

探討兩位國中自然科教師的奈米科技 教學表徵知識：以彩蝶效應為例

莊程屹、陳均伊*

國立嘉義大學數理教育研究所

*e-mail:jychen@mail.ncyu.edu.tw

(投稿日期：民國 105 年 07 月 14 日，接受日期：105 年 08 月 04 日)

摘要：本研究旨在探討兩位國中自然科教師實施奈米科技教學時，其教導學生彩蝶效應概念所展現的教學表徵知識。資料收集以質性資料為主，包括：訪談、課室觀察與教案等，依教師進行教學時所運用的表徵方式做分類。研究發現兩位教師皆使用問答、媒體和動手做等表徵方式進行教學，但他們使用問答和解說的時間與目的不同。因著教學者、教學情境的不同，教師會運用不同的教學表徵方式，協助學生建構彩蝶效應概念。

關鍵詞：奈米科技、彩蝶效應、教學表徵知識

壹、前言

學科教學知識 (Pedagogical Content Knowledge; PCK) 是教師特有的專業知識，由學科內容知識和教學知識融合而成，讓教師能彈性調整教學，使教學內容更符合學生需求 (Shulman, 1986)。教師的學科教學知識與學生學習某一特定主題知識、學生學習困難，以及對於教學時的教學表徵知識有關，會影響學生理解科學概念的成效。教師需利用不同的教學策略、多樣性的表徵方式，將豐富

的學科知識透過教學傳達給學生，並依據學生程度，適時轉換不同的表徵形式，以有效促進學生理解教師所欲教學的內容。學生學習成效與教師的教學表徵方式有關，教師要能清楚表達出學科內容的知識，並配合教學情境透過多次的修改和精煉，教師才能在多種的教學表徵中尋找適合學生的形式 (Ball, 1988; Wilson, Shulman, & Richert, 1987)。而教師在形成教學表徵時，會先了解學生程度學習狀況、學習困難和先備知識等，才能發展出最適合學生的教學表徵。

在奈米科技概念中，不同的物質達到奈米尺度時會有不同的現象，「彩蝶效應」概念可以搭配國中八年級自然科課程的「光學」進行教學，適合融入國中自然科課程中，而蝴蝶翅膀顏色的產生問題，一直受到科學家關注。隨著科技進步，科學家認為蝴蝶翅膀顏色不像再完全是鱗片顏色所造成，蝴蝶翅膀上的奈米級結構使觀察者隨著觀看角度不同，顏色會產生變化而呈現不同的色澤。因此配合課程，能讓學生學習新科技概念，而了解教師實施彩蝶效應的教學表徵知識，探討其將無法用肉眼觀察的奈米尺度轉化成教學實務，運用教學表徵呈現奈米尺度所產生的現象和原理，將有助於奈米科技概念方面的師資培育，供進行奈米科技概念融入教學的教師作為參考。據此，本研究旨在針對彩蝶效應的概念，探討兩位國中自然科教師在實施奈米科技教學前後，其教學表徵知識的展現。具體的待答問題為：

- 一、實施彩蝶效應概念教學前，教師的教學表徵知識的內容為何？
- 二、實施彩蝶效應概念教學後，教師的教學表徵知識的轉變為何？

貳、文獻探討

一、學科教學知識

教師的學科知識必須搭配一般教學知識，除了要掌握學科內容，還要了解學生學習特點，進而思考如何運用教學過程，轉換成學生能理解的方式表達出來。學科教學知識是指教師如何將自身的學科教學知識轉到教學中，使得學生可以充分地學習。學科教學知識是一種知識體，用來區分學者與教師的差異，學者的角色是在於創造和發現學科領域知識，而教師的角色在於考量學科知識，然後運用適合的教學策略讓學生能夠理解這些

學科知識，並協助學生解決所遇到的學習困難 (Grossman, Wilson, & Shulman, 1989; McEwan & Bull, 1991)。

學科教學知識在教學上有很重要的地位，要如何去發現學生的迷思概念、是哪些原因使得學生學習感到困難、教師要用何種策略協助學生修正迷思概念、要使用何種表徵方式才能成為有效教學，以上這些問題都是教師在教學中經常遇到的問題。在「奈米科技概念」的教學中，學生如何接受新概念，並與原有的概念互相連貫形成自己的知識，教師的學科教學知識扮演重要角色。隨著科技的發展，自然領域知識越來越多元，教師在教授新概念的時候，需了解學生的學習與教學方法的使用，Geddis(1993)曾指出教師本身的學科知識不代表其可以直接將這些知識完整的教導給學生，需要經過一些轉換才能成為可以教學的內容知識。在課室教授某一特定的學科主題時，學科教學知識包括：(一)是何種原因造成此主題較易或較難理解，這包含學生在學習此主題之前的概念。(二)能有效的重組學生對此主題的理解，以減少學生的迷思概念。(三)有效呈現主題中所涵蓋概念的方法，例如：類比、說明、舉例、解釋和示範等。教師在教學中，除了注重教學方法外，應更重視學科教學知識，以便轉換學科知識成為可以讓學生能了解的教學內容 (高慧瑾，2006)。

進行奈米科技概念教學時，若教師依照自己的學科背景將奈米科技現象和原理分開，或把概念一一細分成符合教師學科背景，會使得奈米科技概念變的零碎、不完整，甚至阻礙學生學習。在奈米科技概念的教學中，教師需了解如何運用教學表徵來呈現自己的學科知識中，讓學生能了解奈米科技的發展與運用。

二、教學表徵知識

教師的教學除了須具備豐富的科學知識外，最重要的是如何將這些知識轉化成學生可以理解的知識(謝秀月、郭重吉，2002)。奈米科技是未來的科技趨勢，奈米的尺度是 10^{-9} 公尺，這個大小是無法用肉眼看見的程度，教師需要運用不同的表徵方式來幫助學生學習奈米科技。

教學表徵對教學來說，是教師與學生在學科知識間的橋梁(謝秀月、郭重吉，2002)，教師在形成教學表徵時需要以學科內容知識為基礎，且表徵方式在不同學科中不一定相同，所以教學表徵具有學科專一性(Shulman, 1986)。此外，Wilson、Shulman 與 Richert(1987)曾指出教學表徵具有可轉換的性質，相同的教學內容會因為學生程度、教學環境或時間關係，透過圖表、解說、問答或討論等教學表徵形式間相互轉換交替使用，以刺激學生發展個人的知識表徵。

教學表徵的選用是一種教學策略與方法，合適的教學表徵形式能使學科內容易於被學生瞭解，且能夠引起其興趣，啟發學生對科學內容做概念性的瞭解(Grossman, 1989; Leinhardt & Smith, 1985)。Shulman(1986)曾對教學表徵做說明，認為教師在教學過程中，為了使學生理解課程內容，利用自己的學科背景將知識轉型後，傳達或呈現讓學生能理解的表徵。這個形式涵蓋了教學中的隱喻、類比、圖形、範例、實驗示範、活動、和解說等，教師的表徵方式極為廣泛，會因應教學的需求，而有不同的表徵方式，以促進學生理解。McDiarmid、Ball 與 Anderson(1989)曾指出，教師將學科內容知識加以示範、解釋、舉例等方式來呈現，著重於如何表徵，能使學生更為了解教學內容。適當的教學表徵會讓學生在學習上更為明確，能釐清概念上的理解，而適合的教學表徵取決於教師的

學科知識、教學知識、學習者知識以及情境知識等，每一位教師會依照不同的教學主題或教學內容發展出適合的教學表徵(高惠瑾，2006)。

教師的教學表徵不會是一成不變，也不會只有單一方式，教師會依據教學需求而有不同的表徵方式出現，在一次次的教學過程中，找出最適合學生的方式。Wischow、Bryan 與 Bonder(2013)指出教師在教學中會嘗試不同的方法來讓學生了解奈米的大小，先以講解的方式來讓學生想像，再展示不同的實物，直到學生了解為止，例如：在教學奈米磁的時候，學生無法了解流體狀的鐵磁液體，教師會先拿出不同形狀的磁鐵或鐵製品(例如：鐵粉、鐵片和釘子等)，讓學生看見不同形態的物品，並且動手探索這些物品間的相互關係，來讓學生更能理解鐵磁液體就是鐵磁顆粒奈米化後的狀態。

在邱湘儀(2013)的研究，教師利用各種的教學媒體來表徵奈米科技的定義，其多元化的表徵方式，能使學生對於學習表現和態度有明顯的差異。學生因為生活經驗、學習方式以及認知發展階段等的不同，而會有不同的特質，教師面對不同特質的學生，應準備多樣化的教學表徵，讓每一位學生都能有效的發展學習空間(藍治平、簡秀玲、張永達，2002)。教師教學時，表徵方式的多元化可以提高學生的學習動機，增加學生學習成效。教師是教學中的指引角色，學生的學習成效容易受到教師的表徵方式影響(Stump, 2001)，因此在單一概念中，教師需要發展出不同的教學表徵，並適時變換，使同學能夠明瞭教學內容。教師本身的學科知識如果能全都轉化成合適的教學表徵，且與一般日常生活做結合，常常會引起學生的學習興趣。能被學生理解的表徵方式才能算是有效的表徵方式，學生的學習意願、學習成效會受教師的教學

表徵方式影響，同樣的教師在奈米科技概念教學中，運用哪些教學表徵來呈現奈米科技的概念，以及在教學過程中教師教學表徵方式的轉變等，皆會影響學生的學習表現。

參、研究方法

一、研究設計

本研究採個案研究法，透過訪談、課室觀察與文件分析等方式，探討兩位國中自然科教師實施彩蝶效應教學前後，其教學表徵知識的內容與轉變。在實施奈米科技概念的教學前，先進行半結構訪談，了解個案教師對於彩蝶效應概念的教學表徵知識。然後，於教師實施彩蝶效應教學時進行課室觀察，確認教師教學表徵的使用情形。在教學後再次進行教師訪談，探討教師教學表徵知識的轉變。

二、研究對象與情境

採便利取樣，研究對象為兩位國中自然科教(小智老師與小宜老師)，他們參與本研究前，未曾參加過奈米科技教學的相關研習。兩位個案教師皆擔任導師一職，以其導師班級為教學對象，利用部分彈性課程和自然與生活科技課程，配合學校進度將奈米科技概念融入自然課中。

小智老師任教於嘉義市某綜合高中附設國中部，自然科教學經驗為 8 年。小智老師在修習教育學程期間，曾接觸過與奈米科技相關的課程。小智老師平時上課以講述式的為主，受限於班上學生的秩序較難管控，大部分的實驗都是由教師演示，但在過程中會引導學生思考，例如：「為什麼要進行這個步驟，而不是用其他方式？」上課時，小智老師很重視學生的專心程度，常常會提出問題，讓學生在紙條上作答，並到學生座位附近巡視其學習狀況。關於座位安排，小智老師也

是將學習成績不同的學生穿插坐在一起，讓程度好的學生引導程度較差的學生。

小宜老師任教於雲林縣某國中，有 8 年的自然科教學經驗，在大學時期曾修過與奈米科技有關的課程。小宜老師平時上課風格比較活潑，認為學生不能只是安靜的在座位上聽課，為促進學生主動思考和討論，小宜老師常常會提出不同的問題讓學生思考和討論，若遇到比較困難的問題，會給予提示來引導學生討論。為了讓學生互相討論，小宜老師安排學生分組座位時，是將學習成績較佳和較差的學生穿插在每一組中，方便學生進行討論。

三、教學活動

彩蝶效應的教學內容主要由小宜老師設計，小智老師閱讀後，再依照其想法進行修改。以下分別為小智老師(圖 1)和小宜老師(圖 2)的教學流程。

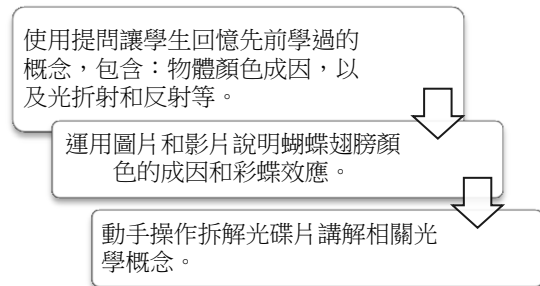


圖 1：小智老師的彩蝶效應教學流程。

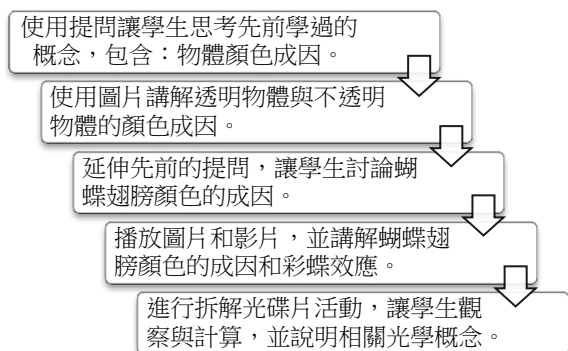


圖 2：小宜老師的彩蝶效應教學流程。

四、資料收集與分析

資料收集的方式有訪談、文件收集和課室觀察，資料處理的代碼分別為 I、O、C，各項資料的內容與分析方式分述如下：

- (一)訪談：採用半結構式訪談，每一位個案教師共訪談兩次，分別於彩蝶效應教學前、後進行。教學前，訪談主要探討教師預計使用哪些教學表徵來表達彩蝶效應的概念。除了正式訪談外，進行課室觀察期間，遇到學生反應與教師預期不同、教師在教學前與教學時使用的教學表徵方式不同等情況，利用課後時間進行非正式訪談，了解教師的想法與改變的原因。訪談內容轉謄為逐字稿後，標示重點形成摘要，再依表徵類型進行分類。
- (二)文件收集：文件資料為教師設計的教案，內容由小宜老師負責教學活動和教學投影片的編製，小智老師再以小宜老師設計的內容為基礎，依據其學科教學知識進行修改，形成適合小智老師自己的教案和教學投影片。研究者詳細閱讀這些文件，用以輔助了解教師預計於教學中使用的教學表徵。
- (三)課室觀察：為了瞭解教師實際上課的教學表徵與訪談時所預計的狀況是否一致，依據個案教師在訪談中所提到的教學表徵類型，擬列一份檢核表格，於課室觀察時使用，記錄教師所使用的教學表徵與預期是否相符。

肆、研究發現

小智老師和小宜老師在進行彩蝶效應教學時所運用的教學表徵不同，從教學前與教學後的兩個時期，分述兩位教師的教學表徵使用情形。

一、小智老師

(一) 教學前

在教學前，小智老師預計使用的教學表

徵包含：問答、媒體和動手做等。各項教學表徵的說明如下：

1. 問答

小智老師班上的學生，在國一自然課中曾接觸過光學單元，小智老師擔心學生可能會遺忘一些與光學相關的基礎內容，他認為用問答的方式來喚醒學生的記憶是最快的，透過學生的回答，教師再補充說明，學生可以很快產生連結。所以，小智老師表示教彩蝶效應時，會利用問答的方式讓學生討論與回答，他預計提出的問題是：物體的顏色是如何決定的呢？幫助學生回想顏色的成因，並與舊經驗做連結。

小智老師：我們學校比較特別，國一的時候有上過光學的東西，不過現在都已經是國二下，我猜他們都已經忘的差不多了。上課前稍微問一下，順便看看他們記得多少，如果狀況太差，我會再補充一下，通常補充完後，大家都會比較有印象了。(I0105-小智)

2. 媒體

小智老師覺得學生對於概念的講解容易有注意力不集中的問題，若搭配具有聲光效果的媒體，應該可以讓學生對於彩蝶效應概念的學習更有成效。所以，小智老師預計在講解彩蝶效應的蝴蝶翅膀成色原因時，搭配不同放大尺度的蝴蝶翅膀圖片和彩蝶效應影片，讓學生可以看到蝴蝶翅膀的光子晶體結構。小智老師選用的圖片是在穿透式顯微鏡底下所拍攝的蝴蝶翅膀樣貌，從比例尺單位為 50 微米一直到 10 微米的放大圖，學生可以清楚看到蝴蝶翅膀上鱗片的排列方式和鱗片間的距離，在不同的放大比例下，鱗片上的結構會越來越明顯可見。且在放大比例為 10 微米的圖片中，學生可以看到鱗片的表面

會有很多樹枝狀的光子晶體。其次，小智老師使用的影片是以動畫的方式呈現蝴蝶翅膀上為何會有不同的顏色產生，說明蝴蝶翅膀上有奈米尺度的光子晶體，當陽光透過這些光子晶體後，會有特定波長的光線會被折射，形成不同的顏色。

研究者：小智老師準備利用哪些東西來表達彩蝶效應中蝴蝶翅膀成色的原因呢？

小智老師：基本上就是用一些影片跟圖片的部分，因為我發現其實要教概念性的東西，圖片還是要夠豐富，然後圖片的細緻度還是要高一點，因為太模糊對他們來看，看不出一個所以然，所以圖片的細緻度，再加上影片，因為影片等於是一個過程，他們就會看到一些過程性的東西，因為有時候是在影片上比較會有聲音，除了視覺再加上聽覺，那他們就聽進去，所以這樣子的學習會比較快。(I0105-小智)

3. 動手做

在介紹繞射概念時，小智老師讓學生拆解光碟片，並使用雷射光筆的照射，使學生可以看到雙狹縫干涉的現象。小智老師會安排這個活動是因為學校有其他學生的科展，是用拆解光碟片的方式來探討光在雙狹縫中所產生的干涉現象，他認為透過這個活動可以讓學生對於干涉概念感到興趣，認識彩蝶效應的成因，但小智老師也表示操作活動內容的難易程度會依照教學時班上學生的反應做調整。

在教學完蝴蝶翅膀的成色原因後，小智老師想讓學生看到光的干涉現象，因此規劃了一個動手做的活動，活動是先拆解光碟片，然後利用雷射筆照射拆解後的光碟片，會產生

與陽光照射在蝶翅鱗片中的光子晶體相似的情況，而這個現象是可以直接在教室的牆壁上就可以觀察到了，而計算雙狹縫寬度的部分，可能需要到時候依照班上的上課狀況決定是否進行，畢竟計算的部分對於班上的同學可能有點困擾。(C-小智)

在此小智老師提到光碟片的照射活動、彩蝶效應等，與雙狹縫干涉現象有關，顯示其奈米科技知識的不足，導致規劃教學表徵方式時，無法選擇合適的教學活動協助學生建構科學概念。事實上，彩蝶效應屬於光柵的繞射現象，利用雷射光照射光碟片產生的繞射條紋，可計算光柵的柵線間距，並非小智老師提到的雙狹縫干涉。在演示彩蝶效應的現象時，使用白光照射光碟片，可以讓學生觀察到白光經過光柵分光的現象，達到模擬的效果。

(二) 教學後

在實施彩蝶效應教學後，小智老師對於原本預計使用的教學表徵有所調整。其中，問答和媒體這兩種表徵方式皆有使用，但除了媒體的表徵方式與預計是相同的，他在問答的表徵方式中，有增加其他概念的教學，而動手做的表徵則改以示範的方式呈現，另外也增加解說和類比等表徵方式，以下為小智老師教學後的教學表徵說明：

1. 解說

實施彩蝶效應教學時，小智老師增加了兩個概念的解說，分別是：太陽光是由不同顏色的光所組成，以及介紹不同色光的疊加。小智老師原本認為這兩個基本的光學概念，在去年的自然課中已經教過，可以視為學生的先備知識，但實際上學生已經忘記當時的教學內容。當小智老師上課時發現此問題，

便增加相關概念的解說來幫助學生複習，使其能進一步理解彩蝶效應的內容，並且在解說彩蝶效應時減少專業術語的使用，使概念簡單易懂。

小智老師：在上彩蝶效應時，我發現學生對於光學中專有名詞，例如：反射或折射，大部分的學生都是表示有聽過，但是講不出內容，只有少部分的同學還記得。

研究者：與當初預計的不一樣嗎？
小智老師：其實有點落差，本來以為可能還有些學生會記得基本概念的部分，但是後來發現，大部分的同學真的都忘光了，而這個部分就是理化考試範圍，我有多花點時間來幫學生複習基本概念，例如：太陽光的組成、顏色疊加、折射、反射等，比較基本的概念都有再稍微講一下，順便複習，畢竟這也是會考的重點之一。

研究者：補充基本概念後，還有沒有與預計不同的地方呢？

小智老師：在講解彩蝶概念時，我加了很多解釋的部分，因為班上大都屬於學習低成就的學生，太多的專業術語他們其實是聽不懂的，其實很多東西你換個方式表達，或是多幾個例子，他們就能聽懂。
(IO111-小智)

2. 問答

小智老師除了利用提問讓學生思考顏色的成因外，並將問題延伸到彩蝶效應概念，透過提問：「剛剛討論顏色的成因，蝴蝶翅膀上顏色是怎麼來的呢？」以及在呈現色光疊加圖片時，使用問答的方式讓學生互相討論，例如：「大家覺得當太陽光照射到紅色的物體時，你們會看到什麼顏色的物體？」，讓學生

從顏色的成因中，延伸到蝴蝶翅膀顏色的成因。小智老師喜歡學生在上課時能自己思考，因此會適時的提出問題讓學生討論，並且讓他們為自己的答案做解釋，在這個過程中，學生間就會有相互辯解的聲音，讓上課氣氛較為有趣，也會比較專注於上課內容。

小智老師：我們來看一下投影片，在投影片中，當太陽光透過紅色的不透明體後，你們認為你會看到什麼樣的顏色產生？知道的舉手。

(班上學生開始與座位附近的同學討論問題)

學生1：我知道，黑色。

學生2：紅色啦，東西是紅色的。

學生3：光是打在紅色不透明體，所以是黑色。

小智老師：好，手先放下。答案是紅色，因為光打在不透明的物體時，不透明物體所呈現的顏色以物體表面反射出的色光決定，所以紅色的物體會反射出紅色的光，所以我們所看到的東西才會是紅色的。……大家知道顏色的成因後，蝴蝶翅膀上的顏色是怎麼來的呢？

(班上學生開始與座位附近的同學討論問題)

學生4：鱗粉。

學生5：是鱗片。

小智老師：還有其他原因嗎？

學生6：蝴蝶的翅膀會反射陽光。

學生7：是鱗粉啦，以前有教過啊，而且有抓過蝴蝶就知道了。

小智老師：好，專心上課，在後面的單元中，就會告訴你們蝴蝶的翅膀顏色到底是怎麼來的。(O0108-小智)

3. 類比

小智老師在教不同色光疊加後會產生何種顏色的光時，發現學生容易混淆無法了解，原本認為學生在之前的理化課程中已經理解

色光疊加的概念。但實際教學時，學生的先備知識不如預期，因此小智老師使用目前學生喜愛的線上卡牌遊戲，將卡片合成和相關技能的提升來做類比，讓學生能夠了解色光疊加後的變化。

研究者：學生在課堂的前半部已經稍微複習了一下色光疊加的概念，對於蝶翅上的成色原因，應該比較能理解了吧。

小智老師：有好一點，但是對於光照射在透明體時，色光疊加的問題就會出現，我本來以為這個在國小的自然課或是國中理化課中，都會有類似的內容，這個部份應該不會有大問題才對，但是後來發現像哪些色光裡面的疊加會產生出一個新的顏色，學生會搞不清楚，為什麼兩個加起來會等於一個新的顏色，新的顏色是哪裡出來的，這個時候我就用學生比較能理解的物品或是生活相關的例子來舉例，這裡我就用學生間最熱門的卡牌遊戲來講，他們會知道說，在卡牌遊戲中的卡片裡面有所謂的強化跟進化兩種，強化只是他變得更強，也許就是亮度、暗度這個部分就是叫做強化，但是當我兩個不一樣的東西，我把它疊加進來的時候，它會產生第三種顏色的時候，這算是一種進化。而通常加了學生喜歡的遊戲進來後，他們對於原本比較不能理解的概念就會比較快熟悉。(I0111-小智)

在教學中，類比策略的使用需留意避免造成學生產生新的迷思概念(Stavridou & Solomonidou, 1998)。小智老師使用的卡牌遊戲類比在科學概念的說明上並不清楚，難以幫助學生澄清想法，但對於學習興趣的提升是有助益的，學生感到有趣、不困難後，較

願意主動理解色光疊加的概念。

4. 示範

在教學前，小智老師原本希望讓學生親自動手做拆解光碟片的活動，並搭配雷射光的照射讓學生看見雙狹縫的干涉現象。但在小智老師上課時發現，使用螺絲起子拆解光碟片的過程中，學生受傷的機率較高，拆解過程所需要花費的時間太長，實際操作實驗的時間卻不多，且不是所有的光碟片都適合拆解。其次，教室在拉上窗簾後仍相當明亮，使用雷射筆照射時，只能看到些微的亮點，學生要利用量測雙亮點的距離來計算狹縫間的寬度會有困難。此外，小智老師認為班上學生較為調皮，對於動手做的活動會比較興奮，他對班級秩序要求較為嚴格，擔心因此影響到隔壁班級的教學，因此小智老師將這個活動改為示範，讓學生觀察雙狹縫的干涉現象，但不動手操作。

小智老師：在拆光碟片的時候，我後來改成貼膠帶這個方式，我有示範給他們看，因為卡在時間因素，能夠運用的節數沒有很多，而且這個部分其實我當初自己在拆的時候就差一點戳到手。

研究者：學生在計算雙狹縫的部份有沒有遇到困難呢？

小智老師：計算雙狹縫的部份後來我沒有上，因為我們班的學生對於複雜的計算都有恐懼感，可能看到就怕了，原本大家在看我撕光碟片時興致還不錯，但看到有要計算的教學投影片時，班上氣氛就變了，大家就比較沒有興趣，加上學生發現在用雷射筆照射光碟片時，教室的光線良好，即使拉上窗簾對於雷射光的反射還是沒有很清楚，我也擔心學生太興奮影響其他班級上課，

所以後來以我用示範的方式來讓他們看到雙狹縫的現象為主。(I0111-小智)

教學後，小智老師改變了光碟片操作活動的進行方式，由學生動手操作更改為教師示範。但活動進行方式仍採用雷射光照射光碟片的活動模擬彩蝶效應，並指出其與雙狹縫干涉概念有關，顯示小智老師的學科內容知識不足，仍具有迷思概念，進而影響其教學表徵方式的選擇。

5. 媒體

小智老師教彩蝶效應時，在媒體表徵方式部份，與先前預計使用的時機、內容相同，所以此處不再重複敘述。

二、小宜老師

(一) 教學前

在規劃彩蝶效應的教學時，小宜老師預計使用問答、媒體和動手做等表徵方式，以下為各個表徵方式的說明：

1. 問答

小宜老師設計教案時，利用很多問答的方式和學生互動，從一開始的引起動機，即透過問答的方式協助學生回憶曾經學過的相關概念，並利用問答的方式引導學生思考物體顏色是如何決定，進而讓學生討論蝴蝶翅膀顏色的成因。

研究者：在開始上彩蝶效應的課程時，你會想要用什麼方法來結合學生以前所學呢？

小宜老師：通常我都是用問答的方式，在傳統教學中，學生很少能有思考的機會，大都是直接將答案告訴學生，所以在上課的時候，很常問問題，讓學生多一點思考的空間，

不要單純只是接收答案而已。所以學彩蝶效應時，我也會用問問題的方式，來讓學生回想一下以前學過的東西，在進入彩蝶概念中。(I0608-小宜)

所以，小宜老師在教顏色成因時，會利用：你認為物體的顏色是如何決定的？你看到的物體為什麼會有顏色？等問題讓學生思考，並要求學生發表想法。在教彩蝶效應概念時，小宜老師會提出：為什麼可以看到蝴蝶的翅膀上有許多的顏色？等問題讓學生討論與回答。

2. 媒體

教透明物體與不透明物體的顏色成因和彩蝶效應時，小宜老師預計使用圖片和動畫的方式幫助學生理解概念內容。小宜老師準備的圖片是有關物體顏色的形成，例如：在圖3中，小宜老師使用一個紅色的圖案表示不透明物體，用三個由左至右的箭頭表示陽光照射在紅色物體上，在紅色物體右邊用眼睛和一個紅色的箭頭代表我們所看到的物體顏色，透過圖片的表達，讓學生了解不同色光經物體反射或吸收後，觀察者看到的顏色差異。其次，小宜老師使用一系列蝴蝶翅膀的顯微圖片說明蝴蝶翅膀顏色的成因，圖片中蝴蝶翅膀在穿透式顯微鏡底下，透過不同的放大倍率，可以清楚的看到蝴蝶翅膀上的奈米等級構造，而這些構造是讓蝴蝶翅膀顏色多變的原因之一。甚且，小宜老師認為彩蝶效應的現象屬於尺度很小的奈米現象，需搭配動畫進行教學，呈現蝴蝶翅膀的結構，說明光線通過後會產生不同的顏色，學生有看到實際的畫面，對於較為抽象的現象能產生理解。

小宜老師：在設計教案的時候，我是預計在物體顏色的形成和光子晶

體這邊使用圖片，直接用圖片去做解釋就好，我一邊用口說的方式，然後一邊顯示圖片出來，學生應該就可以瞭解。

研究者：彩蝶效應是奈米概念中的其中一個現象，您預計如何呈現這個概念呢？

小宜老師：這個確實是比較困難的地方，我目前是預計用圖片和影片(動畫)的方式，畢竟抽象的東西，如果可以看到影片或圖片，學生較容易能理解。(I0608-小宜)

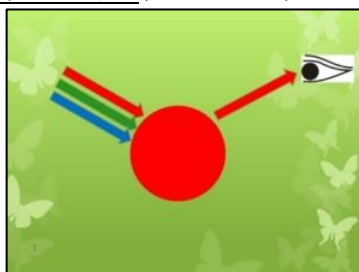


圖 3：顏色成因。

3. 動手做

小宜老師認為在教學過程中，倘學生有機會親自動手做，學習概念時印象會較為深刻，因此預計讓學生利用拆解光碟片的方式，搭配雷射光照射後產生的雙狹縫干涉現象，並計算中的兩條狹縫間的距離。

小宜老師：時間上如果允許的話，我都會準備與上課內容相關的活動來讓學生實際操作，我發現學生有動手做後，會對這件事特別的有印象，可能原理都忘記了，但是對於動手做這件事，就一定會記得。在彩蝶效應這邊，干涉或繞射的部分，對於國中生來說太困難，所以準備這個活動，來增加他們的印象。(I0608-小宜)

小宜老師和小智老師一樣，皆使用雷射光照射光碟片的現象來表徵彩蝶效應，而不

是使用日光燈或白熾燈泡。甚至小宜老師也和小智老師一樣，具有相同的迷思概念，使用雙狹縫干涉的概念來說明彩蝶效應。

(二) 教學後

小宜老師實際進行彩蝶效應教學時，使用的教學表徵方式與原先規劃相同，但內容略有修改，以下為小宜老師教學後各項教學表徵的說明：

1. 問答

依照小宜老師設計的教案，在教學開始時會使用提問的方式協助學生回想之前學過的相關概念，並透過問題引導的方式讓學生進行討論與回答問題。小宜老師認為學生之間的討論對於問題的思考有很大的幫助。

小宜老師：你看衣服是黃色，為什麼你會看到衣服是黃色的呢？

學生1：反射。

學生2：因為跟光的反射有關。

小宜老師：紅色衣服是反射什麼顏色的光？

學生：紅色。

小宜老師：綠色的衣服呢？

學生：綠色。

小宜老師：黃色呢？實際上有黃色的光嗎？是哪幾種顏色混合而和的呢？

學生：紅色和綠色的。(O0612-小宜)

在教學過程中，小宜老師認為問答的方式確實可以達到幫助學生思考的效果，想要再增加問答的時間，但考量教學進度只好作罷。教學後小宜老師表示，未來再次教彩蝶效應時，會增加學生討論與發表的時間，讓學生可以充分討論和表達想法。

小宜老師：我覺得討論時間的部份，我會讓他們多一點的討論時間，比如

說彩蝶效應的形成原因可能是什麼，會讓他們多一點討論的時間，多一點發表的空間，因為我覺得我這次這樣上，好像太急了，急著要趕快進行下一個活動，所以他們在發表的時間感覺上比較少一點，我覺得應該是要提供給大家一個討論的機會，可以意見交流一下，主要是讓學生比較有思考的空間。(I0613-小宜)

2. 媒體

在教顏色成因時，小宜老師注意到有部分學生上課容易分心，因此在圖片上增加文字說明，例如：紅色的物體只會反射紅色的光，讓學生除了看圖和聽老師說之外，也能看到圖片所要呈現的重點。其次，小宜老師認為彩蝶效應的動畫內容與實際情況有差異，難以清楚表達出光子晶體對於顏色變化的關係，所以，小宜老師改成自己拍攝的影片，影片是改變觀看蝴蝶翅膀的角度，可以明顯看出顏色的變化，協助學生清楚觀察到彩蝶效應的現象。

小宜老師：在設計教案的時候，本來是預計使用圖片，直接用圖片去做解釋就好，我一邊用口說的方式，然後一邊呈現圖片，學生應該就可以瞭解，但是後來在真正要開始上這個部分之前沒多久，我就覺得發現對某些學生來講，他的專心度有差，所以可能他在我在講的時候，他可能晃神，可能沒有注意到我在講什麼，所以我後來就決定說在圖片上面多加一些附註的文字上去。(I0613-小宜)

小宜老師覺得觀看影片最主要的目的是為了讓學生加深對彩蝶效應的印象，在原本的動畫中雖然有呈現蝴蝶在飛行時翅膀顏色的變化，但畢竟是電腦動畫，且所呈現出的蝴蝶翅膀擺動很

快，沒有仔細看不容易看不出來，所以小宜老師才會想要自己拍攝在科教館看到的展品，容易看到有實際變化，較能緩慢的呈現顏色變化。(O0612-小宜)

3. 動手做

小宜老師認為彩蝶效應所對應的光學概念對國中生而言有些難度，難以清楚理解概念內容，因此透過動手做的活動，可以使學生實際觀察，幫助其認識相關概念。小宜老師在課前嘗試光碟片的干涉實驗後，發現使用螺絲起子拆解光碟片對國中生來說是危險的，但小宜老師認為讓學生動手操作是必要的，因此在教學前小宜老師先自行完成拆光碟片的步驟，並準備多片備用，教學時學生只需使用雷射光照射光碟片和觀察現象，並計算雙狹縫間距。

小宜老師預計讓學生操作拆解光碟片的活動，在第一次試作時，她拿到容易拆解的光碟片，認為這樣的方式對於國中生應該可以安全的，但小宜老師後來再次拆解光碟片時發現，國中生使用美工刀和螺絲起子拆解光碟片時，仍有一定的危險性存在。因此小宜老師在教學前，先自己拆解光碟片，讓學生依然可以利用雷射光來照射光碟片，觀察光的干涉現象。小宜老師認為這部份要讓學生動手做的原因是在於，學生親自操作雷射光照射光碟片並計算後，學生的印象會比較強烈。(O0612-小宜)

小宜老師相信動手做的教學表徵方式有助於學生建立科學概念，然而，在拆解光碟片的活動中，仍可見小宜老師的迷思概念，她使用雷射光照射光碟片，請學生計算雙狹縫間距，並使用雙狹縫干涉的概念解釋彩蝶

效應。事實上，彩蝶效應與光柵的繞射現象有關，使用雷射筆照射光碟片(光柵)所觀察到的繞射條紋，可計算光柵的柵線間距，非雙狹縫間距。因著小宜老師這些相關學科內容知識的不足，在採用動手做表徵教學內容時，未能選擇合適的活動幫助學生學習。

伍、結論與建議

小智老師與小宜老師的教學理念、教學設計與對於學生的期望和要求皆不近相同，兩位老師所呈現出來的教學表徵方式也略有不同，以下為兩位教師的教學表徵討論：

一、問答

在教彩蝶效應時，兩位老師皆使用問答的表徵方式，但小智老師是使用問答協助學生回想先前課程所教的內容，然後從學生的回答中，了解學生對於已學過概念的熟悉度，並複習光學相關概念。而小宜老師主要是使用問答的表徵方式確認學生的先備知識，並促進學生思考，透過回答教師提問的問題，訓練學生思考、討論和表達想法。透過教師提問讓學生表達其已知的概念或經驗，是本研究中兩位老師使用問答的共同目的，不僅能幫助學生複習先前學過的相關概念，也可以藉此了解學生的先備知識與學習狀況，以調整教學表徵方式或是教學內容。蔡添財(2003)曾指出教師欲了解學生的學習狀況，除了平時考察與定期考察外，大都使用提問的方式，從學生的回答中能夠瞭解其先備知識，並發現學生的學習困難，給予合適的指導。

二、媒體

小智老師和小宜老師進行彩蝶效應教學時，皆使用媒體的表徵方式來協助學生理解，他們認為奈米尺度概念較為抽象，對於國中

生而言難以想像的部分，透過圖片或影片的方式來表徵奈米科技概念，對於學生的學習是有幫助的。雖然兩位老師都使用媒體表徵，但媒體選用的方式不同，小智老師大多是利用網路資源尋找適合的圖片或動畫，讓學生在學習抽象概念的同時，有具體的影像協助他們理解。而小宜老師除了使用網路可搜尋到的圖片和影片外，還會加入自己拍攝的影片，以及親自繪製的圖片等來協助學生理解抽象概念，她認為網路上的資源不一定充足或符合需求，自己製作的媒體可以更貼近其教學的目標與想法。在奈米科技的教學中，很多的實驗影像難以在教室中呈現出來，教師必須透過媒體表徵方式來補足教學現場無法實際演示的情況，運用實際的影像來彌補教學環境無法呈現的真實情境，或透過模擬的動畫來彌補抽象概念及肉眼無法看到的事物(Kumar & Scarola, 2006)，尤其是在彩蝶效應中奈米尺度的光子晶體，教師無法將實際的物體呈現在學生面前，讓他們清楚看見，但是透過媒體的表徵，則有助於學生認識奈米尺度的物體以及其所產生的現象。

三、動手做或示範

林武賢(2009)曾指出以實驗操作融入奈米科技教學可以引起學生的學習興趣，小智老師和小宜老師在設計教案時，也同樣規劃動手做的教學表徵，來提升學生的學習興趣，並希望透過動手操作的經驗和現象的觀察幫助學生認識彩蝶效應。但是實際教學時，他們則因著學生的表現，更改原先規劃的表徵方式。小智老師考量到時間、學生秩序和安全等問題，將動手做的活動改為示範，認為讓學生觀察到現象即可，較不注重操作過程。小宜老師在備課時，同樣發現讓學生拆解光碟片的危險性，但她相信學生透過動手操作，對於概念的印象與記憶會留存較長的時間，

所以她將危險的步驟刪除，事先幫學生將材料準備好，再讓學生操作實驗，並觀察現象與進行計算。其次，兩位個案教師對於彩蝶效應皆存有迷思概念，未能正確使用光柵的繞射現象來說明彩蝶效應，導致其選擇不合適的活動內容讓學生進行動手做或教學示範。教師的學科教學知識包含學科內容知識、教學表徵知識、一般教學知識等，教師須考量學科內容知識，運用合適的表徵方式進行教學，當教師的學科內容知識不足，甚至具有迷思概念的時候，將會影響其教學表徵方式與內容的選擇。

四、解說

在教彩蝶效應時，小智老師發現學生的先備知識不足，學過的舊概念已經遺忘，因此將學生應該具備的先備知識用解說的方式做複習。Wischow、Bryan 和 Bodner (2013) 曾指出教師教學時，通常會利用講解的方式讓學生了解新的概念或定義，但在本研究中，小智老師是使用解說的方式來幫助學生複習曾學過的相關概念，他認為學生未來升學考試時會再次面臨相同的問題，使用解說的表徵方式，直接將概念內容再講一遍，可以在短時間內幫助學生學習這些概念。在小宜老師的教學中，沒有使用解說作為其教學表徵方式，她主張使用問答的方式，在師生間的一問一答中幫助學生複習先前學過的概念。

五、類比

類比是小智老師在進行彩蝶效應教學時，臨時增加的教學表徵方式，他發現學生對於色光疊加的先備知識不如預期，因此利用學生喜愛的卡牌遊戲，類比色光疊加後的現象。李奇芳、林建隆和徐順益(2008)曾指出教師在教學時，類比可以提升學生的學習興趣，並幫助其了解抽象的科學概念。小智老師使

用的類比，雖然無法完整說明色光疊加的概念，但類比主題能針對學生興趣投其所好，所以學生接受度高，較願意去理解此概念。

本研究發現教師的教學表徵會隨著教學的進行產生變化，且教師會運用不同的表徵方式協助學生學習。媒體與動手做有助於學生理解抽象的奈米科技概念，教師在規劃與實施彩蝶效應教學時，可多利用這兩種表徵方式。甚且，在教學過程中，因著學生的學習表現與需求，教師需隨機應變，運用多種不同的表徵方式，增加教學的豐富度。此外，教師的學科內容知識與教學表徵知識有關，教師是否具備正確且足夠的學科內容知識，會影響其對於教學表徵內容和方式的選擇。本研究僅探討奈米科技中彩蝶效應的教學，教師進行不同教學主題時，其教學表徵知識可能不同。未來可以探討教師進行其他主題的奈米科技教學時，所呈現的教學表徵知識，並比較其間的差異，亦可同時探討教師的學科內容知識，了解教師是否具備充足的奈米科技知識去實施奈米科技教學。

致謝

本研究係由行政院國家科學委員會經費補助(NSC 103-2120-S-415 -002)。

參考文獻

1. 李奇芳、林建隆、徐順益(2008)。應用合作學習的類比學習環發展國中自然與生活科技教材-以速度與加速度為例。《物理教育學刊》，9(1)，79-94。
2. 邱湘儀(2013)。《教學媒體應用在國小奈米科技教學之學生學習表現及教師教學表徵之研究》。未出版碩士論文，國立新竹教育大學人資處課程與教學碩士班，新竹。
3. 林武賢(2009)。《國小五年級教師以實驗操作實施奈米科技教學之研究》。未出版之碩士論

- 文，東南科技大學機電整合研究所，新北。
4. 高惠瑾(2006)。探究一位效能教師教學概念生態的教學表徵與學生科學概念學習之分析研究。未出版之碩士論文，國立臺灣師範大學科學教育研究所，臺北。
 5. 潘文福(2004)。奈米科技融入九年一貫課程之領域主題規劃。生活科技教育，37(2)，20-25。
 6. 楊森陸(2009)。科學教師經由對學生學習困難的覺知以改進教學之行動研究。未出版之碩士論文，國立臺中教育大學科學應用與推廣學系，臺中。
 7. 蔡添財(2003)。國小高年級自然科教師學科教學知識之個案研究。未出版碩士論文，國立臺中師範學院自然科學教育學系，臺中。
 8. 謝秀月、郭重吉(2002)。國小自然教師科學教學實踐知識與科學教學表徵之個案研究。科學教育，12，147-163。
 9. 藍治平、簡秀玲、張永達(2002)。教學表徵多樣化的理論與應用-以國中生物『遺傳』的概念為例。科學教育月刊，248，41-53。
 10. Ball, D. L. (1988). *Knowledge and reasoning in mathematical pedagogy: Examining what prospective teachers bring with them to teacher education*. Unpublished doctoral dissertation, Michigan State University, U.S.A.
 11. Grossman, P. L. (1989). A study in contrast: Sources of pedagogical content knowledge for secondary English. *Journal of Teacher Education*, 40(5), 24-31.
 12. Grossman, P. L., Wilson, S. M., & Shulman, L. S. (1989). Teacher of substance: Subject matter knowledge for teaching. In M. C. Reynolds (Ed.), *Knowledge base for the beginning teacher* (pp. 23-36). New-York: Pergamon Press.
 13. Geddis, A. N. (1993). Transforming subject-matter knowledge: The role of pedagogical content knowledge in learning to reflect on teaching. *International Journal of Science Education*, 15(6), 673-683.
 14. Kumar, D. D., & Scarola, K. (2006). Nanotechnology and closed captioned videos: Improving opportunities for teaching science to ESL students. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 7(2), 1-7.
 15. Leinhardt, G., & Smith, D. A. (1985). Expertise in mathematics instruction: Subject matter knowledge. *Journal of Educational Psychology*, 77(3), 247-271.
 16. McDiarmid, G. W., Ball, D. L., & Anderson, C. W. (1989). *Why staying one chapter ahead dosen't really work: Subject-specific pedagogy*. In M. C. Reynolds (Ed.), *Knowledge Base for Beginning Teachers* (pp. 193-205). New York : Pergamon Press.
 17. McEwan, H., & Bull, B. (1991). The pedagogic nature of subject matter knowledge. *American Education Research Journal*, 28(2), 316-334.
 18. Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
 19. Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: foundation of the new reform. *Harvard Education Review*, 57, 1-22.
 20. Stavridou, H., & Solomonidou, C. (1998). Conceptual reorganization and the construction of the chemical reaction concept during secondary education. *International Journal of Science Education*, 20(2), 205-221.
 21. Stump, S. L. (2001). Developing preservice teachers' pedagogical content knowledge of slope. *The Journal of Mathematical Behavior*, 20(2), 207-227.
 22. Wilson, S. M., Shulman, L. S., & Richert, A. E. (1987). *"150 different ways" of knowing: Representations of knowledge in teaching*. London: Cassell Educational Limited.
 23. Wischow, E. D., Bryan, L., & Bodner, G. M. (2013). Secondary science teachers' development of pedagogical content knowledge as result of integrating nanoscience content in their curriculum. *Cosmos*, 8(2), 187-209.

Nanotechnology Teaching : An Example of a Photonic Crystal Unit

Cheng-Yi Chuang, Jun-Yi Chen *

Graduate Institute of Mathematics and Science Education, National Chiayi University
e-mail:jychen@mail.ncyu.edu.tw

Abstract

The purpose of this study is to investigate two junior high school science teachers' instructional representation knowledge in photonic crystal unit teaching. The data were gathered from semi-structured interviews, classroom observations and lesson plans. These qualitative data were transcribed, coded, classified and analyzed. It was found that both of the teachers adopted various instructional representations, including asking questions, media and hands-on activities when teaching photonic crystals. However, their intention to adopt instructional representations was different.

Key words: nanotechnology, photonic crystal, instructional representation knowledge

