

# 國二學生對「純物質」和「混合物」 之微觀粒子概念研究

張容君<sup>1</sup> 張惠博<sup>2</sup> 鄭子善<sup>3</sup>

<sup>1</sup>國立彰化師範大學科學教育研究所<sup>2</sup>國立彰化師範大學物理系

<sup>3</sup>臺北市民族國民小學

(投稿日期：96年6月22日；修正日期：96年9月13日、10月12日、10月23日；

接受日期：96年10月26日)

## 摘要

科學概念的教與學之研究一直是科教界重要的研究議題。然而，在過去的文獻中，國內少有探討有關學生對於科學概念之理解與應用間一致性的問題。微觀粒子概念是學習化學極為重要且基本的概念，而「純物質」和「混合物」的教學單元則是國二學生學習微觀粒子概念的首要主題。因此，本研究旨在探究國二學生對「純物質」和「混合物」的微觀粒子概念之理解與應用間的一致性。針對國二一個常態班級的37位學生進行二階段試卷施測和半結構式個別晤談，並輔以學生的圖像表徵，以深入瞭解學生在學習之初，是如何設想(visualize)這些概念。研究發現：一、國二個案班級學生對「純物質」和「混合物」的概念可分為三種類型：(一)自發性的描述定義；(二)依物質性質的定義；(三)微觀粒子概念的定義。根據物質性質定義「純物質」和「混合物」概念的學生人數最多，其次為自發性的描述定義，而以微觀粒子概念解釋「純物質」和「混合物」的學生人數最少。二、在理解與應用概念間的一致性方面，多數學生以自發性的描述定義，作為「純物質」和「混合物」的分類依據，其次是依微觀粒子概念作判準，而沒有學生依物質性質的定義作分類。三、以微觀粒子概念作解釋的學生，其概念理解具有一致性。本研究結果有助於瞭解學生學習微觀粒子概念的情形，以提供教學參考。

關鍵詞：純物質、混合物、微觀粒子概念

## 壹、前言

近五十年來，有關學生概念學習的過程及其對科學現象的想法，在科學教育研究議題裡越顯重要 (Calik & Ayas, 2005)。概念是學習的基礎也是認知的工具，其能提綱挈領，進而執簡御繁所有的認知活動都離不開概念學習的過程。學生學習概念後，便可以利用概念來思考，作為更進一步學習的基礎。例如，想要純化一種混合物，使分離成兩種化學物質，首先要考慮的是兩種化學物質各自的特性，也就是學生必須先具有掌握兩種化學物質特點的概念，以作為學習純化混合物的基礎。然而，科學概念的學習對許多學生而言是困難的。因為在許多情況下，學生的認知往往是不同於科學領域中已被接受的認知 (Reif, 1987)。學生心智建構與科學社群相異的概念，被稱為「迷思概念」 (misconceptions)、 「先前概念」 (preconceptions)、 「另有架構」 (alternative frameworks)、 「學童科學」 (children's science) 或「前置性想法」 (preconceived notions) (Nicoll, 2001)，前述這些詞彙不僅具有部份的相同性，亦具相似性的意義 (Calik & Ayas, 2005)。有些學者認為，另有概念的產生深受年齡、感知能力、空間感與邏輯推理等自然的生理發展因素所影響 (Gómez, Benarroch, & Marín, 2006)。從過去有關學生概念學習的文獻中顯示：部分研究結果指出，學生某些概念是具一致性的 (Brown & Clement, 1989; Ioannides & Vosniadou, 2002)，而亦有研究結果指出，學生的概念是散佈、不易區別且不完整 (diSessa, Gillespie, & Esterly, 2004)，尤其是學生不能將學校所學的科學概念和推理，一致的應用於日常生活中，學生的概念架構在不同的問題情境下會有不一致的解釋 (Clough & Driver, 1986)。此種矛盾可能歸咎於研究者獲得答案的方式、研究者的理論情境和研究下的主體等，都應是關鍵的因素。當學生的答案源自於結構完備 (well-structured) 的測驗時，研究者的資料分析亦受限於特定的測驗形式。例如，選擇題形式的測驗內容，大多數是以命題陳述的方式表達概念，而如果把這些命題陳述和概念仔細的加以分析，可以發現其大部分是複合的，亦即我們大多使用複合的命題陳述表達我們的複合概念，這些複合的命題陳述是由更簡單的命題陳述所構成，這些複合概念也是由最基本的概念所構成的 (杜嘉玲, 1999)。Gómez 等人 (2006) 亦指出現有的紙筆量表受限於題型描述過於學術性的問題，難以有效研究學習者的迷思概念。況且並非單從受試者的測驗內容或學生提供的所有答案均足以描述他們的概念，尤其是在建立學生對某些科學概念的答案是具某種程度的一致性時 (Marín, Jiménez Gómez, & Benarroch, 2004)，我們必須運用多重的方法檢驗學生概念的內容，以區辨其中差異。

課堂上傳統教學的方法在評估學生的學習效果時，一般都以學生回答正確與否做依據，但是在這兩個極端的分界中，並未包含其學習概念的形成和改變歷程，因此還存在著許多模糊空間。此外在學生的學習領域中，一個教學單元所涵蓋的學習概念，通常不只一個，並且每一個學習概念的重要程度又分別不同，在教學時也須考慮概念的階層性以及其聯結，所以在瞭解學生的學習成效時，雖然學生對於評量的作答結果符合了正確答案，但卻不能保證學生對於此概念是真正完全的瞭解。迷思概念的產生與源起是十分錯縱複雜的，科學概念學習的研究，應從學習過程中進行學生迷思概念的調查和探討學生迷思概念的成因，針對這些研究結果設計合適的教學策略與教學活動等，探究學生概念改變的因素和過程以及其共通性等，以提供教師教學的參考。Chiu、Guo 與 Treagust (2007) 指出：量化研究的方法可以使我們推論有關科學教育體制的影響並預測學生哪些學習問題值得注意，但另一方面，量化研究卻不能提供我們更深入的資訊，關於學生學習科學時，是如何產生對物理世界、科學符號、科學模型和科學術語等之概念。多重選擇題型式設計的二階段式診斷性測驗工具限制了我們深入瞭解學生學習上的個別差異與對於知識理解的心智表徵之一致性 (Chiu et al., 2007)。例如：文獻中有關概念發展的過程，學生的概念是一致的，亦或是破碎分裂的，尚存有許多不同的觀點 (diSessa et al., 2004; Ioannides et al., 2002)，有待後續的研究者進行深入的質性研究分析。因此，本研究旨在瞭解國二學生對「純物質」和「混合物」概念的定義，藉由學生對不同物質進行「純物質」和「混合物」分類的概念應用，再輔以學生圖像的多重概念表徵，確認其概念的準確性和一致性。研究的結果對學生發展

物質微觀粒子概念的理解和其普遍持有「純物質」和「混合物」之微觀粒子概念的想法提供訊息，並檢驗學生對「純物質」和「混合物」概念的理解和應用之間的一致性，以期幫助教師發展適當的教學策略，促進學生概念學習。據此，本研究探討的研究問題如下：

- 一、國二個案班級學生對「純物質」和「混合物」之微觀粒子概念理解為何？
- 二、國二個案班級學生對「純物質」和「混合物」概念理解的圖像表徵為何？
- 三、國二個案班級學生對「純物質」和「混合物」概念理解和應用之間的一致性為何？

## 貳、文獻探討 一、概念的形成與知識表徵

概念的形成基本上是一種分類的過程與結果，因為概念是一種象徵的建構(symbolic construction)，用來代表外界事物的共同性(Smith & Medin, 1981)。換言之，概念所以形成，是由於我們能夠對外界的事物進行歸類(categorization)；把相同的事物歸為一類，以便與不同類的事物在理念上分開(鄭昭明, 1993)。概念學習是將屬於同一類事物的許多具體形象加以比較，找出彼此的異同點，區分其本質特點與非本質特點，然後把它們的共同本質特點抽取出來，並加以概括，作為代表這一類事物的概念過程(湯維玲與顏慶祥, 2002)。

概念所代表的意義並非只是提供辨識事物特性的抽象名詞或符號，透過概念的學習我們可以將訊息按概念分類來處理，以利於知識學習的思考活動。就功能面來分析，概念可幫助我們簡化、分類和聯合各種不同的事物，可以使我們更有效的進行推理、批判和問題解決等思考活動。可見形成概念或分類，不但可節省我們的認知資源，還可以幫助我們對事物的預知與推理(連韻文, 2000)。陳澤民(1997)指出概念是人對過去的經驗加以分類和抽象化的結果，概念形成的主要原因是人從實際經驗中抽取概念，並且用語言加以說明。每一個概念皆是由許多的事例(instances)來形成其意義範疇或內涵，雖然每一個人的心中都擁有無數的概念，但卻不見得能說出這些概念的定義(饒見維, 1994)。此外，同一個人以不同的形式表徵同一個概念的意義時也往往不盡相同。

知識表徵(knowledge representation)是指在我們的長期記憶與工作記憶中訊息如何呈現的方式。有時我們會採用心像和字詞等方式來表達我們的想法和概念，因為不同種類的知識會有不同的心智表徵，所以必須根據這些不同型態的知識表徵來調整教學，以幫助學生達到概念學習的目的。認知心理學認為存在於記憶系統中的各種表徵包括命題(proposition)(Kintsch, 1974)、心像(image)(Kosslyn, 1980)、線性規則(linear order)和基模(schema)等。命題的功能在表達或提出概念之間的關係；心像用來呈現空間方面的訊息，保留距離差異的訊號；線性規則強調一組元素間的序列關係，依據序列提取記憶。基模是知識表徵的一種。它是指關於事件、情境或物體之有組織的、熟知的、固定圖像的知識單位(Moates & Schumacher, 1980)。認知心理學家認為很多知識都是以基模的形式儲存在人的記憶系統(Anderson, 1983)。構成基模屬性的特質包含下述幾項：(一)基模是有變異性的；(二)基模是可以被階層化組織的，也可以鑲嵌於彼此之間；(三)基模可以幫助人們做推論。以學習基模為重點的學習方式跟一般的學習方法不同，學生不需要強記很多細節，而是要掌握架構，把看似不同的細節置於同一個架構之內找出共同點(岳修平, 1998)。教師透過舉例子或做實驗引導學生建構基模。認知心理學著重研究知識表徵和建構表徵的過程，知識表徵是知識存在於思維中的形式，雖然基模比較抽象模糊，但是基模的學習可以把學科內容和實際生活結合起來，教學理論強調有效的學習是要連結學生的真實生活和原有知識，學生初步掌握基模之後，便可以利用基模來思考。

Gómez 等人(2006)對學生物質粒子概念一致性(coherence)的研究中指出，基模與概念的意涵區別在於當概念被用來意指學生呈現某種程度的調適性回答，及意指可被觀察到的認知結構之表現形式

時，基模意指是一種建構，一種個體形塑難以觀察到的認知網絡部分之建構(Brown et al., 1989; Marín, Benarroch, & Jiménez Gómez, 2000)。任何一種回答均可能呈現一種知識基模，雖然許多回答被認為並未牽涉到這些基模，且被研究者用來辨識與描述學生的概念(Marín et al., 2000; Vosniadou & Brewen, 1992)。意即從學生說明概念的定義、舉出概念的例子、圖示各種概念的表徵、應用符號或相關的術語來表徵概念和進一步比較及整合相關的概念等，皆可反應出學生對概念的理解，但並非學生提供的所有答案均足以描述他們的概念。本研究探討學生對「純物質」和「混合物」的概念定義，舉出符合概念定義的例子並圖示表徵概念，進而探討學生對於各類「純物質」和「混合物」之物質的分類表現，期以多重表徵的方式深入瞭解學生對「純物質」和「混合物」之微觀粒子概念的認知。

## 二、概念理解與應用的一致性

認知心理學習的觀點主張學生會將新知識與原有概念同化，或調適新知識藉以連接既有之新舊概念，然而這些概念改變、連接或調適並不一定會發生。有許多的研究(Northfield, Gunstone, & Erickson, 1996; Osborne & Freyberg, 1985; Tasker & Freyberg, 1985)提出多種其它的可能性，包括：(一)學生可能建構出一個與教師不同的觀點；(二)雖然教師已教授學科的概念，但許多學生仍可能會保留自己在課堂以外所獲得的概念；(三)教師和學生在課堂的理解有時會有很大差別，包括對學習過程各持不同的觀念，例如：課堂內容、活動內容和活動目的等。

Clough等人(1986)研究學生的概念架構是否在跨情境的情況下具有一致性，其對相同的概念設計不同的問題情境，利用晤談的方式探討12-16歲學生概念的一致性。研究發現：若學生察覺問題情境間的一致性，學生的解釋會較具有一致性；若學生無法察覺問題情境是在探討相同的科學現象時，學生會以不同的方式解釋具有相同科學概念的不同情境之問題。此外，學生的概念架構是來自於本身的經驗，會比其它的知識更為持久，因為此概念架構是來自感官經驗，並且透過感官的經驗會更加增強其概念架構之穩定性，然而，這也可能使學生面對不同情境但相同概念的問題時，其解釋不具一致性。

許多研究發現，部分科學領域中使用的文字，常常會以其它方式表現在日常生活語言中，而這些日常用語也常會保留部分科學的概念於其中(Solomon, 1983; 邱照麟, 2000)。所以當學生閱讀科學用語時，會以最熟悉、最安全的日常生活字義來認知和詮釋。蔡明儒(2004)的研究也指出：某些概念的名詞容易使學生望文生義，因而導致迷思的形成。Moyer 與Mayer(1985)指出：大多數的科學教科書呈現給學生的都是一些過度簡化的概念，然而對於各種概念或事實是如何產生的過程則幾乎沒有提及。Glynn 與Yeany 的研究指出：教科書中討論物質的主題，常由質量、重量發展到物質的狀態，原子、元素、分子和化合物的概念，進而學習化學方程式的平衡，而教科書中經常是以著色的球體來表示原子，因此學生常常會以教科書所示的這種模型來說明對物質的看法，但是其實這只是一種模型，實際上並未與真實的物質相同(熊召弟、王美芬、段曉琳與熊同鑫, 1996)。Renner與Marek(1990)認為以具體的分子或原子模型向學生介紹抽象概念時，學生所學到的是模型，而不是所呈現的概念。也就是說學生在學習有關粒子模型的抽象概念後，並不能應用於解釋其它的問題，而僅止於名詞上的記憶。學生的先前概念會和呈現在科學課堂上的知識交互作用，而產生多種期望之外的學習成果組合(Mintzes & Wandersee, 1998)。許多文獻指出學生常對微觀粒子概念的學習感到困難(表1)。有些研究者指出學生對此主題的概念是具一致性的(Eilam, 2004; Nakhleh & Samarapungavan, 1999; Yair & Yair, 2004)，但亦有其他研究者持相反的意見，認為學生的概念不具一致性，或僅具些微一致性(diSessa et al., 1998; Gómez, Pozo, & Sanz, 1995; Stavy, 1988, 1990)。本研究欲探查學生概念理解的一致性，以協助學生應用概念，並把概念應用到相關的學習情境和問題上。Brownm 等人(1989)強調協助學生發展現存的概念，以及將之應用在新環境的重要性。另外，Stavy 與Berkovitz(1980)亦提出：學生學習的概念在不同情況下是否適用和可行，也是重要的學習結果。

### 三、微觀粒子概念的相關研究

Haidar 與Abraham(1991) 指出在化學概念的學習上，微觀的粒子理論是化學學習的基礎，對原子和分子概念的理解與應用更是化學教學的重心。構成物質之微小粒子雖然無時無刻都存在於日常生活環境中，卻最不容易由簡易方法觀察到。根據實際教學的經驗顯示，學童對物質變化的現象，若無法以粒子模型的觀點來建立正確的知識架構，對以後相關概念的學習往往會有認知上的矛盾或困難(盧文顯, 1991)。在學習自然科學的領域中，物質的微觀性質是以粒子性質作為抽象概念學習的基礎。許多研究顯示，學生在學習物質的粒子性質概念時存有許多迷思(表1)。邱美虹(2000) 指出兒童對科學概念學習困難的原因：(一)受到個人經驗的影響；(二)概念本身是抽象的；(三)概念本身是複雜的；(四)概念本身是微觀的。Lee(1999) 指出學生對化學科目不感興趣或學習困難的原因：(一)許多巨觀的化學現象無法展示給學生觀察；(二)微觀粒子的化學現象極少以原子和動態特性的觀點解釋，其研究建議教材與教學應著重巨觀現象與微觀粒子兩個面向，並運用多媒體與動態電腦圖形，說明化學反應的微觀粒子面向。

在日常用語中，粒子(particle) 是小但可見的固體物質，但在化學學科中，粒子常代表原子、分子或離子等微觀的概念。Nakhleh與Samarapungavan(1999) 對7-10歲學童關於物質的信念之研究中曾將兒童的「解釋架構」(explanatory frameworks) 分為：「巨觀連續」(macrocontinuous)、「巨觀粒子」(macroparticulate) 和「微觀粒子」(microparticulate) 三類。Novick 與Nussbaum(1978) 以晤談的方法探究國中學生在教學前後對物質分子本質的想法，研究發現許多學生在教學後，仍無法瞭解物質是由分子組成的概念，依舊存在物質是連續不可分割的想法。王澄霞與楊永華(1985) 以中、美、英和日四個國家，從小學至高中的學生對物質的粒子性質進行分析研究，結果發現此概念的發展是由空氣、氣體，再逐次學習原子和分子等抽象概念。Anderson(1990) 從檢視中學科學教科書的內容指出：當課堂上化學教師講解水是由氫和氧組成時，其意指水分子是由兩個氫原子和一個氧原子組成，但對學生來說，其想法可能認為水是氫與氧的混合物。自然界是由物質所組成，而物質的微觀粒子概念提供對其它科學概念理解的基礎。李文德(2002) 指出，物質的細微顆粒概念是引領兒童進入「微小尺度」概念的基礎，微小尺度對兒童未來概念發展有很大的影響。在化學領域中，為了解釋和預測化學反應和狀態改變等的化學概念，學生必須要以物質的粒子性質來解釋(Krajcik,1989)。文獻中有許多針對微觀粒子概念的相關研究(表1)，這些實徵性的研究顯示，學生在這方面的學習仍有許多困難。本研究探討中學生對物質微觀粒子概念的圖像知識表徵及瞭解學生運用原子和分子理論解釋問題的一致性，以期確切表徵學生的迷思概念。

表1：微觀粒子概念的相關研究

研究者	對象	研究方法	研究結果
Novick & Nussbaum (1981)	國小 國中 高中 大學	1.晤談	研究發現：1.學生最難以理解物質的粒子間存在真空的狀態，只有20%的小學和國中生、37%的高中和大學生能使用粒子模型解釋所觀察的現象；2.許多學生即使在教學後，仍無法瞭解物質是由分子組成，依舊存在物質是連續不可分割的想法。有50%高中生和大學生對於粒子概念有錯誤的理解，其中有60%仍使用巨觀的現象來描述物質。
Selley (1981)	國中	1.晤談	12歲學生觀察碘晶體在碘化鉀溶液中加熱溶解而擴散的現象並解釋擴散發生的原因。研究發現：1.學生仍以巨觀世界的經驗為理由，而不使用粒子模型概念。2.學生無法將巨觀世界現象轉換成微觀粒子世界是其學習粒子模型困難的主因。
Pfundt	國中	1.紙筆測驗	以硫酸銅溶解和結晶的例子，發現學生認為原子是物質經分割

(1982)		2.教室觀察 3.晤談	後的最後結果，而非一開始存在的最基本組成單(primary building-block)，學生認為物質是「連續體」(continuum)，而這個「連續體」有時可被分割成極小的粒子，但不是組成物質的最初組成單位。
Yarroch (1985)	高中	1.晤談	訪談14名修習化學課程的高中生，要求學生以圖示來說明方程式中原子的結合方式，研究結果顯示：雖然學生能正確的平衡

39

化學方程式，但對於反應物與產物間、質量關係、原子種類與個數、分子的種類與個數等問題混淆不清。不到一半的學生能正確地以畫圖的方式來表達其所平衡的方程式。可見學生即使已經學過了原子與分子理論，但對於方程式中係數的意義並不瞭解，學生以解代數的數學方法來回答問題。

Ben-Zvi, Eylon, & Silberstein (1986)	高中	1.紙筆測驗	雖然學生已經接受原子和分子科學概念的教學，然而大部分的學生仍然沒有改變其對物質是連續不可分割的想法，且學生無法運用原子和分子理論來說明物質的狀態變化。
Se're' (1986)	11-1 6歲 學生	1.紙筆測驗 2.晤談	研究結果：1.空氣存在與否和它的運動狀態有關。2.空氣存在與否可透過感官判斷。3.空氣須先受外力作用(加熱、擠壓等)，處運動狀態下，才會產生作用力(壓力)；平衡狀態下，空氣沒有作用。4.空氣產生的作用力是單一方向。5.學生很難理解「在密閉容器中，溫度變化並不會影響空氣含量」。
Gabel, Samul, & Hunn (1987)	國中	1.繪圖	學生對物質粒子本質的瞭解，從學生所繪的圖中發現：1.當液體物質變為氣體時，原子亦會隨著距離的增加而變大。2.以直線來表示液體狀態最上層液面的粒子。3.畫氣體分子分解後，仍以原來完整的小群圖形來表示分子。
Stavy (1988)	國小 國中	1.晤談	多數7年級學生相信氣體沒有重量，極少數學生會以粒子論來解釋蒸發或昇華過程。進行氣體概念教學前，學生無法自發地發展關於氣體的一般概念；教學後，學生獲得有關氣體性質的知識後才會將氣體視為物質的一種狀態。只有50%7年級學生具有「液體或固體汽化過程物質不滅」的概念。7年級學生沒有「空氣成粒子狀態」的概念，8和9年級學生只有15%具此概念，多數9年級學生能應用粒子理論來定義氣體。
Haidar 等(1991)	高中	1.二種型式 問卷	問卷分「應用生活」和「科學知識」二種型式。結果顯示：「溶解」、「擴散」、「滲透」和「物質狀態」的概念，分別有52%和22.95%學生沒有表現出微觀粒子概念；8.06%和0.69%學生以細粒或顆粒等名詞代替原子和分子回答問題；22.27%和49.82%學生，以原子和分子名詞表達的科學概念並不正確。

Abraham, Grzybowski, Renner, & Marek (1992) 高中 1.紙筆測驗研究探討學生對教科書中化學概念的想法。結果顯示：大部份學生無法主動使用原子和分子的理論解釋化學變化。少數學生使用微觀粒子理論解釋化學概念時，存在許多迷思概念。Benson, Wittrock, & Baur (1993) 國小國中高中大學1.繪圖2.紙筆測驗研究發現:1. 多數國小2~4 年級學童認為空氣具有連續性而非粒子性，8%2~4 年級學生能繪出「氣體粒子模型」概念，但不完全正確；2.氣體的活動類似液體流動方式；3.粒子間的空隙很小或沒有空隙；4.以巨觀現象來描述物質現象而非使用粒子微觀學說(研究對象從小學2年級到大一共1098 名學生)。de Posada (1997) 高中 1. 開放式問卷探討10至12年級學生對於金屬內結構的概念，研究結果顯示37%的10年級學生缺乏微觀粒子概念，而95%以上的11和12年級學生具有微觀粒子概念，但持有微觀粒子概念的學生不一定能清楚解釋金屬結構。

Nakhleh 等(1999)	國小	1.晤談	研究結果：1.學生解釋分巨觀連續(macrocontinuous)、巨觀粒子(macroparticulate)和微觀粒子(microparticulate)三類。2.對物質的認知是由「巨觀特性」(macroproperties)，如顏色、形狀、質感、狀態和味道等，進入「微觀特性(microproperties)」，涉及組成結構；而對組成成分的瞭解，由「巨觀連續」，視物質為一個整體不可分割，進入「巨觀粒子」，視物質可分割成看得見的碎片，最後進入「微觀粒子」。3.巨觀連續的學生均視溶解為巨觀現象；巨觀粒子的學生以粒子觀點來說明溶解，部分學生以巨觀觀點說明溶解；微觀粒子的學生均能以微觀觀點說明物質相變化，但仍有學生以巨觀觀點解釋溶解現象。
Gómez 等(2006)	9-22 歲 學生	1.問卷 2.晤談	研究比對問卷和晤談的前後測資料顯示：學生以物質微觀粒子概念解釋在不同影響因素的類似問題情境中，學生的概念具有高度的一致性。
Chiu (2007)	國小 國中 高中	1.二階層紙 筆測驗	<b>1.國小部分研究結果：</b> (1) 方糖顆粒不能結合成體積較大的方糖(51%)。(2) 水和冰最小組成單位不同，因為水會流動但冰不能(21%)。(3) 空氣不能被分割成較小單位，因其肉眼觀察不到(12%)。(4) 粉末狀方糖顆粒是最小組成單位，因其不能再被分割成更小單位(21%)。(5) 透過顯微鏡可以觀察到方糖最小組成單位(44%)。(6)物質最小單位是由顯微鏡觀察到的細菌(30%)。(7)香氣是液體蒸發至空氣中的氣體，所以肉眼看不見(18%)。 <b>2.國中和高中部分研究結果：</b> (1)氣球因加熱膨脹時，氣球中的體粒子體積變大，氣體粒子移至邊緣使氣球變大(20%；8%)；氣球因加熱膨脹時，氣體粒子擴散而相互擠壓(17%；14%)。(2) 活塞體積增大二倍時，因壓力變小氣體粒子體積增大(16%；12%)；部分學生認為活塞體積大時壓力會增加使氣體粒子變小(19%；11%)。(3) 打開活塞中分隔氫氣和氮氣的氣閥，二種氣體的擴散平均速度相同(29%；25%)。(4) 氣體粒子的移動空間減少，相互間碰撞頻率會增加，氣體粒子獲得較多能量使平均速度增加(29%；39%)。(5) 氣體粒子的移動空間變大，其隨機移動的機會增大，使氣體平均速度增加(31%；26%)。(6) 氧氣氣體粒子的體積較大因而相互擠壓使瓶內有較大的壓力(16%；15%)。(7) 氧氣氣體粒子有較大的運動強度，所以具有較大的平均速度，使瓶內有較大的壓力(18%；14%)。(8) 因氫氣較輕，所以在

裝有氫氣和氧氣的容器中，氫氣位在容器的上方(19%；19%)。(9)打開活塞中分隔氫氣和氧氣的氣閥，氫氣分布在容器上方，氧氣在下方(34%；37%)。(10)壓力大氣體溶解度降低，溶液釋出CO<sub>2</sub>，PH值增加(21%；7%)；部分學生認為氣體溶解度不受壓力影響(12%；9%)。(11)無重力狀態下，瓶內氣體隨機運動使壓力增大(12%；13%)。

洪振方 (1987)	國中 高中	1.問卷	探討學生對於空氣體積及壓力之粒子模型概念與推理能力之相關性，研究結果：1.在密閉容器中，氣體的體積是指粒子本身的體積(國一81%、國二70%、國三70%和高中39%)。2.在密閉容器中，氣體壓力是粒子互相擠壓造成的(國中12%和高中31%)。3.在密閉容器中，氣體壓力是因粒子堆疊佔據空間(國一88%、國二55%、國三55%和高中32%)。4.學生傾向於靜態粒子
---------------	----------	------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

模型，誤認為沒有外來動力，空氣粒子即靜止不動；或因粒子間有巨大的引力作用，能彼此緊密地維繫而不改變粒子分布的位置。因此，當空氣受外壓而體積縮小時，誤認為是空氣粒子本身收縮；當空氣受熱膨脹時，誤以為是空氣粒子受熱膨脹。這些學生認為氣體壓力的產生是氣體粒子充滿空間，而非氣體粒子運動互相碰撞的力量。

盧文顯 (1991)	國高 中	1.示範實驗 群測	1.學生溶液概念與引申概念的獲得與國中生認知發展階層有顯著相關，高工生僅部分達顯著相關。2.學生錯誤思考模式來自錯誤的邏輯推理，學生雖有形式操作能力，可做抽象邏輯思考，但不一定對溶液概念有正確推理。3.學生不能分辨「粒子」、「原子」、「分子」三名詞在科學意義上的不同。
---------------	---------	--------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

林振霖(1993) 國中 1.紙筆測驗學生對「分子」迷思概念與分佈百分率如下：1.空氣為化合物(25.3%)。2.原子如分子在自然界可獨立存在(62.9%)。3.同溫同壓下，氣體的原子數多則體積大(37.0%)。4.反應物總重量必等於生成物重量，沒有化學反應限量試劑與過量反應物的分子概念(31.1%)。5.空氣為一種化合物(38.8%)。6.空氣為NO與NO<sub>2</sub>分子的混合物(34.9%)。7.兩種物質反應時必以同分子數互相反應(39.0%)。8.互相反應的兩種元素的原子重量比與互相反應兩種元素的反應重量比成反比(37.2%)。9.組成化合物分子各原子總質量比等於組成化合物分子各原子原子量比(40.2%)。10.組成分子原子數愈多，原子的原子量愈大(23.0%)。鄭志鵬(1998) 高中 1.紙筆測驗 1.學生誤認為氣體是較輕的，甚至是沒有質量的；氣體的粒子會因受熱而膨脹；當氣體朝某個方向流動時，全部分子都朝同一個方向運動。2.在粒子概念上有超過60%的受測學生能以粒子模型來描述氣體相關概念，但學生粒子概念並不穩固，可能受題幹的暗示而改變想法。3.能以粒子模型描述氣體的學生不一定能用粒子概念來解釋氣體行為，學生只是單純接受氣體或物質是由許多分子組成，可以用一顆顆粒子來描述。李武勳(2000) 國中 1.紙筆測驗2.教學活動設計1.國一至國三學生能指出粒子形狀不變的比例為14.5%、34.9%及41.1%。約50%學生認為氣體粒子形狀會因為外在操作而改變。2.能指出氣體粒子均勻分佈的比例為8.2%、8.1%及12.6%。85%學生不具氣體粒子會均勻分佈於密閉容器內的概念。3.能指出粒子具有重量且粒子重量不變的學生比例為21.4%、21.5%及34.4%。有42%的學生認為氣體粒子沒有重量。



邱美虹 (2002)	國中	1.教材分 析	1.國中的粒子觀點以靜態呈現，沒有粒子動態表徵。2.理化課程僅在第七章以粒子觀點解釋分子、純物質和混合物，沒有以粒子觀點解釋氣體特性。3.理化課程沒有以粒子模型解釋物質的三態變化。4.國中理化第一冊第六章大氣壓力的定義是空氣柱重量，學生認為密閉容器內空氣壓力就是空氣的量造成，不知為氣體分子撞擊密閉容器器壁的結果。5.對於氣體巨觀現象是定性描述，無法了解微觀觀點。
史嘉章 (2002)	國高中	1.二階層紙 筆測驗	1.學生對氣體粒子本質的瞭解隨年級成正相關。2.大部分學生對於「氣體壓力是由於氣體粒子碰撞模式產生的」並不了解，認為氣體壓力是氣體活性大小、分子量大小、擠壓程度等不同模式所產生。3.學生對於不同氣體擴散時運動速率，認為壓力相  同時運動速率相同，並不了解分子量影響速率的快慢。4.學生認為氣體的活性就是氣體的運動快慢程度，並非化學上所定義氧化力的大小。
蘇育任 (2002)	國小	1.二階層 紙 筆測驗 2.晤談	1.物質經過不斷切割，最後形成相同微小粒子(7.8%)。2.不同物質切割到最後的微小粒子不同，是因為這些粒子的形狀、顆粒大小不同，並非本質不同(31.4%)。3.外觀不同(但組成其實相同)之物質，分割成小粒子後不會相同(28.6%)。4.粉筆灰、灰塵等細小顆粒不能再分割(26.7%)。5.不同狀態但組成相同之物質，例如水、冰等分割後不會相同(41.7%)。6.不同狀態但組成相同之物質和組成不同之物質，切割成微小粒子後是一樣的(37.1%)。7.固體是由微小粒子組成，氣體和液體不是由微小粒子組成(24.3%)。8.微小粒子就是灰塵(16.7%)。9.物質是連續的，例如「水」(52.4%)。10.液體不可切割成微小粒子(23.7%)。11.氣體看不到無法切割出更小粒子(41.6%)。12.冰塊會融化而無法切割成微小粒子狀態(13.3%)。13.氣體粒子是看得見的(17.8%)。14.溶解是固體微小粒子不均勻散佈在液體中(3.6%)。15.碳微粒(黑煙)是空氣雜質(灰塵)燃燒產生(0.1%)。16.碳微粒(黑煙)是空氣中氧氣燃燒後產生的(3.6%)。17.燃燒產生的黑煙和冰塊置於室溫中所產生的白煙，兩者的狀態相同(7.6%)。18.空氣中微小粒子就是被風吹起的沙(8.6%)。19.粒子比原子小(8.7%)。20.灰塵比微小粒子還要(9.1%)。

回顧上述的研究可以發現，無論從晤談、繪圖、紙筆測驗或教材分析等方式探究學生的物質微粒概念，學生普遍存在著物質是「連續的」、「靜止的」並且是「無空隙」的想法，學生雖然接受物質是可「切割」成一小片的想法，但物質仍舊是「連續的」和「靜止的」。而這種想法，即使在學生學習過原子與分子的理論後，亦難加以改變。因此，學生往往仍以這樣的想法來解釋化學現象。de Vos 與 Verdonk (1996) 指出，教科書的內容有時呈現的並不完整，因而使學生學習時產生迷思概念，強調那些在巨觀上眾所周知的特質，也可歸因於粒子的微觀性質，而有些在巨觀上所凸顯的特質則未必在微觀上也會產生此特質，其由科學史中確認一些迷思概念，並描述出科學家們被直覺的過程所影響，並認為現代的學生也會採用直覺的方式來學習這些科學概念。化學概念的學習不能只是停留在表面階段，而應該是讓學生產生對於化學概念意義上的真正了解，才能建立起化學的知識架構，並與真實世界中之化學現象做連結，學生也才能真正有意義地解釋自然界的物質或化學現象。近幾年有關學生概念研究的方法趨向於測驗形式的量化研究，從過去的研究成果中，我們已知學生學習物質微粒概念時，常見的迷思概念內容，這些內容明白指出學生哪些學習的面向值得注意。本研究進一步欲了解學生從巨觀觀點到微觀觀點的學習層次間，其過渡狀態差異的情形，從中探究學生學習微粒概念之理解與應用間一致性的問題。在研究過程中以試卷、晤談和繪圖等之學生概念多重表徵的方式，深

入探討學生學習微觀粒子概念的情形，以提供教學參考。

## 參、研究方法 一、研

### 究對象

本研究的對象是台南縣立一所國中的2年級學生，共計37位，此班級學生學業成就呈現常態分布。該校國二學生的「自然與生活科技」教科書使用康軒版本，本研究「純物質」和「混合物」的內容，編排於康軒版教科書中的第二章「物質與能」之2-1節「認識物質」，教學活動為「混合物的分離」，此教學單元是學生學習本研究主題「純物質」和「混合物」的開始，但尚未學習物質微觀粒子的概念。本研究於該班級進行此教學單元前，在2005年9月先與該班任課教師進行教師晤談，以瞭解教師教學的重點和方式，繼而在同年10月進行此教學單元的課室觀察，待教學單元和活動結束後，再進行學生「純物質和混合物」試卷的施測，並在同年11和12月每週一的學生週會和午休時間進行半結構式個別晤談。

### 二、研究工具

研究工具包含「純物質和混合物」試卷及半結構式晤談單。試卷和晤談單的設計過程是由研究者編製試卷的初稿，初稿內容著重學生對「純物質」和「混合物」概念的理解，並從現行教科書中選取學生所熟悉的十種不同物質，作為學生應用「純物質」和「混合物」概念進行分類的物質，再由二位研究者初步篩選和修飾問題，內容經2位學科專家（1位化學博士與1位化學碩士）、3位現任中學理化教師（其中有1位物理碩士與1位化學碩士）和1位小學自然科教師（科學教育碩士）審查內容的正確性與措辭後，再經由3位國二學生逐題檢視題意和語句是否清楚明白，以建立試卷和晤談單之專家效度。試卷修訂後預試3位國二學生，施測「純物質和混合物」試卷的結果，修訂Nakhleh等人(1999)研究的編碼表，由研究者和1位小學自然科教師（科學教育碩士）評分，評分者信度為92.8%。

試卷內容的設計依研究程序分為二部分。第一部份瞭解學生對「純物質」和「混合物」概念的定義和性質的理解，並要求學生舉例和說明。第二部分針對「純物質」和「混合物」的概念，進行十種不同物質的分類，並解釋物質型態和相變化的過程(附錄1)。第一部份的試卷施測完成，再進行第二部分試卷的填寫。第一部份試卷之施測時間大約25分鐘，第二部份試卷之施測時間大約20分鐘，共計一節課。最後根據試卷施測的結果，再進行半結構式個別晤談。

半結構式晤談單的內容設計共分成三個階段(附錄2)。第一階段的晤談是根據先前第一部份試卷的填寫內容再要求學生進行繪圖和解釋，用以確認學生理解「純物質」和「混合物」的概念；第二階段晤談是根據先前第二部份試卷的填寫內容，學生分類十種不同物質的「純物質」和「混合物」，以瞭解學生對「純物質」和「混合物」概念的應用和解釋，以及對組成物質基本粒子(原子/分子)概念的理解。晤談問題分為四個層次，結構係參考Nakhleh等人(1999)的半結構性晤談問卷所設計。內容依序是：「物質是由什麼所組成？」、「組成物質的基本單位？」、「組成物質基本單位的形狀？」、「組成物質基本單位的性質是否相同？」；第三階段提供一個現象：「方糖有固定的形狀，水會流動，而空氣沒有的形體」，用以晤談學生對「物質形態」和「相變化」的解釋。晤談過程依學生回答的內容，要求學生澄清想法和訪談學生有關粒子、原子和分子概念的更進一步問題。

### 三、資料收集與分析

資料收集主要來自國二學生「純物質和混合物」試卷內容及半結構式晤談單的晤談資料。每位學生晤談的時間大約20至30分鐘，晤談過程做紀錄和錄音，並且將錄音轉錄成文字稿，再和試卷收集的

資料作編碼、整合和比對。編碼過程係參照Nakhleh等人(1999) 研究學生對物質認知所發展的編碼表，內容分「巨觀」、「部分微觀」和「微觀」三類別，在巨觀層次的類別中又細分視覺、形狀、組成、結構、功能、其他性質、物質狀態、大小、數量和形狀等之次分類，配合預試3位國二學生施測「純物質和混合物」試卷的結果內容，最後將學生概念層次分「自發性的描述定義」、「依物質性質的定義」和「以粒子(原子/分子)概念的定義」，其中「自發性的描述定義」又依Nakhleh 等人(1999) 研究的編碼表加以細分為視覺、形狀、字義、來源、組成、功能和其他性質，最後再依照本研究所收集的資料作修改，只有在第一類中可細分字義、來源、組成和功能之次類別，而將視覺、形狀和其他性質之次類別刪除，其它類別則無法再細分次類別(表二)。研究結果由2位研究者重複比對試卷和晤談內容，以評定資料的分類，評分者一致性為90%。

資料分析以晤談的質性資料為主，輔以量的統計分析。將第一階段針對學生是否對「純物質」和「混合物」概念的定義和性質有所理解所紀錄之晤談內容，依「純物質」和「混合物」概念定義編碼表(表2)分成三類：(一)自發性的描述定義；(二)依物質性質的定義；(三)以粒子(原子/分子)概念的定義。第二階段晤談內容則依學生對十種不同物質的「純物質」和「混合物」分類之結果，要求學生解釋其分類的概念和方式，再將其資料加以整合，並逐一對十種物質的分類結果作分析，資料編碼依第一階段所形成編碼表加以分類(表二)，以瞭解學生應用「純物質」和「混合物」的概念於分類的應用表現上與認知理解間的差異。第三階段晤談內容則對學生回答有關「物質的基本組成單位」四個問題層次的內容，分成巨觀、部分微觀和微觀三個類別。最後再比較學生解釋「物質三態」和「相變化」的問題時，其概念是否具有的一致性。

表2：「純物質」和「混合物」概念定義編碼表

- 1 1.自發性的描述定義  
2.依物質性質的定義  
2-1 特性歸納提出物質的特性。例如：「純物質」具有固定的沸點；「混合物」不具有固定的沸點。
- 2 3.微觀粒子概念定義
  - 1-1 字義 引申名詞的意義。  
例如：「純物質」是單純的物質；「混合物」是混合的物質。
  - 1-2 來源 提及有關物質的來源。  
例如：「純物質」是由一種物質所產生的；「混合物」是由二種以上物質作用所產生的。
  - 1-3 組成 說明物質的組成成分。  
例如：「純物質」只具有一種成分；「混合物」是由二種以上的物質所組成。
  - 1-4 功能 提及物質的使用性。  
例如：「純物質」單純便於觀察；「混合物」包含多種雜質不易觀察。
- 3-1 微觀以粒子概念描述物質。例如：「純物質」是一種元素或化合物，不能用物理的方法分解出其它物質；「混合物」由二種以上的元素或化合物所組成，可用物理的方法分解出組成的物質。

## 肆、研究結果 一、學生對「純物質」和「混合物」概念的定義

國二個案班級學生對「純物質」和「混合物」概念的認知可分成三種類型：(一)自發性的描述

定義；(二)依物質性質的定義；(三)微觀粒子概念定義。根據物質性質定義「純物質」和「混合物」概念的學生人數最多(49%)，其次為自發性的描述定義(43%)，而以微觀粒子概念解釋「純物質」和「混合物」的學生人數為最少(8%)(表3)。

表3：學生對「純物質」和「混合物」概念理解的定義

類別	人數(N=37)	人數百分比(%)
1.自發性的描述定義		
1-1 字義	2	5
1-2 來源	1	3
1-3 組成	11	30
1-4 功能	2	5
小計	16	43
2.依物質性質的定義		
2-1 特性	18	49
3.微觀粒子概念定義		
3-1 微觀	3	8

#### (一) 自發性的描述定義

根據試卷施測和晤談資料的結果，學生自發性描述定義屬於敘述性知識，其解釋可分成四種類型：1.字義；2.來源；3.組成；4.功能。多數學生的自發性描述定義是依物質的組成，作為「純物質」和「混合物」的概念定義，而少數學生考慮物質的字義、來源和功能。顯示學生概念成因的多樣性，學生不單從字義的表面來思考「純物質」和「混合物」的概念，進而考慮物質的組成和構造層面，但卻僅止於可觀察的巨觀現象來解釋。此外，從學生所描繪的「純物質」和「混合物」圖形來看，學生描繪「純物質」由相同物質顆粒所組成，「混合物」則由二種以上不同的顆粒所組成，顯示學生具備有物質由細微顆粒所組成的概念，但微觀粒子概念是一種模型理論，從學生所描繪的圖像內容中，物質微粒的性質可由放大鏡的角度來觀察的圖形可知，學生對物質微粒的觀點仍處於巨觀現象的觀察。

#### (二) 依物質性質的定義

依物質的性質定義「純物質」和「混合物」的學生(49%)，對於「純物質」和「混合物」的想法是片段的且受到學校教學影響，屬於程序性知識。透過學校的教學活動，學生學習到「純物質」的沸點固定，而「混合物」的沸點並不固定。學生可以描述「水」沸騰時所觀察的溫度是 $100^{\circ}\text{C}$ ，但卻過度延伸認為所有的「純物質」沸點都是 $100^{\circ}\text{C}$ ，而學生誤認為「混合物」沸點並不固定的意思是其沸騰時的溫度不是 $100^{\circ}\text{C}$ ，亦即「混合物」沸點的溫度可能是 $80^{\circ}\text{C}$ 或 $200^{\circ}\text{C}$ ，而不是 $100^{\circ}\text{C}$ 。此類型學生以熟悉的「水」沸騰溫度 $100^{\circ}\text{C}$ 作為「純物質」和「混合物」特性的判別標準，因而產生學習上另一錯誤的認知。這或許反應出學生從最初敘述性的知識進而從教學活動中學習的程序性知識，學生對於「純物質」和「混合物」的概念並未完全或一貫的發展概念，且從中可能衍生出許多學習上錯誤的認知，值得注意。

#### (三) 微觀粒子概念定義

有3位學生以微觀粒子的概念來解釋「純物質」和「混合物」的概念，其以「元素」和「化合物」的化學名詞說明「純物質」和「混合物」。此外，從學生(編號S22)所描繪的「純物質」，和「混合物」圖形來看，學生以同一種粒子代表一種元素，並畫出二氧化碳的粒子模型說明二氧化碳是一種純物質的化合物，而空氣是包含二氧化碳之多種氣體的「混合物」，顯示學生已具有物質微觀粒子的概念。

其他具有微觀粒子概念的學生在解釋「純物質」和「混合物」的概念時，物質沸點的特性亦是以微觀粒子的概念解釋。學生說明：「純物質」是單一的元素或化合物，其沸點是固定相同的，例如：水。而「混合物」是二種以上的元素或化合物混合而成，所以會具有二種以上的沸點。雖然具微觀粒子概念的學生可以較為正確的解釋「純物質」和「混合物」，但在描述上仍會產生認知上的錯誤，例如：學生(編號S18)認為「純物質」無法以化學的方式分解出其它的物質，但在實際的教學活動中，教師是以水沸騰的物理方式進行「純物質」沸點固定的示範實驗。

## 二、學生對物質作「純物質」和「混合物」分類

多數的國二個案班級學生以自發性的描述定義，作為不同物質間「純物質」和「混合物」的分類和解釋依據(89%)，少數學生依微觀的粒子概念作判準(11%)，而沒有學生依物質性質的定義來分類「純物質」和「混合物」(0%)(表4)。

### (一) 自發性的描述定義

國二個案班級學生大多以自發性的描述定義概念分類「純物質」和「混合物」，其中有32%的學生是依名詞的字義來分類，例如學生(編號S19)認為：「二氧化碳是兩個氧和一個碳混合的，所以是混合物。」；46%的學生則考慮依物質的組成來，例如學生(編號S13)認為：「二氧化碳是混合物，因為二氧化碳是髒空氣聚集在一起而成的，所以不是純物質。」；而較少學生依物質的來源(8%) 和功能(3%)為依據來分類「純物質」和「混合物」。相較於學生對「純物質」和「混合物」的概念定義，在實際應用於分類「純物質」和「混合物」的認知上，有更多的學生傾向於自發性的描述定義，而在自發性的描述定義中，又有更多學生傾向於名詞字義上的解釋，顯示學生對科學名詞字義的概念有自我的詮釋，但卻有過度延伸字義的解釋，此往往造成學生認知上的錯誤。例如，學生認為二氧化碳為混合物的解釋是：二氧化碳是包含有二個氧和一個碳的混合物。

因此，教師在介紹和引用科學名詞時，宜更加謹慎。

### (二) 微觀粒子概念定義

有4位學生(11%)以微觀粒子概念解釋其對「純物質」和「混合物」的分類。其中學生(編號S35)認為：「木炭本來是木炭粉，木炭製造的過程讓它聚在一起，變成一根木炭，原子排列是固定的，所以是純物質。」，顯示在「純物質」和「混合物」的概念定義上並沒有表現出微觀粒子的概念，但在應用的層次上，例如：分類、解釋「物質三態」和「相變化」的問題時，學生(編號S35)皆一致的以物質微觀粒子概念說明想法，認為「方糖是糖水的凝固物，是糖的分子和水的分子融合而成的，所以不是純物質。因為方糖分子凝固後排列是固定的，就像冰塊結冰凝固排列是固定的。」，顯示其對微觀粒子概念的理解具有一致性。

表4：學生分類「純物質」和「混合物」的概念依據

類別	人數(N=37)	人數百分比(%)
1.自發性的描述定義		
1-1 字義	12	32
1-2 來源	3	8
1-3 組成	17	46
1-4 功能	1	3
小計	33	89
2.依物質性質的定義		
2-1 特性	0	0

本研究選取教科書中經常出現的十種物質，其中包含固體、液體和氣體(表5)。學生對於分類固體物質為「純物質」和「混合物」的答對率較低，分別是銅金屬57%、碳16%和葡萄糖46%的人數比例，其中又以碳的人數比例為最低，許多學生認知碳為混合物而非純物質(圖1)。從晤談的資料中亦顯示，學生對固態物質的認知延伸出許多的種類，例如：學生(編號S1)認為碳是包含有泥土和可燃燒的物質；學生(編號S36)認為葡萄糖在製造的過程中必定添加其它的物質等。顯示學生最易碰觸和觀察的固態物質也容易造成認知上的錯誤。而在教學活動中教師曾舉例說明不鏽鋼為混合物，所以不鏽鋼(合金)的答對率較高(81%)。

學生對於分類液體物質為「純物質」和「混合物」的答對率最高，分别是水(76%)、水泥(97%)、汽水(97%)和鹽水(95%)，其中水和鹽水是教師教學活動中舉例說明和示範實驗的物質，而汽水和水泥則是學生日常生活中經常接觸的物質，因此學生也較易分別其為「純物質」或「混合物」。值得注意的是學生分類氣態物質為「純物質」和「混合物」時，有許多學生正確分類二氧化碳為純物質(68%)，而卻只有57%的學生認為空氣為混合物，亦即有43%的學生誤認為空氣是純物質。雖然學生在小學階段已學習有關空氣的概念，但由研究顯示仍有不少學生不瞭解空氣的組成，儘管學生在認知上已能舉例氧氣、氫氣和二氧化碳等氣體。

表5：學生正確分類「純物質」和「混合物」的人數百分比

物質種類	人數(N=37)	人數百分比(%)
(一)純物質		
1.銅金屬	21	57
2.碳	6	16
3.葡萄糖	17	46
4.水	28	76
5.二氧化碳	25	68

#### (二)混合物

1	1.水泥	36	97
2	2.空氣	21	57
3	3.汽水	36	97
4	4.鹽水	35	95
5	5.不鏽鋼(合金)	30	81

100  
答  
對  
人  
數  
百  
分  
比  
20

(%) 10 0 銅金屬碳葡萄糖水二氧化碳水泥空氣汽水食鹽水不鏽鋼

1

2

3

4

5

6

7

## 物質

圖1：學生正確分類「純物質」和「混合物」的人數百分比

50

### 三、學生對微觀粒子概念的認知理解和應用層次

學生回答有關四個問題層次：「物質是由什麼所組成？」、「組成物質的基本單位？」、「組成物質基本單位的形狀？」和「組成物質基本單位的性質是否相同？」，以及對「物質形態」和「相變化」更進一步問題的解釋時，大部分的學生仍處於巨觀的知識架構(73%)，少部分的學生提及有關原子或分子的概念，但在其繪圖的解釋中仍以巨觀的形式表現概念(16%)，而少數的學生理解物質由原子或分子的微觀粒子所組成(11%)，這4位學生(表7)能以微觀粒子概念的知識，解釋物質形態(如固體、液體和氣體)、物態變化和溶解過程的進一步問題，顯示學生對微觀粒子概念架構理解的一致性。例如：學生(編號S18)以分子排列方式解釋「物質三態」；學生(編號S35)以分子間的距離和碰撞關係解釋固體、液體和氣體。6位持部分微觀粒子概念的學生(表6)，並不能以微觀粒子的概念解釋「物質形態」和「相變化」更進一步的問題，而是以巨觀的觀點描述和解釋現象。

表6：學生對「物質基本組成單位」的解釋分類

類別	人數(N=37)	人數百分比(%)
解釋		
1.巨觀	27	73
2.部分微觀	6	16
3.微觀	4	11

表7：學生對「物質三態」和「相變化」的解釋分類

類別	人數(N=37)	人數百分比(%)
應用		
1.依自發性的描述解釋	33	89
2.依微觀粒子概念解釋	4	11



## 伍、結論與討論

測驗的形式對學生作答有相當大的影響，本研究以試卷、繪圖和半結構式的個別晤談收集學生的想法，期以學生多元化的表徵方式深入探究學生的概念理解。「純物質」和「混合物」的教學單元是國二學生學習微觀粒子概念的首要主題。「粒子概念」對國中階段的學生來說是相當重要的一個概念，許多物理及化學相關的概念都需要藉由粒子概念從微觀的觀點去瞭解其所代表的意義，但對國二學生而言，粒子概念是相當抽象的概念，其學習必須從物質的純化開始。在化學的歷史發展上，科學家花費很長的時間去建構現今所理解物質組成的基本單位是原子或分子的概念。許多文獻中顯示，學生從巨觀的知識架構進行微觀科學知識的學習並不容易(表1)。本研究將學生從學習「純物質」和「混合物」的教學單元中，進入微觀粒子概念的學習狀態所得之結果歸納出下列五項結論：

一、國二個案班級學生對「純物質」和「混合物」的概念可分成三種類型：(一)自發性的描述定義；(二)依物質性質的定義；(三)微觀粒子概念定義。多數國二個案班級學生依物質的性質，作為「純物質」和「混合物」概念的定義，其次是自發性的描述定義，而少數學生以微觀粒子概念作解釋。大部分依物質性質定義「純物質」和「混合物」概念的學生，將所有「純物質」的沸點定為「水」沸騰的溫度 $100^{\circ}\text{C}$ ，而沸點不是 $100^{\circ}\text{C}$ 的物質即為「混合物」，研究推論此為教學上所導致的迷思概念，值得教學者注意。

二、多數的國二個案班級學生以自發性的描述定義，作為不同物質間「純物質」和「混合物」的分類和解釋依據，少數學生依微觀的粒子概念作判準，而沒有學生依物質性質的定義來分類「純物質」和「混合物」。研究結果顯示學生對於「純物質」和「混合物」概念的理解，是從原本的敘述性知識，經由教學發展其程序性知識，以增進其對概念的理解。研究推論學生是經由有關「純物質」和「混合物」的教學單元和教師「分離混合物」的示範實驗，學習「純物質」和「混合物」概念的性質，並從實驗中建立程序性知識，但學生對「純物質」和「混合物」的概念認知尚未建立完整，導致學生仍無法應用概念解釋其它的問題。

三、少數的國二個案班級學生能以微觀粒子概念解釋物質組成、形態和相變化的過程。若學生已具備微觀粒子概念的架構，即能以微觀的粒子觀點解釋其它更進一步的問題，顯示學生對此概念的理解具有一致性；若學生對於微觀粒子的概念架構是片段且不完整的，亦即持部分微觀粒子概念的學生，在解釋其它進一步的問題時，往往會出現認知上的錯誤，概念理解不具一致性，研究推論此階段的學生在學習上較容易產生迷思概念。本研究結果有助於瞭解學生學習微觀粒子抽象概念的情形，以提供教材教法設計的參考，俾能增進學生概念學習。

四、持部分微觀粒子概念的國二個案班級學生呈現概念理解不一致的現象。雖然學生提及原子和分子解釋「物質組成的基本單位」，但這些學生在繪圖中卻無法以微觀粒子概念表徵「物質三態」和「相變化」等進一步的問題，顯示學生並非真正建構物質微觀粒子的概念。

五、國二個案班級學生對不同物質間「純物質」和「混合物」的分類，以液態物質的答對率最高，其次是氣態物質和固態物質。在學生的繪圖中亦可發現，多數的學生圖繪液態物質的「純物質」和「混合物」，少數學生以氣態物質表徵「純物質」和「混合物」，而這些以氣態物質解釋「純物質」和「混合物」概念的學生，皆可以微觀粒子概念解釋其它的問題。此研究結果和文獻Nakhleh 等人(1999)以學生對物質信念的研究結果並不相同。此外，雖然學生已熟知許多種類的氣體，例如：氧氣、氫氣和二氧化碳等，「空氣」對學生來說應是熟悉的名詞概念，但卻有不少學生認為空氣是純物質，研究推測學生對氣體的組成仍是非常陌生，因而容易從科學名詞的字義上來延伸解釋，例如：學生認為二氧化碳氣體是包含有二個氧和一個碳的混合物。

概念的產生來自於學習者與環境的交互作用(Chiu, 2007)。有關化學教材的安排，都是由巨觀的物質逐漸往細微的成分做介紹，內容是以微觀的組成來分類巨觀的物質，教師所認知的組成是微觀的粒

子是否相同，而學生的認知卻是巨觀的組成比例是否固定，這造成在教學活動中，教師和學生因為認知上的差距而阻礙了學生概念的理解，也造成學生對學習的概念仍處於自發性的描述定義，以理解不同種類的物質，例如：固體、液體和氣體，或「相變化」和「溶解」的過程。Johnstone(1993) 指出，因大部分科學學習和教材都是以巨觀的形式介紹呈現給學生，所以學生大多停留在巨觀觀點，教學缺乏適時呈現動態的微觀粒子觀點，因此學生學習化學不僅止於停留在巨觀觀點的層次，同時也缺乏想像微觀世界粒子行爲的能力。學生的概念發展，是從對各種物質種類的局部概念，發展到更大範圍物質特性和過程的概念架構。本研究對中學之化學教學提出以下二項建議：

一、雖然持部分微觀粒子概念的學生提及物質包含原子和分子，但卻不能把微粒子的解釋應用於他們觀察的多種物質和現象。在教學的過程中，教師應以多樣化的例子說明物質的組成包括原子和分子，藉以鼓勵學生從微觀的粒子概念理解不同種類的物質。例如：木頭由什麼做成？銅線由什麼做成？空氣的組成？

二、教師應幫助學生理解在微觀粒子概念架構(原子和分子的排列)和物質巨觀可觀察的現象間之關係，例如：固體、液體和氣體的物質。此外，教師在解釋「相變化」和「溶解」等現象的過程中，應舉出更多更廣泛的例子。本研究結果顯示學生正處於理解物質微觀粒子概念的過渡狀態，且學生經由教學建構微觀粒子概念的理解是非常片段和侷限的，所以容易導致迷思概念。因此本研究建議需要進一步發展教學策略的研究，藉以幫助學生建構較完整的微觀粒子概念。

## 附錄1 「純物質與混合物」試卷

第一階段：「純物質與混合物」試卷壹、純物質一、概念的定義(一)  
說明「純物質」的定義

(二)舉出三種純物質的例子

貳、混合物一、概念的定義(一)說明「混合物」的定義

(二)舉出三種混合物的例子

第二階段：「純物質與混合物」試卷參、下列是「純物質」的請在前方空格內打勾□

1.銅金屬	6.水泥
2.碳	7.空氣
3.葡萄糖	8.汽水
4.水	9.鹽水
5.二氧化碳	10.不鏽鋼(合金)

肆、粒子間的關係問題：為什麼方糖可以保持固定的形狀，水隨著容器改變形狀，而空氣卻沒有固定的形狀？

## 附錄2 「純物質與混合物」半結構式晤談單

壹、純物質的組成？一、巨觀：1.物質由什麼所組成？

2.組成物質基本單位？

二、部分微觀：1.組成物質最小單位像什麼？

- 2.組成物質基本單位的形狀？  
2 3.請以圖示來幫助你的解釋。  
三、微觀：1.組成物質最小單位性質是否相同？

2.請以圖示來幫助你的解釋。

- 貳、混合物的組成？一、巨觀：1.物質由什麼所組成？  
2.組成物質基本單位？  
二、部分微觀：1.組成物質最小單位像什麼？

- 2.組成物質基本單位的形狀？  
2 3.請以圖示來幫助你的解釋。  
三、微觀：1.組成物質最小單位性質是否相同？

2.請以圖示來幫助你的解釋。

- 參、純物質與混合物的分類一、巨觀：1.為何物質會有不同的特性？

- 1 2.你認為物質間有什麼不同的作用發生？  
二、部分微觀：1.組成物質的最小單位間有何關係？

- 2 2.請以圖示來幫助你的解釋。  
三、微觀：1.是什麼使物質的基本單位聚集在一起？

2.請以圖示來幫助你的解釋。

## 參考文獻

- 王澄霞與楊永華 (1985)：中小學科學課程中「物質的粒子概念」之研究。師大學報，**30**，481-516。史嘉章(2002)：發展二階層(two tiers) 試題以探討國高中氣體迷思概念。臺北市：國立臺灣師範大學碩士論文(未出版)。李文德(2002)：國小學童「物質細微顆粒概念」學習之研究。屏師科學教育，**15**，41-53。李武勳(2000)：國中學生氣體壓力概念之教學成效探討。臺北市：國立臺灣師範大學碩士論文(未出版)。邱美虹(2000)：概念改變研究的省思與啓示。科學教育學刊，**8(1)**，1-34。邱美虹(2002)：臺灣地區中學生「粒子與化學平衡」概念之心智模式與成因之研究。行政院國家科學委員會研究計畫成果報告：臺灣師大科學教育研究所(NSC91-2522-S-003-020)。邱照麟(2000)：國小學童「空氣」概念之研究。屏東市：國立屏東師範學院碩士論文(未出版)。岳修平(1998)：教學心理學。臺北：遠流出版社。杜嘉玲(1999)：概念發展—古典論與聯結論。嘉義縣：國立中正大學碩士論文(未出版)。林振霖(1993)：我國學生分子概念發展與診斷教學的研究(2)：我國學生分子概念的發展

之研究。彰化師範大學學報，4，337-398。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。臺北市：

國立台灣師範大學碩士論文(未出版)。連韻文(2000)：從心理學角度看人類如何思考。科學月刊，31(10)，842-849。陳澤民(1997)：數學學習心理學。臺北：九章出版社。湯維玲與顏慶祥主編(2002)：教育百科辭典。臺北：五南書局。熊召弟、王美芬、段曉琳與熊同鑫(1996)。科學學習心理學。臺北：心理出版社。鄭志鵬(1998)：探討高中學生之氣體概念及相關粒子概念。臺北市：國立台灣師範大學碩士論文(未出版)。蔡明儒(2004)：國小學童光學概念改變之研究。嘉義縣：國立嘉義大學碩士論文(未出

版)。鄭昭明(1993)：認知心理學：理論與實務。臺北：桂冠圖書股份有限公司。盧文顯(1991)：從粒子模型概念探討學生對於溶液概念之思考模式。臺北市：國立台灣師範大學碩士論文(未出版)。

蘇育任(2002)：國小學生原子/分子/粒子概念與中小學生週期性概念研究(I)。行政院國家科學委員會研究計畫成果報告：臺中師院自然科學教育學系(NSC90-2511-S-142-005)。

饒見維(1994)：知識場論。臺北：五南書局。

Abraham, M. R., Grzybowski, E. B., Renner, J. W., & Marek, E. A. (1992). Understandings and misunderstandings of eighth graders of five chemistry concepts found in textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(2), 105-120.

Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85.

Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Benson, D. L., Wittrock, M. C., & Baur, M. E. (1993). Students' preconceptions of the nature of gases. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(9), 587-597.

Ben-Zvi, R., Eylon, B., & Silberstein, S. (1986). Is an atom of copper malleable? *Journal of Chemical Education*, 63, 64-66.

Brown, D. C., & Clement, J. (1989). Overcoming misconceptions by analogical reasoning: abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science*, 18, 237-261.

Calik, M., & Ayas, A. (2005). A comparison of level of understanding of grade 8 students and science student teachers related to selected chemistry concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(6), 638-667.

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., 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.

Clough, E. E., & Driver, R. (1986). A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, 70(4), 473-496.

de Posada, J. M. (1997). Conceptions of high school students concerning the internal structure of metals and their electric conduction: Structure and evolution. *Science Education*, 81(4), 445-467.

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., Gillespie, N. M., & Esterly, J. B. (2004). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive Science*, 28, 843-900.

- Eilam, B. (2004). Drops of water and of soap solution : Students' constraining mental models of the nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 970-993.
- Gabel, D. L., Samuel, K. V., & Hunn, D. (1987). Understanding the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 64(8), 695- 697.
- Gómez, E. J., Benarroch, A., & Marín, N. (2006). Evaluation of the degree of coherence found in students' conceptions concerning the particulate nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(6), 577-598.
- Gómez, M. A., Pozo, J. I., & Sanz, A. (1995). Students' ideas on conservation of matter : Effects of expertise and context variables. *Science Education*, 79, 77-93.
- Haidar, A. H., & Abraham. M. R. (1991). A comparison of applied and knowledge of concepts based on the articulate nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(10), 919-938.
- Ioannides, C., & Vosniadou, S. (2002). The changing meanings of force. *Cognitive Science Quarterly*, 2, 5-61.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching. *Journal of Chemical Education*, 70, 701-705.
- Kintsch, W. (1974). *The representation of meaning in memory*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kosslyn, S. M. (1980). *Image and mind*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Krajcik, J. S. (1989). *Students' interactions with science software containing dynamic visuals*. In M. Eisenhart & J. G. Goetz (Chairs), Meanings of science and technology in schools and communities. Symposium conducted at the 88<sup>th</sup> annual meeting of the American Anthropological Association, Washington, D.C.
- Lee, K. W. L. (1999). Particulate representation of a chemical reaction mechanism. *Journal of Research in Science Education*, 29(3), 401-415.
- Marín, N., Benarroch, A., & Jiménez Gómez, E. (2000). What is the relationship between social constructivism and piagetian constructivism? An analysis of the characteristics of the ideas within both theories. *International Journal of Science Education*, 22, 225-238.
- Marín, N., Jiménez Gómez, E., & Benarroch, A. (2004). How to identify replies that accurately reflect students' knowledge? A methodological proposal. *International Journal of Science Education*, 26, 425-445.
- Mintzes, J. J., & Wandersee, J. H. (1998). *Reform and innovation in science teaching: A human constructivist view*. In J. J. Mintzes, J. H. Wandersee & J. D. Novak (Eds.), *Teaching science for understanding: A human constructivist view*. Academic Press.
- Moates, D. R., & Schumacher, G. M. (1980). *An introduction to cognitive psychology*. Belmont, CA : Wadsworth.
- Moyer, W. A., & Mayer, W. V. (1985). *A Consumer's guide to biology textbooks 1985*. Washington, DC: People for The American Way.
- Nakhleh, M. B., & Samarapungavan, A. (1999). Elementary school children's beliefs about matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(7), 777-805.
- Nicoll, G. (2001). A report of undergraduate's bonding misconceptions. *International Journal of Science Education*, 23, 707-730
- Northfield, J., Gunstone, R., & Erickson, G. (1996). *A Constructivist Perspective on Science Teacher Education*. In Treagust, D. F., Duit, R. and Fraser, B. J. (Eds.), *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics*, 201-211.

- Novick, S., & Nussbaum, J. (1978). Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: an interview study. *Science Education*, 62(3), 273-281.
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter : A cross-age study. *Science Education*, 65(2), 187-196.
- Osborne, R. J., & Freyberg, P. (1985). *Learning in science : the implications of children's science*. Heinemann, Auckland and London.
- Pfundt, H. (1982). *Pre-instructional conceptions about transformations of substances* (Report No. IPN-RR-82-0). Kiel, West Germany : Institut fuer die Pädagogik der Naturwissenschaften. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 229 235)
- Reif, F. (1987). Interpretation of scientific or mathematical concepts: Cognitive issues and instructional implications. *Cognitive Science*, 11, 395-416.
- Renner, J.W., & Marek, E.A. (1990). An educational theory base for science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(3), 241-246.
- Selley, N. J. (1981). *Children's Understanding of Atoms and Molecules*. Kingston : Kingston Polytechnic.
- Se're', M. G. (1986). Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. *European Journal of Science Education*, 8(4), 413-425.
- Smith, E. E., & Medin, D. L. (1981). *Categories and concepts*. Cambridge, Mass: Harvard University press.
- Solomon, J. (1983). Learning about energy: How pupils think in two domains. *European Journal of Science Education*, 5(1), 49-59.
- Stavy, R., & Berkovitz, B. (1980). Cognitive conflict a basis for teaching quantitative aspects of the concept of temperature. *Science Education*, 64, 679-692.
- Stavy, R. (1988). Children's conception of gas. *International Journal of Science Education*, 10(5), 553-560.
- Stavy, R. (1990). Pupils' problems in understanding conservation of matter. *International Journal of Science Education*, 12, 501-512.
- Tasker, R., & Freyberg, P. (1985). *Facing the mismatches in the classroom*. In Osborne, R. and Freyberg (Eds.), *Learning in Science*, Hong Kong: Heinemann.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth : A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Yarroch, W. L. (1985). Student understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, 22, 258-275.
- Yair, Y., & Yair, Y. (2004). Everything comes to an end : An intuitive rule in physics and mathematics. *Science Education*, 88, 594-609.

# A Study of Microcosmic Particle Conceptions about Pure Substance and Mixture in Grade Eight

Rong-Chun Chang<sup>1</sup> Huey-Por Chang<sup>2</sup>

Tzu-Shan Cheng<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduate Institute of Science Education, National Changhua University of Education

<sup>2</sup> Department of Physics, National Changhua University of Education

<sup>3</sup> Taipei Municipal Minzu Elementary School

## Abstract

The purpose of this study was to explore junior high school students' developing understanding of microcosmic particle conceptions by examining students' cognition of pure substance and mixture. The questionnaire which the authors designed was implemented into two steps : First, investigate students' understanding in definition, property and composition of pure substance and amalgam. In order to assist in explanation, students were asked to give examples and draw pictures ; Second, according to the conceptions of pure substance and amalgam, ask students to classify ten different matters. In advance, students explain and draw pictures to answer the questions about matters' shape and composition. After analyzing the data gathered from the students' answers to the questionnaire, the author employed semi-structured individual interviews with thirty-seven students in the grade-8 to confirm students' ideas. The results indicated that : (a) The students' microcosmic particle conceptions about pure substance and amalgam could be classified into three types : the spontaneous description definition, the matter's property definition, and the microcosmic particle conceptions definition. Most students define pure substance and mixture by the matter's property. The spontaneous description definition is secondary. Very few students have microcosmic particle conceptions in definition. (b) Most students classified the matters as pure substance or mixture by the spontaneous description definition. Very few students use the microcosmic particle conceptions and nobody applied the matter's property. (c) Very few students could apply the microcosmic particle conceptions to explain the advanced questions about the composition, shape and phase transition of matter. The results of this study can assist science teachers to understand students' learning about the microcosmic particle abstract conceptions and provide reference resources for

designing instructional materials and methods to help students constructing scientific conceptions.

Key words: Pure Substance, Mixture, Microcosmic Particle Conceptions.