科學教育學刊 Chinese Journal of Science Education
2003, 第十一卷第三期, 297-330 2003, 11(3), 297-330

高雄市國中小學生氣體迷思概念的認知類型、層次、頻率分佈及認知發展的分析研究

林財庫　林慧潔
高雄師範大學 物理系所

（投稿日期：民國91年12月16日，修訂日期：92年2月27日，接受日期：92年5月15日）

摘要：本文以「氣體微粒理論之兩階段式診斷工具」的施測和部分測後晤談的質性與量性資料來研究高雄市小四至國三共 1261 位學生（測後晤談 96 位）學習氣體之相關概念時（包括氣體的基本組成要素、要素間的交互作用、要素的基本性質（質量、恆動性、體積與溫度間的關係）、氣態的特徵、以及狀態間的轉化（蒸發與凝結）等共 8 個概念）所既有的、或新生的迷思概念類型。運用物質微粒理論（或原子假說、或機械典範）之四對核心範疇的 16 種（$2^4 = 16$）排列組合作為原型來識別（編碼）、歸類、排序受測者對這 8 個概念之各種迷思概念的認知類型，分析其頻率分佈及各概念之各種認知類型隨著不同年級的頻率變化情形（圖 2 至圖 17）。這種新的識別和分類方法也被用來整理前人的研究結果，分析其可能成因，並與本研究所得到的結果進行比較。比較後發現本研究樣本的各種迷思概念類型雖然多數與西方國家的學童相同（不過頻率分佈一般而言都不同），但也存在一些重要的不同類型，尤其是四種與物質本體論相關、具有一般意義的新迷思概念類型，分別是(1) 至少有 15 %以上的國小樣本無法區分「本原（基本組成）與起源或成因」等的不同點（即本原 = 起源 = 成因（或原因））；(2) 至少有 20 %的國中小樣本認為「描述了發生的過程就相當於解釋了發生的原因（過程 = 原因）」；(3) 至少有 25 %的國中小樣本認為「物性可以離開物質獨立存在，或把物性當作是物質（物性 = 物質）」；(4) 有些國中小樣本認為「物性（或物質）有如種子可以再產生其他物質（即物質也像生命體一樣可以生成新物質；物性或物質 = 種子）」。本研究還發現(1) 平均至少有 50 %以上的國中小樣本沒有「氣體具有基本組成要素或結構單元」的本體論信念；(2) 至少有 50 %以上的國小樣本及 10 %以上的國中生樣本無法區辨「原因與結果（原因 = 結果）」。概括所有數據分析的結果顯現出一些規律性的變化，例如國中樣本對於上述氣體的 8 個重要概念的平均認知層次一般都較國小樣本為高，頻率分佈的標準差較國小為寬，高層次認知的頻率較國小為多，且在 5、7 年級時平均認知層次較 4、6 年級時稍高，在 9 年級時則有顯著的提升，但各概念的平均認知層次都在 8 以下（理論的最高層次為 16，圖 10）。本文最後分析氣體迷思概念的一些一般特徵，並討論本文的各種主要發現在發展教材和教學上的可能意義及應用。

關鍵詞：機械典範、微粒理論、迷思概念、認知類型、模式識別。

壹、研究背景、目的及重要性

機械典範是近代自然科學的主要研究綱領，也是近代科技文明的主流思維方式；物質微粒理論則是機械典範的最基本概念架構，是教導和學習機械典範的邏輯起點和基礎；而探究學習者學習空氣（或氣體）之基本組成及基本組成間之交互作用等的性質與特徵之迷思（或既有）概念的認知類型及層次則是教導和學習物質微粒理論的認知起點和基礎。以上的這些觀點可由，例如 Nussbaum（1998）對物質微粒理論之迷思概念的長期研究成果得到支持。他指出：「機械化約論（機械典範）是所有自然科學的本質特徵，獲得這種思維方式應是科學教育的後設目標（metagoal）」(p.177)；又「物質的微粒理論是自然科學中最基本的概念架構，因為教導和學習這個基本概念架構具有相當大的困難度，所以它是一個應用建構主義來改善教學與學習的良好典範」(p.167)。他對物質微粒理論進行認識論的分析（包括內容分析、認知分析、歷史發展分析及科學哲學的知識論分析），根據這些分析的綜合結果提出下列「運用建構主義來進行物質微粒理論教學」時的一些主張，其中與本文內容相關者節要討論如下 (p.180-188)：

一、教學策略應能激發和提升學生對於(學科內容之）主要概念和基本假設之另有理論的公開辯論，這些辯論應能導致學生對於相關概念的意義得到理智的付出與收穫（p.188)。在此所謂的「主要概念和基本假設的另有理論」包括所欲教導之理論的基本假設及其另有理論（例如物質是連續的、靜態的，還是斷續的、動態的；真空是真實的還是人為的，是長久的還是短暫的)、一般認識論的基本假設及其另有理論（例如知識來自於感覺經驗，或來自理性思辨)及世界觀的基本假設及其另有理論(例如目的論或決定論的世界）等。（註：本項主張是一般化的通則)。

二、有關物質微粒理論之一些認識論假設（例如上述認知和知識的基礎是來自於感覺經驗？還是來自於理性的思辨和深思？還是其他）的公開討論（或辯論)，對於達成概念改變和有意義學習的認知目標具有關鍵的重要性。（註：此為第一項通則在物質微粒理論之建構論教學上的應用)。

三、物質微粒理論的教學應由討論（或辯論）真空的概念開始（第一項通則的應用)。

四、質疑和辯論有關物質的組成與結構，應以探究空氣和其他氣體之物理性質做為起點和基礎（參本文)。

五、在物質微粒理論的歷史發展中被證明有效的類比和關鍵實驗應被考慮在教學中使用（例如以此作為概念重建和概念改變之教學模式與策略的參考)。（註：這項主張是一般化的通則)。

本文遵循這些主張及研究方向，運用物質微粒理論之認識論分析所得到的 16 種理論模式和兩階段式的診斷工具（林財庫, 2003）來辨識高雄市部分國中小學生學習氣體之相關概念時所既有或新生之迷思概念的類型與層次，為有意義和有效率之「氣體微粒理論」、「物質微粒理論」、「原子假說」和「機械典範」的科學教學與學習提供參考。

貳、文獻探討及分析

一、氣體之迷思概念的先前研究及可能成因

Andersson（1990）在概括前人及自身之實徵研究結果的基礎上指出「在日常生活的思維方式中，物質（包括氣體）被視為是宏觀的、連續的、靜態的、和沒有真空的存在（日常生

活的思維是以具體的和可觀測的東西為對象)；在另一方面，科學思維則視物質為微觀、微粒、動態和有真空存在」。因此學生學習氣體之微粒理論時其認知的過程和規律是從宏觀到微觀、從連續到斷續、從靜態到動態、從無真空及無交互作用到有真空和有交互作用。本文根據這些氣體微粒理論之迷思概念的特徵（即宏觀、連續、靜態、無真空或無交互作用）以及學習這個理論之核心概念時的認知過程和規律嘗試把前人研究所得之有關氣體迷思概念的各種類型稍做整理，並猜測其可能成因（限於篇幅這些可能成因的理論根據和歷史的相似案例分析將另文討論)，討論如下：

(一)氣體及其基本性質

在氣體及其基本性質的迷思概念方面，其主要類型及可能成因概要如下：

1. 氣體看不見、感覺不到故不存在（其成因可能來自認為「感覺經驗才是真實」之日常生活的信念）；
2. 氣體不佔空間故不存在（其成因或許來自經驗論的信念或初級常識層次的推理）；
3. 氣體不是物質（學生認為只有可見的固體和液體才是物體或物質，氣體和其他不可見、沒有重量的東西等都不是物質（Mas, Perez & Harris, 1987; Stavy, 1991）（可能成因同上）；
4. 氣體不可捉摸、虛無飄渺，與思想或靈魂同類（Brook, 1989; Mas, Perez, & Harris, 1987; Piaget, 1974; Sere, 1985, 1986; Stavy, 1988）（其成因或許來自氣體 = 呼吸 = 生命 = 思想 = 靈魂等的模糊聯想）；
5. 常把氣體說成是空氣。例如把產生氣體說成是產生空氣（Karplus, 1967）（其成因可能是來自於以感覺和經驗上較熟悉的空氣做為氣體的原型）；
6. 氣體是一團團如雲般流動的物質或流體（黃湘武、黃寶鈿, 1986）（其成因或許是來自於靜態或動態雲彩的觀察印象）；
7. 認為空氣是有益的，氣體（例如瓦斯）是有害的（以自我為中心的日常生活印象）；
8. 誤認空氣和其他氣體是純物質。例如認為氣體 = 空氣 = 純物質 = 水蒸氣 (Bar & Gaglili, 1994。其成因同 5）；
9. 氣體是物質，但它沒有重量（質量）或重量（質量）為負（Brook, 1989; Lebouteet-Barrell, 1976; Stavy, 1988。其成因或許來自於有質量的物體向下掉，而空氣漂浮在空中，或氣球灌越多氣體越輕、越容易往上飛等的感覺經驗和初級常識層次的推理）；
10. 若地球表面上沒有空氣（真空）則物體將不會下落，物體的重量將變成零 (Ruggiero et. al., 1985。其成因或許來自媒體中所見外太空（沒有空氣）物體失重的印象）；
11. 氣體有重量，但在有氣體參與的狀態變化中質量不守恆（例如在物理變化中，液體變氣體後質量（或重量）減少（Bar & Travis,1991）；在化學變化中若有氣體產生則質量不守恆 (Andersson, 1990。其成因或許是來自感覺經驗上氣體較輕的印象）。

這些氣體或空氣之迷思概念類型的認知發展順序嘗試整理如下：「空氣（或氣體）看不見故不存在□不佔空間故不存在（不是物質、與靈魂或思想等同類）→有風故可推知空氣存在，但它（或它們）不見得是物質□空氣是物質而且是純物質（氣體 = 空氣 = 大氣 = 水蒸氣）→空氣（或氣體）是物質但不見得有重量→空氣有重量但重量不見得是正的（可能是負的重量）→沒有空氣物體就沒有重量，因而就不會往下掉→空氣（或氣體）重量為正但在

變化中重(質)量不守恆」。值得一提的是上述箭頭（→）只用來表示認知層次（由低至高）的大略順序，不具有箭頭前後之迷思概念類型存在線性發展關係或連續關係等的意涵，本文中的其他箭頭也都是如此。

(二)氣體之基本組成

在氣體之基本組成要素及其性質的迷思概念方面，其主要類型及可能成因概要如下：

1. 沒有「物質（包括氣體）具有基本組成」的觀念。儘管一些學生可能會認為物質可以分解為很小的顆粒，但卻不知道（或不認為）這些小顆粒是構成物質的基本組成，不知道這些基本組成在某種條件下會形成各種物質（Pfundt, 1981）（其可能成因或許是科學教材及教師沒有自覺的強調這種本體論的信念）；
2. 氣體是由一團團（一塊塊）如雲般的流體所組成，它們是靜止的，有風才會動（Andersson 1990）（其成因可能來自於靜態或動態雲彩的觀察印象）；
3. 氣體是由顆粒所組成，這些顆粒沒有一定的大小和形狀，顆粒之間沒有空隙，靜態的充滿整個空間或容器中，因此氣體的體積就是所有顆粒的總體積（Andersson 1990; Holding, 1987; Pfundt, 1981; 黃寶鈿, 1990; 洪振芳, 1987; 李明中, 1993）（其成因可能是來自可見的物質（固體或液體等）為連續、無限可分的聯想或推論，因此認為氣體顆粒是由無限可分的物質連續體中所產生）；
4. 氣體是由小顆粒所組成，這些顆粒是靜止的，而且小顆粒間有很大的空隙（Novick & Nussbaum, 1981）其成因可能是受教科書中靜態的插圖所誤導或誤解（Andersson, 1990）；
5. 容器中之氣體的組成顆粒聚集在容器的氣嘴口（出氣口）或底部（Novick & Nussbaum, 1978）（氣體顆粒聚集在出氣口的想法可能來自於氣體（或氣球）往上升的日常經驗，Nussbaum（1985）還引用 Aristotle 的「天然位置論」（即空氣的天然位置在天空，所以氣體往上漂浮）來解釋這類迷思概念的可能成因；至於氣體聚集在底部的想法可能來自於氣體的組成顆粒有重量因此會往下聚集的推論）；
6. 空氣受熱膨脹是空氣的組成顆粒自身膨脹的結果；又容器抽氣後小顆粒也會膨脹，然後分解成更多更小的顆粒以便再度佔滿空間（黃湘武、黃寶鈿, 1986; 李明中, 1993）（前一種類型的迷思概念可能來自於固體受熱膨脹的聯想；後一種類型可能來自於氣球膨脹破裂的經驗）；
7. 氣體的組成顆粒會運動，因此能均勻的分佈在容器中，但均勻分佈後顆粒的運動即停止（Ben-Zvi et. al., 1987; Novick & Nussbaum, 1978, 1981）（其成因可能是來自教科書之插圖的被誤解（Andersson, 1990），或者是宏觀物體之運動最後必然會停止的觀察）。

這些氣體或空氣之基本組成及其性質之迷思概念類型的認知發展順序嘗試整理如下：「不知道物質有基本組成、或空氣是純物質□空氣是由一團團（一塊塊）雲彩所組成，這些雲彩有風才會動→空氣（或氣體）是由一些透明的靜態顆粒所組成，這些顆粒之間沒有任何空隙（即連續體）→空氣（或氣體）是由一些看不見的靜態（小）顆粒所組成，顆粒之間有空隙□空氣（或氣體）的組成顆粒有負的重量，且會向上運動□空氣（或氣體）的組成顆粒有重量，且會受地心引力的向下運動□空氣（或氣體）的組成顆粒可以到處運動，但均勻分佈後就會停下來□空氣（或氣體）的組成顆粒受熱

會膨脹，外界壓力降低（抽氣）時也會膨脹，並且碎裂成更小的顆粒，再度填滿空隙（物質連續觀）」。以上的所有迷思概念類型，都不表示學習者具有「物質具有基本組成或結構單元，且這些組成或單元在變化的過程中保持不變」的本體論信念。

(三)與氣態相關之狀態轉化的概念（蒸發與凝結）

在蒸發之迷思概念方面，其主要類型及可能成因概要如下：

1. 注意到蒸發和汽化（沸騰）的現象但不在意它們的成因，或無法區分和解釋這些現象。例如認為蒸發或汽化的發生是很自然的，不須要原因（Bar, 1986）(其成因或許是「只須知其然，不須知其所以然」的實用主義心態）；
2. 認為物質蒸發了（例如變成氣體不見了）就是消失了（例如潮濕的糖乾燥後，兒童猜測水份憑空消失了（沒有物質守恆的想法））（Bar, 1986, 1991; Russell et. al., 1989）（其成因可能是認為感官直覺的經驗是可靠的）；
3. 認為蒸發（或汽化）而消失的液體（小水滴）是跑到某個地方去了，但不知跑到何處（Bar, 1986, 1991）（即有物質守恆的模糊想法，但概念不清晰，其成因或許是只能做局部觀察，無法作較大整體的掌握）；
4. 認為任何液體的蒸發都是變成水蒸氣或者是含水的空氣、或者是小水珠（其成因或許是錯誤的認為液體就是指水（或必然含有水份）的穩固心理意象（Stavy, 1990））；
5. 把物質的蒸發（或汽化）想象是變成一團團類似水氣的東西（如雲霧一般），進入到靜態的空氣（或天空容器）中（其成因或許是來自於觀察天空中靜態或動態之雲彩所得到的穩固心理意象）；
6. 一個瓶子加蓋後，水不能跑到空氣中，所以不會發生汽化或蒸發的現象（Bar, 1986, 1991。其成因可能是兒童認為水在蒸發或汽化之後會由原來的盛水容器跑到另一個容器（天空）中（Sere, 1985），因此如果一個容器加了蓋子與空氣隔絕後，容器內的液體就不會蒸發或汽化（即不會跑到天空容器中去））；
7. 相信液體蒸發後必跑到其他地方去，但卻認為液體蒸發前及蒸發後的總重量不相等（例如水的重量 > 水蒸氣的重量）（Bar & Travis, 1991。其成因或許是感覺經驗層次的錯誤推論（液體比氣體重））；
8. 當嘗試用顆粒的概念去解釋蒸發的現象時，常無清晰的守恆概念。例如在密閉容器裡，當液體轉化為氣體或是蒸汽後總重量或質量會減少（例如密閉容器中的丙酮、酒精蒸發或樟腦丸昇華後，因為消失不見，所以總重量會減輕，較小年紀之孩童的解釋是氣體沒有重量，較長孩童的解釋則是液體比氣體重（Stavy, 1988; 陳世雄, 1992。其成因或許是來自感覺經驗層次的推理）；
9. 認為水的蒸發不需要吸收熱量；或所需的熱量來自於它本身所固有、或來自於本身之組成顆粒間的交互作用，而與它的外在環境無關，因此認為熱水的蒸發量必較冷水的蒸發量為多（其成因或許是把「有條件成立的現象」，不當的擴展為「在任何條件下皆成立」）；
10. 誤認為水蒸發後變成氫氣和氧氣（Bar & Gaglili, 1994; Osborne & Cosgrove, 1983. 其成因或許是誤用「水是由氫（分子）和氧（分子）所組成的科學概念」。

這些迷思概念類型的認知發展順序嘗試

整理如下：「只須知其然，不須知其所以然→物質蒸發不見了就是消失了（沒有物質守恆的概念）→蒸發的水蒸氣跑到某個地方，但不知跑到哪裡去→液體的蒸發都變成水蒸氣（而水蒸氣就是空氣）→液體蒸發變成一團團類似水氣的東西上升到靜態的天空容器中→容器加蓋後水蒸氣不能跑到天空容器中，所以密閉容器中的液體不會蒸發→液體蒸發前後重量不相等（開始有量化的想法）→以微粒的量化想法來解釋液體蒸發前後重量（或質量）不相等→以量化或微粒量化的觀點來解釋蒸發的原因」。

在凝結之迷思概念方面，其主要類型及可能成因概要如下：

1. 注意到凝結的現象但不在意去尋求原因（其成因或許是來自於「只須知其然，不須知其所以然」之日常生活思維的滲透）；
2. 不知道什麼是凝結或無法解釋凝結的成因（例如當被問及「把手放在水蒸氣上方，手為何會變濕？」學童回答「這是因為手受熱而流汗，或氧氣 + 氫氣變成手上的水」）（Bar & Travis, 1991。其成因或許是感覺經驗層次的推理，或不當的運用教材或教師所教導之「水是由氫和氧所組成」的科學概念）；
3. 誤認「凝結只是水汽的自然聚集，或水汽合併，或水滴融合，或水滴凝固」等。（賴篁川, 1994。其成因或許是感覺經驗層次的觀察和推理）；
4. 誤認凝結所產生的水是由「冷的東西（coldness）」轉化而來（Bar & Travis, 1991）；或者是「冷東西」穿過玻璃杯壁所形成的（Osborne & Cosgrove, 1983）（其成因或許是把冷和熱視為是物質的錯誤聯想（即凝結 = 冷 = 水 = 物質；蒸發 = 熱 = 水蒸氣 = 物質））。
5. 認為「凝結是水分子移動的更加緊密的聚集在一起」（Osborne & Cosgrove, 1983。其成因或許是來自感覺經驗的推論）；
6. 誤認凝結所產生的水是「冷（cold）或冷的東西」導致空氣中的氫氣（或氫分子）和氧氣（或氧分子）結合所產生的（Bar & Travis, 1991; Osborne & Cosgrove, 1983）（其成因或許是誤用「水是由氫（分子）和氧（分子）所組成的科學概念」）；

這些迷思概念類型的認知發展順序嘗試整理如下：「凝結這種現象（跟其他現象一樣）不需要解釋→凝結是水汽（團塊、小水滴等）的自然聚集（或合併、或融合）→凝結的水是由冷物質直接轉化而來的→凝結的水是由冷物質所造成之氫和氧的結合所產生的→凝結的水是由冷或冷物質所造成之氫和氧的結合所產生的→凝結是水分子移動的更加緊密的聚集在一起→凝結的水是由冷或冷物質所造成之氫分子和氧分子的結合所產生的」。

二、氣體微粒理論之迷思概念的類型與層次的分類方法

Novick & Nussbaum（1978, 1985）在分析「物質微粒理論」的內容之後，指出此理論包含五個主要特徵，分別是：1. 物質是由微粒所組成；2. 微粒非常的小（不可見）；3. 微粒間沒有任何東西（真空）；4. 微粒不斷的在運動（縱使沒有外力（外因）的作用）；5. 微粒間有交互作用。這五個特徵與原子假說的內容一致（Feynman, 1963, p.4），也與牛頓機械化約論的看法相同（機械典範的兩個核心概念是「運動的微粒以及微粒間存在交互作用」，引自 Westfall, 1980, p.632）。分析物質微粒理論（或原子假說、或機械典範）的這五項特徵，可萃取出四對可作為分類指標的特徵範疇，分別是

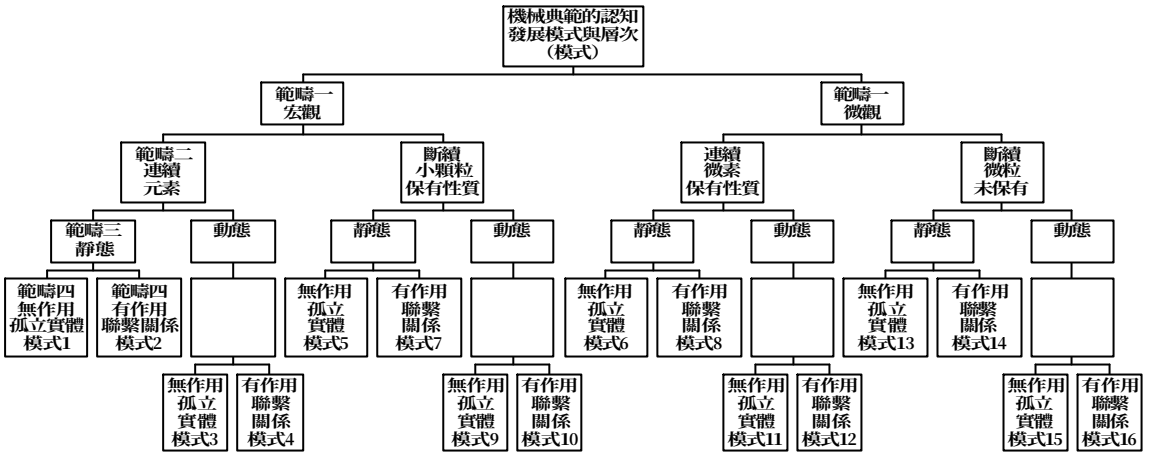


圖 1：內容（邏輯）分析、認知分析與歷史發展分析相結合之「物質微粒理論（或機械典範）」的認知（或認識或思維）模式與層次

（宏觀與微觀）、（連續與斷續）、（靜與動）、（無交互作用與有交互作用）。每一對「範疇對」都可以作為識別及分類學習者學習物質微粒理論（或原子假說、或機械典範）時所既有或新生之認知類型的「特徵指標」(Nussbaum, 1985; Andersson, 1990; Nakhleh & Samarapungavan, 1999)，而四對「範疇對」的整體就構成了一個局部完整的「指標體系」。由這四對範疇對的排列組合所構成的 16 種（$2^4 = 16$）範疇結構模式（圖 1）就成為辨識（識別）學習者學習物質微粒理論時所可能擁有之認知類型的原型 (prototypes)。

若單就上述物質之微粒理論的內容分析而言，這 16 種隱含在物質微粒理論內之邏輯範疇結構模式的地位是相等的（沒有哪一種比另一種層次更高），但如果考慮認知和歷史的發展過程和規律都是從宏觀到微觀、從連續到斷續、從靜態到動態、從無交互作用到有交互作用（Andersson, 1990），那麼這 16 種模式就可以嘗試依認知和歷史（時間）的先後發展順序來加以排列，如圖 1 所示（林財庫, 2003）。本文即是運用這 16 種反應認知和歷史發展過程及規律之物質微粒理論的邏輯範疇結構模式來識別（質性資料的編碼）、歸類、排序受測者在「與氣體相關概念之兩階段式診斷工具（筆試 + 測後晤談）」的質性資料中所顯現出來的既有的或新生的認知類型與層次（參下）。

、研究方法及資料的處理

一、樣本

本文之實徵研究部分，樣本主要以高雄市中小學生為對象，從國小四年級到國中三年級共六個年級。學校和班級的選擇雖然都是方便取樣，但具有某種程度的代表性，例如國小部分的樣本來自十全國小及後紅國小（岡山市）、國中的部分來自龍華國中及瑞祥國中，這些學校大都是中大型（每年級的班級數約 14-24 班）、常態編班、且在自然科學方面的整體表現大都處於常態分佈的中間部分，國中第一次基本學測的總分平均分別為 160 及 156。每個年級的取樣約為 200 人，半開放式筆試測驗的總施測人數達 1261 人。另外測後晤談的人數，每年級為 16 人，依照其理科（自然、數學或理化）成績的高、中、

低，按 4：8：4 的比例隨機選取。

二、研究工具的發展、施測、資料處理及信效度

本研究所發展的研究工具共有三種，分別是「預試晤談的半結構式問卷」、「半開放式筆試測驗」以及「半結構式測後晤談問卷」。各個工具的發展、施測及資料處理過程和分析方法與「物質微粒理論之迷思概念的診斷工具及分析方法」相同，已另文發表不再重述（林財庫, 2003），以下僅就量表的施測過程、資料的處理方式、以及量表的信效度等進行簡要討論。

(一)兩階段式診斷工具的施測

不同年段（國小及國中）之半開放式筆試測驗在效化和訂正後在 2000 年一月開始對每個年級約 200 位樣本進行第一階段的紙筆測驗，然後對施測結果進行資料的建檔、轉錄、編碼、校正、識別、歸類、再校正、排序、再校正等等一系列反覆精煉的程序（參下「資料處理」），整理成初步的雙層試題，效化後的結果如下第肆節中各小單元所示。針對紙筆測驗的分析結果，再發展能更深入探索受測對象之既有概念的「半結構性測後晤談問卷」，經效化、修正後如附錄一所示。此半結構性問卷的設計仍是分為兩層，第一層也是與紙筆測驗一樣是四選一的單選題。第二層是第一層選項的理由陳述及施測者對陳述內容之即時執疑的回覆內容。這種設計可以檢驗受測者之筆試與測後晤談資料是否一致，學者認為這種對比結果的一致性程度可以當作是一種再測信度的量度。以這份半結構性問卷在 2000 年四月開始對選定的對象實施測後晤談，並錄音或錄影。經由轉錄、編碼、校正、識別、歸類、排序、再校正等過程來分析這些測後晤談的資料，並與筆試資料對比，把筆試中所沒有發現的新內容（新的認知類型）併入原有雙層試題的選項中。測後晤談的實施程序如下：當準備就緒，開始晤談之前，先發給學生一枝筆和一張只有情境圖像的空白紙，研究者則帶有晤談問卷內容的備忘錄（附錄一），晤談的整個過程都錄音，部分錄影，晤談時間約為 15-20 分鐘，晤談的時段大都選在午休期間，有些是在週末完成。

(二)資料的分析

本次實徵研究之資料的來源主要是所發展之「半開放式筆試測驗」及「測後半結構性晤談問卷」的施測結果。這兩種來源都同時包含「質性」與「量性」的資料。量性的資料我們以 SPSS 統計分析軟體來建檔，質性的資料剛開始時以 Excel 來建檔，經由多次編碼、歸類、排序、校正確定後，再與 SPSS 檔的量性資料併在一起，以利於後續的統計分析。

本研究的量性資料是題幹選項四選一的單選題，回答正確者給 3 分，不正確給 1 分，不一定（條件成立或不成立）給 2 分，沒有回答給 0 分。質性資料有兩種，一是筆試測驗的文字資料（理由陳述），另一是測後晤談的轉錄。對於這兩種質性資料的處理，我們首先建立幾乎是逐字轉錄的原始資料檔，對內容（句子的意義）進行第一次無成見的「開放式編碼」（即不同的敘述（意義）就給予隨意的不同編號）。之後，利用前述以物質微粒理論的特徵範疇指標（(宏、微)；(連、斷)；(靜、動)；(無、有)）作為關鍵詞進行第二次的「分類（聚合）編碼」，再利用這四對範疇的 16 種有認知及歷史發展順序的排列組合（圖 1）來進行第三次、分層次的「排序編碼」。晤談資料在轉錄後也是經由這樣的步驟和方式來處理，範例參附錄二。

(三)筆試測驗的信效度

本診斷工具以「項目分析（item analysis）」來評估筆試部分之每個試題的適切性，以內容分析和歷史發展分析做為筆試測驗及半結構性

晤談問卷之內容效度的參考，以受測者國中基本學力測驗或數理（自然、數學或理化等）成績作為效標來建立筆試部分的效標關連效度，以受測者學力測驗各科成績與本診斷工具之總分的高中低分組的變異數分析來建立建構效度。運用 SPSS 統計套裝軟體來進行上述統計分析的結果顯示，本診斷工具之筆試測驗的各題都具有鑑別度，筆試測驗（共 8 題）之整體 α信度為國小年段平均 0.68、國中年段平均 0.77；筆試及測後晤談的再測信度為 $r = 0.69$（$p < 0.01$）；與國中基本學測自然科成績的 Pearson 相關係數為 0.53（$p < 0.01$）。以上這些分析的數據及細節參林慧潔（2002）及林財庫（2003）。

肆、研究結果和討論

運用圖 1 的 16 種理論模式和層次來分析高雄市小四到國三共 1261 位學生（以下簡稱國中小樣本）的半開放式紙筆測驗及 96 位受測學生之測後晤談的研究資料，結果如圖 2 至圖 9 所示。這些圖總結了小四至國三學生對於氣體相關概念之認知類型、模式、層次及頻率分佈的情形，由此表不但可立即得知每個年級對某一概念之認知類型的頻率分佈情形，也可立即看出每一種認知類型在不同年級的頻率變化情形以及各種不同的認知類型在同一年級的排序情形，由此可編排出每個概念之各種迷思概念類型在同一年級和不同年級之認知發展順序的整體圖景。這些結果所顯示的可能意義討論如下：

一、空氣的基本組成（您認為空氣的基本組成是什麼？）

在國小階段筆試部分有約 155 %的學生沒有「空氣有基本組成」的概念。例如學生回答「經由大自然的作用」、「好幾千年的閃電和輻射線」、「植物行光合作用」、「動植物的呼吸作用」、「經由流動」等。這些回答似乎都把「基本組成（本原）」的意義瞭解為「來源（起源）或成因」（即認為物質之基本組成（本原）= 來源 = 成因，這種類型的迷思概念以前未被討論過）。如果再加上 22 %沒有回答或答非所問（例如是「雙氧水、高氣壓、汽油、養分、岩石」）的學生，以及約 11 %僅重複「組成」兩字隨便猜測（例如空氣的組成是大氣（可能認為空氣為純物質）、是一些物質、是水、植物、土地、陽光等）的學生頻率，則在 589 位高雄市的小學生中有近五成的學生不具有「空氣有基本組成」的概念。其餘的 5 成學生模糊的知道空氣是由一些氣體混合而成，但大部分不是清楚的知道這些氣體是什麼。測後晤談的資料分析顯示，48 個晤談者中有 10 位認為這些氣體是氧氣和二氧化碳，有 5 位認為空氣就是水蒸氣，有 24 位仍然只說是一些氣體，能從宏觀層次較正確的回答「空氣主要是由氧氣和氮氣所組成的」僅有 5 位，沒有學生能從微觀的分子層次正確的回答這個問題。

到了國中階段筆試部分平均有 57.6 %的學生回答「空氣是由一些氣體混合而成」，有約 34 %不知「組成」的意義（包括無回答或答非所問或隨便猜測，內容同上），其餘說空氣的基本組成是「一些氣體分子（3.2 %）」、「元素（2.2 %）」、「原子（2.2 %）」、「粒子（0.3 %）」、「離子（0.2 %）」、「氧分子和氮分子（0.5 %）」。測後晤談的分析顯示，48 位受測者中有 17 位說是「一些氣體的混合（但說不出是什麼氣體），有 13 位說是「水 + 二氧化碳 + 氧」（其中有 3 位以微觀的分子來描述），有 1 位說是水蒸氣，有 7 位較正確的回答是「氧氣、氮氣、水蒸氣、二氧化碳的混合」（宏觀層次），只有 2 位能從微觀的分子層次做了較正確的回答，而其餘的 8 位則不知「組成」的意義。

綜合而言，國中小樣本大多不具有物質具有基本組成的本體論信念，有可觀的比例無法

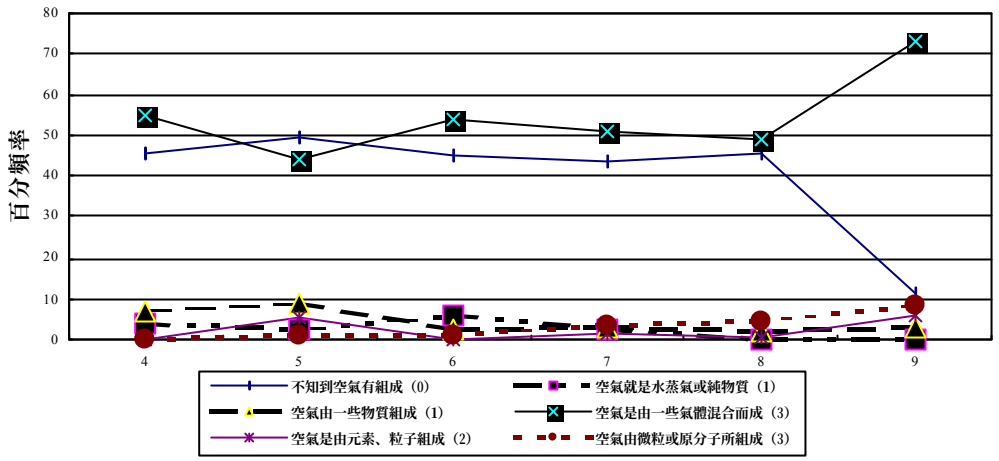


圖 2：空氣組成之學生概念類型隨年級變化（忽略小於 5%的類型，下同）

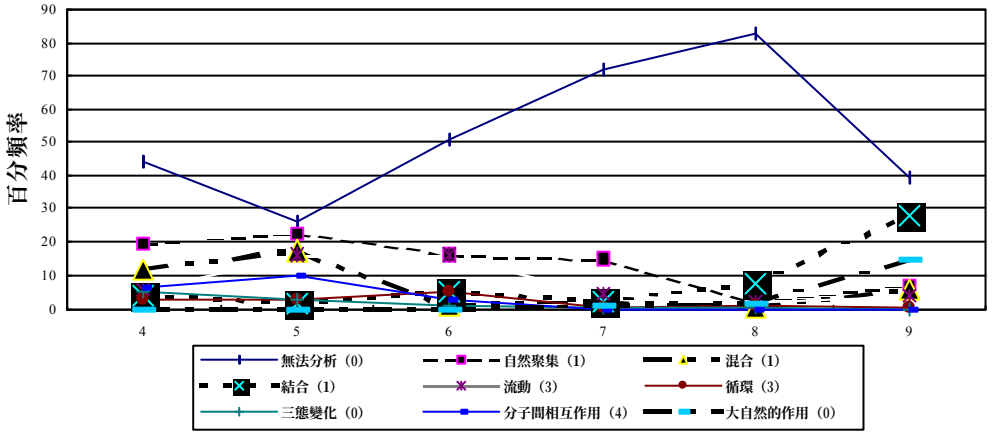


圖 3：空氣組成間交互作用的學生概念類型隨年級的頻率變化

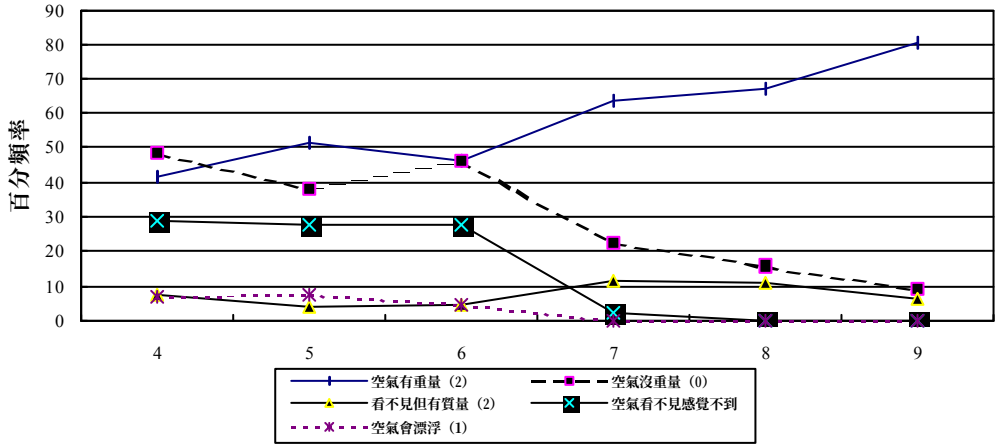


圖 4：空氣沒質量之學生概念類型隨年級的頻率變化

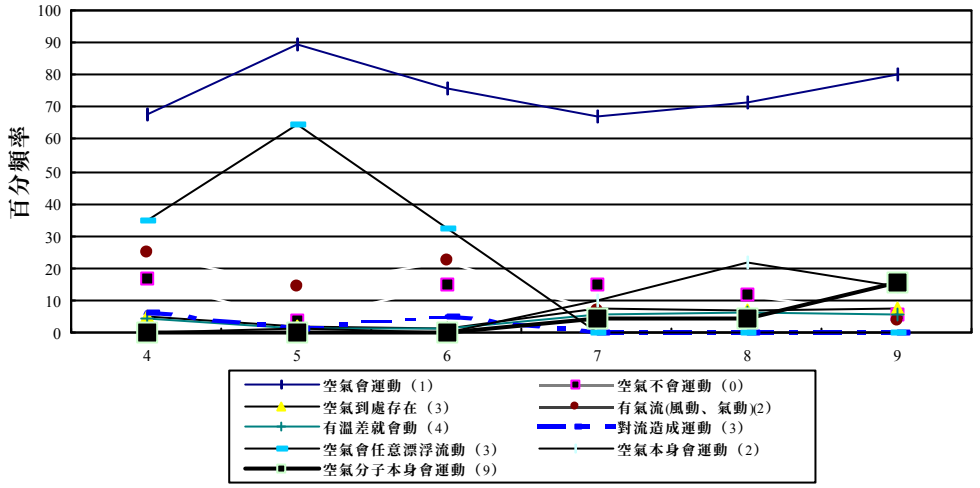


圖 5：空氣會運動的學生概念類型隨年級的變化

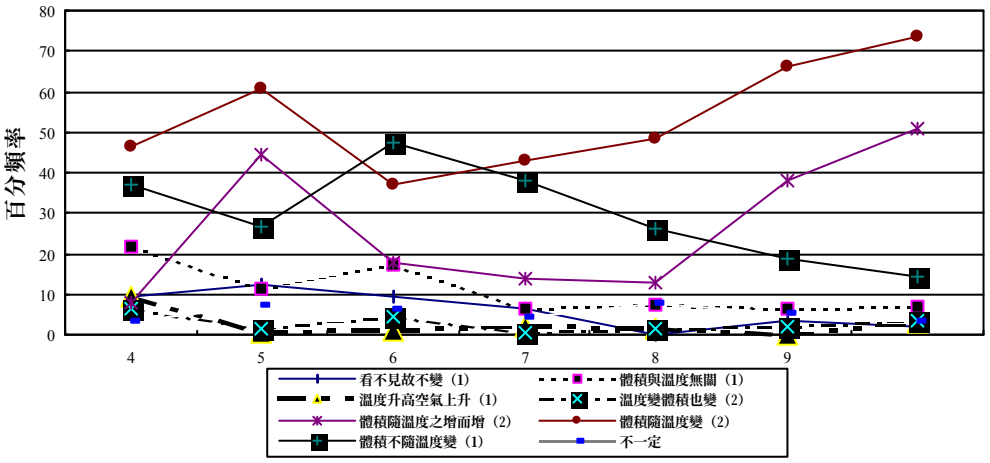


圖 6：空氣體積與溫度關係之學生概念類型隨年級頻率變化

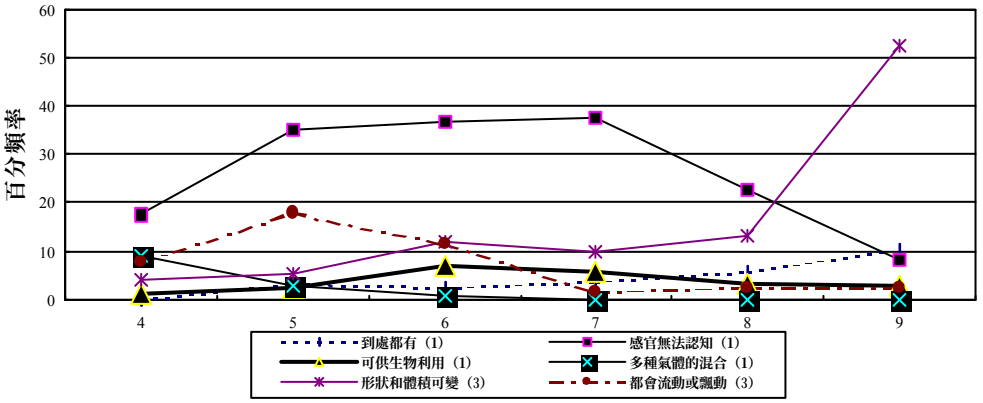


圖 7：氣態特徵學生概念類型隨年級的頻率變化

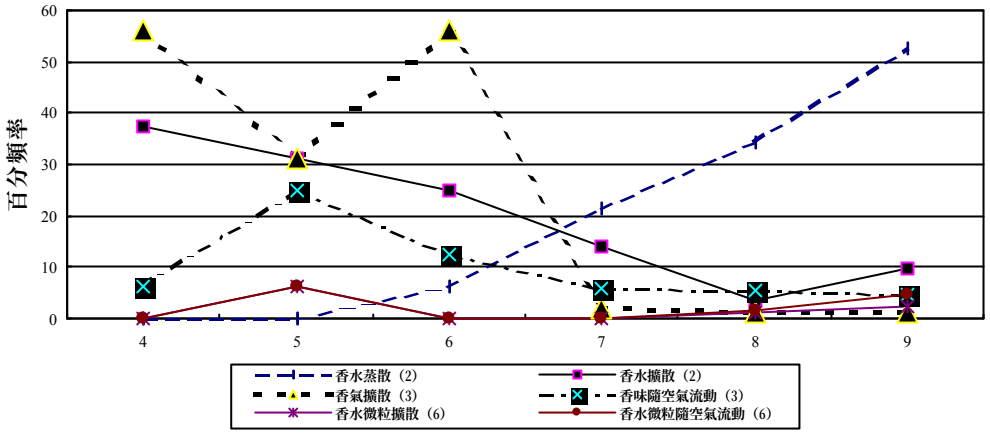


圖 8：香水蒸發學生概念類型隨年級之頻率變化

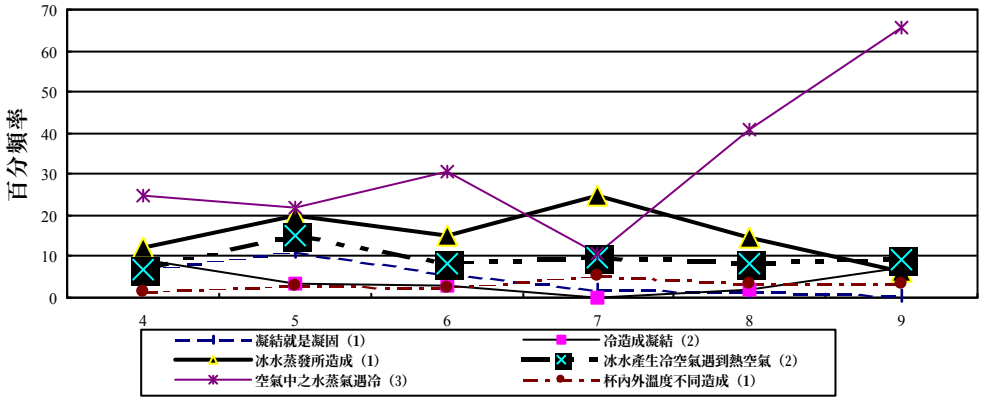


圖 9：凝結學生概念隨年級之頻率變化

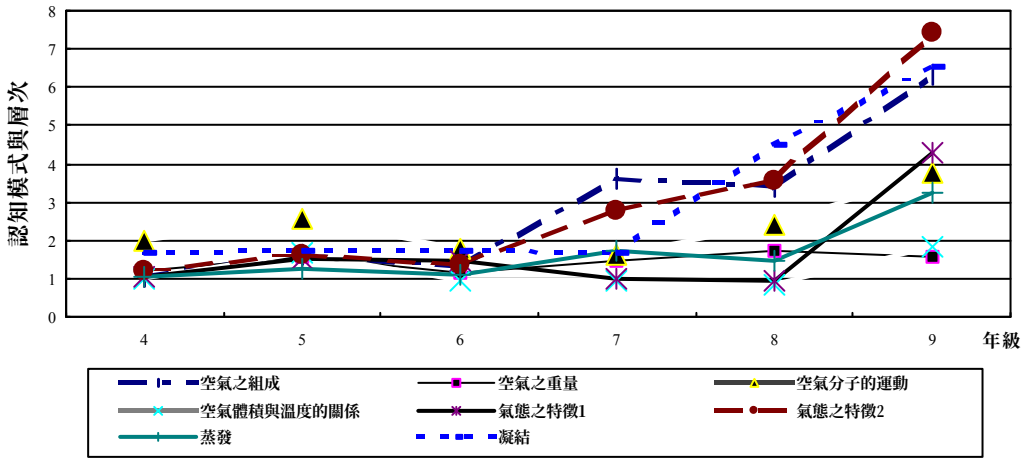


圖 10：4-9 年級學生對氣體相關概念之平均認知層次的認知發展情形

區分本原、來源與成因的不同，最常見的迷思概念類型是「空氣是由一些氣體混合而成」，各迷思概念類型的認知發展順序大略如下：「不知道物質有基本組成(0)→空氣就是水蒸氣或是純物質（例如大氣、元素）(1)→空氣是由一些物質混合而成(1)→空氣是由一些元素或粒子（顆粒）所組成(2)→空氣是由一些氣體混合而成(3)→空氣是由氧氣和二氧化碳氣體或/且水蒸氣等所組成(3)→空氣是由微粒、離子、原子、分子等所組成(4)」。小括弧中的數字是根據機械典範之兩對特徵範疇（宏觀與微觀；連續與斷續（粒子））為指標來辨識受測者之迷思概念類型的結果，其中(1) = 宏觀連續；(2) = 宏觀斷續；(3) = 微觀連續；(4) = 微觀斷續。例如「空氣是由看不見（微觀）的微粒、原分子等（斷續）所組成」，被歸類為模式(4)。只用兩對特徵範疇而不是上述機械典範的四對特徵範疇來分類這些類型的原因是本問題只問「空氣的基本組成是什麼？」，其答案只涉及「基本組成是宏觀可見還是微觀不可見，是連續（無限可分）還是斷續（微粒）」，並未涉及「基本組成的性質是動還是靜，組成間是否有交互作用」等內容。各認知類型隨著不同年級的頻率變化情形如圖 2 所示，由圖知除了「不知道空氣有基本組成」、以及「空氣是由一些氣體（氧氣和氮氣）混合而成」的兩種類型之外，大部分類型隨著年級的變化情形並不顯著。另外，各年級之平均認知層次（各種類型之總分的平均）隨年級的頻率變化情形如圖 10 所示，由該圖知，在國小階段整體的平均認知層次沒有明顯的改變，到了國中則有較顯著的提升，到國三時認知層次的提升最為明顯。

上述的研究結果與前述國內外的研究結果大致相似（即對於物質之基本組成的認知順序大致也是「由宏觀的連續體、或團塊、或元素、或顆粒，到微觀的微素、微粒或原分子」等），部分也與 Pfundt 的研究結論相符。Pfundt（1981）在晤談 49 位國一至國三的（13-15 歲）的德國學生之後總結指出：「很少學生認為物質是由一些基本磚塊組成的。學生根據經驗視物質為連續的。連續的介質有時可被細分為微粒，但微粒不是物質的組成磚塊」。物質具有基本組成要素（或「萬物皆有本原」）以及物質具有基本的結構單元（宇宙之磚）這兩個本體論的基本命題是 Aristotle 所稱「認識（理解、研究）大自然的首要工作」（徐開來譯, 2002, 頁 19），也是現代物理學最重要的研究課題之一（例如高能物理、夸克及量子場論等），因此課程的設計和發展者以及教師應能自覺的運用各種情境、方法、策略等來加強學生的這個本體論信念，這對於各學科領域之知識的融通和相應能力的培養具有重要的意義。

二、空氣之基本組成間的交互作用（空氣的基本組成是以怎樣的方式組合而成為空氣的？）

在空氣之組成間的交互作用方面，國小階段平均有近四成學生沒有回答或答非所問，平均有 28.60 %「以來源或發生的過程來解釋交互作用」（例如空氣來自「太陽把水蒸發變成水蒸氣、地殼變動產生的熱氣、或植物的光合作用、或人和動物呼出的氣體、或細胞的融合、或大自然的作用（閃電、地動、風動、氣流、太陽輻射等）、或在大氣層中自然產生、或人吸入氧氣吐出二氧化碳，水蘊草吸入二氧化碳吐出氧等」（這種類型的迷思概念過去也未被討論過）。平均有 10.3 %認為「空氣的基本組成是以自然聚集（由少到多逐漸積聚；或地心引力，重的（或冷的）在下層、輕的（或熱的）在上層等）的方式組成空氣」，有 13.4 %認為是「氣團（或氣體等）的相互作用（相互結合、吸引、溶合、融合、連接等）」；有 3.7 %認為是「氣體（或冷熱氣團）的混合」。

在國中階段，平均約有六成沒有回答或答

非所問，平均有 10.1 %「以來源或發生的過程來解釋交互作用（過程 = 原因）」（例如空氣是由「太陽供給的能量和閃電的輻射所合成、或植物的光合作用所產生、或燃燒而成、或水蒸氣（或水分子遇熱）變成空氣、或水蒸氣上升後與氧結合變成空氣、或經由大自然的作用（風動、氣流）等」變成空氣）；平均有 16.3 % 認為「氣團或氣體分子是以靜態或動態的混合（摻雜、均勻散佈、不均勻分佈分散）的方式組成空氣；有 5.9 %認為「氣團或氣體分子是以靜態或動態的相互作用（碰觸、不斷推擠、結合、融合、碰撞連結、（臭氧層）分解、分裂、非化學變化的方式、化學變化等）的方式組成空氣」；有 2.9 %認為是以「自然聚集（由少至多逐漸積聚、依密度或重量的大小分成各種層次）的方式組成空氣」；1.7 %認為是以「自發運動（流動、四處遊走、擴散、對流等）的方式組成空氣」。

綜合而言，本研究的樣本對於交互作用的概念相當模糊，無法自覺的使用這個概念來瞭解事物和解釋現象，此可由偏高的缺答率、偏低的平均認知層次、高狹的頻率分佈、以及各年級之平均認知層次隨年級的頻率變化情形（圖 10）等來得到瞭解。與上述空氣之組成的研究結果相較，本研究的樣本對於組成空氣之氣體的種類、數目、性質等顯然比較有感覺（宏觀具體），對於組成空氣之氣體間的相互作用（微觀抽象）則較少注意到。另外，本研究的樣本有相當可觀的比例無法區分原因（或因果）與過程的差別，認為描述了發生的過程就等於解釋了發生的原因（交互作用）。這項發現有一個重要意義，因為區分原因（或因果）與過程是區分動力學與運動學的關鍵，也是自覺的以認識論的脈絡來融通知識及培養能力的一個重要起點。分析發現，受測樣本中最常見的迷思概念類型是認為「空氣以自然聚集的方式，或聚集後產生交互作用的方式組成空氣」，各種迷思概念類型的認知發展順序大略如下：「沒有交互作用的概念(0)→空氣來自大自然的作用(0)→空氣的基本組成（氣團、氣體、顆粒、分子等）以自然聚集的方式（逐漸積聚、相互靠近、依重量或密度的大小分層次、地心引力）(1)→或以靜態或動態混合的方式（摻雜、均勻散佈、不均勻散佈）（1 或 3）→或以非彼此間之相互作用所產生的運動方式（流動、四處遊走、分散、擴散、對流、循環）(3)→或以相互作用的方式（吸引、結合、融合、分解、分裂；碰撞、推擠、化學變化）（2 或 4）等組成空氣」。小括弧中的數字是根據機械典範之兩對特徵範疇（即組成要素是否具有自發的恆動性（靜態與動態），以及組成要素間有無交互作用等）為指標來辨識受測者之迷思概念類型的結果，其中(1)= 靜態無作用；(2) = 靜態有作用；(3)= 動態無作用；(4) = 動態有作用。例如「空氣之組成間以自然聚集的方式組成空氣」被歸類為(1)，因為自然聚集或引力，不是要素間的相互作用所引起，且此陳述沒有要素具有自發恆動性的內涵；另外「靜態的混合」被歸類為(1)，因為混合不一定表示組成間有交互作用（不明確或沒有指出就被判斷為沒有，在本研究中這是一個通則）；動態的混合被歸類為(3)；結合、融合、分解、分裂等被歸類為(2)；碰撞、推擠、化學變化等被歸類為(4)。只用兩對特徵範疇而不是上述機械典範的四對特徵範疇來分類的原因是本題只問「空氣的基本組成是以怎樣的方式組合而成為空氣的？」，其答案只涉及「基本組成間是否有交互作用，以及組成本身是靜態還是動態」等，並未涉及「基本組成是宏觀還是微觀，或是連續還是斷續」等內容。各認知類型隨著年級的頻率變化情形如圖 3 所示。另外，根據圖 1 所示的結合規則，把上題及本題的認知類型結合起來（即結合成代表受測者「空氣之基本組成及組成間之交互作用」的認知類型），其國小年段和國中年段之認知模式

的頻率分佈情形如圖 11 所示。

三、氣體的基本性質(1)（您認為空氣有重量嗎？為什麼？）

國小學生平均有 46.6 %認為空氣有重量，有 43.9 %認為空氣沒有重量。認為空氣沒有重量的理由最常見的是「看不見或感覺不到（27.9 %）」，其次是「空氣會漂浮（6.6 %）」，其次是「空氣不佔空間、不具形體（1.5 %）」、「空氣到處存在（1.5 %）」「空氣不是物質或物體（0.5 %）」。認為空氣有質量的理由很紛岐，最常見的是「空氣不可見但可感覺到它的存在、是物質（14.2 %）」、其次依序是「由具體事實（例如可稱重量的差異、風吹船行等）推論得知（12.2 %）」、「空氣可產生壓力（5.2 %）」、「空氣的基本組成有重量（3.2 %）」、「佔有空間（2.0 %）」等。分析測後晤談的資料得到相似的結果，48 位中有 12 位認為空氣沒有質量（或重量）是因為不可見或感覺不到，4 位認為是「會漂浮」、4 位認為是「到處存在」、3 位認為「沒有固定形狀所以沒重量」、1 位認為是「不是物質」；認為空氣有質量者中有 6 位認為空氣是物質所以有質量，8 位認為可由具體事實推論得知（包括風可把人吹倒、風吹過天平會晃、可稱重量的差異、地心引力使空氣往下掉、壓縮空氣變成有重量的液體、打氣後的球可被使用、以及可感覺的到等）。

在國中部分，15.8 %認為空氣沒有質（重）量，其主要理由是「空氣不可見、感覺不到」；有 70.5 %認為空氣有質（重）量，其理由也是很紛岐，與國小同，每一種類型的分佈情形參圖 4。測後晤談的分析顯示，48 位中有 7 位認為空氣超越感官認知所以沒有重量，1 位說「飄浮在空中」所以沒有重量，1 位認為氣體的重量相互抵銷所以整體沒有重量，1 位認為如果空氣有重量人就會被壓在地面上；有 9 位認為空氣是物質所以有重量，7 位認為應該有質量，5 位認為空氣的組成要素（氣體、元素、分子等）有些有重量（有些沒有）所以空氣整體有重量，有 3 位認為「由空氣被地心引力吸引得知」，有 2 位稱「由大氣可產生壓力得知」，1 位稱「由空氣可稱重得知」。其餘以「不知道」來回應問題。

綜合而言，國小年段及國中年段的學生對於空氣是否有質量（或重量）之認知層次的頻率分佈情形如圖 12 所示，由圖知，國中年段的平均認知層次並沒有較國小為高，峰度也較國小為小（高狹峰）。從各年級之平均認知層次隨年級的頻率變化情形（圖 10）來看，由小四到國三，認知層次都沒有明顯提升，此結論與題幹選項的結果不符（題幹之國中與國小之比值為 70.5 %：46.6 %），此顯示大部分的國中學生知道空氣有質量或重量但難以解釋或論證空氣為何具有質量。另外，與 Brook & Driver（1989）的研究相較，他們的 8 歲樣本、12 歲樣本及 16 歲樣本中分別有 3/4、1/2、1/4 認為空氣沒有重量或重量為負，此結論與本研究的結果相似，但本研究沒有發現學生有「空氣的重量為負」的情形，也沒有如 Brook（1989）, Mas et. al.（1987）, Piaget（1973）, Sere（1986）, 及 Stavy（1988）等人所發現的「氣體（或空氣）與思想或靈魂同類」的迷思概念類型。另外，我們的受測樣本中最常見的迷思概念類型是「空氣看不見、感覺不到故無重量」，各種迷思概念類型的認知發展順序大略如下：「空氣看不見→或會漂浮、或到處存在→不是物質或物體→不佔空間、不具形體」等故無重量（或質量）。各種迷思概念類型隨著年級的頻率變化情形如圖 4 所示，由圖知這些迷思概念的類型到了國中之後都有顯著的改善。

四、氣體的基本性質（2）（您認為空氣會運動嗎？為什麼？）

有 78.3 %的國小學生認為空氣會運動，

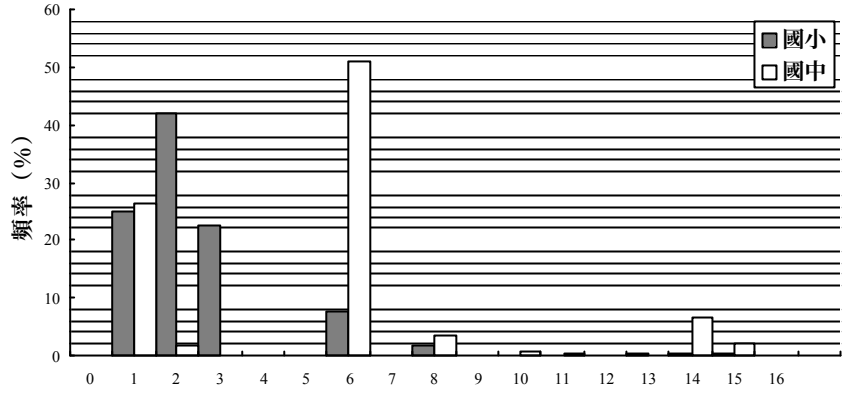


圖 11：空氣之組成及作用的認知模式的頻率分佈

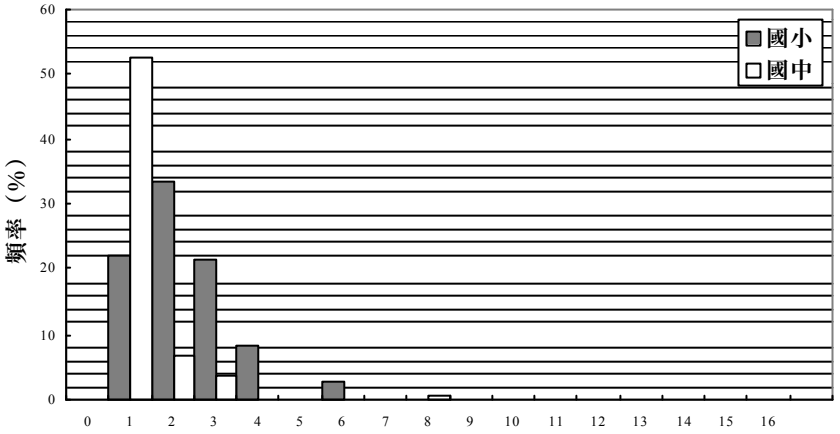


圖 12：空氣重量之認知模式的頻率分佈

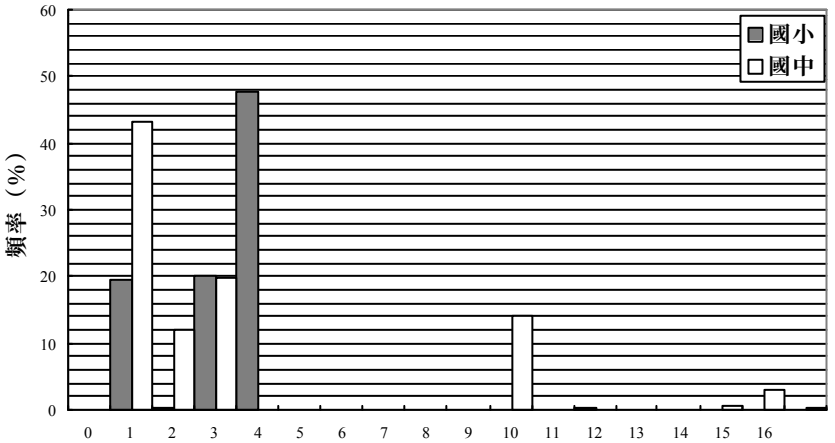


圖 13：空氣組成之恆動性的認知模式的頻率分佈

11.3 %認為不會。「空氣會運動的原因」學生的回答有很多類型，雖然平均有 22 %說不出理由或答非所問，但有約 23 %的學生認為空氣的運動是來自於外因（例如溫度差、氣體間的相互作用或碰撞，其中頻率最高的回答是氣流（風動、氣動）(20.1 %)）；有約 54 %不是以因果關係的內容來回答這個問題，而是以感官經驗作為推論的基礎，例如空氣到處都有(此證明空氣會運動)、以對流、循環、或固定方向的方式運動，最常見的回答是「以漂浮、流動、方向不固定的方式運動」(44.7 %)；只有約 0.5 %的國小學生認為氣體微粒自己會運動（測後晤談顯示這些學生不知道氣體微粒為何會運動，並不是瞭解氣體微粒具有恆動性)。另外，48 位測後晤談的學生中有 12 位認為「氣體以漂浮、流動、不固定方向的方式運動」，9 位認為是「風動」，5 位認為「熱空氣上升冷空氣下降造成對流或循環，此說明空氣會運動」，4 位說「每個人都可以呼吸到空氣，此證明空氣會運動」，2 位稱「只要是氣體或液體的組成微粒就會動（固體微粒不會動)」，1 位稱「有空隙就會動，在密閉的容器中就不會動」，另 1 位稱「空氣可以與植物行光合作用，此證明空氣會運動」。在所有的晤談對象中沒有人認為空氣不會動，但也沒有人認為空氣微粒具有恆動性。

在國中階段，有 73.3%的受測者認為空氣會向四面八方運動，有 10.9 %認為不會，7.1%認為不一定 在理由的陳述方面，平均有 46.4%沒有寫理由或答非所問；平均約 26 %認為空氣運動的原因是來自於「外在因素」(其中以溫度差 (5.8%) 或密度差 (6.2%) 最為常見)。前述小學階段最常見的外因□氣流（風動、氣動）□頻率由 20%降為 4.5%；平均約有 10.6%以感覺經驗為基礎推論空氣會運動（例如空氣充滿整個空間、或由具體現象可推論氣體會運動)；回答氣體（或氣體分子）本身可以自由運動的平均頻率是 17.6%。測後晤談的分析顯示，48 位中 18 位認為是風動（氣動、流動）空氣才會動，(沒有風就不會動，密閉容器中的空氣也不會動)，有 8 位認為「是壓力差造成空氣的運動」，有 2 位認為是「溫度差」，2 位認為是「濃度差」，1 位認為是「密度差」，有 4 位認為「由空氣的對流或循環」可得知空氣會運動，由 2 位認為「空氣會跑來跑去,會飛上天，當然會運動」。奇特的是有 2 位「把運動解釋為變化」認為「空氣千變萬化，隨環境而變，當然是會運動」，另 1 位則認為「風動不是運動，生物的動才是運動」。然而不管是國小或國中，96 位晤談者中沒有任何人有「空氣微粒具有恆動性」的科學概念。

綜合而言，國小樣本最常見的迷思概念類型是「空氣會漂浮、流動、有風故知空氣會運動」(平均 44.7%)，國中樣本則是「空氣的運動是由外因造成的（不是自發的恆動性)」(平均約 26.0%)。此與Novick & Nussbaum (1978) 對以色列的學生所進行的研究結果不同，以色列 13-14 歲學生有 40 %以「空氣到處存在」來說明「空氣的組成微粒具有內在的恆動性」。我們的資料顯示只有 17.6%的國中生認為氣體（或氣體分子）可以自由移動，且只有 2.4 %以空氣到處存在來說明空氣會運動。測後晤談更顯示沒有學生真正具有空氣的組成微粒（或原分子）具有恆動性的科學概念。國小年段及國中年段的學生對於空氣之基本組成是否具有恆動性之認知模式與層次的頻率分佈情形如圖 13 所示，由圖知，國中年段的平均認知層次較國小稍高，峰度也較國小為寬，高層次認知的頻率也遠較國小為多。另外，各年級之平均認知層次隨年級的頻率變化情形如圖 10 所示，由該圖知，在國小 5 年級時認知層次較 4、6、及 7 年級為高，直到 9 年級時才有較顯著的提升（其可能成因參下)。各種迷思概念類型之認知發展順序大略如下：「空氣看不見所

以不會運動→空氣體積不會變故知它不運動→沒有外因空氣就不會運動→生物才會運動（風動不是運動）→空氣到處都有、或我們可以呼吸到空氣、或植物可行光合作用等故知空氣會運動→或有風→或會漂浮、會流動→或會對流 會循環 有空隙→或有外因（例如密度差、溫度差、壓力差、濃度差、碰撞、相互作用、氣流）等，空氣就會運動→或空氣能變化故知它會運動」。各種迷思概念類型隨著年級的頻率變化情形如圖 5 所示，由該圖知，在國小階段最常見的迷思概念類型（即「氣體以漂浮、流動、方向不固定等的方式來運動」）到了國中階段則幾乎完全消失，代之以多樣且頻率都不高的認知類型。

五、氣體的基本性質（3）（您認為溫度升高時氣體的體積會改變嗎？為什麼？）

對於這個問題，有 48.5 %的國小學生認為會，36.8 %認為不會。在理由陳述方面，平均有 38.1 %沒有回答或答非所問，平均有 24.5 %正確的認為空氣的體積隨溫度的升高而增加（有趣的是小五學生顯著的優於小六和小四（44.4% > 17.6% > 8.1）），有 4.9 %認為溫度升高時空氣體積增加是因為水蒸氣的量（或空氣的量）增加所致，有 1.2%認為溫度增加空氣體積減少，有 26.7 %認為空氣的體積與溫度無關（其中有 10.3 %回答因為空氣看不見（沒有形體或沒有體積）所以體積與溫度無關，這種情形到了國三仍有 9.3 %的受測樣本認為是如此）。測後晤談的資料分析顯示，48 位中有 5 位認為「溫度變，但空氣不變所以體積不變」，有 3 位認為「空氣看不見所以溫度變體積不變」，有 2 位認為「溫度增加空氣受熱上升但體積不變」。認為溫度變體積會變的學生中有 9 位以「熱漲冷縮」來解釋，有 4 位認為「溫度改變空氣的量也跟著改變（溫度增加水蒸氣增加，溫度降低水蒸氣變成液體），所以體積會變」，有 3 位認為溫度升高體積變大的原因是「組成空氣的顆粒（或團塊）本身靜態的變大，顆粒間的間隙變小（或一起變大）」，有 3 位認為「本來就會這樣（不需理由）」，有 1 位認為「溫度增加體積變小，因為活的東西煮熟後體積變小」。其餘以不知道來回應問題。這些迷思概念的類型比法國學生豐富得多，Sere（1985）研究法國 11-12 歲學生「加熱一密閉容器中的空氣，空氣的質量會改變嗎？」，結果有 50 %以上的學生答會，其迷思概念的主要類型，分別是「密閉容器中中的空氣加熱後變輕」、「加熱後產生更多的空氣」、以及「熱膨脹後空氣會增加」。如果問題改成「加熱開放容器中的空氣

在國中階段，平均有 52.5 %認為溫度升高體積會改變，27.7 %認為不會改變，但在理由陳述中平均有高達 63.5 %的學生沒有寫理由或答非所問；平均有 21.3 %的學生回答空氣的體積隨溫度的升高而增加，國三學生顯著優於國一與國二（38.0 > 13.6% > 12.8%）；平均有 9.6%認為氣體體積與溫度無關，其中有 3.9 %認為氣體體積與溫度無關是因為空氣看不見（沒有形體或沒有體積或體積無法測量等），這兩種情形到了國三仍沒有顯著改變；有 1.1 %的國二學生認為溫度升高質量不變所以體積也不變；有 1.5%的國一學生認為溫度升高會消耗氧（有如燃燒）所以體積會減少；有 1.1 %的國三學生認為氣體體積隨溫度改變的原因是氣體增加、消失或蒸發。測後晤談的分析顯示，48 位中有 12 位認為不會變，其中有 7 位認為「體積與溫度無關、或溫度變但空氣不變所以體積不變」，有 1 位認為「空氣的組成方式不因溫度而變所以體積不變」，1 位稱「氣體沒有固定體積所以溫度變體積不變」，另 1 位稱「空氣看不到所以體積不會變」，有 2 位稱「憑直覺」就知道。認為空氣體積會隨溫度改變者中，有 6 位認為是「熱漲冷縮」，7 位認為是「空氣的組成團塊

顆粒、微粒、分子等靜態膨脹或靜態的整體（顆粒＋顆粒間的距離）膨脹」，1 位認為「膨脹是突然產生空隙」，有 3 位以物理變化（相變，例如溫度升高水蒸氣量增多體積變大）、2 位以化學變化（燃燒）來解釋溫度變體積會改變，有 1 位稱「溫度改變分子結構，所以體積變」，1 位稱「溫度改變壓力改變所以體積改變」，1 位稱「在開放的空間溫度變體積會變，但在密閉空間溫度變體積不變」。

綜合而言，本研究樣本之大多數學生知道「空氣雖然看不見但佔有空間，具有體積（廣延性）」，其最常見的迷思概念類型是「空氣的體積與溫度無關」。各迷思概念類型之認知發展順序大略如下：「本來就這樣（憑直覺就知道）→看不見（沒有形體、沒有體積）故不變→溫度變空氣不變故體積不變→溫度升高空氣上升→溫度增加體積減小（耗掉一部份、蒸發或消失、或如煮熟生物收縮一般）→或溫度增加水蒸氣（或氣體）增加故體積增加→或組成的團塊、顆粒、微粒、分子等靜態膨脹故增加→或質量不變故體積不變→或組成不變故體積不變→耗氧故減少→壓力變故變→分子結構改變故變」。各種迷思概念類型隨著年級的頻率變化情形如圖 6 所示。國小年段及國中年段的學生對於空氣的體積是否會隨溫度而改變之認知模式與層次的頻率分佈情形如圖 14 所示，由圖知，國中年段的平均認知層次並沒有較國小為高，但峰度較國小為寬，高層次認知的頻率也較國小為多。另外，各年級之平均認知層次隨年級的頻率變化情形如圖 10 所示，由該圖知，在整個國民教育過程中此概念之認知層次沒有顯著變化，在 5 及 9 年級時認知層次稍高，其可能成因參下。

六、氣態的特徵（您認為氣體有哪些特徵是液體和固體所沒有的？）

在國小部分平均有 36.0%沒有回答或答非所問，最常見的回答是「看不見、感覺不到（即超越感官認知）（30.5 %）」，其次依序是「氣體都會飄動、流動（12.9%）」，「形狀、體積、（或/且）重量可變（7.4%）」，「可供生物利用（4.2 %）（把氣體想成是空氣）」，「到處都存在（2.0 %）」。測後晤談顯示 48 位中有 16 位認為氣體的特徵是「看不到、摸不到但感覺得到」，有 8 位從功能的觀點來考量，認為空氣的特徵是「人和生物生存所需」，3 人稱「無色無味形狀不固定」、另 3 人稱「很輕，沒有重量」，1 人稱「氣體永不消失」，2 人稱「浮在空中，可到處飛」，另 1 人稱「到處都有」。這些結果與 Piaget (1974) , Sere (1985) 及 Stavy (1988, 1990, 1995) 等人的研究結論類似。Piaget 及 Sere 以晤談法分別研究瑞士及法國國小學生從感覺有風、可見或因氣壓的作用所產生的可感受現象（例如虹吸現象）等來體會空氣 (或氣體) 的存在，此與我國學生以不可見、空氣可飄動或流動等做為氣體（或空氣）的特徵一致。另外 Stavy 也以晤談法來研究以色列 4 至 9 年的中小學生對於氣體之特徵的瞭解，結果顯示小四至小六學生平均有 77 %以實際的例子來說明氣體的特徵，其中有 32 %把氣體想成是煮東西的瓦斯，25 %把氣體想成是汽水中的二氧化碳，22 %把氣體想成是空氣，3.3 %把空氣想成是水蒸氣，有 5 %把氣體想成是有毒氣體、催淚瓦斯或笑氣等（註：有些學生舉出兩種或兩種以上的個別氣體做為氣體的原型，所以各類型之百分率的和大於 77 %）。這些類型的迷思概念都是以某些氣體的實用功能做為氣體的共同特徵，我們的研究樣本也是如此（例如氣體 = 空氣），不過所舉的例子有些不同（例如「可供生物所利用」，不是可煮東西的瓦斯或汽水中的二氧化碳 (註：英文中 gas 既是氣體也是瓦斯，此或可解釋為何「氣體 = 瓦斯」之迷思概念的頻率最高)）。另外平均有 13.4%的小四至小六學生以物質的性質或狀態

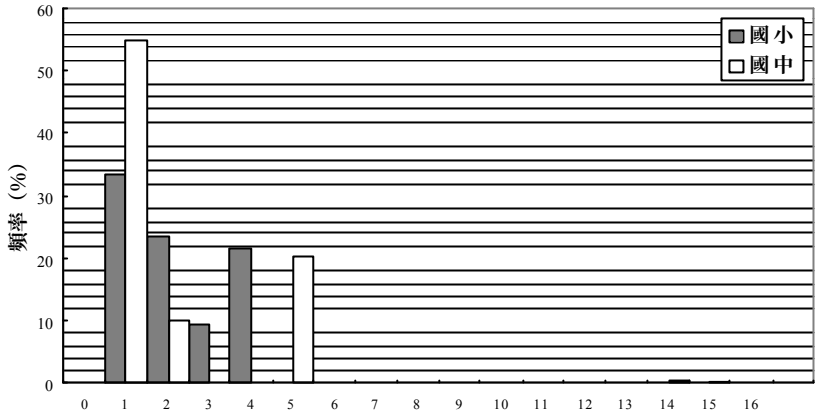


圖 14：空氣體積與溫度之認知模式的頻率分佈

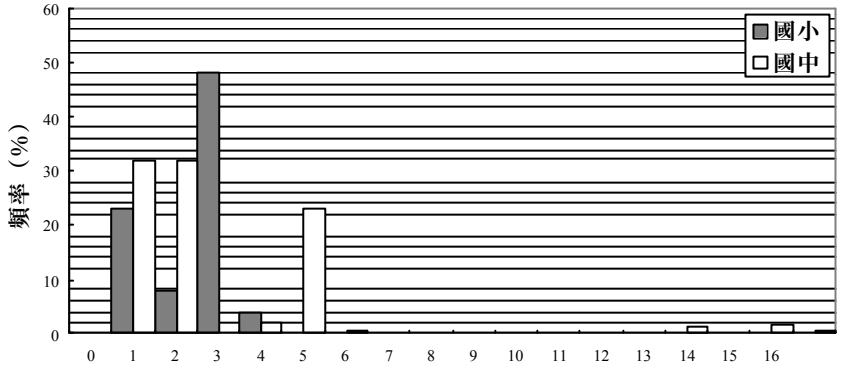


圖 15：氣態特徵之認知模式的頻率分佈

作為氣體的共同特徵，例如氣體到處都是、重量比空氣重或輕、有一些可見、有體積以及可壓縮、體積可變等，這些迷思概念的類型也出現在我們的研究樣本中。

在國中部分平均有 33.0%的學生沒有回答或答非所問，國二學生的缺答率顯著高於國一及國三（50.5% > 37.4% > 10.4）；最常見的答案仍是經驗層次的「超越感官的認知（27.8 %）」，而且國一學生顯著多於國二及國三（43.3 > 25.9% > 11.4%）；其次是以物質的性質或狀態為主要內容的「形狀、體積、或質量、或密度可變（平均為 24.8 %）」且國三學生顯著多於國二及國一（52.5% > 13.2% > 10.1 %）；再其次是以物質微粒模式來描述的「氣體或氣體分子可自由的飄動、流動、移動，且到處都有（10.9 %）」；剩餘的答案很多元，但頻率都相當低，較正確的回答「體積、形狀可變（宏觀層次），分子可自由移動（微觀層次）」的頻率只有 0.6 %。測後晤談的分析，結果較筆試為佳，48 位中有 16 位認為氣體的最明顯特徵是「超越感官的認知」，12 位認為是「沒有固定形狀」，5 位認為是「沒有固定形狀和體積」，5 位認為是「可自由移動」，1 位認為是「到處都存在」，1 位認為是「很輕」，只有 1 位稱「分子間的距離較大」。此與 Stavy（1995）的研究結果所得到的迷思概念類型相似，不過細節不

同。Stavy 的研究發現國中學生以舉實例的方式來定義氣體的頻率在國一時尚有 35 %，到國二及國三時則已完全消失；以物質的宏觀性質和狀態來定義氣體（這是以色列國一教材的定義方式）的頻率由國一的 45 %升至國二的 75 %，到國三時降為 35 %；以微粒模式來定義氣體（這是國二、國三教材的定義方式）的頻率則由小四至國一的 0 %，上升到國二的 25 %，再至國三的 80 %（主要是以氣體分子間的距離較大（56 %）或/且可自由運動（20 %）做為氣體的最主要特徵，只有 4 %尚談及微粒間的交互作用）。

綜合而言，受測學生對氣態之特徵的最常見迷思概念類型是「看不見、感覺不到」，各迷思概念類型之認知發展順序大略是「看不見□可供生物所用→到處都存在→可飄動、流動或自由移動→很輕、沒有重量→形狀、體積或重量可變→分子間的距離較大」。各種迷思概念類型隨著年級的頻率變化情形如圖 7 所示。國小年段及國中年段的學生對於氣態特徵之認知模式與層次的頻率分佈情形如圖 15 所示，由圖知，國中年段的平均認知層次較國小為高，標準差較國小為大，高層次的認知頻率較國小為多。另外，各年級之平均認知層次隨年級的頻率變化情形如圖 10 所示，由該圖知，在國小階段認知層次沒有明顯的改變，到了國中則有較顯著的提升，到國三時認知層次的提升最為明顯，其可能成因參下。

七、蒸發（打開香水瓶蓋為何我們會聞到香味？）

在國小階段，最常見的回答是「香氣（或香味）擴散（平均 47.9 %）」，其次依序是「香水擴散（31.3 %）」，「香味隨空氣流動（14.6 %）」，「香水微粒隨空氣流動（2.1 %）」，「香水微粒擴散（2.1 %），「香水蒸散（2.1 %）」。測後晤談顯示，48 人中有 30 位認為「香水是香味 + 水」，而且香味與水可以分離（即物性可以離開物質獨立存在，或把物性看做是物質，這種類型的迷思概念在前人的研究裡並未討論過），因此在晤談中時常聽到「隨風（或空氣）而流動的只有香味」，或「香味與水氣一起隨風飄動」（這兩種類型共 14 位），或「香味跑出來」、或「香水中有些水氣（或水氣團或小水滴）沒有香味，有些水氣有香味」，或「香氣團和香氣團之間是沒有香味的水氣或空氣」。有 4 位稱「香水的水蒸氣是液體，它與沒有香味的液體一起蒸散」，有 3 位稱「香氣自動擴散出來（但無法解釋什麼是擴散）」，1 位稱「香水擴散」，1 位稱「香水遇熱（或吸收熱量）蒸散出來」。當一再追問「香氣（團塊、顆粒、微粒、分子等）與香氣（團塊、顆粒、微粒、分子等）之間有任何東西存在」時，答案很豐富，有「空氣、灰塵、煙塵、細菌、分子、原子、原子團等」（意外的，此與 13-14 歲以色列學生的回答很類似，不過以色列學生多了「有不明氣體以及微粒本身膨脹等來填滿空間」等答案（Nussbaum, 1985）），其中一個最特別的答案是「香氣會釋放（或產生）出一種沒有味道的成分（氣體）以填滿香氣間的空隙」（即填滿空間的不可見氣體不是來自於不可見的空間，而是由香氣或香味所產生（林慧潔, 2002）），這種類型的迷思概念以前也未被討論過，整體而言，沒有學生具有香水分子本身會不斷運動的正確概念，也沒有穩定的真空和微粒的概念。

在國中階段，平均有 39.0 %沒有回答或答非所問，最常見的回答是「香水遇熱蒸散了」且國三學生顯著多於國二與國一（52.5 % > 34.3 % > 21.5 %）；其次依序是「香水會擴散或散佈各處（11.2 %）」、「香水和空氣結合隨空氣流動或被空氣沖淡（5.3 %）」、「事實就是如此（不需理由）（3.7 %）」等，其餘的答案頻率都很低。只有大約 2 %的國三學生較正確的回答「香水分子的擴散或蒸散」。測後晤談的分

析顯示，多數的受測者都以宏觀層次的香水（或香氣）的擴散（12 位）或蒸散（5 位）或揮發（3 位）來解釋香水的減少（或解釋為何可聞到香味），且明確的瞭解擴散和蒸發的意義，少數（2 位）能以微觀層次之香水分子的擴散或（吸熱）蒸散來解釋香水的減少；但仍有不少學生保有「香水是香味加水，或香料＋水」、且「香水的減少是香味和水氣擴散（或蒸散）（6 位）、或隨空氣流動（7 位）」的想法。整體而言，國中階段的認知層次確實比國小階段來得高，但仍然不具有穩定的真空及組成物質的微粒可以自發的不斷運動的概念。

綜合而言，本研究樣本對於蒸發概念的最常見迷思概念類型是「香水 = 香味 + 水，香味可獨立於水而存在」，各迷思概念類型的認知發展順序大略如下「香味隨空氣流動→香味（或香氣）擴散→香氣散發新物質充滿香氣間的空隙→香水擴散、或蒸散、或揮發→香水微粒隨空氣流動、或與空氣結合、或被空氣沖淡→香水微粒擴散、或蒸散」。各種迷思概念類型隨著年級的頻率變化情形如圖 8 所示。國小年段及國中年段的學生對於蒸發概念之認知模式與層次的頻率分佈情形如圖 16 所示，由圖知，國中年段的平均認知層次較國小為高，標準差也較國小為大，高層次的認知頻率較國小為多。另外，各年級之平均認知層次隨年級的頻率變化情形如圖 10 所示，由該圖知，在國小階段認知層次在 5 年級時稍高，到了國三時認知層次才有顯著的提升，其可能成因參下。

八、凝結（放一杯冰水在桌上，過不久為何杯外會出現小水滴？）

在國小階段平均有 22.3 %沒有寫理由或答非所問，其餘的答案分成兩大類，一類認為小水滴來自空氣中，另一類認為小水滴的來源是杯內的水或冰。前者最常見的回答是「小水滴是空氣中的水蒸氣遇冷所產生（25.9 %）」且小六學生顯著的多於小四及小五的學生（30.7 > 25.0 % > 22.0 %），其次是「熱空氣遇冷所產生（6.9 %）」（這可能是把空氣想成是水蒸氣）；後者中最常見的想法是「杯內的水遇熱蒸發而得（10.8 %）」，其次依序是「小水滴是冰水所產生的冷空氣遇到熱（空氣）所產生」（10.3 %），「冰融化而得（8.1 %）」、「冰水溫度上升（空氣溫度下降）即可得到（6.6 %）」、「冰水和空氣接觸（2.5 %）」、「水分由杯內跑到杯外（0.7 %）」等。測後晤談的分析顯示，認為小水滴來自空氣中者有 9 位，其中 5 位認為是「空氣中的水蒸氣遇冷所產生」，4 位認為是「熱空氣遇冷變成霧再變成小水滴」認為小水滴來自杯內的之水者共有 19 位，其中 10 位認為小水滴是「冰水冒煙（水蒸氣）遇到空氣所產生」、4 位認為是「水蒸氣蒸發所產生」、3 位認為是「冷的東西遇到熱所產生」、2 位認為是「冰融化就變成水水滴」。

到了國一時有 39.5 %未寫理由或答非所問，國二時降為 25.2 %，國三時降為 7.5 %。正確回答「凝結是空氣中的水蒸氣（或水分子）遇冷玻璃杯所產生」的頻率國一時是 10.9 %，國二時為 40.1 %，國三時為 61.0 %。最常見的迷思概念類型是「凝結是來自杯內的水蒸發」（國一 22.3 %，國二 14.4 %，國三 4.7 %），其次是「冰水所產生的冷空氣遇到熱（空氣）所產生」（平均為 8.2 %），再次是「杯內與杯外溫度不同」（平均為 4.1 %）。測後晤談的分析顯示，有 16 位認為是「空氣中的水蒸氣遇冷所產生」，1 位稱「熱空氣遇冷所產生」，4 位稱「水遇熱蒸發凝結為小水滴」，3 位認為「冰水和空氣接觸就產生小水滴」，2 位認為「冷空氣遇到熱空氣就會產生小水滴」，2 位認為是「杯內的水滲透過玻璃杯所產生」，只有 2 位正確的回答是「空氣中的水蒸氣（或水分子）在冷玻璃杯的表面因放出熱能而變成小水滴」。

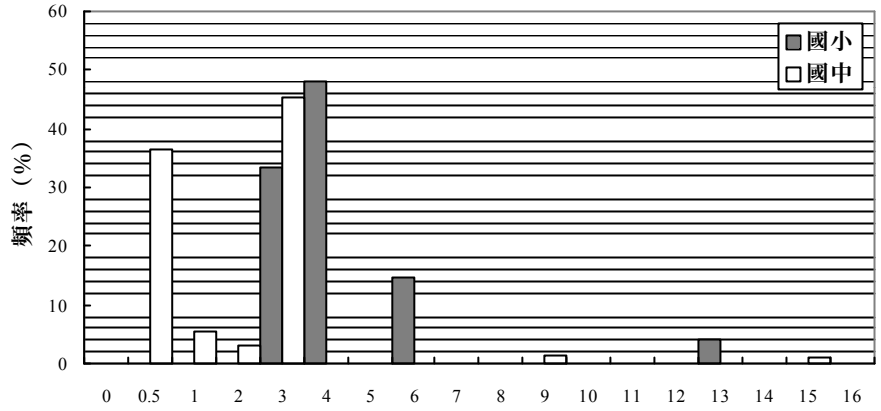


圖 16：蒸發概念之認知模式的頻率分佈

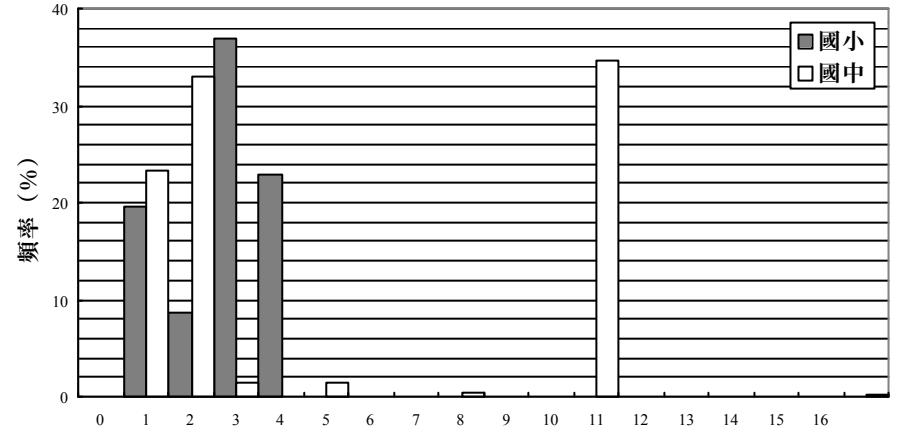


圖 17：凝結概念之認知模式的頻率分佈

綜合而言，最重要的迷思概念類型在國中小樣本中都是「凝結的水滴是來自於杯內的水或冰」（國小平均約 39 %, 國中平均約 23 %），此與以色列和紐西蘭的學生不同。Bar & Travis（1991）研究 10-14 歲的以色列學生發現最常見的迷思概念類型是「凝結的小水滴是由冷（物質）變成的（"the coldness changes into water"）」以及「冷造成氫和氧變成水（"cold caused hydrogen and oxygen to change into water"）」，另外 Osborne & Cosgrove（1983）研究 12-17 歲紐西蘭學生得到相似的結論，即「冷（物質）使空氣中的氫和氧結合成水 "the coldness caused oxygen and hydrogen in the air to form water"」，認為凝結的小水滴是來自於空氣中之水（應是水蒸汽）的頻率由 12 歲的 10 %逐漸提升至 17 歲的 55 %。我們的研究樣本是從小四（10-11 歲）的 22 %到國三（15-16 歲）的 61 %。國小年段及國中年段的學生對於凝結概念之認知模式與層次的頻率分佈情形如圖 17 所示，由圖知，國中年段的平均認知層次遠較國小為高，標準差也較國小為大，高層次的認知頻率較國小為多。各年級之平均認知層次隨年級的變化情形如圖 10 所示，由該圖知，在國小階段認知層次沒有明顯的改變，到了國中才有較

顯著的提升，到國三時認知層次的提升最為明顯。各種迷思概念類型之認知發展順序大略如下「杯外的小水滴來自杯內的水透過玻璃跑到杯外→或冷遇到熱、或杯內與杯外溫度不同→或冰融化、或冰水溫度上升→或冰水和空氣接觸（冒煙）、或冰水所產生的冷空氣與（熱）空氣接觸→或熱空氣遇冷、或變成霧」等所產生的。各種迷思概念類型隨著年級的頻率變化情形如圖 9 所示。

九、綜合討論

對圖 2 至圖 17 的結果進行整體的瞭解，發現一些規律的變化。例如國中學生對於氣體系統之 8 個重要概念的認知層次一般都較國小為高，峰度較國小為寬，高層次的認知頻率較國小為多，且在 5、7 年級時認知層次較 4、6 年級時稍高，但在 9 年級時則有顯著的提升（從圖 4 及圖 12 來看空氣之質量與重量的概念似乎與此規律不符，但與題幹選項的結論一致，如上述）。產生這種規律變化的原因，或許可由中小學課程中與空氣相關之單元的安排和內容來瞭解。在國小階段一至六年級都有與空氣相關的單元，對空氣性質的整體瞭解逐年提升（張敬宜, 2000），到了六年級時與空氣相關之課程的內容（例如物質的氧化和保持方法、氧及二氧化碳的循環、空氣污染的防止等）與本診斷工具所測試的 8 個概念關係不大，所以對這 8 個概念的整體認知層次或許經由遺忘和干擾的影響而稍有降低。到了國二上時，對於空氣系統的重要概念陸續有介紹，國二下時更深入到微觀層次的解釋，因此認知層次有較顯著的提升，到了國三時，物質微粒模式在理化的各個單元都有應用，再經由學力測驗前的複習，及認知能力的成長，表現因而更好。國三學生對於物質微粒理論之平均認知層次顯著提升的另一個可能原因是「學習者同化與調適（順應）氣體微粒理論這個抽象概念體系有時間上的延遲」。根據 Stavy（1995）的研究，以色列的學生在國一時被教導以氣體的性質和狀態（宏觀層次）來定義氣體，但在教導之後，只有 45 %能運用它，一年之後（國二）才大舉提升至 75 %。另外在國二時以色列學生被教導以氣體的微粒模式來定義氣體，但在教導之後，只有 25 %的學生能運用它，到了國三時才大舉提升至 80 %（如前述）。我國的學生在國二下介紹物質的微粒理論，而我們的研究在二月筆試，四月測後晤談，所以國三學生接受測試時在時程上也大約是延遲了一年。不過這種同化和調適的延遲不是必然的（生理或心理上不可突破的限制），有效的教材與教法應能改善這種延遲，這應是可以被期待的。值得再提的是，雖然我國國三學生在氣體微粒理論（或物質微粒理論、或原子假說、或機械典範等之基本瞭解）的平均認知層次有顯著的提升，不過平均而言整體的認知層次都在層次 8 以下（理論上有 16 個層次，參圖 1），其中有兩個概念（空氣的體積與溫度的關係，以及空氣的質量與重量）在整個國民教育的過程中似乎成長有限（認知層次僅止於層次 2，部分原因或許是解釋與論證的能力不足），此或許顯示我國國民教育的科學教材和教學還可以有很大的成長空間。另外，國小年段的平均認知層次較國中年段為低的原因不應解釋為國小年段的教學成效較差，而應歸諸於國小階段的教材和教學對於抽象之科學概念的介紹常常是以宏觀具體的層次來描述。

在另一方面，綜合受測樣本對於氣體微粒理論之四對特徵範疇（即宏微、連斷、靜動、無有等）的整體瞭解情形，其結論與 Novick & Nussbaum（1978）的研究結論有很大不同（當然彼時的社會情境與今日差異很大）。Novick 等人以晤談法對 150 位 13-14 歲的以色列學生進行類似的研究，結果顯示，以色列學生有 64 %知道氣體是由微粒所組成，但只有 35 %有

堅定的真空概念；有 40 %的學生具有空氣的組成微粒具有恆動性的概念（以「空氣不需任何外力（或外因）也可以無所不在」這個觀點作為判據），有 40 %的學生具有微粒間存在交互作用的概念。後續在美國進行的，以紙筆測驗所得到的跨年級（從國小到大學）的研究成果（Nussbaum, 1981），也得到類似的結論。即每個年段平均至少有 50 %以上的學生知道氣體是由微粒所組成，且隨年段的升高而迅速提升，由國小的 50 %到國中的 70 %到高中的 90 %到大學的 88 %；但只有較小比例的學生具有「微粒有自發恆動性」的概念（由國小的 15 %到國中的 28 %到高中的 41 %到大學 48 %），以及真空的概念（由國小的 15 %國中的 15 %到高中的 36 %到大學的 38 %）。本文的研究卻顯示受測學生不具有氣體的組成微粒具有恆動性的概念，且認為真空是人為的、暫時的，沒有學生堅決的相信大氣中有 90 %以上是真空的想法。雖然我們的研究樣本中筆試部分平均有 17.6 %的國中生認為「空氣或其組成微粒本身可以自由運動」，且平均有 2.4 %的國中生以空氣無所不在來說明空氣會運動，但測後晤談卻發現所謂的「自由運動及無所不在」只是因為造成運動的外因不明，並非認為沒有外因空氣或其組成微粒本身也能自發的運動。當我們請教在職進修班的資深教師時，意外的發現沒有老師具有物質微粒具有自發恆動性的概念，縱使這些老師在提醒下仍記得量子力學中學過零點能量（zero-point energy）的概念。這個事實或許可被用來推論本研究的樣本不知道「氣體之組成微粒具有自發恆動性的概念」的部分原因，可能與教師不具有這樣的概念以及經典物理的教材（包括所有的動力學）只強調外因論（即「物質運動狀態的改變是由外因（力）造成的」）且未自覺的深入物質慣性定律的這個面向（不受力也能動）有關。而上述學生學習此概念時最常見之迷思概念的類型（即「氣體或其組成微粒的運動是由外因造成的」），其根源與成因或許部分也是來自於此。在真空的概念方面，我們的樣本顯示受測學生沒有堅定的真空概念。當以懷疑的口氣反問「我們生活周圍的空氣中真的到處（有 90 %以上）都是真空嗎？」，原先認為空氣微粒間有真空存在的學生都會退縮，但學習成就較好的學生也不會完全放棄大氣中存在真空的想法，只是讓兩者（大氣為連續或斷續的兩種圖景）同時並存。

伍、結論及建議

以下總結本文的一些重要結果，我們以交替運用歸納法和演繹法的方式，嘗試把這些由具體的空氣系統之研究所得到的結果以一般化的方式來陳述（即把個別的證據歸納為可被檢驗之一般層次的假說），並對其在教學上的可能意義和應用做概要的說明（演繹的推論與應用），提供發展教材與改進教學時的一些參考。

1. 至少有 50 %以上的本研究樣本不具有「任何系統（或氣體系統）都有基本的組成要素或結構單元」的信念，這兩個本體論的基本信念是自 Aristotle 以來至今（例如現代物理學尋找最基本粒子（夸克、場量子等宇宙之磚）的研究取向），被認為是認識、理解和研究大自然的首要工作，也是人類之科學認識和科學思想的主要發展脈絡之一。為了有效的繼承過去的經驗與思維的整體成就，自覺的與科學的歷史以及社會文化等建立深層的聯繫關係，教材與教學應能自覺的運用各種具體的範例、模式（組）、策略和方法等來呈現這些本體論命題的基要內容，從各個學科（甚至是各個學習領域）來加強學習者的這些信念，此對於各學科領域之知識的融通和相應能力的培養具有重要的意義。

2. 本研究概括得出四種與上述本體論命題直接相關，也具有普遍意義的新迷思概念類型，分別是(1) 學習者認為「本原（基本組成）= 起源 = 成因 = 原因」；(2) 認為「描述了發生的過程就相當於解釋了發生的原因（過程 = 原因）」；(3) 物性可以離開物質獨立存在，或把物性當作是物質（物性 = 物質）；(4) 物質或物性有如種子可以產生其他物質或物性（即物質或物性具有類似種子的再生功能）。因為這些迷思概念的類型對於學習者認識我們的大自然具有奠基性質的重要性，所以教材與教學應能自覺的以各種具體範例、模式（模組）、策略和方法等從各個學科（或學習領域）來釐清「起源與本原、根源與成因、原因與結果、狀態與過程、整體與部分」等概念的不同點以及兩者之間的緊密聯繫關係。釐清這些概念（或範疇）間的區別與關連，也是自覺的以認識論的基本命題（即「凡物皆流，無物常駐」）來融通知識和培養能力的重要起點。
3. 在日常生活中，人們是經驗主義者或功利主義者，不是理性或理想主義者。這個事實部分解釋了學習者迷思概念的一些一般特徵。因此為了提升科學教學與學習的成效，教材與教學應自覺的強調認識對象的內部結構和運作原理，不但要知道「是什麼」，而且要嘗試去探究「為什麼」；不只要「知其然」，還要努力「知其所以然」；不只是看到分割後個別存在的實體，還要能從整體上去理解實體間的聯繫關係。
4. 就氣體（或物質）微粒理論之兩大核心概念（或前述 Nussbaum 所稱的五大特徵）的科學學習而言，學習者迷思概念（或常識性思維）的主要特徵範疇是「宏觀、連續、靜態、無交互作用」，而科學理性思維的主要特徵範疇則是「微觀、斷續、動態、有交互作用」。這四對特徵範疇的 16 種排列組合，可被用來識別、分類、排序學習者學習氣體（或物質）微粒理論時所既有的或新生的認知類型，教材及教師應能自覺的應用這些特徵範疇及認知的類型來建立學習者之常識性思維與科學思維之間雙向可通的橋樑或鷹架，嘗試以之進行有意義和有效率之氣體（或物質）微粒理論的教學與學習。
5. 受測學生有關氣體之 8 個重要概念的認知類型、模式、層次、頻率分佈及認知發展情形如圖 2 至圖 17 所示，就物質微粒理論的五項特徵而言概要結論如下：(1) 在空氣之基本組成要素方面，其認知順序是「不具有空氣有基本組成的概念→空氣的基本組成是由宏觀、靜態的團塊、顆粒、元素→到微觀的微素或微粒」；(2) 學生不具有氣體的組成要素（團塊、顆粒、微粒、原分子等）具有自發恆動性的概念；(3) 認為空氣（物質）是連續的，真空是人為的、暫時的；(4) 對於交互作用的概念模糊，無法自覺的分類與應用。Nussbaum（1998）指出學生不可能由自己的感覺經驗中概括出這些抽象概念的正確意涵，因此發展這些抽象概念的獲得、概念重建和概念改變的有效教學模式與策略具有十分重要的實際意義。本文的研究結果可在這些方面提供參考。
6. 與國內外的相關研究結果相較，本研究樣本的迷思概念類型雖然多數與前人的研究發現相同（此可由比較上述第貳(一)節與第肆(一)節的結果而得知，不過各相同類型之迷思概念的頻率分佈及隨不同年級的頻率變化情形，中西雙方一般

是不同的），但也存在一些重要的不同，例如「氣體與思想或靈魂等同類」以及「氣體的重量為負」等這兩種迷思概念的類型只出現在西方國家的研究中；而「本原 = 起源 = 成因 = 原因」、「過程 = 原因」、「物性 = 物質，或物性可獨立於物質而存在」、「物性（或物質）= 種子」等四種類型則只在本研究中出現。中西雙方的學童有相同或相似迷思概念類型的原因，或許是不同國家的學生有相似的生理結構（例如大腦、感知覺器官、動作器官等）其對相同科學概念的學習會產生相似的、來自於感覺經驗層次的迷思概念類型；雙方有不同的迷思概念類型或有相同迷思概念類型但有不同頻率分佈的原因，或許是來自於不同的社會文化背景。不過我們猜測，本研究的四種新迷思概念類型不是本研究樣本所特有，西方學童也會有這四種一般化的迷思概念類型，只是尚未被萃取出來而已。如此猜測的根據是「中西雙方的科學思想發展史都是從神話思維、巫術思維進到古代的自然哲學思維，都是從萬事萬物的起源、本原、始因等問題為切入點來瞭解自然界」，因此應該會有相似的、與本體論相關的迷思概念類型。

7. 本文的研究顯示，受測學生有關氣體系統之 8 個重要概念的平均認知層次隨著年級（年齡）約略的呈現出規律的變化，例如國中學生對於氣體系統之 8 個重要概念的平均認知層次一般都較國小為高，標準化曲線的峰度（或標準差）較國小為寬，高認知層次的頻率較國小為多，且在 5、7 年級時認知層次較 4、6 年級時稍高，但在 9 年級時則有顯著的提升，不過各概念的平均認知層次都在 8 以下，此顯示就氣體（或物質）微粒理論（或機械典範）而言，我國國民教育的科學教材和教學還可以有很大的成長空間。

陸、誌謝

本文特別感謝國科會科教處所規劃的各種論文寫作研習會及可供國內學者發表研究論文的學術刊物，並感謝國科會計畫編號 NSC91-2511-S-017-025 的經費補助。

柒、參考文獻

1. 李明中（1993）：從基模理論探討學生對氣體粒子行為的批判思考。國立台灣師範大學物理研究所碩士論文。
2. 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。國立台灣師範大學化學研究所碩士論文。
3. 徐開來譯（2002）：Aristotle<<物理學>>。慧明文化。
4. 陳世雄（1992）：利用示範式實驗群測法探究國中學生的物質變化概念與重量守恆推理。國立台灣師範大學化學研究所碩士論文。
5. 林財庫（2003）：中小學生物質微粒理論之迷思概念及概念圖式的診斷工具和分析方法，科學教育學刊接受刊登。
6. 林慧潔（2002）：高雄市中小學生與氣體相關概念及概念圖式之認知類型、模式、層次、頻率分佈及認知發展的分析研究。高師大物理所碩士論文。
7. 黃湘武和黃寶鈿（1986）：學生推理能力與概念發展。認知與學習基礎研究第一次研討會。
8. 黃寶鈿（1990）：溶液相關概念之認知發展

層次的研究II)。國科會專題研究計劃報告（NSC78-S003-18D）。

9. 張敬宜（2000）：大台北地區國小學童對空氣相關概念認知之研究。科學教育學刊, **8**(2), 141-156。
10. 賴篁川（1994）：年長孩童的水循環概念和物質組成模式。國立台灣師範大學地球科學研究所碩士論文。
11. Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education, 18,* 53-85.
12. Bar, V. (1986).*The development of the conception of evaporation*. The Amos de Shalit Science Teaching Center, The Hebrew University of Jerusalem, Israel.
13. Bar, V. and Travis, A.S. (1991). Children' s views concerning phrases. *Journal of Research in Science Teaching, 29(4),* 363-382.
14. Bar, V., & Gaglili, I. (1994). Stages of children' s views about evaporation. *International Journal of Science Education, 16,* 157-174.
15. Ben-Zvi, R., Eylon, B. and Silberstein, J. (1987). Students' visualization of chemical reactions. *Education in Chemistry, 24(3),* 117-120.
16. Brook, A., Driver, R. in collaboration with Hind, D. (1989). *Progression in science: the development of pupils' understanding of physical characteristics of air across the age range 5-16 years*. Center for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.
17. Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1985). *Children's ideas in science*. Milton Keynes, UK: Open University Press.
18. Driver, R., Squires, A., Rushworth, P. & Wood-Robins, V. (1994): *Making Sense of Secondary Science*. Routledge, NY.
19. Feynman, R. (1963). *Feynman Lectures, Vol. I.* 徐氏基金會出版。
20. Glynn S.M. & Duit R., (eds). (1995). *Learning Science in the Schools*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers Mahwah, NJ.
21. Holding, B. (1987). *Investigation of school children understanding of the process of dissolving with special reference to the conservation of matter and the development of atomistic ideas.* Unpublished Ph.D. thesis, University of Leeds.
22. Karplus, R. & Thier, H.D. (1967). *A new look at elementary school science*. Science Curriculum Improvement Study. Chicago: 2Rand McNally.
23. Leboutet-Barrell, L., (1976). Concepts of mechanics among young people. *Physics Education*, *20*, 462-465.
24. Mas, C.J.F., Perez, J.H. and Harris, H. (1987). Parallels between adolescents' conceptions of gases and history of chemistry. *Journal of Chemical Education*, *64(7)*, 616-618.
25. Mintzes, J.J., Wandersee, J.H. & Novak, J.D. (1998). *Teaching Science for Understanding: A Human Constructivist View*. Academic Press.
26. Nakhleh, M.B. & A.Samarapungavan (1999): Elementary School Children' s Beliefs about Matter. *Journal of Research in Science Teaching, 36(7)*, 777-805.
27. Novick, S. and Nussbaum, J. (1978). Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: An interview study. *Science Education, 62(3)*, 273-281.
28. Novick, S. and Nussbaum, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter: a cross-age study. *Science Education, 65(2),* 187-196.
29. Nussbaum, J. (1985). The Particulate Nature of Matter in the Gaseous Phase. In R. Driver, E.

Guesne, & A. Tiberghien, (eds.) *Children's ideas in science*. Milton Keynes, UK: Open University Press.

30. Nussbaum J. (1998). History and Philosophy of Science and the preparation for Consructivist Teaching: The case of Particle Theory. In Mintzes, Wandersee & Novak, (eds). *Teaching Science for Understanding: A Human Constructivist View*. Academic Press. 165-194.
31. Osborne, R.J. and Cosgrove, M.M. (1983). Children's conceptions of the changes of state of water. *Journal of Research in Science Teaching, 20(9)*, 825-838.
32. Pfundt H. (1981). *Pre-instructional conceptions bout substances and transformations of substance*. In Jung W., Pfundt H. & von Rhoneck, C. (eds). Proceedings of the International Workshop on Problems Concerning Students' Representation of Physics and Chemistry Knowledge, 14-16 September, Pedagogische Hochschule, Ludwigsburg, 320-341.
33. Piaget, J. (1973). *The Child's Conception of Physical Causality*. Great Briton: Redwood.
34. Piaget, J., & Inhelder, B. (1974). *The Child's Construction of Quantity*. London: Routledge and Kegan Paul.
35. Ruggiero, S., Cartelli, A., Dupre, F., & Vincentini-Missoni, M. (1985). Weight, Gravity and air pressure: mental representations by Italian middle school pupils' . *European Journal of Science Education, 7(2)*: 181-194.
36. Russell T. Harlen W. & Watt D. (1989). Children's ideas about evaporation. *International Journal of Science Education, 11(5)*, 566-576.
37. Sere, M.G. (1985) .*The gaseous state*. in Driver, R., Guesne, E. and Tiberghien, A. (eds), Children's Ideas in Science, Open University Press, Milton Keynes, 105-123.
38. Sere, M.G. (1986). Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. *European Journal of Science Education*, *8(4),* 413-425.
39. Stavy, R. (1988). *Acquisition of conservation of matter*. Paper presented at the Second Conference on Misconceptions, July. Cornell University, Ithaca, N.Y.
40. Stavy, R. (1990). Children's conception of changes in the state of matter: from liquid (or solid) to gas. *Journal of Research in Science Teaching, 27(3)*, 247-266.
41. Stavy, R. (1991). Children's ideas about matter. *School Science and Mathematics, 91*, 240-244.
42. Stavy, R. (1995). Conceptual Development of Basic Ideas in Chemistry. In Glynn & Duit (eds). *Learning Science in Schools*. Lawrence Associates, Inc. 131-154.
43. Westfall, R.S. (1980). *Never at Rest. A Biography of Isaac Newton*. Cambridge University Press, Cambridge.

附錄一　測後晤談半結構式問卷（研究者備用）

情境：桌上放「一塊食鹽」、「一塊紅檜」、「一杯水」和「一個灌滿空氣的氣球」

1. **氣體之基本組成**

研究者問：您認為空氣是否有基本的組成要素？答：（有 / 沒有 / 不一定）。為什麼？

答：--- --- --- --- ---。**如果無法回答或只是表面宏觀層次的描述或者是非微粒的描述，則再問：您認為它是由一團團小團塊所組成的呢？還是有比小團塊更小的單位組成的？**

答：--- --- --- --- --- --- --- ---（**必要時追問** what? why? how?）。 **如果回答是在微觀或粒子層次，則再問：這些組成空氣的最小顆粒（或學生的用詞）是什麼？答：**--- --- --- ---

研究者問：它們會像空氣一樣是無色的嗎？答：--- --- ---（**有必要時追問** what? why? how?）

研究者問：它們會像空氣一樣軟的嗎？答：--- --- --- ---（**有必要時追問** what? why? how?）

研究者問：這些小顆粒（或學生用詞）都有相同的性質（例如一樣大）嗎？

答：--- --- --- ---（**有必要時追問** what? why? how?）**如果以上的回答是在微觀或 / 且微粒層次，但仍未很明確，則再追問：請告訴我這些組成空氣的最小微粒（或學生用詞）看起來應該像什麼？形狀如何？**

答：--- --- --- --- --- --- --- ---（**有必要時追問** what? why? how?）。

如果學生的回答無法進入「動態微粒」的層次則進入下一題。(仿照上例再問以下問題)

2. **組成間的交互作用**
3. **空氣的性質（質量和恆動性）**
4. **「氣體狀態間的轉化」（凝結、蒸發、擴散）**
5. **氣態物質的特徵。**

附錄二　晤談資料分析的一個範例

晤談對象：師大附中國二下資優女生。道具：「上可加蓋，側面有出氣口的抽濾瓶和可打氣或抽氣的針筒」。

研究者問：這玻璃瓶中有任何東西嗎？學生答：有空氣。問：您怎麼知道？答：（思考了一會兒）本來就有。問：能證明嗎？答：放一隻老鼠進去，若死了就是沒有空氣，若沒有死就是有空氣。問：如果放進去一段時間才死呢？答：可能，當氧氣用完之後就會死。問：空氣中氧氣的含量有多少？答：約 20 %，其餘約 80 %為氮氣，還有少量的氫氣、惰性氣體。問：氧氣是由什麼東西組成的？答：什麼是「組成」？問：例如水是由小水滴組成的。答：是氧分子組成的。問：那水是不是也是由水分子組成的？答：是。問：小水滴和水分子那個體積大？答：水滴。問：若把水滴不斷分割變成非常非常小的水滴，那麼水分子和這些非常非常小的水滴哪一個體積大？答：小水滴最小只能和水分子一樣大。問：水分子還可以再細分下去嗎？答：可以，細分後變成氧原子和氫原子。問：氧原子還可以再細分下去嗎？答：可以，物質無限可分。問：為什麼物質無限可分？答：（停頓思考後）我想是這樣。（稍做休息後，繼續）問：您說空氣是由氧分子和氮分子所組成，那麼它們是以怎樣的方式組合而成為空氣的？答：（停頓思考後）不知道。問：您是不是可以把您想像中的空氣中的氧分子和氮分子畫在紙上？答：（學生在紙上畫出一些大圓圈和小圓圈，大圓圈上寫「O_2」，小圓圈上寫「N_2」，參圖 18。以下問題皆佐以圖 18 來說明）。問：為什麼大圓圈是氧分子，小圓圈是氮分子？答：氧的原子量較大。問：這是不是表示氧分子比較重？答：是。問：較重會不會往下掉，使得氧氣在下面，氮氣在上面（註：此問題的原意是要瞭解學生是否知道分子具有自發的恆動性，因而能克服地心引力，廣泛的散佈在大氣中，雖具有誘導性，不過是在感覺經驗層次的推論範圍）？答：會。問：如果是這樣，那麼空氣是不是就會因為重量的不同而分成很多層次？答：可能。問：您的意思是說在天空的某個高度就只能有氮分子嗎？答：不完全是氮，還有一些氧，只是比較少而已。問：您是不是可以繼續在這您所畫的這個圖上說明一下？答：（參圖 18 中大小圓圈在不同高度的分佈情形）。問：圓圈和圓圈之間的空白代表什麼？答：看不見的空氣。問：您是說「氧分子和氮分子之間有空氣嗎」？。答：是一些更小的東西。問：這些更小的東西是什麼？答：（停頓）不知道。問：您認為這些更小的東西之間還有東西嗎？答：有。問：是什麼？答：不知道。問：所以基本上您認為空氣是連成一片的？答：嗯。問：根據您畫的這個圖，您認為氮分子之間、氧分子之間、以及氧分子和氮分子之間會相互影響嗎？答：會，有吸引力。問：哪一個（對）吸引力比較大？答：跟距離有關係，距離越大吸引力越小。問：那麼這三對吸引力哪一對距離最小？答：不一定，在較低的地方氧分子間的距離比較近，在較高的地方氧分子間的距離比較遠。問：那麼在同一個高度呢？答：氧分子和氮分子之間（的距離）比較近。問：您的意思是說在同一高度時「氮分子與氧分子之間的吸引力最大」。答：嗯。問：那麼剩下的兩對，哪一對吸引力大？答：不一定，要看氧分子多還是氮分子多。問：可不可以再說清楚一點？答：如果氧分子多，它們之間的距離就小，引力就比較大。問：如果在某一高度氧分子之間的距離與氮分子之間的距離一樣大，那麼哪一對的吸引力大？答：嗯，一樣大。問：您認為分子間的交互作用除了和分子間的距離有關以外，還跟其他因素有關嗎？答：（停頓）不知道。問：在同一高度的情況下氮分子與氧分子之間的距離會改變嗎？答：不會。問：為

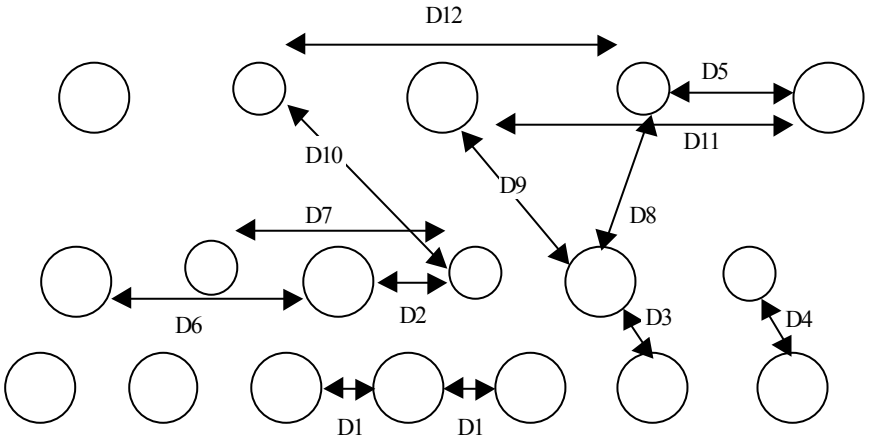
什麼？答：(停頓) 排斥力和吸引力平衡。問：排斥力是怎麼產生的？答：吸引力變小排斥力就變大。問：為什麼？答：排斥力和吸引力都與距離有關，距離越小吸引力越大排斥力就變小，距離越大吸引力就越小排斥力就變大。問：您的意思是說「吸引力和排斥力一起產生，而且其中一種力增加另一種力一定會減少」？答：是的。問：那這樣「吸引力和排斥力的總和」會不會到哪裡多一樣大呢？答：可能。(稍做休息後繼續)。問：您認為空氣會運動嗎？答：可以。問：為什麼？。答：有風就會動。問：風停了以後，空氣還是繼續運動嗎？答：不會。問：還有其他原因會造成空氣運動嗎？答：有，例如氣壓差，或溫度差。問：當壓力差或溫度差變成零時，空氣還會運動嗎？答：不會。您的意思是說「沒有風、沒有氣壓差、沒有溫度差或其他外在原因，空氣就不會動嗎」？答：是的。問：讓我們回到這個抽濾瓶來，如果我用這個針筒不斷把空氣打入這個封閉的抽濾瓶中，哪麼您認為會發生什麼現象？答：裡面的空氣會被壓縮。問：壓縮以後會變成什麼？答：不知道。問：如果這個瓶子裡面裝得是水蒸氣呢？答：那麼壓縮後會變成水。問：水的上面還有東西？答：沒有了，是真空。問：地球表面上會有真空的存在嗎？答：應該會有東西從其他地方過來填充。問：這種東西是什麼呢？答：不知道。問：記得這個容器現在是密閉的，這種東西從哪裡來呢？答：(水的上方) 應該是真空。問：您前面說「空氣是連成一片的，氧分子和氮分子之間沒有真空存在（圖 18)」，現在卻認為「有真空存在」，那麼「真空從哪裡來的」呢？答：在密閉容器中加壓產生的。問：如果抽濾瓶中原先沒有真空，加壓能產生真空嗎？答：不知道。問：您認為在空氣中有真空存在嗎？答：沒有。(終止晤談)。

分析以上的晤談內容得到以下的發現：

1. 學生能根據不同的問題情境，逐漸改變他原有的「概念圖式」，以她認為合理的方式暫時固定下來，直到新的問題挑戰她的原有概念圖式。當兩種相互矛盾的概念或概念圖式一起產生時，她適應的策略是兩種矛盾暫時並存，不做單一的抉擇。例如以物質微粒理論的四對範疇來識別這個學生的整體認知模式可得知(1) 此學生知道「空氣主要是由氮分子和氧分子所組成」，且「對於分子的概念有相當程度的正確認識」，但一開始時不具有真空的概念（例如物質無限可分、空氣連成一片、參圖 18），也不具有交互作用和分子具有自發運動（恒動性）的概念，所以根據圖 1 來判斷，其對氣體微粒理論的整體認知層次是屬於「微觀、連續、靜態、無交互作用觀（即模式 6 或層次 6）」；(2) 後來他由分子間是否具有交互作用的問題，引入排斥力和吸引力並存，且這兩種力都與距離有關的較正確概念，因此認知模式提升至「微觀、連續、靜態、有交互作用觀（模式 8 和層次 8）」。但因她認為分子間的交互作用只與距離有關與分子的種類無關是錯誤的，所以她的模式 8 也不穩固；(3) 最後她在空氣加壓後變成液體，上方存在真空的問題裡，獲得了初步的真空概念，但卻認為真空是人為的（加壓後才可以產生），空氣中沒有真空，所以認知模式再提升至不穩定的「微觀、斷續、靜態、有交互作用觀（不穩定的模式 14 或層次 14）」。
2. 由晤談中得到很多由大量的筆試測驗所沒有得到的新認知類型。例如(1) 空氣依組成要素之重量的不同分為很多層次（雖然這種認知類型有可能來自於問題的誘導（重的下沈、輕的上浮），不過這種誘導符合受測者的日常生活經驗，是她能力範圍內的推論，因此由此而得的這種認知類型仍具有代表性，以下其他由誘導性的問題所得出的結論類同）；(2) 分子間的交互作用力只與距離有關與分子的種類無關；(3) 分子間的排斥力和吸引力一起

產生，且彼此有消長關係；(4) 在同一高度分子間的距離保持不變是分子間吸引力和排斥力平衡的結果；(5) 吸引力和排斥力的總和在大氣的任何地方都一樣大（誘導性答案）；(6) 在同一高度同種分子間的距離較遠，不同分子間的距離較近；(7) 大氣中沒有真空，任何微粒之間必存在其他東西。若有真空，則這些真空必然是人為的、暫時的，真空產生之後必有東西過來填充，使真空消失。

3. 資優生不知道「組成」是什麼意思，我們的筆試和晤談資料的分析也顯示，至少有五成以上的研究樣本也不具有「氣體具有基本組成」的本體論信念。此或許顯示我們的教材和教師對「物質具有基本組成」、或「萬物皆有本原」、或「任何系統都有結構單元」等本體論之基本命題的教學，似乎不夠重視。
4. 在整個晤談過程中學生都未顯示出對於組成物質之微粒具有自發恒動性的科學概念，對於真空及交互作用的概念也顯得模糊、不穩固。大量筆試和晤談資料的分析結果也支持這個發現（參第肆節），此或許顯示過去的教材和教師對這些物質微粒理論（或原子假說或機械典範）之重要概念的教學沒有自覺的去強調。其直接的影響是學生難以正確的運用物質之微粒模式來理解物質的各種狀態和性質的變化（例如物理和化學變化），甚至是壓力、體積、均勻分佈等氣體的基本特性也無法正確的理解。Nussbaum（1998）指出「學生不可能自發的由自己的感覺經驗中概括（建構）出這些抽象概念的正確意涵」，因此有效的概念發生、概念獲得、概念重建和概念改變之氣體微粒理論的教材和教學的模式與策略等的開發十分重要。



D1 < D2 < D3 < D4 < D5 < D6 < D7 < D8 < D9 < D10 < D11 < D12

圖 18：晤談學生對空氣之組成（氧分子與氮分子）的靜態分佈。因為分子的重量不同所以這些氣體成層狀分佈（參本文），分子與分子之間充滿其他物質，分子間的交互作用只與其間之距離有關，且排斥力和吸引力同時產生，在同一空間層次兩種力的和是一個常數。

Grades 4-9 Pupils' Cognitive Patterns, Levels, Frequency Distribution and Evolution in Learning the Particle Theory of Gases

Tsai-Ku Lin and Hueih-Jier Lin
Department of Physics, Kaohsiung Normal University

Abstract

A two step diagnostic instrument, which includes a two tier paper pencil test and post-test interviews, was conducted to investigate 1261 Taiwanese Grades 4-9 pupils' misconceptions in learning the particle theory of gases. This instrument includes eight important concepts of gases, such as gas is made of particles, there is empty space and interaction between particles, particles are in constant motion, particles have mass, heating changes the volume of a gas, and the fundamental characteristics of matter in gaseous state, evaporation and condensation etc. Each item on the written test consists of a content question having four choices, followed by a space for the pupil to write in the reason why the particular choice was selected. Two months after the written test, 96 of the participating students were interviewed individually and in depth. Four pairs and 16 sets of combinations ($2^4 = 16$) of characteristic categories of the particle theory of matter have been used to code, classify and sequence the quantitative data collected from the written test and post test interviews. This new method for coding and classification helped us to find several significant findings, they are (1) at least 50 % of all of the pupils do not believe air has fundamental composition; (2) 15 % grades 4-9 pupils could not distinguish the different meanings between compositions, origin, and cause of air; (3) about 20 % grades 4-9 pupils could not tell the difference between processes, results and cause of air; (4) about 25 % consider properties (e.g. fragrance) as materials, or that properties (fragrance) can be isolated from materials (e.g. perfume = water + fragrance); (5) 2 % grades 4-6 believe that objects (or properties) can produce new materials (similar to the function of seeds); (6) about 50 % grades 4-6 and 10 % grades 7-9 pupils could not differentiate cause and effect or cause and process. The cognitive patterns, models, levels and frequencies distributions of pupils in learning the particulate theory of gas are summarized in tabular form. Some interesting features and the most common misconceptions generalized from the empirical data are discussed and compared with the findings in other countries. Specific educational implications of these research findings for science education are proposed.

Key words: Misconceptions, Cognitive Patterns, Particle Model of Matter, Mechanism and Reductionism, Atomism.