

教育科學研究期刊 第五十七卷第四期

2012 年，57 (4)，73-101

高二學生在理想氣體多重表徵 教學前後心智模式的改變

鍾曉蘭

新北市立新北高級中學

邱美虹

國立臺灣師範大學
科學教育研究所

摘要

學生在日常生活中的觀察，常無法察覺與體驗理想氣體的次微觀行為，易因氣體行為在巨觀現象中的表現而產生許多迷思概念或另有概念。本研究分析 39 位學生經過多重表徵模型教學（高二上學期的課程中實施，總計八節課，每節 50 分鐘）學習理想氣體相關概念（粒子觀、氣體體積定義、氣壓成因、影響氣壓因素、剛性粒子、氣體粒子分布／運動等）的想法改變情形，並利用 14 位標的學生（8 位男生、6 位女生）三次晤談（教學前、中與後）之口語及繪圖資料，進而探討學生心智模式的類型及演變情形。研究結果發現：經由具體動態的粒子模型教具及電腦動畫教學後，全體學生與 14 位晤談學生在氣體粒子觀、剛性粒子及氣體粒子分布／運動情形的迷思概念已修正為正確概念，然而在氣壓成因與影響氣壓因素兩個概念仍有一些迷思概念較難移除，或是產生概念回歸的情形。在心智模式的演變上，教學前僅有 1 位學生為科學模式，教學中有 11 位學生演變成科學模式（共有 12 位，85.7%）。教學後，11 位學生中有 2 位學生回歸成重量模式、1 位學生演變成引力模式，仍有 8 位學生的心智模式保持科學模式（共有 9 位，64.3%）。晤談資料顯示，教學前學生的心智模式多半具有融貫性、情境相依的特質，教學成效則支持多重表徵模型教學有助於學生氣體粒子觀的建構，同時學生亦能持續持有正確的觀點，此教學法可作為未來課室教學策略之參考。

關鍵字：心智模式、多重表徵、氣體粒子模型

通訊作者：邱美虹，E-mail: mhchiu@ntnu.edu.tw

收稿日期：2012/02/29；修正日期：2012/05/24、2012/10/05；接受日期：2012/12/06。

壹、研究動機

許多研究顯示，學習氣體的相關概念對學生而言非常困難，主因是學生很難藉由日常生活中的觀察來建立氣體粒子模型 (Millar, 1990; Novick & Nussbaum, 1981)，學生不易從日常生活察覺與體驗次微觀世界的想法，因而偏向以巨觀世界的觀察來類比氣體粒子行為，因而建構出許多難以移除的迷思概念 (Chiu, Guo, & Treagust, 2007; Johnson, 1998; Johnson & Papageorgiou, 2010; Liang, Chou, & Chiu, 2011; Margel, Eylon, & Scherzo, 2008; Novick & Nussbaum, 1981)。

Duit、Treagust 與 Mansfield (1996) 指出，診斷學生的概念不僅反映學生的思考與理解，而且也協助教師以不同的方式來看待他們的教學。心智模式 (mental models) 是為了回答、解決問題或是處理某種狀況所產生的一種動態結構，它是在問題解決的當下所產生的心智表徵，其源自概念結構並受其限制，基本上它也可視為是一種在整體結構的層次上所建構的知識 (例如，Vosniadou & Brewer, 1992; Vosniadou, Skopeliti, & Ikospentaki, 2004)。由於心智模式是一種內在表徵與動態結構，要瞭解心智模式如何發展並不容易，但是瞭解心智模式動態發展與概念改變之間的關係是重要的。透過瞭解學生的心智模式，科學教師進行科學概念教學時，可以確實瞭解學生學習困難所在，進一步發展出適合的教學模型 (邱美虹、翁雪琴, 1995)。

本研究參考相關研究 (Chiu & Chung, 2009; de Vos & Verdonk, 1996; Johnson & Papageorgiou, 2010) 定義出理想氣體的本質作為本研究探討的範疇，相關定義如下：氣體粒子視為剛性粒子，而具有完全彈性碰撞；朝向各方向運動的粒子數相同，為隨機運動與分布；氣體體積是氣體粒子活動的空間；溫度是分子動能平均的結果，溫度上升氣體粒子速度加快；氣壓是因為氣體粒子不斷地撞擊器壁；影響氣壓的因素為容器體積、粒子數目與溫度。為了瞭解學生對於理想氣體本質的先前概念及多重表徵的模型教學對學生學習理想氣體的影響，本研究探究的問題如下：

- 一、多重表徵模型教學前、中、後，全班學生對於理想氣體本質想法的轉變為何？
- 二、標的學生經多重表徵的模型教學前、中、後，理想氣體本質心智模式類型為何？
- 三、標的學生經過多重表徵的模型教學前、中、後，心智模式演變的情形為何？

貳、文獻探討

本研究之理論基礎主要聚焦在三方面，第一部分為多重表徵與模型，研究者探討多重表徵與模型之間的關係，設計出不同表徵的教材、教具，引導學生探討氣體粒子次微觀行為，以修正學生的迷思概念並建立正確的理想氣體粒子模型；第二部分為心智模式與融貫性，由相關文獻中對心智模式理論與研究方法進行探討，作為研究學生心智模式的依據；第三部分

為氣體粒子概念研究，研究者藉由文獻整理出氣體粒子迷思概念的類型，並以學生迷思概念為基礎，設計紙筆測驗與晤談試題，嘗試從學生的晤談內容分析出學生的心智模式類型與改變情形。

一、多重表徵與模型

Johnstone (1991) 提出在學習化學有三個層次的表徵：巨觀 (macro)、次微觀 (sub-micro) 和符號 (symbol)，三種化學表徵如圖 1 所示。化學上的巨觀表徵如看見顏色變化、形成沉澱、氣泡產生與等肉眼可直接觀察的現象；次微觀表徵則藉由分子、原子、次原子粒子的排列或運動來解釋；而符號表徵則藉由符號、數字、分子式、方程式、結構式或其他化學符號來表徵，如 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ 。Johnstone (1991, 1993, 2000) 也強調這三種表徵的存在和彼此間的連結能使學生易於轉換表徵，讓學生能將巨觀現象以次微觀本質進行解釋，再以適合的化學符號來表徵巨觀現象。Mayer (2001) 則認為深層理解不只是知識的記憶，它還必須要能解決其他學習遷移的問題，若學生能夠自由轉化不同的表徵，從不同的向度建構知識的完整風貌，提升知識整合的層次，那學生在表徵之間所做的連結，則可達到較深層概念的理解。

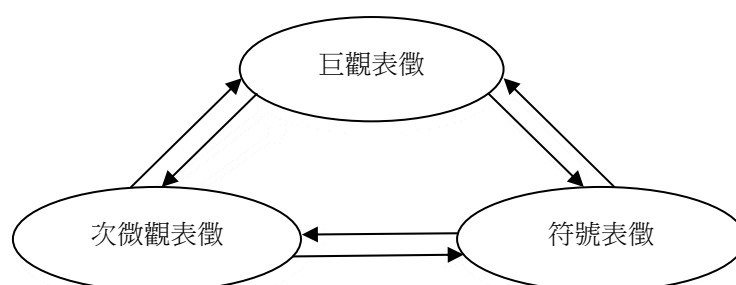


圖1. 化學表徵中巨觀、次微觀和符號表徵的關係。引自“Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem,” by A. H. Johnstone, 1991, *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, pp. 75-83。

Margel 等 (2008) 在長期追蹤 (3 年) 約 1000 名的七至九年級學生對於物質粒子性的概念理解的研究中發現，學生對於抽象的概念需要長時期的醞釀方能建構正確的粒子觀。因此，在課程設計必須持續性且有效地引導學生理解與建立正確的粒子模型，且科學教師應該適時引導學生使用多重表徵 (視覺與文字表徵等) 的方式學習科學概念，並瞭解不同表徵的意義與轉換 (如巨、次微觀之間的關係與符號和語言之間的轉換)，以促進學生深入理解次微觀的機制並運用粒子模型解釋科學現象。教師將多重表徵與教學內容、教材與教法經過系統性的統整後，呈現在課室的學習活動，應有助於學生增進巨觀、次微觀、符號以及多重表徵之間轉換的能力，讓學生達到知識整合之有意義的科學學習。

模型是一種表徵的形式，是一個想法、物件、事件、歷程或系統的重新呈現（Gilbert & Boulter, 1998）。模型亦可依照表述的形式加以分類，物理模型是事物形象化的定性描述，數學模型則是定量表示事物之間的組成關係（Gilbert, Boulter, & Rutherford, 2000）。按照表徵屬性來分類，呈現模式（expressed models）視為是思考的外顯化，是一種外在的表徵，不僅可以用來溝通也可用來推理（Kindfield, 1993, 1994；引自 Buckley & Boulter, 2000）。心智模式則是思考工具的內化模式，可視為內在的認知表徵模型，是一種解釋和預測的模型（吳明珠，2004）。Buckley 和 Boulter（2000）指出，呈現模式是一種外在表徵，呈現模式可以形成教學和學習脈絡之間的聯繫，幫助學生心智模式的形成和精緻化。科學家常透過不同的表徵和建構模型來研究、解釋現象，因此在課室的教學活動中，教師可善用適當的呈現模型來幫助學生理解科學模型，例如，文章中具有隱喻或對話的圖像、數學關係式或化學反應方程式等。有關呈現模型、現象與心智模式之間的交互作用的關係如圖 2。

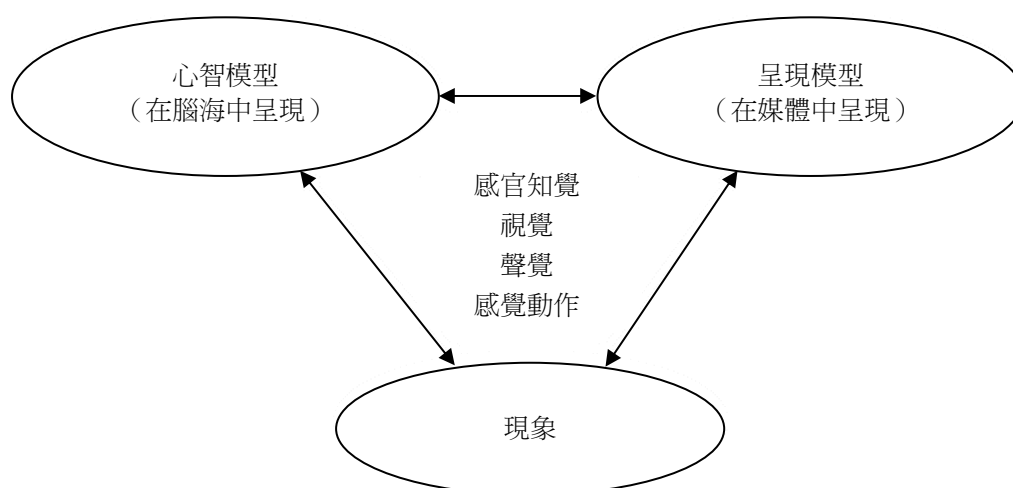


圖2. 現象、心智模式和呈現模型的交互作用。引自“Investigating the role of representations and expressed models in building mental models,” by B. C. Buckley and C. J. Boulter, 2000. In J. K. Gilbert and C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 119-135). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic。

Boulter 和 Buckley（2000）提出以表徵的方式和表徵的屬性兩個不同的維度來分類及解釋模型：表徵的方式主要分為五種—具體的（concrete）、言語的（verbal）、視覺的（visual）、數學的（mathematical）、動作的（gestural），又可細分為單一或混合的表徵方式。表徵的屬性則分為量化或質性、動態或靜態、決定的或隨機的。舉例說明，以動畫顯示心臟中血液流動的情形，並加上文字與言語的詳細解說就可以分類為視覺的混合模型，而表徵的屬性則歸類為

質性－動態－決定的；讓學生以角色扮演的方式說明墨汁在水中擴散的情形，並輔以教師言語詳細解說的課室活動就可以分類為動作的混合模型，而表徵的屬性則可歸類為質性－動態－隨機的。

科學教室中的教與學需要強調科學模型在科學領域的角色與目的，提供更多與觀察現象對照的模型，讓學生建立以多重表徵的模型作為認知工具的經驗（Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2002）。教師在設計教學活動或策略時，可根據現象或概念的特性，選用適合的模型表徵方式與屬性，讓學生藉由呈現模型的多重表徵來學習而建立具有相同屬性的心智模式（邱美虹、陳英嫻，1995）。當呈現模型所蘊含的表徵與觀察的現象相符合時，呈現模型可以形成教學和學習脈絡之間的聯繫，可以降低學生工作記憶的負荷，使學生解決複雜的問題，幫助學生心智模式的形成和精緻化（Buckley & Boulter, 2000）。以模型為基礎的教與學提供學生使用形式表徵的實際經驗，幫助學生學習科學推理的技能，也讓學生學習如何有系統的建立、檢驗和修正模型以進一步建立科學的模型，學習者透過對既有心智模式的評估與修正，得以產生對知識系統具有更大解釋融貫性的模型（吳明珠，2004；邱美虹，2006；Buckley & Boulter, 2000; Gobert, Snyder, & Houghton, 2002）。

二、心智模式與融貫性

心智模式代表著事物的狀態，扮演著直接表徵或類比的角色，其結構反映世上事物的相關狀態，是一種假設、動態的符號表徵，也是一種產生心象的歷程。心智模式可視為是由物件和物件的關係所形成的組織化結構，它起源於個體對於自身經驗與觀點的操弄，可以視為是一種解釋性與預測外在世界工具（Johnson-Laird, 1999; Vosniadou, 2002; Vosniadou & Brewer, 1994）。由於心智模式是一種內在表徵、動態的結構，要瞭解心智模式何時、如何發展的並不容易，但是解開心智模式如何動態的發展卻對概念改變的研究十分重要，概念改變可以是心智模式的重建或是藉著多樣化的情境促進心智模式精緻化，因此，認知心理學家與科教學者便經常使用研究心智模式的方式來探討抽象概念的發展與改變的機制。

Johnson-Laird（1999）認為心智模式是一種抽象的類比表徵，此表徵影響人類對語言的理解與日常生活現象的推理，並且認為知覺是心智模式的一個重要的來源，人類的視覺、聽覺等感官提供並篩選外在的資訊，藉著符號的操弄建立個人的心智模式，因而心智模式是動態的結構深受外在情境的影響與限制。邱美虹和劉俊庚（2008）則認為，心智模式是透過提取長期記憶中的成分與外在環境或刺激物產生交互作用後所建構的內在表徵。Vosniadou 和 Brewer 對（1992）提出綜合性模式（synthetic models）的觀點，孩童以日常生活的經驗建構出初始的心智模式（initial models）後，為了與學習的新知取得平衡而主動形成綜合性模式，據此想法，概念改變便是一種漸進的演變趨勢，由最初初始的心智模式，經過綜合性模式再轉變為正確的科學模式（scientific models）的經歷過程，概念改變的形式主要有兩種，一為概念

的豐富化 (enrichment) — 將新概念加入現有的理論架構中，另一種則為概念的修正 (revision) — 在新資訊與現有的理念或預設想法不同時產生。

對於素樸概念是否能形成融貫而一致的系統知識，研究學者們的看法分歧 (Carey, 1985; Chi, 2005; diSessa, Gillespiea, & Esterlyb, 2004; Vosniadou, 2002)：Carey (1985) 認為種種素樸概念已形成系統性、融貫性的知識系統；diSessa (1988) 則持相反意見，認為由原始現象所得到的種種素樸概念是零碎的、不一致的，而另提出以原始現象原則 (phenomenological-primitive principle) 建構素樸概念理論。而 Vosniadou 和 Brewer (1992, 1994) 在進行兒童對地球形狀概念研究後，則提出和 diSessa 非常不同的看法，她們認為迷思概念的形成並非是缺乏融貫性或後設認知，而是孩童主動想建構出心智連貫性 (mental coherence) 的結果。邱美虹和劉俊庚 (2008) 則基於心智模式是個人與環境交互作用的產物的論點，提出心智模式會隨外在人、事、物等異動而改變，故其具有動態變化的特質，也會出現心智模式是否具有完整性或片段性、一致性或不一致性、正確性或不正確性內涵等性質。

Vosniadou (2002) 在力的意義之研究中指出孩童學習科學的過程是緩慢，將科學的知識增加到初始的解釋架構中時，會破壞架構的一致性，最後以和現今科學一致的方式再度重建架構。Chi 和 Roscoe (2002) 則針對血液循環的心智模式分為非融貫性及融貫性 (又分為瑕疵心智模式及正確心智模式)，並提出心智模式具有正確性、融貫性與完整性的想法。對於非融貫性的心智模式，Chi 與 Roscoe 認為心智模式中的命題有可能是正確的，但命題的連結是錯誤的／非系統系的，因而對於問題的預測與解釋無法產生一致性。

從 Johnson-Laird 等的心智模式理論中可以發現，無論是語言的命題表徵或是視覺的空間表徵，雖然對同一件事物的表徵形式不同，然而兩者表徵的內容卻是有整合過，並具有一致性的，也因此捕捉研究對象的心智模式上，至少可以利用同一對象對同一問題的文字性的命題表徵及非文字性的視覺表徵來進行分析，將能產生內容互補作用，如此一來將有助於更完整的捕捉研究對象的心智模式 (Freksa & Barkowsky, 1999; Johnson-Laird, 1999; Vosniadou & Brewer, 1992, 1994; Vosniadou et al., 2004)。因此本研究同時使用繪圖的方式、晤談的方式來捕捉學生的心智模式，以期對於學生的先前概念、心智模式的演變情形做深入的瞭解與分析。

三、氣體粒子迷思概念研究

學習粒子概念對許多學生而言是非常困難的，因為粒子概念是抽象的，且隱藏於科學現象後的機制是次微觀的，並無法以巨觀方式觀察 (Millar, 1990; Novick & Nussbaum, 1981)。孩童對於氣體的本質普遍存在連續觀的迷思概念，傾向以巨觀中液體的現象來推論氣體是以連續的狀態存在於容器中而並非是粒子性的看法 (Benson, Wittrock, & Baur, 1993; Johnson, 1998; Margel et al., 2008)。Novick 和 Nussbaum (1981) 研究中發現，學生最難理解氣體的粒子間存

在真空的狀態，學生偏向以巨觀世界的觀察來類比氣體的粒子之間是充滿著灰塵、細菌、其他的氣體等。在加熱的情況下，學生會產生氣體粒子膨脹導致氣體體積變大的迷思概念（邱美虹，2006；Chiu et al., 2007; Novick & Nussbaum, 1981）。

Johnson（1998）針對七至九年級學生進行 3 年的長期研究，定義出學生思考粒子的四種模式，分別為模式 X（連續觀物質）、模式 A（連續物質但有粒子的觀點）、模式 B（粒子就是物質，但有巨觀的特徵）、模式 C（粒子就是物質，巨觀的現象是粒子集合行為），大部分的學生是落於模式 X、A 及 B，模式 A 及 B 相似均認為氣體性質來自於粒子本身，如氣體的顏色即為氣體粒子的顏色，或氣球體積變大是源自於氣體粒子的膨脹，隨著年齡漸長，學生們心智模式的發展情形則為模式 A→B→C 的線性發展。Adadan、Trundle 與 Irving（2010）探討 19 位高中二年級學生在接受 3 個月的多重表徵教學後，有 13 位同學發生概念改變，但是仍有一些學生持有零碎的概念。Johnson 指出，經過不斷地學習相關氣體的概念後，學生對於粒子模型的正確概念隨著年齡的增長而呈現成長的趨勢，此研究結果與其他研究發現相近（吳怡嫻、邱美虹，2006；Johnson, 1998; Johnson & Papageorgiou, 2010; Margel et al., 2008）。

關於氣體運動與分布情形的研究指出，學生不瞭解粒子是持續不規則運動，對於氣體分布的概念也容易被重力的觀念所影響，因而無法建立氣體粒子在空間中是隨機分布的概念（史嘉章，2002；Benson et al., 1993; Chiu et al., 2007）。學生對於氣體的運動認為類似液體一般的流動及分布（Benson et al., 1993）；當氣體朝某個方向移動時，少部分學生認為氣體是全部的分子都朝向同一個方向運動（史嘉章，2002；邱美虹，2006；Chiu & Chung, 2007）；部分學生誤認為當沒有外力時，氣體粒子呈現靜止狀態（Chiu & Chung, 2007; Harrison & Treagust, 1996）。

針對氣體壓力的成因及影響因素的研究指出，學生認為外在壓力或外力擠壓下才會產生氣體壓力（de Berg, 1995）；或是認為氣壓是粒子間互相擠壓或撞擊所造成（洪振方，1987；陳盈吉，2004），因此分子量大的擠壓情形較嚴重，氣體壓力比較大（史嘉章，2002；邱美虹，2006；陳盈吉，2004）或是認為分子量小者運動速率快，氣體粒子彼此碰撞的機會增加，因而氣體壓力比較大（邱美虹，2006；陳盈吉，2004）。也有部分學生認為，當外在力量（活塞擠壓或大氣壓力等）施壓時形成容器內部的氣壓（吳怡嫻、邱美虹，2006；陳盈吉，2004），學生對於氣體的壓力常以固、液體的壓力來描述（鍾曉蘭、邱美虹，2006；Benson, Wittrock, & Baur, 1993），因此認為是氣體的重量下壓容器壁造成氣壓（Chiu & Chung, 2007; Liang et al., 2011）。

綜觀以上的氣體粒子相關研究得知，學生無法理解次微觀的氣體粒子運動模型，導致在學習理想氣體相關理論遭遇許多困難，甚至對於氣體的巨觀現象做出許多錯誤的推理。而這些迷思概念大致上可分類成四個次概念：氣體本質觀（連續或粒子觀、是否為剛性粒子等）、氣體粒子的運動與分布、氣壓的成因、影響氣壓的因素，若能深入瞭解學生迷思概念的類型，

不僅有助研究學生概念改變的情形，亦有助於教師設計符合現象的呈現模型來幫助學生學習理想氣體概念。

四、文獻對本研究的啟示

本研究融合 Johnstone (1991, 1993, 2000) 與 Boulter 和 Buckley (2000) 對多重表徵與模型的觀點，設計教學活動中所需的呈現模型，將理想氣體在生活中的現象（如肺部呼吸一波以耳定律）用具體的模型來呈現其巨觀的改變，並使用動畫呈現氣體粒子次微觀行為（如隨機運動／分布、持續撞器壁造成氣壓等），再以師生討論的語言模型連結巨、次微觀之間的作用（如胸腔體積變化時，粒子運動是如何造成壓力的變化）。教學中利用呈現模型與現象之間的對應，讓學生經由感官知覺的體認來理解現象的變化與其原因，進而建立個人內在認知的表徵—心智模式。

本研究依據 Johnson-Laird (1999) 將心智模式定義為一種抽象的類比表徵，嘗試從學生對不同巨觀現象所提出的解釋（包含語言的命題表徵與視覺的空間表徵），來瞭解學生的內在認知的表徵。為了釐清心智模式是否會因外在情境的影響與限制，因而產生情境相依的情形，本研究設計不同情境的問題（如改變溫度、體積等），以瞭解學生的想法是否隨著情境改變而呈現動態變化。

根據 Chi 和 Roscoe (2002) 提出，學生將許多命題以系統性方式連結成心智模式，因此本研究將文獻所提及的迷思概念作為組成心智模式的命題陳述，再將學生對於不同情境下提出的解釋進行局部的分析（四個子概念）與整體的連結（心智模式），以瞭解多重表徵模型的教學對學生理想氣體相關概念的正確性、融貫性與完整性的影響。

參、研究方法

本研究將多重表徵的想法融入教學活動設計，開發出具體模型教具、電腦動畫、師生討論等活動，將抽象的次微觀粒子運動及理想氣體的概念轉為實體或動畫，以幫助學生對於粒子次微觀運動及巨、次微觀與符號表徵的理解，並在教學過程以三次評量（紙筆測驗）探究高二學生在學習過程中對於理想氣體的想法改變歷程，再輔以晤談深入瞭解學生心智模式的類型與改變的情形。本研究對象的背景與選取、教學設計、研究工具、實施流程與資料分析處理方式分述如下。

一、研究工具

研究工具分為兩部分，第一部分為理想氣體本質測驗，試題為紙筆測驗形式，採開放式問題並請學生畫出自己的想法，內容參考邱美虹 (2006) 的二階層的試題（信度為 .81）加以改編。試題為三大題，共 5 小題，測驗時間為 30 分鐘，題目詳見表 1，其主要內容是學生對

表 1

理想氣體本質測驗試題

- 1.1 在保存食物的時候，我們經常會放到真空罐中。如果將未開封的一小包巧克力球放到真空罐中，之後慢慢將真空罐中氣體抽出。根據以上敘述，你覺得在抽氣之前，真空罐裡的氣體應該是怎樣的分布形式？
- 1.2 承1.1，詳細說明上述答案的理由。
- 1.3 如果將未開封的一小包巧克力球放到真空罐中，之後慢慢將真空罐中氣體抽出，將氣體從真空罐中抽出一部分之後，你覺得真空罐中的氣體分布形式會變成什麼樣子？（請詳細畫出你的答案，並說明理由）
2. 你認為密閉容器內氣體體積的定義、氣體壓力的成因為何？（請詳細說明）
- 3.1 將氣球放置熱水中一小段時間後，說明氣球的體積變化為何？詳細說明變化的理由，並將加熱前、後氣球體積及內部氣體粒子大小的變化及運動、分布的變化畫出。
- 3.2 承3.1，詳細說明上述答案的理由。

理想氣體的想法是氣體粒子觀點或連續觀（1.1）、氣體體積的定義與氣體壓力的成因（2）、氣體粒子的性質／運動情形（3.1、3.2）、粒子分布情形（1.1-1.3、3.1、3.2）等。改編後的試題經由 1 名化學相關背景的大學教授及 1 名生物背景的博士後研究員、1 名任教多年的高中化學教師，共 3 位專家審查，就題目的內容適當性、語句的合宜性、學科概念上，進行多次的討論與修正，以建立專家效度。預試對象為臺北縣某縣立高三共計二班（男 45 人、女 37 人，共計 82 人），於高二時已學過理想氣體的相關概念，預測階段的施測對象與正式研究的對象背景相似，試題信度（Cronbach's α ）為 .85。施測的目的是為了在教學前瞭解學生的對於理想氣體的先前概念、教學中與教學後的概念改變，並用以選取晤談學生。

第二部分的研究工具為晤談問題，屬於半結構形式，內容與理想氣體本質測驗相同，每位學生回答相同的問題，問題設計（詳見表 2）主要探究學生關於理想氣體相關概念：（一）粒子觀或連續觀、（二）氣體體積的定義、（三）氣壓的成因、（四）影響氣壓的因素、（五）定壓但改變溫度的情境下、（六）定容但改變溫度的情境下、（七）定溫但改變體積的情境下，學生對於氣體粒子、氣體的分布／運動等的想法。使用開放式問題是為瞭解學生的概念是如何連結的以及概念之間的融貫性與完整性；不同的情境則是瞭解學生的心智模式在不同變因的環境下，是否仍保持其一致性或者是情境相依的。

二、研究對象

研究對象為臺北縣某國立高中高二自然組（年齡在 16-17 歲）一班 39 位學生，屬於常態分班（S 型分組）、基測成績（PR 值）約在 80%-85%、取樣方式為立意取樣。學生於國中理

表 2

半結構式晤談的問題

<ol style="list-style-type: none"> 1. 氣體在容器中呈現粒子狀或連續狀分布？ 2. 氣體體積的定義為何？ 3. 密閉容器中氣體壓力是如何形成的？ 4. 影響密閉容器中氣體壓力的因素為何？ 5. 氣球加熱／冷卻一段時間後，氣球體積、氣球內部的氣壓、氣體粒子的大小、分布及運動情形為何？ 6. 密閉容器（體積不變）加熱／冷卻一段時間後，容器內氣體的體積、氣壓大小、氣體粒子的大小、分布及運動情形為何？ 7. 壓縮／加大密閉容器一段時間後，容器內氣體的體積、氣壓大小、氣體粒子的大小、分布及運動情形為何？
--

化課程中學過壓力（ $P=F/A$ ）、液壓（ $P=hd$ ）、大氣壓力（托里切利實驗等）相關概念，高二學過物質三態概念（三態變化、物質是由粒子所組成的），經研究者調查學生參與此研究前並未以多媒體與角色扮演來學習自然科學。

晤談對象依據教學前理想氣體本質測驗學生的答案（測驗總人數 39 人，連續觀 8 人、粒子觀 31 人），研究者再從連續觀想法的 8 人中選取 5 人（皆男生）、從氣體粒子觀的 31 人中選取 9 人（男生 3 人、女生 6 人），晤談人數共計 14 人（約全體學生的三分之一）。14 位學生的化學學期成績分別是高成就 4 人、中等成就 8 人與低成就 4 人，進行教學前、教學中及教學後共三次的半結構式晤談，每人每次晤談約 10-15 分鐘，回答相同的情境／非情境的理想氣體的相關問題（分為巨／次微觀），以深入瞭解學生認知的發展與心智模式的類型及演變途徑。

三、教學設計

依據 Boulter 和 Buckley（2000）提出模型表徵的方式與模型表徵性來設計教學的八大單元，其中應用了具體混合、視覺混合、數學混合、動作混合等四種混合式的模型教學，模型的表徵屬性則與所欲呈現的現象有關。舉例說明，以粒子運動的動態模型而論，表徵的方式是具體模型並配合教師的語文解釋，稱為具體混合模型；而以動態方式呈現粒子隨機運動的特性，僅僅質性描述壓力的成因與影響因素，其模型表徵的屬性歸類為質性－動態－隨機的。

教學策略則分為八大類：具體模型（粒子運動的動態模型、肺部呼吸模擬器）、電子化投影片教學、推導數學公式、電腦模擬實驗、動手作實驗、電腦動畫教學、角色扮演、小組討論等。教材方面則分為文本、學習單、粒子運動模型與蒸氣壓動畫（研究者自行設計），電子化投影片、電腦模擬實驗、及部分電腦動畫教學，則採用氣體動力論多媒體教學軟體（潘冠錡、陽季吟，2006）。多重表徵的模型教學活動設計內容如表 3、圖 3。文本部分則為該校深

表 3

多重表徵模型的教學設計

教學節次	教學主要內容	教學策略	模型表徵方式	模型表徵屬性
第一節	說明理想氣體模型	粒子運動的動態模型	具體混合	質性－動態－隨機的
		電子化投影片教學	視覺混合	質性－動態－隨機的
第二節	波以耳定律 查理定律	肺部呼吸模擬器／實驗	具體混合	質性－靜態－決定的
		推導公式、關係圖	數學混合	量化－靜態－決定的
第三節	電腦模擬波以耳定律 及查理定律的實驗	電腦模擬實驗	視覺混合	量化－動態－決定的
		動畫教學	視覺混合	質性－動態－隨機的
第四節	氣體動力論與 理想氣體方程式	電子化投影片教學	視覺混合	質性－動態－隨機的
		推導公式、關係圖	數學混合	量化－靜態－決定的
第五節	理想氣體與非理想氣體	推導公式、關係圖	數學混合	量化－靜態－決定的
第六節	道耳吞分壓定律與 蒸氣壓	動畫教學	視覺混合	量化－動態－隨機的
		推導公式、關係圖	數學混合	量化－靜態－決定的
第七節	蒸氣壓與氣體擴散	角色扮演	動作混合	質性－動態－隨機的
第八節	蒸氣壓與氣體擴散 格銳日氣體擴散定律	動畫教學	視覺混合	質性－動態－隨機的
		推導公式	數學混合	量化－靜態－決定的

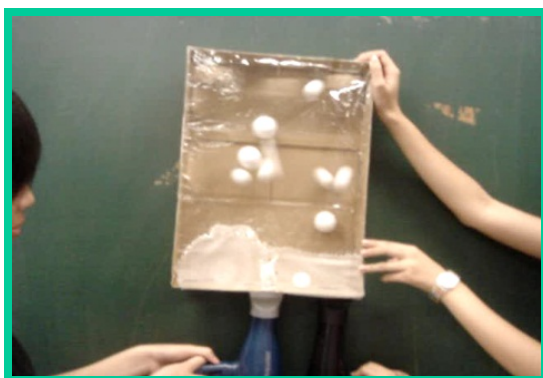


圖3(a). 粒子運動模型：利用吹風機做為動力，使不同大小的保麗龍球（當成氣體粒子）在容器中呈現隨機運動與分布

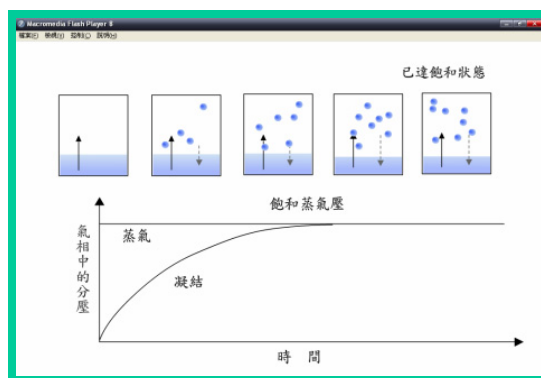


圖3(b). 水蒸發平衡電腦動畫：以動畫說明水蒸發時的粒子運動情形與動態平衡

教師依據教科書所編寫的講義，在該校已試行 3 年，內容的適當性與正確性經校內化學科教師共同討論後修訂。

教學活動設計的理念是第一節課先藉由感官能感知的粒子運動的動態模型與電子化投影片來呈現不易從日常現象觀察的次微觀世界，讓學生先建立有關理想氣體模型的相關概念，

譬如以隨機運動的保麗龍球碰撞容器壁說明氣體粒子碰撞容器壁形成氣壓、理想氣體粒子之間是無吸引力，理想氣體粒子是剛性粒子、其體積是可以忽略不計的等概念。接著第二節課以具體的肺部呼吸模擬器與小實驗分別說明波以耳定律與查理定律，教學活動中教師的角色則是幫助學生連結次微觀與巨觀世界，引導學生以理想氣體模型來思考不同變因（溫度、壓力、體積）與粒子行為之間的關係，進而建立數學關係式（符號表徵，如 $PV=K$ 、 $V=KT$ ）。整體課程設計使用相同的模式－從具體／視覺／動作配合教師的語言解釋，以粒子次微觀的行為解釋巨觀現象的變化原因，最後建立相關的數學關係式（符號表徵）。

四、研究實施流程

本研究在學生高二上學期的課程中實施，總計八節課（每節 50 分鐘）。教學前進行教學前評量 1 與晤談 1，教學四節課後實施教學中評量 2 與晤談 2，教學八節課後實施教學後評量 3 與晤談 3，實施流程見表 4。教學中的晤談 2 選在第四節結束，原因一是教學八節課的中間，原因二是一至四節課教授波以耳定律、查理定律與理想氣體方程式等相關概念，五至八節課則是教授理想氣體與非理想氣體、道耳吞分壓定律、蒸氣壓與擴散相關概念，因此研究者在第四節課節末後進行教學中晤談。

表 4

評量、晤談與教學實施流程

評量／晤談／教學流程				
教學前評量 晤談1	四節課 (每節50分鐘)	教學中評量 晤談2	四節課 (每節50分鐘)	教學後評量 晤談3

五、資料處理與分析

本研究之資料來源分為量化數據（包含三次紙筆測驗），質性資料則為教學前、中、後三次晤談資料。

（一）量化資料的處理

量化數據主要是分析全體學生（39 人）在理想氣體本質測驗（氣體的本質觀、氣體粒子的性質、粒子運動情形、氣體體積定義、氣壓成因）的想法類型，並計算各類型的百分比。研究者參考文獻中學生的迷思概念轉成分析判準，詳見表 5。藉此分析來瞭解學生的迷思概念在學習歷程的演變情形，並指出哪一些迷思概念是較容易移除，而哪一些迷思概念是較頑強而不易改變，並根據學生前測的答題情形作為心智模式分類的初步依據。

表 5

理想氣體本質測驗中各概念想法類型的判準

概念	想法類型	概念	想法類型
氣體的本質觀	連續觀－整體	氣體體積定義	氣體整體體積
	粒子觀－整齊分布		氣體粒子本身體積總和
	粒子觀－堆疊緊密		容器體積
	粒子觀－隨機分布		氣體粒子活動的空間
	其他類型		其他類型
氣體粒子的性質	受熱變小	氣壓的成因	外壓模式（砝碼／大氣壓力）
	受熱變大		粒子間互相擠壓
	熱漲冷縮		粒子間互相撞擊
	粒子大小不變		粒子碰撞器壁
	其他類型		其他類型
粒子運動情形	像液體一般流動		
	向外擠壓		
	對流模式		
	隨機運動		
	其他類型		

（二）質性資料的處理

本研究透過文獻整理出的迷思概念轉化成心智模式的分析命題陳述與編碼類型，將理想氣體本質的心智模式概分為四個組成概念：氣體本質觀、氣壓的成因、影響氣壓的因素、氣體粒子是否為剛性粒子。舉例說明：圖 4 的編碼則為科學模式，學生認為氣體是以粒子的狀態存在於容器中（編碼為 P），氣壓成因是快速運動的氣體粒子撞擊器壁（編碼為 Cs），影響氣壓的因素是氣體粒子本性（活性、重量）不會影響壓力，粒子數目、容器體積與溫度會影響氣壓（編碼為 S）、氣體粒子本身的體積不會熱漲冷縮（編碼為 R），該學生的心智模式編碼組合為 PCsSR，此類型與 Johnson（1998）提出的模式 C（粒子就是物質，巨觀的現象是粒子集合行為）相近。



圖4. 晤談資料心智模式的編碼表示

每一個子概念類型的編碼詳見表 6，編碼的方式參考文獻中所提及學生的迷思概念，並依據學生的晤談結果做修正，有些迷思概念在本次研究中並未出現，故未呈現在編碼表中。此種編碼與分析方式不僅可以分析學生在單一概念的想法亦可瞭解其心智模式的組合情形。

表 6
理想氣體晤談內容的解釋分類與編碼

子概念	解釋分類	解釋內容	編碼
粒子／連續觀	粒子觀	氣體以粒子的型態分布在密閉容器中	P
	連續觀	氣體像液體般的連續狀態分布在密閉容器中	C
密閉容器內的氣壓成因	外在施壓	外大氣壓或外加的砝碼重量所造成	O
	粒子擠壓	氣體粒子互相擠壓所造成	P
	重量模式	氣體粒子本身的重量壓在器壁所造成	W
	雙模式	快速運動的氣體粒子撞擊器壁及不斷互相撞擊	D
	粒子互撞	快速運動的氣體粒子不斷互相撞擊	Ci
	科學模式	快速運動的氣體粒子撞擊器壁	Cs
	影響壓力的因素	重量模式	氣體整體或氣體粒子的重量會影響氣壓
體積模式		氣體粒子體積愈大造成氣壓愈大	V
活性模式		氣體粒子活性會影響粒子速率進而影響氣壓	A
引力模式		氣體粒子之間的引力會影響氣壓	I
類科學模式		氣體粒子本性（活性、重量）不會影響壓力，粒子數目、容器體積會影響氣壓	S ₁
科學模式		氣體粒子本性（活性、重量）不會影響壓力，粒子數目、容器體積與溫度會影響氣壓	S
粒子的性質		剛性粒子	氣體粒子本身的體積不會熱漲冷縮
	非剛性粒子	氣體粒子本身的體積會熱漲冷縮	H

晤談分析結果由兩位評分者共同進行編碼，計算方式為兩人評為相同模式的次數為分子，除以 168（14 人×3 次／人×4 種模式編碼／次）。編碼結果：相同編碼有 157 個、不同編碼有 11 個，評分者同意度達 93.5%。2 位評分者意見不同的部分，在隨後的討論中達成一致。

肆、研究結果

參與本研究的學生在高一基礎化學課程中僅學習到大氣的成分及用途，教材中並未針對

氣體粒子本質與運動情形（如粒子性質、氣體粒子之間為真空、氣體粒子是隨機運動與分布等）多做描述。研究結果主要呈現的量化分析結果為學生對於氣體粒子／連續觀、氣體壓力的成因、粒子運動的影響及剛性粒子等概念，以及學生所具備的先前概念與教學過程中的概念改變，晤談分析結果則聚焦在學生心智模式的演變情形。

一、探討全體學生教學前、中、後理想氣體本質概念改變

理想氣體本質測驗的分析結果顯示（表 7），教學前有 20.5% 的學生認為氣體在密閉容器中是呈連續的整體（如乳液一般），74.4% 的學生是擁有正確的粒子觀－隨機分布。氣體粒子性質方面，擁有剛性粒子概念的學生為 51.3%，仍有 38.5% 的學生具有氣體粒子本身會熱脹冷縮的迷思概念。

教學前有 71.1% 學生具有隨機運動的概念、7.7% 學生認為氣體以向外擠壓的方式運動、10.3% 學生認為兩種運動模式（隨機與對流）；僅有 23.0% 學生瞭解氣體體積是氣體粒子運動的空間、連續觀的學生（20.5%）認為氣體整體的體積是氣體體積、38.5% 學生則將氣體粒子本身體積與活動空間定義為氣體體積。

而對於密閉容器內氣壓的成因，則受題目的情境影響（容器上方放置一個砝碼），53.8% 的學生認為是外在的砝碼／大氣壓力造成氣體壓力，12.8% 的學生提出一種特殊的解釋：當砝碼／大氣壓力往下壓時，分子給周遭環境的作用力造成氣體壓力。在氣壓的成因解釋接近科學模式的僅有 2 位學生（5.1%），顯示學生在教學前對密閉容器內氣壓的成因很難由日常生活的個體觀察與先前的知識系統中形成科學的解釋。

教學中，全體學生建立粒子觀－隨機分布的概念，近九成學生具有剛性粒子與隨機運動正確想法，僅 71.7% 學生瞭解氣體體積是氣體粒子活動的空間、69.2% 學生具有粒子碰撞器壁造成氣壓的概念。教學後，100% 學生皆已建立正確的氣體粒子觀（隨機分布、運動與剛性粒子），九成以上的學生亦理解氣體體積與氣壓成因的科學定義。

二、探討晤談學生教學前、中、後概念改變情形

此部分的研究結果是利用三次晤談（教學前、教學中與教學後）的資料，分析經多重表徵模型教學的 14 位（8 位男生、6 位女生）標的學生關於理想氣體相關概念的想法，並進一步分析學生在四個概念（粒子／連續觀、氣壓成因、影響壓力的因素及剛性粒子）的演變情形。晤談學生概念分析的結果與全體學生表現相近（詳見表 7、8），顯示晤談學生的概念演變與全體學生的改變一致。

教學前有 64.3%（9/14）學生認為，容器內的氣體是呈現粒子狀分布，另外 35.7%（5/14, S5, 6, 7, 8, 9）是像乳液一般的連續狀分布；42.9%（6/14）的學生想法是其他氣體充滿氣體空隙間；一半的學生（7/14, S5, 6, 7, 8, 9, 11, 13）則認為是砝碼重量／大氣壓力下壓造成氣體壓

表 7

學生教學前、中、後理想氣體本質測驗答題情形 ($n=39$)

概念	學生解釋	教學前 (%)	教學中 (%)	教學後 (%)
氣體的本質觀	連續觀—整體	20.5	0.0	0.0
	粒子觀—整齊分布	2.6	0.0	0.0
	粒子觀—堆疊緊密	2.6	0.0	0.0
	粒子觀—隨機分布*	74.4	100.0	100.0
粒子本身大小	受熱變小	2.6	0.0	0.0
	熱脹冷縮	38.5	10.3	0.0
	粒子大小不變*	51.3	87.1	100.0
	未說明粒子大小變化	7.7	2.6	0.0
粒子運動情形	向外擠壓	7.7	2.6	0.0
	對流模式	2.6	2.6	0.0
	對流+隨機運動	10.3	5.1	0.0
	隨機運動*	71.1	89.7	100.0
	未說明粒子運動情形	7.7	0.0	0.0
氣體體積定義	氣體整體體積	20.5	0.0	0.0
	氣體粒子本身體積+活動空間	38.5	18.0	2.6
	容器體積	18.0	10.3	5.2
	氣體粒子活動的空間*	23.0	71.7	92.2
氣壓的成因	外壓模式(砝碼/大氣壓力)	53.8	15.4	0.0
	粒子間互相擠壓	10.3	7.7	7.7
	粒子間互相撞擊	5.1	5.1	2.6
	分子之間作用力	2.6	2.6	0.0
	分子給周遭環境的壓力	12.8	0.0	0.0
	粒子碰撞器壁*	5.1	69.2	89.7
	未明確答出原因	10.3	0.0	0.0

註：*表示正確想法。

力(外在壓力)，有部分學生(S5, 6, 7, 8)進一步解釋是砝碼或分子的重量影響壓力。學生在不同子概念的解釋內容與分布詳見表 8。

對於剛性粒子的想法，由於學生日常的生活經驗不易觀察及學習到，所以教學前大部分的學生(71.4%)傾向以一般物體的體積會熱脹冷縮的觀念來推論氣體粒子大小也會熱脹冷縮；關於氣球及密閉容器加熱一段時間後，14 位學生都回答溫度升高後，動能及氣體運動速率會增加，6 位學生(S1, 4, 6, 8, 11, 13)認為加熱後，因粒子體積變大、密度變小而使粒子分

表 8
教學前、中、後學生晤談的想法 (n=14)

概念	學生解釋	教學前 (%)	教學中 (%)	教學後 (%)
氣體的本質觀	連續觀—整體	35.7	0.0	0.0
	粒子觀—隨機分布*	64.3	100.0	100.0
粒子本身大小	熱脹冷縮	28.6	0.0	0.0
	粒子大小不變*	71.4	100.0	100.0
粒子運動情形	向外擠壓	21.4	0.0	0.0
	對流模式	7.1	0.0	0.0
	對流+隨機運動	7.1	0.0	0.0
	隨機運動*	64.3	100.0	100.0
氣體體積定義	氣體整體體積	14.3	0.0	0.0
	氣體粒子本身體積+活動空間	21.4	0.0	0.0
	容器體積	21.4	14.3	0.0
	氣體粒子活動的空間*	42.9	85.7	100.0
氣壓的成因	外壓模式 (砝碼/大氣壓力)	50.0	7.1	0.0
	粒子間互相擠壓	7.1	0.0	0.0
	粒子間互相撞擊	28.6	0.0	0.0
	分子之間作用力	0.0	0.0	0.0
	粒子互撞與粒子撞器壁	0.0	7.1	7.1
	粒子碰撞器壁*	7.1	85.7	92.9
影響氣壓因素	重量/分子量	50.0	0.0	21.4
	體積模式	28.6	0.0	0.0
	引力模式	7.1	0.0	7.1
	活性模式	0.0	7.1	0.0
	類科學模式	0.0	0.0	7.1
	科學模式*	14.3	92.9	64.3

註：*表示正確想法。

布在上方略多一些，呈現不均勻的分布現象。至於氣體運動方式，9 位學生認為是隨機運動、3 位學生 (S7, 8, 12) 認為是向外擠壓、1 位 (S3) 是對流模式、1 位 (S13) 解釋加熱前氣體粒子是隨機運動，加熱後則是隨機同時也是對流模式。

教學中，14 位學生皆已建立正確的氣體粒子觀、剛性粒子、隨機運動與分布的正確觀念，此部分與全體學生的紙筆測驗答題表現一致。而氣體空隙之間則有 85.7% (12/14) 的學生認為是真空/沒有東西，僅 14.2% (2/14, S7, 11) 的學生認為是充滿著分子之間的引力。關於氣

壓的成因，12 位學生解釋是氣體粒子碰撞器壁所造成，僅 2 位學生 (S7, 13) 想法不正確，S13 認為粒子互撞與粒子撞器壁形成氣壓 (雙模式)、S7 解釋氣體粒子抵抗外在壓力造成氣壓 (外壓模式) 並認為粒子的活性會影響氣壓。

從教學後的晤談資料，則可以觀察出有些概念一經改變後，就能維持正確的想法，例如，氣體的粒子觀與剛性粒子的概念，14 位學生即使到教學後仍保持正確的科學模式。而有些概念經由動態的演變後，卻形成合成的模式，或接近科學模式 (科學有瑕疵)，例如氣壓的影響因素，部分學生誤用理想氣體方程式或沒有正確理解氣體動力論就會誤認為分子量會影響壓力。有關壓力及蒸氣壓的影響因素，有 21.4% 的學生 (S7, 9, 14) 認為分子量大小會影響壓力 / 蒸氣壓，又分為兩類的想法：分子量大者壓力大，但在蒸氣壓部分，則部分認為分子量小者運動速率快，碰撞到器壁頻率多因而蒸氣壓較大。

三、教學前、中、後晤談學生心智模式的類型與演變情形

雖然教學前具有科學模式的學生只有 1 位 (S2, PCsSR)、1 位類科學模式 (S1, PCiSR)，研究者從晤談的過程中，發現學生的想法有其初始的融貫性。舉例說明，教學前有 5 位同學 (S5, 6, 7, 8, 9) 認為氣體在密閉容器中呈現連續狀分布，他們對於氣壓的成因與影響壓力的因素的想法，就會趨向以過去學習液體的概念來解決問題，傾向認為重量 (氣體或砝碼 / 大氣重量) 下壓容器或擠壓器壁形成氣壓，其中 4 位同學 (S5, 6, 8, 9) 也會以融貫的想法來推論出重量會影響壓力 ($P = F/A$)。S5 學生的想法融貫性最高，不僅認為氣體是連續密集的整體，也認為氣體本身是占有體積的，加熱時是整體體積膨脹，氣體量愈多愈重則對容器底部產生的壓力也愈大。

14 位學生關於理想氣體本質心智模式的變化詳見心智模式演變途徑圖 5，教學前，共出現 10 類型的心智模式，僅 COWH (連續觀—砝碼下壓—砝碼或氣體重量會影響壓力—粒子熱脹冷縮，稱為外在壓力—重量模式) 的類型比例較多 (4/14, S5, 6, 8, 9)，其他的類型皆只有一位學生。教學中，心智模式縮減成三種：有 11 位學生由不同的心智模式演變成科學模式 (PCsSR)，其中 S5, 6, 8, 9 四位的演變以——→的箭頭表示、其他分別為 S11 (—····→)、S12 (-----→)、S3 (·····→)，詳見圖 5 的圖示；有 1 位學生 (S2) 保持科學模式 (見圖中的實線→)；1 位學生 (S13) 演變成壓力雙模式 (PDSR)；1 位學生 (S7) 演變成外壓—活性模式 (POAR)。教學後，有 9 位學生持續保持科學模式，但有 1 位學生 (S8) 變成引力模式 (PCsIR)、有 3 位學生 (S7, 9, 14) 演變成重量模式 (PCsWR)，S13 學生則繼續演變成雙模式—類科學 (PDSiR)。

14 位學生教學前、中、後心智模式演變的途徑大致可分為五大類型：一直維持科學模式 (S2)、從多樣性粒子觀直接演變至科學模式並穩定維持在科學模式 (S1, 3, 4, 10, 11, 12)、從外壓—重量模式 (COWH) 直接演變至科學模式並穩定維持在科學模式 (S5, 6)、從多樣性想

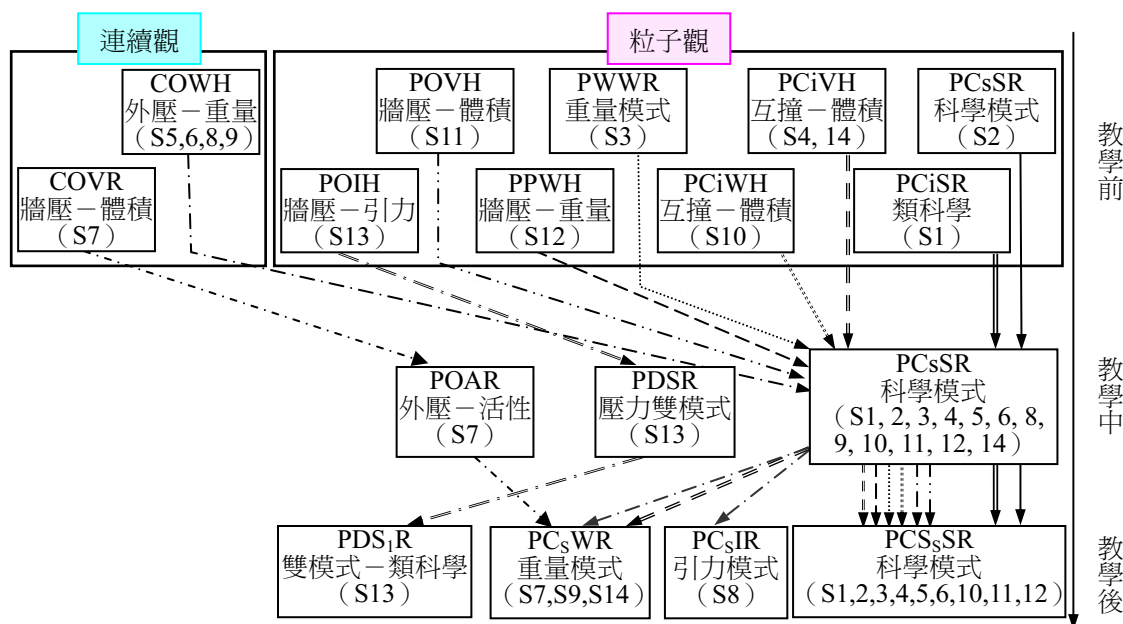


圖5. 14位學生教學前、中、後心智模式演變的途徑

法直接演變至科學模式但又產生概念回歸 (S9) 或合成心智模式 (S8, 14)、想法一直改變但逐漸接近科學模式 (S7, 13)。

晤談資料的分析結果顯示，學生經由具體動態的粒子模型教具，理想氣體模型的投影片及電腦動畫教學後，14 位學生在氣體的粒子觀及剛性粒子的概念改變上是十分成功的。經由觀察動態的粒子模型、電腦動畫及親身體驗氣體粒子的角色扮演，在教學後對於氣體粒子的分布、運動都演變成 100%科學想法，顯示教學中多次使用動態表徵來呈現抽象概念，的確有助於學生建立粒子次微觀運動及交互作用的機制。而在壓力的成因與影響的因素兩個子概念上，11 位學生改變其原有想法而趨向科學模式。

伍、討論

一、表徵與現象類似的教學模型有助於學生建立正確想法

全體學生與 14 位學生經過 4 節課教學後，經由觀察粒子運動的動態模型模擬氣體粒子隨機運動／分布與撞擊器壁等情形，來瞭解氣體粒子的次微觀行為；藉著操弄肺部呼吸模擬器來探討波以耳定律，不僅可建立壓力與體積的數學關係式，亦可瞭解當體積變小時，粒子的次微觀行為是如何影響壓力的變化。教學中的晤談分析顯示，14 位晤談學生建立了粒子模型的觀點（剛性粒子、隨機運動與分布、粒子之間是真空的），僅 2 位學生 (S7, 13) 在壓力的成因與影響壓力因素方面仍有錯誤。就如同 Johnson-Laird (1999) 的觀點，心智模式是一種

抽象的類比表徵，人們藉由感官（視覺、聽覺與觸覺等）提供並篩選外在的資訊而建立個人的心智模式，因此教學過程中提供與現象類似的模型，將有助於學生建立正確的想法，並逐步修正個人錯誤的模式（Buckley & Boulter, 2000）。模型化教學除了幫助學生修正錯誤想法，也幫助學生增加概念的豐富性，更促進學生以粒子的行為來解釋巨觀現象（如當溫度上升表示粒子的動能也隨之增加），進而連結符號表徵（如 $E_k = 3/2RT$ ）（Johnstone, 1991, 1993, 2000）。然而在壓力影響因素概念上，因為影響因素屬於多重變因，僅使用類比模型對於部分學生的推理幫助有限，因而教學後仍有 21.4% 的學生產生錯誤的連結或推論，進而產生概念回歸與新的迷思概念。

研究結果也呼應：根據現象或概念的特性，選用適合的模型表徵方式與屬性，可以讓學生藉由模型的多重表徵來學習而建立具有相同屬性的心智模式（邱美虹，2006；Buckley & Boulter, 2000; Chiu & Chung, 2007）。本研究所使用混合模型中所呈現的動態表徵都可以補足課本內以圖文靜態表來呈現動態屬性或次微觀概念的不足，直接將科學概念中具有動態性的概念視覺化、次微觀概念具體化，可減少學習者因空間推論的缺乏或不足所造成的心智負荷與迷思概念的產生。

二、概念改變涉及豐富化與修正

在概念改變方面，學生對於氣體的想法從連續觀演變成粒子觀看似兩種不同模型的轉變，然從 Vosniadou（2002）觀點而論，這種想法演變近似於「將新概念加入現有的理論架構中」，學生從教學活動中認識氣體粒子模型，進而瞭解到氣體的某些行為與液體是不同的，是屬於概念的豐富化（enrichment），此部分的想法較易進行改變，且改變後也不容易再回歸成原來的想法。學生認為氣體粒子會熱脹冷縮轉變成剛性粒子的部分則近似於「新資訊與現有的理念或預設想法不同時」所產生的概念的修正（revision），經由動畫與老師的口語解釋，高二學生已能接受氣體粒子如同小鋼球一般，在受熱後並不會熱脹，而是粒子的動能增加，在概念改變後也能穩定維持正確的想法。

三、學生心智模式的發展情形不一定是線性發展

14 位學生教學前、中、後心智模式演變的途徑大致可分為五大類型，僅 S7 與 S13 兩位學生心智模式的發展情形與 Johnson（1998）提出的線性發展相近，意即學生是從模式 A（連續物質但有粒子的觀點）→模式 B（粒子就是物質，但有巨觀的特徵）→模式 C（粒子就是物質，巨觀的現象是粒子集合行為），其他學生心智模式的演變不一定是 A→B→C 線性發展。S1, 3, 4, 10, 11, 12 從多樣性粒子觀直接演變至科學模式並穩定維持在科學模式，則是從模式 B 演變成模式 C。S5, 6 從外壓—重量模式（COWH）直接演變至科學模式並穩定維持在科學模式，則類似於從模式 A 直接演變成模式 C。

四、學生的心智模式具有融貫性

對於心智模式是否具融貫性的問題，教學前的晤談分析指出，學生的想法具有融貫性，S2 學生是屬於正確而融貫的科學模式 (Chi & Roscoe, 2002)，並在整個教學過程中一直維持穩定的心智模式。5 位同學 (S5, 6, 7, 8, 9) 則屬於融貫而不正確的心智模式，他們認為氣體是像液體一樣連續而緊密地分布在容器中，壓力是外在壓力所造成，也會以液壓的方式來解釋氣壓，因而產生砝碼或氣體重量／體積會影響氣壓的錯誤連結。這類型學生缺乏粒子模型等相關命題，在概念相關命題方面缺乏完整性 (Chi & Roscoe, 2002)，然而他們的氣體概念已形成系統性、融貫性的知識系統 (Carey, 1985; Vosniadou, Vamvakoussi, & Skopeliti, 2008)。教學後，學生概念命題正確性與完整性皆增加，大多數學生也朝向更為科學、更融貫的心智模式。

五、教學前學生的心智模式較容易出現情境相依

學生在教學前的晤談中在某些特殊的情況下呈現出其心智模式是情境相依的，例如，說 S13 學生在未加熱的情境中會認為粒子是隨機運動／分布，但加熱的情境中會傾向認為粒子呈現隨機且對流運動及分布在容器上方會多一些，3 位學生 (S1, 4, 11) 則認為加熱後氣體粒子仍是隨機運動但在上方會分布稍多一些。這類情形回應 Vosniadou 和 Brewer (1992) 所提出，穩定的心智模式在進行個案推理的過程中，可能被修正成暫時的、特定情境的模型。個人在解決不同情境的問題時，會視工作情境的不同而在不同的表徵中穿梭，而心智模式的表徵僅呈現出與情境相依的一些面向 (Buckley & Boulter, 2000)。教學後，由於學生的心智模式形成正確而系統性的連結，在晤談中表示溫度升高會改變粒子的運動速率，進而增加碰撞器壁的頻率，但不會改變隨機運動與分布的情形，心智模式較不因外在變因的改變而出現情境相依的情形。

六、學生心智模式的演變不一定朝向科學模式

經過四節課教學後，由於在道耳頓分壓定律中探討蒸氣壓的概念，其中提及液體的分子間作用力會影響飽和蒸氣壓，因而 S8 學生在處理理想氣體問題時，認為引力會影響壓力大小，從科學模式 (PSSR) 演變成引力模式 (PSIR)，主因學生無法區別理想氣體與非理想氣體之間的差異。此部分的結果與 Vosniadou (2002) 提出「孩童將科學的知識增加到初始的解釋架構中時，會破壞架構的一致性，最後再與科學模式一致」的論點相左，研究者推論是本研究中涉及兩種不同的科學模型 (理想氣體與非理想氣體)，而 Vosniadou 僅針對一種科學模型 (牛頓力學) 所提出的觀點。此部分的分析結果指出，當學生無法建立不同理論模型的限制與應用範圍時，有可能從科學模式再度演變成類科學模式或部分不正確的心智模式。此外，從學習的歷程而論，本次研究的教學時間較短，學生可能會因錯誤的連結而暫時修正或改變其心智模式，而由科學模式暫時轉為引力模式，若學習時間繼續延伸，學生確實有可能再度由引

力模式轉變成科學模式。

七、系統性心智模式的分析有助於評量與教學設計

本研究採用組合編碼方式系統性地分析學生的心智模式，可以從編碼的組合看出學生對理想氣體粒子模型的不同子概念的整體想法，並從認知編碼的改變瞭解到哪些心智模式的組成是較容易改變的。此種分析方式不僅系統性評量學生概念的轉變，亦可從不同的認知成分（如剛性粒子、氣體粒子觀—隨機分布、壓力成因、影響壓力的因素）設計多重表徵的呈現（教學）模型，以幫助學生學習次微觀、巨觀與符號表徵之間的轉換。

陸、結論與建議

由上述的分析結果，本研究可獲至下列結論，並在教科書的表徵、教學策略與研究方法等方面提出建議。

一、結論一：多重表徵的呈現模型有助於科學學習

由於心智模式是動態的結構並深受外在情境的影響與限制（Johnson-Laird, 1999），因此在教學模型的設計上，應借重個人感官的知覺以形成正確的想法。本研究中，學生經由觀察具體模型、電腦動畫及理想氣體粒子模型的投影片、角色扮演等多重表徵模型的活動，藉著視覺、聽覺、肢體動作等感官刺激來建立與觀察現象相同的心象，在教學過程中逐步修正或精緻化個體的心智模式而趨近科學模式。研究結果顯示，多重表徵模型教學對於氣體本質是粒子觀—隨機分布、隨機運動的概念，氣體粒子之間的空隙是真空的，理想氣體模型中剛性粒子等概念教學成效顯著。

二、結論二：心智模式的改變得以呈現學生的學習歷程

本研究在分析學生心智模式的過程中得以瞭解學生的知識是逐步建構出屬於科學性的心智表徵。一個一個的概念特徵逐漸統整到原概念體系中，其演化發展的歷程可以說明知識建構的組成與轉變是緩慢的，因此需要教師逐步做認知上的引導。

三、建議

根據本研究的結果，提出以下幾點建議：

（一）在科學學習方面：本研究結果顯示，學生在理想氣體中粒子概念的學習與改變上是有難易程度上的差異。這樣的差異顯示學生透過多重表徵的教學活動，由於活動使得抽象概念得以外顯，因此對於概念學習有具體的成效。因而如何使內隱、抽象、複雜的科學概念得以外顯化、視覺化是有必要的。

(二) 在教學策略方面：科學教師進行課室活動中可在時間許下採用多重表徵的模型教學活動，例如說具體的動態模型教具、肢體活動的角色扮演活動等，幫助學生藉由呈現模型與不同表徵之間的交互作用，來觀察並進一步瞭解現象中所蘊含的科學模型，藉以立即修正或精緻化個人的心智模式。而教學活動中若能透過不斷的認知衝突，讓學生去反思個人想法或心象中錯誤的部分，藉著呈現模型的多重表徵與所觀察現象的交互作用下，動態修正學生的心智模式，從而建立學生理想氣體的科學概念。

(三) 在教科書方面：教科書雖然是平面的教材，但是未來教科書中宜強調動態視覺化圖片的設計，使科學概念得以在二度空間上呈現三度空間或動態的運動現象。除此之外，教科書再輔以電子化的投影片及電腦動畫教學，詳述理想氣體粒子的科學模型，特別是剛性粒子的概念（粒子體積不隨溫度或壓力改變、粒子碰撞時為彈性碰撞），將有助於學生的學習。

(四) 在研究方法方面：本研究透過量化研究與質性資料的結合分析出學生的心智模式，此為特色一，未來相關研究可採用這種三角校正的原則去驗證研究的結果。其次是本研究將學生對理想氣體粒子的科學模型先從粒子特性著手，再就該模型中的各自屬性與相互影響的因子（如剛性粒子、溫度、壓力、體積等）做交叉比對，以便準確地描述學生對理想氣體粒子的科學模型理解的狀況。這部分的交叉比對，研究者提出詳盡的說明，以作為日後對此方法有興趣的研究者之參考與檢驗。第三是本研究在此處並未針對多重表徵中（具體、視覺、語文、數學與動作等表徵）的各自效果進行檢測，未來可針對多重表徵教學中的每一個表徵策略進行較細微的檢測，以瞭解不同表徵是否影響學生不同概念的建構。

誌謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會經費補助（計畫編號：NSC-93-2511-S-003-040、NSC94-2511-S-003-010、NSC-97-2511-S-003-025-MY2），謹此致謝。

參考文獻

一、中文文獻

- 史嘉章 (2002)。發展二階試題以探討國高中學生氣體迷思概念 (未出版碩士論文)。國立臺灣師範大學, 臺北市。
- 【Shih, C.-C. (2002). *Developing a two-tiers test to diagnose different types of misconceptions of gas among secondary school students* (Unpublished master's thesis). National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan.】
- 吳怡嫻、邱美虹 (2006, 12 月)。探究高中生氣體粒子概念之心智表徵與課本表徵之關聯性。論文發表於中華民國第 22 屆科學教育學術研討會, 臺北市。
- 【Wu, Y.-S., & Chiu, M.-H. (2006, December). *An investigation of relationship between senior high school students' mental and textbook representations*. Paper presented at the ROC 22nd Annual Conference on Science Education, Taipei, Taiwan.】
- 吳明珠 (2004)。從科學史中理論模型的發展暨認知學心智模式探討化學概念的理解—層析理論的模型化案例 (未出版博士論文)。國立臺灣師範大學, 臺北市。
- 【Wu, M.-C. (2004). *The role of models in concept acquisition: Through history of science and student's mental models during the development of theories—The case of chromatography* (Unpublished doctoral dissertation). National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan.】
- 邱美虹 (2006)。科學概念學習研究 (VI): 化學科—子計畫二: 台灣地區中學生「粒子與化學平衡」概念之心智模式與概念改變之研究。行政院國家科學委員會計畫結案報告。臺北市: 國立臺灣師範大學科學教育研究所。
- 【Chiu, M.-H. (2006). *A study of learning scientific concepts (VI): Chemistry—Project 2: A study of secondary school students' mental model and conceptual change in Taiwan*. National Science Council technical report. Taipei, Taiwan: Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University.】
- 邱美虹、翁雪琴 (1995)。國三學生四季成因之心智模式與推論歷程之探討。科學教育學刊, 3 (1), 23-68。
- 【Chiu, M.-H., & Wong, H.-C. (1995). 9th graders' mental models and generating inference of four seasons. *Chinese Journal of Science Education*, 3(1), 23-68.】
- 邱美虹、陳英嫻 (1995)。月相盈虧之概念改變。師大學報, 40, 509-548。
- 【Chiu, M.-H., & Chern, I.-S. (1995). Conceptual change of moon phases. *Journal of National Taiwan Normal University*, 40, 509-548.】
- 邱美虹、劉俊庚 (2008)。從科學學習的觀點探討模型與建模能力。科學教育月刊, 314, 2-20。
- 【Chiu, M.-H., & Liu, C.-K. (2008). From science learning points of view to explore model and modeling ability in science education. *Science Education Monthly*, 314, 2-20.】
- 洪振方 (1987)。學生空氣體積及壓力之粒子模型概念與推理能力之相關研究 (未出版碩士論文)。國立臺灣師範大學, 臺北市。
- 【Hong, J.-F. (1987). *A study of student's conceptions about particle models reasoning ability about gas volume and pressure* (Unpublished master's thesis). National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan.】

陳盈吉 (2004)。探究動態類比對於科學概念學習與概念改變歷程之研究—以國二學生學習氣體粒子為例 (未出版碩士論文)。國立臺灣師範大學, 臺北市。

【Chen, I.-J. (2004). *To inquiry the processes of students' learning and conceptual change when they use dynamic analogy for learning—An example of 8th students to learn the concepts about gas particles' movement* (Unpublished master's thesis). National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan.】

鍾曉蘭、邱美虹 (2006, 12月)。探究高二學生理想氣體中混合氣體的心智模式與概念改變。論文發表於中華民國第22屆科學教育學術研討會, 臺北市。

【Chung, S.-L., & Chiu, M.-H. (2006, December). *A study of investigating 11th graders' mental models and conceptual change of mixed gases of ideal gases*. Paper presented at the ROC 22nd Annual Conference on Science Education, Taipei, Taiwan.】

潘冠錡、陽季吟 (2006)。氣體動力論。取自 <http://163.21.249.238/>

【Pan, G.-C., & Yang, C.-Y. (2006). *Kinetic theory of gases*. Retrieved from <http://163.21.249.238/>】

二、外文文獻

Adadan, E., Trundle, K. C., & Irving, K. E. (2010). Exploring grade 11 students' conceptual pathways of the particulate nature of matter in the context of multi-representational instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(8), 1004-1035.

Benson, D. L., Wittrock, M. C., & Baur, M. E. (1993). Students' preconceptions of the Nature of Gases. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(6), 587-597.

Boulter, C. J., & Buckley, B. C. (2000). Constructing a typology of models for science education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 41-57). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic.

Buckley, B. C., & Boulter, C. J. (2000). Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 119-135). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic.

Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Chi, M. T. H. (2005). Common sense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161-199.

Chi, M. T. H., & Roscoe, R. D. (2002). The process and challenges of conceptual change. In M. Limon & L. Mason (Eds.), *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice* (pp. 3-27). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic.

Chiu, M.-H., & Chung, S.-L. (2007, August). *Investigating correctness, consistency, and completeness of students' mental models and paths of conceptual change in learning the nature of gas particles via multiple modeling activities*. Paper presented at 2007 ESERA Conference, Malmö, Sweden.

Chiu, M.-H., & Chung, S.-L. (2009, September). *Investigating students' ontological change in their*

- mental models of gas particles*. Paper presented at the 2009 ESERA Conference, Istanbul, Turkey.
- Chiu, M.-H., Guo, C.-J., & Treagust, D. F. (2007). Assessing students' conceptual understanding in science: An introduction about a national project in Taiwan. *International Journal of Science Education, 29*(4), 379-390.
- de Berg, K. C. (1995). Student understanding of volume mass, and pressure of air within a sealed syringe in different stage of compression. *Journal Research in Science Teaching, 32*(8), 871-884.
- de Vos, W., & Verdonk, A. H. (1996). The particulate nature of matter in science education and in science. *Journal of Research in Science Teaching, 33*(6), 657-664.
- diSessa, A. A. (1988). Knowledge in pieces. In G. Forman & P. Pufall (Eds.), *Constructivism in the computer age* (pp. 49-70). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- diSessa, A. A., Gillespiea, N. M., & Esterlyb, J. B. (2004). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive Science, 28*(6), 843-900.
- Duit, R., Treagust, D., & Mansfield, H. (1996). Investigating student understanding as a prerequisite to improving teaching and learning in science and mathematics. In D. Treagust, R. Duit, & B. Frasset (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics* (pp. 17-31). New York, NY: Teachers College Press.
- Freksa, C., & Barkowsky, T. (1999). On the duality and on the integration of propositional and spatial representations. In G. Rickheit & C. Habel (Eds.), *Mental models in discourse processing and reasoning* (pp. 195-212). Amsterdam, the Netherlands: Elsevier Science B. V.
- Gilbert, J. K., & Boulter, C. (1998). Learning science through models and modeling. In B. Fraser & K. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 53-66). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic.
- Gilbert, J. K., Boulter, C., & Rutherford, M. (2000). Explanations with models in science education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 193-208). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic.
- Gobert, J., Snyder, J., & Houghton, C. (2002, April). *The influence of students' understanding of models on model-based reasoning*. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, New Orleans, LO.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1996). Secondary Students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science Education, 80*(5), 509-534.
- Johnson, P. (1998). Progression in children's understanding of a 'basic' particle theory: A

- longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 20(4), 393-412.
- Johnson, P., & Papageorgiou, G. (2010). Rethinking the introductory of particle theory: A substance-based framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(2), 130-150.
- Johnson-Laird, P. N. (1999). Formal rules versus mental models in reasoning. In R. J. Sternberg (Ed.), *The nature of cognition* (pp. 586-624). Cambridge, MA: MIT Press.
- 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). Chemical education research: Where from here? *University Chemistry Education*, 4(1), 34-38.
- 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.
- Margel, H., Eylon, B. S., & Scherzo, Z. (2008). A longitudinal study of junior high school students' conceptions of the structure of materials. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(1), 132-152.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Millar, R. (1990). Making sense: What use are particle ideas to children? In P. Licht, P. L. Lijnse, W. de Voss, & A. J. Waarlo (Eds.), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles: A central problem in secondary science education* (pp. 283-299). Utrecht, the Netherlands: CD-β Press.
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1981). Pupils' understanding of the particles nature of matter: A cross-age study. *Science Education*, 65(2), 187-196.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.
- Vosniadou, S. (2002). On the nature of naïve physics. In M. Limon & L. Mason (Eds.), *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice* (pp. 61-76). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24(4), 535-585.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*,

18(1), 123-183.

Vosniadou, S., Skopeliti, I., & Ikospentaki K. (2004). Modes of knowing and ways of reasoning in elementary astronomy. *Cognitive Development, 19*, 203-222.

Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (2008). The framework theory approach to the problem of conceptual change. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 3-34). New York, NY: Taylor & Francis.

Journal of Research in Education Sciences

2012, 57(4), 73-101

The Evolution of the 11th Graders' Mental Models of Ideal Gas

Shiao-Lan Chung

New Taipei Municipal
New Taipei Senior High School

Mei-Hung Chiu

Graduate Institute of Science Education,
National Taiwan Normal University

Abstract

Students often face tremendous challenges when learning ideal gas concepts. This is probably because it is difficult for students to experience the microscopic concepts in ideal gas models in their daily observations, and several misconceptions or alternative concepts occur as a result. Thirty-nine Grade 11 students participated in this study. Students were exposed to eight 50-min teaching periods, 14 students (8 males and 6 females) were interviewed, and their verbal and drawing data were collected. This study analyzed concepts related to ideal gas (particle view, gas volume definition, pressure effect, factors affecting pressure, rigid particles, and the distribution and motion of gas particles) in 14 students by using verbal and graphic data retrieved from 3 interviews (before, during, and after instruction). We also analyzed types of ideal gas mental models that the students use, and the evolutionary processes they follow. The results indicate that dynamic particle model concrete teaching aids, ideal gas model slides, and a computer animation and simulation program changed the 14 student conceptions of gas particle views, rigid particles, and the distribution and motion of gas particles. However, 2 incorrect conceptions—causes of gas pressure and factors of gas pressure—hardly changed and even regressed to their pre-instruction conceptions. The evolution of mental models shows that only one student used the scientific model before instruction. After 4 periods of multi-representational modeling teaching activities, 11 students changed their conceptions from incorrect ideal gas models to scientific models (12 students or 85.7%). Of the 11 students, 2 students reverted to the weight model, 1 student used the attractive force model, and 8 students still held the scientific model after 8 teaching periods.

Keywords: mental models, multi-representational modeling teaching, gas particle models

