。

S₂：（有另一學生發言） α （角加速度）變大。

T：好，這裡我們注意到這個物體沒有受到力矩，也就是說力矩是零，角加速度是零，也就是說如果半徑固定的話， ω 就是

定值。但是我們剛剛半徑不斷在改變， ω 就會不斷增加，但如果把半徑固定下來時，它的 ω 就又保持一定，所以這是我們這個現象的基本條件，力矩為零時，它的半徑變小，導致 I 變小，使得 ω 增加。

(觀察-214-0402)

柯老師的建構取向教學呈現於學生小組討論、合作解題以及發表過程中的師生對話。在上述師生建構概念的對話中，柯老師對於學生仍持有「角加速度變大」的觀念，利用演繹推理的方式，由「力矩為零」的觀念解釋「角加速度為零」。然而，研究者於課後晤談學生，發現學生無法從演示中區別「施力」與「力矩為零」在演示中的表徵。

S₂: 老師拉繩子，代表有施力，那麼應該就有力矩才對啊！為什麼力矩為零呢？

(筆記-0402)

柯老師期望學生能從圖3所建立的先備知識(通過轉軸的力，無法產生力矩)，類推至圖2(物體向下拉的向心力便是通過轉軸的力，所以無法產生力矩)的演示上，顯然學生並未達成柯老師的期望。學生認為柯老師的教學

S₃: 理解物理概念還蠻OK的啦！但對於要將生活中的現象直接要套一些公式，覺得有點麻煩。不知道要怎麼搭配連結上關係。(晤談-S₃-0417)

柯老師的科學演示對於物理概念的連結仍有一些落差，落差在於學生無法由柯老師的演示動作與相關的科學概念作連結，無法藉由抽象的推理演繹方式理解。由此可知學生需要教師的協助瞭解每一個演示動作所表徵的物理概念。

三、個案教師對探究取向演示活動的詮釋

(一)個案教師雖樂於嘗試新的科學演示，但研究者所設計的課程是利用演示的

各個動作表徵概念，此與個案教師使用科學演示的觀點不同，使得個案教師不習慣實施非自行發展的演示活動。

在研究初期徵詢柯老師參與本研究的意見時，他十分樂意地參與。從初期的晤談也發現柯老師是一位樂於嘗試各種教學策略，以落實改革，對教學充滿熱誠的老師。因此他對於以探究取向的科學演示融入教學的研究計畫也深感興趣。在研究初期柯老師也樂於對這份活動設計與前、後測的題目提供意見。但在演示課程即將進行時，柯老師突然向研究者反應無法按照原來的設計教學。研究者在課後詢問柯老師當時的心情。

R: 為什麼臨時(在上課前)會向我反映無法按照原活動設計教呢？

T: (尷尬的笑聲) 不習慣啊！

R: 為什麼不習慣呢？

T: 因為我比較習慣自己發展出來的東西。……就是自己發展的演示或活動。

(晤談-T-0316)

由於研究者僅想探討個案教師對科學演示原始的觀點以及如何實施科學演示，並未要求柯老師完全按照演示的活動設計進行教學。因此研究者乃鼓勵柯老師依照他的想法與選擇進行教學，不需存有依照原設計內容教學的壓力。研究發現柯老師所詮釋出的演示活動是與研究者設計的活動不同。當他將演示融入他原來的課程時，深受其科學演示觀與慣有的教學模式所影響。也就是個案教師雖能理解活動設計的內容，但因他與研究者個人實務知識的差異，造成他不習慣實施非自行發展的演示活動。以下將從比較探討柯老師詮釋演示與原活動設計的差異，以及比較他詮釋演示活動與實施自製演示的差別，了解教師將新演示融入自己的教學所應考量的要素。

(二)對於學生的另有概念，個案教師習慣避免討論另有概念，而提出另一個問題，引導出正確答案。然而，這種迂迴提問的方式使學生較無法瞭解另有概念的不適切性，亦時常脫離探討演示現象的機會，無法聚焦於演示現象與概念之間的連結。

柯老師在介紹轉動慣量時，採用活動設計中的第一個演示。他利用班上的班牌作為演示的器具（如圖 4），手持班牌桿的中央（A 點）及末端（B 點）進行轉動，並詢問學生手持何處較難以轉動？部分學生立即的回答，反映出這是他們經驗可以理解的現象。然而，當教師要求他們解釋「為何握在 B 點較不易轉動？」時，學生回答

S₄：因為握在 A 點所產生的『力矩』比握在 B 點的『力矩』小，施力較小，所以轉動容易。

研究者利用課後晤談柯老師，瞭解他當時的想法與行動的關係。他認為學生因無法消除重力的影響，所以提出另一個問題，並在黑板上畫出圖 5：

T：在太空中轉動班牌，握在 A 或 B，哪一個轉動比較難？

他發現學生 3 秒後仍無回應，認為「轉動難易」的用語可能不夠明確，考慮到學生之前已學過「角加速度」，又將題目改以「角加速度」表示：

T：倘若在 A、B 會產生同樣的角加速度，請問哪裡需要比較大的力氣？(1)A=B (2)A<B (3)A>B。

學生在超過 20 秒的討論後仍未作答。柯老師再給予另一個慣性的提示「假如你在太空中推動一張桌子與推動一座山均使它速度變成 4 (m/s)，你覺得哪個比較困難？」學生開始在黑板上記錄他們小組討論的答案。

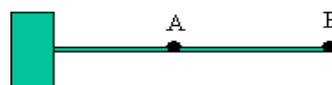


圖 4：班牌演示

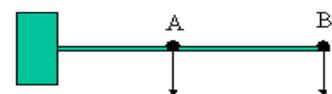


圖 5：個案教師解說班牌演示之繪圖

原活動設計中這個演示的目的是強調一個物體可藉著轉動軸的不同，造成不同的轉動慣量。轉動慣量在演示中的表徵，便是手持不同位置所感受到轉動難易的程度。藉此介紹轉動慣量的意義，以及探討影響轉動難易的因素。對於學生利用「不平衡狀態」所判斷的「力矩」概念，活動設計中以接續的另一個演示：「旋轉器」提供學生「平衡狀態」的情境，意圖與他們原有的概念產生衝突。然而，柯老師並未體會出原活動設計是依概念改變的發展過程呈現演示內容。

柯老師對於學生的提問，有其一貫的應對模式即「依循著學生原有的概念，迂迴地問問題去引出正確的概念（晤談-T-0424）」所以，在轉動慣量的班牌演示，柯老師並不直接指出學生「力矩」不恰當的說法，試圖從無重力的太空情境中只有質量，希望轉移學生使用「力矩」的概念。柯老師又認為「轉動難易」的用語不如「角加速度」的數量來的清楚。所以，他面對學生無法回答的問題，改以計算題目的方式進行。

然而，研究者認為學生習慣利用所學的力矩概念解決這個問題，這種解釋並沒有太大的錯誤，但是無法適用於轉動處於力矩平衡狀態的物質。尋求能解釋平衡與不平衡狀態的共通性質（質量與質量分佈），是探究取向的教學目的之一。另外，學生可能不知道為何引進「太空」，並且太空狀態的轉動

更非他們經驗所能想像的。對高中生而言，「轉動難易」應該比「角加速度」容易理解。

(三)當同一演示教具使用於不同的表徵情境，可能會混淆學生對主要演示的概念理解，亦無法有效解決學生在主要演示中所產生的另有概念。

柯老師為了讓學生能由計算的方式瞭解演示中「轉動難易」的含意，他利用學生原有的「力矩」概念，將轉動慣量的班牌演示設計成四個計算題目（如圖 6）。進行轉動相關的計算，並將所得的數據進行分析，找出影響轉動難易的規則性 $\tau = (mr^2)\alpha$ ，進而定義轉動慣量 $I = mr^2$ 。並且利用先前的班牌解釋說明計算題（圖 6）。然而這四題計算與先前的班牌演示具有不同的意涵。兩者的概念表徵分別以圖 7 的 (a) 和 (b) 表示。柯老師認為先前班牌的演示無法正確建立學生轉動慣量的觀念，臨時改以計算題的方式推導出轉動慣量的關係式。採用班牌說明計算題，並未顧及兩者的概念表徵是不相同的。柯老師也未再解釋轉動慣量如何解答先前班牌演示的問題。學生可能將計算題的表徵概念，用來解釋先前班牌的演示，造成「力矩」的另有概念無法消除。從記錄學生概念轉變歷

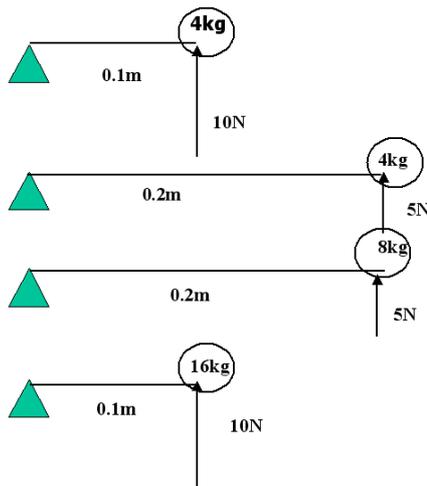


圖 6：個案教師設計推導出轉動慣量的計算題

程的工作單中發現，仍有 40% 的學生在班牌的科學演示後的反思中，以「力矩」的概念回答轉動難易的問題。由此可知，學生仍以「力矩」的另有概念解釋非力矩平衡狀態的轉動慣量問題。

(四)個案教師將演示以範例形式展現，可增加學生參與度，但科學演示與畫圖、手勢和解說之教學成效無顯著差異。

為了瞭解學生有關轉動概念的學習成效，我們比較演示班與非演示班的學習狀況。發現在演示班中因有演示的現象觀察及學生參與演示，偶而產生的「笑」果，使得學生參與討論的氣氛較非演示班級高。但柯老師為顧及非演示班學生公平的學習，他都會特別以圖示、肢體動作和語言加強解說取代無法演示的缺憾。例如在非演示班中，當他提出轉動班牌難易的問題時，會在黑板上畫出圖 4，並將手分別放在 A 點和 B 點，做出轉動的動作。當我們比較兩班學生的在概念學習的成效上發現，利用 t-檢定比較兩班後測的成績，在後測第一段 10 題選擇題，演示班與非演示班的平均成績分別為 60.5 分和 57.9 分（滿分 100 分），並沒有顯著差異 ($t = -0.81, p > 0.05$)。後測第二段概念解釋

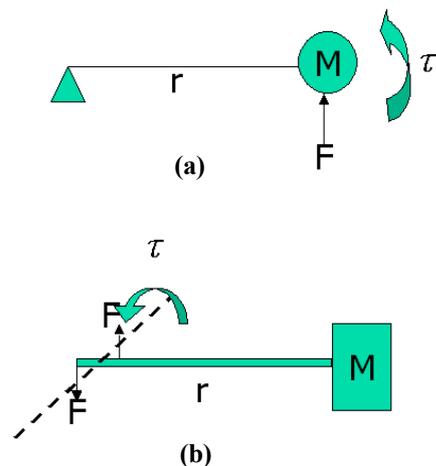


圖 7：(a)計算題的表徵，(b)演示的表徵

部分，演示班與非演示班的平均成績分別為 43.4 分和 39.0 分，也無顯著差異 ($t = -1.6, p > 0.05$)。顯然，柯老師將演示以範例的形式展現，與利用畫圖、手勢和解説的輔助說明在效果上，並無差別。

分析後測中基礎概念題(第 2, 4, 5, 6, 7, 9 題)與應用概念題(第 1, 3, 8, 10 題)的答對率(圖 8)，我們可發現在轉動慣量的題目中，雖演示班有 90% 的學生能正確選擇概念基礎題(第 2 題)第一段的答案，但只有 60% 的學生在第二段中陳述正確答案。對於轉動慣量應用題(第 1, 3 題)也只有不到 25% 的學生答對，由學生所陳述的內容得知，學生對於轉動慣量的理解，僅止於對公式 $I = mr^2$ 的理解，未能理解轉動慣量的概念型定義：「轉動慣量是物體抗拒改變轉動狀態的特質」(轉動慣量大者，轉動後不易停止，靜止時不易轉動)，以致於無法達到應用概念的階段。非演示班的後測結果也與演示班級的結果相當類似。

(五)個案教師對於他人所提供的演示以範例的形式展現，不像自行發展的演示，能提供具有較完善的課程設計，俾作為理解科學演示中物理概念的鷹架。

由於本研究讓教師自由選擇活動設計中的演示，以融入柯老師的課程中，而他在這個單元中也使用一項自行發展的演示。比較柯老師對這兩類演示發現，相似處為常將演示當成是刺激學生思考問題的視覺展示(例

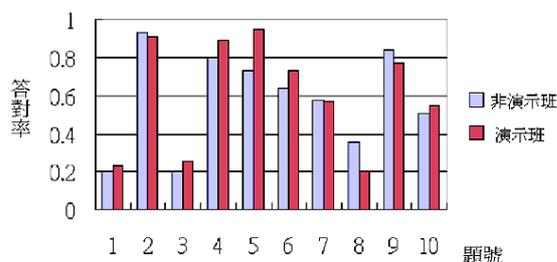


圖 8：演示班與非演示班級後測第一段的答對率

如自由旋轉的椅子演示角動量守恆)，或是具體說明題目的範例工具(例如揮動班牌，自行發展的演示)。相異之處為在自行發展的演示所具有的項目，而在進行活動設計中的演示所缺乏的(弧號中為他實施班牌演示較為不足的部分)為：(1)瞭解學生對於演示內容，所應具備的先備知識(轉動軸的部位未提)；(2)為建立先備知識所作的準備(轉動軸的部位，「力矩」的另有概念的因應)；(3)教師的佈題切合演示所涵蓋的概念(計算題與班牌演示的表徵不合)；(4)對演示提供詳盡的解説(班牌與轉動慣量的解説不足)。換言之，柯老師實施自行發展的演示與他人提供的演示比較起來，自行發展的演示具有較完備的課程架構，與演示內涵的概念有密切的相關性，能夠搭建較為完整的鷹架協助學生學習。以下將針對這些差異性探討影響柯老師實施科學演示成效的因素。

四、個案教師實施科學演示成效的影響因素

(一)個案教師對活動設計的關注為科學演示本身，而非與科學演示相關的活動設計。因此，個案教師與演示設計者對同一個演示在實施上會有所不同。

柯老師對於演示活動設計，注意的是演示本身，而不在于演示活動設計的架構，以及研究者對每個演示所賦予的意義。

R：你有去看活動設計中輔助說明演示的概念架構這一部分(右半邊)嗎？

T：沒有。因為我覺得十個人去看同一份活動設計，可能都會有十個不同的詮釋。所以我不會去揣測設計者的想法。我會以教學的需要去選擇我要的演示。

(晤談-T-0316)

有經驗的老師有其專業的自信，也會因應他的教學目標，選擇所需的演示活動。尤

其，教師也因實務知識的不同，對不同的教學策略賦予不同的價值與功能，而產生與其他教師互不相容的課程架構。

柯老師在課後晤談中回想當時班牌的演示，發覺到以上下轉動班牌的演示（如圖 9(a)）容易引發學生利用重力所產生的力矩解釋轉動的難易。應該改以水平轉動班牌（如圖 9(b)）的方式。此時他才注意到當時未留意演示活動設計便是以水平轉動的方式進行演示。由此可知，教師可經由課堂實際的演示操作，能發現演示的不適切性，加以修正。並且，透過課堂中反覆地演示，增加操作的熟練度，從學生的反應中鷹架符合學生學習的概念架構，建立與演示環環相扣的架構，逐漸成為自行發展的演示。在本研究中，柯老師實施研究者所設計的演示，似乎是未經內化的演示，缺乏與演示有密切相關的課程架構，所以較常顯現範例的功能，當作加強問題說明或驗證概念的工具。

(二)個案教師慣有的教學模式（如避免另有概念的提問）可能會阻礙探究演示現象與物理概念之間的連結。

面對學生的另有概念，柯老師習慣以間接、迂迴的提問模式，目的是摒除傳統上以

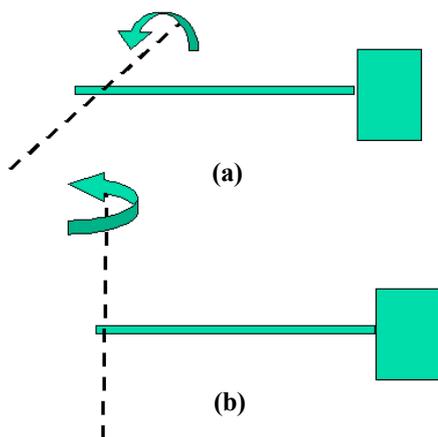


圖 9：(a)柯老師施行班牌演示的表徵
(b)活動設計中班牌演示的表徵

傳輸的模式建立學生的知識。所以當他提問引出學生質樸概念時，他通常不會直接指出學生觀念上的錯誤，因為：

T：……就算你直接告知學生正確的科學概念，學生還是會堅持他原本的想法，儘管你已指出他原本的想法是錯的。

（晤談-T-0311）

T：教學上盡量還是「迂迴地問問題」，讓他自己說出我要他們回答的概念。我所給的問題多少大概就看時間夠不夠用。大部分還是以這個方向去走。

（晤談-T-0424）

柯老師期望學生能由他的提問中發現自己錯誤的觀念。

然而，慣有的教學模式與知識也可能會妨礙教師在他實務上的反思，以及阻礙他用新的方式來看待事物，或是學習新的教學方式（Borko et al., 1997）。從課室觀察發現他依循學生原有概念，迂迴提問的方式，所發展的問題，較偏離對演示現象的關注。從柯老師在班牌演示與角動量守恆的演示中，都可發現對於學生觀察演示所提出的另有概念，他並不習慣利用演示直接指出與概念相關的表徵。由於柯老師慣有的迂迴提問習慣，無法在他的科學演示中直接呈現現象與概念連結的價值。

(三)演示能否引發學生關鍵概念、學生的回應和參與度、以及有無機會累積實務知識等，都會影響個案教師施行科學演示的成效。

藉由計畫行為理論我們可以較清楚地解釋影響柯老師選擇性地實施科學演示行為與行為意向的因素（表 1）。我們將柯老師實施科學演示的有效性區分為較有教學成效與較無教學成效兩類，教學的有效性取決於柯老師是否會再度採用。研究結果發現旋轉器、自由旋轉椅、重物-活塞-繩子為柯老師會再

表 1：計畫行為理論解釋個案教師科學演示的成效

態度	範例的信念 (+)	範例的信念 (+)	範例的信念 (+)
	引發關鍵概念的信念 (+)	引發關鍵概念的信念 (+/-)	引發關鍵概念的信念 (-)
主觀規範	學生 (+)：回應佳，參與熱烈	學生 (-)：回應不佳，參與不熱烈	
知覺行為控制 (PBC)	實務經驗 (+) 學習機會 (+) 實驗機會 (+)	實務經驗 (-) 學習機會 (-) 實驗機會 (+)	
行為	有效的科學演示。例如：旋轉器、自由旋轉椅、重物-活塞-繩子。	無效的科學演示。例如：班牌演示。	無效的科學演示。例如：掃把倒立、空/滿瓶自斜坡滾下。

(+ 代表正向的因素，- 代表負向的因素)

度使用的演示，其他則否（晤談-T-0418）。計畫行為理論中態度的因素為個人信念對行為所反映出的喜惡（Haney et al., 2002）。對柯老師而言，那些有教學成效的科學演示符合他對科學演示所持的信念—具有範例和引發關鍵概念的功能。反而，掃把倒立和空/滿瓶自斜坡滾下的兩個演示直接抵觸柯老師對演示功能的信念，而產生負面的態度，也就未能產生此種教學行為。

除了柯老師個人對科學演示的態度影響他實施科學演示之外，學生的回應和參與度也是主要的因素。例如柯老師起初曾懷疑自由旋轉椅演示角動量守恆的效果，經研究者的鼓勵與實驗椅的提供，柯老師在課堂實驗後，發現它不僅能引發學生的關鍵概念，而且提升了學生的參與度。對於注重學生反應的柯老師而言，學生便是計畫行為理論的主觀規範，也是柯老師決定是否採用科學演示（行為）的主要因素之一。

另外一個影響教師教學行為的主要因素為知覺行為控制，簡而言之便是教師是否有信心進行此教學行為。研究發現柯老師對於自由旋轉椅與班牌演示有信心能進行演示（知覺行為控制為正向因素），而直接嘗試此演示（行為），符合 Ajzen (1991) 所言 —

知覺行為控制可直接預測行為（圖 1）。但是，班牌演示造成學生的回應不如柯老師所預期，無法有效引發學生關鍵概念，導致柯老師不願意再度使用。由此可知，教師的知覺行為控制雖可促使教師進行科學演示，但是，行為結果造成學生的回應不佳，都可能改變教師對此項科學演示的態度，導致演示行為的終止。

然而，由研究結果發現影響柯老師知覺行為控制的外在因素不僅止於教師的實驗機會，柯老師屢次使用演示進行教學的實務經驗（例如重物-活塞-繩子），以及學習的經驗（例如旋轉器）均可提升他的知覺行為控制。另外，柯老師對於研究者提供旋轉器的演示（如圖 10），雖然理解此演示欲傳達轉動慣量的概念，但因對非自行發展的演示，操作細節不熟，所以臨時請研究者在課室中進行演示。柯老師觀察研究者的演示後，在家中熟練操作，並進行改良，提升他對演示的自信心。於隔天在另一個班級施行這個演示，柯老師受到學生熱烈參與的影響，更激起他將操作演示的心得化為探究演示現象的動力，也體會到這個演示的價值。

T：旋轉器在平面上以力矩平衡的狀態轉動，比較能直接讓學生體會到轉動慣量的概

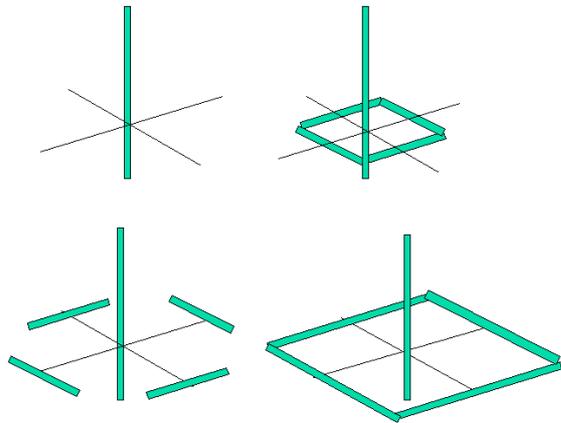


圖 10：旋轉器的演示

念。我會想在下次教學中嘗試用它。

(晤談-T-0418)

由此可知，柯老師能從他人的演示瞭解演示所欲表徵之學科知識和操作細節，可累積成為他們的實務知識。由他人演示所獲得的學習機會以及自行實驗的機會均能提升柯老師實施非自行發展演示的自信心。透過計畫行為為理論分析柯老師在本研究中所實施的科學演示，發現那些讓他想再度使用於教學上的科學演示需在態度、主觀規範和知覺行為控制三種因素均呈現正向。

伍、結論與討論

本研究藉由一位具有社會建構觀點的物理教師如何詮釋與實施一份探究取向的科學演示設計，探討個案教師的演示觀對於其教學行為的影響。研究發現個案教師對演示的觀點與慣有的教學模式，對其施行探究取向的科學演示有重要的影響，進而影響學生在轉動概念的學習成效。另外，為了促進教師實施探究取向的科學演示，於本研究採用計畫行為為理論探討影響教師實施科學演示的因素，以期提供師資培育者規劃有關科學演示研習課程之參考，本研究獲致下列的結論與

討論。

一、個案教師的演示教學觀對於演示教學的影響

個案教師具有社會建構觀的教學信念，擅長於利用演繹推理模式，在師生對話中共同建構概念。然而，其將演示視為表徵具體現象的範例觀點，使其在演示教學中仍呈現傳統的演示方式（如驗證科學定律），而非運用科學演示的表徵協助學生建構概念，思辯概念的意涵，阻礙了演示現象與概念之間的連結。另外，因他認為藉由演示可呈現概念，尤其是關鍵概念（如轉動慣量）。所以，他將演示融入講述教學之中，並提供小組討論、學生發表等，以幫助學生對於概念的理解。然而，個案教師對科學演示僅著重於引發學生產生關鍵概念的功能，也將限制科學演示作為統整相關概念與應用概念的角色。

二、個案教師的演示教學對於學生概念學習的影響

研究發現個案老師十分重視學生的討論，但由於他對演示功能定位為引發正確觀念，以致於失去了從演示中了解學生另有概念的機會，未能有效利用科學演示解決學生的另有概念。這造成個案教師的科學演示，對於學生物理概念的學習成效和理解上，並沒有顯著提昇。然而，研究者認為探討學生對觀察所引發的另有概念，是了解學生為何會有這種想法的良好機會。唯有當他們發現解釋無法適用時，便會產生概念衝突，此時便是教師可以帶領學生探究這些概念的差異性，藉此統整、複習相關的概念。另外，個案教師使用同一演示教具於不同的表徵狀況時，容易混淆學生對主要科學演示的理解，使學生無法解決在主要科學演示中所產生的另有概念。本研究結果也與 Roth 等人（1997）

的研究結果類似。他們曾指出與主要演示相類似的其他演示，將干擾學生學習主要演示中的科學概念。所以，教師利用同一演示教具陳述不同的問題情境時，應注意兩種演示表徵的差異性。而且應說明演示所表徵的概念，避免概念的混淆。

三、學生面對科學演示的觀察與概念學習之間的關係

不論個案教師實施自行發展的演示或探究取向的演示，都可發現學生無法辨識演示現象所呈現的科學概念。這個研究結果也與先前的研究發現一致，學生常常無法理解演示中真正的科學概念，主要原因是他們不知道如何將所觀察的現象與課堂上所學的概念產生連結 (Osborne et al., 1983; Roth, et al., 1997; Shepardson et al., 1994)。郭重吉 (1992) 認為觀察的目的是為了檢驗觀察者心中的想法，心中沒有任何想法的人，什麼也觀察不到。因此，教師可藉由師生的對話，探求學生觀察演示中每一個動作的想法，透過合適的教學策略 (如概念改變策略)，澄清學生的另有概念，使學生得以辨識演示中每一個動作所表徵的概念，理解物理公式中各個變項在演示中的意義，甚至，科學定律在演示中如何被歸納而得，這些都可以藉由演示增加學生對科學概念意涵的理解。倘若教師未提供學生表達他們對演示現象的看法，澄清演示現象所欲表徵的概念，教師便會減低透過科學演示培養學生建構科學知識的機會。

四、教師自行設計演示相關概念的課程之必要性

科學演示需教師自行設計與演示相關概念的課程，以致教師能有效詮釋科學演示所涵蓋的概念，並促進學生對概念的理解。由

結果顯示個案教師對於非自行發展的科學演示，較難由活動設計的教案呈現方式建立他們實施的信心。這可能是個案教師與活動設計者的觀點不一致所致。因此，科學演示亟需教師自行發展相關的課程。另外，經由課前觀摩演示的學習機會，或教師實驗新的科學演示獲得學生良好的反應等，都有助於教師實施有效的科學演示。

五、影響教師有效實施科學演示之因素

Van Driel 等人 (2001) 認為過去科教改革的失敗在於只著重教師學習教學技能，而忽略考量教師既有的知識、信念與態度，也就是影響教學行為的教師實務知識 (信念與 PCK)。由研究結果發現個案教師所持的信念——傳統的演示教學觀點，以及所具備的 PCK——迂迴提問和教學題型的慣有教學模式以及對學生概念的理解這兩者對於藉由科學演示作為探究科學概念的教學方式是有阻礙。Borko 等人 (1997) 曾指出教師對學習及教學先前的概念，以及對教學策略既有的知識深深地侷限了他們在實施新的教學實務所能做的改變，甚至也限制了他們使用教學資源的方式，以致於教師只是很表面化的嘗試改變。因此，教師在施行探究取向的科學演示之前，應該重新審視自己的演示觀點與慣用的教學策略，得以成功進行演示教學的改革。

然而，透過計畫行為理論探討個案教師實施科學演示的成效結果發現，計畫行為理論中預測教師教學意向與行為的三個因素與教師實務知識是相互呼應的。其中，態度受其教師所持的信念所影響，而知覺行為控制便是教師對自己所具備 PCK 的自信程度。因此，透過計畫行為理論的分析，我們了解到教師經由實務的經驗、學習或實驗演示的機會，都可能增強他們的實務知識與自信心。

在本研究中，我們也發現到學生的參與度與教師的自信心亦可改變教師原本的演示態度。因此，師資培育者在研擬培育教師進行科學演示的計畫時，應考量各種因素對教師教學意向的影響。例如善用影響教師知覺行為控制的各種因素，可能會增加教師的實務知識，改變教師對演示的態度，甚至提升學生的參與度，因而提升教師施行科學演示的成效。另外，若欲鼓勵教師實施科學演示教學，以演示活動設計提供教師教學參考的方式並非適切。未來的研究宜以實際示範科學演示的方式，提供教師理解所欲表徵之科學概念，研究者可與教師利用協同行動研究，共同探討教師在融入科學演示於課程設計、實施演示教學、以及與學生的對話等過程中所面臨的問題，針對教學實務的討論，提供科學教師成功運用科學演示、理解學生概念學習困難的機會。

總之，教師實施探究取向的科學演示不僅需要具備社會建構觀點，也需摒除傳統的示範觀點，具備對探究科學演示現象的知能，以及設計與科學演示密切相關課程之能力，得以促進學生理解演示所欲傳達的概念。

致 謝

本研究的進行與撰寫，承蒙國科會專題計畫的經費支持（NSC 92-2511-S-018-005）。本校陳錦章教授、高師大周進洋教授、交大蔡今中教授和兩位審查委員的寶貴意見，以及柯老師協助本研究的完成，在此一併致謝。

參考文獻

1. 林淑楞和張惠博（2001）：科學演示活動的實施與反省。論文發表於中華民國第十七屆科學教育學術研討會。高雄市：國立高雄師範大學科學教育研究所。
2. 林淑楞和張惠博（2003）：演示活動設計對教師教學與學生轉動概念學習成效之個案研究。論文發表於 2003 物理教學及示範研討會。高雄市：海軍軍官學校。
3. 吳芝儀和李奉儒譯（1995）：質的評鑑與研究。台北縣新店市：桂冠。
4. 吳芝儀和廖梅花譯（2001）：質性研究入門：紮根理論研究方法。嘉義市：濤石文化。
5. 孫志麟（1999）：教師自我效能：有效教學的關鍵。教育研究資訊, 7(6), 170-187。
6. 郭重吉（1992）：從建構主義的觀點探討中小學數理教學的改進。科學發展月刊, 20(5), 548-570。
7. Ajzen, I. (1985). From intentions to actions: A theory of planned behavior. In J. Kuhl & J. Beckman (Eds.), *Action control: From cognition to behavior* (pp. 11-39). Berlin: Springer-Verlag.
8. Ajzen, I. (1988). *Attitudes, personality and behavior*. Chicago, IL: The Dorsey Press.
9. Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50, 179-211.
10. Ajzen, I., & Fishbein, M. (1980). *Understanding attitudes and predicting social behavior*. Englewood-Cliff, NJ: Prentice-Hall.
11. Benbow, A. (1987). *A comparison of the effectiveness of demonstrations, verbal statements, and hands-on experiences on correcting misconception of first graders regarding magnets*. Unpublished doctoral dissertation, University of Maryland.
12. Borko, H. & Putnam, P. T. (1997). *Teacher Learning: Implications of new view of cogni-*

- tion. In B. J. Biddle, T. L. Good, & I. F. Goodson. (Eds.), *International handbook of teachers and teaching*. (pp. 1223-1296). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
13. Brown, A., Ash, D., Rutherford, M., Nakagawa, K., Gordon, A., & Campione, J. C. (1993). Distributed expertise in the classroom. In G. Salomon (Ed.), *Distributed cognitions: Psychological and educational conditions* (pp. 188-228). Cambridge: Cambridge University Press.
 14. Bryan, L. A. (2003). Nestedness of beliefs: examining a prospective elementary teacher's belief system about science teaching and learning. *Journal of research in science teaching*, 40(9), 835-868.
 15. Buncick, M. C., Betts, P. G., & Horgan, D. D. (2001). Using demonstrations as a contextual road map: enhancing course continuity and promoting active engagement in introductory college physics. *International Journal of Science Education*, 23(12), 1237-1255.
 16. Chiappetta, E. L., Koballa, Jr, T. R., & Collette, A. T. (1998). Lecture, discussion and demonstration. In *Science instruction in the middle and secondary schools*. (4th ed.). New Jersey: Prentice Hall.
 17. Clermont, C. P., Borke, H., & Krajcik, H. S. (1994). Comparative study of the pedagogical content knowledge of experienced and novice chemical demonstrators. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(4), 419-441.
 18. Cochran, K. F., DeRuiter, J. A., & King R. A. (1993). Pedagogical content knowing: An integrative model for teacher preparation. *Journal of Teacher Education*, 44(4), 263-272.
 19. Crouch, H. C., Fagen, A. P., Callan, J. P., & Mazur, E. (2004). Classroom demonstration: Learning tools or entertainment? *American Journal of Physics*, 72(6), 835-838.
 20. Crawley, F. E. (1990). Intentions of science teachers to use investigative teaching methods: A test of the theory of planned behavior. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(7), 685-697.
 21. Denzin, N. K. (1989). *Interpretive interactionism*. Newbury Park, CA: Sage Publications.
 22. Festinger, L. (1957). *A Theory of Cognitive Dissonance*. Stanford, CA: Stanford University Press.
 23. Furinghetti, F. & Pehkonen, E. (2002). Rethinking characterizations of beliefs. In G. C. Leder, E. Pehkonen, & G. Torner (Eds.), *Belief: A hidden variable in mathematics education?* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
 24. Glasson, G. E. & Lalik, R. V. (1993). Reinterpreting the learning cycle from a social constructivist perspective: A qualitative study of teachers' beliefs and practices. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(2), 187-207.
 25. Glynn, S. M., Yeany, R. H., & Britton, B. K. (1991). *The psychology of learning science: Constructive aspects of learning science*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
 26. Grossman, P. (1990). *The making of a teacher: Teacher Knowledge and teacher education*. New York: Teacher College Press.
 27. Guba, E. (1981). Criteria for assessing the trustworthiness of naturalistic inquires. *Educational Communication & Technology Journal*, 29(2), 75-91.
 28. Haney, J. J. & McArthur, J. (2002). Four case studies of prospective science teachers' beliefs concerning constructivist teaching practices. *Science Education*, 86, 783-802.

29. Keys, C. W. & Bryan, L. A. (2000). Co-constructing inquiry-based science with teachers: Essential research for lasting reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(6), 631-645.
30. Liem, T. L. (1987). *Invitations to Science Inquiry* (2nd ed.). The Discrepant Event. Science Inquiry Enterprises, California.
31. Osborne, R., Bell, B., & Gilbert, J. (1983). Science teaching and children's views of the world. *European Journal of Science Education*, 5, 1-14.
32. Patterson, R. R. (2001). Using the theory of planned behavior as a framework for evaluation of a professional development workshop. *Microbiology Education*, 2(1), 34-41.
33. Pintrich, R. P. (1990). Implications of psychological research on student learning and college teaching for teacher education. In W. R. Houston (Ed.), *Handbook of research on teacher education* (pp. 826-857). New York: Macmillan.
34. Roth, W. M., McRobbie, C. J., Lucas, K. B., & Boutonne, S. (1997). Why may students fail to learn from demonstrations? A social perspective on learning in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(5), 509-533.
35. Shepardson, D. P., Moje, E. B., & Kennard-McClelland, A. M. (1994). The impact of a science demonstration on children's understandings of air pressure. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(3), 243-258.
36. Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15, 4-14.
37. Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22.
38. Sokoloff, D. R. & Thornton, R. K. (1997). Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment. *The Physics Teacher*, 35, 340-347.
39. Solomon, J. (1994). Science in school and the future of scientific culture in Europe-The European report. Retrieved June 6, 1996, from <http://Lipulsi.lsi.lip.pt/IP/whitepaper/annex.htm>.
40. Van Driel, J. H., Beijaard, D., & Verloop, N. (2001). Professional development and reform in science education: The role of teachers' practical knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(2), 137-158.
41. Zint, M. (2002). Comparing three attitude-behavior theories for predicting science teachers' intentions. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(9), 819-844.

A Physics Teacher's Interpretation on an Inquiry-oriented Demonstration and the Factors for Implementing Demonstration

Shu-Fen Lin¹, Huey-Por Chang², Hsiao-Lin Tuan¹,

Chih-Chang Chiang¹ and Hsun-Fei Yang¹

¹Graduate Institute of Science Education,

National Changhua University of Education

²Department of Physics, National Changhua University of Education

This study investigated how a high school physics teacher with constructivist teaching approach to interpret inquiry-oriented demonstration. First, we recognized the teacher's perspective on demonstration and his routine teaching. We then investigated his interpretation on demonstration, and learning outcome of students about rotational concepts. Finally, we investigated the factors whether the teacher would implement inquiry-oriented demonstration. Interpretive study design was used, and data collection included classroom observation, interview with the teacher and students, pretest and posttest. Constant comparison method was used to analyze data from multiple resources. Moreover, we compared the data and theory of planned behavior to understand the relationship between the teacher's belief and action. Students' learning outcomes was represented by the analysis of protest scores between demo class and non-demo class. There are two functions about demonstration perceived by the teacher such as presenting phenomena and representing science concepts to induce student's key concepts. However, his perspectives about demonstration and routine teaching of circuitous questioning would hinder him guiding students to explore the relationship between demonstration and concepts. Because the teacher's perspectives about demonstration differed from the researcher's, the teacher's interpretation of inquiry-oriented demonstration differed from the original design of activities. Demonstration as example can improve students' involvement, but it cannot promote students' understanding effectively about concepts. The connection between the appropriate curriculum and demonstration, students' involvement, and teachers' practical knowledge about demonstration were the factors to affect teachers' success on demonstration.

Key words: High School Physics Teaching, Demonstration, Theory of Planned Behavior, Practical Knowledge