科學教育學刊
2004, 第十二卷第二期, 183-218

Chinese Journal of Science Education
2004, 12(2), 183-218

中小學生物質微粒模式之迷思概念的診斷工具和分析方法

林財庫
高雄師範大學物理系所

（投稿日期：民國91年7月10日，修訂日期：92年2月17日，接受日期：92年11月24日）

摘要：本文結合了物質微粒模式之「預試晤談分析、內容分析、認知分析和歷史發展分析」等的研究結果發展了一份（兩段式）診斷中小學生學習「物質微粒模式」之相關概念時所既有或新生之認知樣式（patterns）和層次的雙層試題和半結構性測後晤談問卷。這份診斷工具包含 15 個概念，分爲四個向度（題組），是經由分析高雄市兩所高中、兩所國中、兩所國小，共九個年級（小四到高三）2467 位學生的半開放式紙筆測驗（題幹選項 + 理由陳述）、8 位預試晤談對象及 128 位受測學生之測後晤談資料的結果，分析與歸納而得。本診斷工具的發展在形式上仿照 Treagust 的步驟，在內容上則遵循人本建構論者的建議，在建立題庫和題組的過程中反覆參照前人的研究及「物質微粒模式」之認識論分析（包括內容分析、歷史發展分析和認知分析等）的結果。在結合這三種分析的基礎上建立 16 種具有高低（或先後）次序的「範疇結構模式」，以此作爲物質微粒理論之科學認知模式的理論原型（propotypes），來編碼、分類和排序受測者筆試測驗和測後晤談的「質性資料」，並嘗試提出可以把這個過程一般化（generalized）的方法論原則。本診斷工具以「項目分析」來評估筆試測驗之每個試題的適切性（每一題都有鑑別度）；以「因素分析」和「理論修正」來建立各題組的構念效度；以內容分析和歷史發展分析做爲筆試及測後晤談之內容效度的參考；以受測者基本學力測驗或數理（自然、數學或理化等）成績作爲效標來建立筆試測驗的效標關連效度；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差異的變異數分析來建立另一種理論的構念效度（理論預測本診斷工具的總分與邏輯化程度較高的自然科及數學科成績有正向顯著相關，與邏輯化程度較差的社會科與語文科成績沒有顯著相關，預測結果與理論一致）。本診斷工具筆試測驗之整體（小四到高三）的 α 信度，理由陳述部分平均爲 0.80；筆試及測後晤談之理由陳述部分的再測信度平均爲 0.75。

關鍵詞：物質微粒模式、迷思概念、認知模式、模式識別、機械典範。

壹、研究背景、目的及重要性

一、迷思概念是有意義和有效率之科學教學與學習的起點

人本建構論者（Human Constructivist）的回顧指出：「1978 年是科學教育的研究由學院派（例如 Bruner, Gagne, Piaget, Schwab and Skinner 等代表人物的理論）轉變到人本建構論的重要一年。相對於學院派時期（著重學科的結構、科學的探究、人類認知之發生和發展時期的劃分以及行爲的改變等），現在的科學教育著重**有意義的學習、知識的重建以及概念的改變**……。科教研究的這種轉向深受認知科學和科學史哲之研究成果的影響」。（Mintzes & Wandersee, 1998, p.65）。另外 Nussbaum 指出：「建構論者在科教領域的蓬勃發展受益於三方面的研究，分別是(1)**學生之迷思概念的研究**（這類的研究顯示學生對於所教授之科學概念並非直接接受，而是自行建構他們自己的想法）；(2)**認知心理學的新發展**（例如 Gestalt 心理學之某些觀點的精緻化（例如修正和增添認知基模整體轉移之突變過程的部分細節，引者）以及學習者之一般化基模（general schemata）在組織和建構信息之意義中所扮演的角色）；(3)**科學史哲的新發展**（例如改變了科學的傳統觀點。科學史哲的新觀點認爲「科學是不斷的建構及重建各種模型以增益我們對大自然的理解，但卻絕不能聲稱這些理解代表大自然的絕對眞理」）（Nussbaum, 1998, p.165-166）。爲何迷思概念的研究在科學教育中具有如此的重要性？此可由 Ausubel 的早先研究來得到理解，Ausubel 稱：「在有意義的學習中，學生利用認知結構中原有的觀念，也就是利用儲存在頭腦中的既有概念、命題等舊知識去固定新學習的知識。新舊知識相互聯繫、相互作用，結果不僅將客體的新知識納入主體的認知結構中，主體的**認知結構**也因此得到**改造或重新組織**的機會」（Ausubel, 1968）。

二、迷思概念在概念重建和概念改變中扮演基要的角色

前人的研究顯示，學習者概念的發生、發展（或重建）和轉換（或改變）的模式、過程和機制與科學哲學之知識發展觀、認知科學之認知發展觀以及科學史中科學家個人或群體之概念或思維的發展觀等，有某種平行關係（例如 Piaget, 1972; Mintzes, Wandersee & Novak, 1998, p.76）。因此可由認知科學各流派的認知發展觀以及科學史中重要科學家之個人或群體的概念或思維的發展觀來嘗試分析學習者迷思概念和概念結構的樣式（patterns）、層次以及成因，並結合學習者迷思概念及概念結構的實徵研究成果一起來逐次建構從迷思概念過渡到科學概念、從既有概念結構到科學概念結構（一般而言是邏輯結構）、從既有思維方式到科學思維方式（或科學典範）等之間的橋樑，發展有效的教學模式與策略，以協助學習者主動、積極、創新的去建構他們所學習之教材的意義，達成概念（或概念結構或思維方式）之理解、重建（成長）和改變（轉換）的階段性教學目標。這些內容正是上述人本建構論者所稱過去 20 年科學教育的研究重點。

三、物質的微粒理論是機械論之思維方式的重要起點

對於自然科學的教學與學習而言，哪些迷思概念的研究應該優先得到關注？對此問題，人本建構論者提出了明確的見解：「物質的微粒理論是自然科學中最基本的概念架構，因爲教導和學習這個基本概念架構有相當大的困難度，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」(Nussbaum, 1998, p.167)；又「機械化約論(物質微粒理論在近代科學中的一種主要表現形式)是所有自然科學的本質特徵，獲得這種思維方式(機械典範)應是科學教育的**後設目標**(metagoal)」(Nussbaum, 1998, p.177)。著名的物理學者(1965 年物理諾貝爾獎得主)R. Feynman 也稱：「我常常想如果人類在一次浩劫中所有的科學知識都被毀滅，只有一句話留給後代的生物，那麼什麼樣的語句可以用最少的詞彙來包含最多的知識呢？我相信答案就是原子假說，即『萬物是由原子(微粒)所組成的，它們(微粒)永恆的運動著，在一定的距離之外時它們會相互吸引，當被壓縮至一定距離時它們則又彼此排斥』。只要您稍爲推敲一下就會發現，在這一句話裡包含了有關這個世界的巨大知識」(Feynman, 1963, p.4)。本文遵循這種信念來發展診斷高雄市中小學生在學習「物質微粒模式(或理論)」之相關概念時所既有或新生之迷思概念的認知樣式和層次的診斷工具，爲辨識學習者迷思概念的樣式、爲發展有效的概念重建和概念改變的教學模式與策略、爲有意義和有效率之「物質微粒模式(或理論)」、「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

1980 年代，美國的科學教師們陸續反應「物質之微粒理論(或模式)的教學」對很多不同年齡層的學習者而言都非常困難(Andersson, 1990; Benson, Merlin, & Mario, 1993; Ben-Zvi, Eylon, & Siberstein, 1987; Brook, Briggs, & Driver, 1984; de Vos, 1996; Novick & Nussbaum, 1981; Nussbaum, 1985, 1998)。Nussbaum 對這個問題進行 20 年的長期研究，得出這樣的寶貴心得：「當應用建構主義的一般化基模於物質之微粒理論的教學時除了需考慮“物質微粒理論之內容的邏輯分析”外，更需特別考慮“物質微粒理論之教材內容的認知分析”、“物質微粒理論之核心概念的歷史發展分析”，以及“物質微粒理論之科學哲學的知識論分析”(Nussbaum, 1998, p.165-192)」。以下我們就根據這個建議，概要的討論如何運用這些認識論分析來發展診斷工具，以研究學習者在學習物質微粒理論時所既有的或新生的認知樣式、模式與層次，整個研究流程概要如圖 1 所示。

一、物質微粒理論之內容分析概要

Nussbaum 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(眞空)；
4. 微粒不斷的在運動；
5. 微粒間有交互作用(Novick & Nussbaum, 1978)。

這五個特徵與上述 Feynmann 原子假說的內容一致，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)的這些特徵，可萃取出四對可作爲分類指標的特徵範疇，分別是【宏觀與微觀】、【連續(以太、波)與斷續(粒子、原子)】、【靜(態)與動(態)】、【無(交互作用)與有(交互作用)】。每一對「範疇對」都可以作爲識別及分類學習者學習物質微粒理論(或機械典範)時所既有(或新生)之認知樣式的「特徵指標」(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(參圖 2)就成爲辨識(識別)學習者學習

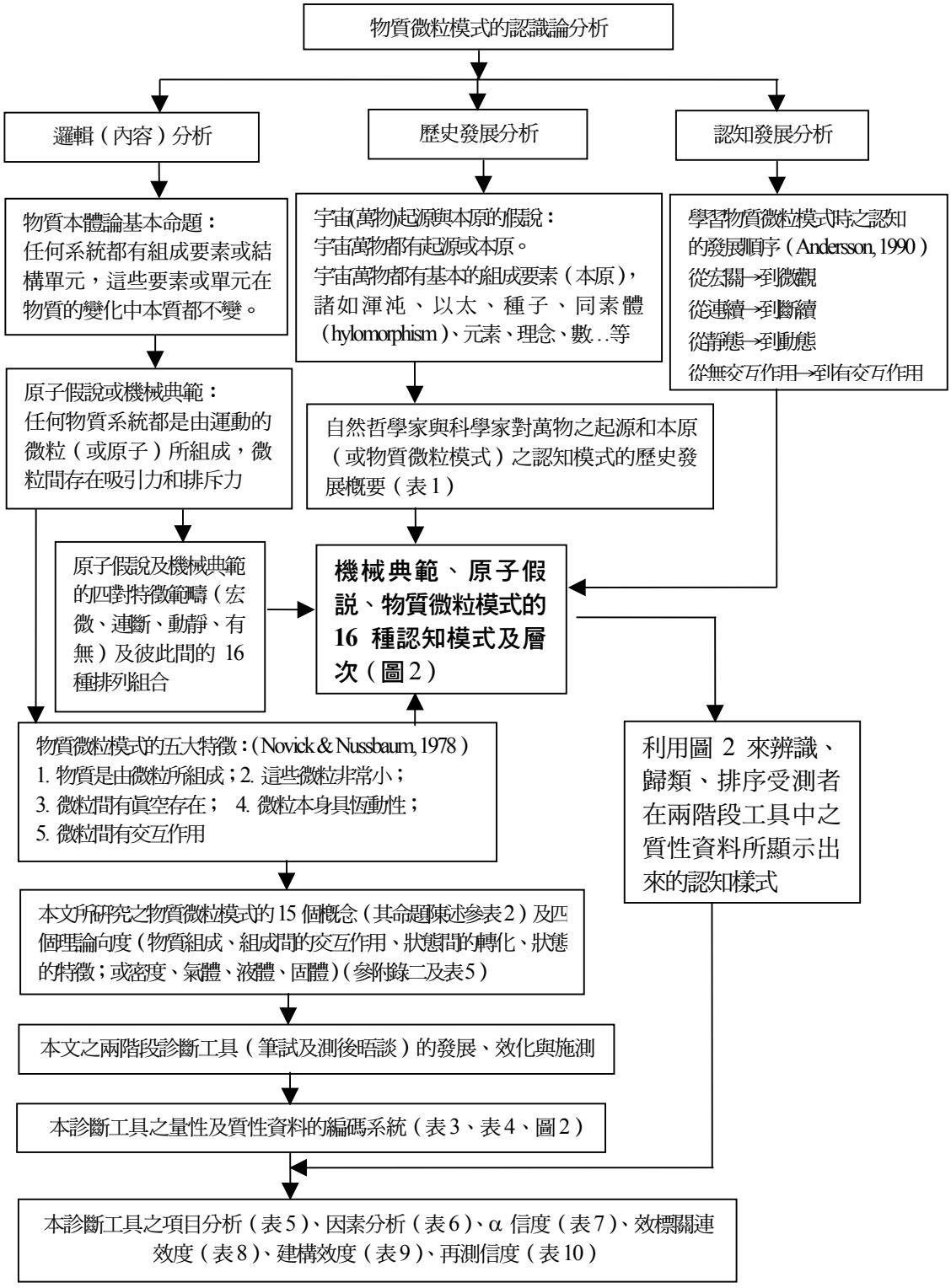


圖 1：物質微粒模式之診斷工具和分析方法的研究流程概要

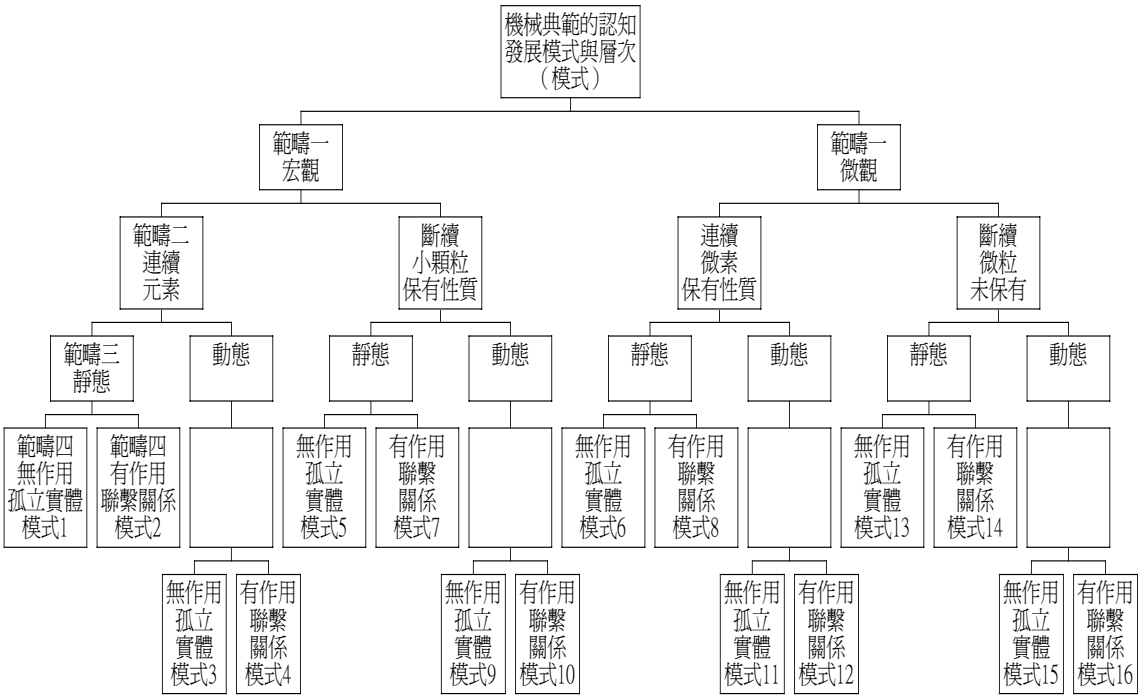


圖 2：內容（邏輯）分析、認知分析與歷史發展分析相結合之「物質微粒理論（或機械典範）」的認知模式與層次

物質微粒理論時所可能擁有之認知模式的原型（prototypes）。

二、物質微粒理論的認知分析概要

上述的 16 種邏輯範疇結構模式並沒有必然的邏輯排列順序，但如果考慮認知發展的規律都是宏觀層次的認識在先，微觀層次的認識在後；物質連續觀的認識在先，斷續觀的認識在後；靜態的認識觀點在先，動態的認識觀點在後；無交互作用的認識觀點在先，有交互作用的認識觀點在後等。因此從認知發展的角度來看這 16 種理論原型就存在某種排列順序，分別代表不同程度的認知層次。這個假設部分得到實徵研究結果的支持，例如 Andersson 在綜合概括前人及其自身對「化學反應和物質之狀態與轉化」的實徵研究成果時指出：「概括這些實徵研究的結果得知，把物質的組成看成是連續的、靜態的、和其間不存在（無）眞空等日常經驗的觀點與物質的組成事實上是微粒的（斷續的）、動態的、和其間存在（有）眞空的科學觀點相衝突或相混成（mixture）是學生迷思概念的主要根源」（Andersson, 1990, p.69）。Nakhleh 和 Samarapungavan（1999）也運用（宏觀與微觀）、（連續與斷續）這兩對範疇來分析受測者的質性資料。

三、物質微粒理論之歷史發展分析概要

前人的研究指出，學習者的認知發展過程與規律和科學史中科學家或科學家群體的認知發展過程和規律存在某種平行關係，例如人本建構論者在概括前人研究成果的基礎上，提出了 12 項關於「科學概念的理解和改變」的知識論主張，其中第五項稱：「學習者對於科學知識的個人想法具有很多共同點，而且與科學

家（或自然哲學家）早期對於此特定概念的瞭解（或對相同事物和現象的觀察和解釋）相同或相似」（Mintzes, Wandersee & Novak, 1998, p.76）。因此上述的 16 種理論模式及其排列順序應該還可以從物質微粒理論的歷史發展過程中找到客觀的根據。以下我們就物質微粒理論之歷史發展過程做概要的掃瞄，其重點有二，一是概要的說明物質微粒理論之兩種對立理論（即物質本體論的以太假說和原子假說）的歷史發展概要，以及一般認識論之對立假設（知識來自於感覺經驗（經驗論傳統）或者是來自於理性思辨（理性論傳統））和世界觀之對立假設（目的論或機械論）的歷史發展軌跡。Nussbaum（1998, p.188）認爲這些本體論、認識論和世界觀之對立假設的各種案例是發展有意義學習之教學策略的重要參考，對於達成概念改變的認知目標具有關鍵的重要性。第二個重點是列舉史實，以證明上述物質微粒理論的 16 種「範疇結構的認知模式」確曾在科學的歷史發展過程中迂迴的出現過，科學家常常同時擁有多種認知模式，其成長也是在緩慢的實踐和反思當中才逐漸趨向成熟的。討論如下：

物質之微粒理論是運用物質之組成微粒的性質、特徵、屬性及微粒間之交互作用的性質、種類和強弱等來解釋物質世界之各種現象的一種理論。它與科學史中各個不同時期所共同關心的本體論問題（即萬物的本源是什麼？其結構單元是什麼？等）是一樣的，因此可藉由分析各個不同時期具有代表性之主要自然哲學家或科學家對「萬物之基本組成及其間之交互作用的特徵是什麼」的基本主張來瞭解他們的本體論思維模式。

(一)古希臘時代之（連續）以太假說及（斷續）原子假說的發展概要

從科學的歷史發展過程來看，人類對於「物質之基本組成（或稱萬物之本源）是什麼」的基本觀點可大致分爲對立的兩大流派，一是原子假說，另一是以太假說。支持原子假說者認爲**物質的基本組成**是「**斷續的原子（微粒）**」，支持以太假說者則認爲是「**連續的以太**」。就西方的科學發展史而言，**以太假說的產生要比原子假說的產生早大約半個世紀**，此兩大流派的交替演化情形概要討論如下：

1. 古希臘時代的以太假說

古希臘時代的以太假說認爲萬物的本源是以太（Aether 或 ether）。以太原意爲「燃燒、發光或上層空氣[1]」，很多人把它與「氣」的概念相連結，例如 Thales（624 B.C.-546 B.C.）認爲以太是空氣的蒸發；Pythagoras（550 B.C.-479 B.C.）稱「氣」爲冷的以太，並稱海和濕氣是由濃密的以太形成的，它是一種**充滿整個空間的靜止**介質。古希臘時代「以太學說」的主要代表人物是 Anaxagoras（500 B.C.-428 B.C.）。他認爲以太是**無限可分的**、**連續的**、**均質的稀薄物質**，它構成無限多種有**特定形式**、**顏色和氣味的種子**，這些種子處於必然的漩渦運動之中，漩渦運動使不同重量的種子**分離**成許多群體，並且**聚合**成爲萬物，物體中含有哪一種種子較多，物體就表現出那種種子的特質（Garber, 1986, p.362）。根據以太的這些特徵可得知前期的以太假說屬於「宏觀連續靜態無交互作用」的思維模式（A1），而後期 Anaxagoras 對萬物之本源的認知模式屬於「宏觀連續動態有交互作用（**分離與聚合**）觀」（A4）。

2. 古希臘時代的原子假說

古希臘時代原子假說的創始者 Leucius（~550 B.C.- ~440 B.C.）及其學生 Demokritos（~420 B.C.- ~361 B.C.），他們認爲(1)宇宙中的**物**

[1] 根據 Hesiod 的希臘<<神譜>>，以太神（Aether）是奧林匹斯山諸神所呼吸的高處清新空氣，它和白晝之神 Hmeri 都是光明之神 Erebus 和黑夜之神 Nyx 的子嗣，而光明與黑夜之神都來自渾沌（chaos）。

質是由無限多之不可分割的微粒（稱爲原子，atoms）所組成；(2)**原子**是一種堅實、緻密（不可入），不可被毀滅也不能被創生的微粒，它們**只具有體積、形狀和位置等與空間有關的幾何學性質**，且不同的原子這些幾何性質都不相同；(3)各種原子在**一無所有的空間（虛空）中不斷的、急劇的、凌亂（無規）的運動**，且**相互碰撞、相互推動**，形成漩渦以產生宇宙中的所有物質；(4)運動中的各原子以不同的位置和排列組合的次序，遵循必然的規律形成各種複合物；(5)原子本身不停運動的原因不是受了外力，而是**運動本身就是原子的基本屬性**（北大哲學系譯, 1982, p.97-99）。根據這種原子假說的認知模式，世界萬物是由無數細小的（**微觀**）、不可分割的微粒（**斷續**）所構成；而自然界的無限多樣性就可以用原子的大小、形狀、位置、運動（**動態**）和結合方式（**有交互作用**）等單一的模式來加以說明。因此這種認知模式是屬於「思辨性的微觀斷續動態有交互作用觀」（B16）。這種物質本體論之思維方式的後繼者是 Epicurus（342 B.C.-270 B.C.），他對先前的原子假說做了重要的補充，提出(1)原子除了有大小、形狀、位置和次序等性質和屬性之外還有重量這一性質；(2)造成原子運動的原因有二，一是原子本身的重量（此造成原子在無限虛空中垂直下落），二是原子間的相互碰撞（造成碰撞的原因是原子偶發的偏斜運動），其認知模式也是屬於 B16。古代原子論的這兩種認知模式的層次雖然很高，但因它們都只是思辨性的推論結果，無法用當時經驗事實的水平來檢驗，因此未能成爲當時的主流想法，所以只是潛在型的認知模式，是後來主流（現實型）認知模式的胚胎。

3. Aristotle 的五元素說

Aristotle（384 B.C.-322 B.C.）繼承並發展了古代以太假說的思想，認爲宇宙萬物的生成與毀滅在於相對立之四種原始性質（即冷、熱、乾、濕）的相互作用，它們使「最初的渾沌」成爲「種子」，形成地上的火、氣、水、土四元素和天空的以太元素。他因此提出物質之基本組成的「五元素說」，以及造成物質運動和變化的「四因說」。即物質世界是由水、火、土、氣和以太五種元素所組成，這五種元素通過冷、熱、乾、濕等四種原始性質的作用，以及「質料因」、「形式因」、「動力因」和「目的因」等「四因」的共同推動而結合成爲實體。他反對物質是由原子和虛空所組成的原子論觀點，認爲物質的最小微粒也是由水、火、土、氣和以太這五種**連續的、無限可分的元素所組成**，所以不可能存在不可分割（斷續、分立）的原子和原子間的虛空（大自然厭惡眞空，Nature abhor a vacuum）。另外，Aristotle 認爲原子論沒有說明產生運動的內在原因和目的，忽視了運動與事物之間的基本聯繫，因此原子論所描述的世界只是一個「**機械的、量的」靜態存在世界**，裡面沒有「**有機的、質的」動態演化圖景**。他明確指出從常識性思維到科學思維的認知程序和途徑本質上是(1)**從對我們（主觀）來說明白易知的東西到就自然本身（客觀）來說明白易知的東西；**(2)**從感覺經驗上易知的東西到理論（理性）上易知的東西；**(3)**從感覺經驗到理論（理性）知識（普遍概念）**(4)**從整體事物到構成要素；**(5)**從普遍、特殊的層次到個別的層次（徐開來譯, 2002, p.19-20）**。因此 Aristotle 元素論之認知模式的特點早期（「自然位置論（目的論）」）是「經驗和思辨的宏觀連續靜態有交互作用觀」（B2），後期（生成與演化）是「經驗和思辨的宏觀連續動態有交互作用觀」（D4）。

Nussbaum 在對物質微粒理論進行知識論的分析之後指出：「Democritus 的原子主義是建立在他的理性觀點上，此觀點隱含了他的**理性懷疑**，即眞空和粒子（斷續性）才是眞理，物質的連續性只是感官的幻覺」。又「Aristotle

的反原子論是來自於他的**經驗性觀點**，此觀點隱含了一個假設，即物質是能夠被感官認知的東西。因此有關物質（物質的基本組成或萬物的本源，引者）到底是斷續的（粒子觀、理性觀）還是連續的（以太說、經驗觀）的不同看法是源自深層的哲學爭論」（Nussbaum, 1998, p.183）。

(二)近代的微粒（原子）理論與反微粒（反原子）理論概要

西方文藝復興之後的近代原子論是在繼承古希臘原子論的基礎上發展起來的。然而限於歷史的水平，古希臘原子論只能是定性的、思辯的認識；而近代原子論則是一種定量的、實證的科學理論。它是在大量精確的觀察、實驗和經驗定律的基礎之上建立起來的，並且可被用來指導新的研究，預言新的現象，因此它取代了被伽利略等人證明錯誤百出的 Aristotle <<物理學>>，成爲當時科學界的主流思想。其發展過程概要討論如下：

1. 笛卡爾的以太漩渦論

笛卡爾（Descartes, R., 1596-1650）繼承和發展古代以太假說的思想，提出「以太漩渦論」。他在 1644 年發表的 <<哲學原理>> 一書中首次介紹這個理論，其基本內容爲

(1)「物質的基本特性不在於重量、硬度、顏色等，而只在於它的「廣延性（**無限可分的連續性**）」。他由此推論出空間中充滿**不可見**、**可壓縮**、**無限可分**的「**以太連續體**」。他說：「宇宙中並不能有天然不可分的原子或物質組成的存在。因爲不論我們假設這些物質組成如何微小，它們既然都有廣延性，我們就**永遠能在思想中把它們再細分下去**，並可因此**承認它們的可分割性**。因此，最小的有廣延的物質組成永遠都是可分的，因爲它的**本性本來就是這樣**。」（關文運譯, 1960, p.44）。

(2)在以太所組成的物質宇宙中，只有通過「**直接接觸**」（例如碰撞或擠壓）才能產生**相互作用**，才能產生**造成運動的漩渦**。笛卡爾認爲任何不相接觸的物體之間如果有作用力存在，那麼必定有某種不可見的中間媒介物充當相互作用的傳遞者，這種東西就是**不可見的**、**連續的**、**可壓縮的以太**。由於這種**處於不斷激烈運動中的以太物質**充滿整個空間，因此不可能有完全一無所有之虛空的存在。Dampier 指出：「在當代人看來，笛卡爾的「**由接觸而生運動的漩渦**」，從**機械論的觀點**來看，比伽利略所想像的、後來由牛頓加以系統解釋的「通過超距作用而產生加速的力」，容易瞭解的多，因爲這兩人都沒有對這種超距作用力的成因或其作用的方式有所說明」（李衍譯, 1992, p.207）。所以縱使在牛頓萬有引力理論發表之後的一段時間內，以太漩渦說仍是當時科學思想界的主流觀點。

(3)「**可感知的物體是由各種不可覺察的微粒所組成的**」。他以太陽系的生成爲例來說明這種「**從微至著」的演化過程**。他說：「宇宙的原初物質由於彼此間的**碰撞而產生漩渦式的迴轉運動**。這種漩渦運動所引起的摩擦把原初物質分化爲三類，第一類是通過摩擦所產生的“**精細微粒**”。這種微粒沒有一定的形狀，且可無限的分割，因此可以充滿任何物質微粒的間隙，並且藉著漩渦運動流向漩渦的中心，在那裡形成發光的太陽或恆星。第二類物質是與第一類物質（精細微粒）一起產生的光滑、球狀的“**小微粒**”，這類

小微粒趨於離開漩渦中心，沿徑線向周圍運動，它們構成透明的天空，並且是傳遞來自太陽和恆星之波狀運動（光）的媒介。第三類物質是由原初物質所產生的形狀複雜、且緩慢運動的**“粗糙顆粒”**，它們之間的碰撞和摩擦產生了第一類和第二類物質（即精細微粒和小微粒），它們被拋離漩渦的中心（太陽），並相互聚集形成地球以及其他行星和彗星等」（Wolf, 1935, p.647-648）。

分析以上的觀點得知，笛卡爾之物質本體論的思維模式是複雜的，既有不可見（微觀）、連續、自發運動的以太，又有不同物質組成層次的（以太、精細微粒、小微粒、粗糙顆粒、物質宇宙）、可見的、被動的、可相互作用的粗糙顆粒，因此他對物質的組成及其間之交互作用的認知模式由低至高包含了表 1 中所示之 B5，B6，B7，B8，B11 和較成熟的 B12（思辨的微觀連續動態有交互作用觀）。

2. Boyle 之氣體的靜力學和運動學模型

Boyle, R.（1627-1691）在 Hooke, R.（1635-1703）的協助下利用空氣唧筒來控制氣體（微粒）之數量的多寡，以此來研究「空氣的彈力（氣壓）和重量」。他發現空氣是有重量的物質，並證明定量的空氣所佔的體積（V）與其所受的壓力（P）成反比。爲了解釋氣體所呈現的這個規律（PV = 常數），他先後設想了兩種相互矛盾的“空氣微粒的運動模式”。第一種空氣微粒的運動模式是他在 1660 年提出的“靜力學模式”，他設想「如果空氣是由許多靜止的、彼此比鄰的微粒所組成」，那麼空氣微粒本身必須是可以壓縮，像一個個的小彈簧。他說：「在我們所生活的空氣中，存在像**彈簧或有彈力般的東西**。……離地面很近的空氣有如羊毛……..是由很多細長的、柔軟的、如頭髮般的彈簧所組成。每一根彈簧很容易彎曲或捲起，但也像一般彈簧一樣，很容易再伸直恢復成原狀。」（Nussbaum, 1998, p.178）。Boyle 的第二種空氣微粒的運動模型是 1666 年所提出的“動力學模型”，他設想「如果空氣微粒大小不變，而且可以到處亂跑，那麼它們必然會透過一切可利用的空間（眞空），匯聚成一種**漩渦般稀疏的流體**」。從這兩個認知模式來看，Boyle 的物質組成思想似乎是「實證和思辨的微觀斷續靜態有交互作用觀」（C14），或是「實證和思辨的微觀斷續動態有交互作用觀」（C16，當時爲非主流的觀點，例如牛頓和 Dalton 都只接受靜力學模式），但事實上並沒有這樣明確，因爲「如彈簧般有彈力的東西」以及「漩渦般的稀疏流體」等都隱含著“以太”的影子，加上他不但是物質微粒理論的擁護者也是科學元素論和微素論思想（物質連續觀）的先驅，所以他的物質微粒觀除了在力學領域外並不穩固，又因爲他認爲微粒沒有重量，所以有些學者甚至懷疑他的物質微粒觀只是一種非物質的思想形式（Kuanolov, 1986, p.35, p.44）。整體而言，Boyle 對於物質本體論的思維模式是複雜的、多變的，正如他在其名著 <<懷疑派的化學家>> 一書中所持的觀點，對於有實驗證據的結論他很堅持，對於無法以實驗證實的部分他則存疑，讓多種矛盾同時並存，不妄下定論，因此在力學方面他是有條件的物質微粒論者，在熱學和其他領域他則包含有 B5，B6，B7，B8，B9，B10，B11，B12 等的思辨認知模式。

3. 牛頓機械化約論的認知模式概要

牛頓（Newton, I., 1643-1727）在繼承古希臘原子假說的基礎上，進行進一步的理論概括，完成了力學和機械化約論之邏輯體系的基本架構。在物質之基本組成的特徵方面，他說：「（物質）整體的廣延、硬度、不可入性、可動性和慣性，是由物質組成部分的廣延、硬度、不可入性、可動性和慣性所引起的。因此，我

表 1：自然哲學家與科學家對萬物之起源和本原（或物質微粒理論）之認知模式的主要內容及歷史發展概要

假說/主要建構者/年代	物質之基本組成	組成間之交互作用	性質/屬性	特徵	物質組成層次	思維模式	參考文獻
古代以太說 700-600 B.C. 樸素以太說 Ankasgonus 500-428 BC	同素體（Hylomorph-ism）以太	結合與分離（漩渦運動）	冷熱乾濕、濃稀明暗、形狀顏色和味道/廣延	無限可分，均質，本原在變中具不變性	渾沌、以太、各種種子、萬物	A1 A4	Lindberg, 1992
古代原子假說 Leucippus 550-440 B.C. Demokritos 420-361 B.C.	原子與虛空	結合與分離 機械嵌合與脫離（例如齒輪或鎖鑰的合與分）	體積形狀/次序位置,自發的運動	不可分、本原不變	原子、萬物	B16 非當時之主流	Lindberg, 1992 Lloyd, 1970
以太及四元素說 Aristotle 384-322 B.C.	以太及水,火,土,氣	組合與分離 四因說 天然位置論	冷熱乾濕/廣延	無限可分、均質、本原不變	渾沌、各種種子、水火土氣及以太元素、萬物	B2 D4	Barnes, 1984
思辨原子論 Epicurus 352-271 B.C.	原子虛空	衝撞和卡住 (吸引和排斥)	體積形狀重量/次序位置顏色硬度	不可分、本原不變	原子、原子團、種子、萬物	B16 非當時之主流	Lloyd, 1970
以太漩渦論 Descartes, R. 1596-1650	以太	接觸力、漩渦力	無固定的體積形狀和重量/廣延性	無限可分	原初物質、三種微粒、萬物	B5-B18 B11, B12	Wolf, 1935
微粒的靜力和動力模型 Boyle, R. 1627-1691	科學元素及微粒	吸引和排斥	元素無固定的大小形狀和重量/廣延性	微粒不可分、元素有限可分	微粒或微素、物質	B5-B12 B16 C14	Kuanolov, 1986
物理原子論 Newton, I. 1643-1727	原子與虛空	近吸遠斥並在某臨界距離上相互轉變	體積質量形狀/硬度,不可入，可動及慣性	不可分、本原不變	原子、多層次微粒、….萬物	D5-D8 D14	Motte 1947 Hall, 1978. Newton 1730
震盪原子論 Boscovich, R.J 1711-1787	原子與虛空	近斥遠吸並隨距離成週期性衰減	無體積和形狀但有質量的幾何點/不可入，可動，慣性及無廣延性	不可分、本原不變	原子、多層次微粒、….萬物	D5-D8 D14	Boscovich, 1966
物質微素論 17-18 世紀	微素	吸引和排斥	無固定體積及形狀但有質量/廣延性	無限可分	微素、物質	C12	Kuanolov, 1986

科學元素論 Lavoisier, A-L1743-1794	光、熱及電的微素	近吸遠斥並在某臨界距離上相互轉變	無固定大小及形狀但有質量/廣延性	微粒不可分，微素有限可分	微粒或微素、物質	C12	Kuanolov, 1986
科學原子論 Dalton, J. 1766-1844	原子與虛空	近吸遠斥並在某臨界距離上相互轉變	體積，形狀，重量，相對質量/廣延性，不可入，慣性,牢固性和可動性	不可分、本原不變	原子、複合原子、萬物	E14	Dalton, 1808
分子運動論 Clausius, R. Maxwell, J. C. Boltzmann, L. D	原子 分子	碰撞 吸引和排斥	體積重量和形狀/硬度，不可入，慣性和無廣延性	不可分、本原不變	原子、分子、物質	E16	Maxwell, 1860 Boltzmann, 1964

A = 感覺經驗；B = 思辨；C = 科學實證；D = 科學理論；E = 實證 + 理論。

們得出一切物質的最小微粒（原子）也都是廣延的、硬的、不可入的、可動的，並賦予它們特有的慣性。這就是全部（自然）哲學的基礎」（Motte, 1947, p.399）。在組成微粒間的交互作用方面，牛頓明確提出微粒組合成爲物質是靠著微粒間存在各種類型之力的作用，不是如古代原子論者所稱是藉著「不同形狀之原子間的機械契合(例如齒輪的嵌合、或鎖和鑰的契合，引者)」，或來自「原子偶發的偏斜運動」。1664 年時他猜測這種使微粒（原子）或物質聚合起來的力是空氣的壓力、或者是某種源自太陽的力、或者是某種使物體能相互接近的未知力（Mcguire, 1983, p.349）。到了 1675 年時他提出微粒間的作用力可能是電力、磁力、重力、化學力（發酵作用）、生物力（發育作用）或親和力（sociable force，交際力），微粒或物質間在不同的條件下，藉助於一種或數種這些力來相互結合（Turnbull, 1959, p.346）。在 1687 年他完成了 <<自然哲學的數學原理>> 一書後，他又把原子或物質間的各種交互作用力依其性質再概括爲“吸引力和排斥力”兩類。雖然他一直都無法確定這些吸引力和排斥力到底是什麼，但已經掌握了這兩種力的一個重要特徵，那就是「這兩種力都隨微粒間距離的變化而變化，並在某個距離時達成平衡（引力 = 斥力），大於這個平衡距離時，斥力大於引力；反之，小於這個平衡距離時，引力大於斥力」。牛頓說：「我猜想物體的微粒靠這些力，通過仍然不知道的原因，或者相互靠近而粘結，或者彼此排斥而遠離」（Newton, 1730, p.346）。又「這些迫使微粒相互靠近的一種力（吸引力）是較強的，但是卻隨著微粒間距離的增加而迅速衰減；另一種力（排斥力）是較弱的，但是卻減小的較慢，所以在較大的距離時（排斥力）超過前一種力（吸引力），這種力驅使微粒相互分開。」（Hall, 1978, p.307）。因爲牛頓主張微粒的運動來自外力（外因）不是微粒自身的本性（內因），因此他對物質組成之較成熟的認知模式是「理論的微觀斷續（微粒）靜態有交互作用觀」（D14）。當然他的思維模式在成熟之前也像其他人一樣經過很多轉折。例如他直到 1684 年才完全拋棄“以太說”，在此之前他的“光以太說”的認知模式還成爲 Young, T.（1773-1829）發展“光波動說”的最主要信念（Young, 1971, p.614.）。單就他的物質微粒觀而言他在 1687-1692 年期間認爲物質的組成有最小的微粒、較大的微粒、最大的顆粒、物體等四個層次；在 1692-1727 年間他發展了「物質組成之多層次結構」的思想，他在所著 << 光學>> 一書中，從「物質之各層次的組成微

粒（等級微粒）的體積與微粒間之間隙的體積相等」這個假設出發，得出這樣的推論：「任何一個由三級微粒（不可分割的實體）所組成的物體中，將有比此三級微粒的實體部分大 7 倍的空隙存在（$2^3 - 1 = 7$，即由三等級的微粒所組成的物體中有八分之七的體積是空隙，引者）；若物體是由四級微粒所組成，那麼此物體中將有比四級微粒的實體大 15 倍的空隙存在（即 $2^4 - 1 = 15$）；若物體是由六級微粒所組成，那麼此物體中將有比此六級微粒的實體大 63 倍的空隙存在（即 $2^6 - 1 = 63$），依此類推」（Newton, 1730, p.243）（註：由一級微粒所組成的物體，微粒間相互接觸，沒有間隙（Turnbull, 1961, p.211））。由此知牛頓之物質本體論的認知模式，就微粒觀而言，除了較成熟的 D14 之外至少還曾有 D5，D6，D7 和 D8 等多種類型。

4. Boscovich 震盪原子論的認知模式概要

Boscovich, R. J.（1711-1787）的原子論以**原子無大小、無形狀、無廣延（有如數學上的“點”）但卻有質量（有如牛頓的“質點”），以及微粒（或原子）間的引力和斥力隨距離多次交變（震盪的變化）爲其特徵**。在物質的基本組成方面，他說：「物質的基元（原子）是完全不可分的和無廣延的“點”，它們散佈在廣闊無垠的虛空中，彼此間的間隔可以無限的增加或減小（甚至爲零），但是這些點本身如果沒有共同的可入性，它們就不可能一起消失。……我認爲如果二質點之間根本沒有距離，那麼按照通常的想法，同一個不可分的空間點必定被二點所共同佔有，並且就各方面而言，我們有了眞正的共同可入性（一個空間點可以被無窮多個“數學點”所佔有，因爲幾何中的“點”沒有大小，不佔空間，而 Boscovich 就認爲原子是個幾何點，引者）。所以我的確不承認在原子內部存在著虛空的想法，但卻認爲物質（或微粒、或原子）確實是分佈在一個虛空中，並且是漂浮在其中」（Boscovich, 1966, p.10, p.20.）。在原子的屬性和特徵方面，他說：「根據我的理論，點原子處於等速運動或相對靜止的狀態之中，因此以任意點原子數或任何狀態分佈的方式所構成之物質的重心，也應具有慣性的性質。……..物體的慣性是由它們的點及點間相互作用的力所產生的」（Boscovich, 1966, p.140）。又「我們有足夠強有力的論證，導致我們相信，在自然中絕對的靜止是不可能的。」（Boscovich, 1966, p.10, p.44）。在微粒間的交互作用方面，他說：「（微粒間交互作用）力所遵循的規律就是這樣：當（微粒間的）距離逐漸減小時，力由吸引性（引力）變成零（引力和斥力平衡），再變成排斥性（斥力），並且以它們能夠破壞任何速度（不管速度有多大）的方式，變得無限制的越來越大（即斥力隨距離的減小而無限制的增加，並使物體的速度也跟著迅速降低至無限小，引者）。當微粒間的距離逐漸增加時，斥力很快的由正變成零，再變成引力。這些引力起初隨微粒間距離的增加而增加，然後隨著距離的持續增加而減弱、消失，並且再次變成（較前爲弱的）斥力。斥力以同一方式首先增加，然後減小、消失，並再次變成（較前爲弱的）引力。以此類推，直至當我們考慮較大的距離時，這些點開始變成是連續的吸引（不再有排斥力），並且約與距離的平方成反比（有如萬有引力的平方反比關係）。當距離無限制的增加，或者一直增加至比行星和彗星的所有距離都大得多時，上述（力隨距離變化的）規律仍然有效」（Boscovich, 1966, p.10, p.23）。由此知 Boscovich 對於物質微粒理論的認知模式是「理論的微觀斷續靜態（運動來自外力）有交互作用觀（近吸遠斥並隨距離成週期衰減）」（D14），因爲他和牛頓一樣具有物質組成的多層次思想，所以也至少具有 D5，D6，D7 和 D8 的認知模式。

5. 十七、十八世紀的物質微素論

在盛行以物質的微粒理論（原子論、機械

論）來刻畫自然現象的時代，火、熱、電、光、磁等現象都曾被看做是物質，都是由不可見的運動微素（分別稱爲燃素、熱素、電素、光素、磁素等）所組成的，它們可以從一個物體流向另一個物體，且其數量保持不變（守衡）。**微素說**與原子論和微粒說有相似之處，都是用一種**極小的、肉眼看不到的物質微粒**來解釋物質的組成和變化。不同的是，原子論、微粒說認爲自然界的本原是一種共同的原子或微粒，它們本身沒有特殊的性質，卻可以組成具有各種特殊屬性的物質，而微素則具有特殊的性質，只與某種物質的特殊結構和特殊運動形式有關，是某種特殊的微粒。例如每一種微素只能用來解釋某一領域的自然現象，而不能用來解釋各種自然現象，燃素、熱素、電素、光素、磁素等都屬於這種微素。由此可見**“微素說”的直接理論來源是古希臘的“元素說”（物質連續觀），不是“原子說”（物質斷續觀）**。近代物質之科學元素論的建構者 Lavoisier, A.-L.（1743-1794）在 1789 年出版的 <<化學綱要>> 一書的緒論中指出：「化學的任務是將自然界的物質分解成基本的元素，並對元素的性質進行檢驗」。他解釋說「元素是不能用已知的任何方法（化學分析法）再加以分解之物質的最基本組成要素」，此與 Aristotle 在 <<形而上學>> 一書中對元素所下的定義一致。Aristotle 稱：「元素的意思是指一種內在於事物，而事物最初由此構成，且不能被分解爲其他類（如果可分的話，只能分爲同類的部分，例如水的部分還是水）」（苗力田等譯, 2000, p.125）。有趣的是 Lavoisier 雖然以“實驗 + 計算（理論）”的方法正確的指出 Bolye 的“火微粒（微素）”、Becher, J. J.（1635-1681）的“油土（元素）”、Stahl, G. E.（1660-1734）的“燃素”、Cavendish, H.（1731-1810）的“可燃氣體”和 Priestley, J.（1733-1804）的“無燃素氣體”等，事實上都是同一種東西（空氣的一種成分，“氧”），因而推翻了盛行近兩世紀的燃素說，但他卻承認熱素、光素的存在。當他解釋爲什麼燃燒的物體會發熱、發光時，他說：「空氣是氧與熱素、光素的混合物，物質在燃燒時吸收了氧，而熱素和光素就以獨立的形式出現（因此燃燒時會發光、發熱）」。他在 <<化學綱要>> 一書中列出了一張元素表，其中就有熱素與光素，而且熱素之名也是他的首創。他說：「熱素或光素是非常微細的、非常有彈性的沒有重量的流體，它由四面八方包圍我們的星球，或難或易的滲透到一切物體和它的組成部分裡（有如以太，引者）」（曹毅風譯, 1952, p.89）。這說明了在經驗論的基礎上所建立起來的元素論（或微素說），不會輕易退出科學的舞台。此事實說明了 Lavoisier 雖然在力學的領域接受了微粒論的理性觀點，但在熱、電、光、磁等領域則接受了微素論的經驗觀點（與 Boyle 同），其較成熟的認知模式是「微觀連續動態有交互作用觀」（C12）。

6. Dalton 科學原子論的認知模式概要

Dalton, J.（1766-1844）的原子論思想是建築在科學的觀察、實驗、論證和推理之上，不是以自然哲學之思辨性的原子論框架硬套在科學事實的解釋上，因此被稱爲是科學的原子論，是現代化學理論的基礎。與牛頓的原子（微粒）論相較，Dalton 之科學原子論的主要內容如下：(1)在物質的基本組成方面：他認爲物質是由原子所組成，原子之間有眞空存在（與牛頓同）。(2)在原子的性質和屬性方面：原子不但有大小、形狀、質量，更重要的是還有「固定的相對重量（原子量）」。原子的相對重量可以用分析的方法來決定，不同的原子其重量（原子量）也不同（這是 Dalton 的重要發現）。另外，原子還具有廣延性、不可入、慣性、牢固性和可動性。(3)在原子的特徵方面：他認爲原子不可分、不可變（不能由一種原子轉化爲另一種原子）。(4)元素是物質在宏觀層次的基本

組成要素（Lavoisier），原子是物質在微觀層次的組成要素（原子論者）。每種元素都是由其對應的原子所組成的（例如銅元素是由銅原子所組成），且組成同種元素（或物質）的原子，其大小、形狀、重量必相同；反之，組成不同元素（或物質）的原子其大小、形狀，重量等必不同。(5)在微粒間的交互作用方面：他採用牛頓的看法，把原子間的各種交互作用力大別爲斥力和引力兩類，當微粒間的距離足夠小（或相互接觸）時，微粒間的交互作用具有排斥性，當微粒間的距離足夠大時，微粒間的交互作用就具有吸引性。他運用牛頓所稱「氣體微粒間斥力的大小與兩者間距離成反比」的結論，推論出只有同種類的氣體微粒之間才有斥力，異種氣體之微粒間則沒有斥力(Thackray, 1972)。他以此推論來解釋混合氣體（例如空氣）的**擴散**、**分壓定律**、**溶解度**、以及物質的**三態變化**。因爲他誤認「氣體微粒在均勻分佈後就停止運動」所以他的較成熟思維模式可歸類爲「微觀斷續靜態有交互作用觀」(E14)。

7. 分子運動論的認知模式

分子運動論是從假設**分子具有本質的內在運動和分子間存在交互作用力**的基礎上建立起來的理論。其主要的代表人物是 Clausius, R.（1822-1888），Maxwell, J. C.（1831-1879）及 Boltzmann, L. D.（1844-1906）等人，他們都是在 Boscovich 之原子論（不是牛頓（D14）或 Dalton 之原子論（E14））的基礎上進行更高層次之理論運算所得到的理論。例如 Clausius 從 Boscovich 的原子概念出發，認爲分子不但具有平移運動，而且具有轉動和振動運動，因而得到分子運動論的基本方程，以及分子的平均自由路徑長（Clausius, 1856, p.8）；Maxwell 根據 Boscovich 的原子論推導出氣體分子的速度分佈函數（Maxwell, 1860, p.19-32）；Boltzmann 則以 Boscovich 的原子論和統計方法來研究分子動力學，得到以他爲名的分佈函數（Boltzmann distribution）以及 H-定理、熵的機率詮釋、系綜（ensemble）和無序（random）等統計物理的重要概念（Boltzmann, 1964, p.110-111）。這些結論不但是一種嚴謹的理論運算，而且也得到大量實驗結果的支持，因此分子運動論的認知模式屬於「理論和實證的微觀斷續動態有交互作用觀」(E16)。

四、小結

以上物質微粒理論之認知模式的主要特徵及歷史發展概要簡編如表 1 所示。其中自然哲學家和科學家之本體論思維模式一欄中的代號 A，B，C，D，E 分別表 A＝ 感覺經驗層次、B＝ 樸素思辨層次、C＝ 科學實證層次、D＝ 科學理論層次、E ＝ 科學實證歸納和理論演繹的綜合層次。根據科學思想史，參與建構物質本體論之主要自然哲學家與科學家其思維模式的認知和歷史發展順序大略是「先感覺經驗，然後是樸素的理性思辨，其次是系統化的觀測實驗，再次是邏輯化、數學化的形式理論，然後是自覺的交叉運用實驗和理論」，即 A＜B＜C＜D＜E。在表 1 中我們以圖 2 之 16 種機械典範的範疇結構模式再加上 ABCDE 五種認知和歷史發展的主流順序來輔助辨識科學家的複雜思維樣式。不過本文的主旨是在辨識、歸類、排序中小學生（不是科學家）學習物質微粒理論時所既有的或新生的認知樣式，因此只用圖 2 的 16 種模式（不是表 1 的 80 種模式）作爲分類的基礎。至於爲何**假設**中小學生對於物質微粒理論的認知樣式比科學家單純？其根據是機械典範是近三百年來工業化社會的主流思維模式，爲了適應這樣的時代，學習者的認知和思維樣式必然會受到影響，在沒有發展出獨立的思考能力之前，學習者之機械論的思維方式應該會隨年齡的增長而增強（學校教育的影響可能是最大的來源），認知和思維方式也會趨向相對的單純化和固定化。當然這個假設需要更

多的實徵研究來檢驗。

綜合本文上述的結論得知，圖 2 所示之 16 種機械典範（同時也是「物質微粒理論」）之範疇結構模式的順序（認知層次）是結合物質微粒理論之內容（邏輯）分析、歷史發展分析以及認知發展分析所得到的結果，它是編碼、分類、排序本診斷工具之質性資料的客觀理論基礎，也是建構本診斷工具之信效度時不可或缺的輔助工具。

叁、實驗設計及過程

一、樣本

本研究的樣本以高雄市中小學生爲對象，從國小四年級到高中三年級共九個年級，三個年段（國小、國中、高中）。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，例如國小部分是取自十全國小及後紅國小、國中則包括龍華國中及瑞祥國（高）中、高中部分來自雄商綜合高中及三民高中，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（28％-72％，高中聯考的成績也在這個範圍（420-500 分））。每個年級的取樣以 250 人爲原則，半開放式筆試測驗的總施測人數達 2467 人。另外測後晤談的人數，每年級以 10-16 人爲原則，依照其理科（自然、數學、理化或物理）成績的高、中、低，按 4：8：4 的比例隨機選取，總晤談人數達 128 人（不包括預試晤談人數）

二、研究工具的發展

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」。各個工具的發展過程大致相同，三種研究工具的發展分爲三個階段，其概要內容如下：

第一階段：首先定義「物質微粒模式」之相關概念的命題陳述，然後根據「物質微粒模式（或理論）」的內容分析建立各概念間的邏輯聯繫關係的架構圖。檢驗這兩者之間是否相互對應，並且把結果送請專家學者和資深科學教師審查，根據審查的意見進行修正，結果分別如表 2 及圖 3 所示。在表 2 中，我們對所研究的各個概念都作了兩個層次的描述，宏觀層次的描述在先，微觀層次的描述在後。實際的經驗顯示，這種兩層次的定義法有助於使參與研究的工作伙伴在共同校正問卷之質性資料的編碼、歸類和排序時較易於獲得一致的分析結果。

第二階段：以表 2、圖 3、前人的研究以及上述「物質微粒理論之認識論」等的分析結果做爲理論基礎和架構，發展一份「預試晤談半結構性問卷」的題組，經效化（包括建立題庫、學生閱讀、老師閱讀、專家審查等七個步驟，Aikenhead, 1989; Rubba & Andersson, 1978; Treagust, 1988）、修改後對 8 位高一學生進行晤談並錄音，每位受測者約晤談 50 分鐘。晤談的結果經轉錄、分析後（王俊乃, 2001），與表 2、圖 2，以及物質微粒理論之認識論分析的結果等綜合起來，以此作爲基礎和架構再發展一份「半開放式的筆試測驗」。測驗中每一題的答案大都分爲兩層，第一層是四選一（同意／不同意／不一定／不確定）的單選題，第二層是開放式的理由陳述部分。經效化（同上）、修改後的內容國小部分如**附錄一所示**。

第三階段：把這份筆試測驗以及對不同年段所做的修正問卷對每個年級約 250 位樣本進行紙筆測驗，然後對施測結果的資料進行建檔、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（有關細節參下「資料處理」），整理成初步的雙層試題，效化後的結果參考莊緯彬、林慧潔、黃煒斑、顏世發、呂文平、林志峰、許新振、

表2：物質微粒模式之相關概念的命題陳述（宏觀層次的陳述在前，微觀陳述在後）

P1 物質的微粒模式	所有的物質都是由一些基本要素（元素）所組成，這些元素間呈現出整體的淨吸引力，使彼此間結合成物質。微觀而言，所有物質都是由一些運動的微粒所構成，這些微粒在一定的距離之外時它們會相互吸引，當被壓縮至某一距離時它們則又彼此排斥，物質的穩定狀態就是其組成微粒間之吸引力和排斥力平衡的結果。
P2 物體與物質的組成	物質的最基本組成要素是元素。微觀而言，物質的最基本構成微粒是原子或分子。「物體」的概念著重宏觀的外在功能，「物質」的概念則著重內部組成（元素）和構成（原子或分子）。
P3 物質的狀態	物質有三態，固態、液態或氣態。當溫度持續升高時，固態會變成液態，再變成氣態；反之，當溫度持續降低時，氣態會變爲液態，再變回固態。在各種狀態的轉換中（物理變化），物質的性質沒有發生改變，且過程可逆。微觀而言，組成物質的運動微粒之間可以依其彼此間結合能的高低，或相對距離的大小成爲固態、液態或氣態，但不管是處於那一種狀態微粒都仍然相同。
P4 固體	固體是佔有一定的空間、具有一定的形狀、且不可被壓縮的物質。微觀而言，組成固體的微粒彼此間相互吸引，形成緊密的規則排列，並且以其原屬位置爲中心不斷的反覆振動。
P5 液體	液體是佔有一定的空間，不可被壓縮，但形狀隨容器之不同而不同的物質。微觀而言，組成液體的微粒並不固定在原位置，而是經常在各種方向上相互滑動，不過彼此間的距離仍然很小，排列相當緊密。
P6 氣體	氣體是可充滿整個空間，沒有固定形狀、且可很容易被壓縮的物質。微觀而言，組成氣體的微粒在各個方向上自由運動，且彼此間相距甚遠，它們以直線的方式運動，直到它與其他微粒或障礙物相碰撞才會改變原來的運動方向。
P7 能量的轉換	物質獲得或失去能量時，它的溫度、體積、狀態、甚至是物質本身都有可能發生改變（例如物理變化或化學變化）。
P8 蒸發	當液體獲得能量時，它會蒸發變成氣體。微觀而言，液體的組成微粒因爲獲得了能量，運動更加劇烈，彼此間的平均距離增加，終至變成氣體。
P9 凝結	當氣體失去能量時，它會凝結成爲液體。微觀而言，當氣體的組成微粒失去能量時，它們的運動會減緩，彼此間的空間距離會減少，逐漸變成可隨意活動但緊密排列的液體。
P10 凝固	當液體失去能量時，它的溫度會逐漸降低，直到所謂凝固點時它就會變成固體。微觀而言，當溫度降低至凝固點時組成液體的微粒都會被限定在一定位置做極小範圍的振動，而成爲固體。
P11 融化	當固體的溫度升高到所謂的融點時，固體會融化變成液體。微觀而言，當溫度升高時，固體組成微粒的運動會劇烈到使它們脫離原來的固定位置，成爲相對位置不固定的液體。
P12 溶解	物質在液體中逐漸消融的現象稱爲溶解。微觀而言，當物質在液體中溶解時，它的組成微粒與液體的組成微粒完全的混合，且兩者皆可自由移動並且相互作用，使得溶液整體有如液體一般。
P13 擴散	當物質與周遭環境接觸時，它會自發的與周遭環境混合成爲一個整體，這種現象稱爲擴散。擴散在固體、液體、或氣體內部都可以發生。微觀而言，當物質與周遭環境接觸時，組成物質的微粒會從濃度較大的地方向周遭（此類微粒的濃度相對較低的地方）擴散，周遭物質之組成微粒也會擴散到此物質中來，使得兩者的組成微粒混和在一起，且各自保持不間斷的運動和相互作用的狀態。
P14 質量	質量是物質組成要素數量多寡的一種量度。物質有質量是因爲組成物質的要素本身有質量。微觀而言，因爲組成物質的微粒有質量，所以物質整體就會有質量。
P15 密度	物質的單位體積中含有多少質量是物質密度的量度方法。微觀而言，組成物質的微粒排列的越緊密，微粒的質量越大，密度就越大。

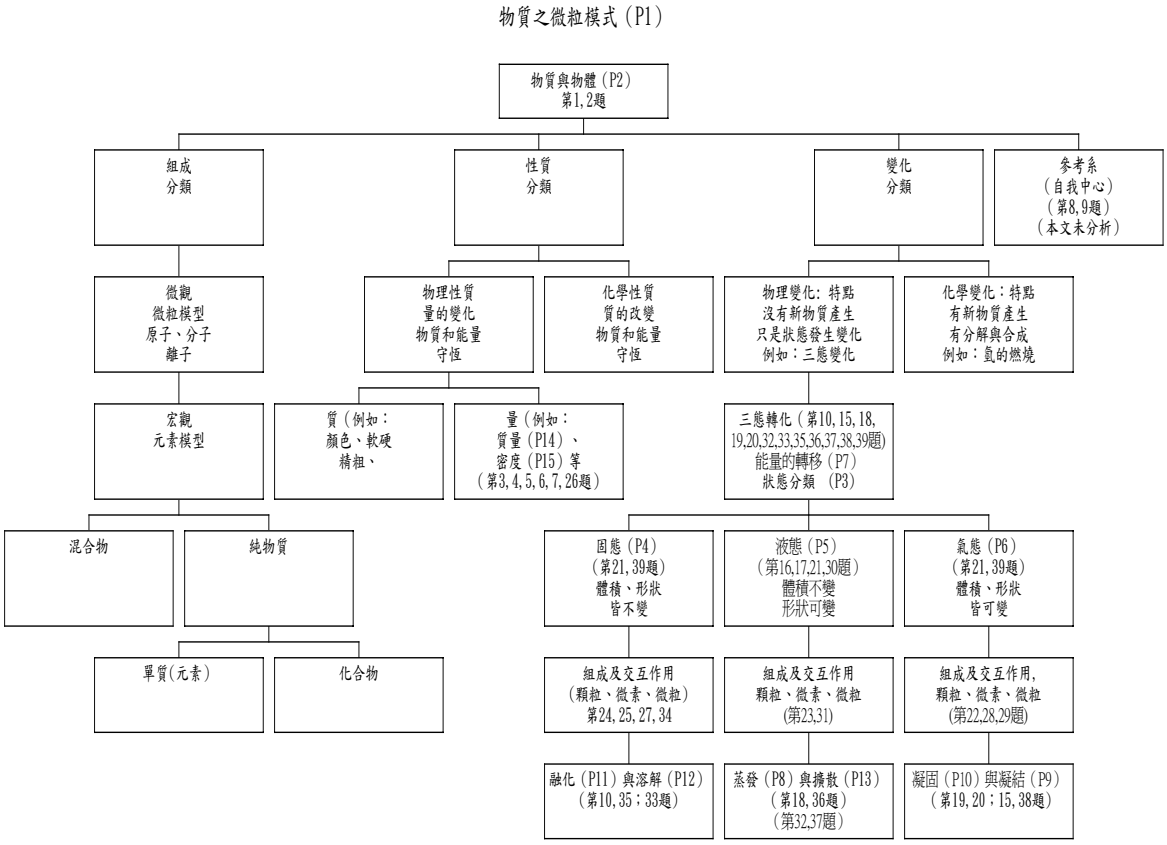


圖 3：「物質微粒理論之相關概念」的邏輯關係圖

林宜聰、陳嘉慧（2002）。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」（發展過程參下），效化、修正後如**附錄一和附錄二**所示。此半結構性問卷的設計仍是分爲兩層，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質疑的回覆內容（參下）。這種設計可以檢驗受測者之筆試與晤談資料是否一致，學者認爲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對選定的對象（參上研究樣本）實施測後晤談、錄音。然後經由轉錄、編碼、校正、識別、歸類、排序、再校正等過程來分析這些晤談的資料（每個年級 12-16 位）、並把筆試資料中所沒有發現的新內容（新的認知樣式、模式與層次）併入原有雙層試題的選項中，結果參王俊乃（2001）、莊緯彬、林慧潔、黃煒斑、顏世發、呂文平、林志峰、許新振、林宜聰、陳嘉慧、葉威成（2002）。

測後半結構性晤談問卷的設計與實施

測後半結構性晤談問卷包含四個題組，分別以「物質的密度」、「物質之組成及組成間的交互作用」、「物質的狀態」、以及「物質狀態間的轉化」等四個向度爲內容（另一種分組的方法是密度、固體、液體、氣體），涵蓋研究主題的所有概念。每個題組都是起始於學生所熟悉的情境，繼之以問題，由傾聽學生的回答，

來瞭解學生的見解。針對有疑義的地方，深入探索，常追問「是什麼（what）」、「爲什麼(why)」、「如何發生或過程如何（how）」等知識要素的內容，期使學生的每一個回答都有可能被分析、被建構出意義。效化後的半結構性晤談問卷的內容如附錄一和附錄二所示。其中附錄一是晤談時研究者必問的初步內容，附錄二則是研究者根據受測者的回答深入追問的備用內容。實施程序如下：晤談者（研究者）共有四位，每位負責一個題組（向度），晤談對象（受測學生）每次只有一個。晤談者都經過多次的觀摩與事後討論，有一定程度的穩定表現。當其中一位研究者進行晤談時，其他兩位研究者在旁觀察、紀錄、操作錄音機或錄影機協助晤談的順利進行，另一位研究者則準備他所負責的、後續的另一個題組（向度）。晤談的整個過程皆加以錄音，部分有錄影。每個題組的晤談時間約爲 15-20 分鐘，整份量表四個題組約需一個多小時來完成。晤談的時段大都選在午休期間，有些是在週末完成。

當準備就緒，開始晤談之前，先發給學生一枝筆和四張（每一題組一張）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（附錄一和二）。在晤談進行中，研究者被要求盡量熟悉問卷的內容，注意氣氛，傾聽受測者的想法。而且盡量不要漏問附錄一的任何一個題目，避免分析時在重要的地方造成空白。

肆、資料的處理與討論

本次實徵研究之資料的來源主要是所發展之「筆試測驗」及「測後半結構性晤談問卷」所得。這兩種來源都同時包含「質性」（筆試的理由陳述和晤談轉錄）與「量性」（四選一的單選題及多選多的多選題）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、校正定案後，再與 SPSS 檔的量性資料併在一起，以利於後續的統計分析與比較。

一、「物質微粒理論」之認識論分析的 16 種基本認知模式

「如何把質性的資料量化？」、「如何從質性的資料中識別受測者的認知樣式？」、「如何把受測者之認知樣式歸類爲認知模式？」、以及「如何對受測者之各種認知模式之認知層次的高低進行排序？」等問題，對實徵研究者而言一直都是很大的挑戰（註：在此所謂的「（認知）樣式」是指受測者大腦中「（認知）系統之諸要素間基於既有之感覺經驗或模糊意象的某種聯繫所組織而成的整體」；而模式則是「系統諸要素間基於某種理論的聯繫所組織而成的整體」。簡言之，樣式是一種「自發的（沒有科學理論根據的）有序整體」，而模式則是一種「自覺的（有科學理論根據的）有序整體」）。本文首次嘗試經由對研究主題（物質微粒理論）之邏輯結構的特徵範疇進行綜合概括，得出由這些「特徵範疇對」之排列組合所形成的各種理論模式，結合研究主題之認知及歷史發展分析的結果來排列這些理論模式的順序，得如圖 2 所示的結果。以下我們就以圖 2 所示的 16 種模式與層次作爲「原型」（prototypes）來量化（編碼）和辨識（識別）受測者在「質性資料中」所呈現出來的、學習此主題時所原有的或新生的各種「認知樣式（patterns）」，且進一步運用這些「原型」來分類和排序這些認知樣式。

二、質性資料的編碼與分析

上述物質微粒理論（也是機械典範）的任一對邏輯範疇都可以作爲逐句分析（編碼、分類）受測者之質性資料的關鍵詞（即可作爲識

別和分類受測者之認知樣式的指標），而 16 種（4 對範疇對所組成之指標體系的排列組合）物質微粒理論之認知模式與層次則可被用來識別、歸類和排序受測者較完整之概念圖式（schema，在此指概念之間所組成的穩定關係網絡）的認知樣式、模式與層次。因此受測者的質性資料就可以用相對而言較爲客觀、較爲整體的方式予以量化（編碼）、分類和排序，利於進行後續的統計分析。

本研究中質性資料的來源主要有二，一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）就給予隨意的不同代號）。之後，利用上述分類「物質微粒理論之認知模式與層次」的特徵指標（宏、微）；（連、斷）；（靜、動）；（無、有））作爲關鍵詞進行第二次的「**分類（聚合）編碼**」，再利用上述的 16 模式（範疇之指標體系的排列組合）來進行第三次、分層次的「**識別編碼**」。晤談資料在轉錄後也是經由這樣的步驟和方式來處理，只是還多了一道手續，那就是把轉錄的資料與其他研究者在現場觀察和紀錄所得的田野資料（field note）進行比對，又把晤談對象的筆試和其測後的晤談結果進行比對，做爲信度的檢驗。

另外，在「物質密度」這個向度之「質性資料」的量化上，我們並未以上述 16 種「機械典範的範疇結構模式」做爲原型。原因是密度在微觀層次的定義裡（參表2的P15命題陳述），不需涉及組成微粒的運動狀態及微粒間的交互作用，因此「動靜、有無（交互作用）」這兩對範疇不能有效的用以分類受測者在這個向度上的認知樣式。所以在此向度之質性資料的量化上，我們除了保留「宏觀與微觀」「斷續與連續」這兩對有效的分類範疇外，另外引進「物質微粒理論之認知分析」的另兩對範疇，分別是「感性與理性」、「具體與抽象」。這四對範疇的排列組合以及組合後整體的排列順序，由低至高，如表3 所示，我們以此爲根據來量化「物質密度」這個向度的質性資料。需要說明的是，這種選擇主觀性較強，有較大的任意性。不同的人可以根據不同的理論或信念，選擇研究對象之不同的特徵範疇進行不同的分類，此與上述「機械典範（或物質微粒理論）的範疇結構模式」不同，後者的客觀性較強。例如，如果遵循以「能刻劃所研究對象（系統）之本質特徵的『範疇體系』作爲分類指標體系來分類（或辨識）研究對象（系統）」這樣的主軸來思考（這是本文所特別強調的識別、歸類、排序受測者之認知或思維模式與層次的方法論原則），那麼上述的 16 種認知或思維模式是「機械典範之世界觀」的必然（但非唯一）結論，不過可以有不同的變種。例如以「有無眞空的概念」來取代「斷續與連續」、以微粒間「距離的大小」來取代「有無交互作用或交互作用的強弱」等（Andersson, 1990; Nussbaum, 1998, p.174-175）。

三、量性資料的編碼

本研究之量性資料有兩類，一種是題幹選項四選一的單選題，另一種是多選題。在單選題部分，若回答正確給 3 分、不一定（條件成立）給 2 分、答錯給 1 分、未答給 0 分。在多選題部分，若應選而未選給 0 分；若不應選而選，則施以倒扣計分，每錯一個倒扣 1 分；若應選而確實也選了，則每選對一個給 1 分，計分方式如表 4 所示，此與大專聯考多選題之計分方式相同。

伍、本診斷工具的信度與效度

一、診斷工具的項目分析

本診斷工具國三試題之理由部分的項目分

表3：「物質密度」這個向度的配分（編碼、識別、分類、排序）標準

1. 宏觀感性（能感知物性）。宏觀上由物質的外觀來判斷密度的大小。例如依據物質的形狀、顏色、材質等物體的外觀來判斷物體的浮沈。
2. 宏觀具體（能感知實體）。宏觀上誤認密度等同於體積或容量。例如由物體的大小來判斷物體的浮沈。
3. 宏觀抽象（能感知宏觀層次之物體共性（具體概念））。宏觀上誤認密度等同於重量或質量。例如由物體的輕重來判斷物體的浮沈；或雖然知道體積會隨溫度之不同而不同，但卻由質量守衡推論密度也守衡。
4. 宏觀理性（能進行宏觀層次的運演或推理、判斷）。宏觀上經由錯誤的歸納推理而誤解了密度守衡的意義。例如誤認體積越大的東西，重量越大（對同一物質才會必然如此）。
5. 微觀感性（能感知微觀層次的次級（第二類）物性）。例如液體是軟的，它的組成顆粒也是軟的。
6. 微觀具體（能感知微觀層次的實體）。微觀上誤認微素或微粒排列的越緊密，密度就越大（靜態微素或微粒觀）例如固體的密度必定大於液體，因此難以理解冰的密度小於水，以及冰（微素排列較緊密）融化後，體積小於水（微素排列較鬆散）等事實。
7. 微觀抽象（能感知微觀層次的實體共性（抽象概念））。微觀上誤解密度是物質的特性（與質量同），不會隨環境（溫度、壓力、以及其他外力）的不同而改變（動態的微素或微粒觀）。
8. 微觀理性（能進行微觀層次的運演或推理、判斷）。例如微觀上瞭解到物體受熱會膨脹（微觀具體），但因質量守衡，所以誤認密度也會守衡（不隨溫度而變）。
9. 宏觀上正確的判斷密度與質量成正比，但未明確與體積的關係。
10. 宏觀上正確的判斷密度與體積成反比，但未明確與質量的關係。
11. 微觀上正確的判斷密度與質量成正比，但未明確與體積的關係。
12. 微觀上正確的判斷密度與體積成反比，但未明確與質量的關係。
13. 宏觀上正確的判斷密度與質量成正比與體積成反比，但未明確。
14. 微觀上正確的判斷密度與質量成正比與體積成反比，但未明確。
15. 宏觀層次正確的判斷密度是物質在單位體積中含有多少質量。
16. 微觀層次上正確的判斷密度是「組成物質的微粒排列的越緊密，微粒的重量越大，密度就越大」。

表4：命題題幹選擇題選項之編碼與計分方式

題型	編碼	原始分數	百分制
單選題	依照選項順序給予0、1、2、3之編碼	正確者：3分 不一定（條件成立）：2分 錯誤者：1分 空白者：0分	（原始分數 ÷ 3）× 100
多選多的多選題	選答者給予該選項 1 之編碼，未選答者給予該題項0之編碼	Σ（正確選項編碼）－Σ（非正確選項編碼）	（原始分數 ÷ 該題完全正確之原始分數）× 100

析（item analysis）如表5所示。表中最上列爲各題之檢驗的內容及標準（這些標準是檢驗量表品質之中等程度的標準），反黑的部分表示不合標準者，最後一欄的綜合判斷爲各題不合格數的總和。若以鑑別度來看，全數過關。從小四到高三題目的長短難易雖有不同，但情況大致類此，特別選擇以國三爲例，主要是國三爲國民義務教育的最後一年，其對物質微粒模式（或機械典範）之認知（或思維）樣式、模式、層次及頻率分佈等的實際情形，是瞭解國

表5：國三綜合式筆試測驗之項目分析－理由層次

概念向度	題號	遺漏值	平均值(X^{**})	標準偏差(σ)	偏態 -1~1	峰度 -3~3	鑑別度CR值 <0.05	各題與總分相關係數 >0.3	因素負荷 >0.3	綜合判斷
理由層次平均			4.793	1.962	.151	.022		X^{**} ±1.5σ＝1.849～7.736		
密度	2	0	7.739	5.847	-.199	-1.603	.000	.415	.448	0
	3	0	9.929	5.610	-.837	-.896	.000	.398	.413	1
	4	0	6.394	6.202	.566	-1.400	.000	.490	.534	0
	5	0	7.204	4.283	-.263	-.800	.000	.525	.563	0
	7-1	0	10.049	6.974	-.415	-1.727	.000	.506	.531	1
	7-2	0	10.712	6.890	-.680	-1.429	.000	.555	.562	1
固體	10-1	0	4.619	2.712	-.246	.361	.000	.420	.469	0
	10-2	0	4.416	4.294	1.333	1.205	.003	.273	.322	1
	20	0	2.279	3.598	2.553	5.888	.028	.234	.274	2
	21	0	2.500	3.585	2.376	5.823	.000	.321	.351	0
	22-1	0	3.102	1.536	-1.353	.029	.000	.383	.441	1
	22-2	0	1.681	1.559	.159	-1.653	.000	.469	.532	1
	28-2	0	3.035	2.199	1.418	9.415	.000	.407	.470	0
	29	0	6.407	6.278	.092	-1.964	.000	.484	.547	0
	30	0	2.106	2.118	3.005	16.608	.000	.375	.466	0
液體	12	0	4.310	2.235	-.801	-.258	.000	.461	.496	1
	13	0	2.288	3.080	1.284	-.241	.000	.498	.560	0
	15	0	3.261	3.493	1.250	1.016	.000	.447	.516	0
	16	0	4.602	4.083	.236	-1.344	.000	.461	.522	1
	19	0	8.686	6.139	-.219	-1.468	.000	.419	.500	1
	25	0	2.102	2.917	2.219	4.837	.000	.400	.486	2
	26	0	1.920	3.251	2.293	5.921	.000	.324	.392	2
	27	0	3.022	3.243	2.137	5.946	.000	.512	.606	2
	31	0	3.102	3.715	2.391	5.796	.000	.364	.508	2
	33	0	1.522	1.797	1.650	3.712	.000	.426	.485	2
氣體	11	0	6.412	4.538	-.365	-1.677	.000	.213	.256	2
	14	0	3.327	4.535	1.849	2.484	.000	.470	.564	1
	18	0	6.319	3.613	.965	.248	.000	.386	.413	0
	24	0	3.796	5.070	1.294	.161	.001	.289	.343	2
	31	0	3.102	3.715	2.391	5.796	.000	.364	.508	2
	32	0	2.677	2.418	3.052	13.727	.000	.432	.528	2
	34-1	0	2.332	4.203	2.213	3.191	.000	.291	.328	2
	34-2	0	1.381	2.717	3.811	13.773	.004	.267	.305	3

民科學素養之智能向度的重要參考。

二、診斷工具的因素效度及 α 信度

本診斷工具國三試題之題幹及理由部分的因素分析（factor analysis）及 α 信度如表 6 所示。由表知，題幹部分的總 α = 0.71，理由部分的總 α = 0.88。由小四至高三之總量表及各向度之 α 信度如表 7 所示。由此兩表知，本診斷工具除了高中階段的液體和固體兩向度的 α 係數偏低（0.43～0.46）外，其餘皆在約 0.60～0.84 的可接受範圍。另外，本診斷工具的因素分析顯示九個向度，每個向度混雜著各類題目，經以密度、固體、液體、氣體等四個理論向度來整理之後（表 6），其因素負荷值大都在 0.5 以上（33 題中有 26 題在 0.5 以上，5 題在 0.46 以上）。以理論向度來調和電腦程式之分析結果（而不是只採用電腦程式之分析結果）的原因是理論向度是現代教科書教導初學者認識物質世界時常用的方法，也是人類對物質世界之感覺經驗的歷史傳承。因此「以感覺經驗和理論的歷史成就（例如本診斷工具的理論向度）作爲輔助工具來檢驗電腦程式的分析結果（例如本文之因素分析）」，由相互檢驗當中累積經驗，作爲「感覺經驗及主流理論之背景知識的整體與電腦程式之分析結果之間如何調和及選擇」的反思基礎，作者認爲是一種有意義的作法。本文所稱的因素效度就是在這樣的思考下來建立的。

三、診斷工具的校標關連效度

本診斷工具以受測者前一學期的理科成績（自然、數學或理化成績）或國中基本學測成績作爲效標來測試其與題幹總分和各向度，以及理由總分和各向度之間的 pearson 相關係數，以此來測試本診斷工具之整體及各向度是否具有效標關連效度。瑞祥國中國三（有效樣本 235 人）的測試結果，如表 8 所示，表中之向度的分類法（因素萃取法）（即物質的密度、物質的組成、物質的三態、物質三態間的轉化等）不同於前述（密度、固體、液體、氣體），此爲本診斷工具之「因素分析」的另一種理論分類（陳嘉慧, 2002）。由表 8 知所有向度和總分與國中基本學力測驗和數學成績都達極顯著相關的水準。至於小四至高三的其他年級也大都如此（莊緯彬, 2002; 林慧潔, 2002; 黃煒珽, 2002; 顏世發, 2002）。

四、診斷工具的建構效度

除了上述的內容效度、因素效度、以及效標關連效度之外，本診斷工具也嘗試建立它的建構效度。由本文的文獻探討中得知「物質微粒理論」與原子假說和機械典範（或機械化約論）緊密相關。本診斷工具不但包含了機械典範的兩大核心概念、四對特徵範疇及本體論的基本命題[2]，也包含機械典範在感覺經驗層次之物質世界的一些直接應用（參附錄一及附錄二）。既然「機械化約論是所有自然科學的本質特徵，獲得這種思維方式是科學教育的後設目標」（Nussbaum, 1998, p.177），且它又是一種成熟的、形式邏輯的公理化體系，因此自然科學各科的教科書都自覺或不自覺的以這種思維方式和邏輯化體系來選擇教材內容和編寫課程單元。根據這樣的假設，本診斷工具之受測者的總分應與受測者對機械典範之思維方式的瞭解程度緊密相關，因此應與受測者在邏輯化程度較高之學科（例如自然科及數學科）的表現有正向顯著相關，且與受測者在邏輯化程度

[2] 即「任何系統都有組成要素或結構單元」。對物質系統而言這些組成要素是不斷運動的微粒，且微粒間存在交互作用，此爲機械典範的兩個核心概念。

表6：國三試題題幹選項及理由部分之因素（向度）的萃取及 α 信度

向度	題目	題幹因素負荷值 KMO＝.663	與題幹總分相關之 α	理由因素負荷值 KMO＝.614	與理由總分相關之 α	總量表及各向度的 α 係數 題幹總 α＝0.705（共 18 題） 理由總 α＝0.882（共 33 題）
密度	D2	0.836	0.836	0.541	.743	向度一：密度
	D3	0.785	0.785	0.667	.734	1 題幹 α_{11}＝.451（5）
	D4	0.589	0.589	0.779	.724	2 理由 α_{12}＝.769（5）
	D5	0.427	0.427	0.744	.725	
	D7~1	0.99	0.99	0.825	.733	
	D7~2	0.989	0.989	0.808	.686	
固體	S10~1	0.863	0.863	0.531	.506	向度二：固體
	S10~2			0.781	.572	1 題幹 α_{21}＝.879（3）
	S20	0.928	0.928	0.808	.559	2 理由 α_{22}＝.658（9）
	S21	0.880	0.880	0.654	.532	
	S22~1			0.729	.540	
	S22~2			0.646	.529	
	S28~2			0.513	.521	
	S29※			0.413	.550	
	S30			0.681	.527	
液體	L12※	0.828	.690	0.467	.724	向度三：液體
	L13	0.733	.635	0.649	.721	1 題幹 α_{31}＝.626（5）
	L15			0.794	.728	2 理由 α_{32}＝.775（10）
	L16			0.459	.725	
	L19	0.718	.543	0.645	.734	
	L25	0.837	.526	0.702	.721	
	L26			0.457	.737	
	L27※			0.541	.712	
	L33	0.851	.474	0.735	.741	
	LG31			0.458	.731	
氣體	G11			0.386	.627	向度四：氣體
	G14※	0.634	.544	0.704	.506	1 題幹 α_{41}＝.582（4）
	G18			0.606	.542	2 理由 α_{42}＝.609（8）
	G23_1	0.526	.494			
	G23_2	0.702	.480			
	G24	0.479	.520	0.623	.535	
	LG31			0.458	.546	
	G32※			0.699	.534	
	G34~1			0.704	.546	
	G34~2			-0.57	.570	

表 7：本診斷工具由小四到高三之試題整體及各向度的 α 信度
（莊緯彬, 2002; 林慧潔, 2002; 黃煒斑, 2002; 顏世發, 2002）

試題	國小（總人數 =585 人） 題幹總 α=.603 理由總 α=.813				國中（總人數 =633 人） 題幹總 α=.706 理由總 α=.873				高中（總人數 =646 人） 題幹總 α=.650 理由總 α=.691			
理由向度及 α 係數	密度 .844	固體 .603	液體 .591	氣體 .675	密度 .803	固體 .797	液體 .780	氣體 .773	密度 .604	固體 .455	液體 .428	氣體 .617

表 8：學力測驗及數學成績與題幹和理由總分及各向度總分之相關分析

瑞祥國中國三受測人數 235 人		學測自然科成績	數學成績	題幹部分 密度	組成	狀態	轉化	總分	理由平均 密度	組成	狀態	轉化	總分
	學測成績												
	數學成績	.846**											
題	密度	.340**	.292**										
幹	組成	.290**	.233**	.140*									
部	狀態	.401**	.331**	.194**	.303**								
分	轉化	.451**	.408**	.261**	.250**	.412**							
	總分	.564**	.484**	.563**	.523**	.669**	.850**						
理	密度	.569**	.566**	.375**	.195**	.249**	.405**	.477**					
由	組成	.579**	.542**	.222**	.456**	.402**	.513**	.599**	.400**				
平	狀態	.478**	.477**	.294**	.172**	.420**	.463**	.530**	.419**	.449**			
均	轉化	.504**	.447**	.173**	.211**	.428**	.548**	.553**	.372**	.493**	.611**		
	總分	.688**	.655**	.345**	.321**	.483**	.625**	.695**	.723**	.727**	.802**	.823**	

其中** = $p < 0.01$；* = $p < 0.05$。

較低之學科（例如語文科與社會科）的表現沒有顯著相關。本文分別以本診斷工具的理由總分及題幹總分的高中低分組爲自變數以受測者學力測驗之各科成績爲依變數，運用 SPSS 統計套裝軟體的「單因子變異數分析」來檢驗上述的理論預測，結果如表 9 所示。一如預期，邏輯化程度較高的學科（自然科及數學科）與理由總分及題幹總分都呈現正向的顯著相關；邏輯化程度較差的學科（國文、英文、社會等）則至少有一組與理由或題幹總分未達顯著相關。未能完全如理論預測的最主要原因之一是「一般而言成績好的學生各科都好，成績差的學生各科都差」。

五、診斷工具的再測信度

除了前述的 α 信度外，本文也嘗試經由 128 位（由小四到高三，每年級平均 10-16 位）同時接受筆試測驗及測後晤談之受測者量化資料的相關分析來瞭解本診斷工具的再測信度。分析的結果如表 10 所示。由表知，題幹及理由各向度的再測信度皆達極顯著水準，但題幹各向度的相關係數卻偏低。此乃因爲題幹部分各項度的題目不多（各向度只有 3-6 題，四個向

表9：以受測者學力測驗各科成績來建立本診斷工具的建構效度（龍華國三）

依變數	理由總分分組（I）	理由總分分組（J）	平均差異（I-J）	標準差	顯著性	依變數	題幹總分分組（I）	題幹總分分組（J）	平均差異（I-J）	標準差	顯著性
學測自然科成績	1（低）	2	-5.30	11.92	0.01	學測自然科成績	1（低）	2	-6.36	12.34	0.00
	**M＝25.39	3	-16.89	13.26	0.00		M＝26.23	3	-13.3679	13.79	0.00
	2（中）	1					2（中）	1			
	M＝30.68	3	-11.59	11.93	0.00		M＝32.60	3	-7.00	12.14	0.00
	3（高）	1					3（高）	1			
	M＝42.27	2					M＝39.59	2			
學測數學科成績	1	2	-4.75	13.00	0.04	學測數學科成績	1	2	-5.36	12.80	0.02
	M＝24.50	3	-14.50	14.71	0.00		M＝25.21	3	-12.34	14.32	0.00
	2	1					2	1			
	M=29.25	3	-9.75	13.03	0.00		M＝30.57	3	-6.98	12.60	0.00
	3	1					3	1			
	M＝39.00	2					M＝37.55	2			
學測英文科成績	1（低）	2（中）	-6.81	15.84	0.01	學測英文科成績	1（低）	2（中）	-8.60	16.30	0.00
	M＝24.89	3（高）	-18.64	17.82	0.00		M＝26.06	3（高）	-13.69	18.28	0.00
	2	1					2	1			
	M＝31.70	3	-11.83	15.85	0.00		M＝34.67	3	-5.09	16.10	0.09
	3	1					3	1			
	M＝43.52	2					M＝39.76	2			
學測社會科成績	1	2	-4.58	13.86	0.07	學測社會科成績	1	2	-7.74	13.53	0.00
	M＝26.95	3	-14.77	15.16	0.00		M＝26.53	3	-12.86	15.18	0.00
	2	1					2	1			
	M＝31.54	3	-10.19	13.86	0.00		M＝34.27	3	-5.11	16.14	0.03
	3	1					3	1			
	M＝41.73	2					M＝39.39	2			
學測國文科成績	1	2	-4.12	13.06	0.09	學測國文科成績	1	2	-8.47	13.66	0.00
	M＝25.93	3	-16.57	14.52	0.00		M＝25.66	3	-13.32	15.31	0.00
	2	1					2	1			
	M＝30.05	3	-12.45	13.06	0.00		M＝34.13	3	-4.85	13.55	0.05
	3	1					3	1			
	M＝42.50	2					M＝38.98	2			

**M＝mean＝（學測各科各組）平均

表 10：小四至高三筆試及測後晤談理由陳述之各向度及總分的再測信度

	密總	氣總	液總	固總	總分
理由部分	.705**	.691**	.686**	.850**	0.75**

其中** = $p < 0.01$。

度共 18 題）且爲單選題，缺達率低顯示亂猜的情形較多，所以信度偏低。另外由表 5 知本診斷工具各題皆有鑑別度，因此受測者亂猜的原因可能顯示對受測者而言題目偏難。在理由陳述部分，題數較多（每個向度 6-10 題，四個向度共 33 題），亂猜的情形很少（不會就不寫），故信度較高。本文之所以保留信度偏低的部分，其主要原因是「以筆試 + 測後晤談的設計來得到再測信度是一種有優點的實驗設計」，不應該因爲本診斷工具所得到的再測信度偏低而否定這種設計的這個優點。另外偏低的再測信度也是後續精鍊題目時的重要參考。

陸、結論與討論

本文以物質微粒理論之認識論分析爲基礎來發展一份診斷中小學生學習物質微粒理論時所既有或新生之迷思概念的兩階段式診斷工具及可一般化的分析方法（即以研究主題之認識論分析所得到的範疇結構體系來分類和排序受測者學習與研究主題相關之科學概念時所既有或新生的認知樣式）。運用這種一般化的方析方法所得到的 16 種物質微粒理論（或機械典範）的範疇結構模式來編碼、識別、歸類和排序由此診斷工具的施測和測後晤談所得到之量與質的研究資料，結果得到多種可被接受的信效度。在信度方面，各年段的 α 信度題幹由 0.60～0.71，理由陳述部分由 0.69～0.87；再測信度之理由部分各向度的前後測相關係數由 0.68～0.85，題幹部分各向度之前後測的相關係數雖然統計上達顯著水平，但係數偏低（由 0.33～0.58）（原因如上述）。在效度方面，本診斷工具除了考慮內容效度和邏輯效度外，還與受測者的數理成績或學力測驗的數學和自然科成績有效標關連效度，且係數分別達 0.69（理由總分與學測的自然科成績）和 0.66（理由總分與學測的數學成績）。在建構效度方面，本文首次提出「邏輯化程度較高的學科成績與受測者對機械典範（或物質微粒理論）之瞭解程度有正向相關」的主張，並預測「本診斷工具的理由總分或題幹總分與受測者學力測驗的自然科成績和數學成績有顯著的正向相關，且與邏輯化程度較差的國文、英文或社會科成績相關不顯著」，單因子變異數分析的結果支持這種理論。另外，本文以理論向度來調和電腦程式的分析結果（而不是盲目的只相信電腦的程式分析），以相互檢驗的方式來累積經驗，作爲「感覺經驗及主流理論之背景知識的整體與電腦程式之分析結果之間如何調和及選擇」的反思基礎，在此考量下，本診斷工具以理論向度的因素負荷值來表示它的「因素效度」。

柒、誌謝

本文感謝十一位研究生協助檢驗診斷工具的信效度，也感謝國科會計畫編號 NSC90-2511-S-017-001 的經費補助。

捌、參考文獻

1. 王俊乃（2001）：**高雄市高一學生物質物性之相關概念及概念圖式的認知樣式、模式、層次與頻率分佈的分析研究**。高雄師範大學物理所碩士論文（未出版）。
2. 北京大學哲學系編譯（1982）：**古希臘羅馬哲學**。上海：商務印書館。

3. 苗力田譯，Aristotle 著（2000）：**形而上學**。台北：知書房。
4. 苗力田譯，Aristotle 著（1999）：**亞理斯多德全集，第一集**。台北：慧明文化出版。
5. 徐開來譯，Aristotle 著（2002）：**物理學，第一卷**。台北：慧明文化。
6. 李衍譯，Dampier, W. C. 著（1992）：**科學史**。台北：明文書局。
7. 莊緯彬、林慧潔、黃煒斑、顏世發、呂文平、許新振、林志峰、林宜聰、陳嘉慧、葉威成等（2002）：**高雄市中小學生物質微粒模式之迷思概念的認知樣式、模式、層次、頻率分佈及認知發展的分析研究**。高雄師範大學物理所碩士論文（未出版）。
8. 陳順強譯，Feynman, R.著（1963）：**Feynman Lectures**, **Vol**. **I**.。台北：徐氏出版社。
9. 關文運譯，Descartes, R.著（1960）：**哲學原理**。上海：商務印書館。
10. 曹毅風譯，斯吉伯諾夫著（1952）：**人類認識物質的歷史**。上海：青年出版社。
11. Aikenhead, G. S., Ryan, A. G., & Fleming, R. W. (1989). *Views on science-technology-society (VOSTS)*. Department of Curriculum Studies, College of Education, University of Saskatchewan. Saskatoon: University of Saskatchewan Press.
12. Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education, 18*, 53-85.
13. Ausubel, P. D. (1968). *Educational psychology*: *A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
14. Barnes, J. (Ed.) (1984). *Aristotle, Complete Works*. Princeton: Princeton University Press.
15. Benson D. L., Merlin C. W., & Mario E. B. (1993). Students' preconceptions of the nature of gases. *Education in Chemistry, 30*(6), 587-597.
16. Ben-Zvi, R., Eylon, B., & Silberstein, J. (1987). Students' visualization of chemical reactions. *Education in Chemistry, 24*(3), 117-20.
17. Boltzmann, L. (1964). *Lectures on gas theory*. Transl. by Brush, S. G. California: Univ. of California Press.
18. Boscovich, R. J. (1966). *A theory of Natural Philosophy*. Trans. by Child, J. M. Cambridge: MIT Press.
19. Brook, A., Driver, R., Hind, D., Stavy, R., & Stachel, D. (1984). *Children's ideas about 'solid' and 'li-quid'*. Israeli Science Teaching Centre, School of Education, Tel Aviv University: Tel Aviv Uni-versity Press.
20. Clausius, R. (1856). On a modified form of the second fundamental theorem in the mechanical theory of heat. *Philosophical Magazine, 12,* 86.
21. Dalton, J. (1808). *A new System of Chemical Philosophy, Vol. 1, Part1*. UK: Bickerstaff.
22. 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.
23. Garber, E. (Ed.) (1986). *Maxwell on Molecules and Gases*. Cambridge: MIT Press.
24. Hall, A. R. (Ed.) (1978). *Newton, I., Unpublished Scientific Papers*. Cambridge: Cambridge Univer-sity Press.
25. Kuanolov. (1986). *Story of Chemistry and Chemists*. NY: Scientific Pub.
26. Lindberg, D. C. (1992). *The Beginnings of Western Science*. Chicago: Univ. of Chicago.
27. Lloyd, G. E. R. (1970). *Early Greek Science*: *Tales to Aristotle*. London: Chatto & Windus.
28. Maxwell, J. C. (1860). Illuustration of dynamical theory of gases. *Philosophical Magazine, 19,* 19-32.
29. Mcguire, J. E. (1983). *Certain Philosophical Questions*:

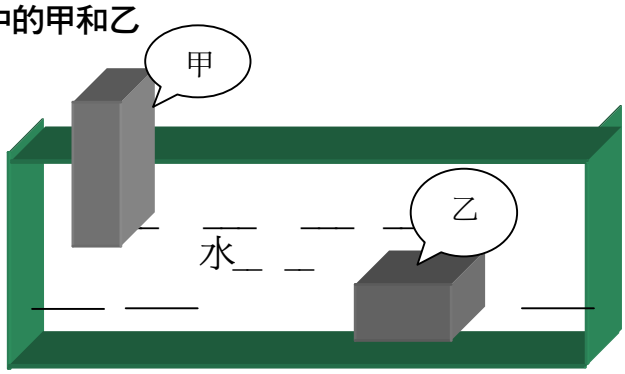
Newton's Trinity Notebook. Cambridge: Cambridge University Press.

30. Mintzes, J. J., Wandersee, J. H., & Novak, J. D. (1998). *Teaching Science for Understanding*: *A Human Constructivist View*. NY: Academic Press.
31. Motte, A. (1947). Newton, I., *Mathematical Principles of Natural Philosophy and His System of the world*. Trans. by Motte, A. Cambridge: Cambridge university press.
32. Nakhleh, M. B. & A. Samarapungavan (1999). Elementary School Children's Beliefs about Matter. *Journal of Research in Science Teaching, 36*(7), 777-805.
33. Newton, I. (1730). *Opticks 4th editions of 1930*. London: George Allen Unwin Ltd.
34. 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.
35. Novick, S., & Nussbaum, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter: a cross-age study. *Science Education 65*(2), 187-196.
36. Nussbaum, J. (1985) .The particulate nature of matter in the gaseous phrase. In Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A. (Eds.), *Children's Ideas in Science* (pp.124-144). Milton Keynes, UK: Open University Press.
37. 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*. NY: Academic Press.
38. Piaget, J. (1972). *The principle of genetic epistemology*. London: Routledge & Kegan.
39. Rubba, P., & Andersson, H. (1978). Development of an instrument to assess secondary school students' understanding of the nature of scientific knowledge. *Science Education, 62*(4), 449-458.
40. Thackray, A. W. (1972). *John Dalton*: *Critical assessment of his life and science*. Cambridge: Cambridge University Press.
41. Treagust, D. F. (1988). Development and use if diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education, 10(2),* 159-169.
42. Turnbull, H. W. (Ed.) (1959). *Newton, I., Correspon-dence, Vol. I*. London: George Allen Unwin Ltd.
43. Turnbull, H. W. (Ed.) (1961). *Newton, I., Correspon-dence, Vol. III*. London: George Allen Unwin Ltd.
44. Westfall, R. S. (1980). *Never at Rest. A Biography of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press.
45. Wolf, A. (1935). *A History of Science, Technology, and Philosophy in the 16th & 17th Centuries*. London: George Allen Unwin Ltd.
46. Young, T. (1971) *A course of Lecture on Natural Philosophy and the Mechanical Arts Vol. II*. London: George Allen Unwin Ltd.

附錄一：中小學生「物質微粒模式」之相關概念之認知樣式的半結構性晤談問卷（受測者用）

學校：_____；班級：__年__班；座號：_____；性別：_____；姓名：_____

情境一：水族箱中的甲和乙



1. 把甲和乙兩個物體丟入水中，甲浮起來，乙沉下去，爲什麼甲會浮，乙會沈？
2. 若將乙形狀做成和甲一樣，乙會浮起來嗎？
   答：(會／不會／不一定／不知道)。爲什麼？
3. 若將乙內部挖掉一部份，乙會浮起來嗎？
   答：(會／不會／不一定／不知道)。爲什麼？
4. 如果乙本身溫度會自己提高，那麼它可不可能浮起來？
   答：(可能／不可能／不一定／不知道)。爲什麼？
5. 若將乙切成 50 小塊，將其中一小塊丟入水中，它會浮起來嗎？
   答：(會／不會／不一定／不知道)。爲什麼？
6. 若將乙捏成扁平狀，乙會浮起來嗎？
   答：(會／不會／不一定／不知道)。爲什麼？
7. 若取更多的甲物質黏在甲上，甲有可能沉下去嗎？
   答：(可能／不可能／不一定／不知道)。爲什麼？
8. 如果乙是金塊，而甲是一瓶毒藥，那麼我們是不是可以說乙是好的物質而甲不是？
   答：(可以／不可以／不一定／不知道)。爲什麼？

情境二：一瓶已打開瓶蓋的香水放在桌上

放一瓶蓋子已經打開的香水在桌上，我們會聞到香味，爲什麼？請把這個過程在下圖中畫出來（由所畫之圖中不斷追問什麼和什麼之間是什麼的問題，由此來瞭解受測者有關氣體和蒸發等概念的認知模式和層次）

1. 您認爲空氣的成份是什麼？
   答：_____（繼續詢問與空氣組成相關的問題）。（它們如何組成空氣）它們

是以怎樣的方式結合而成爲空氣的？答：_____（繼續詢問與空氣組成間的交互作用方式的相關問題）

2. 您認爲空氣有重量嗎？爲什麼？
   答：(有／沒有／不一定／不知道)。因爲----------
3. 您認爲空氣會運動嗎？
   答：(會／不會／不一定／不知道)。
   如果會，那麼它是以怎樣的方式運動的？答：----------
4. 溫度升高時空氣的體積會改變嗎？爲什麼？
   答：(會／不會／不一定／不知道)。因爲----------
5. 把一杯冰水放在桌上，過不久玻璃杯外就會出現一些小水滴，爲什麼？
   答：_____
6. 您認爲氣體有哪些特點？（從答案中繼續發問與形狀是否可變、組成顆粒間距及體積是否可變、粒子的鄰近關係是否可變等與氣體特性有關的問題）

情境三：一有蓋子之玻璃瓶內裝有半滿的水

1. 您認爲水是由什麼東西所組成的？
   答：_____
2. 這些東西的性質與水的性質相同嗎？
   答：(相同／不同／不一定／不知道)。爲什麼（請舉例說明）？
3. 它們是如何結合起來變成水的？
   答：_____
4. 您認爲液體改變形狀時，體積會不會也跟著改變？
   答：(會／不會／不一定／不知道)。爲什麼？
5. 水結成冰後，體積會不會改變？
   答（會／不會／不一定／不知道)。爲什麼？
6. 質量會不會改變？
   答（會／不會／不一定／不知道)。爲什麼？
7. 密度會不會改變？
   答（會／不會／不一定／不知道)。爲什麼？
8. 「把濕衣服拿出去曬太陽會變乾」？爲什麼？（追問與蒸發有關的相關細節）
9. 把一顆「花粉粒」放在水面上，然後用顯微鏡來觀察，結果發現「花粉粒」在水面上做不規則的運動，您能解釋爲什麼會這樣嗎？
10. 放在冰箱冷凍室內的水會結成冰，爲什麼？（追問水結冰之詳細過程的相關問題）
11. 您認爲液體（例如水）有哪些特點？

情境四：一塊食鹽（立方晶塊）+ 一杯水

1. 食鹽是由什麼東西組成的？

答：_____。

它們是如何組成食鹽的？

答：_____

2. 把一塊食鹽細分到不能再細分之後，所得到的小顆粒會不會鹹呢？

答：(會／不會／不一定／不知道)。爲什麼？

3. 食鹽是固體，與液體與氣體相比較，您認爲固體的特點是什麼？

4. 爲什麼固體的形狀不容易改變，而氣體和液體的形狀容易改變？

5. 食鹽溶於水變成食鹽水，請在圖上畫出食鹽溶於水的過程？

6. 您認爲「融化」和「溶解」是相同的概念嗎？

答：(相同／不相同／不一定／不知道)。爲什麼？

7. 爲什麼放在桌上的冰塊會變成水？

附錄二：中小學生「物質微粒模式」之相關概念之認知樣式、模式和層次的半結構性晤談問卷（研究者備用）

學校：_____；班級：__年___班；座號：_____；性別：____；姓名：_____

I、「與密度相關之要素」的向度

情境：水缸中的甲和乙。

1. 研究者問：如圖（同附錄一），您能解釋爲什麼「甲會浮而乙會沈」嗎？

學生回答：----------。（如果學生的回答中不涉及密度，則

再問：如果把甲和乙切割成很多小塊，那麼每個小塊是沈還是浮？學生答：------

研究者問：爲什麼？學生答：----------（必要時追問 what？why？how？）

如果學生的回答中一直都未涉及微觀層次（參表 2 的各相關概念之命題陳述的第二部份）的描述，則

再問：在未切割前爲什麼這些小塊會聚合在一起？答：----------（必要時追問 what？why？how？）。

如果學生的回答一直無法進入微觀和微粒層次，則進入下一題。

類似的過程不斷重複。研究者隨時掌握以下兩個要點：1.隨時注意晤談的氣氛；2.仔細傾聽學生的回答，並根據學生的回答常問「這是什麼（what）」？「爲什麼（why）？」、以及「這是如何發生的（過程如何，How？）等等，研究者可以比較容易「建構出意義」的知識論內容，以深入探索受測者的既有概念。

2. 研究者問：若將乙的形狀做成和甲一樣，乙會浮起來嗎？

答：----------

研究者：爲什麼？答：----------

重複 1 的過程。

3. 研究者問：若將乙內部挖掉一部份，乙會浮起來嗎？

答：----------

研究者：爲什麼？答：----------

重複 1 的過程。

4. 研究者問：如果打開水中的加熱器讓水的溫度一直增加，那麼乙可不可能浮起來？

答：----------

研究者：爲什麼？答：----------

重複 1 的過程。

5. 研究者問：若取更多的甲物質黏在甲上，甲有可能沉下去嗎？

答：----------研究者：爲什麼？答：----------

重複 1 的過程。

II、「物質之基本組成及其間的交互作用」向度

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」

A．物質的基本組成及其性質（屬性、特徵）

1. 研究者問：你認爲食鹽是由什麼東西組成的？

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：您認爲它是由一個個小鹽晶組成的呢？還是有比小鹽晶更小的單位組成的？

答：---------（必要時追問 what？why？how？）。

如果回答是在微觀或粒子層次，則

研究者問：這些組成食鹽的最小微粒（或學生的用詞）是什麼？答：----------

研究者問：它們會像鹽一樣鹹嗎？答：----------（必要時追問 what？why？how？）

研究者問：它們會像鹽一樣是白色的嗎？答：---（必要時追問 what？why？how？）

研究者問：它們會像鹽一樣是硬的嗎？答：----------（必要時追問 what？why？how？）

研究者問：它們會動嗎？答：---------（必要時追問 what？why？how？）

研究者問：它們都一樣嗎？答：----------（必要時追問 what？why？how？）

研究者問：它們還可再被分割嗎？答：----------（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：請告訴我這些組成食鹽的最小微粒（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。

2. 改以「紅檜」、「水」和「氣球內的空氣」等重複上面的所有問題和過程。

B．物質之基本組成的性質（屬性、特徵）及其間之交互作用

3. 研究者問：爲什麼食鹽、和木塊可以保持一定的形狀，而水和空氣則否？

如果學生的回答是在宏觀（或／且）連續的層次，則

再問：爲什麼食鹽、紅檜（木頭）等是硬的，水和空氣是軟的？

答：---------（必要時追問 what？why？how？）

再問：爲什麼這些東西的性質並不相同？答：-----（必要時追問 what？why？how？）

如果回答以進入微觀或粒子層次，則

再問：您需要很大的力氣才能捏碎食鹽把食鹽的小顆粒分開來，但是您卻可以很容易的把水或空氣進行不斷的細分，爲什麼？

答：----------（必要時追問 what？why？how？）。

再問：是什麼樣的力量使組成食鹽的最小微粒（或學生用詞）能聚集在一起？

答：---------（必要時追問 what？why？how？）

再問：是什麼力量使組成「水的最小微粒（或學生用詞）」可以聚集在一起？

答：---------（必要時追問 what？why？how？）

再問：您認爲空氣有重量嗎？爲什麼？答：----------（必要時追問 what？why？how？）

若沒有進入微觀或粒子層次，則

再問：爲什麼空氣可以無孔不入？
答：_____（必要時追問 what？why？how？）
如果學生一直都無法進入「動態微粒」的描述層次，則進入下一題。

III、「物質之狀態間的轉化」向度

情境：一塊食鹽、一杯水、一盤小冰塊、一小杯蜂蜜、一瓶香水

0. 研究者問：放在桌上的冰塊爲什麼會溶化？
答：_____（必要時追問 what？why？how？）。
如果學生的回答是在宏觀或連續的層次，則
再問：冰和水有何不同？
答：_____（必要時追問 what？why？how？）。
如果學生的回答以進入了微觀或粒子的層次，則
再問：您認爲在冰的融化過程中，組成冰的小微粒（或學生用詞）發生了怎樣的變化？
答：_____（必要時追問 what？why？how？）。
如果學生的回答一直都無法進入「動態微粒」的描述層次則進入下一題。

1. 研究者問：把小冰塊放入「這杯水中」，冰塊逐漸不見了，爲什麼？
答：_____（必要時追問 what？why？how？）。
如果回答是在宏觀或連續的層次，則
再問：不見了的冰塊到哪裡去了？
答：_____（必要時追問 what？why？how？）。
如果回答是在微觀或粒子的層次，則
再問：冰塊內的小微粒（或學生的用詞）爲什麼不見了？
答：_____（必要時追問 what？why？how？）。
再問：這個過程（溶解或學生用詞）的詳細情形如何？
答：_____（必要時追問 what？why？how？）。
如果學生無法進入「動態微粒層次」的描述，則進入下一題。

2. 以「蜂蜜」來取代「冰塊」，重複此問題的所有過程，並且加問一個問題，即「在溶解的過程中，哪些東西保持不變（「守衡」）？爲什麼？
答：_____（必要時追問 what？why？how？）。

3. 研究問：如果放很多冰塊到「這杯水中」，則一段時間後，杯子的外壁會有一些「小小的液滴」出現，這些「小液滴」是什麼？
答：_____（必要時追問 what？why？how？）。
它們是怎麼來的？答：_____（必要時追問 what？why？how？）
它們是如何才變成小液滴的？答：___（必要時追問 what？why？how？）。
當學生無法進入「動態微粒層次」的描述時，進入下一題。

4. 研究者問：若把這杯水放在桌上幾天，裡面的水就不見了，爲什麼？
答：_____（必要時追問 what？why？how？）。
研究者問：它們跑到哪裡去了？現在是處於怎樣的狀態？

答：_____（必要時追問 what？why？how？）

研究者問：您認爲這個過程是怎樣發生的？

答：_____（必要時追問 what？why？how？）

當學生無法進入「動態微粒層次」的描述時，進入下一題。

5. 研究者問：把這杯水放入冰箱的冷凍室，水會結成冰，爲什麼？

答：_____（必要時追問 what？why？how？）。

研究者問：水的組成要素（或學生用詞）發生了怎樣的改變？

答：_____（必要時追問 what？why？how？）。

這個過程（結冰的過程）是如何發生的？

答：_____（必要時追問 what？why？how？）。

當學生無法進入「動態微粒層次」的描述時，進入下一題。

6. 研究者問：打開這瓶香水您可以聞到香味，爲什麼？

答：_____（必要時追問 what？why？how？）

研究者問：您是否可描述一下（或在紙上畫出來），您是如何能聞到香味的？

答：_____（必要時追問 what？why？how？）

根據學生所畫的內容，仔細詢問他所畫的線（代表香味的路徑）是連續還是斷續？線與線之間的空間是什麼？（若線是斷續的還可問點與點間是什麼？）這樣的問題可以不斷重複，如果學生仍無法進入「動態微觀層次」的描述，則進入下一題。

IV、「物質三態的特徵」向度

情境：方糖、一杯水、灌滿空氣的氣球。

1. 研究者問：您認爲固體、液體和氣體有怎樣的不同點？

答：_____（必要時追問 what？why？how？）

如果是宏觀、連續層次的回答，則

再問：您可不可以根據您前面所說的物質組成（或學生用詞）及其間之相互作用（或學生用詞）來說明固體、液體和氣體的不同點？

答：_____（必要時追問 what？why？how？）

如果學生在引導之後仍然無法進入「動態微觀層次」的描述，則終止晤談。

Diagnostic Instrument and Coding Method of Taiwanese Grade 4-12 Pupils' Alternative Conceptions in Learning the Particle Theory of Matter

Tsai-Ku 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, have been developed to explore Taiwanese Grades 4-12 students' alternative conceptions in learning the particle theory of matter. This instrument includes 15 concepts (table 2), 33 items (Appendix one), and has been divided into four factors (groups). Each item of the written test consists of a content question having four choices, followed by a space for the pupil to complete the reason why the particular choice was selected. The instrument was administered to 2467 pupils from grades 4-12 in the city of Kaohsiung. After the written test, 128 students of the participants, across the ability range in math and physics with the ratio 1:2:1, were interviewed individually and in depth two months later. Four pairs and 16 sets of combinations($2^4 = 16$) of characteristic categories of particle theory of matter (Table 1) have been used to code, classify and sequence the quantitative data collected from the written test and post test interviews. The methodological meaning of this new coding method has been discussed. Evidence in support of the validity of the instrument constructs was obtained through a validation study, which indicates that this instrument has a satisfactory content, factor, construct and criteria-related validity for the purpose of this study. The Cronbach alpha reliability coefficient ($\alpha = 0.80$ in average) and test-retest reliability coefficient ($r = 0.75$ in average) suggested that this instrument has acceptable internal consistency.

Key word: Alternative Conceptions, Pattern Recognition, Cognitive Model, Particle Model of Matter, Atomism.