
九年級個案學生粒子概念之探討 ——以擴散作用為例

謝秉桓 林啟華 曾茂仁 鐘建坪 邱美虹*

國立臺灣師範大學 科學教育研究所

摘 要

本研究探討六名九年級個案學生對液體擴散現象中的粒子概念。研究採繪圖與晤談的方式收集學生的粒子概念特質，以及學生有無擁有粒子觀，進而了解學生有無粒子動態行為之概念。研究結果顯示，四名個案學生擁有擴散作用的次微觀概念，三名個案學生能夠使用次微觀概念解釋擴散作用的表現。即使已到了國中三年級，所有個案學生都未具備完全正確的擴散作用知識。因此作者認為教師在教學時除應強調粒子的特性外，且應透過有效的教學與動態評量協助學生建立粒子行為的內在概念表徵(如心智模式)，隨時檢測學生的概念狀態。而教材的編排上，亦應著重科學現象中巨、微觀之間的關係並盡早導入粒子概念的課程。

關鍵字：粒子觀、心智模型、概念學習、擴散

壹、前言

「粒子概念」在國中階段學習是相當重要的一個科學概念，許多物理及化學相關的概念，例如：原子、分子、空氣、原子量、分子量、電解質、壓力、溶液、氣體特性、莫耳等概念，都可藉由粒子概念，從微觀的觀點去瞭解其意義（Chiu, 2007；Liang, Chou, &Chiu, 2011）。然而從巨觀現象轉入微觀世界的描述涉及概念表徵間的轉換，對學生而言是困難的，因此學生往往藉由巨觀現象的想法描述粒子的行為（Harrison & Treagust, 1996）。目前國內

審定教科書版本都將粒子概念設定在國中二年級，因此已有許多對於國二學生在溶液中擴散現象粒子觀點的研究（尤振宇、劉嘉茹，2003；邱顯博，2002；張容君、張惠博、鄭子善，2007），但是很少文獻針對國三學生課程即將結束之際探討擴散現象的粒子觀。本研究即探討學生在經過正規科學學習後，學生能否正確的使用「粒子」概念對擴散現象進行思考，學生若能夠在國中階段學習正確的粒子概念，對其未來科學科目的學習上將有正面的幫助。

而本研究的研究目的為：以液體的擴散作用探討國三個案學生是否建立正確的粒子概念。所包括的研究問題有以下三項：

*為本文通訊作者

1. 國三個案學生對於擴散作用的粒子概念為何？
2. 國三個案學生如何以粒子概念解釋擴散現象的歷程？
3. 國三個案學生學習擴散概念知識的情形？

貳、文獻探討

為了探討國三學生接受過正規國中自然科教育後，是否建立正確的粒子概念。Johnstone (1991, 2000)將科學概念分為三種不同層級的概念表徵：巨觀、次微觀和符號表徵。並由此三種不同層級的概念表徵了解粒子觀概念對於學生學習科學的重要性。本研究藉由讓學生「繪圖」得到學生對於擴散作用的心智模型，並參考Vosniadou 和 Brewer(1992)之兒童地球形狀心智模型研究，將心智模型分為三個階段：初始模型(initial model)、綜合模型(synthetic model)和科學模型(scientific model)。本研究使用類似的研究法對於學生擴散作用之粒子觀進行分析。以下分別對這兩個理論進行探討：

一、粒子觀的概念

Johnstone (1991)的研究指出：化學家對於化學概念分為三個概念層級—巨觀、次微觀和符號（見圖 1）。巨觀的概念層級表示可觀察的化學現象，包含學生們每天生活中的經驗，像顏色變化以及可觀察的化學反應中反應物和生成物的增減。而為了表現這些巨觀的現象，化學家普遍使用

符號表徵，使用了包括圖案、代數、物理和計算的形式表示化學方程式、圖表、反應機制、類比和模型套件。而次微觀的概念層級是基於物質的粒子理論以解釋巨觀現象，例如：電子、分子和原子的運動。根據 Kozma 和 Russell (1997)的研究指出，生手通常慣用一種形式的表徵，且很少進行不同表徵間的轉換，而專家便能輕易地進行三種表徵間的轉換。

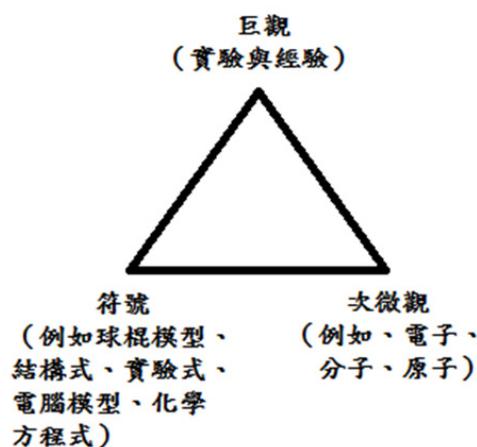


圖 1、化學中的三種概念層級（引自 Johnstone, 1991）

Johnstone (2006)更以化學的三種概念層級為基礎提出「多層次學習(multi-level learning)」(見圖 2)，圖 2 為一個半定量(semi-quantitative)的圖，在三角形的任一頂點代表此化學概念 100%以此為媒介（例如：當完全以巨觀方式呈現化學現象時，三角形中便以「巨觀」此一頂點表示），例如教師們上課時利用化學方程式介紹一些生活上的經驗時，便會將其歸類為三角形右側的邊上，三角形中另外兩邊亦然。在許多課程中都會同時使用三

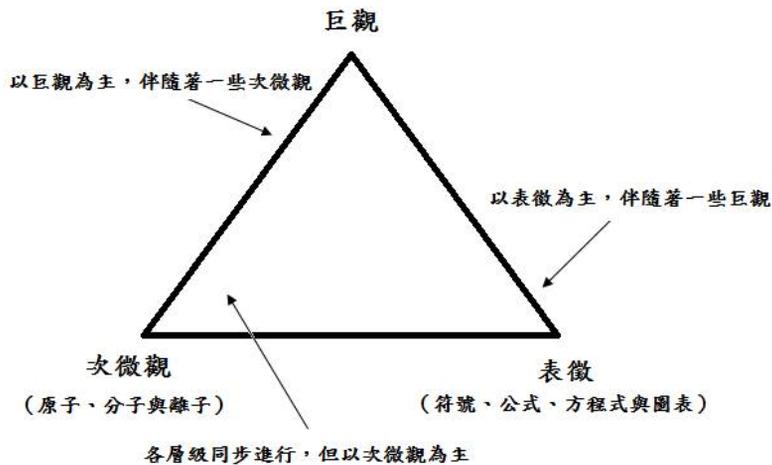


圖 2、化學中的三種概念層級 (引自 Johnstone, 2006)

種表徵進行教學, 在這樣的狀況下學習的層級是位於三角形中的一個點, 並依照所使用的比例決定其位置, 學生們學習化學概念往往面臨著必須同時接收三種概念表徵的狀況。

因此, 作者認為要學好科學概念必須妥善的發展三種概念層級, 在三種概念層級間建立適當的連結, 並協助學生進行概念表徵之間的轉換。而本研究探討之粒子觀指的是巨觀現象底下的次微觀與符號間的連結, 許多研究中皆闡述了巨觀、次微觀和符號概念間連結對於學習科學概念的重要性 (Chiu, 2012; Johnstone, 1993, 2000; Mahaffy, 2006), 此三種概念層級間相互連結的重要性強烈的影響了近代科學教育的研究, 無論是多重表徵、電腦輔助教學、類比教學或是心智模型的相關研究都必須提及此三種表徵間的相互連結 Haglund & Jeppsson, 2012; McClary & Talanquer, 2011; Plass et al, 2012; Vermaat, Terlouw &

Dijkstra, 2003)。然而, 檢視現今台灣科學教材, 發現較著重於巨觀以及符號的概念層級, 較少著重於次微觀概念層級, 故作者認為學生普遍對於粒子概念的疑惑與另有概念與此有關。

另外, Treagust, et al. (2010, 2011) 和對於學生基本粒子概念的研究中, 以評估其學生是否理解「液體和氣體的擴散」作為評估學生理解基本粒子概念的其中一部份, 也代表著對中學生而言, 擴散作用中的粒子概念是困難的, 且藉由擴散做用能夠評估學生對於粒子概念的理解狀況。因此研究者決定選用擴散作用做為檢測國三個案學生粒子觀的主要概念。

二、心智模型的演進

由 Vosniadou 和 Brewer(1992)認為學習科學概念時, 學生的心智模型發展會因為各類的教學與學習機制而更加豐富, 並將學生的心智模式分為三個階段: 初始模

型、綜合模型和科學模型。

(一)**初始模型**：基於日常生活經驗累積而來，不受當代社會文化所接受的觀念或是所謂的科學模型所影響，最初形成的對某現象的解釋。例如：圓盤地球、方形地球，需要有一個物體或力量支撐起地球。

(二)**綜合模型**：學生試圖去調和當代社會文化所接受的科學觀點，與本身的素樸架構理論，即調和初始模型與科學模型的中繼站，學生形成某種綜合而成的觀點去解釋現象。例如：擁有初始模型、未受科學模型影響的學生，在接受教育後，可能形成不同地球模型，如雙地球模型、中空地球模型或扁平地球模型，也可能同時存在兩個以上的模型，用來解釋不同的情境。

(三)**科學模型**：學生持有與當代科學相同的科學觀點，能以科學的角度進行對現象的解析。例如：學生持有圓形地球的觀點，而人是生活在地球表面，看起來會像是方形的、一望無際，是因為地球的面積過大而使人產生的誤以為的觀點。此三種模型剛好詮釋了個體從自己的觀點去詮釋現象，到受了教育卻無法完全呈現科學觀點的過渡期，以及最後形成了如同當代科學一樣的科學觀點。

此方法的最大好處，在於讓研究者能夠利用測驗成果進行系統化的分析了解學生的心智模型發展狀態，教師也能藉由了解學生心智模型的發展階段改進教學策略。

參、研究方法

本研究探討國三個案學生接受正規國中自然科教育後，是否建立正確的粒子概念，作者請學生對於所觀察到的現象以繪圖的方式(Drawing)描述其意涵，並透過晤談方式了解其詮釋的意義。研究主要的資料來源是繪圖與口語晤談資料。以下針對研究對象、研究工具、研究流程與資料分析進行說明。

一、研究對象

研究對象為新北市某國中國三學生，共六人，五男一女。研究者在國民中學學生基本學力測驗後進行施測，六位學生在接受測驗時皆學完國民中學自然科的所有內容，其中擴散作用的概念在國二理化課本的第二章便已正式學習過了。訪談時間每人約為二十五分鐘，其過程中進行錄音與繪圖紀錄，施測者鼓勵受試者多方表述自己的意見和看法，並不會對學生進行教學活動，且不會誘導學生思考方向。

二、研究工具與編碼

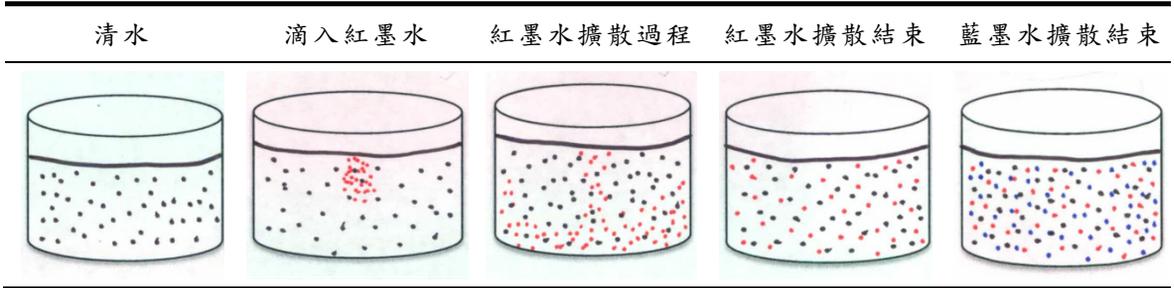
(一)工具開發與流程

在正式晤談前，研究者先對研究規劃出「晤談流程與問題」與「繪圖單」(見表 1、表 2)，晤談流程與問題和繪圖單均經由兩位科學教育博士進行專家效度審查，且經過多次修改而成，預試訪談了 2 位學生，修改訪談試題中不明確之處後定稿。

表 1、晤談流程與問題

情境一	現在假設你有一個超級放大鏡，具有很高的放大倍率，而接下來的每一個問題，都請你在使用這支放大鏡的前提之下回答。若你使用此放大鏡觀察這一杯水，會是怎麼樣子的情形呢？請你畫下來。
水的觀察	學生對粒子持有的觀點－粒子觀：Q1 圖中你畫了 XX，這些 XX 分別代表什麼呢？ Q2 為什麼會這樣畫呢？ 連續觀：Q1 圖中你畫了 XX，這些 XX 分別代表什麼呢？ Q2 為什麼會這樣畫呢？
情境二	我手中有一瓶紅墨水，現在使用滴管吸取少量的紅墨水加入含有水的小瓶中，請把一開始加入的情形、過程以及結束分別畫至下方的欄位中。 Q1 圖中你畫了 XX，這些 XX 分別代表什麼呢？(紅墨水、水分子)
加入紅墨水後	Q2 為什麼會這樣畫呢？ Q3 水在哪裡呢？
擴散情形之觀察	Q4 你畫的圖中「開始、過程和結束」三個圖都不大一樣，你可以分別告訴我這些圖代表甚麼，那為什麼會有這些差異？(若有提到粒子運動)：往哪裡動呢？到結束還會繼續動嗎？ Q5 那你覺得是什麼原因造成這樣的現象？你可以從頭到尾說一次嗎？
情境三	如果現在要將藍色的墨水加入剛剛的這一瓶燒杯(為平衡的紅墨水燒杯)，請你預測一下，結果是如何？並且依照加入的情形、過程以及結束分別畫至下方的欄位中。
預測	Q1 圖中你畫了 XX，這些 XX 分別代表什麼呢？(紅墨水、水分子、藍墨水)
加入藍墨水後之擴散情形	Q2 為什麼會這樣畫呢？ Q3 水在哪裡呢？紅墨水在哪裡呢？ Q4 你認為結果會是怎麼樣呢？ Q5 那你覺得是什麼原因造成這樣的現象？你可以從頭到尾說一次嗎？
情境四	現在使用滴管吸取少量的藍墨水加入剛剛的這一瓶燒杯(為平衡的紅墨水燒杯)，請把一開始加入的情形、過程以及結束分別畫至下方的欄位中。 Q1 圖中你畫了 XX，這些 XX 分別代表什麼呢？(紅墨水、水分子、藍墨水)
實際加入藍墨水後	Q2 為什麼會這樣畫呢？ Q3 水在哪裡呢？紅墨水在哪裡呢？
擴散情形之觀察	Q4 你畫的圖中「開始、過程和結束」三個圖都不大一樣，請問，為什麼會有這些差異？(若有提到粒子運動)：往哪裡動呢？到結束還會繼續動嗎？ Q5 和你之前預測的結果一樣嗎？若不一樣，請你比較一下不相同的地方在哪裡？
延伸問題	請試著想像一下，如果現在我們使用熱水(約 80 度)進行本實驗，將紅墨水滴入燒杯後，會和先前所做的實驗有何差異？為什麼？

表 2、標準科學模型基準



研究流程中，晤談人員首先須確認學生屬於具有粒子觀、連續觀、或是綜合兩者之概念。若具有粒子觀，將特別注重受試者之粒子分布、粒子運動以及動態平衡概念。

晤談流程與問題如表 1，一開始晤談人員先藉由超級放大鏡的問題，使受試者畫出水的分子、分布與運動情形，初步探詢受試者是否擁有粒子觀，或屬於連續觀。而後再請受試者觀察在水中滴入紅墨水以及紅墨水於水中進行擴散作用之情形，並以「開始滴入」、「擴散過程」以及「結束擴散作用」之情形依序畫出，接著詢問受試者其所畫之圖像表徵與意涵，並請受試者依圖解釋紅墨水擴散之過程，確認受試者之圖畫意涵。結束觀察在水中滴入紅墨水之步驟後，研究者會請受試者預測加入藍墨水之情形與擴散過程，依照先前觀察水中滴入紅墨水之流程，分別請受試者將其預測滴入藍墨水之擴散過程依開始滴入、擴散過程、以及結束擴散作用之情形依序畫出，接著口語詢

問受試者其所畫之圖像概念表徵與意涵，並請受試者依圖解釋紅墨水擴散之過程，確認受試者之圖畫意涵。在預測完滴入藍墨水之擴散過程後，會請受試者實際觀察在紅墨水中滴入藍墨水以及藍墨水於紅墨水中進行擴散作用之情形，並依照先前之流程，請受試者先將圖畫出後進行口語晤談，確認受試者所欲表達之圖畫意涵。在觀察結束後，研究者會詢問個案學生預測與實際觀察有無差異，並請他們試著解釋其中之異同。而後研究者會進行延伸問題的詢問，也就是詢問若以熱水進行相同的實驗，是否會與此次實驗所觀察到的結果相同？若有不同，請受試者解釋不同之處。

研究工具主要依照 Johnstone (1991, 2006) 三種概念層級進行設計，其中學生依其觀察到的巨觀擴散現象以符號的方式繪圖，並希望能夠畫出對於擴散作用的次微觀概念。以多層次學習的觀點解釋，便是希望學生除了能夠以圖像表徵巨觀現象

外,更能夠有次微觀的表徵,在概念層級的三角形中,不是在三角型的點上或邊上,而是在三角形內部,各層級概念皆有的結果。

(二)編碼

本研究將學生之粒子概念以 Vosniadou 和 Brewer(1992)提出之初始模型、綜合模型和科學模型進行分類,並定義:

1. 初始模型:學生將水視為連續的物質,無粒子概念存在,以非正確科學概念解釋擴散運動。
2. 綜合模型:學生具有粒子觀但不能完全正確的解釋擴散作用。
3. 科學模型:學生具有完整之粒子觀,且能完全正確的以粒子觀解釋擴散作用。

資料收集完成後,由三位研究所碩士班評分人員將收集之資料,以前述之定義進行分類與討論。根據學生之口語晤談資料以及繪圖單分別針對「清水」、「滴入紅墨水」、「紅墨水擴散過程」、「紅墨水完整擴散」以及「藍墨水完整擴散」五個情境所繪出的圖形逐一討論,並將其編碼分類,評分者一致性達 93.33% (28/30)。編碼過程中,評分人員將五個情境所繪出的圖形依照以下的規則編碼分類:

1. 完全以「連續觀」的方式進行繪圖,無論是以線條或是顏色填滿的方式都歸類為「初始模型」。

2. 以部分連續觀部分粒子觀的方式進行繪圖,換句話說,在圖案中可同時看到連續觀和粒子觀之特點(線條和點),或是學生在口語晤談中對於其擁有粒子觀特性之圖形給予錯誤的解釋,均歸類為「綜合模型」。

3. 完全以「粒子觀」的方式進行繪圖,並能夠對其圖形給予正確的解釋,歸類為「科學模型」。

表 2 為研究者所繪之標準科學模型基準,此一科學模型是基於擴散作用正確的粒子觀繪製。其中不論是水分子、紅墨水分子和藍墨水分子都是極微小的粒子,在經過擴散作用後都會均勻的散佈在容器中,且在「藍墨水擴散結束」也就是將藍墨水滴入含有紅墨水的水中均勻混和後,巨觀現象會看到水變成紫色,但以粒子觀的解釋是紅墨水分子和藍墨水分子均勻混和隨機分布所造成的

肆、研究結果

在此研究當中,受試者分別為接受過正規國中自然科教育的國中學生,五位男生一位女生,共六人。而其中對於實驗的過程可以利用粒子觀來解釋的共有三人(S1、S2和S5),以連續觀來解釋實驗過程的一共三人(S3、S4和S6),六位受試者對於實驗過程的解釋繪圖與口語晤談資料都有相當高的一致性。以下將依據受試者之口語晤談資料以不同的主題進行討論:

一、解釋實驗的過程中有無提及擴散作用或是其他的科學概念？

從口語晤談資料顯示，有四位學生可以利用擴散作用，分別對滴入紅墨水的實驗進行解釋，並且會利用「擴散作用」此一名詞輔助解釋，如受試者 S5 的口語晤談資料：

研究者：紅色的點代表甚麼？

S5：紅墨水，代表他一開始進入，一開始進入的時候，但是我們沒辦法一顆一顆平均的取出來，所以一開始一定是一大部分，然後進入水之後，因為擴散作用，它（紅墨水）會開始分散，然後這是分散的過程，然後它會漸漸平均，最後平均的分散在水中。

研究者：是說紅墨水在水裡面會慢慢分散，然後最後會平均分散在水裡面，是這個意思嗎？（確認）所以這是從一開始滴進去，擴散到最後平均的擴散在杯子裡面。

S5：對。

而另外兩位同學則對於實驗的過程，是以重力產生對流的方式進行解釋，如受試者 S4，認為因為重力的關係，紅墨水會向下移動，形成對流的現象：

研究者：那你覺得是什麼原因造成這樣的現象？你可以從頭到尾說一次嗎？

S4：是因為重力的關係啊！紅墨水會向下移動然後就產生對流的現象。

研究者：那是什麼原因讓紅墨水向上移動？

S4：因為，大部分的紅墨水向下移動，下面的位置不多，會造成底層紅墨水被推擠至旁邊，是因為被推到太旁邊沒位置了，只好向上移動。

研究者：那向上移動的紅墨水還會向下移動嗎？

S4：會啊！因為重力還是會使得向上移動的紅墨水向下移動。

由此兩種晤談資料發現，六位受測學生中有四位會以擴散作用解釋，另外兩位學生則以對流的方式進行解釋，而這些受試者都能夠完整地敘述整個現象產生的經過。

二、在達到完整擴散時，是否有粒子運動？

在此要檢測學生是否具有「動態平衡」的概念，從資料中發現，有高達五位的學生認為墨水滴入清水中均勻混和後，溶液中的粒子仍會繼續運動，如受試者 S1 的口語晤談資料：

研究者：粒子會往哪裡動？

S1：粒子會往四面八方運動。

研究者：到結束還會繼續動嗎？為什麼？

S1：會，它（粒子）不會停止，它會自己在那邊動來動去。

雖然，學生不能精確地指出是因為動態平衡造成燒杯中的粒子還是會繼續運動的現象。但是他們都能夠說出會燒杯中的粒子會不停運動的概念。且僅有一位學生認為，整個擴散作用完成後，紅色墨水蔓

延到整杯水後，擴散作用即靜止，整杯墨水便無繼續移動。在經過教科書分析後發現，現今使用的科學教科書中，都會提及「粒子會不停運動」的概念，因此可發現六位個案學生中有五位能夠正確回答此問題。

三、改變環境因素之後的結果

此實驗的目的是為了瞭解學生是否對於擴散作用是否真正的理解，而不是只能回答教科書當中所提到擴散作用時所使用的例子，若能將其遷移至其他情況亦能用正確的擴散作用來解釋情形，代表學生已真正理解擴散作用，並可以多方面的應用此科學概念。

(一)在原先的紅色墨水溶液中再加入藍色墨水會是如何？

由於在加入藍墨水之前，會先請受試者預測他們認為加入藍墨水後的情形，並請受試者將預測的情形以繪圖的形式記錄下來，預測完成之後，再正式操作實驗，請受試者觀察並且繪圖紀錄。研究結果中，有五位受試者認為實際操作結果和自己預測內容相似，僅有一位受試者認為，和結果不相同。

整理過口語晤談資料後，發現大致上分成兩種概念的呈現，「連續觀的混合概念」以及「產生新物質的概念」，並沒有任何一位受試者符合科學模型。以下為上述之兩種概念：

1. 連續觀的混合概念

有三位受試者（S3、S4 和 S6）認為，加入的藍墨水最終會跟紅墨水一樣擴散至整個杯子，而藍紅墨水會黏在一起，然後變成紫色，在解釋整體實驗過程的原因時，受試者僅提及因為紅色加藍色會變成紫色，以巨觀以及色彩的觀念進行解釋。以下為受試者 S6 的晤談內容：

研究者：你可以幫我把整個加入藍墨水過程的預測解釋一次嗎？

S6：這個是剛滴下去的時候，然後他會慢慢，因為藍色加紅色會變紫色，所以就，兩個黏在一起，沒有紫色（筆），就...只畫藍色，然後藍色會慢慢沉澱，把下面也變成紫色，然後這杯水整個杯就變成紫色了。

研究者：所以這杯水最後會變成紫色的，原因是因為...？

S6：紅色的最後會變成整杯都是，藍色的最後也會變成整杯都是，所以兩個看起來就變成紫色的

研究者：那在這裏面，水在哪邊？

S6：水也是整個都是，只是變成紫色了，所以看不到。

研究者：那你覺得結果會變成...

S6：紫色的。

2. 產生新物質的概念

另外三位受試者認為（S1、S2 和 S5）加入藍墨水之後會有新物質的出現，產生化學的變化。他們在晤談過程當中並沒有提到擴散作用的名

詞，也沒有使用擴散作用的概念來解釋現象的發生。甚至有受試者(S5)對於過程是以進行擬物化的解釋方式，將藍墨水比喻成外來種，而紅墨水則為原生種，而平衡的過程是一種棲息地搶奪的過程。以下為受試者 S5 的訪談內容：

研究者：你可以幫我把整個加入藍墨水過程的預測解釋一次嗎？

S5：一開始已經平衡完的紅墨水還有水分子安分的，就是規律的運動，然後外來的藍墨水入侵之後，就像是外來物種搶原生物的棲息環境，藍墨水與紅墨水競爭，然後就開始兩個互相包覆，然後後來就是因為，我假設兩個濃度是一樣的，然後就開始互相就是融合，然後後來就變成這樣了。

研究者：所以這個代表（學生畫的紫墨水）？

S5：紅墨水跟藍墨水融合再一起產生一個新的物質。

(二)將清水提高溫度，再加入紅墨水時的情形會是如何？

約有五位的學生（S1、S3、S4、S5 和 S6）認為將清水提高溫度會使得混合更加快速，其中更有學生提出影響反應速率的因素包含了溫度的選項，因此在將清水提高溫度的過程當中，擴散速率會變快，比在尚未

提高溫度的清水中加入紅墨水的擴散速率為快。以下為 S5 的晤談內容：

研究者：假設現在是使用熱水來進行這個實驗，大約八十度的熱水來進行實驗，然後從最一開始，滴入紅墨水的實驗開始，你覺得兩個實驗會有甚麼不同嗎？

S5：它移動的速率會比較快，就是擴散作用的行程會變快，我在課本上學到的是反應速率的話，溫度、壓力、還有濃度，還有表面積，會影響到反應速率，溫度越高反應速率越快，所以擴散作用的速率應該會增快，然後移動應該也會比較劇烈一點。

研究者：所以從滴入變成完整擴散之間，可能只需要在兩個圖（原本是三個）就可以畫完了？

S5：對，差不多，就是反應比較快。

研究者：那熱水的實驗會影響紅墨水在水裡面動的速度嗎？

S5：會，如果是熱水的話會。

研究者：會的話是比較快還是比較慢？

S5：比較快。

在五位的受試者當中，僅有一位（S1）認為溫度的升高，是加速「對流」的情形，且其在晤談過程中並未提到擴散作用的速率。除此之外，亦有一位受試者認為，溫度較高的情況下並不會和室溫下進行實驗有任何的不同。

另外，在繪圖資料的部分，作者利用受試者的繪圖結果，分別針對「清水」、「滴入紅墨水」、「紅墨水擴散過程」、「紅墨水擴散結束」以及「藍墨水擴散結束」五個部分，分類為「初始模型」、「綜合模型」和「科學模型」（見表三）。分類依據為：存有連續觀者即為初始模型；粒子觀者但是並未建立正確的科學概念即為綜合模型；若為正確的科學概念即為科學模型。

在表 3 中可發現，個案學生對「清水」的繪圖，有兩位學生屬於連續觀的初始模型，其中 S3 學生直接在所畫的圖上標出「清水」二字，屬於連續觀，而 S6 學生則畫出類似粒子觀的圖，然而在晤談中卻解釋圖中類似粒子的黑點是「灰塵」，而水中除了灰塵之外沒有其他成分。而另外四位個案學生對於清水的繪圖皆能夠對水分子隨機分布進行描述，因此作者將其歸類為科學模型。

學生們對在清水中滴入紅墨水的觀察後繪圖，研究者將其分為三部分分析，分別以「滴入紅墨水」、「紅墨水擴散過程」和「紅墨水完整擴散」代表開始、過程和結束，而在「滴入紅墨水」的部分可發現有三位學生屬於連續觀的初始模型，較先前對清水的繪圖多了一位，而此三位學生皆是使用線條的方式呈現紅墨水，而未使用點的繪圖方式，因此將其歸類為初始模型。而其中 S2 學生在繪圖時畫

出類似粒子觀的圖形，然而在晤談時卻解釋其圖中紅點為「染色的紅色水分子」故將其歸類為綜合模型。剩餘的兩位學生皆能夠以粒子觀的方式正確解釋，故將其歸類為科學模型，較前一步驟中少了兩位。

在「紅墨水擴散過程」中，同樣三名個案學生繼續使用連續觀的心智模型解釋紅墨水的擴散現象，因此歸類為初始模型。另外 S2 學生仍畫出類似粒子觀的圖形卻解釋為染色的紅色水分子，因此歸類為綜合模型。而 S1 學生畫出了屬於粒子觀的水分子，卻以線條的方式畫出紅墨水分子，且在晤談的過程中不斷使用「對流」的概念解釋擴散作用，因此也將他歸類為綜合模型。此一步驟中，只有一位個案學生正確的解釋擴散作用被歸類為科學模型，較前一步驟中少了兩位。

在「紅墨水完整擴散」中，同樣的三名學生繼續使用連續觀的心智模型解釋紅墨水的擴散現象而被歸類為初始模型。而 S1 和 S2 學生仍使用和先前步驟一致的說法解釋擴散作用，因此歸類為綜合模型。S5 學生則在繪圖的步驟中畫出和近似於科學模型的圖案，然而 S5 學生在晤談中卻提出「紅墨水分子和水分子在擴散作用結束後會原處振動而不會移動」，因此被歸類為綜合模型。在此一步驟中，沒有任何個案學生屬於科學模型。

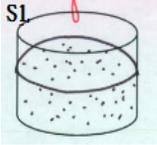
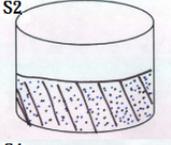
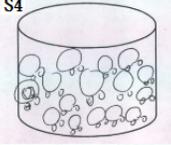
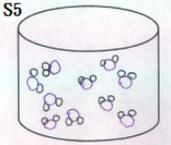
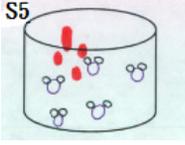
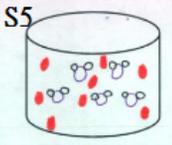
在完成紅墨水滴入清水中的擴散作用繪圖和晤談後，研究者進一步在同一杯已滴入紅墨水後的水中滴入藍墨水，並進行相同的研究步驟，而在此作者將學生們觀察藍墨水滴入燒杯後擴散完成的繪圖與晤談進行討論。在結果中發現，先前步驟中屬於初始模型的三名學生依然保持一致使用連續觀解釋。另外三名個案學生 S1、S2 和 S5 對於擴散作用結束後的結果都和先前步驟保持一致，以

同樣的迷思概念（S1 以對流解釋；S2 解釋圖中紅點為染色的水分子；S5 學生認為擴散結束後粒子將不再隨機運動）解釋，然而令人驚訝的是三名個案學生都出現相同的迷思概念，在他們的繪圖及晤談中都出現「紫色墨水分子」，而非「藍色墨水分子和紅色墨水分子均勻混和在燒杯中」。在此步驟中，有三位學生屬於初始模型，三位學生屬於混合模型，和前一步驟中的人數相同。

表 3、繪圖分析結果

	清水	滴入紅墨水	紅墨水擴散過程	紅墨水完整擴散	藍墨水完整擴散
初始模型	S3	S3	S3	S3	S3
		S4	S4	S4	S4
	S6	S6	S6	S6	S6
綜合模型		S2	S1	S1	S1
			S2	S2	S2
			S2	S5	S5

表 3、繪圖分析結果(續上頁)

	清水	滴入紅墨水	紅墨水擴散過程	紅墨水完整擴散	藍墨水完整擴散	
科學 模 型	S1					
	S2					
	S4					
	S5					

經過分析表 3 學生繪圖和晤談的結果後，可得到個案學生心智模型分布（表 4）。在表 4 中，I 為初始模型、Sy 為綜合模型而 Sc 為科學模型。表中可發現，一開始對「清水」之繪圖中大部分的學生皆有正確的科學概念，即被分類至科學模型（Sc）。只有兩位學生（S3 和 S6）的清水繪圖呈現連續觀的初始模型（I）。在「滴入紅墨水」此一階段，有一位學生（S4）從科學模型退回初始模型，另一位學生（S2）從科學模型退回綜合模型（Sy），其他同學則維持在科學模型。在「紅墨水擴散過程」的繪圖當中，一位同學（S1）從科學模型退回綜合模型，而原為初始模型的學生則沒有變動。到「紅墨水完整擴散」時的繪圖，有一位學生（S5）從科學

模型退回綜合模型。以「滴入紅墨水」的操作來看，大部分的同學幾乎都保有一致性的結果，剛開始滴入紅墨水時，為初始模型的三位學生，在擴散過程以及完整擴散的兩個階段，皆是停留在初始模型，沒有任何心智模型的改變。在此過程中，作者發現，學生的心智模型具有極高的一致性，當學生進行對單一現象的觀察與解釋時，其能擁有較佳的能力與表現，例：當學生進行清水的觀察以及滴入紅墨水時，分別有四位以及二位同學擁有科學模型。但當問題深入涉及擴散之概念時，從學生的解釋中不難發現其缺失，像是「擴散作用完成紅墨水分子便不再移動」，因此在最後兩個步驟中沒有學生被分配至科學模型。

表 4、個案學生心智模型分布

	清水	滴入紅墨水	紅墨水擴散過程	紅墨水擴散結束	藍墨水擴散結束
S1	Sc	Sc	Sy	Sy	Sy
S2	Sc	Sy	Sy	Sy	Sy
S3	I	I	I	I	I
S4	Sc	I	I	I	I
S5	Sc	Sc	Sc	Sy	Sy
S6	I	I	I	I	I

註：I 表示初始模型；Sy 表示綜合模型；Sc 表示科學模型。

伍、研究討論

作者根據研究後所得之資料分析結果，針對研究問題進行以下幾點討論：

一、個案學生表現

(一) 部分個案學生擁有擴散作用的次微觀概念

研究結果發現，六位個案學生中，有四位擁有擴散的次微觀概念，另外兩位則無。在研究中請受試者針對清水進行繪圖時，有兩位（S3 和 S6）學生在接受過正規國中自然科教育後，仍然表現出屬於巨觀表徵的連續觀初始模型。另外，這兩位學生分別強調在清水中除了棉絮或微生物之外，就算是在極微小的尺度下進行觀察也沒有任何東西的存在。而另外有四位（S1、S2、S4 和 S5）受試者，能夠使用粒子觀點來描述清水的狀態，已經達到科學模型。而接下來針對將紅墨水滴入清水之中的實驗，原本屬於初始模型的受試者依舊停留在初始模型的階段並沒有轉變為更進階的綜合模型或是科學模

型，而原屬於科學模型的受試者，則傾向轉變為綜合模型。隨著環境越加複雜，變因越來越多，在研究的最後一部份，也就是將紅墨水溶液中加入藍墨水的部分，縱使先前幾個步驟都屬於科學模型的學生，也都無法完全答對，全部轉變為綜合模型。

從上述現象可知，若個案學生未使用次微觀概念的表徵解釋擴散作用，在往後的擴散作用概念都會以巨觀的表徵呈現。若個案學生已經建立粒子觀，在之後的步驟中都會嘗試以次微觀概念的表徵進行解釋，就算次微觀的概念有可能部分錯誤。

(二) 部分個案學生都能以粒子概念解釋擴散現象的歷程

研究結果發現，六位個案學生中，有三位使用粒子概念解釋擴散現象的歷程，另外三位則使用連續觀解釋擴散現象。從晤談以及繪圖資料中可知，僅有三位受試者（S1、S2 和 S5）是以粒子概念來解釋擴散現象的歷程。另外三位受試者（S3、S4 和

S6), 停留在初始模型的階段, 尚未建立起粒子概念, 在其中有一位(S4)認為, 產生實驗現象的原因並非擴散現象, 而是重力的因素所造成, 並且在燒杯當中會產生對流, 也是因為有對流的現象, 使得整杯容易達到均勻分散的結果。但是, 在晤談的最後, 當學生被問到是否有學過類似概念, 他才提到在之前的教學過程中, 有學過擴散作用的原理。另一位(S3)停留在初始階段的受試者清楚的知道, 這樣的過程是因為擴散現象造成的, 並且可以將教科書內容熟記, 但是, 整體的概念表徵, 還是停留在初始階段。

(三) 個案學生仍未習得完全正確的擴散概念知識

研究結果發現, 個案學生對於擴散概念的知識都沒辦法正確進行解釋。以「紅墨水滴入清水中」的實驗來看, 在六位受試者之中, 有四位受試者(S2、S3、S4 和 S5)可以利用正確的擴散概念來解釋現象。但是, 進行到「以藍墨水滴入紅墨水溶液」此一步驟時, 變因增加, 卻發現大部分的受試者認為已經產生了新物質, 並未能以正確的擴散概念來進行解釋, 且原本屬於科學模型的受試者, 皆無法正確解釋為何藍墨水滴入紅墨水溶液中會變成紫色墨水, 因此轉變為綜合模型。由此可知, 當變因增加時, 受試者不易使用正確的科學

概念來進行解釋, 便會嘗試著以日常生活經驗對現象進行解釋。

◎ 小結

綜合以上個案學生之表現, 以 Johnstone(1991, 2006)的化學概念層級與多層次學習的半定量示意圖, 可發現個案學生 S3 和 S6 完全未使用粒子概念而單就巨觀現象進行繪圖, 在 Johnstone(2006)的化學概念層級三角形中, 其概念層級只有巨觀和表徵, 因此在三角型中位於此兩點間的連線(圖 3a)。而其餘四位個案學生 S1、S2、S4、和 S5 在不同階段分別有綜合模型和科學模型的心智模型出現, 而依照本研究之設計, 綜合模型和科學模型都屬於擁有粒子概念的心智模型, 換句話說綜合模型和科學模型都有次微觀的表徵出現, 差別在於使用次微觀概念的量和正確度。因此若以化學概念層級的三角形表示(見圖 3b 和 3c), 綜合模型和科學模型都會在三角形內部而非三角形的邊或頂點上, 差別只是在於科學模型通常使用較多次微觀概念, 會較靠近三角形中次微觀的頂點。

而從個案學生的研究結果中也可發現, 使用粒子觀解釋擴散作用的學生, 在遇到更困難的擴散作用概念時仍會使用粒子觀進行解釋, 並不會放棄而只用巨觀現象解釋, 再次證明了次微觀概念在化學概念層級中的重要性。

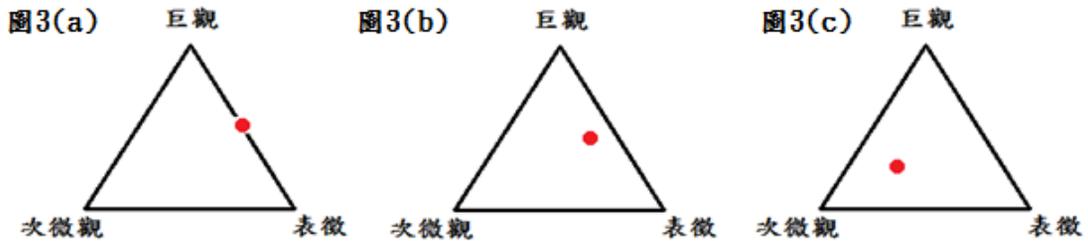


圖 3、(a)表示 S3 和 S6 的概念三角形；
(b)表示 S2 和 S4 的概念三角形；
(c)表示 S1 和 S5 的概念三角形

二、教科書影響因素

研究也發現六位個案學生中有兩位在研究過程中完全沒有使用過任何粒子觀進行解釋。作者試圖由台灣現階段教科書內容探討這樣的結果。目前台灣的國中課程粒子概念第一次在課本中出現是國二的「第六章元素與化合物」。在此之前的教學都偏向巨觀的觀察物質的現象，並未深入做解釋。以康軒版「第二章物質的世界」中介紹物質的三態為例，其內文為：

一般將物質狀態分成固態、液態和氣態。固態物體不受外力時，體積固定，形狀不會隨著容器而改變。液態的體積固定，但形狀會隨著容器改變；氣態物體會充滿容器，體積及形狀都會隨著容器而改變。

然而課本中的圖片卻在還沒正式教導粒子概念前不斷出現擁有粒子觀的圖形，以同一單元為例（見圖 4），可看到課本的圖片中以完整的粒子模型展示給學生，但在文字的定義中卻仍用巨觀現象解釋的方式進行教學。

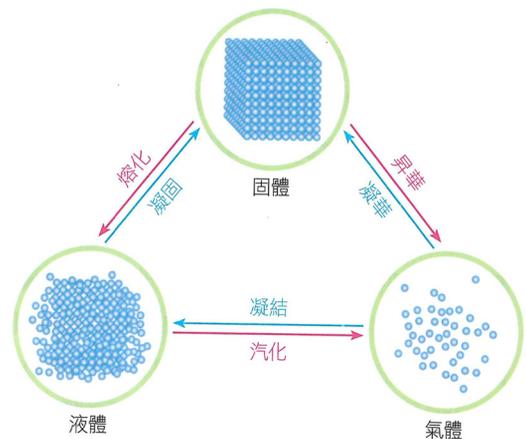


圖 4、物質的三項變化
(康軒版國二上第二章)

另外，國二理化課本的第二章同時也有講到本研究所使用的「擴散現象」的科學概念，有別於之前以巨觀的現象做為解釋的方法，反倒是以尚未正式介紹的粒子概念解釋「擴散現象」內文為：當物質在水中溶解成微小粒子，這些粒子會不停的運動，漸漸由高濃度的區域往低濃度的區域運動，最後均勻分布於整杯水中，這種因粒子運動而均勻分布的現象，稱為擴散現象。當粒子均勻分布於整杯水中時，粒子仍然繼續不斷的運動。

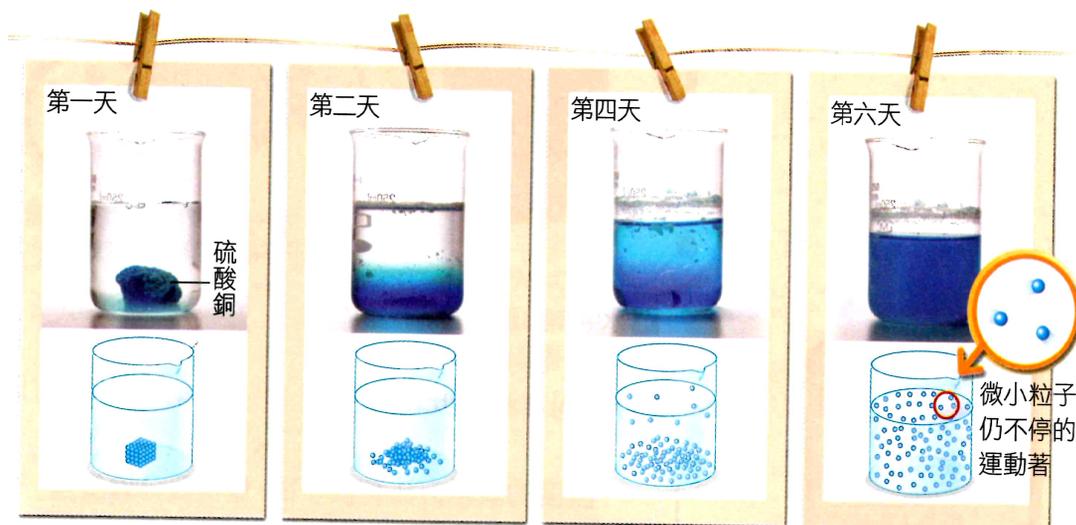


圖 5、擴散現象 (康軒版國二上第二章)

到了「第六章元素與化合物」作者將其作為真正介紹粒子概念的分界點，是因為其中的章節「原子的世界」有提到：

希臘哲學家留基伯 (Leucippus, 西元前 480~前 420 年) 和他的學生德莫克利特 (Democritus, 西元前 460~前 371 年) 認為物質是由微小粒子所組成。

在此一章節之中，內文加上圖示大多是以粒子概念在敘述化學反應的進行，並且將「道耳吞原子說」加以解釋和介紹：

英國的科學家道耳吞 (John Dalton, 西元 1766~1844) 根據一些實驗的結果提出原子說：一切物質都是由稱為原子的微小粒子所組成...

然而作者仍然懷疑在學生正式學習過粒子概念後，能否將其套用在先前學過的概念 (例如：擴散作用)，而根據作者研

究的結果發現並非全部的學生都能夠一如教師們預期的使用粒子概念。

陸、結論與建議

一、結論

回應研究目的和問題，研究結果得到以下的結論：

(一) 部分的個案學生擁有擴散作用的次微觀概念

縱使現今國中理化科教材已十分強調次微觀概念的教學，也編列教科書中特定的章節進行教學，本研究的六位個案學生中仍有兩位在研究過程中完全以連續觀的形式解釋擴散作用。這樣的結果再次的證明了學生不容易接受次微觀概念 (Harrison 和 Treagust, 1996) 的結果，但六位個案學生中有四位學生使用了次微觀概念，代表無論教材的編撰或是教師

們的努力都有不錯的成果，若是能夠讓更低年級的學生更早接受次微觀概念的教學，應該會有更好的結果。

(二)部分的個案學生能夠使用次微觀概念解釋擴散作用

次微觀概念固然不容易學習，但對於習得正確科學概念是十分重要的，而動態過程（例如：蒸發、凝結、擴散、昇華……）中的次微觀概念更是學生剛建立起粒子觀後所需要面對的。而本研究的六位個案學生中，有三位能夠使用粒子觀點解釋擴散作用中的次微觀概念。代表「物質的粒子性質」並不指容易產生迷思概念，更是難以學習的概念。

(三)所有的個案學生都沒有習得完全正確的擴散作用知識

在本次研究中發現，在施測過程中不斷的添加變因，學生便會出現錯誤的答案，其中最明顯的例子就是「藍墨水滴入摻了紅墨水的水杯中會產生紫墨水分子」，會這樣回答的個案學生都擁有以粒子觀解釋擴散現象的能力，但他們仍然會產生如此令研究者和教師們難以意料的迷思概念，代表教師們應花更多心力關心學生的學習狀況，觀察學生們學習各種概念時會產生何種形式的迷思概念。

二、建議

由本研究的結果可發現，雖然不是所

有學生都擁有完備的次微觀概念並能夠正確的解釋擴散作用的粒子運動，六位個案學生中有五位擁有部分的粒子觀，代表粒子概念對國中階段的學生而言是能夠理解的，由此引出了一些問題「何時該學習粒子概念？」，「現今台灣的課程在國二教粒子概念正確嗎？」，其實類似的問題學者們也早有諸多的討論，並可將其大致分為兩類，其中一部分認為應該到高中，甚至晚到高二高三再教。而另一部分則認為在學生小學的時候就能進行粒子概念的教學。支持粒子概念應該到高二甚至高三教的學者抱持著如此的論點主要有兩個理由，其一是認為粒子概念過於複雜且難以理解，而另一個理由則是認為粒子概念必須由大量的巨觀現象經驗使學生產生學習的動機，例如：化學反應（Fensham, 1994）。但作者並不認同此說法，以台灣目前的科學教育現況，小學時期已經有許多對於物理現象或化學反應的課程，因此學生也累積了很多的巨觀現象經驗，而這些經驗已足以讓學生在進入中學後學習粒子概念，雖然可能和本研究之個案學生一樣，擁有粒子概念而並非完全正確，但已能使學生產生對於科學課程合適的綜合模型，而擁有粒子概念對於之後高二高三課程的學習是極有幫助的。相對來說，若沒有國小時期對科學現象的累積和在國中接受初步的粒子概念學習以產生綜合模型，並不斷的以現象解釋現象進行教育，到高二高三再給予粒子概念。作者質疑學生能否接受並將先前所學過對科學現象的解釋進行概念

改變甚至內化？

另外，一些認為「粒子概念必須較晚教」的支持者其實是受到皮亞傑學派的影響 (Wiser & Smith 2008)，他們認為粒子概念超出國中生的認知發展，因為粒子概念需要假設演繹的思維並且統合巨觀、次微觀和符號的概念表徵。但作者認為他們低估了學生抽象思考的能力，甚至在 Harrison 和 Treagust (2000) 的研究中發現學生會以樂高積木進行粒子概念的類比，而作者也知道現今幼兒都有玩樂高或積木的經驗，因此作者甚至推論學生應該能在小學階段，得到足夠的科學現象的經驗後，能夠開始學習基礎的粒子概念。所以反觀目前現行教科書及課程綱要對於粒子概念的教學將其放在國二進行正式教學，並在國中的課本圖示中多用粒子觀的圖形進行教學，是正確且十分有遠見的，作者甚至認為能夠將部分粒子概念的內容放到國小高年級進行教學，讓他們先有部分的粒子基礎概念，說不定能減輕學生們到國中後理化科的學習負擔，也能夠促進學生學習科學的興趣。

根據本研究結果和上述論點，作者提出三個建議：

(一) 教師在教導學生擴散作用時，應當強調粒子觀點

在對教科書內容的討論中，作者發現在尚未正式教導粒子概念前，便已經有粒子觀念的圖形表示其他概念了，因此教師不應略過不說，而以現象解釋現象，而擴散作用便是其中

一個單元，教師可在教學時強調粒子觀點，甚至在學生正式學習粒子概念後，能夠將先前單元有使用粒子觀點解釋的概念再幫學生複習，不但能夠使學生溫故知新，更能夠加強粒子觀的建立。

(二) 教師應能夠隨時檢測了解學生的概念

作者在研究後對教師進行訪談，訪談後發現教師對於學生的表現感到訝異，並認為他在教學中已強調過相關概念。因此作者認為，教師對於學生概念學習的狀況並沒有完全掌握，所以教師應在教學過程中加入形成性評量（檢測學生粒子概念時也可使用繪圖法）或是能夠給予學生即時的評鑑與回饋，讓教師更能掌握學生的概念發展。

(三) 將正式教導粒子概念的時間向前移動

在作者對於粒子教學現況的教科書內容探討中，發現正式教導粒子概念的單元為國二上學期的第六章，而作者對國三學生粒子概念的研究結果發現學生對於粒子概念的學習成效不佳，且對於擴散作用此類在正式教導粒子概念前的單元無法用粒子概念解釋，因此作者認為應該將正式教導粒子概念的時間向前移動，應移動到大部分需使用粒子概念理解的單元之前，如此一來學生學過了粒子概念，對於新單元更能夠透徹的理解。

參考文獻

- 尤振宇、劉嘉茹 (2003)。科學創造力與概念改變相關性之初探—以粒子觀點與擴散作用為例。中華民國第十九屆科學教育學術研討會。
- 邱顯博 (2002)。國二、國三學生的擴散作用概念與概念改變之研究。國立台灣師範大學科學教育研究所碩士論文。未出版。
- 張容君、張惠博、鄭子善 (2007)。國二學生對「純物質參考文獻」和「混合物」之微觀粒子概念研究。科學教育研究與發展季刊，48，33-62。
- Chiu, M. H. (2007). A national survey of students' conceptions of chemistry in Taiwan. *International Journal of Science Education*, 29(4), 421-452.
- Chiu, M. H. (2012). Localization, regionalization, and globalization of chemistry education. *Australian Journal of Education in Chemistry*, 27, 23-29.
- Fensham, P. J. (1994). Beginning to teach chemistry. In P. Fensham, R. Gunstone, & R. White (Eds.), *The content of science: A constructivist approach to its teaching and learning* (pp.14-28). London: Falmer Press.
- Haglund, J., & Jeppsson, F. (2012). Using self-generated analogies in teaching of thermodynamics. *International Journal of Science Education*, 49(7), 898-927.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80(5), 509-34.
- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2000). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: a case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science Education*, 84(3), 352-381.
- Johnstone A. H. (1991) Why is science difficult to learn? : things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning* 7, 75-83.
- Johnstone A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-705.
- Johnstone A. H. (2000). Teaching of chemistry - logical or psychological? *Chemistry Education Research and Practice*, 1(1), 9-15.
- Johnstone A. H. (2006). Chemical education reearch in Glasgow in persive. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 49-63.
- Kozma, R. B. & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 949-968.
- Liang, J. C., Chou, C. C. & Chiu, M. H. (2011). Student test performances on behavior of gas particles and mismatch of teacher predictions. *Chemistry Education Research and Practice*, 12, 238-250.
- Mahaffy, P. (2006). Moving chemistry education into 3D: a tetrahedral metaphor for understanding chemistry. *Journal of Chemical Education*, 38(1), 49-55.
- McClary, L., & Talanquer, V. (2012). College chemistry students' mental models of acids and acid strength. *International Journal of Science Education*, 48(4), 396-413.
- Plass, J. L., Milne, C., Homer, B. D., Schwartz, R. N., Hayward, E. O., Jordan, T., Verkuilen, J., Ng, F., Wang, Y., & Barrientos, J. (2012). Investigating the effectiveness of computer simulations for chemistry learning. *International Journal of Science Education*, 49(3), 394-419.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. & Mamiala, T. L. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353-1368.
- Treagust D. F., Chandrasegaran A. L., Zain A. N. M., Ong E. T., Karpudewan,

M. and Halim L., (2011), Evaluation of an intervention instructional program to facilitate understanding of basic particle concepts among students enrolled in several levels of study, *Chemistry Education Research and Practice*, 12, 251-261.

Treagust D. F., Chandrasegaran A. L., Crowley J., Yung B. H. W., Cheong I. P.-A. and Othman J., (2010), Evaluating students' understanding of particle theory concepts relating to the states of matter, changes of state and diffusion: a cross-national study, *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8, 141-164.

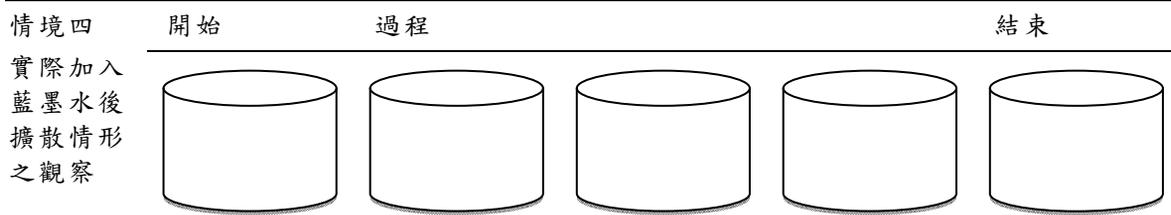
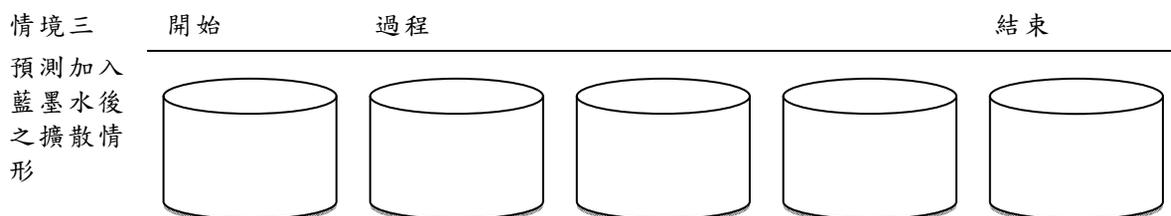
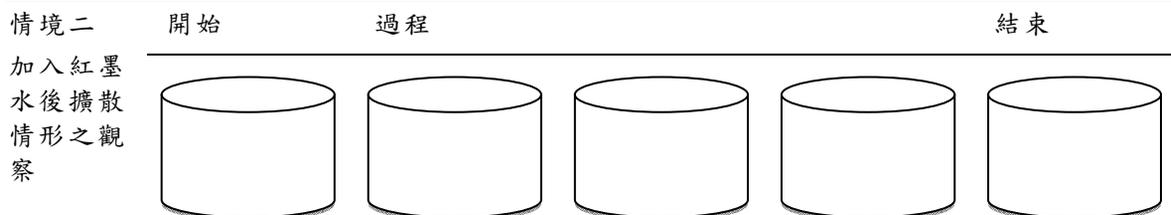
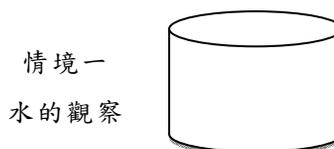
Vermaat, H., Terlouw, C., & Dijkstra, S. (2003). Multiple representations in web-based learning of chemistry concepts. A paper presented at the 84th annual meeting of the American Educational Research Association.

Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.

Wiser, M., & Smith, C. (2008) Learning and teaching about matter in grade K-8: When should the atomic-molecular theory be introduced? In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 205-239). New York, NY: Routledge

投稿日期：101 年 12 月 05 日
 接受日期：102 年 12 月 14 日

附件一、擴散作用之粒子觀研究－繪圖單



Case Studies on Investigating the 9th Graders' Conceptions of Particles : Taking Diffusion as an Example

Ping-Huang Hsieh, Chi-Hua Lin, Mao-Jen Tseng,

Jing-Ping Jong, Mei-Hung Chiu*

Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

Abstract

This was a case study to investigate the six 9th grade students' conceptions of diffusion. Analyses of characteristics of students' understanding of the particle concepts were generated from their drawings and interviews. The results showed that some case students had submicroscopic concept of diffusion and they could use the concept to explain the phenomenon of diffusion. However, all the case students did not have the complete understanding of diffusion. It is our recommendation that not only do teachers have to emphasize on the characteristics of particles during instruction, but also have to help students build internal appropriate representations (e.g., mental models) of particles at the submicroscopic level. We also argue that teachers can monitor students' conceptual status via alternative assessment methods, such as interview and drawing. The relationships of macro- and microscopic views of particles should also be introduced earlier in the textbooks.

Key words: particle concepts, mental model, concept learning, diffusion