

中小學科學課程中 「物質的粒子概念」之研究

理學院 化學系

王澄霞·楊永華

摘 要

本研究收集並分析國內外(中、美、英、日)各階段(小學至高中)有關「物質的粒子性」主題概念活動，研討實驗活動所包含的化學概念，建立主題概念的發展順序。分析與比較其所含的科學過程與科學態度，並探討本主題單元實驗活動與概念的銜接問題。特別針對「物質的粒子性」中有關量的處理之實驗活動進行評鑑，經由實做過程獲得具體結果並提供建議。

中小學科學課程中 「物質的粒子概念」之研究

理學院 化學系

王澄霞·楊永華

前 言

宇宙由物質組成，人類所接觸的世界亦由物質組成，人類周圍的生活環境脫離不了物質的存在。物質不僅是人類生活中重要的資源，而且也是人類文明存在與發展的基礎

自然科學的研究對象中，物質單元是重要而且分量極大的研究項目之一。化學為研究物質變化現象與原理的自然科學，其在物質單元的學習目標，除了觀察物質在各種情境中的變化現象，並從其中歸納出原理、法則與定律等抽象概念。從化學課程觀點看物質單元中各種概念的發展，有以各種可被觀察或感覺的現象（即巨觀性質）做為學習基礎，也有以無法觀察或感覺，必須以心智推理做為概念的學習基礎。因此，物質在化學科教學方面，不僅可以提供具體事實化的證據，而且能夠發展抽象化的概念。

由於人類認知能力的發展係由「具體操作期」發展至「形式操作期」，而物質單元概念兼具巨觀性質與微觀性質。因此，在化學課程安排方面，亦宜遵循「具體至抽象」的概念發展原則——即是先學習「物質的巨觀性質」，再學習「物質的微觀性質」。

化學領域中的「物質的微觀性質」，是以粒子所具有的性質做為概念學習基礎。它包含形成此一單元所需的各種巨觀性質及微觀性質，也包含化學研究的要素——「計量化學」。從對各種物質的計量處理，使學習者體會化學變化的關係，推理化學反應原理，並獲得應用能力。物質單元所包含之概念繁多，本研究以「物質的粒子性」為主題單元，它包含化學領域中物質常見且主要的各種概念，對人類生活有重大影响者。本主題單元由物質的巨觀性質所屬之概念發展至微觀性質所包含的概念。

化學講求實證，各種理論（知能方面）須仰賴實驗所提供的證據做為基礎，並且經由實驗中所提供的實做過程培養學習者的科學技能，使其體會科學過程並培育其科學態度。「物質的粒子性」主題單元即是經由實驗活動來達成上述之目標。

本研究搜集中外各國（中、美、英、日）各階段（小學、國中及高中）有關「物質的粒子性」主題單元所包含的實驗活動，分析其包含之化學概念以建立其主題概念發展順序，並分析與比較各實驗活動所包含的科學過程與科學態度，進而探討本主題單元在各階段的連貫性與適用性，以及討論主題概念的銜接問題。

特別針對「物質的粒子性」主題單元中有關量的處理（如原子量的測定）的實驗活

動，根據下列七項原則評鑑其連貫性與適用性：

- (1)實驗活動的結果能否提供足夠的實驗證據以形成主題概念之不同階段的主題概念是否連貫？
- (2)實驗內容（程度）能否配合學生的認知能力？
- (3)學生的舊有經驗（含技能）能否能夠與實驗內容配合？
- (4)實驗的安全性？
- (5)實驗使用的器材是否容易獲得且價廉？
- (6)實驗能否在適當的時間內完成？
- (7)實驗費用是否合乎經濟原則？

本研究選出或設計合乎本主題概念單元的實驗活動，進行試做與修訂後，在各級學校進行小規模試教，經由實做過程提供具體研究結果，以供實驗改進之依據，並做為編寫各階段「物質的粒子性」主題單元教材之參考。

臺、結果與討論

一經由分析與整理各國各階段之本主題單元實驗活動內容，分別列於表一 1，表一 2，表一 3 與表一 4。

由上述四種流程得知，各國本單元之概念發展皆起自「空氣」（氣體），再逐次導進原子、分子等概念，進而延伸至量的處理。

由以上流程可知各國本單元概念發展流程不盡相同，但包含許多有關「物質的粒子性」之主要概念，諸如粒子，原子（分子）與原子量（分子量）等。

二針對「物質的粒子性」主題單元之各實驗活動中涉及「量的處理」者，特別列舉於表一 5，其中的特點如下：

- 1.本單元對「量的處理」之最終目標為導致原子量與分子量之概念。因此，小學由熟知的週遭環境物質—空氣入門，認識粒子表現的巨觀性質，培育學生比較不同氣體重量的能力；國中階段則導入認識物質的粒子性質的概念，以原子為學習物質特性與變化的基礎，瞭解物質反應前後的質量（或體積）變化關係；高中階段則以定量方式測定原子量及分子量，進而發展理論化的原子及分子學說。
- 2.英國國中階段使用氧與鎂化合為氧化鎂，測定鎂的原子量。此一實驗活動在此一階段的成效不佳，因學生之操作過程不完美而產生。因此，宜將此活動移至高中階段實施。

三本單元之實驗活動，各國教材各具特色。茲以我國的實驗活動為中心，外國教材則只列舉其特點的方式研討各階段實驗內容：

1.小學：

- (1)我國：小學階段兒童以顏色，形狀，大小等瞭解物體的特徵，用感官知覺去辨認物體，區別物體的相異點。例如：以能被兒童感官察覺的空氣做

為學習對象，探究空氣中氧的含量，氧和蠟燭反應會發生變化而產生不能助燃的二氧化碳。

(2)美國：①以醋酸和大理石反應產生二氧化碳。

②食鹽溶解於水中—瞭解物質是由粒子組成。

③染料溶於水—探究粒子的擴散現象。

③日本：①瞭解空氣具有體積，其體積大小隨溫度的變化而改變。

②在牛奶盒中填裝二氧化碳氣體並稱其質量。

2. 國中：

(1)我國：繼續發展小學階段的概念，進而導入粒子概念，學習抽象的元素符號，探討化學反應中反應物之間的質量關係，推演質量不減定律。

(2)美國：①在塑膠袋（密閉）放置鹽酸和貝殼，使它們反應，比較系統反應前後的質量關係。

②推演化學物質的化學式。

(3)英國：本主題單元之實驗活動全部在國中階段實施，其特點為：

①過錳酸鉀晶體溶於水—估計過錳酸根粒子的大小。

②鎂帶和空氣中的氧反應—推論氧化鎂的化學式。

③在 Orstat 管中使氫氣和氯氣反應—探討氣體反應之體積關係。

(4)日本：將空氣（混合物）裝於噴霧罐中，測其質量與體積—認識物質具有質量。

3. 高中：

(1)我國：分為「基礎理化」和「高中化學」兩個階段。

①「基礎理化」：學習元素（金屬元素與非金屬元素）的性質，由探究氣體行為瞭解亞佛加厥定律與道耳吞分壓定律。

②「高中化學」：繼續發展國中階段對於氧、氮、二氧化碳等物質的概念，並配合「酸與鹼」主題單元認識物質的性質，即氧化物具有酸性或鹼性；經由氣體的擴散現象學習擴散定律，進而導致原子量與分子量等量的學習。本階段藉原子量概念認識化學變化中的質量關係，以及由凝固點下降的實驗活動測定物質的分子量。

(2)美國：不分階段。

鎂帶和鹽酸反應：探討反應物的質量和所產生氣體體積的關係。

(3)日本：分為「理科」與「化學」兩個階段。

①「理科」：為一般常見的實驗活動，如二氧化碳的檢驗。其特色為

1. 「鋁和鹽酸反應」：研討金屬質量和氣體生成體積之

關係。

2. 硫之同素異形體的製備及其性質。

②「化學」：碳酸鈣和鹽酸反應，測反應物(CO₂)的質量。

4. 就本主題單元諸實驗活動所包含的技能，包含天平的使用、測量氣體體積、加熱，檢驗氣體、測量氣體的分壓等，皆為化學實驗方面常用的技術。而本單元的技能亦與物理科之技能密切相關。
5. 各國本單元實驗活動所需器材除一般玻璃器皿外，尚須使用特殊器材（如氫氣和氯氣反應的Orstat管）。因此，可視經濟能力選用適用器材實施活動。
6. 就實驗活動所需時間因實驗內容與難易程度而言，一般皆為一小時的實驗活動，需時較長者的實驗活動之數量較小。
7. 由於部份實驗使用的藥劑特殊，如氫氣（易爆）、氯氣（毒性大）、鎂帶（強光）等，必須指導學生做好安全防護措施。

四經由分析與比較，歸納各階段「物質的粒子性」實驗活動，選出或設計其適用教材，其所含知能，技能，精密度及性質異同分類方法列於表一6。

1. 此適用教材是依「定性至定量、具體至抽象、巨觀至微觀」的原則編排而成，以銜接本主題單元自小學至高中等階段的知能與技能，使教材連貫一致。
2. 本主題單元適用教材經學校實習後，其成效如下：

項目 階段	實驗活動名稱	學生數	平均值	標準差
小學	溶液	49	85.2	7.9
	物質由粒子組成	20	89.7	6.8
	物質粒子有多大	20	85.6	5.9
國中	化學反應相似的元素	20	85.7	8.5
	元素的分類	20	86.4	4.6
	化學反應的質量關係	20	81.1	8.8
	氧化鎂的化學式	20	80.3	5.2
高中	氣體定律：			
	亞佛加厥定律	10	82.3	2.3
	氣體的擴散：			
	格雷木定律	9	80.2	2.5
中	凝固點的下降	9	72.9	1.1

(1)由上表得知，本主題單元適用實驗活動的平均值在八十分以上。

高中「凝固點的下降」得分較低，可能為其實驗儀器不易獲得足夠的觀察資料所致，由其標準差($\sigma = 1.1$)之集中性，可推知學生在學習上較有困難。

(2)由上表可知國中和小學階段的標準差之差距較高中階段者為大。可知小學及

國中學生的學習成績分佈較廣。高中學生因經過入學考試篩選，使其標準差之範圍小。

貳、結 論

一綜觀世界各國「物質的粒子性」主題單元實驗活動，因化學為研究物質變化之科學，其為化學實驗的重心自不待言。本主題單元在小學階段以學習物體的外觀與巨觀性質，探究物體與物體之間所發生的交互作用，建立其操作型定義。國中階段則認識物質的特性，以物質為對象探究物質之間所發生的變化，並從巨觀現象導入微觀的學習，從而建立「物質的粒子性」之概念，並以定量方式研討物質中的粒子行為。高中階段綜合國中階段之概念，導入各種有關「物質的粒子性」之定律或原理，並以定量方式加以驗證。

二各國各階段的實驗活動與概念配合方式是由具體至抽象，由巨觀至微觀，由定性至定量之原則編排。儘管各國之概念發展順序有差異，但各階段之實驗活動能符合學生的認知能力。

三各國本主題單元實驗活動偏重於闡釋學說或原理，比較忽略與生活素材的配合，因此，所選用的實驗活動主題以日常生活有關的現象和物質（如空氣、氧、二氧化碳、肥料等）為對象，以吸引學生並增進其學習興趣。

四各國就同一實驗活動所安排實施的階段大致相同，顯示各國所預期的學習水準與概念大致相同。再者，各階段之實驗活動所要求之精密度水準大致相似，顯示各國期望學生的學習成就水準相同。

再者，各國有關「量的處理」實驗活動大多自國中階段開始發展，此因國中階段開始原子、離子與分子等理論的教學。

五我國本主題單元的實驗活動數量多，內容豐富，概念銜接方式亦合理，但高中之教材遠比其他各國深入，如擴散定律，凝固點的下降等，此部份之教材可移至大一普通化學階段實施。

美國教材在質量方面遜於我國；英國國中階段的實驗活動與我國相當；日本教材注重實用價值，而且自小學階段即學習測定空氣（或二氧化碳）的質量，建立物體（物質）具有「質量」的概念。

六本主題單元在概念的橫向聯繫方面，牽涉能量、溶液、酸與鹼等單元中的概念，因此，在整體課程設計上須妥善安排。

七本研究設計之適用實驗活動，經實做評估其成效，由其平均值顯示可以達成實驗所欲發展的知能和技能，以及培養其科學過程與科學態度的目標。

致謝

本研究承蒙國科會專案補助，計畫編號：NSC 73-0111-S003-05，謹此致謝。

表-1 中國

概念發展順序	實驗活動名稱	知識	實驗主要內容	技能	科學發展	科學態度	精密度	異同分類與原理	時間(分)	器材	安全	合乎學生能力	備註
空氣	小) [四-8] 空氣	小) 1 空氣含有可以助燃的氣體 2 暖氣經過後的空氣不能助燃	小) 暖氣中氧氣的量不能助燃	小) 1 測定暖氣中氧體的體積 2 燃燒技術	觀察：暖氣中氧體的體積 測定：空氣體積 操作：體積	好奇心 耐心 精明	水筒紀錄以雙 線表示	物理定性 化學定性	50	+	+	+	
	小) [九-3] 兩種氣體	小) 1 氧氣助燃 2 二氧化碳不能助燃 3 空氣中氧氣所含的氧	小) 1 以二氯化錫及氧氣水製成，測定助燃性 2 測定空氣中氧氣多少 3 二氧化碳的製造及性質	小) 1 製氧，二氧化碳 2 測定氧體積	觀察：氣體生成 測定：氧體積 操作：製成	好奇心 認真 精明	水尺：± 0-1 cm	化學定性 物理定量	50	+	+	+	
	中) [8-1] 酸與氧	中) 酸與氧與氣體體積之關係	中) 1 氧氣的製造 2 銅的氧化	中) 1 氧氣製造技術 2 保管 3 氧氣之製造	觀察：氧氣之製造 測定：氧體積 操作：製成	專業事實 耐心 合作精神	編寫：± 0-0.1g 磅秤：百萬 (100m ³)	物理定性 化學定性定量	50	+	+	+	
	中) [7-1] 氧化幫助燃燒	中) 1 氧化錫 2 氧化反應	中) 1 製表 2 氧之性質試驗 3 氧化錫之結晶性質	中) 1 製表 2 檢驗氧化錫之性質	觀察：氧化錫的結晶 測定：氧化錫 操作：檢驗	觀察 耐心 精明		物理化學定性綜合	50	+	+	+	
氣體之性質 (反應)	中) [8-4-1] 二氧化碳的製造與性質	中) 1 二氧化碳的特性 2 區別二氧化碳的方法	中) 1 製一氧化二 2 二氧化碳的性質與檢驗方法	中) 1 製造一氧化二 2 檢驗二氧化碳	觀察：氣體不助 燃已 操作：製成	觀察 耐心 精明 合作精神		物理化學定性綜合	50	+	+	+	
	高) [三] 氯	高) 1 HgO 或 HClO ₂ 可製成 2 排水集氣法 3 氯化物的之離解性	高) 1 以 HClO ₂ 製成 2 氯化物的檢驗	高) 1 製成技術 2 檢驗氯之方法 3 檢驗氯化物的之離解性	觀察：氣體 操作：製成	觀察 耐心 精明 合作精神		物理化學定性綜合	50	+	+	+	
	高) [四] 二氧化碳和氧	高) 1 向上排空氣法 2 排水集氣法	高) 1 製成 CO ₂ 2 CO ₂ 的性質檢驗 3 氯的製成 4 氯的性質檢驗	高) 1 製造 CO ₂ 及 O ₂ 方法 2 檢驗 O ₂ 及 CO ₂ 之技術	觀察：氣體 操作：製成	觀察 耐心 合作精神		物理化學定性綜合	50	+	+	+	
	中) [8-2] 金屬元素與非金屬元素的活性	中) 1 元素與化合物 2 金屬元素 3 非金屬元素	中) 1 配合含入元素的非金屬元 2 非金屬元素的化合物	中) 1 觀察 2 分類	觀察：金屬的 分類 操作：製成	專業事實 信心 精明		物理定性 化學定性	50	+	+	+	
元素與化合物	基) [十] 酸中非金屬和化合物的性質	基) 1 阿蒙斯形體 2 非金屬化合物的水溶液基 3 非金屬化合物的水溶液基	基) 1 製成以阿蒙斯形體 2 SO ₂ 的漂白作用 3 銅的硝酸和與質的水解	基) 1 製成溶液 2 漂白技術 3 檢驗金屬之氯化物	觀察：液體 操作：製成	專業事實 耐心 合作精神		化學定性	50	+	+	+	
	中) [8-3] 元素的命名及符號	中) 1 元素符號 2 原子序 3 化學式	中) 1 分析含兩元素和含兩元 2 說明原子序 3 寫化學式	中) 1 觀察 2 分類	觀察：液體 操作：製成	專業事實 信心 精明		化學定性	50	+	+	+	
	中) [11-1] 元素的分類	中) 1 第一族元素 2 元素的共通性質	中) 1 Li, K, Na 等元素之水 2 水、銅、銀之化合物的水 3 配製溶液	中) 1 觀察：元素溶液與銅的 2 分類 3 配製溶液	觀察：液體 操作：製成	專業事實 信心 精明		化學定性	50	+	+	+	
	中) [12-2] 1 等重元素之性質 2 硫和磷	中) 1 元素的通性 2 硫和磷的性質	中) 1 硫、磷的化合物的性質 2 硫和磷的化合物的性質	中) 1 觀察：石 2 配製溶液 3 配製溶液	觀察：石 配製溶液 操作：製成	專業事實 信心 合作精神		化學定性	50	+	+	+	弱和硫為易 物
質量不滅定律	中) [18] 質量不滅定律	中) 質量不滅定律	中) 氯化錫和錫酸在銅形中 反應	中) 1 觀察溶液 2 稱量	觀察：液體 操作：製成	專業事實 信心 合作精神	天平：±0-0.1g	物理化學定性定量綜合	150	+	+	+	
	高) [三] 化學變化中的質量關係	高) 質量守恆定律	高) 氯化錫和錫酸反應，生成 錫酸，測定其質量等 於反應物之質量	高) 1 稱量 2 洗滌錫 3 折疊錫 4 過濾技術	觀察：液體 操作：製成	專業事實 信心 合作精神	天平：±0-0.1g	物理化學定性定量綜合	50	+	+	+	
	中) [16-2] 氯化鈉的生成	中) 反應物之質量的關係有一 定的比例	中) 以氯化鈉和硝酸鈉不同 反應，測定其反應，不再進 行之氯化鈉。	中) 1 觀察溶液 2 測定固體高度	觀察：液體 操作：製成	專業事實 信心 合作精神	水尺：±0-1cm	化學定性定量綜合	50	+	+	+	
	基) [六] 氣體定律	基) 1 亞佛加德定律 2 查理定律	基) 1 以水、CO ₂ 、O ₂ 之 2 以水、CO ₂ 之	基) 1 測定二氣體之重量比 2 分析測量技術	觀察：液體 操作：製成	專業事實 信心 合作精神	1 磅秤：±0-0.1g 2 磅秤：±0-1g 3 磅秤：±0-1g	物理化學定性定量綜合	50	+	+	+	
分子	中) [八] 阿蒙斯形體的測定	中) 1 阿蒙斯形體 2 ΔT = k/P	中) 1 阿蒙斯形體 2 阿蒙斯形體	中) 1 阿蒙斯形體 2 阿蒙斯形體	觀察：液體 操作：製成	專業事實 信心 合作精神	溫度計：±0-1°C	化學定性定量	50	+	+	+	
	高) [二] 阿蒙斯形體的測定	高) 1 阿蒙斯形體 2 ΔT = k/P	高) 1 阿蒙斯形體 2 阿蒙斯形體	高) 1 阿蒙斯形體 2 阿蒙斯形體	觀察：液體 操作：製成	專業事實 信心 合作精神	溫度計：±0-1°C	化學定性定量	50	+	+	+	

表-1 中國

發展順序	實驗活動名稱						實驗主要內容			技能			科學過程	科學態度	精密度	異同分類處理方法	時間 (min)	器材	安全	學生能力	備註
	小學	國中	高中	小學	國中	高中	小學	國中	高中	小學	國中	高中									
	五	八	一	五	八	一	五	八	一	五	八	一									
氣體 ↓ 液體 ↓ 固體 ↓ 化學式 ↓ 氣體反應	(五) 岩石與金屬 (五) 單元 8 物質中的粒子			水與二氧化碳對岩石之作用 垢在水中會擴散			以醋液使大理石發生泡沫 紙杯中食塩溶液在各處之味覺			液體和固體反應 1.溶解固體 2.分別液體之味道			1.觀察：氣泡 2.傳達	1.好奇心 2.客觀	化學定性	20	+	+	+		
	(五) 單元 8 物質中的粒子			1.物質 2.相 3.質量 4.物質具有質量			比較水、石頭、大理石之質量			1.觀察 2.使用天平			1.觀察：重量 2.歸量 3.傳達	1.好奇心 2.信心	物理定性 天平：± 0.1g	20	數字天平	+	+		
		(1-2) 岩石安定嗎?			物體會變化			硫酸使貝殼反應			觀察技巧			1.觀察：氣泡 2.傳達	1.客觀 2.信心	化學定性	10	+	+	+	
		(六) 單元 8 化學反應			1.原子 2.質量守恆			硫分製產生能量與新元素								物理定性					
		(2) 氣體中的物質是什麼?			1.物質 2.質量 3.質量守恆定律			硫酸與貝殼裝在塑膠袋中反應，證明反應前後質量不變			1.使用天平 2.裝置儀器			1.觀察：氣泡 2.傳達 3.歸量：重量	1.客觀 2.信心 3.精明	化學定性 ± 0.1g	30	+	+	+	
		(5) 推測分子			1.元素 2.化合 3.化學式			以紙絲及糖絲推測分子式之組成			操作糖絲			1.觀察 2.傳達	1.客觀 2.信心 3.尊重學理結構	化學定性	40	+	+	+	
		(探究 12-1) 化學符號			1.結合力 2.化學式			醇丙醇、異丙醇、甲醇、乙醇、丁醇等沸點，決定沸點與碳數之關係			測沸點			1.觀察：沸點 2.歸量：沸點 3.傳達 4.形成假設	1.客觀 2.信心 3.精明	物理定性 化學定量 溫度計：± 1°C	50	+	+	+	
		(3) 二氧化碳			1.排水集氣法 2.二氧化碳能滅火			1.硫酸與貝殼反應 2.排水集氣法 3.排水集氣法			1.排水集氣法 2.製造二氧化碳 3.操作固定器 4.檢驗二氧化碳			1.觀察：氣泡 2.傳達 3.操作固定器	1.客觀 2.信心 3.精明	化學定性	50	+	+	+	
		(探究 21-1) 空氣助燃嗎?			1.排水集氣 2.過氧化氫可製氧 3.氧助燃			1.水與三氯化鐵反應製氧 2.檢查鐵錐在 O ₂ 及空氣中的燃燒			1.製氧氣 2.檢驗氧氣			1.觀察：氣泡 2.操作固定器 3.傳達	1.客觀 2.信心 3.尊重事實	化學定性	50	+	+	+	
		(五) 單元 8 擴散需要多久?			1.氣體與液體會擴散 2.氣體由小粒子構成			染料在冰水及室溫水中，向者擴散較快?			染料在冰水中的擴散			1.觀察：顏色 2.歸量：時間 3.傳達	1.客觀 2.信心 3.精明	物理定性 化學定性 計時時間：秒	50	+	+	+	
	(9) 金屬與塩酸反應的定量研究				每一莫耳之鐵所生之氫氣體積		鐵與塩酸反應，在氣體測定管中量氣體之體積			1.金屬和塩酸反應 2.測量氣體體積			1.觀察：氣泡 2.傳達 3.歸量：體積 4.操作固定器	1.客觀 2.信心 3.精明	化學定性 定量 鐵帶表：± 0.01 Cm 氣體量：± 0.01 ml	50	+	6 M HCl	+	+	

表-3 美國

概念發展順序	實驗活動名稱		知 能		實驗主要內容		技 能		科學過程	科學態度	精密度	異同分類處理方法	時間 (min)	器材	安全	學生能力	備 註
	Stage I	Stage II	Stage I	Stage II	Stage I	Stage II	Stage I	Stage II									
空氣 ↓ 氣體存在	[A-3-1] 銅之加熱			惰性 (Inert)		Cu 裝在試管加熱, 看計筒內空氣體積之變化		加熱	1.觀察: 空氣 2.傳達	1.客觀 2.信心		化學定性	50	+	+	+	
	[A-3-3] 氫之製造			分解		$HgO \xrightarrow{\Delta} Hg + O_2$		加熱	1.觀察: 2.傳達	1.客觀 2.信心		化學定性	50	+	+	+	
↓ 氣體的存在	[A-2-4] 氫之製造			取代		$Zn + H_2SO_4 \rightarrow H_2$		加熱	1.觀察: 氣 2.傳達	1.客觀 2.精明		化學定性	50	+	感 氣 ↑	+	
	[A-4-1] 物質燃燒嗎? 燃燒產物的性質			1.燃燒 2.燃燒產物		燒燬在瓶內燃燒, 以氯化亞鉛試水		1.加熱 2.檢驗水的存在	1.觀察: 燃燒 2.分析 3.傳達 4.操作型定議	1.客觀 2.信心 3.精明		化學定性	50	+		有噴光 +	+
↓ 化合物	[B-4-1] 氫與氧之性質			1.活性 2.不活性		碳粉, 硫, 鋅帶, 鈣分別在氧及氫中燃燒		燃燒	1.觀察 2.分類 3.傳達 4.操作型定議	1.客觀 2.精明		化學定性	50	+	要帶手套	+	
	[A-2-3] 物質受熱變化			1.化學變化 2.化合物		Mg, Cu 受熱, 重量增加		加熱	1.觀察: 顏色 2.傳達 3.形成假說	1.客觀 2.信心		化學定性	50	+	+	+	
↓ 元素	[A-2-4] 紅鉛受熱			1.化學變化 2.化合物		紅鉛受熱, 重量減輕		加熱	1.觀察: 顏色 2.傳達 3.形成假說	1.客觀 2.信心		物理 定性 化學 定性	50	+	+	+	
	[A-5-1] 元素是甚麼?			1.昇華 2.元素		砷粉, 鈣之加熱反應		加熱	1.觀察 2.傳達 3.形成假說	1.客觀 2.信心		化學定性	50	+	+	+	
↓ 元素活性	[A-10-3] 金屬製造金屬			1.昇華 2.元素		Cu (NO ₃) ₂ , SnCl ₂ , FeSO ₄ , MgSO ₄ , ZnSO ₄ 與金屬反應		金屬和離子配合	1.觀察 2.分類 3.傳達 4.操作型定議	1.客觀 2.信心 3.精明		化學定性	50	+	+	+	
	[A-6-2] 元素同族			1.元素 2.族		元素分類		分析方法	1.分析 2.傳達	1.客觀 2.信心		化學定性	50	+	+	+	教師示範
↓ 粒子大小	[A-6-1] 元素與化合物之結合			活性		老師示範: 炭粉, 紅鉛, PbO 和 HCl 反應		加熱	1.觀察: 反應 2.傳達 3.形成假說	1.客觀 2.精明		化學定性	50	+	+	+	教師示範
	[E-11-1] 粒子大小			1.粒子 2.粒子大小		K ₂ MnO ₄ 溶液, 估計其粒子大小		溶解	1.觀察 2.分析 3.傳達	1.客觀 2.信心		物理 定性 化學 定性	50	+	+	+	
↓ 克 子	[I-11-3] 粒子數目			克原子		以模型表示同一克原子之不同元素之重量		模型	1.觀察: 模型 2.傳達 3.推理	1.客觀 2.精明		物理 定量	50	+	+	+	
	[I-11-4] 分子數			分子式		Mg 燃燒, 求 MgO 之分子式		1.加熱 2.稱重	1.觀察 2.分析 3.傳達 4.推理	1.客觀 2.信心	天平: ±0.1g	化學 定量	50	+	+	+	
↓ 化學式	[I-12-3] 氯化銨之化學式			化學式		H ₂ 與 Cl ₂ 在 Orsat 管中反應, 求氯的變化量		1.加熱 2.反應	1.觀察: 氣體 2.分析: 體積 3.傳達 4.推理	1.客觀 2.精明	注射器體積: ±1ml	化學 定量	50	+	-	+	倉 誌
	[I-11-3] 克方程式			反應方程式		NH ₄ + HCl → NH ₄ Cl 之反應方程式		1.加熱 2.反應	1.觀察: 氣體 2.分析: 體積 3.傳達 4.推理	1.客觀 2.精明	注射器體積: ±1ml	化學 定量	50	+	+	+	

表-4 日本

概念發展順序	實驗活動動名 稱				知 能				實 驗 主 要 內 容				技 能				科學過程	科學態度	精密度	異同分類處理方法	時間 (min)	儀器	安全	學生能力	備註		
	小學	國中	理科 I	化學 I	小學	國中	理科 I	化學 I	小學	國中	理科 I	化學 I	小學	國中	理科 I	化學 I											
空氣 ↓ 空氣的變化 ↓ 氣體製造 ↓ 氣體性質 ↓ 氣體重量 ↓ 氮和氧 體反應 ↓ 原子(分子) ↓ 質量作用關係 (原子量) ↓ 質量不滅定律 ↓ 同素異形體	(2-2) 空氣				空氣具有體積												1.觀察：體積 2.稱重	1.好奇心 2.信心	物理定性	30	+	+	+				
	(4F-9) 空氣體積與溫度				空氣體積隨溫度改變而變化												1.觀察：空氣 2.稱重 3.反證	1.好奇心 2.信心	物理定性	30	+	+	+				
	(5-5-2) 二氧化碳之性質				CO ₂ 不能助燃													1.製造 CO ₂ 2.檢驗 CO ₂	1.好奇心 2.信心	化學定性	40		+	+			
	(5-5-1) 氧之性質				氧可以助燃													檢驗氧	1.好奇心 2.信心	化學定性	30	+	+	+			
	(6-9) CO ₂ 之運輸				CO ₂ 和澄清石灰水產生白色沈澱													以澄清石灰水檢驗 CO ₂	1.觀察：沈澱 2.稱重 3.條件判定	1.觀察 2.信心	化學定性	30	+	+	+		
	(1-7) 氧之性質				能使紫色高錳酸鉀和 AgNO ₃ 反應													原白錫與錫粉檢查其顏色和結構反應	1.觀察：顏色 2.稱白 3.稱重	1.觀察 2.信心 3.稱明	化學定性	30	+	+	+		
	(5-5-4) 二氧化碳重量				CO ₂ 具有重量													稱重	1.觀察：重量 2.觀察：重量 3.稱重	1.好奇心 2.信心	物理化學定性	30		牛奶盒 +	+		
	(1E-IV-1) 空氣重量				空氣具有重量													稱量器中打入空氣、稱重及重量	1.稱空氣 2.量空氣重量	1.觀察 2.信心 3.稱明	天平：±0.1g 量筒：±1ml	化學定量	50	+	+	+	
	(1E-I-3) 鋼絲絲之燃燒				鋼絲燃燒時增加重量													稱重	1.觀察 2.稱重 3.條件判定	1.觀察 2.信心 3.稱明	天平：±0.1g	化學定量	50	+	硫酸(-)	+	
	(1E-II-3) 金屬受熱變化				金屬受熱增加重量													稱重	1.觀察：天平 2.觀察：稱重 4.條件判定	1.觀察 2.信心 3.稱明	化學定性	50	+	+	+		
(1E-V-3) 氯化銨溶液之電解				1.原子 2.電解														FeCl ₃ 溶液通電分解	1.觀察：氣體 2.稱重 3.稱重	1.觀察 2.信心 3.稱明	化學定性	50	+	+	+		
(7) 鋅和硫酸之反應				氣體生成體積與金屬質量之關係														以不同質量之鋅和相同體積硫酸反應	1.觀察 2.稱重 3.稱重	1.觀察 2.信心 3.稱明	量筒標額：±1ml	化學定量	50	+	+	+	
(1E-II-1) 化學變化				1.原子 2.分子 3.原子不滅														以彩色筆做各種原子、分子並檢驗反應前後原子數目	1.觀察 2.觀察：計算 3.稱重 4.條件判定	1.觀察 2.信心	化學定性	30	+	+	+		
(8) 碳酸鈉和塩酸之反應				質量不滅定律	質量不滅定律													將 CaCO ₃ 與 HCl 反應前後之質量	1.觀察 2.觀察：質量 3.條件判定 4.推測	1.觀察 2.信心 3.稱明	天平：±0.01g	化學定量	50	+	硫酸	+	
(1) 化學變化之質量關係				質量不滅定律	質量不滅定律													CaCO ₃ 與 HCl 反應，稱反應物 (CO ₂) 之質量	1.觀察 2.觀察：天平 3.條件判定 4.推測	1.觀察 2.信心 3.稱明	天平：±0.01g	化學定量	50	+	+	+	
(5) 鐵之同素異形體				同素異形體	同素異形體													新方鐵、星形鐵及磁性鐵之製備及觀察	1.觀察 2.條件判定 3.稱重	1.觀察 2.信心 3.稱明	化學定性	50	+	+	+		

表一五台北縣教育經費支出分配結構統計表(七十三年度)

名稱	合計	經常支出										資本支出									
		人事費	事務費	業務費	維護費	旅運費	材料費	設備費	補助及獎勵費	損失及賠償費	特別費	小計	人事費	事務費	維護費	材料費	旅運費	設備費	投資	補助及獎勵費	小計
教科文經費	5,504,613,646.21	3,510,920,315.80	143,801,188.30	76,226,809.50	2,337,580.80	8,808,634.00	13,604,083.30	16,925,021.80	85,892,090.00		4,033,173.00	3,892,548,898.00			7,157,315.00			1,557,017,082.21	28.29	47,890,351.00	1,612,064,748.21
縣政府	174,712,613.40	8,936,490.10		8,097,519.30	82,951.00	1,654,533.50	23,920.00	116,950.00	81,017,381.50			99,929,745.40						26,892,517.00	15.39	47,890,351.00	74,782,868.00
	3.17	5.11		4.63	0.05	0.95	0.01	0.07	46.37			57.20						27.41		42.89	
國民中學	2,201,320,422.56	1,391,246,469.30	13,282,851.80	65,158,510.20	31,080,991.80	6,819,163.50	13,568,907.30	13,631,069.40	1,718,048.50		4,024,973.00	1,540,530,984.80		6,907,715.00			653,899,532.76			660,807,247.76	
	40.00	63.20	0.60	2.96	1.41	0.31	0.62	0.62	0.98		0.18	69.98		0.31			29.71			30.92	
國民小學	3,077,230,204.96	2,105,658,566.50	128,146,867.00									2,233,805,433.50					843,424,771.45			843,424,771.45	
	55.90	68.43	4.16									72.59					27.41			27.41	
圖書館	1,462,788.25	586,684.20	62,657.00	306,086.00	60,454.00	6,278.00		179,329.00			1,700.00	1,213,188.20		249,600.00						249,600.00	
	0.03	40.79	4.28	20.92	4.13	0.43		12.26			0.12	82.94		17.06						17.06	
董事會	1,247,334.00	729,420.00	14,008.00	147,273.00		31,147.00	11,256.00	210,350.00	99,970.00		3,910.00	1,247,334.00									
	0.02	58.48	1.12	11.80		2.50	0.90	16.86	8.01		3.13	100.00									
體育場	34,098,215.40	754,335.40	127,720.00	987,653.00	661,986.00	19,977.00		2,640.00	825,000.00		2,590.00	3,381,901.40					30,716,314.00			30,716,314.00	
	0.62	2.21	3.75	2.90	1.94	0.06		0.908	2.42		0.008	90.08									
忠烈祠	765,995.40	373,520.40	150,977.00		207,580.00	9,008.00		24,910.00				765,995.40								90.08	
	0.01	48.76	19.70		27.10	1.76		16.67				100.00									
文化中心	13,776,072.30	2,624,830.90	2,015,108.00	1,529,768.00	243,618.00	268,527.00		2,759,773.40	2,231,690.00			11,692,125.30					2,083,947.00			2,083,947.00	
	0.25	19.05	14.63	11.10	1.77	1.95		20.03	16.20			84.87					15.13			15.13	

資料來源：台北縣政府編，台北縣總決算，民國七十三年度 pp.260-267

表 5 各國「物質的粒子性」主題單元有關「量的處理」之實驗內容

國別 \ 階段	小	國中	高中
中國	測空氣中氧氣的含量。	1 鋼綿氧化的質量變化。 2 質量不減定律；氯化鈉和硝酸銀溶液在錐形瓶中反應。 3 碘化鉛的生成。	1 比較 CO_2 與 O_2 的質量比（基礎理化）。 2 HCl 與 NH_3 的擴散速率。 3 化學變化中的質量關係。 4 凝固點的下降。
美國		測定甲醇、乙醇及其他醇類的沸點與其所含碳原子數的關係。	「鎂帶和鹽酸反應」：測定所生成氣體的體積和鎂帶長度的關係。
英國		1 以模型表示同一克原子之不同元素的質量。 2 氧化鎂的分子式。 3 氫氣與氯氣化合時的體積比。 4. NH_3 和 HCl 反應之反應方程式。	
日本	求牛奶盒中二氧化碳氣體質量。	1 在噴霧罐中通入空氣，求空氣的質量。 2 鋼絲絨燃燒前後的質量。	1 不同長度的鋁帶和鹽酸反應；測生成之體積。（理科 I） 2 碳酸鈣和鹽酸反應前後的質量。（理科 I） 3 化學變化的質量關係。（化學）

表 6 「物質的粒子性」主題單元適用實驗活動內容分析表

階段	項目	實驗活動名稱	知 能	實 驗 主 要 內 容	技 能	精 密 度	異同分類處理方法
小 學	溶 液		溶液所溶解的物質變成粒子	1 食鹽溶於水，測杯中各部分味道。 2 過錳酸鉀溶於水中之顏色。	1 嚐溶液 2 觀察顏色		物理定性
國	物質由粒子組成		1 擴散作用 2 物質是由粒子組成	溴水及二氧化碳的擴散作用。	檢驗二氧化碳		物理定性
	物質粒子有多大		物質粒子具有大小	硬脂酸分子的大小	測量面積	$\pm 1 \text{ cm}^2$	物理定量
	化學反應相似的元素	族		從類似的溶液間反應，找出具有共通性質的同一族元素	檢驗離子反應物(顏色)	顏色區分	化學定性
	元素的分類		1 元素 2 族	根據相似的反應性質區分元素	分類元素		化學定性
	化學反應的質量關係		質量守恆定律	在密閉系中使鹽酸和大理石反應，比較反應前後的質量	稱量	$\pm 0.01 \text{ 克}$	化學定量
	中	氧化鎂的化學式		1 分子 2 化學式	燃燒鎂帶，求氧化鎂的化學式	稱量	$\pm 0.01 \text{ 克}$
高	氣體定律—亞佛加厥定律		1 分子量 2 亞佛加厥定律	比較二氧化碳及氧氣的質量	1 使用天平 2 測量體積	$\pm 0.01 \text{ 克}$ $\pm 1 \text{ ml}$	物理定量
	氣體的擴散—格雷木定律		1 分子量 2 格雷木定律	測 NH_3 及 HCl 之擴散速率	測定時間	$\pm 1 \text{ 秒}$	物理定量
中	凝固點的下降		1 分子量 2 凝固點	測環己烷及環己烷溶液的沸點	測凝固點	$\pm 0.1^\circ\text{C}$	物理定量

參考資料：

1. 師大科大科教中心：高中化學實驗手冊第一冊（第二次修訂本），pp. 4～17；pp. 28～31，1983
2. 師大科教中心：高中基礎理化實驗手冊（第二次修訂本），pp. 37～46；下冊（第二次修訂本，pp. 18～26，1983。
3. 師大科教中心：國中課程改進計畫試用教材理化第二冊，第七章、第八章；第四冊，第十六、十七及十八章，1983。
4. 國立編譯館：小學自然第四冊、第九冊，1983。
5. CHEM STUDY :Chemistry(Laboratory Manual)，pp. 26～31，1963。
6. ISCS:Probing the Natural World, Silver Burdett Co, 1971。
7. Jinn:Elementary Science, Unit 5；Unit 6，1980。
8. Nuttfield Foundation:Nuffield Chemistry, The Sample Scheme Stage I and II, 1967。
9. 日本東京書籍株式會社：化學第一冊，1983。
10. 日本東京書籍株式會社：理科I，1983。
11. 日本東京書籍株式會社：新しい科學，1上；1下，1983。
12. 大日本圖書：たのしい理科2；4下；5上，1983。

INVESTIGATING INTO IMPROVEMENT OF CHEMISTRY EXPERIMENTS
IN RELATION TO ITS DEPTH FOR
THE CONCEPT OF PARTICLE OF MATTER

by

Yong-hwa Yang and Cheng-hsia Wang

Abstract

This research project investigates into the improvement of experimental activities in the field of chemistry from primary school through senior high school. The correlation and suitability of each experiment was evaluated with the following points as basis: (a) Relevance of data produced to the concept for the particular learning level. (b) Correlation of experiments for the same concept at different learning levels. (c) The level of cognitive development of the students. (d) Previously acquired learning of the students. (e) Safety, simplicity, and economy (both of money and class time).

The key experimental activities of the concept of particle of matter were reviewed on major curricula (R. O. C., U. S. A., England and Japan).