

國立交通大學教育研究所

碩士論文

從腦波探討表徵連接對化學學習歷程的影響及問題解決的成效

Explore the affects of connecting representation on chemistry learning processing from EEG and problem solving performance

研究生：李佩蓉

指導教授：佘曉清 博士

中華民國九十八年七月

從腦波探討表徵連接對化學學習歷程的影響及問題解決的成效

Explore the affects of connecting representation on chemistry learning
processing from EEG and problem solving performance

研究生：李佩蓉

Student：Pei-Jung Lee

指導教授：佘曉清 博士

Advisor：Hsiao-Ching She, Ph. D

國立交通大學

教育研究所



A Thesis

Submitted to Institute of Education
College of Humanities and Social Science
National Chiao Tung University

for the Degree of

Master

in

Education

July 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年七月

從腦波探討表徵連接對化學學習歷程的影響 及問題解決的成效

學生：李佩蓉

指導教授：余曉清教授

國立交通大學人文社會學院教育研究所碩士班

摘要

本研究之研究目的為探究網路表徵連接課程對化學概念建構和氣體分子動力論之問題解決的影響。課程設計採用氣體分子動力論單元期望可幫助學生進行巨觀、微觀、符號、及圖表四種表徵的连接。

本研究設計為單一樣本前後測實驗設計，參與者為八十三位高二學生。每個學生都進行氣體動力論之網路學習，並接受成就測驗和氣體動力論之多重表徵問題解決的前測和後測。其中二十三位學生在進行氣體動力論之網路學習的主題三微觀分子運動和公式的運用與主題四微觀分子運動和圖表時收集他們的腦波活動，利用 Neuron Scan 4.4 匯出 θ (4~8Hz)、 $\alpha 1$ (8~10Hz)、 $\alpha 2$ (10~13Hz)、 $\beta 1$ (13~18Hz)、 $\beta 2$ (18~25Hz)和 γ (35~70Hz) 功率強度和同調性，並進行 spss 統計分析，以期能進一步瞭解學生在建構科學概念的歷程中如何進行訊息處理。

結果顯示成就測驗和問題解決的後測平均值顯著高於前測，表示表徵連接課程能有效幫助學生學習。腦波結果顯示微觀表徵片段之功率強度顯著大於微觀和符號表徵連結片段以及微觀和圖表表徵連結片段。微觀表徵片段之同調性也在所有腦區之間顯著大於微觀和符號表徵連結片段以及微觀和圖表表徵連結片段。腦波功率和同調性的結果一致均顯示學生需較多的腦部活動處理微觀表徵訊息。在微觀表徵下概念較難的頁面也顯示較高的功率強度，表示需要較強的腦波頻率處理訊息較複雜的概念，但微觀表徵下概念較難的頁面同調性較低，顯示學生在微觀表徵概念建構的初期階段需要較多的腦區連結；概念較難的頁面在微觀和符號表徵連結片段下之功率強度和同調性皆較大，其結果

一致表示學生習慣運用符號表徵，故處理越複雜之概念時腦波活動越強烈；而微觀和圖表表徵連接時的功率強度和同調性在不同概念下顯著差異皆較少。

關鍵字：化學概念建構、多重表徵、問題解決、腦電圖、同調性



Explore the effects of connecting representations on students' chemistry learning process from the dimensions of EEG and problem solving performance

Student: Pei-Jung Lee

Advisor: Hsiao-Ching She, Ph. D

National Chiao Tung University, Institute of Education

Abstract

The purpose of this study was to explore the effectiveness of web-based connecting representations learning content on students' conceptual construction and problem solving involving the topic of Kinetic-Molecular Theory of Gases. The design of Kinetic-Molecular Theory of Gases learning content specifically designed to help students making connections among macro, micro, formula, and diagram four different representations.

One-sample repeated pre-post-test measurement design was used in the study. There were 83 11th grade students involved in the study. All of the students received pre- and post-test of conceptual construction and problem solving involving the topic of Kinetic-Molecular Theory of Gases. In addition, students' Web-learning process also were collected. EEG was used to measure 23 students brain activity while they were learning the Web-based connecting representations of Kinetic-Molecular Theory of Gases learning content. The EEG data was analyzed according to the θ (4~8Hz), α 1(8~10Hz), α 2(10~13Hz), β 1(13~18Hz), β 2(18~25Hz) and γ (35~70Hz) bands power and coherence through Neuron Scan 4.4.

Results indicated that students' post-test performance of conceptual construction and problem solving significantly outperformed than their pre-test. The EEG results indicated the following pattern: First, the grater power spectrum were emerged at the episode of the micro representation across all power of different EEG frequency than the episode of the connecting

micro and formula representation and the connecting micro and diagram representation. The greater coherence among prefrontal, Central, posterior and long-distance electrodes were observed at micro representations episode. It suggests that students use more brain capacity when they construct the micro representation related concept. Second, the greater complexity of micro representation episode presented, the greater power spectrum were collected. It suggested that students use more brain capacity to deal with higher complexity concept than the lower complexity concept. Finally, the greater power spectrum and greater coherence were observed for connecting micro and formula representations episode at higher complexity pages. It suggests students tend to learn conceptions through the formula representation than micro representation. The EEG result shows less difference between connecting micro and diagram representation episode.

Key words: chemistry conceptual construction, multiple representations, problem solving, EEG power spectrum, coherence



誌謝

從前看學姐們的論文最愛先看她們的誌謝，看著她們的甘苦談，也較能接受自己當下承受的壓力和辛苦，大家都是這樣走過來的啊！幻想自己能寫誌謝的那一刻有多美好，代表一切都將解脫了。現在，這一刻真的輪到我了，閉起眼睛，好多好多幕從眼前閃過……五味雜陳。

首要感謝的當然是老闆大人。謝謝老闆讓我做我感興趣的腦波題目、陪我磨高中氣體動力論的課程和測驗題目、贊助我完成線上動畫課程（順道感謝學承電腦中心的杜老師，很配合的完成所有高難度動畫）、讓我加入理化組完成二階測驗和問題解決（此時要大力感謝以學生問題為己任的楊文宗老師，以及總是很有耐心的張秀激老師）、幫我介紹竹北高中瑞銘老師，解決找受試者的大問題（瑞銘老師真的是認真負責，又願意配合研究的好老師啊！）、分析 data 時給我方向、明示我應該怎麼解釋 data、並在最後口試時幫完全傻住的我答辯。即使我不像一幫學長姐一般聰明靈俐有洞見，meeting 時都只會回答「喔」，還是一直 push 我一步一步完成進度，並讓我準時畢業！

然後是老闆大人的超能幹助理團隊。謝謝思瑋大大幫我向腦科中心借到腦波帽子和 Neuron Scan 分析 key；謝謝佩樺大大常常幫我送文件去老師家；謝謝秉叡大大三不五時幫我解決電腦系統資訊方面的問題；謝謝有理大大幫我在最後分析時刻寫了許多又快又方便的程式，讓我省了好多步驟！還有辛苦的小 RA 們：額外給我許多意見的文己大師兄和腦波前輩莉郁，以及在期末前兩週毫無怨言的幫我趕 data 的米珊、momo、小嵐。

在論文生產過程中的極大壓力下，沒有好伙伴是不行的！謝謝時時刻刻都陪在我身邊的海賊王，跟我一起煩惱、一起解決問題、一起思考人生的意義、一起跑這場馬拉松！謝謝君婷總在我心情不好時隨時借我避風港，一起吐苦水，一起哈哈大笑！謝謝梅香在兩個重要的口試日子為我們奔波接送口委和買便當！謝謝所有愛宅在研究室伙伴：坐在我旁邊愛找人聊天的李艾妘小姐、送我可愛小熊維尼娃娃給我力量的蕎、能一起說些五四三放鬆心情的芳儀、Jasmine、晨宏、小夏、羿介、莉婷和朝陽，有你們的存在，在

研究室裡也能苦中作樂！我不會忘記我們在畢業典禮那晚，一起上鐘樓看煙火，嘻嘻哈哈中有開心、感動、感謝和很多的不捨！

最後，感謝諮商中心的吳吟老師和華璋老師，在我思緒困頓之際給予建議，也讓我有情緒抒發的出口。以及四散在台灣各地各自奮鬥的家人：偶爾能在 msn 上互相抱怨課業繁重的眉和迪，和即使心疼不放心仍放手讓女兒走自己的路的爹和娘。謝謝有你們的默默支持和對我的期待！**我畢業了！**



目錄

中文摘要	i
英文摘要	iii
誌謝	v
表目錄	ix
圖目錄	xi
第一章 緒論	
第一節 研究背景與動機	1
第二節 研究目的	2
第三節 研究問題與研究假設	2
第四節 名詞釋義	3
第五節 研究範圍與限制	5
第二章 文獻探討	
第一節 表徵	6
第二節 問題解決	10
第三節 多媒體學習認知理論	16
第四節 腦波圖在認知的應用	18



第三章 研究方法

第一節 研究對象	23
第二節 研究設計	23
第三節 研究流程	26
第四節 研究工具	27
第五節 教學設計	30
第六節 資料蒐集與分析	45

第四章 研究結果與討論

第一節 表徵連接之理想氣體模型課程成效分析	46
第二節 表徵連接學習歷程之腦波資料分析	47

第五章 結論與建議

第一節 結論	90
第二節 建議	97

參考文獻	99
------	----

附錄一：理想氣體模型二階層成就測驗

附錄二：多重表徵問題解決測驗



表目錄

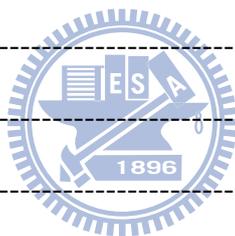
表 3-1-1 教學模式與人數整理表	23
表 3-4-1 問題解決編碼系統	28
表 3-5-1 教學課程架構	31
表 3-5-2 表徵連接學習歷程腦波分析事件表	34
表 3-5-3 表徵連接學習歷程腦波分析事件之畫面	35
表 4-1-1 理想氣體模型成就測驗前測和後測之敘述性統計和成對樣本 T 檢定表	46
表 4-1-2 問題解決測驗前測、後測和追蹤測之重複量數表	47
表 4-2-1 微觀表徵和符號表徵之成對樣本 T 檢定表	48
表 4-2-2 微觀表徵和圖表表徵之成對樣本 T 檢定表	52
表 4-2-3 主題三動畫頁面之微觀表徵片段之重複量數分析結果	54
表 4-2-4 主題三動畫頁面之微觀和符號表徵連結片段之重複量數分析結果	56
表 4-2-5 主題三模擬頁面之微觀表徵片段之成對樣本 T 檢定結果	57
表 4-2-6 主題三模擬頁面之微觀和符號表徵連結片段之成對樣本 T 檢定結果	58
表 4-2-7 主題四之微觀表徵片段之成對樣本 T 檢定結果	59
表 4-2-8 主題四之微觀和圖表表徵連結片段之成對樣本 T 檢定結果	60
表 4-2-9 微觀表徵片段與微觀和符號表徵連接片段之同調性成對樣本 T 檢定結果	62
表 4-2-10 微觀表徵片段與微觀和圖表表徵連接片段之同調性成對樣本 T 檢定結果	66
表 4-2-11 第三頁「壓力和體積關係」與第五頁體積和溫度的關係體積和溫度的關係」 之微觀表徵片段同調性成對樣本 T 檢定結果	70
表 4-2-12 第三頁「壓力和體積關係」與第五頁「體積和溫度的關係」之微觀和符號表 徵連接片段同調性成對樣本 T 檢定結果	73
表 4-2-13 第五頁「體積和溫度的關係」與第七頁「莫耳數和體積的關係」之微觀表徵 片段同調性成對樣本 T 檢定結果	76
表 4-2-14 第五頁「體積和溫度的關係」與第七頁「莫耳數和體積的關係」之微觀和符	

號表徵連接片段同調性成對樣本 T 檢定結果-----	79
表 4-2-15 第八頁「壓力、體積和莫耳數關係」與第十頁「體積、溫度和莫耳數關係」 之微觀表徵片段同調性成對樣本 T 檢定結果-----	82
表 4-2-16 第八頁「壓力、體積和莫耳數關係」與第十頁「體積、溫度和莫耳數關係」 之微觀和圖表表徵連接片段同調性成對樣本 T 檢定結果-----	84
表 4-2-17 不同概念頁面之同調性差異腦波區域表-----	88



圖目錄

圖 2-1-1 : Johnstone(1991,1993)的思考層次-----	7
圖 2-1-2 : Rappoport & Ashkenazi (2008)的思考層次-----	8
圖 2-1-3 : 科學概念表徵的分類樹-----	9
圖 2-1-4 : 化學概念之思考層次模型-----	9
圖 2-2-1 : 問題解決的認知心理學定義-----	11
圖 2-2-2 : 問題空間之捷思法-----	13
圖 2-3-1 : 多媒體學習認知理論-----	16
圖 2-3-2 : 工作記憶理論-----	17
圖 2-4-1 視覺訊息處理路徑-----	21
圖 2-4-2 語音訊息處理路徑-----	21
圖 2-4-3 注意力網絡系統-----	22
圖 3-2-1 實驗流程圖-----	24
圖 3-3-1 研究流程圖-----	26
圖 3-4-1 SynAmps ² -----	29
圖 3-5-1 巨觀現象及微觀運動之動畫頁面-----	31
圖 3-5-2 巨觀現象及微觀運動之模擬頁面-----	31
圖 3-5-3 理想氣體方程式之公式推導動畫頁面-----	31
圖 3-5-4 微觀分子運動及公式應用之動畫頁面-----	32
圖 3-5-5 微觀分子運動及公式應用之模擬頁面-----	32
圖 3-5-6 微觀分子運動及圖表之動畫頁面-----	32
圖 3-5-7 微觀分子運動及圖表之模擬頁面-----	33



第一章 緒論

第一節 研究背景和研究動機

學生的科學概念建構之所以困難，可能因著學生對日常生活中現象之直覺的想法，或因為科學概念是微觀的、抽象的、動態的，或者它的概念階層性高，學生無法統整連結整個概念 (She, 2002; Osborne & Freaberg, 1985; Driver, 1989; Brook et al., 1984; Gabel et al., 1987)。根據 Johnstone (1991, 1993) 提出的表徵，可分為巨觀、微觀和符號，而微觀和符號都屬於抽象的層次，是學生平常不會去思考的層次，故微觀和符號對學生而言都很困難。Rappoport & Ashkenazi (2008) 認同 Johnstone (1991, 1993) 的三種表徵，但不認為微觀和符號屬於同一個層次。他的研究發現，學生更容易將符號和巨觀經驗合併使用，唯有能連結微觀才能有完整的科學概念。

化學課程中包含許多關於分子結構的單元，Ferk et al. (2003) 在化學分子的表徵研究上發現，大學生及中學生都較易理解實體模型、實體模型圖片或電腦 3D 模擬圖片，較不易理解其他 2D 的分子圖形。所以，研究者嘗試以多媒體認知負荷的觀點來解釋，由於較具體的視覺影像因為降低學生形象化時的認知負荷，使學生在接收較具體的視覺影像後對建構認知有較好的成效 (Burewicz & Miranowicz, 2001; Ferk et al., 2003)。除了語文及圖片，在科學的表徵中還有圖表、數學算式等。同一概念下，當問題由不同表徵表示，例如在題目的選項上用符號呈現或圖表呈現，學生的解決成效可能不同 (Meltzer, 2005)，表示當學生不了解另一表徵，事實上很可能未完全了解此概念。當學生想利用不同表徵解釋同一現象時，論述的過程即可能自我矛盾，此時為同一概念中的各表徵未能連結，學生可能使用較信任的表徵，推翻對另一表徵的正確概念，因此，未完成概念建構 (Rappoport & Ashkenazi, 2008)。因此我們可知同一概念下，不同表徵的理解、表徵間的連結，都影響學生問題解決的成效，而是否能在表徵間順利轉換，也顯示出學生是否了解整個科學概念。

在心理學及醫學的研究中，腦波圖 (EEG) 是很常用的研究工具，近期已有研究者將

它用於科學教育的研究上。腦波儀是利用檢測到的大腦皮質電位差，推測出大腦各區域活化的程度，來判斷受試者大腦運作的情形。將腦波圖用來檢測科學學習的過程，是相當創新的方法，本研究希望藉腦波圖能對學生在問題解決的過程中，使用的心智表徵與腦部運作的關聯性上有新的發現。

第二節 研究目的

化學概念是微觀的，學生難以理解微觀表徵，更無法連結至巨觀現象、符號或實驗得到的圖表，整合整個概念，故學生在化學學習困難（She, 2002; Osborne & Freaberg, 1985; Driver, 1989; Brook et al., 1984; Gabel et al., 1987）。本研究有鑑於此，設計表徵連結的課程，幫助學生理解微觀分子運動的現象，並幫助學生作微觀與其他表徵（巨觀經驗、符號和圖表）間的連結，以建構完整化學概念，進而提昇問題解決的成效。同時，我們好奇學生在進行表徵轉換學習時，認知歷程為何，大腦的活動為何。所以本研究參考文獻的研究結果與理論，使用腦波儀，記錄學生進行促進表徵轉換課程學習時腦波的活動現象，探討腦波訊息與認知歷程的相關性。

第三節 研究問題與研究假設

基於文獻探討及前述研究動機目的，本研究的研究問題與研究假設如下：

一、表徵連接的學習課程，對學生概念建構的影響為何？

1-1 學生在表徵連接的課程學習後，學生概念建構達顯著差異。

二、表徵連接的學習課程，對學生問題解決的影響為何？

2-1 學生在表徵連接的課程學習後，學生問題解決的影響達顯著差異。

三、學生在【微觀和符號】及【微觀和圖表】的表徵連接學習歷程中，腦波有何差異？

3-1 學生在學習不同表徵（微觀表徵、微觀和符號表徵、微觀和圖表表徵）之課程片段時的腦波類型與功率強度有差異。

3-2 學生在不同概念之課程頁面學習時的腦波類型與功率強度有差異。

3-3 學生在學習不同表徵（微觀表徵、微觀和符號表徵、微觀和圖表表徵）之課程片段時的功率強度與同調性有關聯。

第四節 名詞釋義

- 一、表徵：表徵是一個媒介物，用以傳達想讓人了解的事物，它可能為圖像、文字、語言等（Perner, 1991）。
- 二、心智表徵：以命題、視覺影像或心智模型等表達，即可用語言、圖像與各種方式表達出大腦中的概念知識，不一定具有操弄性（Perner, 1991）。
- 三、表徵連接（representation connect）：使表徵間能順利轉換或並用(Rappoport & Ashkenazi, 2008)。
- 四、腦波圖（electroencephalogram, EEG）：在測量 EEG 時，在頭皮表面的各個區域要放上電極，以記錄不同腦區的電位差，推測出腦的活動。雖然記錄到的訊息無法準確的反映某個特定區域細胞的活動，但可以顯示出時間上的變化(Sewards & Sewards, 1999)。
- 五、事件關聯電位（event related potentials, ERPs）：為一個刺激事件引起的電位差。要找出電位變化與某個事件之關的關連，必須多次平均腦波圖波以抵消掉與事件無關的電位活動，跟事件相關的電位差（大腦活動）在時間上的變化，最後，波形會顯示出與電位活動在時間上變化有關的特別高峰，但只對於該電位活動的位置能提供粗略的訊息（受限於頭皮表面上電極的放置方式）（Sternberg, 2003, p.39）。
- 六、 α 波（Alpha waves）：頻率為 8~13Hz 的腦波，被認為與注意力有關，為抑制分心的機制(Ward, 2003)。
- 七、 β 波(Beta waves)：頻率為 15~25Hz 的腦波，被認為與視覺有關(Sewards & Sewards, 1999)。
- 八、 γ 波（gamma waves）：頻率為 30~70Hz 的腦波，被認為與記憶有關，為連結腦區的機制(Ward, 2003)。

九、 θ 波 (theta waves)：頻率為 3.5~7Hz 的腦波，被認為與記憶有關，會與 γ 波相互影響(Ward, 2003)。

十、大腦皮質 (Cerebral Cortex)：大腦由一外層之大腦皮質(2~4 毫米灰質構成)及基層的白質組成。大腦皮質有許多摺及溝，稱為腦回 (convolution)，升起的部份叫做回(gyri)，凹下的部份稱為溝(sulci)。每一大腦半球又由深溝或稱裂 (fissure) 進一步分成五葉,這五葉包括四葉表面可見的額葉(frontal)、頂葉(parietal)、顳葉(temporal)及枕葉(occipital)，較深層的島葉 (insula) 則被額葉、頂葉及顳葉部份所覆蓋 (Fox, 2002)。

十一、 額葉 (frontal lobe)：控制骨骼肌的隨意運動；人格特性；高等智慧處理；語言溝通 (Fox, 2002)。

十二、 頂葉 (parietal lobe)：本體感覺的詮釋，可讓人了解的言語，形成字彙以表達想法及情感；物質材料及形狀的詮釋 (Fox, 2002)。

十三、 顳葉 (temporal lobe)：聽覺詮釋；視覺及聽覺經驗的儲存 (記憶)(Fox, 2002)。

十四、 枕葉 (occipital lobe)：整合眼球對焦的動作；將視覺影像與之前的視覺經驗及其他感覺刺激互相連貫；視覺認知意識 (Fox, 2002)。

十五、 同調性 (coherence)：標準化的交叉相關 (cross-correlation) 分析，可提供大腦不同區域之間合作的訊息，同調性藉由某些方式所呈現的電位關係，來反映各腦區間功能上的關聯性 (Jaušvec & Jaušvec, 2000)。

十六、 理想氣體模型：假設氣體分子為除了在絕對零度外，不停運動的質點。分子質點間沒有任何作用力，且分子體積非常小，可以忽略所占空間。氣體裝在一定體積容器中，這些分子質點，在碰撞之前可任意向各方向做直線運動，碰到器壁時，完全反彈回去，能量沒有損失，速度沒有改變，對器壁而言，就施予一力，這所受力的和大小和二個因素有關：

(1) 分子質點撞擊器壁的平均速度；

(2) 分子質點撞擊器壁的頻率。(國立編譯館，1987，p.61)

十七、 分子運動學說（分子動力論）：將實驗為基礎得到的氣體各種定律，以分子質點模型理論的微觀探討，稱為分子運動學說。

（1）體積和壓力的成比關係（波以耳定律）：氣體體積縮小時，因分子質點在較小的體積中，所以分子向器壁碰撞的次數增加，其結果就是壓力的增加

（2）體積和絕對溫度的正比關係（查理定律）：溫度增高，分子質點的運動速率增加，若壓力不變其結果就是體積膨脹，因分子的動能和絕對溫度成正比，所以氣體的體積亦與絕對溫度成正比。（國立編譯館，1987，p.63）

第五節 研究範圍與限制

本研究的受試者為新竹和彰化兩所高中的 83 位高二學生，收集其中新竹的 23 位學生腦波資料，不具有全國高中學生的代表性，因此研究結果的推論有其限制性，不宜做廣泛或大樣本的推論。且概念建構內容設計僅針對理想氣體模型單元，研究結果若要推論到其他概念時，尚需謹慎衡量。



第二章 文獻探討

本章將依序針對表徵、問題解決、腦波圖應用於科學學習等三個與本研究相關議題進行分析探討。

第一節 表徵

(1) 表徵的定義

表徵是一個媒介物，用以傳達想讓人了解的事物，它可能為圖像、文字、語言等 (Perner, 1991)。但想表達的事實介於媒介物之間，仍有一段距離，Perner (1991)就認為表徵有四個特徵:1.不對等的 (Asymmetry):表徵只能表達某一面，不能代表全部的內容；2.專一的 (Singularity):表徵只能表達當下要表達的事物，不能表徵相似物。3.不實的陳述 (Misrepresentation):任何表徵都有誤導的可能性。4.不存在 (Nonexistence):表徵可以表達不存在的事物，例如假設性的公式。所以，當教師表徵的知識與教師腦的事物不對等，使學生實際接收到的訊息並非教師原本想表達的訊息，而產生另有概念。

表徵為表達出來的訊息，當我們將一件事物呈現在腦中時的圖像或其他形式的文字符號。在古典知識論中，哲學家區分出兩種類型的知識結構，其一為陳述性知識，陳述性知識即為可被陳述的事實，包含命題 (proposition) 及心像 (imagery) (Sternberg, 2003)。命題為概念間關係最小的單位，由一個述詞和一個或多個論點組成，相關的命題在記憶中會連結在一起，形成命題網路。心像為以知覺為基礎的表徵形式，可部份保留原始訊息的知覺架構，建構心像就像建構一個視覺影像，因此可進行對它的心智旋轉或排列等操作。除了命題和心像外，Johnson-Laird (1983)提出心智模式 (mental models) 的概念，為另一種知識表徵的方式。他認為我們藉由對外在事物的內在心智複製，來理解這個世界，所以我們的頭腦本質上即是一台能被塑造 (model-building) 的電腦。Pitt (2004)也在史丹佛心理百科全書裡談到，心理學者認為人腦就像一種電腦，心智的運作就像是電腦的計算，因此常將「心智表徵理論」(Representational Theory of Mind, RTM) 一詞替換為「心智計算理論」(Computational Theory of Mind, CTM)，雖然仍然有許多心理學家

認為並不存在有可估量的心智實體，但若假設它存在，心智表徵就包含想法、概念、認知、主意、印象、意圖、規則、圖像、幻想……等。

(2) 科學表徵

除了語文及圖片，在科學的表徵中還有圖表、數學算式等 (Meltzer, 2005)。許多教學教育研究者認為表徵分為三種：巨觀、微觀及符號(Johnstone,1991; Chittleborough & Treagust, 2007; Chandrasegaran et al., 2007)。而 Johnstone(1991,1993)認為學生對事物不熟悉，且在工作記憶中已超越他們能連想到的事物，為抽象事物與具體事物的區別。所以他認為平日所見所聞的經驗為巨觀的，屬「具體層次」；而符號及微觀的事物為「抽象層次」，可形成三角圖形(如圖 2-1-1)。Chandrasegaran (2007)認同 Johnstone(1991, 1993)的表徵分類，並認為中學教師未能在教學中結合三種表徵，使學生沒有能力連結三個層次的表徵。Chittleborough & Treagust (2007)也認同 Johnstone(1991, 1993)的理論，且認為建模能力非天生的，而是能透過技巧學習的。每個學生在表徵上的建模能力需靠教師的教學指示和學生的實務練習。當建模技巧提昇，也能相對提昇學生對化學概念間相關性的理解。

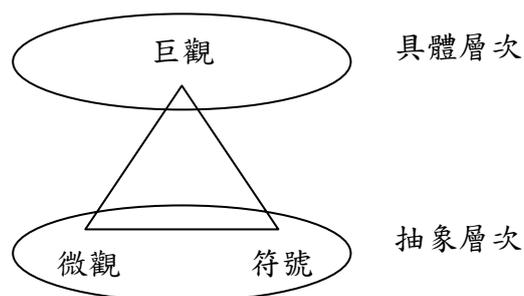


圖 2-1-1：Johnstone(1991,1993)的「思考的層次」

相較於 Johnstone 對三種表徵的具體和抽象分類，Rappoport & Ashkenazi (2008)基於系統複雜觀將巨觀和符號分為「系統層次」，而微觀為「組成層次」(如圖 2-1-2)。系統複雜觀強調同個物質的微觀行為或特質是很難理解的，因為往往和巨觀的不同；微觀不會繼承巨觀的變因，但那些變因常造成物質的反應。而符號能表徵巨觀和微觀的現象，

無法由複雜觀區別。但若是邏輯性的問題解決，那符號較能連結或表達可觀察的物質變因，而較少表達微觀物質的變因。

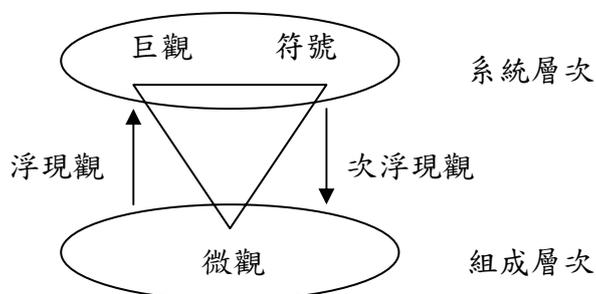


圖 2-1-2：Rappoport & Ashkenazi (2008)的思考層次

Rappoport & Ashkenazi (2008)經由訪談大學在學生、大學畢業生及學科專業的研究所生，分析出科學概念表徵的分類樹（如圖 2-1-3），呼應將巨觀、符號、微觀分成的系統層次及組成層次的。樹是由上而下發展，較左邊的概念是較接近科學觀的。第一個分支為「系統層次」及「連接系統層次和組成層次」，存在於系統層次的學生只能聚焦於公式上變因的關係，或巨觀操作後，狀態的改變；而存在於連接系統層次和組成層次的學生，能理解三種表徵模式，在講解時轉換使用的表徵。「連接系統層次和組成層次」下的分支為「浮現觀」(emergent perspective) 及「次浮現觀」(submergent perspective)，存在於次浮現觀類別的學生，會將巨觀經驗投射至微觀的粒子，給予微觀粒子與巨觀物質相同的變因（特性），或者更高階的，除了具有系統層次的能力（將巨觀事物與符號連結）且了解微觀粒子的特性，卻無法將三者的關係連結，導致推理時自我矛盾；存在於浮現觀類別的學生，即為能統整三種表徵模式，且推理時能並用無礙。

Penner (2000)認為學生要先理解以下三點，才可能有浮現觀：(1) 認清影響系統並非只有單一因素；(2) 區分微觀和巨觀；(3) 理解在微觀層面的小改變，有可能造成巨觀層面大影響。

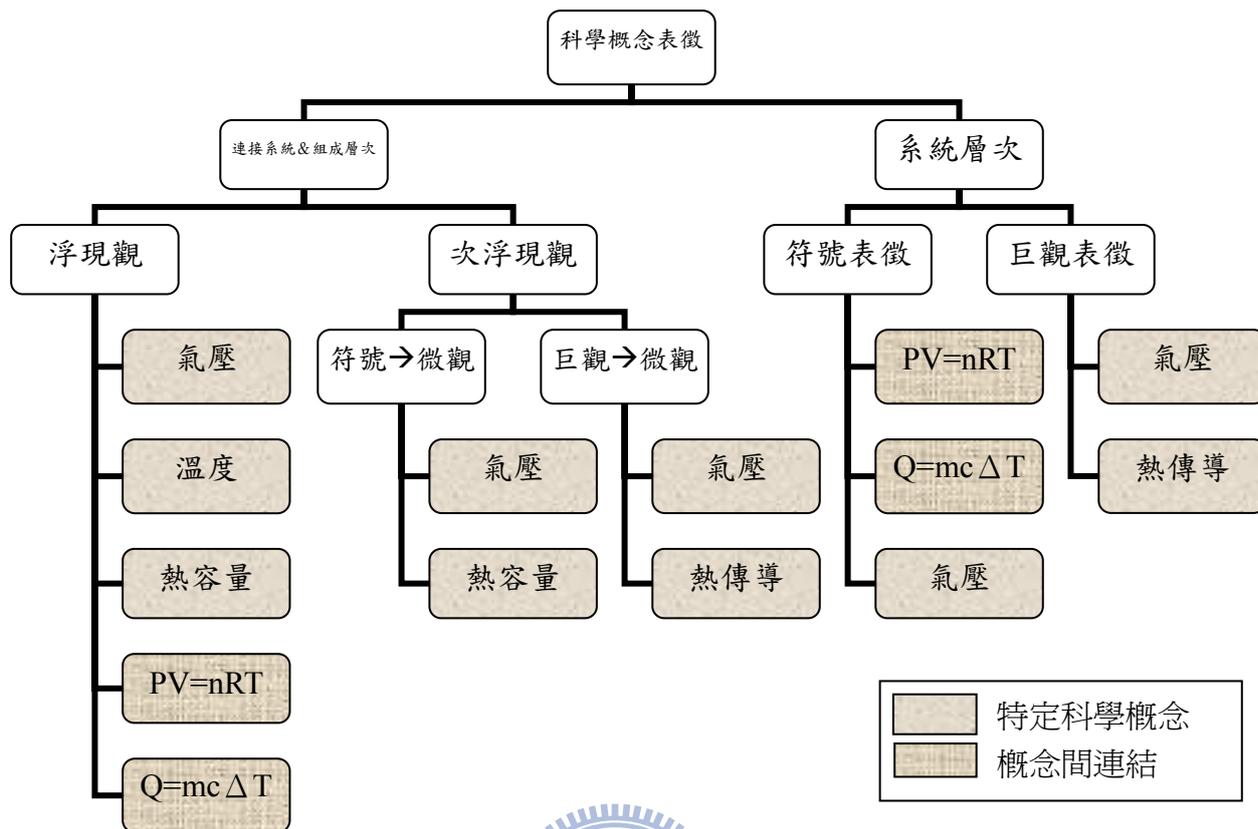


圖 2-1-3：科學概念表徵的分類樹 (Rappoport & Ashkenazi, 2008)

Rappoport & Ashkenazi (2008)的研究結果顯示與 Johnstone 的理論不符，學生較易將符號與巨觀表徵並用，而有別於微觀表徵。符號和巨觀表徵皆為思考的目標，端看學生能否由符號連接至微觀或巨觀連接至微觀。Rappoport & Ashkenazi (2008)推論大學生不同的認知發展程式，可能使他們較易使用符號表徵。

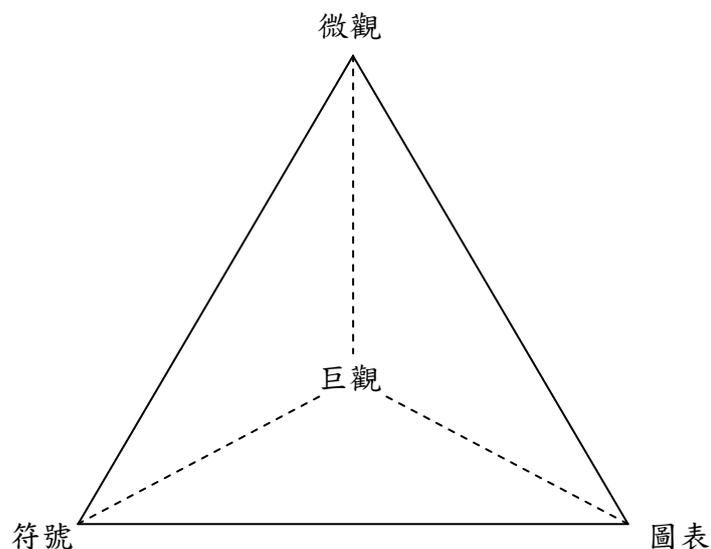


圖 2-1-4：化學概念之思考層次模型

本研究之研究者贊同 Johnstone (1991, 1993)的多階層思考(multilevel thought)：建構化學知識需包含巨觀、微觀及符號三角頂立支撐；也贊同 Rappoport & Ashkenazi (2008)提出的思考層次：微觀為最困難的層次。因此研究者修改 Johnstone(1991)和 Rappoport & Ashkenazi (2008)的思考層次模型，為包含微觀、巨觀、符號和圖表之正四面體的化學思考層次模型（圖 2-1-4）。微觀立於四面體最上面的頂點，其他三者支撐在下方，因為微觀為學生最難理解，也最難連結至其他層次的表徵。每個表徵間皆具有連結線，當學生能結合兩種表徵的概念時，即表示兩表徵間形成連結線，概念能在兩表徵間轉換。當結合三種表徵時，即表示形成的面狀化學概念，而能連接至微觀頂點之面的層次，又較底面（巨觀、符號、圖表）的層次為高。但唯有四種表徵之轉換能力者，也就是接起三個面，才能形成三維的化學知識觀。在本研究的表徵連接的課程設計中，即以微觀表徵結合其他巨觀、符號及圖表三種表徵，幫助學生順利進行表徵轉換，而促進化學概念學習。



第二節 問題解決

(1) 問題解決的定義

問題解決是人類生活中的重要歷程，許多學者認為人類在面對問題及解決問題是屬於一連串複雜的心智過程，許多的專家及學者都嘗試將問題解決的過程具體化。

在認知心理學中，心理學家對「問題」的定義是，它本身具有某些困難，有解決的方式卻是不明確的。如Lovett (2002)提出，問題會發生在某個狀態與目標狀態之間出現障礙時，達成目標狀態的方法不是顯而易見的，而Bransford & Stein (1984)認為問題會出現在任何與目標狀態不同狀態的情況。完形心理學家認為，問題解決就是（1）問題是如何存在人們的心智？（2）如何解決問題？包括如何重組(restructuring)他們的陳述（Goldstein, 2005, p.388）。Dewey(1910)在「How we think」一書中就已經仔細的分析過我們在處理問題時的心智活動。他認為當人們在感受到一個目標或遇到一個阻礙時，問題就「產生」了。問題的存在與否，是主觀的認知與感受；對知識經驗差的人是問題，

對知識經驗豐富的人未必是問題；對有所追求者是問題，對無所求者就未必是問題。（洪文東，2000；洪文東和李震甌，2001；張春興，1996）。

根據 Jonassen (1997) 的描述，一個問題由問題的領域、類型、解決的過程及解答來定義。問題的領域包含定義問題的條件、概念、規則及定理；問題的類型描述概念和規則以解決問題，例如：化學的氧化反應是能以相似方法解決的一種問題型式；問題解決的過程就視解決者對問題的理解力及觀點，包括對問題及目標答案的定義；而解答為解決者對目標答案的表現，答案可能是收斂的，是唯一的答案或大家熟悉的解法，也可能是發散的，只是可能的解決方式之一。

問題有三個普遍特徵：(1) 初始狀態 (initial state)：即問題條件的描述。(2) 目標狀態 (goal state)：問題要求的答案。(3) 障礙：從初始狀態轉換到目標狀態的步驟不明顯。（王甦和汪安聖，2001；Sternberg, 2003）。問題產生後，接下來便是如何解決的過程。從認知心理學的角度來說，人們的問題解決可被看成是應用心理運作器 (operators) 所產生的知識狀態，從初始知識狀態 (initial state) 移到目標狀態 (goal state)。對任何問題來說，從初始狀態到目標狀態，都有許多替代的路徑存在；這些狀態的總集由合法的運作器 (operators) 所產生，可以用來解決問題的所有可能行動的組合被稱為基本問題空間 (problem-space)。（李素卿譯，2003；Sternberg, 2003; Newell, 1990; Newell & Simon, 1972; Simon, 1978; Anderson, 2000）。如圖 2-2-1 所示：

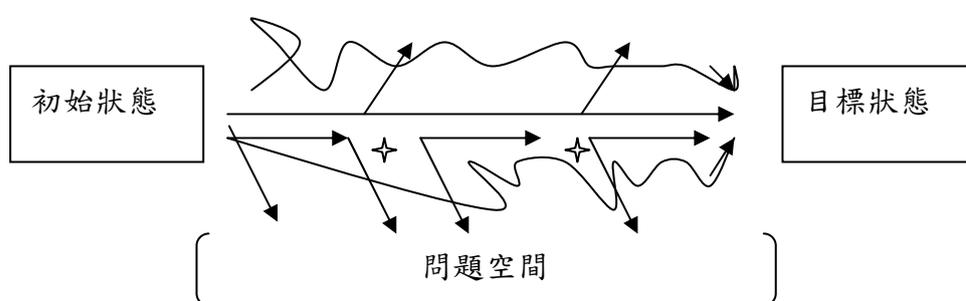


圖 2-2-1：問題解決的認知心理學定義

Kahney (1986)則除了以認知的心理活動過程來界定「問題解決」之外，特別提出情境的限制條件。他認為問題解決是個體在某些情境的需求下，利用已學過的知識、技能，以獲得答案的過程。(Gagne', 1985)也提出問題解決是個體將已學過的概念與當下的規劃加以組合，用來做為解決某一問題的過程。所以在問題空間 (problem-space) 裡，個體須對原有的知識架構做搜索，找出已知的部份，提出未知部份，這些步驟會有同化及調適的歷程產生。(游文颯與佘曉清，2006)。

人們到底如何在問題空間中找出路徑，從初始狀態移至目標狀態呢？Newell 和 Simon (1972) 提出人類是使用心理捷徑來解決問題。這些心理捷徑稱捷思法 (heuristics)。使用自己的知識和各式各樣的捷思法來搜尋整個問題空間，並且找出從初始狀態通往目標狀態的路徑，就是問題解決。如果人們的長期記憶能儲存幾個可以用來解決各種問題的簡單捷思法，就可以減少工作記憶區的容量負擔。(李素卿譯，2003；Sternberg, 2003)。

捷思法有那些呢？以下說明四種方法：

1. 手段-目標分析 (means-ends analysis)，注意目前狀態與目標狀態的差異，創造一個次要目標，以減少這種差異，選擇一個可以解決這個次要目標的運作器。
2. 前向運作 (working forward)：以從初始狀態朝向目標狀態的解決方式。
3. 反向運作 (working backward)：從目標狀態開始，反向初始狀態方向運作。
4. 產出和測試 (generate & testing)：想出不同的方法，一個一個方法嘗試，那一個方法可以有效解決問題 (圖 2-2-2)。(李素卿譯，2003；Sternberg, 2003; Solso, 2005)。

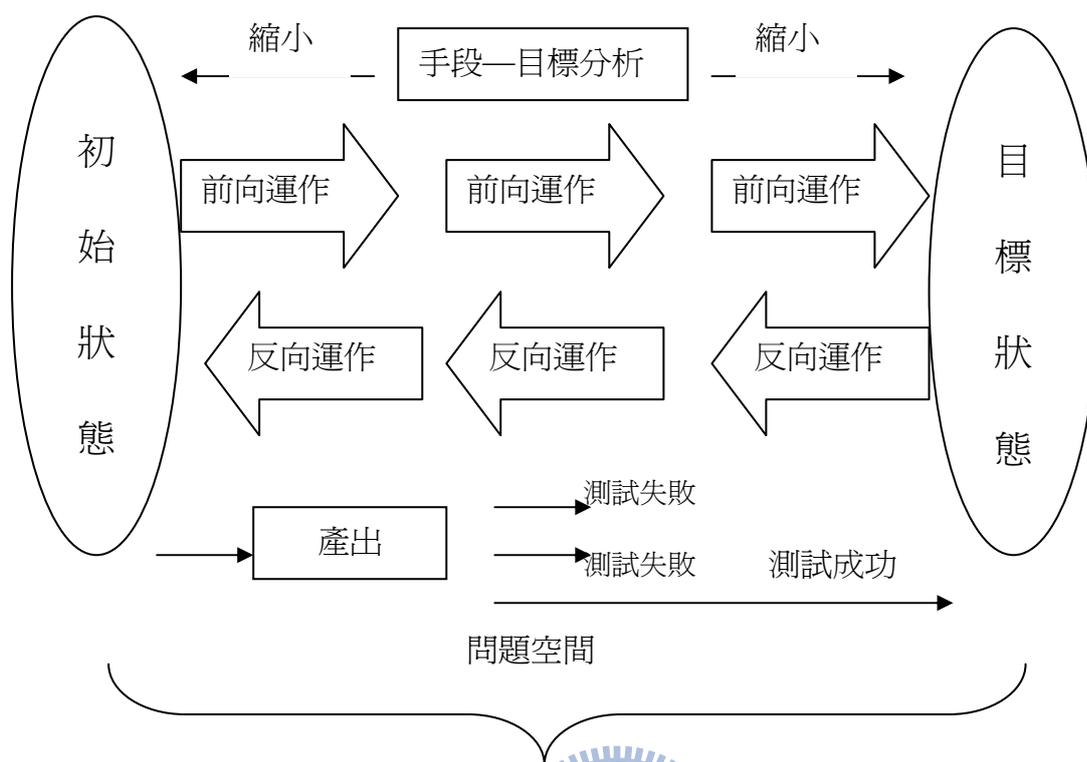


圖 2-2-2：問題空間之捷思法 (Sternberg, 2003)

由上述的定義，科學問題可分為兩類：結構式問題及非結構式問題。結構式問題在學校教育中最常被使用，像課本後的練習題就是結構式的問題，它在有限的情境下要學習者應用概念、規則，所以結構式問題的條件如下 (Jonassen, 1997)：在問題內陳述所有的條件，讓學習者能從題目中看出可能的答案；規則或定理在有限制情況下的應用；包含的概念及規則都是在領域知識裡規律的、良好組織的、可預測的；具備正確的、匯聚的答案；具有可知的、可理解的答案；有偏好的、被規定的解決路徑。

杜威 (1910) 提出問題解決的步驟為，遭遇問題、分析問題、形成假設、形成方法及確認方法是否可行 (引自游文楓與余曉清, 2006)。結構式問題解決的常用模式包含四個步驟 (Bransford, 1984; Bransford & Stein, 1983; Newell & Simon, 1972)：1.描述問題，2.搜尋解決方式，3.執行解決方式(引自 Shin, Jonassen, & McGee, 2003)。

相較結構式問題，非結構式問題的條件如下 (Shin, Jonassen, & McGee, 2003)：未呈現問題所需設立的條件；題目中未具有明確的約束條件或是特定目標要達成；題目的

解答方式不只一個，甚至是沒有一定的標準答案，並且要從多個面向評估學生的答案；題目中並沒有特定要依循的原理及原則用來解題；沒有特定規則或前例可循，問題通常需要學生做判斷，或是依照個人經驗及信念對題目進行闡述。

Jonassen (1997)提出非結構性的問題解決步驟：1.陳述問題情境，2.區分各種立場，3.形成可能的解決方法，4.藉討論及陳述個人信念，評量解決方法的可行性，5.監控問題情境和解決方法，執行並監控解決方法，6.使解決方法更完善。而吳清山（2001）提出教師在過程中，應扮演激勵者和觀察者的角色：1.教師確認或設計一個缺乏結構性的問題，2.呈現問題給學生，3.學生分組討論，4.教師觀察學生討論，5.小組提出建議解決方案。

在 PISA 測驗中採用的是屬於非結構性問題，問題分為三種型態：做決定型問題、分析和設計型問題、解決麻煩型（trouble shooting）問題。做決定型問題：學生需要了解整個問題的情境，包括數種可能的途徑，及可能的限制，然後做決定並達到要求的限制；分析和設計型問題：學生需要分析整個複雜的情境以了解整個系統的邏輯性，才能設計出達到目標的方法，或從問題的背景關係中得到更多資訊；解決麻煩型問題：學生需要理解系統的主要特徵，然後診斷其不完美處。解決麻煩型任務跟做決定型和設計型問題很不一樣，它不需要選擇最好的方法，或設計一個系統以滿足需要，它需要了解整個系統要如何運作或如何進行。

在本研究中，因為想探究學生在問題解決的歷程中，表徵使用的情形，以及想了解經由表徵連接的教學，學生是否能提昇科學概念表徵的層次，所以採用有標準答案的結構式問題，分析學生在問題空間（由初使狀態到目標狀態）的歷程。

（2）化學問題解決

科學問題解決中，在不同學科下的解決歷程可能不同，本研究採用的是化學學科。在化學問題中可分為兩種：算數的（algorithmic）和概念的（conceptual），在化學教學上，應要讓學生能理解及解決兩種類型的題目能力（Mason, Shell, & Crawley, 1997）。

Reif (1987)指出新手在問題解決時通常依賴不正規的方式，他們自動提取長期記憶區的概念（引自 Ardac, 2002），大部份學生在解難以理解的問題時，會用直覺的和片斷的知識（Noh & Scharmann, 1997）。許多研究證據顯示，正確答對化學題目時，可能並沒有真正了解化學(Nakhleh, 1993; Nakhleh & Mitchell, 1993)，而且，解決數值的化學問題不代表已經理解至分子層次（Niaz & Robinson, 1992; Ardac, 2002）。Ardac (2002)的研究發現，學生在問題解決過程中，使用題目中的表面特點做為解題方向，顯示出新手的行為，他們依靠指定情況的一些特點，與可利用的知識片斷連結。在簡單的問題（low-demand problem）中，他們能與數學連結，而有好成績；當他們必須連結題目的情況與可用的知識架構片斷時，成績略差；而當他們必須使用現有知識架構中的新解題策略時，就會顯現出錯的答案，因為他們使用自我推出的規則。

學生在學校常受到許多解題策略的教學，以有效率的解決難度深淺的（high and low Metal-demand）化學問題。這些策略可以應付需要操作方程式及公式而不需理解概念的題目，但當他們遇到新奇的題目，需要廣泛的概念知識時，他們的策略就不管用了（BouJaoude (2004)）。Chiu (2001)的研究結果指出，學生在解算數型問題的表現優於在概念理解上的表現，這點於其他類似研究的結果有一致性，但她發現具高解題成就而低概念理解者並不多，大部份的學生不僅能解算數型的問題，同時他們也擁有正確的化學概念，這和 BouJaoude (2004)的研究結果不一致。

本研究之多重表徵之問題解決以學生熟悉的化學課程為背景，在解決化學問題時，學生必須能靈活運用所學過的化學概念或運算技巧，也就是要能連接巨觀、微觀及符號表徵的能力。我們不分析學生問題解決的步驟，我們關心的是學生採用表達的表徵、使用表徵的能力，以及最終是否能完成研究者設定的目標狀態。

第三節 多媒體學習認知理論

目前已經有不少教學中使用的表徵研究，多數探討怎樣的表徵能增進學生學習的成效，抑或干擾學生學習。Paivio (1986)發表了雙重編碼理論 (dual coding theory)，他認為處理視覺資訊及語文資訊是由工作記憶中的兩個獨立的系統。Mayer & Moreno (2003)根據雙重編碼理論研究，又提出了多媒體學習認知理論 (cognitive theory of multimedia learning)，這個理論有三個假設，一、雙重渠道 (dual channel)：人們有分開的資訊處理渠道，視覺和語文；二、有限的容積 (limited capacity)：進入兩個資訊處理渠道的視覺、語文資訊是有限的；三、主動處理 (active processing)：有意義的學習需要真實且大量的在視覺和語文渠道上作認知處理。所以他在多媒體認知理論中，認為語文可由耳朵或眼睛接收訊息，而圖像由眼睛接收，進入到工作記憶後，再經由感官記憶將影像組織為影像模式，將聲音組織成語文模式，最後語文的心智模式和圖形的心智模式在工作記憶整合為長期記憶中的先備知識 (圖 2-3-1)。他提出認知負荷來說明過多的表徵會讓工作記憶區的工作量超過負荷，反而干擾學習成效，且學生的認知負荷是在多媒體教學設計中最需要考慮的事。

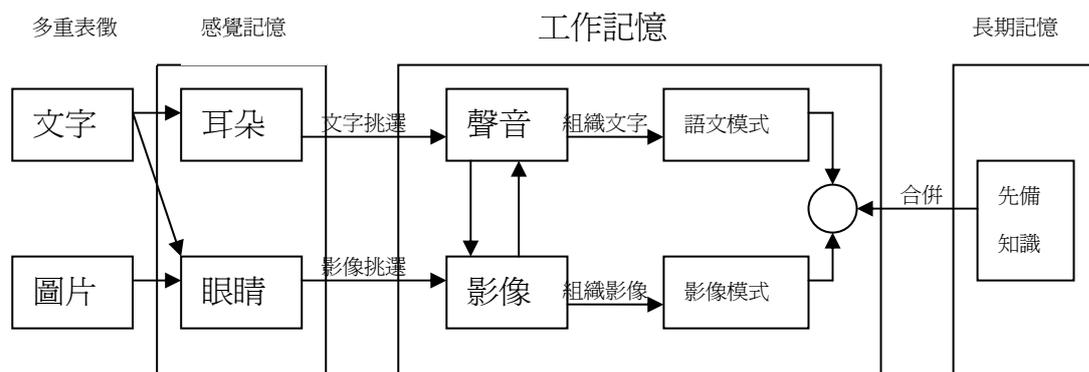


圖 2-3-1：多媒體學習認知理論 (修改自 Mayer & Moreno, 2003)

Baddeley (2002)的工作記憶理論包含語音迴路(phonological loop)和視覺空間模板 (visual-spatial sketchpad) (如圖 2-3-2)。影像訊息進入視覺空間模板，語言和文字訊息會進入語音迴路，訊息進入此獨立的兩個通道後，會傳送至中央執行器(central

executive)，經由中央執行器分配腦資源，除了視覺空間模板和語音迴路外，還有緩衝區域(episodic buffer)，當視覺訊息或語文訊息過多時，訊息會進入緩衝區，因此這三個區域的空間是可動的。處理訊息中會與長期記憶區的訊息連結或互動，最後所有訊息也可能儲存於長期記憶區。

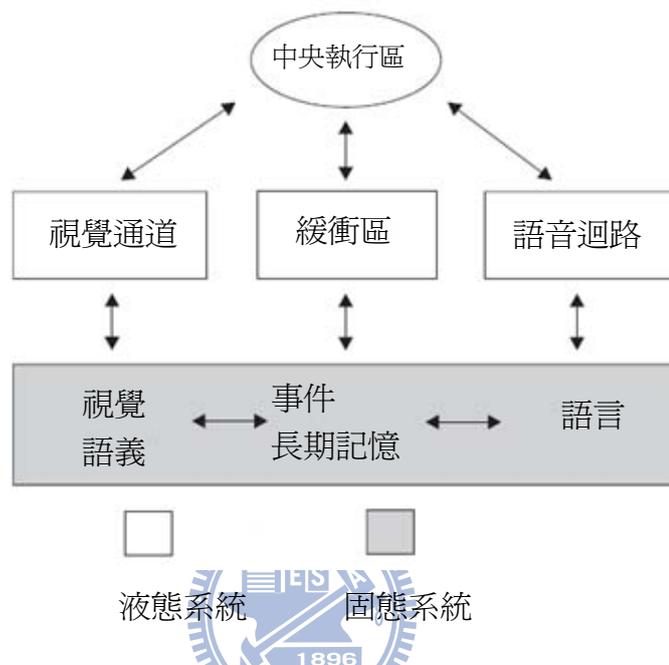


圖 2-3-2：工作記憶理論 (Baddeley, 2002)

綜合 Mayer & Moreno (2003)和 Baddeley (2002)的理論，我們可以知道語文訊息和視覺訊息皆有各自的空間，當一個概念用兩種表徵表達時，就是開啟兩個通道的空間，因為還有緩衝區域可運用，所以空間是有彈性的。但空間還是有限制的，所以仍需注意避免訊息過多，超過認知負荷。Cook (2006)概述教學時使用表徵應有的考量中提到，使用雙重表徵教學比單一表徵教學好，因為可以提升工作記憶區的容積；在表達語文訊息時，使用講述法較使用書寫法好，因為可以減少視覺注意力的競爭；教學上的引導可幫助學生建構概念，因為將建構基模時需要的認知負荷降至最低。Ferk et al. (2003)在化學分子的表徵研究上發現，大學生及中學生都較易理解實體模型、實體模型圖片或電腦 3D 模擬圖片，較不易理解其他 2D 的分子圖形。所以，若以多媒體認知理論來說明，就是由於較具體的視覺影像可以降低學生的認知負荷，使學生在接收較具體的視覺影像後對建構認知有較好的成效。

本研究的多媒體課程包含語音和視覺訊息，且同步配合顯示。陳怡仁（2007）研究發現動畫適合搭配語音，而模擬適合搭配文字，故本研究中的動畫即搭配語音，因考慮化學課程需較大的認知負荷，所以仍顯示部份文字符號表徵，以減少認知負荷；而模擬操作即搭配文字說明。Johnstone (1991)也認為，課堂上教師若在表徵間快速轉換，會使學生的工作記憶區超過負荷，所以本研究的電腦多媒體將微觀表徵變成可見的具體影像動畫，學生也能按部就班的依序由巨觀現象至微觀，再由微觀推至符號表徵的公式及圖表表徵的學習，而模擬操作時學生即能自行控制學習時間，達到適性學習的目的。

第四節 腦波圖(EEG)在認知的應用

我們如何認定腦的歷程與認知歷程相關？且知道腦的歷程如何引起認知歷程？Ward (2003)從兩方面說明：首先，要從解剖學描述腦區的功能，當操作特定認知任務時，哪個腦區會增加活動，通常使用的儀器為 PET 和 fMRI，會在任務的起點存取腦區活化的影像。但認知歷程並非靜止的，而是動態的，即使是最單純的知覺、記憶或決定，都是時間性的歷程。當我們認為腦的活動和認知活動相關時，是在描述認知任務表現的一連串腦區活化。這樣的方法是有限制的，因為我們無法描述這些活化區的經歷細節。另一個較合適的方法是使用 EEG 嘗試描述腦波如何活動，在測量 EEG 時，在頭皮表面的各個區域要放上電極，以記錄不同腦區的電位差，推測出腦的活動。所以記錄到的訊息無法準確的反映某個特定區域細胞的活動，但可以顯示出時間上的變化。例如，睡眠中的腦波圖可以顯示出整個大腦電位的變化，在做夢時和深度睡眠時不同。應用 EEG 可以進一步找出電位變化與某個事件之關的關連，稱為事件關連電位(Event-Related Potential, ERP)藉由多次平均腦波圖波以抵消掉與事件無關的電位活動，抽取出跟事件相關的成份，最後，波形會顯示出與電位活動在時間上變化有關的特別高峰，但只對於該電位活動的位置能提供粗略的訊息 (Luck, 2005)。

EEG 以往都被用於醫學界與心理學界，像是深度睡眠或作夢的腦波，或腦傷病患的治療等，所以我們已可推測腦波的頻率和某些事件有關連。近年來，有許多 EEG 證

據展現腦活動與認知歷程兩者間的關係。Ward (2003)回顧文獻，展示出腦波的頻率和事件相關如下：小孩長大的過程中 α 波逐漸提昇， θ 波和 δ 波則逐漸下降，這樣的現象可說明 α 波與認知的形成有關。而 α 波為放鬆波，在閉眼時較強，張眼時較弱，整體而言， α 波的下降被認是加強注意力、警覺和一般的任務負荷；相反的， θ 波會在記憶任務中提昇，尤其在編碼的任務。但 α 波在 Sternberg 的記憶掃描任務(memory-scanning task)的認知負荷時會增加，表示需要壓制較多的分心。此外，當注意力應用於內在的心智想像時，與注意力相關腦區的 α 波，會大於當注意力應用於外在的、訊息進入的任務，表示在想像任務時會抑制外在訊息的進入。 α 波和 θ 波的發生在皮質丘腦迴(cortico-thalamic circuits)作不同認知操作時， α 波為搜尋和補償； θ 波為編碼。 γ 波也被認為與記憶有關，它會短暫出現在兩個腦區，當癲癇患者成功記憶時，鼻側皮質和海馬迴會放出 40Hz 的 γ 波，事件結束後兩者同時消失。 γ 波還被認為是連結腦區的機制，當學習時，它能瞬間橫跨兩腦區，讓腦區結合活化。此外，成功進行回憶任務時，額葉皮質與頂葉皮質之間有強 γ 波的連結，此兩區產生更多的 θ 波及 γ 波頻譜。所以， γ 波和 θ 波活動的相互影響可能被包含於記憶任務中。

Sewards & Sewards (1999)認為 α 波和 β 波皆與視覺知覺有關， α 波出現於 parvocellular (視覺系統)， β 波出現於 magnocellular pathway (位於下視丘)，此兩種振動模式是相關的。Fizgibbon et al. (2004)進行視覺棋盤、預期、閱讀、減法、音樂、文字學習、文字回憶、影片片斷(strictly ballroom)六種認知任務的實驗，探討腦波的現象。他發現在期望、學習、閱讀、減法任務時尾部和中央區的 α 波增加，此兩區為視覺和運動系統；除了棋盤任務以外，其他的任務在對稱兩邊及中間的前額 θ 波增加。學習任務為意圖的事件記憶編碼(episodic memory-encoding)任務，之前的研究發現事件記憶編碼的腦區為前額葉、小腦及顳葉中間的腦區，但在 Fizgibbon et al. (2004)的研究中並未在小腦和顳葉兩區記錄到 θ 波，在前額葉的 θ 波也未達顯著差異。因此他將無語言的視覺控制情境對照視覺語言編碼任務，發現也許語言與尾部的 γ 波增強有關，尾部與閱讀相關，但與事件編碼相反。此時，即顯現出 EEG 的限制：無法提供相隔太遠的訊息。在閱讀任務時， γ 波活化的腦區和腦部影像研究一致，出現在頂葉、顳葉和枕葉，這些區

域包含識字及理解功能。在減法任務中 γ 波增加最多，它也是唯一在額葉大範圍顯現出 θ 波的任務，表示此數學推理任務中需要注意力。另外，在枕葉也有明顯的 γ 波，表示減法運算時可能需要視覺想像。而回憶、音樂及觀看影片片斷任務時在只在小數量的控制區有明顯的 γ 波表示這些任務並不複雜，且此研究中的回憶任務為被動的，所以受試者不需積極參與任務。

Jaušovec (1996)針對不同能力的學習者在進行問題解決時其 α 波的變化情形，研究結果發現當高能力學習者在進行問題解決時，其 α 波出現的強度比一般能力學習者要高，一般能力的學習者其在枕葉及額葉的 α 波強度明顯低於高能力的學習者。高能力者心智負荷較小，較低的心智活動是因為其有較多且精簡的基模。而研究結果也發現，無論是高能力學習者或低能力學習者在進行問題解決，其左右半腦的顳葉部份(T3,T4 電極位置)都出現類似的強度，顯示這兩個區塊可能是問題解決成功的關鍵。Jaušovec (2000b, 2000c)測量不同學習者在進行問題解決時的 α 波，研究結果發現，當能力較好且具有創造力的學生在解決創造性問題時，呈現出較少的心智活動，表示 α 波的強度較強，且其腦內各區塊的合作程度也比一般的學習者要高。Lamm et al.(2005)依照 Vitouch et al.神經效能假說設計實驗，Vitouch et al.假設高智商者的中心神經系統較低智商者具較高的效能，在視覺空間想像任務中，低能力者在解題時在枕葉、頂葉和額葉的皮質較活化。但 Lamm et al.(2005)的研究結果無法顯示出此兩群人的腦波有差異，他認為不同的視覺任務可能讓結果不同。

Göker (1997)針對生手及專家在進行問題解決時其腦內的活動差異進行研究，結果發現，當生手進行問題解決時，其額葉的活化程度較高，而專家腦部活化程度較高的區域則是頂葉。Jin (2006)的研究在於比較能力較好的學生及一般能力的學生在建立科學假設並嘗試針對問題進行因果解釋時腦波的差異。結果顯示，在建立科學假設時，能力較好的學生其腦內在建立科學假設時，大腦皮質間的訊息傳遞及交互連接較為活躍。

Baddeley (2002)提出工作記憶理論：視覺空間模板及語音迴路收到訊息後，經由中央執行器分配腦資源。處理視覺空間訊息由 Brodmann 分區來看，行進的路徑有六個步驟（圖 2-4-1）為：1.初級視皮層(BA17)；2.視覺聯合皮層(BA18)；3.視覺聯合皮層及體

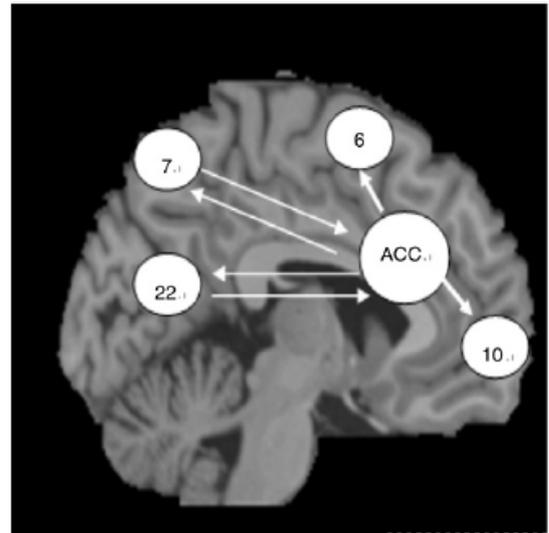
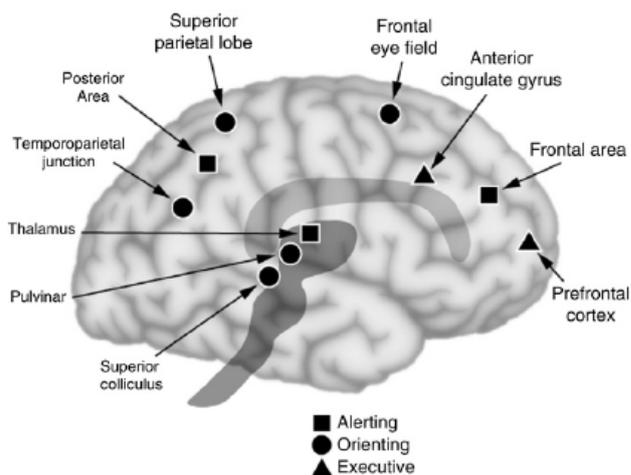


圖 2-4-3 引自 Posner et al(2006)注意力網絡系統

由文獻中可知，在任務下，腦區和腦波會有的表現。本研究的表徵連結任務包含語意理解、視覺知覺、視覺想像、科學推理、概念連結等複雜的認知過程，預期腦波在腦區活躍程度會較文獻中的情況更為複雜，尤其在表徵連接的歷程之間。我們在課程中設定事件點，並分析學生在學習微觀表徵、微觀表徵與符號表徵連結和微觀表徵與圖表表徵連結時腦波頻率的振幅表現及其分佈，比較在各個學習階段的腦波活躍差異。

第三章 研究方法

第一節 研究對象

本研究之研究對象是新竹某高中二年級一個班級（47 人）和彰化某高中二年級一個班級（36 人），學生人數共 83 人，皆曾在學校化學課學過「理想氣體方程式」單元。利用成就測驗將新竹某高中學生分為高、中、低三群，高、低群中採八人，中分群採七名（男女各半，因此班級女生人數較少，中分群中少一名女生），共 23 人，在主題三及主題四課程學習時，以腦波儀記錄其腦波圖，這些學生在施測驗前已學過主題一及主題二課程，且皆為自願參與研究；其他 24 人與彰化某高中之學生仍作主題三及主題四的課程學習，但不以腦波儀記錄其腦波圖。如表 3-1-1

表 3-1-1 教學模式與人數整理表



課程單元	組別	
	腦波組(23 人)	非腦波組(60 人)
主題一	學校電腦教室	
主題二	學校電腦教室	
主題三	認知與科學學習實驗室	學校電腦教室
主題四	認知與科學學習實驗室	學校電腦教室

第二節 研究設計

本研究設計為單一樣本實驗設計(one group pre-post-retention repeated measure)。實驗前測和後測皆為「二階層成就測驗」和「多重表徵問題解決測驗」。二階層成就測驗為探究高二學生在巨觀、微觀、符號、圖表四種表徵時的氣體模型概念；情境式多重表徵問題解決試題，探究學生在各表徵間轉換的能力。課程為網路多媒體教學，包含「巨

觀現象和微觀分子運動」、「理想氣體方程式之公式推導」、「微觀分子運動和公式運用」、「微觀分子運動和圖表」四個主題，課程內的習作練習也會記錄下來，為質性資料。在課程學習期間並以腦波圖記錄。本研究的實驗流程圖如圖 3-2-1 所示：

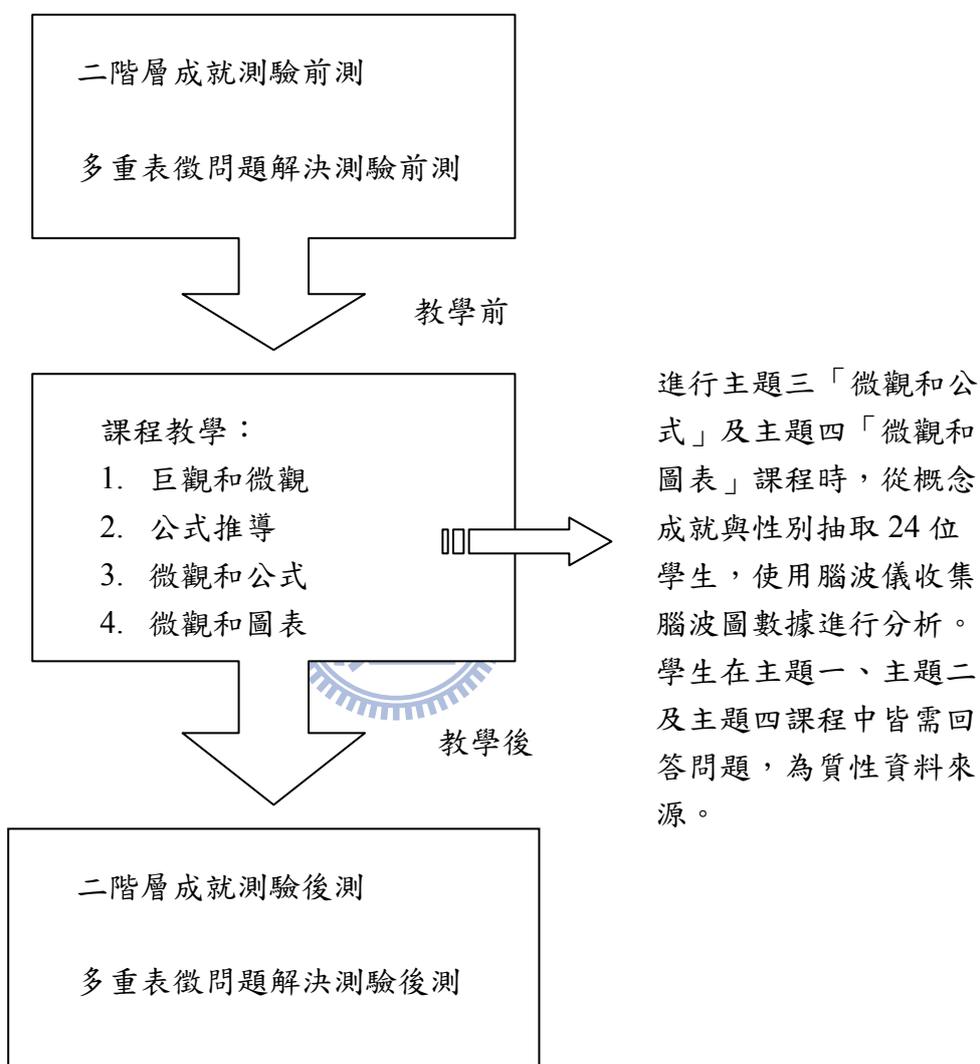


圖 3-2-1 實驗流程圖

第三節 研究流程

本研究預定的研究流程圖如下（圖 3-3-1）：

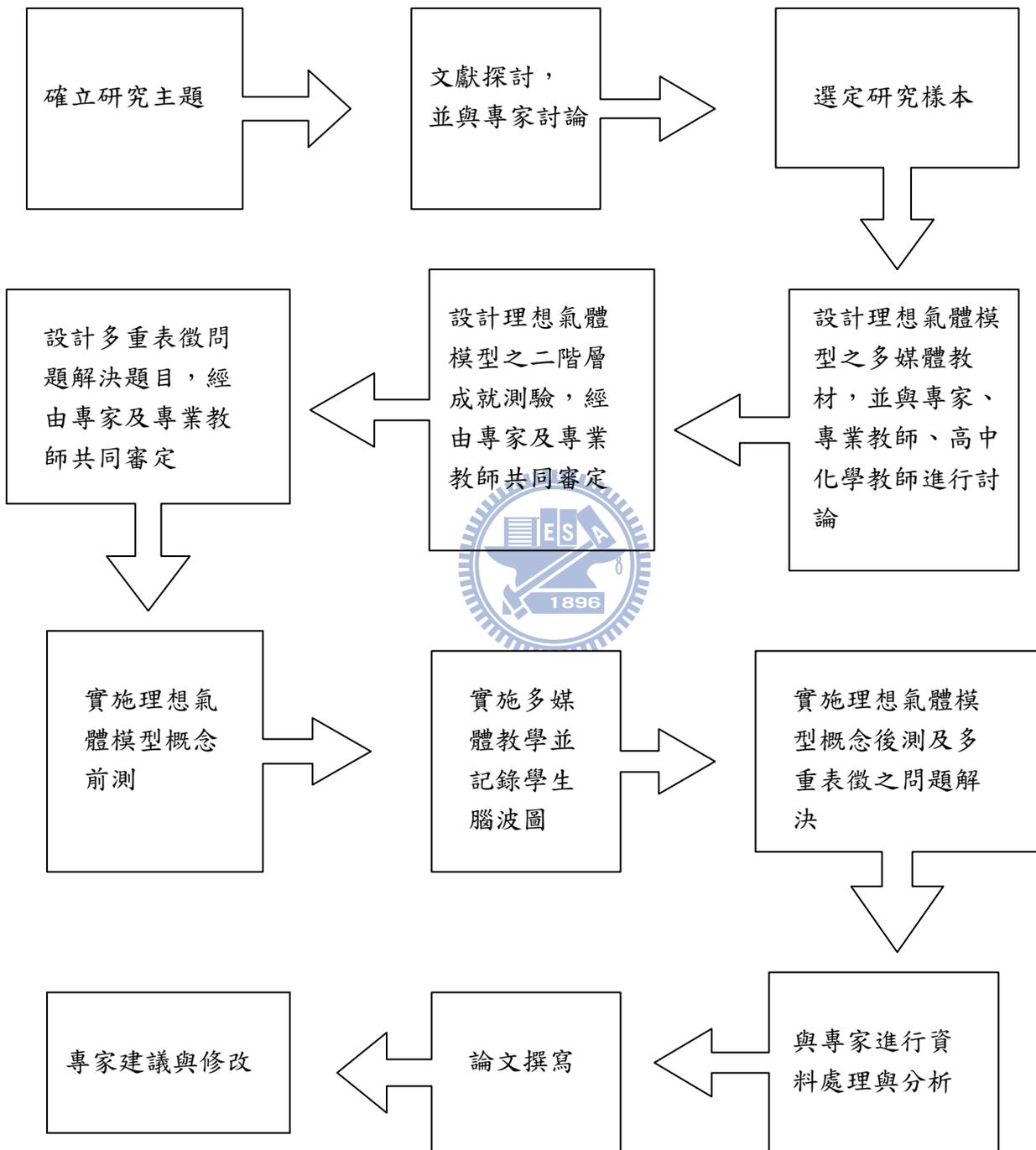


圖 3-3-1 研究流程圖

第四節 研究工具

本研究使用的研究工具包含「理想氣體模型成就測驗」、「多重表徵問題解決測驗」、「腦波儀」及「理想氣體模型概念學習網」。

一、理想氣體模型成就測驗

本研究的研究目的之一為探討學生經過有助於表徵連接的課程後，對理想氣體模型概念理解的成效，因此，由資深中學理化教師協助編寫此測驗，並由科學教育專家檢驗，以求其專家效度。本測驗題目型式為二階層單一選擇題，和課程內容相同分為四個主題，依課程中每個主題的概念出題，主題一有六題；主題二有七題；主題三有六題；主題四有五題，二階層都答對者給1分。此試卷於課程教學前（前測）及教學結束後（後測）同時對整班學生施測。

二、多重表徵問題解決測驗

本研究採用多重表徵問題解決測驗來瞭解學生表徵連接的能力。由資深中學理化教師協助編寫，並由科學教育專家檢驗，求其專家效度。本測驗題目型式為開放式問答題，測驗學生在解決問題時能考慮的表徵，共有兩個問題情境。問題一為如何利用氣體的性質測量溫度，問題二為如何讓輪子轉動，解決整個問題需包含巨觀的解決方法、空氣分子的微觀變化、運用的公式及將控制變因與應變變因的關係圖表，共四個小題。

針對學生回答的答案，對八個小題進行統整與歸納，編寫出編碼系統（表 3-4），此編碼系統之評分者間信度達.99。學生寫出任一項目給一分，將最後總分進行統計分析。

表 3-4-1 問題解決編碼系統

問題一 如何利用氣體的性質測量溫度			
解決方法	方法一	方法二	
	1-1. 畫出設計圖且為密閉定壓狀態 1-2. 畫出設計圖且融入氣體熱膨脹理論 2-1. 控制變因為 P 和 n 2-2. 操縱變因為 T 2-3. 應變變因為 V 3-1. 由分子運動速率解釋原理 3-2. 由分子碰撞頻率解釋原理 3-3. 由分子動能解釋原理	1. 畫出設計圖且為定容狀態 2-1 控制變因為 V 和 n 2-2 操縱變因為 T 2-3 應變變因為 P 3-1 由分子運動速率解釋原理 3-2 由分子碰撞頻率解釋原理 3-3 由分子動能解釋原理	
微觀	1. 溫度越高，分子運動速率越快 2. 溫度越高，分子動能越大 3. 溫度越高(分子運動速率越大)則分子碰撞頻率越大 4. 分子碰撞頻率變大，則壓力變大 5. 分子碰撞頻率變大，固定壓力則體積變大	1. 溫度越高，分子運動速率越快 2. 溫度越高，分子動能越大 3. 溫度越高(分子運動速率越大)則分子碰撞頻率越大 4. 分子碰撞頻率變大，則壓力變大	
公式	1. 寫出根據的公式為 $PV=nRT$ 2. 由 $PV=nRT$ ，T 正比於 V 3. 由 $PV=nRT$ ，定 P 定 n 下，T 正比於 V	1. 寫出根據的公式為 $PV=nRT$ 2. 由 $PV=nRT$ ，P 正比於 T 3. 由 $PV=nRT$ ，定 V 定 n 下，P 正比於 T	
圖表	1. 畫出 VT 圖，且成正比 2. 溫度升高，分子運動速率變快 3. 溫度升高，分子動能變大 4. 溫度升高時，分子碰撞頻率變大，則壓力變大 5. 分子碰撞頻率變大，固定壓力則體積變大	1. 畫出 PT 圖，且成正比 2. 溫度升高，分子運動速率變快 3. 溫度升高，分子動能變大 4. 溫度升高時，分子碰撞頻率變大，則壓力變大	
問題二 如何讓輪子轉動			
解決方法	方法一	方法二	方法三
	1. 利用加熱（或降溫）以改變壓力差的方法 2-1. 控制變因為 P 和 n 2-2. 操縱變因為 T	1. 利用增加分子莫耳數以改變壓力差的方法 2-1 控制變因為 T 和 P 2-2 操縱變因為 n	1. 移動隔板以改變體積的方法 2-1 控制變因為 n 和 T 2-2 操縱變因為 V

	<p>2-3.應變變因為 V</p> <p>3-1.由分子運動速率解釋原理</p> <p>3-2.由分子碰撞頻率解釋原理</p> <p>3-3.由分子動能解釋原理</p>	<p>1-2 應變變因為 V</p> <p>3-1.由分子運動速率解釋原理</p> <p>3-2.由分子碰撞頻率解釋原理</p> <p>3-3.由分子動能解釋原理</p>	<p>2-3 應變變因為 P</p> <p>3-1.由分子運動速率解釋原理</p> <p>3-2.由分子碰撞頻率解釋原理</p> <p>3-3.由分子動能解釋原理</p>
微觀	<p>1.溫度越高，分子運動速率越快</p> <p>2.溫度越高(分子運動速率越快)則分子碰撞頻率越大</p> <p>3.分子碰撞頻率變大，則壓力變大</p> <p>4.分子碰撞頻率變大，固定壓力則體積變大</p> <p>5.分子莫耳數增加，則分子碰撞頻率增加</p> <p>6.分子莫耳數增加，固定壓力則體積變大</p> <p>7.體積變大,則分子碰撞頻率變小</p>	<p>1.分子碰撞頻率變大，則壓力變大</p> <p>2.分子莫耳數增加，則分子碰撞頻率增加</p> <p>3.分子莫耳數增加，固定壓力則體積變大</p> <p>4.體積變大,則分子碰撞頻率變小</p>	<p>3.分子碰撞頻率變大，則壓力變大</p> <p>7.體積變大,則分子碰撞頻率變小</p>
公式	<p>1.寫出運用的公式: $PV=nRT$</p> <p>2.由 $PV=nRT$，V 和 T 成正比</p> <p>3.由 $PV=nRT$，定 n 定 P 下，V 和 T 成正比</p>	<p>4.由 $PV=nRT$ n 和 V 成正比</p> <p>5.由 $PV=nRT$ 定 T 定 P 下，n 和 V 成正比</p>	<p>6.由 $PV=nRT$ V 和 P 成正比</p> <p>7.由 $PV=nRT$ 定 n 定 T 下，V 和 P 成反比</p>
圖表	<p>1.畫出 VT 圖</p> <p>2.溫度越高，分子運動速率越快</p> <p>3.溫度越高(分子運動速率越快)則分子碰撞頻率越大</p> <p>4.分子碰撞頻率變大，則壓力變大</p> <p>5.分子碰撞頻率變大，固定壓力則體積變大</p>	<p>1.畫出 nT 圖</p> <p>2.分子莫耳數增加，則壓力變大</p> <p>3.分子莫耳數增加，固定壓力則體積變大</p>	<p>1.畫出 VP 圖</p> <p>2.體積變小，分子碰撞頻率變大</p> <p>3.分子碰撞頻率變大，則壓力變大</p>

三、腦波儀

本研究使用的腦波放大器為 SynAmps²(圖 3-4-1)，它具有高時間解析度，取樣頻率為 1000Hz，能將腦波圖 (electroencephalography, EEG) 依照同一事件觸發的腦波訊號平均並累加，藉此可獲得腦部認知運作時的量化資料，以供我們作進一步探討。各頻率腦波 (θ 、 α 、 β 、 γ 波) 在各事件下的振幅，及在哪個腦區活化為常被探討的變項。



3-4-1：SynAmps²

四、理想氣體模型概念學習網

為了幫助學生將微觀表徵連結至巨觀和符號表徵，研究者依照認知負荷理論與 flash 設計師製作一套多媒體課程，包含動畫、模擬及解決問題練習。學生在進行課程學習時，可於受試學校之電腦教室，透過網際網路連線至本學習網。理想氣體模型概念學習網是建構於「科學概念的建構與重建數位學習研究」的 Web Server 下，Web Server 使用 Apache Server，主要程式是使用 PHP 語言所撰寫，再配合 MySQL 資料庫為資料儲存系統。

第五節 教學設計

課程為網路多媒體課程，學生單獨進行多媒體課程學習，課程包含動畫說明及模擬操作，動畫部份有旁白解說，而模擬操作部份有文字說明。課程主題為氣體動力論，內容分為四個主題，以微觀連接其他兩種表徵 (Rappoport & Ashkenazi, 2008)，課程架構如下表 3-5-1：

表 3-5-1 教學課程架構

<p>主題一 巨觀現象及微觀分子運動</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. 含動畫頁面 (圖 3-5-1)、模擬頁面 (圖 3-5-2) 及問題頁面。 2. 同時呈現巨觀影片及微觀分子運動, 探討了壓力和體積的關係、體積和溫度的關係, 以及分子莫耳數和體積的關係。
<p>主題二 理想氣體方程式之公式推導</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. 只有動畫頁面 (圖 3-5-3)。 2. 同時呈現微觀分子運動動畫及公式推導流程, 推導的流程為 <ol style="list-style-type: none"> (1) 每秒分子在 x 方向碰撞器壁的總動量變化; (2) 右壁因分子碰撞所受的壓力; (3) 將式子代換出動能; (4) 將動能代換為絕對溫度; (5) 整理常數。
<p>主題三 微觀分子運動及公式應用</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. 包含動畫頁面 (圖 3-5-4)、模擬頁面 (圖 3-5-5) 及問題頁面。 2. 頁面同時呈現微觀分子運動動畫及以符號表徵之變因關係, 以說明當巨觀變因改變時, 微觀氣體分子的變化, 探討了分子運動速率、分子碰撞頻率、壓力和體積的關係、體積和溫度的關係、莫耳數和體積的關係。
<p>主題四 微觀分子運動及圖表</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. 包含動畫頁面 (圖 3-5-6)、模擬頁面 (圖 3-5-7) 及問題頁面。 2. 同時呈現微觀分子運動及變因關係圖表, 探討壓力、體積和分子莫耳數的關係, 以及體積溫度和分子莫耳數的關係, 圖表包含 PV 圖和 VT 圖。



圖 3-5-1 巨觀現象及微觀運動之動畫頁面



圖 3-5-2 巨觀現象及微觀運動之模擬頁面



圖 3-5-3 理想氣體方程式之公式推導動畫頁面

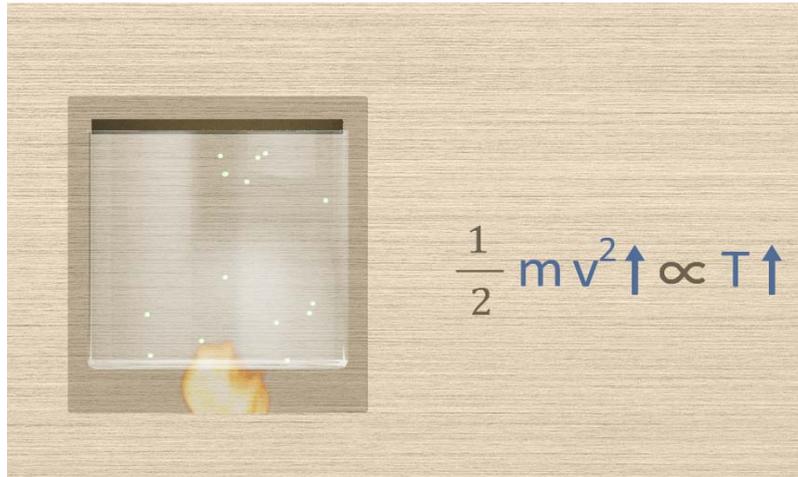


圖 3-5-4 微觀分子運動及公式應用之動畫頁面



圖 3-5-5 微觀分子運動及公式應用之模擬頁面



圖 3-5-6 微觀分子運動及圖表之動畫頁面



圖 3-5-7 微觀分子運動及圖表之模擬頁面

本研究將整個多媒體學習歷程抽出十個學習頁面，作為腦波分析事件，第一頁至第七頁屬於主題三微觀分子運動及公式應用，第八頁至第十頁屬於主題四微觀分子運動及圖表。前七頁又分別在每一頁切出「微觀表徵片段」與「微觀和符號表徵連結片段」，第八到十頁也分別在每一頁切出「微觀表徵片段」與「微觀和符號表徵連結片段」。表徵連接學習歷程腦波分析事件詳見表 3-5-2：396

表 3-5-2 表徵連接學習歷程腦波分析事件表

頁面	單元	表徵	多媒體	概念
第一頁	主題三	微觀、符號	語音、動畫	分子運動速率
第二頁	主題三	微觀、符號	語音、動畫	分子碰撞器壁頻率
第三頁	主題三	微觀、符號	語音、動畫	壓力和體積的關係
第四頁	主題三	微觀、符號	文字、模擬	壓力和體積的關係
第五頁	主題三	微觀、符號	語音、動畫	體積和溫度的關係
第六頁	主題三	微觀、符號	文字、模擬	體積和溫度的關係
第七頁	主題三	微觀、符號	語音、動畫	莫耳數和體積的關係
第八頁	主題四	微觀、圖表	語音、動畫	壓力、體積和莫耳數的關係

第九頁	主題四	微觀、圖表	文字、模擬	壓力、體積和莫耳數的關係
第十頁	主題四	微觀、圖表	語音、動畫	體積、溫度和莫耳數的關係

擷取二十個事件之畫面，包含主題三微觀分子運動及公式應用七個頁面的兩種片段畫面，以及主題四微觀分子運動及圖表的兩種片段畫面，見表 3-5-3。

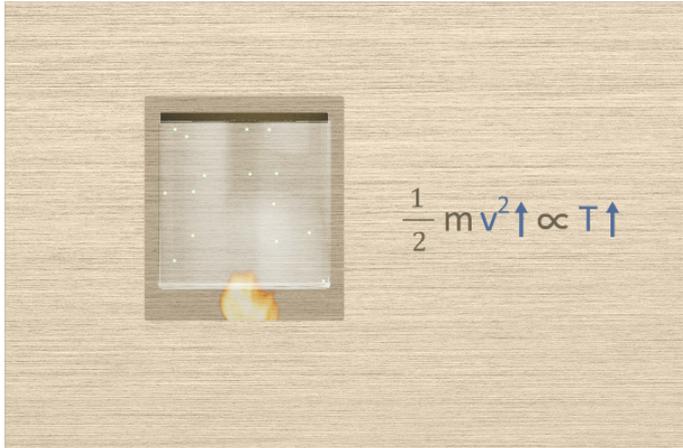
表 3-5-3 表徵連接學習歷程腦波分析事件之畫面

	<h3>主題三 微觀分子運動及公式應用</h3>
<p>第一頁</p> <p>分子運動速率 (動畫)</p>	<p style="text-align: center;">微觀表徵片段</p>

http://es.ciedu.nctu.edu.tw/NeoSCORM/layout/view/popup.php?content=course&page=004102

[004102]

[120](004102)



學科：化學
單元：理想氣體模型
主題：主題三 微觀分子運動和公式

- 準備頁
- x主題三 標題
- x前言
- x分子運動速率v
- A分子運動速率v 動畫
- x分子碰撞頻率v/2L
- A分子碰撞頻率v/2L 動畫
- xP和V的關係
- A P和V的關係 動畫

【看懂後，按F9至下一頁】

微觀和符號表徵連結片段

第二頁
分子碰撞器壁頻率
(動畫)

科學概念的建構與重建數位學習後端介面 - Windows Internet Explorer

http://es.ciedu.nctu.edu.tw/NeoSCORM/layout/new/popup.php?content=course&page=004104

[004104]

[120](004104)



學科：化學
單元：理想氣體模型
主題：主題三 微觀分子運動和公式

- 準備頁
- x主題三 標題
- x前言
- x分子運動速率v
- A分子運動速率v 動畫
- x分子碰撞頻率v/2L
- A分子碰撞頻率v/2L 動畫
- xP和V的關係
- A P和V的關係 動畫
- M P和V 公式模

【看懂後，按F9至下一頁】

微觀表徵片段

科學概念的建構與重建數位學習後端介面 - Windows Internet Explorer

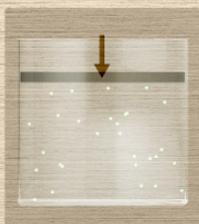
http://es.ciedu.nctu.edu.tw/NeoSCORM/layout/new/popup.php?content=course&page=004104

[004104]

[120](004104)

學科：化學
單元：理想氣體模型
主題：主題三 微觀分子運動和公式

準備頁
x主題三 標題
x前言
x分子運動速率v
A分子運動速率v 動畫
x分子碰撞頻率v/2L
A分子碰撞頻率v/2L 動畫
xP和V的關係
A P和V的關係 動畫
M P和V 公式模



1. 每個分子碰撞頻率為 $\frac{v}{2L}$
2. 總分子碰撞頻率為 $(n \times \frac{v}{2L})$
3. $n \times \frac{v}{2L} \propto P$

【看懂後，按F9至下一頁】

完成 網際網路 100%

微觀和符號表徵連結片段

第三頁
壓
力
和
體
積
的
關
係
(動畫)

科學概念的建構與重建數位學習後端介面 - Windows Internet Explorer

http://es.ciedu.nctu.edu.tw/NeoSCORM/layout/new/popup.php?content=course&page=004113

[004113]

[120](004113)

學科：化學
單元：理想氣體模型
主題：主題三 微觀分子運動和公式

準備頁
x主題三 標題
x前言
x分子運動速率v
A分子運動速率v 動畫
x分子碰撞頻率v/2L
A分子碰撞頻率v/2L 動畫
xP和V的關係
A P和V的關係 動畫
M P和V 公式模

由 $PV=nRT$ ，定T定n時，P變大則V變小。

操縱變因 壓力 應變變因 體積

平均碰撞頻率 27.5865 次/s 體積 2.26972 m³

溫度 273 K
分子 1 mol
分子 32.52 m/s
平均速率

控制變因 重設 紀錄

【看懂後，按F9至下一頁】

完成 網際網路 100%

微觀表徵片段

科學概念的建構與重建數位學習後端介面 - Windows Internet Explorer

http://es.ciedu.nctu.edu.tw/NeoSCORM/layout/new/popup.php?content=course&page=004113

[004113]

[120](004113)

科學概念的建構
與重建數位學習研究
National Central University
NeoSCORM (Digital Learning)

學科：化學
單元：理想氣體模型
主題：主題三 微觀分子運動和公式

準備頁
x主題三 標題
x前言
x分子運動速率v
A分子運動速率v 動畫
x分子碰撞頻率v/2L
A分子碰撞頻率v/2L 動畫
xP和V的關係
→ A P和V的關係 動畫
M P和V 公式模

由PV=nRT，定T定n時，P變大則V變小。

控制變因：溫度 273 K
分子 1 mol
分子 莫耳數
平均速率 82.52 m/s

應變變因：體積 0.84848 m³

控制變因：壓力

平均碰撞頻率 51.2867 次/s

記錄

重設

記錄

$$P = \frac{N_0 \times m v^2}{L^2}$$

為定值

$$P \propto \frac{1}{L^3}$$

定溫下，分子運動速率不變；體積變小，使碰撞頻率變大，壓力也變大。

【看懂後，按F9至下一頁】

完成 網際網路 100%

微觀和符號表徵連結片段

第四頁
壓
力
和
體
積
的
關
係
(模擬)

科學概念的建構與重建數位學習後端介面 - Windows Internet Explorer

http://es.ciedu.nctu.edu.tw/NeoSCORM/layout/new/popup.php?content=course&page=004166

[004166]

[120](004114)

科學概念的建構
與重建數位學習研究
National Central University
NeoSCORM (Digital Learning)

學科：化學
單元：理想氣體模型
主題：主題三 微觀分子運動和公式

準備頁
x主題三 標題
x前言
x分子運動速率v
A分子運動速率v 動畫
x分子碰撞頻率v/2L
A分子碰撞頻率v/2L 動畫
xP和V的關係
A P和V的關係 動畫
→ M P和V 公式模擬
○ 問題一 題目

控制變因：溫度 273 K
分子 1 mol
分子 莫耳數
平均速率 82.52 m/s

應變變因：體積 2.28972 m³

控制變因：壓力

平均碰撞頻率 27.3865 次/s

記錄

重設

記錄

PV=nRT

P	V	n	R	T	PV	nRT	V/T
---	---	---	---	---	----	-----	-----

此時控制變因為溫度及分子莫耳數，操縱變因為壓力，體積會隨壓力而改變。你設定好左頁的狀態後，按下記錄鍵，可在右頁得到數值記錄。請觀

完成 網際網路 100%

微觀表徵片段

科學概念的建構與重建數位學習後端介面 - Windows Internet Explorer

http://es.ciedu.nctu.edu.tw/NeoSCORM/layout/new/popup.php?content=course&page=004114

[004114]

[120](004114)

學科：化學
單元：理想氣體模型
主題：主題三 微觀分子運動和公式

準備頁
x主題三 標題
x前言
x分子運動速率v
A分子運動速率v 動畫
x分子碰撞頻率v/2L
A分子碰撞頻率v/2L 動畫
xP和V的關係
A P和V的關係 動畫
M P和V 公式模擬

P	V	n	R	T	PV	nRT	V/T
150	1.51318	0.1	8.31	273	226.863	226.863	0.0055426
200	1.1348	0.1	8.31	273	226.863	226.863	0.00457

此時控制變因為溫度及分子莫耳數，操縱變因為壓力，體積會隨壓力而改變。你設定好左頁的狀態後，按下記錄鍵，可在右頁得到數值記錄。請觀

微觀和符號表徵連結片段

第五頁
體積和溫度的關係
(動畫)

科學概念的建構與重建數位學習後端介面 - Windows Internet Explorer

http://es.ciedu.nctu.edu.tw/NeoSCORM/layout/new/popup.php?content=course&page=004127

[004127]

[120](004127)

學科：化學
單元：理想氣體模型
主題：主題三 微觀分子運動和公式

準備頁
x主題三 標題
x前言
x分子運動速率v
A分子運動速率v 動畫
x分子碰撞頻率v/2L
A分子碰撞頻率v/2L 動畫
xP和V的關係
A P和V的關係 動畫
M P和V 公式模擬
O 問題一 觀目

由 $PV=nRT$ ，定P定n時，T變大則V變大。

【看懂後，按F9至下一頁】

微觀表徵片段

科學概念的建構與重建數位學習後端介面 - Windows Internet Explorer

http://es.ciedu.nctu.edu.tw/NeoSCORM/layout/new/popup.php?content=course&page=004127

[004127]

[120](004127)

學科：化學
單元：理想氣體模型
主題：主題三 微觀分子運動和公式

準備頁
x主題三 標題
x前言
x分子運動速率v
A分子運動速率v 動畫
x分子碰撞頻率v/2L
A分子碰撞頻率v/2L 動畫
xP和V的關係
A P和V的關係 動畫
M P和V 公式模擬
O 問題一 數目頁

由PV=nRT，定P定n時，T變大則V變大。
為定值 $N_0 \times \frac{mv^2}{L^2}$
 $P = \frac{3}{L^2} \frac{mv^2}{L}$
 $\rightarrow mv^2 \propto L^3$
 $\rightarrow mv^2 \propto T$
 $\rightarrow T \propto L^3$

定壓下，分子碰撞頻率不變；當絕對溫度越高時，分子動能越大，分子運動速率也越大，表示體積也越大。

【看懂後，按F9至下一頁】

微觀和符號表徵連結片段

第六頁
體積和溫度的關係
(模擬)

科學概念的建構與重建數位學習後端介面 - Windows Internet Explorer

http://es.ciedu.nctu.edu.tw/NeoSCORM/layout/new/popup.php?content=course&page=004128

[004128]

[120](004128)

學科：化學
單元：理想氣體模型
主題：主題三 微觀分子運動和公式

準備頁
x主題三 標題
x前言
x分子運動速率v
A分子運動速率v 動畫
x分子碰撞頻率v/2L
A分子碰撞頻率v/2L 動畫
xP和V的關係
A P和V的關係 動畫
M P和V 公式模擬
O 問題一 數目頁

此時控制變因為壓力及分子莫耳數，操縱變因為溫度，體積會隨溫度而改變。你設定好左頁的狀態後，按下記錄鍵，可在右頁得到數值記錄。請觀

微觀表徵片段

科學概念的建構與重建數位學習後端介面 - Windows Internet Explorer

http://es.ciedu.nctu.edu.tw/NeoSCORM/layout/new/popup.php?content=course&page=004128

[004128]

[120](004128)

學科：化學
單元：理想氣體模型
主題：主題三 微觀分子運動和公式

準備頁
x主題三 標題
x前言
x分子運動速率v
A分子運動速率v 動畫
x分子碰撞頻率v/2L
A分子碰撞頻率v/2L 動畫
xP和V的關係
A P和V的關係 動畫
M P和V 公式模擬
O 問題一 數目頁

P	V	n	R	T	PV	nRT	V/T
100	2.4361	0.1	8.31	243	243.483	243.483	0.008314
100	2.60228	0.1	8.31	313	260.103	260.103	0.008314

此時控制變因為壓力及分子莫耳數，操縱變因為溫度，體積會隨溫度而改變。你設定好左頁的狀態後，按下記錄鍵，可在右頁得到數值記錄。請觀

微觀和符號表徵連結片段

第七頁
莫耳數和體積的關係
(動畫)

科學概念的建構與重建數位學習後端介面 - Windows Internet Explorer

http://es.ciedu.nctu.edu.tw/NeoSCORM/layout/new/popup.php?content=course&page=004133

[004133]

[120](004133)

學科：化學
單元：理想氣體模型
主題：主題三 微觀分子運動和公式

準備頁
x主題三 標題
x前言
x分子運動速率v
A分子運動速率v 動畫
x分子碰撞頻率v/2L
A分子碰撞頻率v/2L 動畫
xP和V的關係
A P和V的關係 動畫
M P和V 公式模擬
O 問題一 數目頁

由 $PV=nRT$ ，定P定T時，n變大則V變大。

【看懂後，按F9至下一頁】

微觀表徵片段

科學概念的建構與重建數位學習後端介面 - Windows Internet Explorer

http://es.ciedu.nctu.edu.tw/NeoSCORM/layout/new/popup.php?content=course&page=004133

[004133]

[120](004133)

學科：化學
單元：理想氣體模型
主題：主題三 微觀分子運動和公式

準備頁
x主題三 標題
x前言
x分子運動速率v
A分子運動速率v 動畫
x分子碰撞頻率v/2L
A分子碰撞頻率v/2L 動畫
xP和V的關係
A P和V的關係 動畫
M P和V 公式模擬
Q 問題一 題目

由PV=nRT，定P定T時，n變大則V變大。

精細變因 分子速率 為定值 為定值

體積 7.0987 m³

控制變因 重設 紀錄

$$P = \frac{N_0 \times \frac{m v^2}{L}}{L^2}$$

→ $N_0 \propto L^3$

分子 2740 m/s
分子數 1 mol

分子數增加時，體積變大，此時為定壓，分子碰撞頻率不變；為定溫，分子運動速率也不變。

【看懂後，按F9至下一頁】

完成 網際網路 100%

微觀和符號表徵連結片段

主題四 微觀分子運動及圖表

第八頁
壓力、
體積和
莫耳數
的關係
(動畫)

科學概念的建構與重建數位學習後端介面 - Windows Internet Explorer

http://es.ciedu.nctu.edu.tw/NeoSCORM/layout/new/popup.php?content=course&page=004141

[004141]

[121](004141)

學科：化學
單元：理想氣體模型
主題：主題四 微觀分子運動和圖表

x主題四 標題
x前言
xP和n的關係 標題
→ A P和n的關係 動畫
M P和n的關係 模擬
Q 問題一 題目
Q 問題一 回答
Q 問題一 解答
x VT和n的關係 標題
A VT和n的關係

精細變因 溫度變因 P和V

體積 27.4 m³

控制變因 重設 紀錄

溫度 273 K
分子數 1 mol
平均速率 212 m/s

壓力 101325 Pa

圖表顯示 P和V 的關係

微觀表徵片段

微觀表徵片段

科學概念的建構與重建數位學習後端介面 - Windows Internet Explorer

http://es.ciedu.nctu.edu.tw/NeoSCORM/layout/new/popup.php?content=course&page=004141

[004141]

[121](004141)

科學概念的建構
與重建數位學習後端
Research Center for Educational Technology
Reconstruction (Digital Learning)

學科：化學
單元：理想氣體模型
主題：主題四 微觀分子運動和圖表

- x 主題四 標題
- x 前言
- x PV和n的關係 標題
- A PV和n的關係 動畫
- M PV和n的關係 模擬
- Q 問題一 題目
- Q 問題一 回答
- Q 問題一 解答
- x VT和n的關係 標題
- A VT和n的關係

完成

開始 Gmail - 收... Soom - Wi... Microsoft P... lvs3 Anova... 科學概念... 網際網路 100% 上午 12:07

微觀表徵和圖片表徵連結片段

第九頁
壓力、
體積和
莫耳數
的關係
(模擬)

科學概念的建構與重建數位學習後端介面 - Windows Internet Explorer

http://es.ciedu.nctu.edu.tw/NeoSCORM/layout/new/popup.php?content=course&page=004142

[004142]

[121](004142)

科學概念的建構
與重建數位學習後端
Research Center for Educational Technology
Reconstruction (Digital Learning)

學科：化學
單元：理想氣體模型
主題：主題四 微觀分子運動和圖表

- x 主題四 標題
- x 前言
- x PV和n的關係 標題
- A PV和n的關係 動畫
- M PV和n的關係 模擬
- Q 問題一 題目
- Q 問題一 回答
- Q 問題一 解答
- x VT和n的關係 標題
- A VT和n的關係

換你試試看：
此時n=0.2mol。請記錄初始的數據於圖表上，然後增加壓力，並依序將結

完成

網際網路 100%

微觀表徵片段

科學概念的建構與重建數位學習後端介面 - Windows Internet Explorer

http://es.ciedu.nctu.edu.tw/NeoSCORM/layout/new/popup.php?content=course&page=004142

[004142]

[121](004142)

科學概念的建構
與重建數位學習後端介面
Research of Science Concept Construction &
Reconstruction Digital Learning

學科：化學
單元：理想氣體模型
主題：主題四 微觀分子運動和圖表

- x 主題四 標題
- x 前言
- x PV和n的關係 標題
- A PV和n的關係 動畫
- M PV和n的關係 模擬
- Q 問題一 題目
- Q 問題一 回答
- Q 問題一 解答
- x VT和n的關係 標題
- A VT和n的關係

換你試試看：
此時 $n=0.2\text{mol}$ 。請記錄初始的數據於圖表上，然後增加壓力，並依序將結

完成 網際網路 100%

微觀表徵和圖片表徵連結片段

第十頁
體積、
溫度和
莫耳數的
關係
(動畫)

科學概念的建構與重建數位學習後端介面 - Windows Internet Explorer

http://es.ciedu.nctu.edu.tw/NeoSCORM/layout/new/popup.php?content=course&page=004147

[004147]

[121](004147)

科學概念的建構
與重建數位學習後端介面
Research of Science Concept Construction &
Reconstruction Digital Learning

學科：化學
單元：理想氣體模型
主題：主題四 微觀分子運動和圖表

- x 主題四 標題
- x 前言
- x PV和n的關係 標題
- A PV和n的關係 動畫
- M PV和n的關係 模擬
- Q 問題一 題目
- Q 問題一 回答
- Q 問題一 解答
- x VT和n的關係 標題
- A VT和n的關係

完成 網際網路 100%

開始 Gmail - 收... Soorm - Wi... Microsoft P... 1vs3 Anova... 科學概念... 上午 12:10

微觀表徵片段

科學概念的建構與重建數位學習後端介面 - Windows Internet Explorer

http://es.ciedu.nctu.edu.tw/NeoSCORM/asyouthew/popup.php?content=course&page=004147

[004147]

[121](004147)

科學概念的建構
與重建數位學習後端介面
NeoSCORM/asyouthew/popup.php?content=course&page=004147

學科：化學
單元：理想氣體模型
主題：主題四 微觀分子運動和圖表

- × 主題四 標題
- × 前言
- × PV和n的關係 標題
- A PV和n的關係 動畫
- M PV和n的關係 模擬
- Q 問題一 題目
- Q 問題一 回答
- Q 問題一 解答
- × VT和n的關係 標題
- A VT和n的關係

完成

開始 | Gmail - 收... | Soom - Wi... | Microsoft P... | lvs3 Anova... | 科學概念... | 上午 12:10

微觀表徵和圖片表徵連結片段

第六節 資料蒐集與分析

本研究的資料蒐集包含二階層概念測驗結果、多重表徵問題解決測驗結果及腦波資料（大腦各部位腦波之功率強度及同調性）。當實驗結束後，開始進行資料的整理與分析，將二階層概念測驗進行統計分析；多重表徵問題解決測驗進行編碼後再統計分析；腦波資料的處理使用 Neuron Scan 4.4 套裝軟體分析，經過去除明顯雜波、去除眼電和濾波(4~70Hz)後，將每段事件再依 1024 點分段(epoch)，取其功率強度平均值(frequency domain; Scaling: power; type: Hanning)，依波的頻率匯出(θ : 4~8Hz; $\alpha 1$: 8~10Hz; $\alpha 2$: 10~13Hz; $\beta 1$: 13~18Hz; $\beta 2$: 18~25Hz; γ : 35~70Hz)，將這些值進行 spss 統計分析。同調性的部份，在事件分段(epoch)後，取其 30 個電極位置配對後之同調性平均值，同樣再進行 spss 統計分析。



第四章 研究結果與討論

本章主要依據理想氣體模型成就測驗、多重表徵問題解決測驗及腦波記錄資料之結果，進行統計分析，並與研究問題進行驗證，藉以了解高中學生在化學氣體動力論單元中學習不同表徵時，大腦各部位在 θ (4~8Hz)、lower α ($\alpha 1$, 8~10Hz)、upper α ($\alpha 2$, 10~13Hz)、lower β ($\beta 1$, 13~18Hz)、upper β ($\beta 2$, 18~25Hz)、 γ (35~70Hz) 和 Total(4~70Hz) 等不同頻率之腦波功率強度是否有所差異，及不同頻率之腦波功率強度與學生概念成就與問題解決表現是否有所關聯。

第一節 表徵連接之理想氣體模型課程成效分析

一、二階層成就測驗資料分析

為了瞭解表徵連接的學習課程對學生概念建構的影響為何，實施二階成就測驗。將其前測和後測之總分進行敘述性統計分析及推論性統計分析。推論性統計將學生的前測和後測之總分進行成對樣本 T 檢定分析。敘述性統計和推論性統計之重複量數分析結果如表 4-1-1 所示。

表 4-1-1 理想氣體模型成就測驗前測和後測之敘述性統計和成對樣本 T 檢定表

	N	Mean	SD	df	t	p
前測	83	9.89	2.80	82	-3.267**	.002
後測	83	11.11	3.33			

註：* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

由表 4-1-1 的結果顯示，學生的後測 ($M_{後}=11.11$) 平均成績高於前測 ($M_{前}=9.89$)，且達顯著差異。顯示表徵連接之理想氣體模型課程能促進學生作微觀與其他表徵 (巨觀經驗、符號和圖表) 間的連結，以建構完整的理想氣體模型概念。

二、多重表徵問題解決測驗分析

為了瞭解表徵連接的學習課程，對學生問題解決能力的影響情形，因此實施多重表徵問題解決測驗。學生於前測和後測的答案，再經由編碼系統來評分，並將評分後所得的總分進行描述性統計分析及推論性統計分析。在推論性統計方面，將學生的前測和後測之總分進行成對樣本 T 檢定分析。敘述性統計和推論性統計之重複量數分析結果如表 4-2-1 所示。

表 4-1-2 問題解決測驗前測、後測和追蹤測之成對樣本 T 檢定表

	N	Mean	SD	df	t	p
前測	81	3.38	5.083	80	-4.765***	.000
後測	81	6.07				

註：* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

由表 4-1-2 的結果顯示，學生的後測 ($M_{後}=6.07$) 平均成績高於前測 ($M_{前}=3.38$)，且兩者間達顯著差異，後測分數顯著高於前測。顯示表徵連接之理想氣體模型課程能促進學生在微觀與其他表徵(巨觀經驗、符號和圖表)間的連結，以建構完整的化學概念，並提升學生在理想氣體模型的問題解決能力。

第二節 表徵連接學習歷程之腦波資料分析

一、不同表徵課程片段學習歷程之腦波資料分析

為了瞭解學生在學習及連接不同表徵之概念時，腦波功率強度有何差異，本研究將每個頁面又分為兩個部份，主題三微觀分子運動及公式應用的頁面分為微觀表徵片段及微觀和符號表徵連結片段，主題四微觀分子運動及圖表的頁面分為微觀表徵片段及微觀和圖表表徵連結片段，再將這些片段的腦波相關資料依頁面進行成對樣本 T 檢定，見表 4-2-1 和表 4-2-2。

表 4-2-1 微觀表徵和符號表徵之成對樣本 T 檢定表

			N	Mean	SD	df	t	p
第一頁	θ	m	23	2.52	0.88	22	.884	.386
		m+f	23	2.40	0.76			
分	$\alpha 1$	m	23	2.08	0.78	22	-.182	.857
		m+f	23	2.10	0.75			
子	$\alpha 2$	m	23	1.96	0.81	22	-1.944*	.065
		m+f	23	2.19	0.87			
運	$\beta 1$	m	23	1.64	0.92	22	1.002	.327
		m+f	23	1.56	0.81			
動	$\beta 2$	m	23	1.49	0.85	22	.902	.377
		m+f	23	1.42	0.72			
速	γ	m	23	0.39	0.22	22	1.649	.113
		m+f	23	0.32	0.21			
率	θ	m	23	2.43	1.02	22	.147	.885
		m+f	23	2.40	0.78			
分	$\alpha 1$	m	22	1.89	0.73	21	-1.124	.274
		m+f	23	2.02	0.70			
子	$\alpha 2$	m	22	1.85	0.79	21	-2.293**	.032
		m+f	23	2.20	0.76			
碰	$\beta 1$	m	23	1.42	0.65	21	-.742	.466
		m+f	22	1.50	0.77			
撞	$\beta 2$	m	23	1.31	0.79	20	.888	.385
		m+f	21	1.19	0.59			
器	γ	m	23	0.33	0.23	22	1.522	.142
		m+f	21	1.19	0.59			
壁	θ	m	23	2.43	1.02	22	.147	.885
		m+f	23	2.40	0.78			
頻	$\alpha 1$	m	22	1.89	0.73	21	-1.124	.274
		m+f	23	2.02	0.70			
率	$\alpha 2$	m	22	1.85	0.79	21	-2.293**	.032
		m+f	23	2.20	0.76			
率	$\beta 1$	m	23	1.42	0.65	21	-.742	.466
		m+f	22	1.50	0.77			
率	$\beta 2$	m	23	1.31	0.79	20	.888	.385
		m+f	21	1.19	0.59			
率	γ	m	23	0.33	0.23	22	1.522	.142
		m+f	21	1.19	0.59			

		m+f	23	0.26	0.15			
第三頁	θ	m	23	2.43	0.97	22	-2.128**	.045
壓		m+f	23	2.67	0.90			
力	$\alpha 1$	m	23	1.98	0.87	22	-.926	.364
和		m+f	23	2.09	0.72			
體	$\alpha 2$	m	22	1.83	0.62	21	-2.347**	.029
積		m+f	23	2.07	0.76			
關	$\beta 1$	m	23	1.49	0.75	21	1.118	.276
係		m+f	22	1.30	0.55			
	$\beta 2$	m	23	1.35	0.69	22	.450	.657
		m+f	23	1.30	0.76			
	γ	m	23	0.31	0.17	22	1.269	.218
		m+f	23	0.27	0.20			
第四頁	θ	m	23	2.51	0.74	17	.348	.732
		m+f	18	2.34	0.65			
壓	$\alpha 1$	m	23	2.20	0.72	18	-.578	.570
力		m+f	19	2.16	0.82			
和	$\alpha 2$	m	23	2.04	0.83	18	-.810	.429
體		m+f	19	2.03	0.85			
積	$\beta 1$	m	23	1.70	0.88	18	.511	.615
的		m+f	19	1.52	0.66			
關	$\beta 2$	m	23	1.56	0.82	18	-.725	.478
係		m+f	19	1.55	0.79			
	γ	m	19	0.35	0.24	18	-.426	.675
		m+f	19	0.37	0.21			

第五頁	θ	m	23	3.02	1.02	22	1.988*	.059
		m+f	23	2.66	0.91			
體積和溫度的關係	$\alpha 1$	m	23	2.33	0.75	22	.960	.347
		m+f	23	2.20	0.79			
	$\alpha 2$	m	23	2.59	1.40	22	1.909*	.069
		m+f	23	2.13	0.89			
	$\beta 1$	m	23	2.05	1.06	22	2.921***	.008
		m+f	23	1.58	0.71			
	$\beta 2$	m	23	1.94	0.83	22	4.312****	.000
		m+f	23	1.44	0.67			
	γ	m	23	0.49	0.32	22	3.314***	.003
		m+f	23	0.33	0.17			
第六頁	θ	m	23	2.57	0.63	16	.630	.537
		m+f	17	2.45	0.72			
體積和溫度的關係	$\alpha 1$	m	23	2.16	0.56	17	-.609	.550
		m+f	18	2.27	1.31			
	$\alpha 2$	m	23	2.13	0.78	17	-.534	.600
		m+f	18	2.23	1.22			
	$\beta 1$	m	23	1.77	0.89	16	2.632**	.018
		m+f	17	1.56	0.79			
	$\beta 2$	m	23	1.60	0.88	16	-.786	.443
		m+f	17	1.51	0.79			
	γ	m	18	0.40	0.27	17	1.388	.183
		m+f	18	0.36	0.19			
第七頁	θ	m	22	2.86	0.88	21	1.483	.153

		m+f	22	2.70	0.92			
莫	$\alpha 1$	m	22	2.53	1.06	21	2.280**	.033
耳		m+f	22	2.16	0.72			
數	$\alpha 2$	m	22	2.33	1.13	21	1.802*	.086
和		m+f	22	2.00	0.56			
體	$\beta 1$	m	22	2.04	1.10	21	3.203***	.004
積		m+f	22	1.52	0.63			
的	$\beta 2$	m	22	1.88	0.98	21	3.140***	.005
關		m+f	22	1.43	0.66			
係	γ	m	22	0.43	0.25	21	3.157***	.005
		m+f	22	0.31	0.17			

註：1. m=微觀表徵片段，m+f=微觀和符號表徵連接片段，

2.* $p < .1$; ** $p < .05$; *** $p < .01$; **** $p < .001$



根據表 4-2-1，在主題三（第一頁～第七頁）方面，第一頁分子運動速率、第二頁分子碰撞器壁頻率、第三頁壓力和體積的關係和第四頁壓力和體積的關的 $\alpha 1$ 和 $\alpha 2$ 波功率強度平均數在微觀和符號表徵連接片段都大於微觀表徵片段，且第一頁分子運動速率的 $\alpha 2$ 、第二頁分子碰撞器壁頻率的 $\alpha 2$ 、第三頁壓力和體積的關係的 θ 和 $\alpha 2$ 波的此兩片段有顯著差異；但 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 波功率強度的平均數在此兩片段並無顯著差異。第五頁體積和溫度的關係和第七頁莫耳數和體積的關係的情況和前四頁不同，其腦波功率強度的平均數在微觀和符號表徵連接片段都小於微觀表徵片段，且除了第五頁體積和溫度的關係的 $\alpha 1$ 和第七頁莫耳數和體積的關係的 θ 波以外，皆有顯著差異。在 γ 波方面，第五頁體積和溫度的關係和第七頁莫耳數和體積的關係之微觀和符號表徵連接片段功率強度平均數都顯著小於微觀表徵片段。顯示學生在學習微觀表徵時較微觀和符號表徵連結時需要較高的腦波強度，尤其在概念較複雜的第五頁，差異更為明顯。

表 4-2-2 微觀表徵和圖表表徵之成對樣本 T 檢定表

			N	Mean	SD	df	t	p
第八頁	θ	m	23	2.72	1.05	22	1.025	.316
壓力、 體積和 莫耳數 關係		m+d	23	2.57	0.83			
	$\alpha 1$	m	23	2.32	0.76	22	1.289	.211
		m+d	23	2.12	0.69			
	$\alpha 2$	m	22	2.19	1.04	21	-.963	.347
		m+d	23	2.39	1.02			
	$\beta 1$	m	23	1.87	1.16	21	2.667**	.014
		m+d	22	1.49	0.68			
	$\beta 2$	m	23	1.83	1.29	21	1.968*	.062
		m+d	22	1.46	0.69			
	γ	m	23	0.39	0.26	22	.059	.954
	m+d	23	0.38	0.33				
第九頁	θ	m	22	2.84	0.73	20	-.316	.755
壓力、 體積和 莫耳數 關係		m+d	22	2.98	1.01			
	$\alpha 1$	m	22	2.43	1.04	20	1.184	.250
		m+d	22	2.31	0.65			
	$\alpha 2$	m	22	2.36	1.25	20	1.150	.264
		m+d	22	2.23	0.84			
	$\beta 1$	m	20	1.58	0.72	18	.382	.707
		m+d	21	1.67	0.81			
	$\beta 2$	m	22	1.80	1.12	20	.116	.909
		m+d	22	1.81	1.09			
	γ	m	22	0.43	0.27	21	2.653**	.015

		m+d	22	0.38	0.22			
第十頁	θ	m	23	3.00	1.46	22	.995	.331
體積、 溫度和 莫耳數 關係		m+d	23	2.73	0.82			
	$\alpha 1$	m	23	2.52	0.90	22	1.520	.143
		m+d	23	2.27	0.74			
	$\alpha 2$	m	23	2.16	0.85	22	.080	.937
		m+d	23	2.15	0.88			
	$\beta 1$	m	23	2.02	0.94	22	2.074*	.050
		m+d	23	1.72	0.78			
	$\beta 2$	m	23	1.93	1.04	22	2.437**	.023
		m+d	23	1.57	0.73			
	γ	m	23	0.44	0.24	22	1.593	.125
		m+d	23	0.38	0.20			

註：1. m=微觀表徵片段; m+d=微觀和圖表表徵連結片段

根據表 4-2-2，主題四（第八頁～第十頁）之第八頁壓力、體積和莫耳數的關係和第十頁體積、溫度和莫耳數的關係的 $\beta 1$ 和 $\beta 2$ 波功率強度平均數在微觀和圖表表徵都小於微觀片段，且有顯著差異；而第九頁壓力、體積和莫耳數的關係的 γ 波功率強度平均數也在微觀和圖表表徵小於微觀片段，且達顯著差異。

二、不同概念之課程頁面腦波資料分析

已知微觀表徵和其他表徵連結片段在每個頁面的腦波強度差異，為了瞭解學生在不同概念之課程頁面學習時的腦波差異，分別將主題三微觀分子運動及公式的應用動畫頁面（第一頁、第二頁、第三頁、第五頁和第七頁）之微觀表徵片段（表 4-2-3）、主題三微觀分子運動及公式的應用動畫頁面（第一頁、第二頁、第三頁、第五頁和第七頁）之微觀和符號表徵連結片段（表 4-2-4）、主題三微觀分子運動及公式的應用模擬頁面（第

四頁和第六頁)之微觀表徵片段(表 4-2-5)、主題三微觀分子運動及公式的應用模擬頁面(第四頁和第六頁)之微觀和符號表徵連結片段(表 4-2-6)、主題四微觀分子運動及圖表動畫頁面(第八頁和第十頁)之微觀表徵片段(表 4-2-7)及主題四微觀分子運動及圖表動畫頁面(第八頁和第十頁)之微觀和圖表表徵連結片段(表 4-2-8)進行敘述性統計分析和推論性統計分析,在推論性統計方面,以腦波種類分別進行重複量數或成對樣本 T 檢定分析。

表 4-2-3 主題三動畫頁面之微觀表徵片段之重複量數分析結果

		Mean	SD	N	F	<i>p</i>	事後比較
θ							
第一頁	分子運動速率	2.57	0.87	22	3.444	.017**	
第二頁	分子碰撞器壁頻率	2.47	1.03	22			
第三頁	壓力和體積的關係	2.49	0.96	22			
第五頁	體積和溫度的關係	3.05	1.03	22			
第七頁	莫耳數和體積的關係	2.86	0.88	22			P7>P3(.077)
$\alpha 1$							
第一頁	分子運動速率	2.05	0.78	21	3.074	.021**	
第二頁	分子碰撞器壁頻率	1.92	0.74	21			
第三頁	壓力和體積的關係	2.00	0.89	21			
第五頁	體積和溫度的關係	2.28	0.76	21			
第七頁	莫耳數和體積的關係	2.45	1.01	21			
$\alpha 2$							
第一頁	分子運動速率	1.97	0.82	21	4.259	.007***	
第二頁	分子碰撞器壁頻率	1.88	0.80	21			
第三頁	壓力和體積的關係	1.87	0.61	21			
第五頁	體積和溫度的關係						P5>P1(.094);
		2.52	1.27	21			P5>P2(.062)
							P5>P3(.093)
第七頁	莫耳數和體積的關係	2.28	1.12	21			
$\beta 1$							
第一頁	分子運動速率	1.65	0.94	22	5.920	.001***	
第二頁	分子碰撞器壁頻率	1.42	0.67	22			
第三頁	壓力和體積的關係	1.51	0.76	22			
第五頁	體積和溫度的關係	2.09	1.07	22			P5>P2(.021)

第七頁	莫耳數和體積的關係	2.04	1.10	22		
β_2						
第一頁	分子運動速率	1.52	0.86	22	8.670	.000****
第二頁	分子碰撞器壁頻率	1.32	0.81	22		
第三頁	壓力和體積的關係	1.37	0.70	22		
第五頁	體積和溫度的關係					P5>P1(.024);
		1.98	0.83	22		P5>P2(.003);
						P5>P3(.002)
第七頁	莫耳數和體積的關係	1.88	0.98	22		P7>P3(.034)
γ						
第一頁	分子運動速率	0.40	0.22	22	4.169	.006****
第二頁	分子碰撞器壁頻率	0.33	0.24	22		
第三頁	壓力和體積的關係	0.31	0.18	22		
第五頁	體積和溫度的關係	0.51	0.32	22		P5>P3(.049)
第七頁	莫耳數和體積的關係	0.43	0.25	22		

註：1.* $p<.1$, ** $p<.05$, *** $p<.01$, **** $p<.001$

2.事後比較：P1=第一頁分子運動速率，P2=第二頁分子碰撞器壁頻率，P3=第三頁壓力和體積的關係，P5=第五頁體積和溫度的關係，P7=第七頁莫耳數和體積的關係

根據表 4-2-3，學生在主題三動畫頁面之微觀表徵片段的 θ 、 α_2 、 β_1 、 β_2 和 γ 波由第一頁分子運動速率到第二頁分子碰撞器壁頻率的腦波功率強度平均數逐漸下降，而第二頁分子碰撞器壁頻率到第五頁體積和溫度的關係的腦波功率強度平均數則逐漸提昇，到第五頁體積和溫度的關係時達到最高峰，之後在第七頁體積和溫度的關係時腦波功率略為下降，而 α_1 在第二頁分子碰撞器壁頻率到第七頁體積和溫度的關係的腦波功率強度平均數則逐漸提昇，到第七頁體積和溫度的關係時達到最高峰，此六種腦波在主題三的動畫頁面皆達顯著差異。經 sidak 法進行事後比較發現， θ 的功率強度在第七頁莫耳數和體積的關係顯著大於第三頁壓力和體積的關係； α_2 的功率強度在第五頁體積和溫度的關係顯著大於第一頁分子運動速率、第二頁分子碰撞器壁頻率、第三頁壓力和體積的關係； β_1 的功率強度在第五頁體積和溫度的關係顯著大於第二頁分子碰撞器壁頻率； β_2 的功率強度在第五頁體積和溫度的關係顯著大於第一頁分子運動速率、第二頁分子碰撞器壁頻率、第三頁壓力和體積的關係，第七頁莫耳數和體積的關係顯著

大於第三頁壓力和體積的關係； γ 波的功率強度在第五頁體積和溫度的關係顯著大於第三頁壓力和體積的關係。以上結果顯示出學生在第五頁體積和溫度的關係和第七頁莫耳數和體積的關係的微觀片段 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 和 γ 波的功率強度大體顯著大於其他頁面，而在 θ 、 $\alpha 1$ 和 $\alpha 2$ 的功率強度平均數也在第五頁體積和溫度的關係和第七頁莫耳數和體積的關係有較高的趨勢。推論微觀表徵片段在概念較複雜的頁面，學生需要越大的腦波功率來處理視覺和記憶等認知相關訊息。

表 4-2-4 主題三動畫頁面之微觀和符號表徵連結片段之重複量數分析結果

		Mean	SD	N	F	p	事後比較
θ							
第一頁	分子運動速率	2.44	0.75	22	4.584	.006**	
第二頁	分子碰撞器壁頻率	2.44	0.77	22			
第三頁	壓力和體積的關係	2.71	0.89	22			P3>P1(.028)
第五頁	體積和溫度的關係	2.71	0.90	22			
第七頁	莫耳數和體積的關係	2.70	0.92	22			
$\alpha 1$							
第一頁	分子運動速率	2.14	0.75	22	3.413	.027*	
第二頁	分子碰撞器壁頻率	2.07	0.69	22			
第三頁	壓力和體積的關係	2.12	0.73	22			
第五頁	體積和溫度的關係	2.24	0.79	22			
第七頁	莫耳數和體積的關係	2.16	0.72	22			
$\alpha 2$							
第一頁	分子運動速率	2.21	0.88	22	1.927	.151	
第二頁	分子碰撞器壁頻率	2.20	0.78	22			
第三頁	壓力和體積的關係	2.08	0.78	22			
第五頁	體積和溫度的關係	2.16	0.90	22			
第七頁	莫耳數和體積的關係	2.00	0.56	22			
$\beta 1$							
第一頁	分子運動速率	1.46	0.71	20	2.140	.126	
第二頁	分子碰撞器壁頻率	1.44	0.75	20			
第三頁	壓力和體積的關係	1.31	0.56	20			
第五頁	體積和溫度的關係	1.53	0.68	20			P5>P3(.001)
第七頁	莫耳數和體積的關係	1.46	0.62	20			
$\beta 2$							

第一頁	分子運動速率	1.37	0.65	20	1.307	.279	
第二頁	分子碰撞器壁頻率	1.22	0.59	20			
第三頁	壓力和體積的關係	1.29	0.75	20			
第五頁	體積和溫度的關係	1.39	0.63	20			P5>P2(.046)
第七頁	莫耳數和體積的關係	1.33	0.59	20			
γ							
第一頁	分子運動速率	0.33	0.21	22	2.185	.101	
第二頁	分子碰撞器壁頻率	0.27	0.15	22			
第三頁	壓力和體積的關係	0.27	0.21	22			
第五頁	體積和溫度的關係	0.33	0.17	22			P5>P2(.009)
第七頁	莫耳數和體積的關係	0.31	0.17	22			

註: 1.* $p < .05$, ** $p < .01$

2. 事後比較: P1=第一頁分子運動速率, P2=第二頁分子碰撞器壁頻率, P3=第三頁壓力和體積的關係, P5=第五頁體積和溫度的關係, P7=第七頁莫耳數和體積的關係

根據表 4-2-4, 學生在主題三動畫頁面之微觀和符號表徵連接片段的 θ 波的功率強度平均數在第三頁壓力和體積的關係、第五頁體積和溫度的關係與第七頁莫耳數和體積的關係高於前面兩頁, $\alpha 1$ 、 $\beta 2$ 和 γ 波的功率強度平均數在第二頁分子碰撞器壁頻率之後逐漸提昇, 在第五頁體積和溫度的關係達最高峰, 第七頁莫耳數和體積的關係略為下降, 而 $\alpha 2$ 和 $\beta 1$ 波的功率強度平均數在第二頁分子碰撞器壁頻率下降, 之後逐漸提昇, 在第五頁體積和溫度的關係達最高峰, 其中 θ 和 $\alpha 1$ 波的平均數達顯著差異, 經 sidak 法進行事後比較發現, θ 波在第三頁壓力和體積的關係顯著大於第一頁分子運動速率, $\beta 1$ 在第五頁體積和溫度的關係顯著大於第三頁壓力和體積的關係, γ 和 $\beta 2$ 皆在第五頁體積和溫度的關係顯著大於第二頁分子碰撞器壁頻率。

表 4-2-5 主題三模擬頁面之微觀表徵片段之成對樣本 T 檢定結果

		Mean	SD	N	df	t	p
θ							
第四頁	壓力和體積的關係	2.51	0.74	23	22	-5.529	.602
第六頁	體積和溫度的關係	2.57	0.63	23			
$\alpha 1$							

第四頁	壓力和體積的關係	2.20	0.72	23	22	.278	.783
第六頁	體積和溫度的關係	2.16	0.56	23			
$\alpha 2$							
第四頁	壓力和體積的關係	2.04	0.83	23	22	-.483	.634
第六頁	體積和溫度的關係	2.13	0.78	23			
$\beta 1$							
第四頁	壓力和體積的關係	1.70	0.88	23	22	-.428	.673
第六頁	體積和溫度的關係	1.77	0.89	23			
$\beta 2$							
第四頁	壓力和體積的關係	1.56	0.82	23	22	-.276	.785
第六頁	體積和溫度的關係	1.60	0.88	23			
γ							
第四頁	壓力和體積的關係	0.38	0.24	23	22	-.600	.555
第六頁	體積和溫度的關係	0.41	0.25	23			

根據表 4-2-5，學生在主題三模擬頁面之微觀表徵片段的 θ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 和 γ 波功率強度平均數在第六頁壓力和體積的關係皆大於第四頁體積和溫度的關係，而 $\alpha 1$ 平均數為第四頁體積和溫度的關係大於第六頁壓力和體積的關係，但皆未達顯差異。

表 4-2-6 主題三模擬頁面之微觀和符號表徵連結片段之成對樣本 T 檢定結果

		Mean	SD	N	df	t	p
θ							
第四頁	壓力和體積的關係	2.40	0.61	15	14	-.025	.980
第六頁	體積和溫度的關係	2.40	0.75	15			
$\alpha 1$							
第四頁	壓力和體積的關係	2.19	0.78	16	15	-.338	.740
第六頁	體積和溫度的關係	2.27	1.39	16			
$\alpha 2$							
第四頁	壓力和體積的關係	1.97	0.74	16	15	-1.250	.230
第六頁	體積和溫度的關係	2.22	1.26	16			
$\beta 1$							
第四頁	壓力和體積的關係	1.38	0.54	15	14	-.776	.451
第六頁	體積和溫度的關係	1.49	0.73	15			
$\beta 2$							
第四頁	壓力和體積的關係	1.32	0.50	15	14	-.856	.406

第六頁	體積和溫度的關係	1.41	0.75	15			
γ							
第四頁	壓力和體積的關係	0.31	0.14	16	15	-.909	.377
第六頁	體積和溫度的關係	0.35	0.19	16			

根據表 4-2-6，學生在主題三模擬頁面之微觀和符號表徵連接片段，除了 θ 在此兩個頁面的功率強度平均數相等之外， $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 和 γ 波功率強度平均數在第六頁壓力和體積的關係皆大於第四頁體積和溫度的關係，但皆未達顯差異。

表 4-2-7 主題四之微觀表徵片段之成對樣本 T 檢定結果

		Mean	SD	N	df	t	p
θ							
第八頁	壓力、體積和莫耳數的關係	2.72	1.05	23	22	-.986	.335
第十頁	體積、溫度和莫耳數的關係	3.00	1.46	23			
$\alpha 1$							
第八頁	壓力、體積和莫耳數的關係	2.32	0.76	23	22	-1.128	.272
第十頁	體積、溫度和莫耳數的關係	2.52	0.90	23			
$\alpha 2$							
第八頁	壓力、體積和莫耳數的關係	2.19	1.04	22	21	.223	.825
第十頁	體積、溫度和莫耳數的關係	2.14	0.86	22			
$\beta 1$							
第八頁	壓力、體積和莫耳數的關係	1.87	1.16	23	22	-.829	.416
第十頁	體積、溫度和莫耳數的關係	2.02	0.94	23			
$\beta 2$							
第八頁	壓力、體積和莫耳數的關係	1.83	1.29	23	22	-.451	.657
第十頁	體積、溫度和莫耳數的關係	1.93	1.04	23			

耳數的關係							
γ							
第八頁	壓力、體積和莫耳數的關係	0.39	0.26	23	22	-1.009	.324
第十頁	體積、溫度和莫耳數的關係	0.44	0.24	23			

根據表 4-2-7，學生在主題四微觀表徵片段的 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 和 γ 波的功率強度平均數在第十頁體積、溫度和莫耳數的關係都大於第八頁壓力、體積和莫耳數的關係，但皆未達顯著差異。

表 4-2-8 主題四之微觀和圖表表徵連結片段之成對樣本 T 檢定結果

		Mean	SD	N	df	t	p
θ							
第八頁	壓力、體積和莫耳數的關係	2.57	0.83	23	22	-1.183	.249
第十頁	體積、溫度和莫耳數的關係	2.73	0.82	23			
$\alpha 1$							
第八頁	壓力、體積和莫耳數的關係	2.12	0.69	23	22	-.965	.345
第十頁	體積、溫度和莫耳數的關係	2.27	0.74	23			
$\alpha 2$							
第八頁	壓力、體積和莫耳數的關係	2.39	1.02	23	22	1.085	.290
第十頁	體積、溫度和莫耳數的關係	2.15	0.88	23			
$\beta 1$							
第八頁	壓力、體積和莫耳數的關係	1.49	0.68	22	21	-2.546*	.019
第十頁	體積、溫度和莫耳數的關係	1.73	0.80	22			
$\beta 2$							
第八頁	壓力、體積和莫耳數的關係	1.46	0.69	22	21	-1.187	.249

	耳數的關係						
第十頁	體積、溫度和莫耳數的關係	1.57	0.74	22			
γ							
第八頁	壓力、體積和莫耳數的關係	0.38	0.33	23	22	.105	.918
第十頁	體積、溫度和莫耳數的關係	0.38	0.20	23			

註：1.* $p < .05$

根據表 4-2-8，學生在微觀和符號表徵連接片段的 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 波功率強度平均數在第十頁體積、溫度和莫耳數的關係都高於第八頁壓力、體積和莫耳數的關係，且 $\beta 1$ 的平均數有顯著差異， $\alpha 2$ 為第八頁壓力、體積和莫耳數的關係高於第十頁體積、溫度和莫耳數的關係。



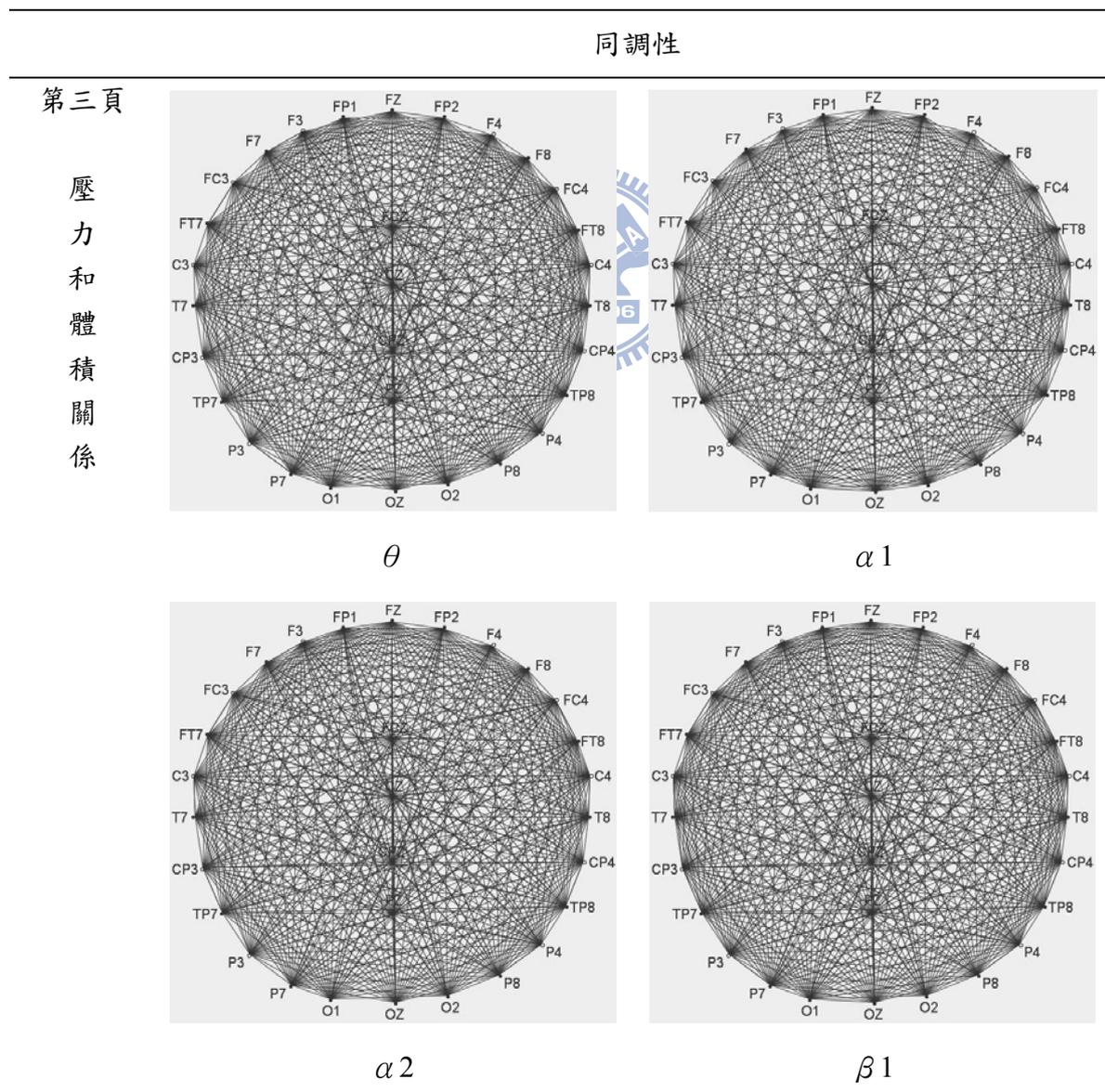
三、不同表徵課程片段與不同概念課程頁面之同調性分析

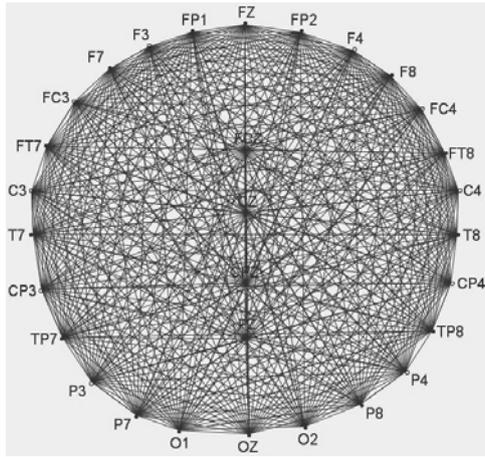
(1) 不同表徵課程片段之同調性分析

由不同表徵課程片段的腦波功率強度之推論統計分析後，已知在主題三的第三頁壓力和體積的關係， θ 和 $\alpha 2$ 在微觀表徵片段同調性分析與微觀和符號表徵連接片段在各腦波有顯著差異，第五頁體積和溫度的關係和第七頁莫耳數和體積的關係時，微觀表徵片段與微觀和符號表徵連接片段在各腦波皆有顯著差異；在主題四的第八頁壓力、體積和莫耳數的關係和第九頁體積、溫度和莫耳數的關係的 $\beta 1$ 和 $\beta 2$ 在微觀表徵片段與微觀和圖表表徵連接片段有顯著差異。而在不同概念課程頁面的腦波功率強度方面，已知在主題三頁面中，第五頁體積和溫度的關係和第七頁莫耳數和體積的關係莫耳數和體積的關係的概念在微觀表徵片段腦波功率強度顯著大於其他前面概念較容易的頁面，微觀和符號表徵連接片段上也有較難之概念頁面大於較容易之概念頁面之趨勢；但主題四之頁面只有在微觀和圖表表徵連結片段的 $\beta 1$ 和 $\beta 2$ 波有顯著差異。

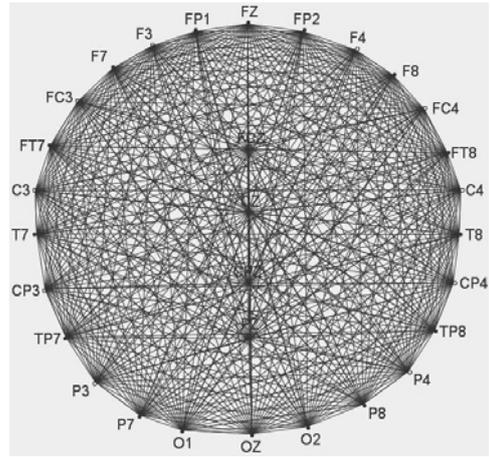
根據以上的結果，本研究將以上有顯著差異的關係頁面進一步探討其各電極間之同調性。本研究記錄之 32 個電極產生出 435 個同調性配對，針對主題三之第三頁壓力和體積的關係、第五頁體積和溫度的關係和第七頁莫耳數和體積的關係(相同概念頁面下)的微觀表徵片段與微觀和符號表徵連接片段之同調性數值進行成對樣本 T 檢定，結果見表 4-2-9。針對主題四之第八頁壓力、體積和莫耳數的關係和第九頁體積、溫度和莫耳數的關係的微觀表徵片段與微觀和圖表表徵連接片段之同調性數值進行成對樣本 T 檢定，結果見表 4-2-10。

表 4-2-9 微觀表徵片段與微觀和符號表徵連接片段之同調性成對樣本 T 檢定結果

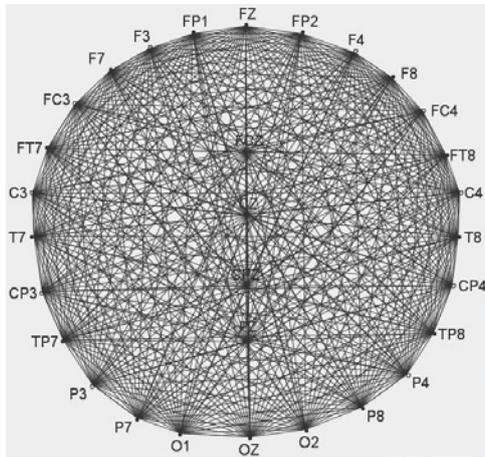




$\beta 2$



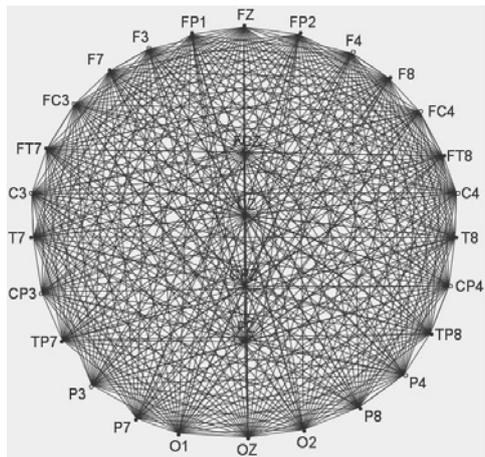
γ



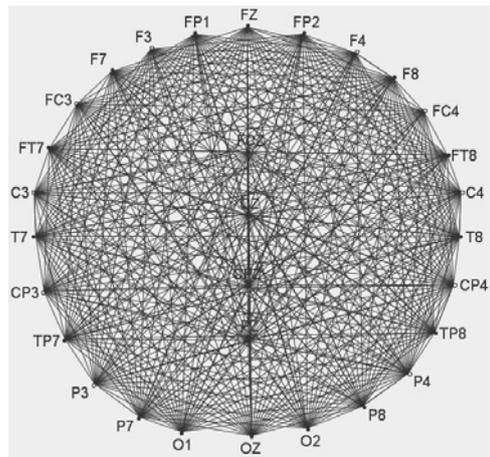
total

第五頁

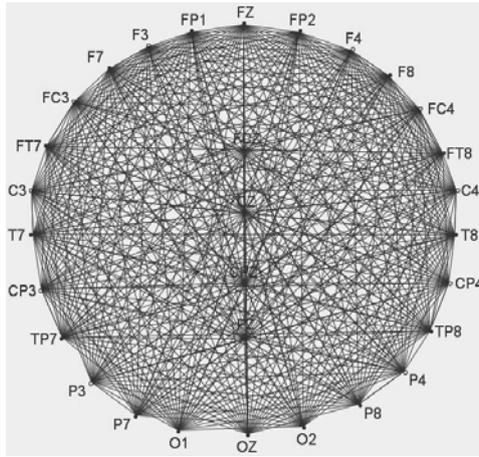
體積和溫度的關係



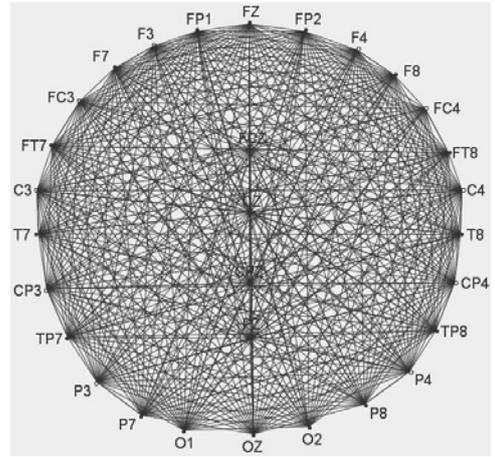
θ



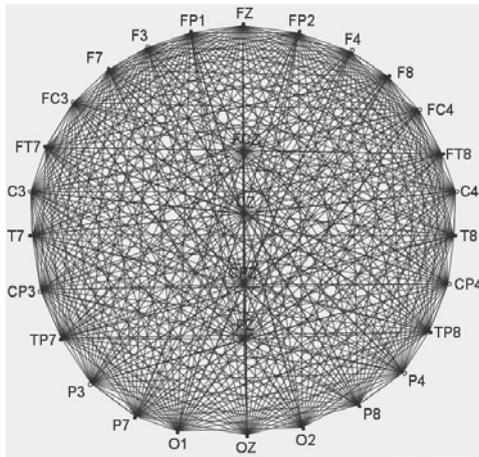
$\alpha 1$



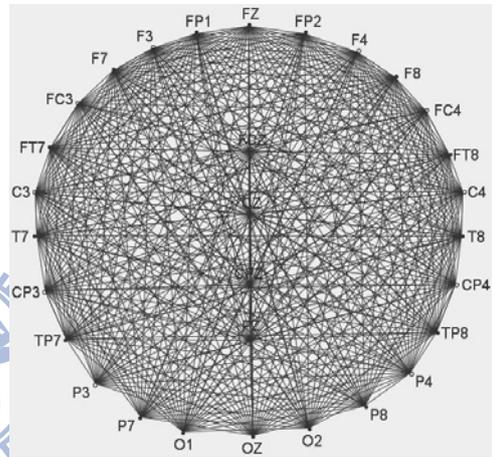
$\alpha 2$



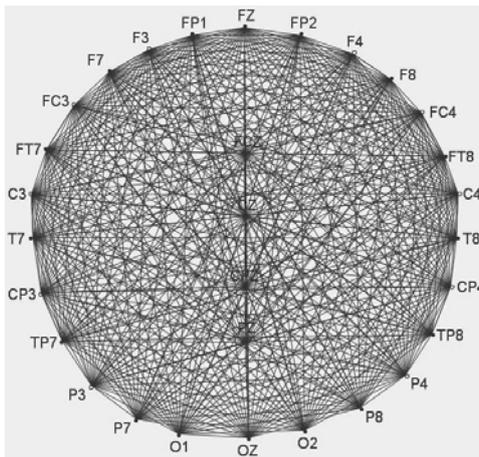
$\beta 1$



$\beta 2$

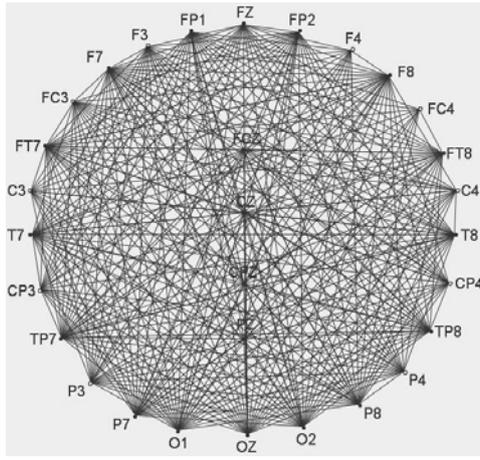


γ

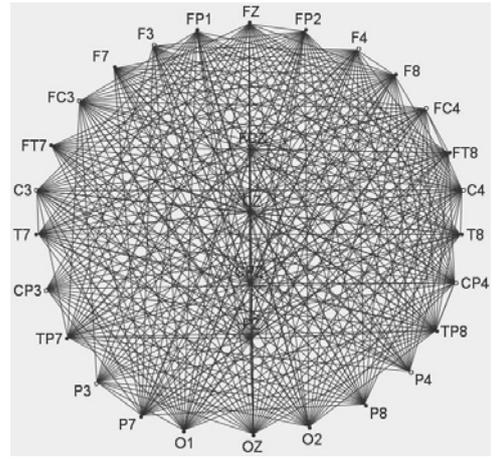


Total

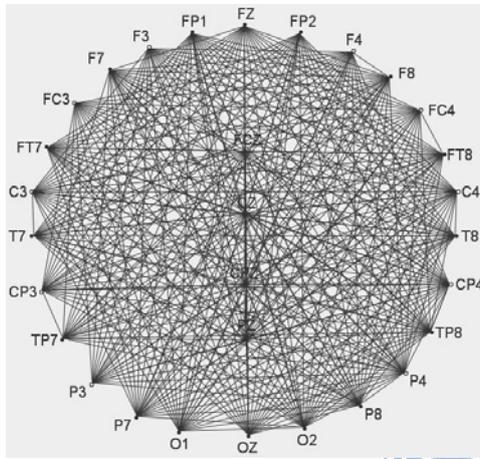
莫耳數和體積的關係



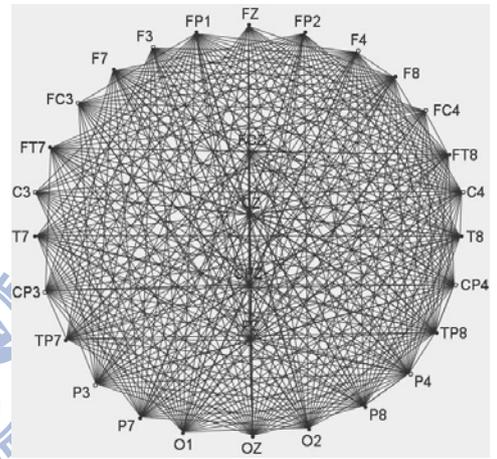
θ



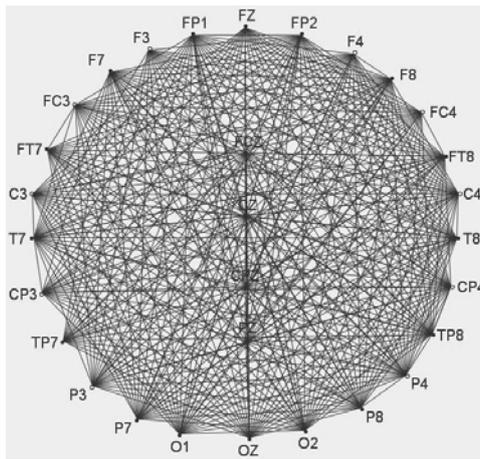
$\alpha 1$



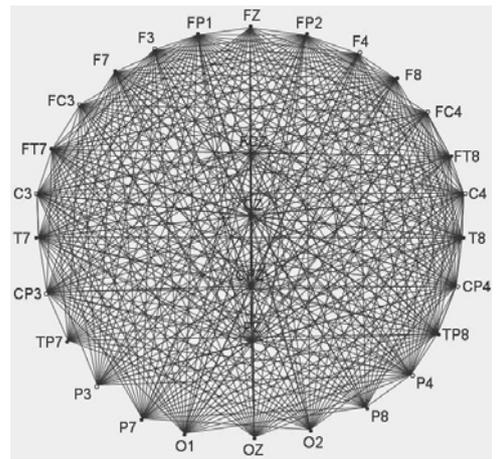
$\alpha 2$



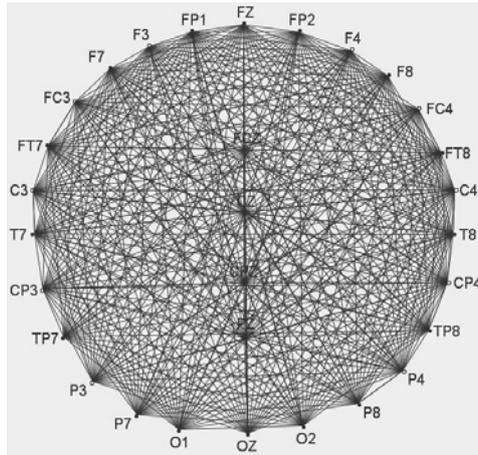
$\beta 1$



$\beta 2$



γ



Total

註：——— 微觀表徵片段 > 微觀與符號表徵連接片段

由表 4-2-9 可知，主題三的這三個頁面有一致的結果，微觀表徵片段在每個電極位置之間的同調性都顯著大於微觀和符號表徵連接片段，顯示學生在每個頁面的微觀表徵片段用來連結各腦區間的腦波功率強度都顯著大於微觀和符號表徵連接片段。

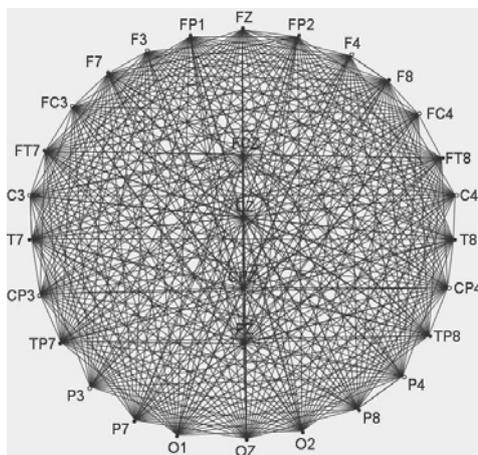


表 4-2-10 微觀表徵片段與微觀和圖表表徵連接片段之同調性成對樣本 T 檢定結果

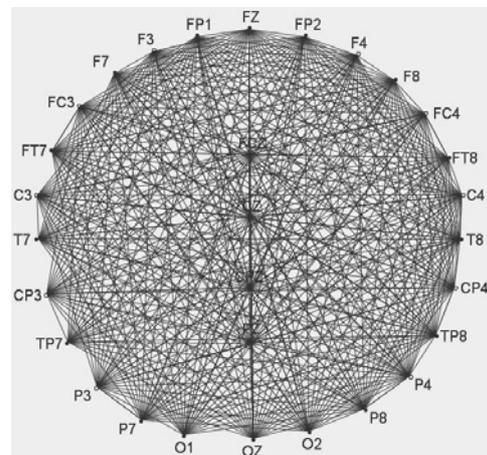
同調性

第八頁

壓力、體積和莫耳數

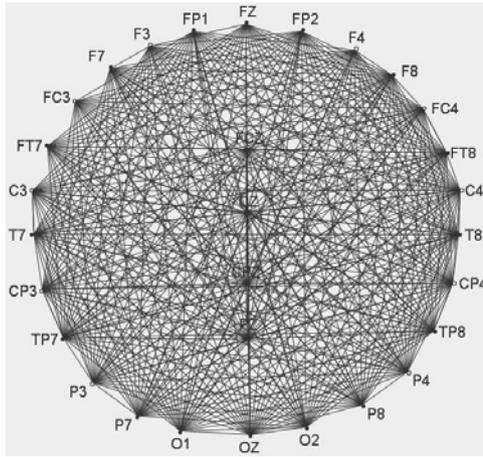


θ

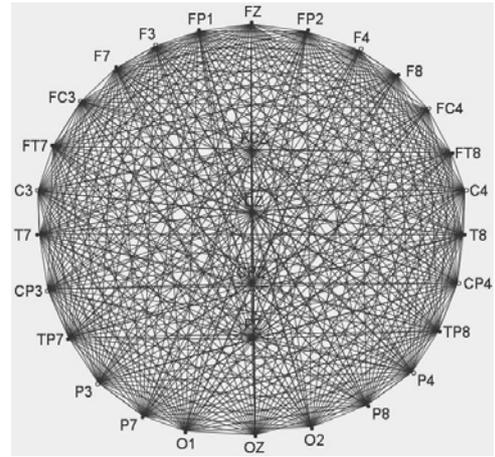


$\alpha 1$

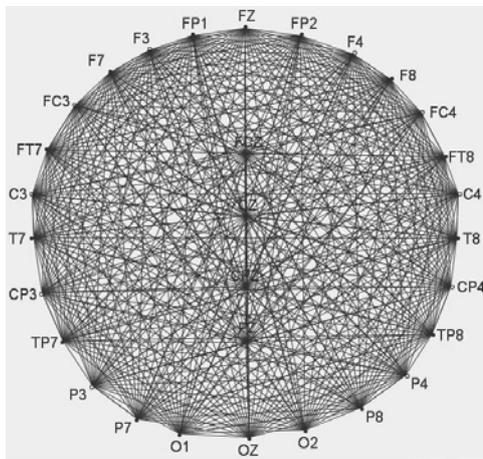
關係



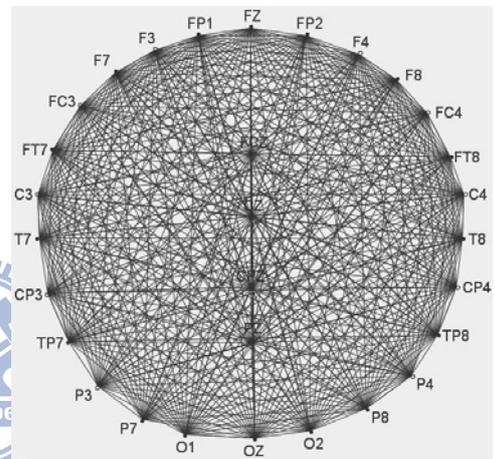
$\alpha 2$



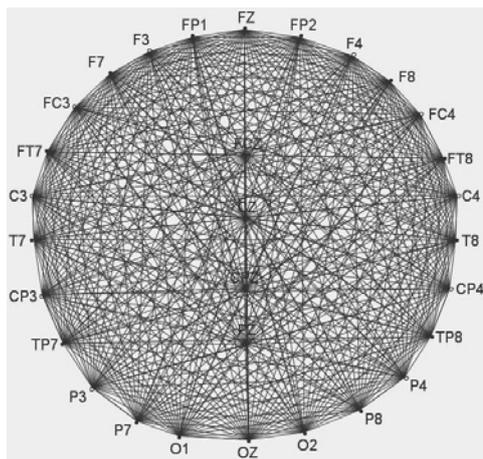
$\beta 1$



$\beta 2$

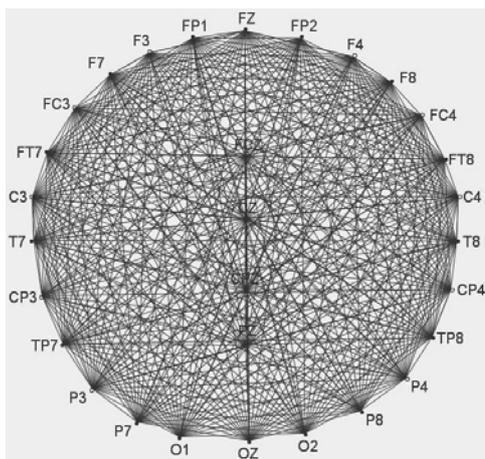


γ

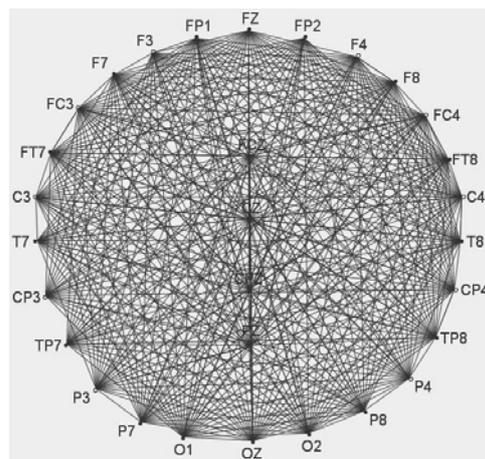


total

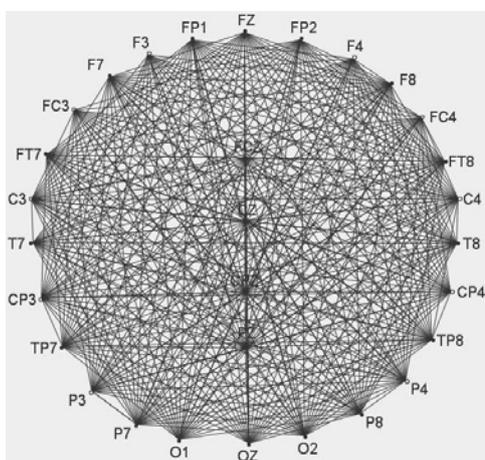
體積、溫度
和莫耳數關係



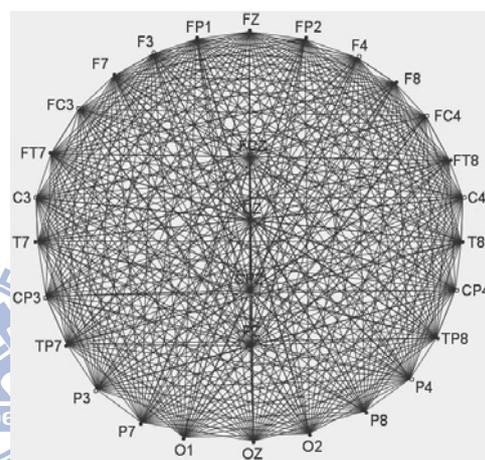
θ



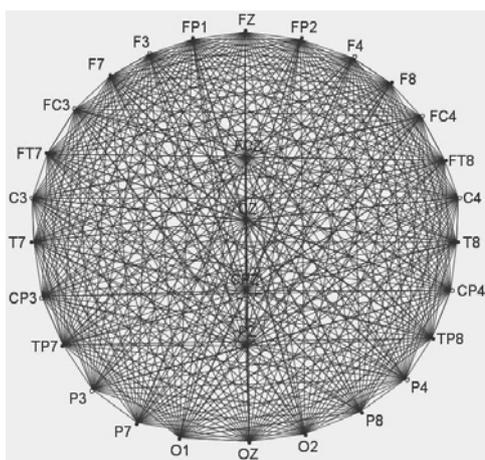
$\alpha 1$



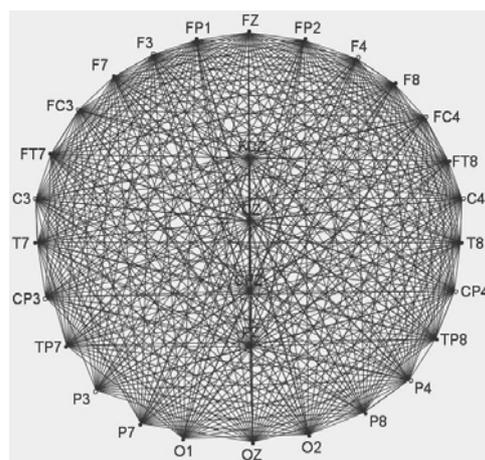
$\alpha 2$



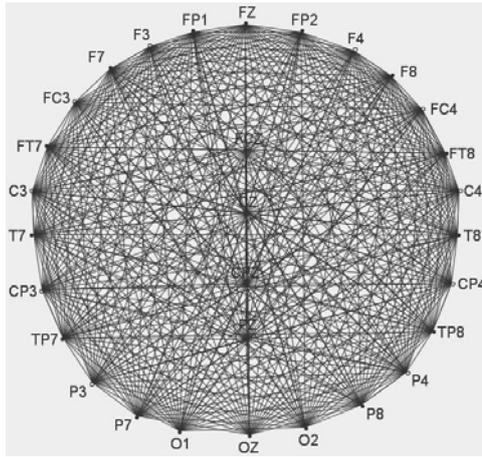
$\beta 1$



$\beta 2$



γ



Total

註：——— 微觀表徵片段 > 微觀和圖表表徵連接片段

由表 4-2-10 可知，主題四的這兩個頁面和主題三一樣也有一致的結果，微觀表徵片段在每個電極位置之間的同調性都顯著大於微觀和圖表表徵連接片段，顯示學生在每個頁面的微觀表徵片段用來連結各腦區間的腦波功率強度都顯著大於微觀和圖表表徵連接片段。

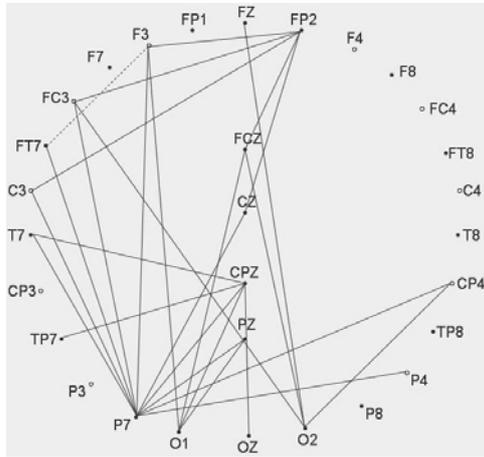


(2) 不同概念課程頁面之同調性分析

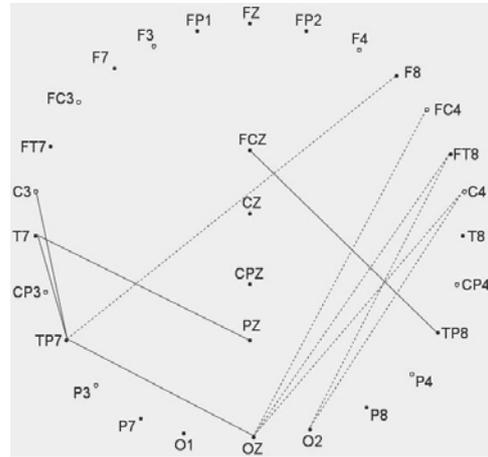
比較這些頁面在相同表徵下其腦波同調性，同樣進行成對樣本 T 檢定，第三頁壓力和體積的關係與第五頁體積和溫度的關係之微觀表徵片段同調性成對樣本 T 檢定結果見表 4-2-11；第三頁壓力和體積的關係與第五頁體積和溫度的關係之微觀與符號表徵連結片段同調性成對樣本 T 檢定結果見表 4-2-12；第五頁體積和溫度的關係與第七頁莫耳數和體積的關係之微觀表徵片段同調性成對樣本 T 檢定結果見表 4-2-13；第五頁體積和溫度的關係與第七頁莫耳數和體積的關係之微觀與符號表徵連結片段同調性成對樣本 T 檢定結果見表 4-2-14；第八頁壓力、體積和莫耳數的關係壓力、體積和莫耳數的關係與第九頁體積、溫度和莫耳數的關係之微觀表徵片段同調性成對樣本 T 檢定結果見表 4-2-15；第八頁壓力、體積和莫耳數的關係壓力、體積和莫耳數的關係與第九頁體積、溫度和莫耳數的關係之微觀與圖表表徵連結片段同調性成對樣本 T 檢定結果見表

4-2-16。

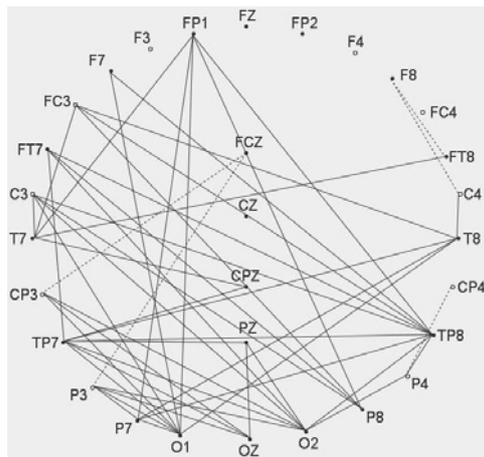
表 4-2-11 第三頁「壓力和體積關係」與第五頁「體積和溫度的關係體積和溫度的關係」之微觀表徵片段同調性成對樣本 T 檢定結果



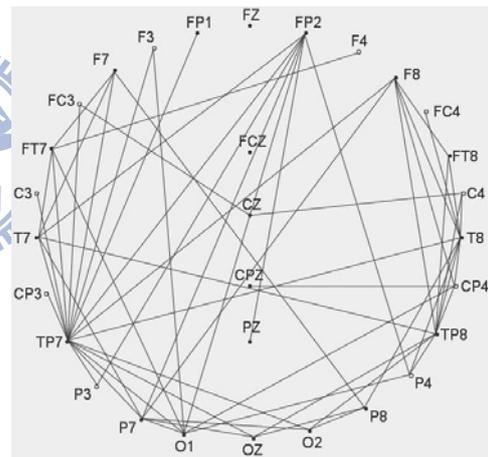
θ



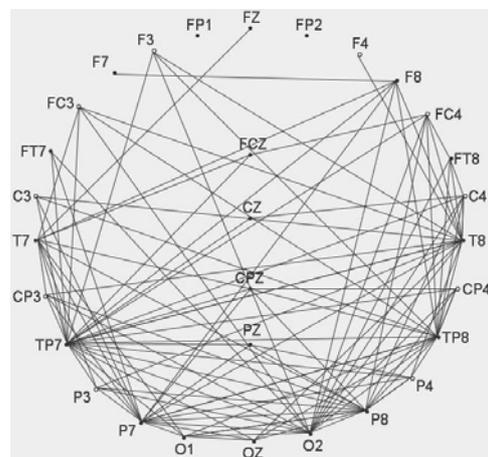
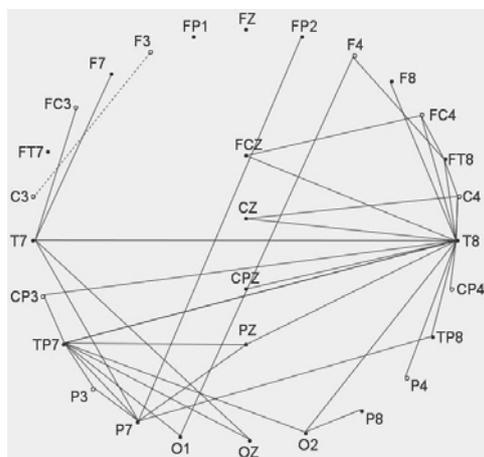
$\alpha 1$

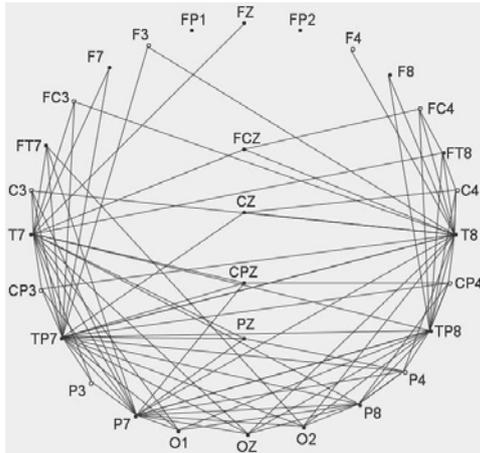


$\alpha 2$



$\beta 1$



$\beta 2$ γ 

Total

註：—— 第三頁壓力和體積的關係>第五頁體積和溫度的關係；…………… 第三頁壓力和體積的關係<第五頁體積和溫度的關係

根據表 4-2-11，第三頁壓力和體積的關係和第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵片段的比較，在 θ 波方面，第三頁壓力和體積的關係的微觀表徵片段之同調性顯著大於第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵片段，可見學生在微觀表徵片段時有許多跨腦區的遠距離合作情形，如：額葉區與頂葉區、枕葉區、中央區的連結；枕葉區與頂葉區、中央區的連結；頂葉區(P7)與中央區、顳葉區的連結等，且以左半腦為主要處理區域。

在 $\alpha 1$ 方面，第三頁壓力和體積的關係的微觀表徵片段之同調性在顳葉與中央區、頂葉、枕葉之間的合作情形大於第五頁體積和溫度的關係，但第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵片段在枕葉與中央區、顳葉(FT8)間的合作卻大於第三頁壓力和體積的關係，另外，第五頁體積和溫度的關係在左右腦長距離之合作情形有顯著大於第三頁壓力和體積的關係的情形，如：右額葉區(F8)到左顳葉區(TP7)。

在 $\alpha 2$ 方面，第三頁壓力和體積的關係的微觀表徵片段之同調性除了有長距離之跨腦區合作顯著大於第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵之外，如：額葉(FP1、F7)與顳葉、頂葉、枕葉間的連結；枕葉與顳葉區、頂葉區、中央區，還有左右腦區之長距離合作情形，如：左顳葉區與右顳葉區。

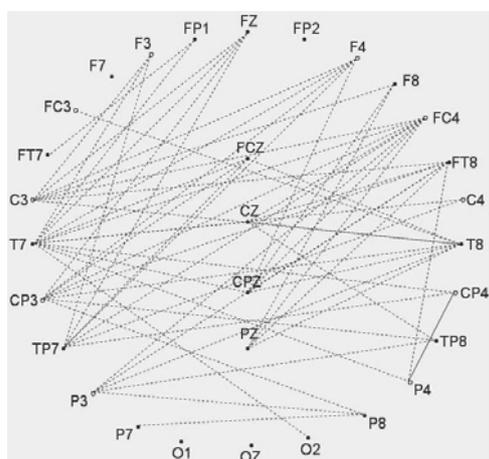
在 $\beta 1$ 方面，第三頁壓力和體積的關係的微觀表徵片段之同調性有長距離之跨腦區合作顯著大於第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵情形之外，如：額葉區(FP2、P7)與顳葉區、頂葉區、枕葉區的連結；枕葉區與顳葉區、頂葉區的連結；顳葉區(TP7)與中央區的連結，還有左右腦同腦區內的連結，如：左顳葉區(TP7)和右顳葉區(T8)。

在 $\beta 2$ 方面，第三頁壓力和體積的關係的微觀表徵片段之同週性在長距離之跨腦區合作顯著大於第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵情形，如：顳葉區(T8、FT8、TP7、T7)與頂葉區、枕葉區、中央區的連結；頂葉與枕葉、額葉的連結；額葉與枕葉的連結，還有左右腦同腦區內的連結，如：左顳葉區(TP7)和右顳葉區(T8)。

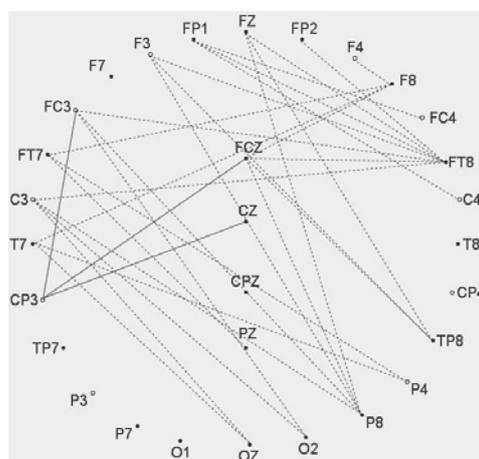
在 γ 波方面，較前面較低頻率的腦波，第三頁壓力和體積的關係的微觀表徵片段有更多腦區的合作情形顯著大於於第五頁體積和溫度的關係，如：中央區、顳葉區、頂葉區、枕葉區及部份額葉區之間的連結，第三頁壓力和體積的關係在中央區、顳葉區、頂葉區、枕葉區及部份額葉區內的連結與對側腦區的連結也顯著大於第五頁體積和溫度的關係。

若不分腦波類型總體論之，整體的大腦活性，微觀表徵片段在第三頁壓力和體積的關係和第五頁體積和溫度的關係表現上，在許多腦區之間的合作情形在第三頁壓力和體積的關係顯著大於第五頁體積和溫度的關係，如：顳葉區與額葉區、頂葉區、枕葉區、中央區的連結；枕葉與頂葉的連結；頂葉與枕葉、中央區的連結。在相同腦區內的合作情形也在第三頁壓力和體積的關係顯著大於第五頁體積和溫度的關係，如：顳葉區內和頂葉區內。

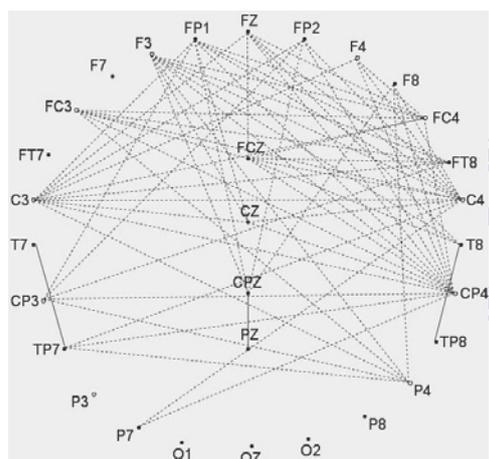
表 4-2-12 第三頁「壓力和體積關係」與第五頁「體積和溫度的關係」之微觀和符號表
 徵連接片段同調性成對樣本 T 檢定結果



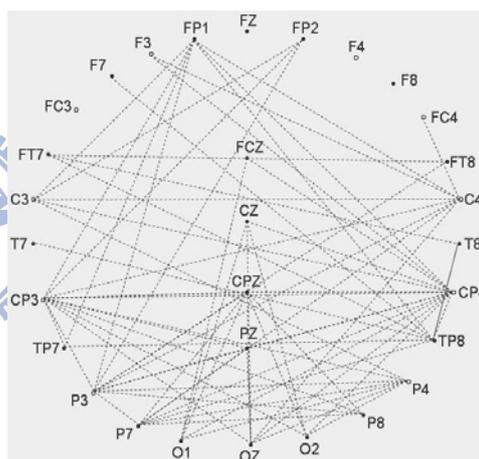
θ



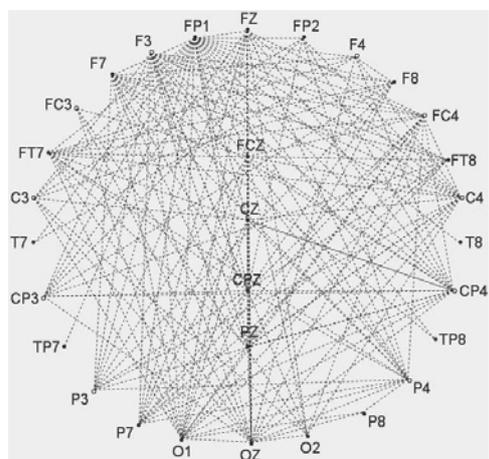
$\alpha 1$



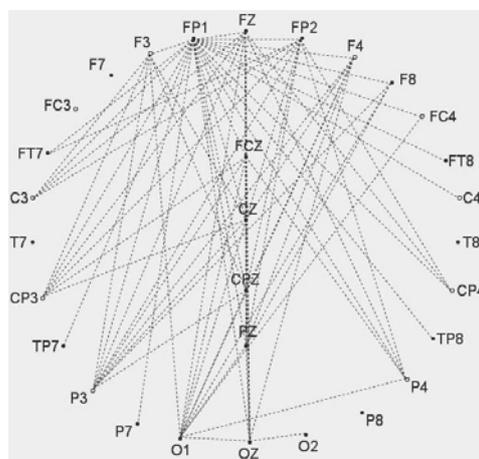
$\alpha 2$



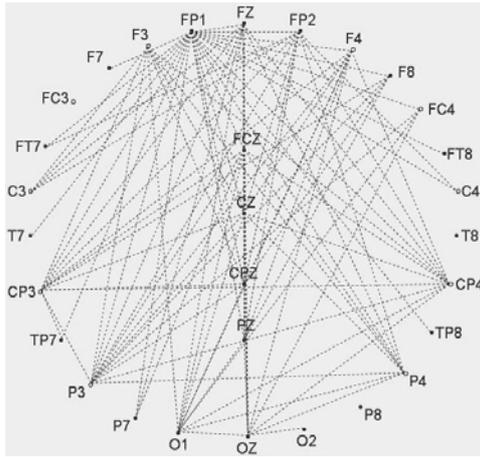
$\beta 1$



$\beta 2$



γ



Total

註：——第三頁壓力和體積的關係>第五頁體積和溫度的關係；……………第三頁壓力和體積的關係<第五頁體積和溫度的關係

根據表 4-2-12，第三頁壓力和體積的關係和第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵和符號表徵連接片段的比較，在 θ 波方面，和微觀表徵片段不同的是，大部份有顯著差異的左右腦跨腦區合作情形為第五頁體積和溫度的關係大於第三頁壓力和體積的關係，包含額葉區與顳葉區、中央區的連結；顳葉區與中央區、頂葉區、枕葉區的連結。相同腦區內的左右腦合作情形也是第三頁壓力和體積的關係顯著大於第五頁體積和溫度的關係，包含中央區和頂葉區內的連結。

在 $\alpha 1$ 方面，大部份有顯著差異的跨腦區合作情形為第五頁體積和溫度的關係大於第三頁壓力和體積的關係，包含額葉與顳葉、頂葉的連結；顳葉與頂葉、枕葉的連結；頂葉與中央區；枕葉與中央區的連結。但以 CP3 為主要節點的中央區內連結，卻是第三頁壓力和體積的關係大於第五頁體積和溫度的關係。

在 $\alpha 2$ 方面，大部份有顯著差異的左右腦跨腦區合作情形為第五頁體積和溫度的關係大於第三頁壓力和體積的關係，且較多位於前腦區，包含額葉與中央區的連結；中央區與頂葉區、顳葉區的連結；頂葉區與顳葉區、額葉區的連結。相同腦區內的左右腦合作情形也是第五頁體積和溫度的關係顯著大於第三頁壓力和體積的關係，如：左右腦的中央區內部的連結，但顳葉內部的連結卻是第三頁壓力和體積的關係顯著大於第五頁體積和溫度的關係。

積和溫度的關係。

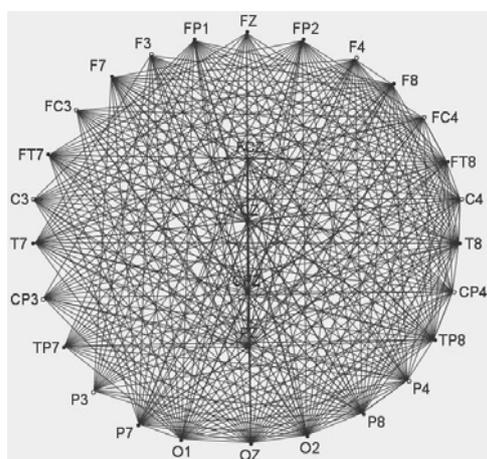
在 $\beta 1$ 方面，有顯著差異的左右腦跨腦區合作情形為第五頁體積和溫度的關係大於第三頁壓力和體積的關係，且大多位於後腦區，包含枕葉區與中央區、顳葉區、頂葉區的連結；額葉區與顳葉區、中央區、頂葉區的連結；頂葉區與中央區的連結。相同腦區內的左右腦合作情形也是第五頁體積和溫度的關係顯著大於第三頁壓力和體積的關係，包含中央區、頂葉區和顳葉區內的連結。

在 $\beta 2$ 方面，有顯著差異的前後和左右腦跨腦區合作情形為第五頁體積和溫度的關係大於第三頁壓力和體積的關係，且平均分布於所有腦區，包含額葉區與中央區、頂葉區、枕葉區、顳葉區的連結；中央區與頂葉區、枕葉區、顳葉區的連結；頂葉於枕葉的連結。相同腦區內的左右腦合作情形也是第五頁體積和溫度的關係顯著大於第三頁壓力和體積的關係，包含額葉區、中央區、頂葉區內的連結。

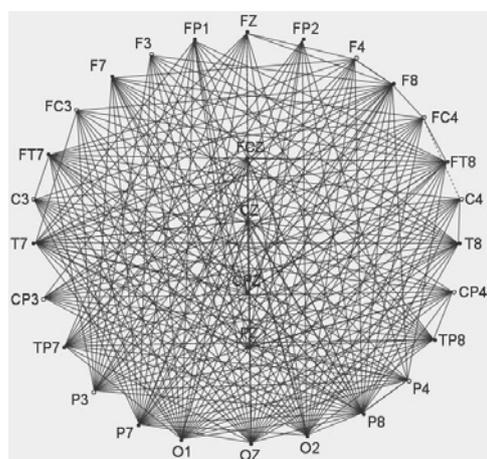
在 γ 波方面，有顯著差異的前後和左右腦跨腦區合作情形為第五頁體積和溫度的關係大於第三頁壓力和體積的關係，且大多位於前腦區，包含額葉區與枕葉區、頂葉區、中央區的連結；枕葉區與頂葉區、中央區的連結。

若不分腦波類型總體論之，第五頁體積和溫度的關係在微觀和符號表徵連接片段的腦部活躍程度在跨腦區的合作情形顯著大於第三頁壓力和體積的關係，包含額葉區與中央區、頂葉區、枕葉區的連結；頂葉區和中央區的連結；枕葉區和中央區的連結。第五頁體積和溫度的關係在同腦區的腦部活躍程度也顯著大於第三頁壓力和體積的關係，包含中央區、頂葉區和枕葉區內部的連結。

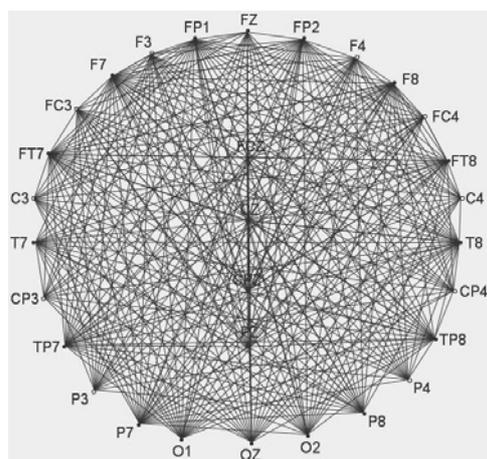
表 4-2-13 第五頁「體積和溫度的關係」與第七頁「莫耳數和體積的關係」之微觀表徵
 片段同調性成對樣本 T 檢定結果



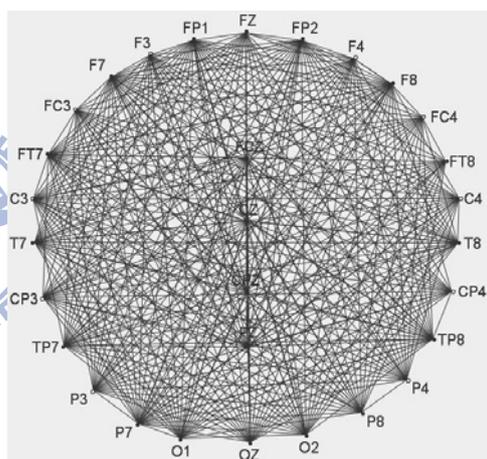
θ



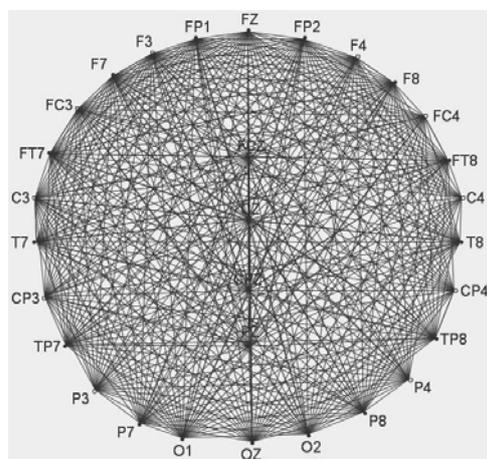
$\alpha 1$



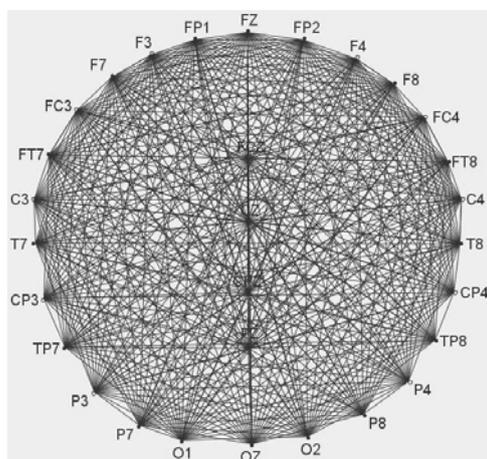
$\alpha 2$



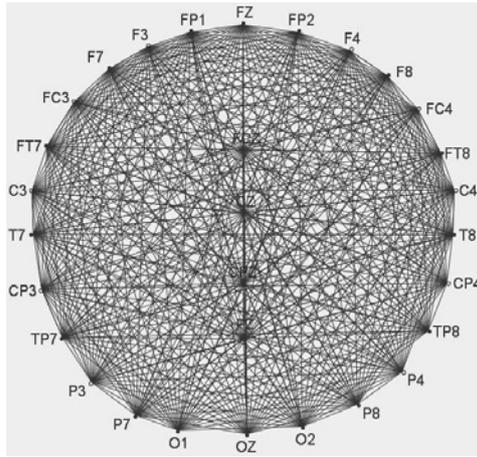
$\beta 1$



$\beta 2$



γ



Total

註：——第五頁體積和溫度的關係「體積和溫度的關係」>第七頁莫耳數和體積的關係「莫耳數和體積的關係」；……………第五頁體積和溫度的關係<第七頁莫耳數和體積的關係，(……………只存在於 $\alpha 1$: FZ-CZ, FC4-C4)

根據表 4-2-13，第五頁體積和溫度的關係和第七頁莫耳數和體積的關係的微觀表徵片段的同調性比較，在 θ 波方面，第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵片段幾乎在所有腦區的同調性都顯著大於第七頁莫耳數和體積的關係，其中右腦的連結又較左腦多，包含額葉區、中央區、顳葉區、頂葉區和枕葉區之間的連結。第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵片段在相同腦區內的也都同調性顯著大於第七頁莫耳數和體積的關係，其中右腦的連結也較左腦多，包含額葉區、中央區、顳葉區、頂葉區和枕葉區內的連結。

在 $\alpha 1$ 方面，第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵片段幾乎在所有腦區的同調性都顯著大於第七頁莫耳數和體積的關係，其中右腦的連結又較左腦多，包含額葉區、中央區、顳葉區、頂葉區和枕葉區之間的連結。第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵片段在相同腦區內的也都同調性顯著大於第七頁莫耳數和體積的關係，其中右腦的連結也較左腦多，包含額葉區、中央區、顳葉區、頂葉區和枕葉區內的連結。和 θ 波的差異為右腦額葉區與其他右側腦區的連結較少。

在 $\alpha 2$ 方面，第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵片段幾乎在所有腦區的同調性都顯著大於第七頁莫耳數和體積的關係，包含額葉區、中央區、顳葉區、頂葉區和枕葉區

之間的連結。第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵片段在相同腦區內的也都同調性顯著大於第七頁莫耳數和體積的關係，包含額葉區、中央區、顳葉區、頂葉區和枕葉區內的連結。

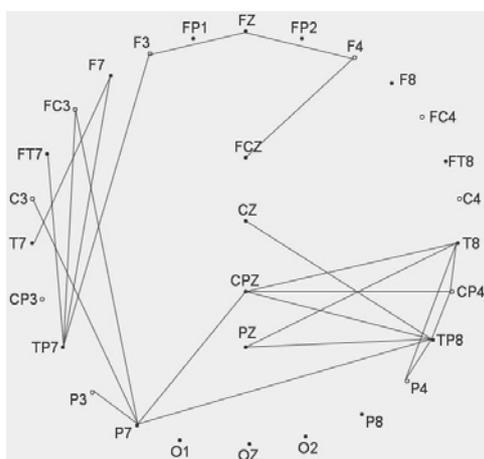
在 $\beta 1$ 方面，第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵片段幾乎在所有腦區的同調性都顯著大於第七頁莫耳數和體積的關係，包含額葉區、中央區、顳葉區、頂葉區和枕葉區之間的連結。第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵片段在相同腦區內的也都同調性顯著大於第七頁莫耳數和體積的關係，包含額葉區、中央區、顳葉區、頂葉區和枕葉區內的連結。

在 $\beta 2$ 方面，第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵片段幾乎在所有腦區的同調性都顯著大於第七頁莫耳數和體積的關係，包含額葉區、中央區、顳葉區、頂葉區和枕葉區之間的連結。第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵片段在相同腦區內的也都同調性顯著大於第七頁莫耳數和體積的關係，包含額葉區、中央區、顳葉區、頂葉區和枕葉區內的連結。

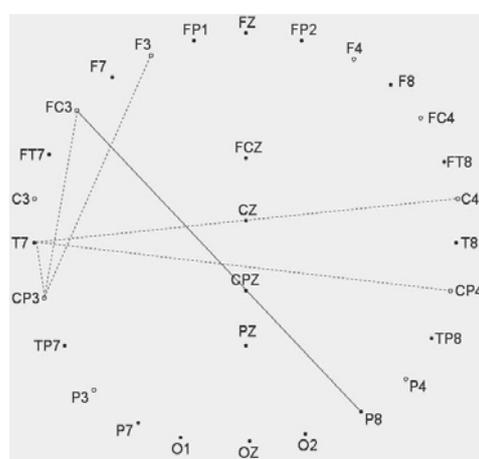
在 γ 波方面，第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵片段幾乎在所有腦區的同調性都顯著大於第七頁莫耳數和體積的關係，包含額葉區、中央區、顳葉區、頂葉區和枕葉區之間的連結。第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵片段在相同腦區內的也都同調性顯著大於第七頁莫耳數和體積的關係，包含額葉區、中央區、顳葉區、頂葉區和枕葉區內的連結。

若不分腦波類型總體論之，第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵片段幾乎在所有腦區的同調性都顯著大於第七頁莫耳數和體積的關係，包含額葉區、中央區、顳葉區、頂葉區和枕葉區之間的連結。第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵片段在相同腦區內的也都同調性顯著大於第七頁莫耳數和體積的關係，包含額葉區、中央區、顳葉區、頂葉區和枕葉區內的連結。

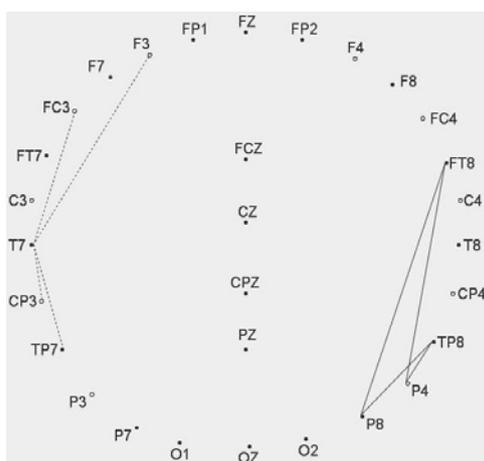
表 4-2-14 第五頁「體積和溫度的關係」與第七頁「莫耳數和體積的關係」之微觀和符號表徵連接片段同調性成對樣本 T 檢定結果



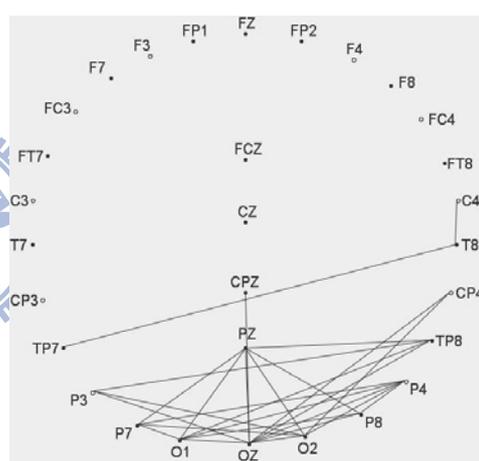
θ



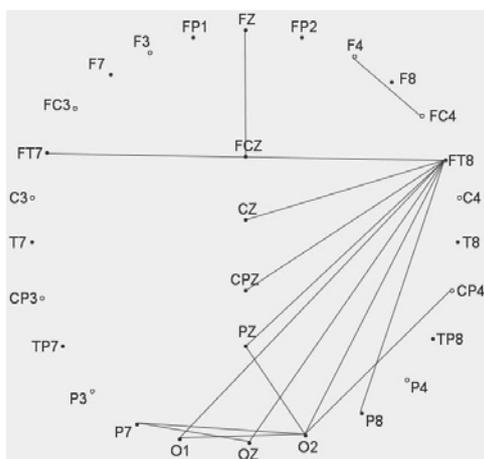
$\alpha 1$



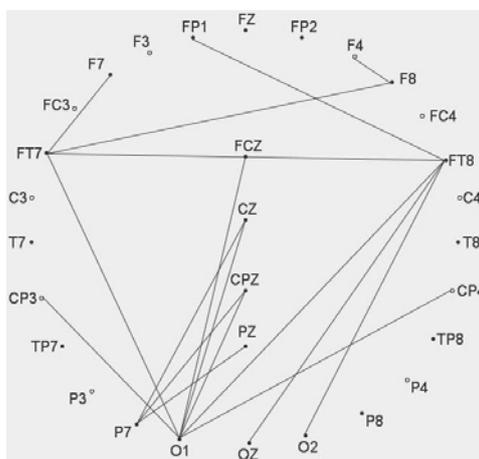
$\alpha 2$



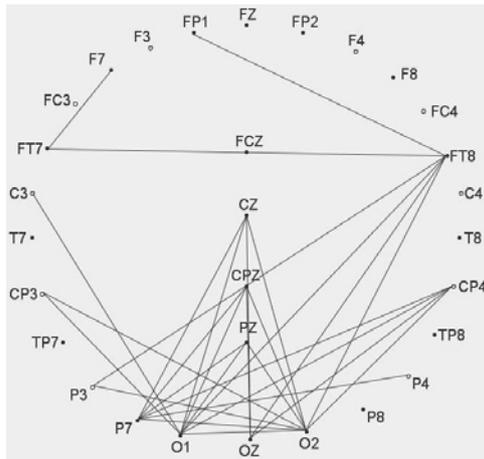
$\beta 1$



$\beta 2$



γ



Total

註：—— 第五頁體積和溫度的關係>第七頁莫耳數和體積的關係；…………… 第五頁體積和溫度的關係<第七頁莫耳數和體積的關係

根據表 4-2-14，第五頁體積和溫度的關係和第七頁莫耳數和體積的關係的微觀表徵和符號表徵連接片段的比較，在 θ 波方面，大部份有顯著差異的跨腦區合作情形為第五頁體積和溫度的關係大於第七頁莫耳數和體積的關係，包含額葉區與顳葉區、中央區的連結；中央區與顳葉、頂葉區的連結；頂葉區與顳葉區的連結。相同腦區內的同調性則無顯著差異。

在 $\alpha 1$ 方面，大部份有顯著差異的跨腦區合作情形為第七頁莫耳數和體積的關係大於第五頁體積和溫度的關係，且只有在中央區的附近，腦區間的連結包含中央區與顳葉區、額葉區之間，相同腦區內的合作只有在中央區內(FC3-CP3)有顯著差異。另外，中央區與頂葉區(FC3-P8)的合作為第五頁體積和溫度的關係顯著大於第七頁莫耳數和體積的關係。

在 $\alpha 2$ 方面，左腦跨腦區合作情形有顯著差異的是第七頁莫耳數和體積的關係大於第五頁體積和溫度的關係，包含顳葉(T7)與額葉、中央區的連結，以及顳葉區內的連結。右腦跨腦區合作情形有顯著差異的是第五頁體積和溫度的關係大於第七頁莫耳數和體積的關係，包含顳葉區與頂葉區的連結。

在 $\beta 1$ 方面，有顯著差異的左右腦跨腦區合作情形為第五頁體積和溫度的關係大於

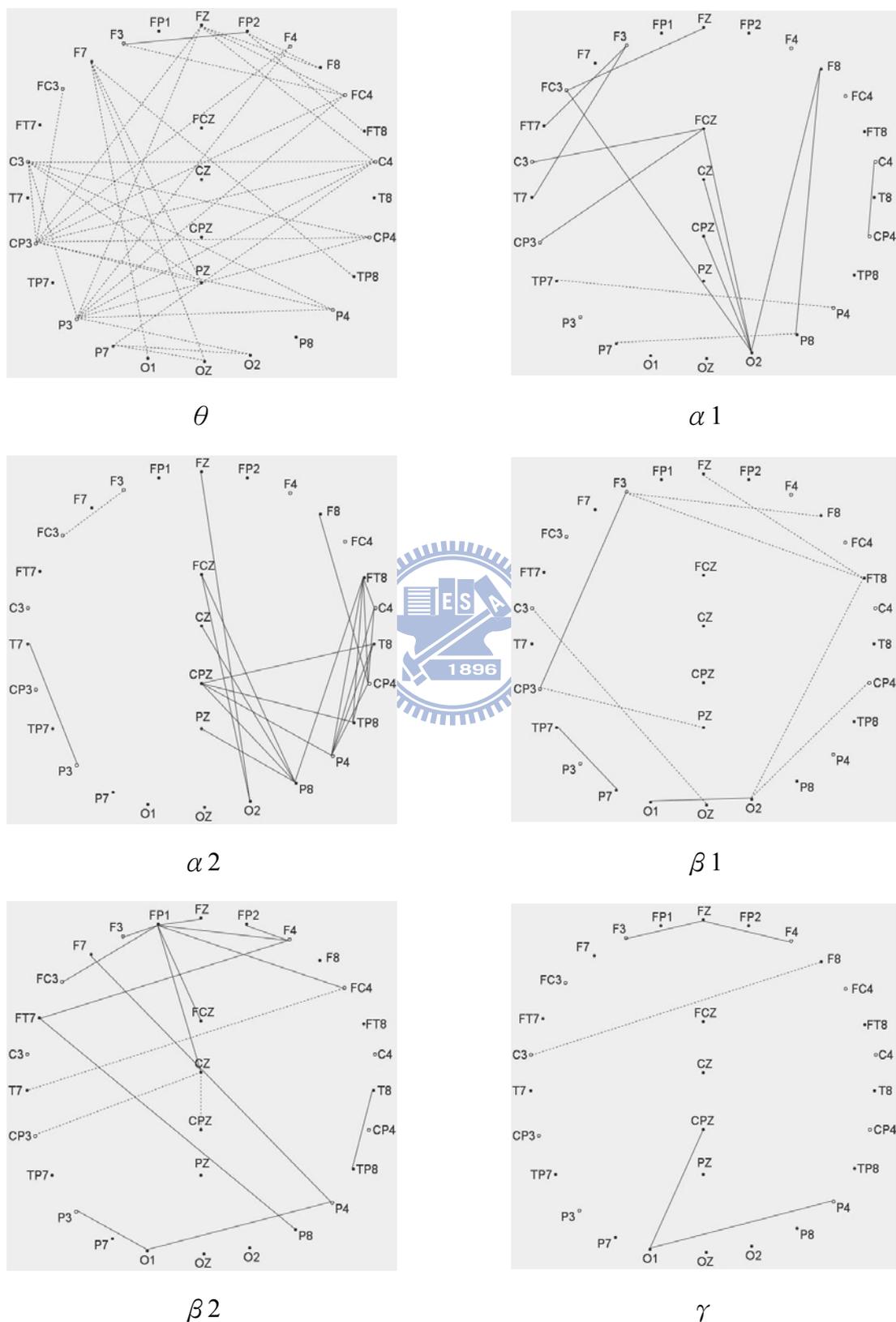
第七頁莫耳數和體積的關係，且大多位於後腦區，包含枕葉區與頂葉區、中央區的連結；相同腦區內的左右腦合作情形也是第五頁體積和溫度的關係顯著大於第七頁莫耳數和體積的關係，包含顳葉區內、頂葉區內和枕葉區內的連結。

在 $\beta 2$ 方面，有顯著差異的左右腦跨腦區合作情形為第五頁體積和溫度的關係大於第七頁莫耳數和體積的關係，且大部份分布於右腦區，包含顳葉區(FT8)與中央區、頂葉區、枕葉區的連結；枕葉區與中央區的連結；額葉與中央區的連結。相同腦區內的左右腦合作情形也是第五頁體積和溫度的關係顯著大於第七頁莫耳數和體積的關係，包含顳葉區內的連結。

在 γ 波方面，有顯著差異的左右腦跨腦區合作情形為第五頁體積和溫度的關係大於第七頁莫耳數和體積的關係，且大多位於後腦區，包含枕葉區與顳葉區、中央區的連結；顳葉區與額葉區的連結。相同腦區內的左右腦合作情形也是第五頁體積和溫度的關係顯著大於第七頁莫耳數和體積的關係，包含顳葉區、額葉區、頂葉區內的連結。

若不分腦波類型總體論之，第五頁體積和溫度的關係在微觀和符號表徵連接片段的腦部活躍程度在跨腦區的合作情形顯著大於第七頁莫耳數和體積的關係，且大多位於後腦區，包含枕葉區與中央區、頂葉區、顳葉區的連結；顳葉區(FT8)與頂葉區、額葉區的連結；中央區(CP4)與頂葉區的連結。第五頁體積和溫度的關係在同腦區的腦部活躍程度也顯著大於第七頁莫耳數和體積的關係，包含枕葉和頂葉區的內部連結。

表 4-2-15 第八頁「壓力、體積和莫耳數關係」與第十頁「體積、溫度和莫耳數關係」之微觀表徵片段同調性成對樣本 T 檢定結果



註：——第八頁壓力、體積和莫耳數的關係>第十頁體積、溫度和莫耳數的關係； 第八頁壓力、

根據表 4-2-15，第八頁壓力、體積和莫耳數的關係壓力、體積和莫耳數的關係和第九頁體積、溫度和莫耳數的關係的微觀表徵片段的比較，在 θ 波方面，大部份有顯著差異的跨腦區合作情形為第九頁體積、溫度和莫耳數的關係大於第八頁壓力、體積和莫耳數的關係壓力、體積和莫耳數的關係，包含中央區(C3,CP3)與額葉區、頂葉區、枕葉區的連結；頂葉區(P3)與額葉區、枕葉的連結；額葉區與頂葉區、枕葉區的連結。相同腦區內的同調性也是第九頁體積、溫度和莫耳數的關係顯著大於第八頁壓力、體積和莫耳數的關係壓力、體積和莫耳數的關係，包含中央區和頂葉區內的連結。

在 $\alpha 1$ 方面，大部份有顯著差異的跨腦區合作情形為第八頁壓力、體積和莫耳數的關係壓力、體積和莫耳數的關係大於第九頁體積、溫度和莫耳數的關係，且位在中央區的附近，腦區間的連結包含中央區與枕葉區(O2)的連結；額葉區於顳葉區、頂葉區、枕葉區的連結。相同腦區內的合作只有在中央區內有顯著差異。另外，頂葉區內以及頂葉區與顳葉的的合作為第九頁體積、溫度和莫耳數的關係顯著大於第八頁壓力、體積和莫耳數的關係壓力、體積和莫耳數的關係。

在 $\alpha 2$ 方面，大部份有顯著差異的跨腦區合作情形為第八頁壓力、體積和莫耳數的關係壓力、體積和莫耳數的關係大於第九頁體積、溫度和莫耳數的關係，且大多位於右腦，包含頂葉與顳葉、中央區的連結；中央區與顳葉的連結；枕葉(O2)與中央區、額葉的連結。相同腦區內的合作只有在頂葉區內有顯著差異。

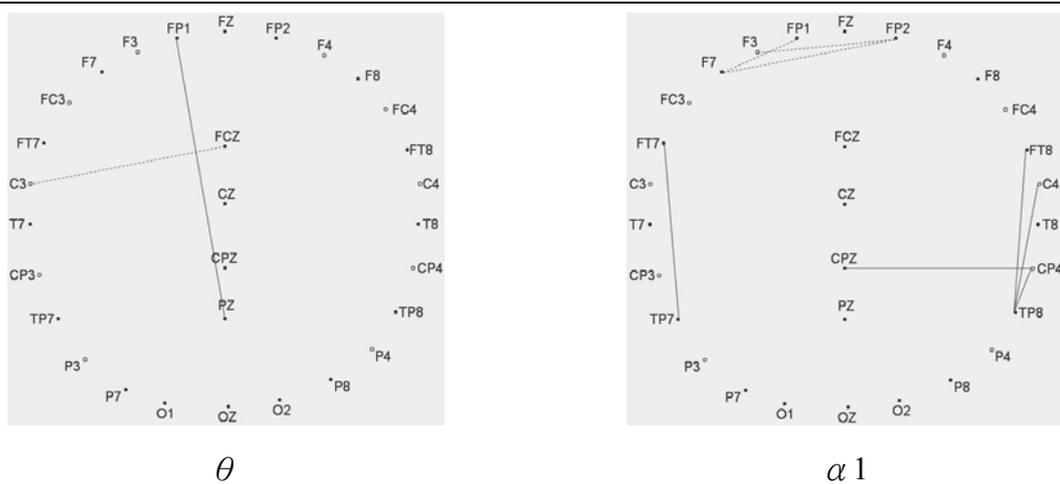
在 $\beta 1$ 方面，大部份有顯著差異的左右腦跨腦區合作情形為第九頁體積、溫度和莫耳數的關係大於第八頁壓力、體積和莫耳數的關係壓力、體積和莫耳數的關係，包含顳葉區(FT8)與額葉區、枕葉區的連結；枕葉區與中央區的連結。部份左腦的跨腦區合作情形為第八頁壓力、體積和莫耳數的關係壓力、體積和莫耳數的關係顯著大於第九頁體積、溫度和莫耳數的關係，包含額葉與中央區的連結；顳葉與頂葉的連結。另外，相同腦區內的同調性在額葉區內是第九頁體積、溫度和莫耳數的關係顯著較大，但在枕葉區內是第八頁壓力、體積和莫耳數的關係壓力、體積和莫耳數的關係顯著較大。

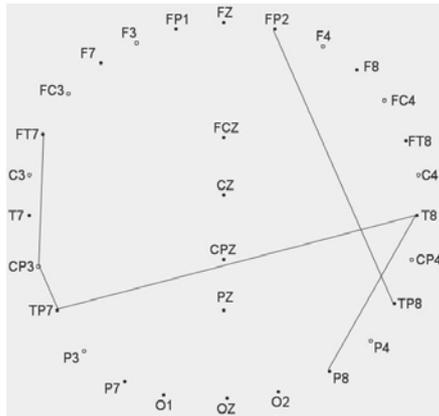
在 $\beta 2$ 方面，大部份有顯著差異的左右腦跨腦區合作情形為第八頁壓力、體積和莫耳數的關係壓力、體積和莫耳數的關係大於第九頁體積、溫度和莫耳數的關係，包含顳葉與中央區、頂葉、顳葉的連結；顳葉與頂葉的連結；枕葉與中央區的連結。但部份有顯著差異的合作情形為第九頁體積、溫度和莫耳數的關係大於第八頁壓力、體積和莫耳數的關係壓力、體積和莫耳數的關係，包含中央區與顳葉的連結。另外，相同腦區內的同調性在額葉內部是第八頁壓力、體積和莫耳數的關係壓力、體積和莫耳數的關係顯著較大，但在中央區內是第九頁體積、溫度和莫耳數的關係顯著較大。

在 γ 波方面，有顯著差異的左右腦跨腦區合作情形為第八頁壓力、體積和莫耳數的關係壓力、體積和莫耳數的關係大於第九頁體積、溫度和莫耳數的關係，只存在於枕葉與頂葉、中央區的連結，額葉與中央區的連結在第九頁體積、溫度和莫耳數的關係顯著較大。相同腦區內的連結只在額葉區有顯著差異，為第八頁壓力、體積和莫耳數的關係壓力、體積和莫耳數的關係較大。

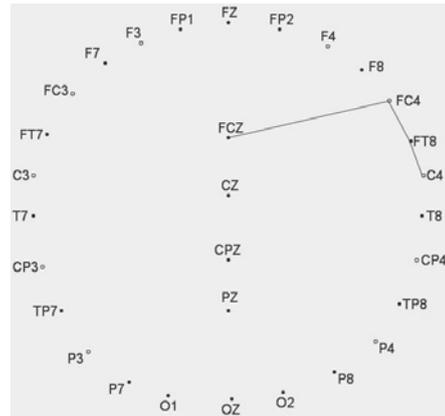


表 4-2-16 第八頁「壓力、體積和莫耳數關係」與第十頁「體積、溫度和莫耳數關係」之微觀和圖表表徵連接片段同調性成對樣本 T 檢定結果

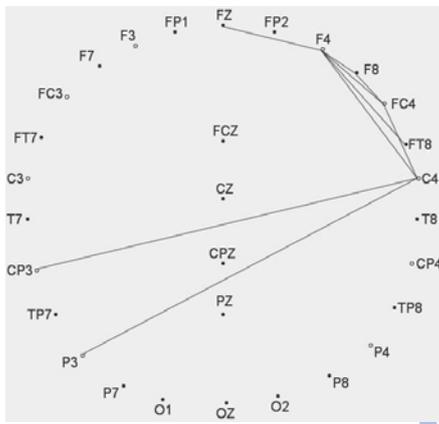




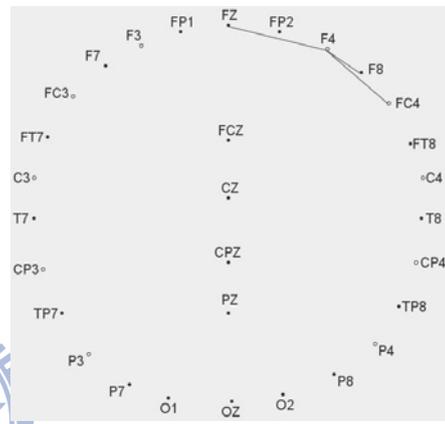
$\alpha 2$



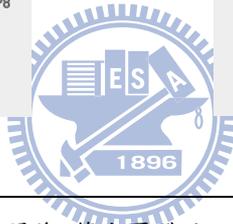
$\beta 2$



γ



Total



註：—— 第八頁壓力、體積和莫耳數的關係>第十頁體積、溫度和莫耳數的關係；…………… 第八頁壓力、體積和莫耳數的關係<第十頁體積、溫度和莫耳數的關係

根據表 4-2-16，第八頁壓力、體積和莫耳數的關係壓力、體積和莫耳數的關係壓力、體積和莫耳數的關係和第九頁體積、溫度和莫耳數的關係的微觀表徵和圖表表徵連結片段的比較，在 θ 波方面，有顯著差異的跨腦區合作情形為第八頁壓力、體積和莫耳數的關係壓力、體積和莫耳數的關係壓力、體積和莫耳數的關係大於第九頁體積、溫度和莫耳數的關係，出現在右腦顳葉區和中央區。相同腦區內的合作情形有部份是第八頁壓力、體積和莫耳數的關係顯著大於第九頁體積、溫度和莫耳數的關係，包含中央區和顳葉區內的連結，但在額葉區內的連結是第九頁體積、溫度和莫耳數的關係顯著較大。

在 $\alpha 1$ 方面，只有兩個同調性的差異，額葉(FP1)和頂葉(PZ)的跨腦區合作是第八頁壓力、體積和莫耳數的關係顯著大於第五頁體積和溫度的關係，中央區內(C3-FCZ)的連

結是第九頁體積、溫度和莫耳數的關係顯著大於第八頁壓力、體積和莫耳數的關係。

在 $\alpha 2$ 方面，有顯著差異的跨腦區合作情形為第八頁壓力、體積和莫耳數的關係大於第九頁體積、溫度和莫耳數的關係，且皆與顳葉連結，包含顳葉與中央區、頂葉、額葉的連結。相同腦區內的合作也只有中央區內有顯著差異。

在 $\beta 2$ 方面，有顯著差異的跨腦區合作情形為第八頁壓力、體積和莫耳數的關係大於第九頁體積、溫度和莫耳數的關係，只出現在顳葉區和中央區的連結。相同腦區內的合作也只有中央區內有顯著差異。

在 γ 波方面，有顯著差異的左右腦跨腦區合作情形為第八頁壓力、體積和莫耳數的關係大於第九頁體積、溫度和莫耳數的關係，包含額葉區與中央區、顳葉區的連結；中央區與頂葉的連結。相同腦區內的連結出現在額葉區和中央區，也是第八頁壓力、體積和莫耳數的關係顯著較大。

本研究將不同表徵階段的 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 和 γ 波分布區域整理為表 4-2-17，並將額葉區與顳葉區 (F-T) 和額葉區與中央區 (F-C) 間的同調性分為前腦區；顳葉區與中央區 (T-C)、顳葉區與頂葉區 (T-P)、中央區與頂葉區 (C-P) 間的同調性分為中腦區；頂葉區與枕葉區 (P-O) 和顳葉區與枕葉區 (T-O) 間的同調性分為後腦區；額葉區與頂葉區 (F-P)、額葉區與枕葉區 (F-O) 和中央區與枕葉區 (C-O) 間的同調性為長距離之跨腦區合作關係。

主題三（第三頁、第五頁和第七頁）微觀表徵方面，第三頁壓力和體積的關係到第五頁體積和溫度的關係， θ 波出現在前腦和中腦附近及長距離跨腦區的同調性顯著降低， $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 波出現在後腦、長距離和部份中腦的同調性顯著降低， γ 波出現在中腦和後腦的同調性顯著降低；而第五頁體積和溫度的關係到第七頁莫耳數和體積的關係， θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 和 γ 波在前腦、中腦、後腦和長距離跨腦區的同調性都顯著降低。

主題三（第三頁、第五頁和第七頁）微觀和符號表徵連接方面，第三頁壓力和體積的關係到第五頁體積和溫度的關係， θ 波出現在前腦、中腦和後腦的同調性顯著升高，

$\alpha 1$ 和 $\alpha 2$ 在部份前腦、中腦、後腦和長距離跨腦區的同調性顯著升高， $\beta 1$ 和 $\beta 2$ 在前腦區、長距離和部份中腦和後腦的同調性顯著升高， γ 波在長距離、部份前腦和後腦的同調性顯著升高；而第五頁體積和溫度的關係到第七頁莫耳數和體積的關係， θ 波出現在前腦和中腦的同調性顯著降低， $\alpha 1$ 和 $\alpha 2$ 在部份前腦和中腦的同調性同時包含顯著升高和降低的趨勢， $\beta 1$ 和 $\beta 2$ 波在部份前腦、中腦、後腦和長距離跨腦區的同調性顯著降低， γ 波在部份後腦和長距離的同調性顯著降低。

主題四（第八頁、第九頁和第十頁）在微觀表徵方面，第八頁壓力、體積和莫耳數的關係到第十頁體積、溫度和莫耳數的關係， θ 波在部份前腦、中腦、後腦和長距離跨腦區的同調性顯著升高， $\alpha 1$ 在長距離和部份前腦的同調性顯著降低，在部份中腦的同調性顯著升高， $\alpha 2$ 在中腦和長距離的同調性顯著降低， $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 和 γ 波在部份前腦、中腦、後腦和長距離跨腦區的同調性包含顯著降低和升高的趨勢。

主題四（第八頁、第九頁和第十頁）在微觀和圖表表徵連接方面， θ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 2$ 和 γ 在少部份前腦、中腦和後腦的同調性顯著降低， $\alpha 1$ 則在部份長距離的同調性顯著降低。因為兩頁的概念難度差異不大，微觀和圖表表徵連接跨腦區的合作關係在第十頁體積、溫度和莫耳數的關係略為減少，大部份的腦波功率強度和同調性並無顯著差異。

表 4-2-17 不同概念頁面之同調性差異腦波區域表

		前腦		中腦			後腦		前後長距離		
		額顳	額中	顳中	顳頂	中頂	頂枕	顳枕	額頂	額枕	中枕
		F-T	F-C	T-C	T-P	C-P	P-O	T-O	F-P	F-O	C-O
微觀	θ		★		★	★	★		★	★	★
第三頁「壓力和	$\alpha 1$	☆		★	★			★☆			☆
體積的關係」	$\alpha 2$	★					★	★	★	★	★
和第五頁「體積	$\beta 1$	★		★			★	★	★	★	
和溫度的關係」	$\beta 2$			★	★		★	★	★	★	
	γ	★		★	★	★	★	★			★
	total	★		★	★	★	★	★			
微觀和符號	θ	☆	☆	☆	☆			☆			
第三頁「壓力和	$\alpha 1$	☆		☆	☆	☆		☆	☆	☆	
體積的關係」	$\alpha 2$		☆	☆	☆	☆			☆		
和第五頁「體積	$\beta 1$	☆	☆			☆	☆	☆			☆
和溫度的關係」	$\beta 2$	☆	☆	☆		☆	☆	☆	☆	☆	☆
	γ		☆				☆		☆	☆	☆
	total		☆			☆			☆	☆	☆
微觀	θ	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
第五頁「體積和	$\alpha 1$	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
溫度的關係」	$\alpha 2$	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
和第七頁「莫耳	$\beta 1$	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
數和體積的關	$\beta 2$	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
係」	γ	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
	total	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★

微觀和符號	θ	★	★	★	★	★			
第五頁「體積和	$\alpha 1$		☆	☆		★			
溫度的關係」	$\alpha 2$	☆		☆	★				
和第七頁「莫耳	$\beta 1$						★		★
數和體積的關	$\beta 2$		★	★	★		★		★
係」	γ						★		★
	total	★				★	★	★	★
微觀	θ		☆			☆	☆	☆	☆
第八頁「壓力、	$\alpha 1$	★			☆		★	★	★
體積和莫耳數	$\alpha 2$			★	★	★		★	★
的關係」和	$\beta 1$	☆	★		★		☆		☆
第十頁「體積、	$\beta 2$	★	★	☆	★		★		★
溫度和莫耳數	γ		☆				★		★
的關係」	total								
微觀和圖表	θ			★					
第八頁「壓力、	$\alpha 1$						★		
體積和莫耳數	$\alpha 2$	★		★	★				
的關係」和	$\beta 1$								
第十頁「體積、	$\beta 2$			★					
溫度和莫耳數	γ		★			★			
的關係」	total								

註：★=第三頁壓力和體積的關係>第五頁體積和溫度的關係，第五頁體積和溫度的關係>第七頁莫耳數和體積的關係，第八頁壓力、體積和莫耳數的關係>第十頁體積、溫度和莫耳數的關係；☆=第三頁壓力和體積的關係<第五頁體積和溫度的關係，第五頁體積和溫度的關係<第七頁莫耳數和體積的關係，第八頁壓力、體積和莫耳數的關係<第十頁體積、溫度和莫耳數的關係。

第五章 結論與建議

本研究運用腦波圖探討高二學生在理想氣體模型課程中連結不同表徵的學習歷程時，大腦各頻率腦波之功率強度，及比較相同概念不同表徵學習之間和相同表徵不同概念之間各腦波之功率強度是否有所差異，並進一步探究大腦各頻率腦波之功率強度和同調性是否和表徵連結之學習歷程有所關連。本章將彙整研究問題、研究假設和第四章資料分析的結果，做為本研究之結論，並依據本研究之結論提出一些課程設計及後續研究上之相關建議。

第一節 結論

本節依據本研究之研究問題與第四章之研究結果與討論，依序說明本研究的主要發現：

一、理想氣體模型之表徵連結課程成效分析

此部份結果針對研究問題一「表徵連接的學習課程，對學生概念建構的影響為何？」進行探討。

本研究設計出理想氣體模型單元之表徵連結課程，以微觀表徵為主軸連結學生的巨觀經驗、公式符號表徵和圖表表徵。參與課程學習的高二學生在受試前皆已在學校學過理想氣體方程式單元。結果顯示二階層理想氣體模型成就測驗後測顯著優於前測，表示本表徵連接學習課程能有效促進學生在微觀與其他表徵（巨觀經驗、公式符號和圖表）之間的連結。此結果與修改自 Johnstone(1991, 1993)和 Rappoport & Ashkenazi(2008)的正四面體化學思考層次模型之假設符合，此正四面體模型之上方頂點為微觀表徵，底部三頂點分別為巨觀、符號和圖表表徵，故以微觀表徵為主軸來串連其他三種表徵的課程，有助於學生的化學概念建構。

二、多重表徵之問題解決表現結果分析

此部份結果針對研究問題二「表徵連接的學習課程，對學生問題解決的影響為何？」進行探討。

本研究之多重表徵問題係根據理想氣體模型理論，設計兩道情境題，第一題為「如何利用氣體測量溫度」，希望學生能設計出定容氣體溫度計或定壓氣體溫度計；第二題為「如何使輪子轉動」，希望學生能利用調整氣體的溫度、莫耳數或容器體積的方法，達到改變壓力而使輪軸帶動輪子轉動，除了巨觀描述解決方法之後，並希望學生說明此裝置設計所運用的公式定理、微觀氣體的變化（分子平均動能、分子運動速率、分子碰撞頻率等），以及用圖表表示出操縱變因和應變變因的關係（例：PV 正比圖）。

結果顯示學生在問題解決後測顯著優於前測，且學生在前測時通常只能回答出其中一題，在後測時有較多學生能回答兩題。這和 BouJaoude(2004)研究相符，學生在學校常受到許多解題策略的教學，能有效率的解決難度深淺的化學問題，這些策略可以應付需要操作方程式及公式的題目，但當遇到新奇的題目，策略就不管用了，本試題需要在表徵間靈活轉換運用，學生的高效率解題策略即無用武之地。將兩題的總分進行統計分析的結果發現，經過表徵連接的學習課程學習後，後測分數與前測分數達顯著差異，部份學生在後測說明自己的裝置設計時，即會使用分子微觀運動現象來支持自己的設計。

三、不同表徵與不同概念學習歷程腦波資料分析

此部份結果針對研究問題三「學生在【微觀和公式】及【微觀和圖表】的表徵連接學習歷程中，腦波有何差異？」進行探討。

（一）不同表徵片段在相同化學概念的腦波資料分析

本研究針對每個頁面又進行不同表徵階段的分析，在第一頁分子運動速率到第三頁壓力和體積的關係的部份，微觀和符號表徵連接片段的 $\alpha 2$ 波(10~13Hz)功率強度都顯

著大於微觀表徵片段，進入第三頁壓力和體積的關係後，微觀和符號表徵連接片段的 θ 波(4~8Hz)功率強度也顯著大於微觀表徵片段，推論此時符號和微觀表徵進行連結和編碼之任務較微觀表徵需要內在的心智運作。 θ 波在記憶任務中進行編碼任務時會提昇(Ward, 2003)。同時近期的研究(Klimesch et al., 2006; Palva & Palva, 2007)發現 α 波的振幅上昇和自主意識的控制(top-down)有事件相關的同步化現象，顯示由上而下的認知過程中，當任務所需的心智負荷增加， α 波也會增加。本研究之研究結果發現 θ 和 $\alpha 2$ 波均在微觀和符號表徵連接片段較為提昇，與近期之研究相符。

第五頁體積和溫度的關係的微觀和符號表徵連接片段 θ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 和 γ 波平均值顯著小於微觀表徵片段，而在進入第六頁體積和溫度的關係後只在 $\beta 1$ 波顯著較小，第七頁莫耳數和體積的關係時微觀和符號表徵連接片段的 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 和 γ 波平均值又顯著小於微觀表徵片段，推論在第五頁體積和溫度的關係和第七頁莫耳數和體積的關係時，微觀和符號表徵連接片段搭配了學生在學校學習時慣用的符號表徵，使學生相較在純微觀片段時的認知負荷為低，也較不需要強大的腦波功率進行編碼或處理視覺及複雜的認知訊息，反之，要理解微觀表徵概念不僅需要低頻率的 θ 波進行編碼、提取記憶， $\alpha 1$ 波處理事件記憶， $\alpha 2$ 波處理語義記憶和長期記憶訊息，也需高頻率的 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 和 γ 波處理聯想和複雜的認知(Klimesch, 1999; Klimesch et al., 1997; Klimesch et al., 2006; Ward, 2003)。

第八頁壓力、體積和莫耳數的關係以及第十頁體積、溫度和莫耳數的關係的微觀和圖表表徵連接片段在 $\beta 1$ 和 $\beta 2$ 波的功率都顯著小於微觀表徵片段，表示學生在微觀和圖表表徵連接片段較不需要處理視覺和認知相關訊息。 γ 波在第九頁壓力、體積和莫耳數的關係的微觀表徵片段出現顯著較高的功率，顯示理解微觀表徵對學生而言是複雜的任務(Ward, 2003)。而我們的高中物理和化學課程雖然皆以微觀概念出發，但在教材和課堂教師的表徵呈現上仍以文字或公式講述，很少以微觀圖像表徵表達。學生難以具體理解微觀現象，可能是主要造成學生需要較高功率之腦波處理微觀訊息的原因。

(二) 不同化學概念在相同表徵之腦波資料分析

本研究進一步比較在相同表徵片段下，不同頁面的腦波資料。主題三動畫頁面之微觀表徵片段， θ 波的功率強度在第七頁莫耳數和體積的關係顯著大於第三頁壓力和體積的關係， $\alpha 2$ 波的功率強度在第五頁體積和溫度的關係顯著大於第一頁分子運動速率、第二頁分子碰撞器壁頻率和第三頁壓力和體積的關係。結果顯示學生在主題三頁面的第五頁體積和溫度的關係和第七頁莫耳數和體積的關係微觀片段時，需較強的 θ 波和 α 波進行編碼和提取記憶。且 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 和 γ 波的功率強度在第五頁和第七頁也有顯著大於第一頁至第三頁基礎概念頁面的趨勢，顯示當概念較複雜時，學生在微觀表徵片段需要越高頻率的腦波功率來處理概念間的連結和複雜的認知訊息。

主題三動畫頁面之微觀和符號表徵連接片段方面， θ 、 $\alpha 1$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 、 γ 波的功率強度大體上也在第五頁體積和溫度的關係和第七頁莫耳數和體積的關係大於前三頁基礎概念頁面，但趨勢較不明顯，只有 θ 波的功率強度平均數在第三頁壓力和體積的關係顯著大於第一頁分子運動速率。

主題三模擬頁面之微觀表徵片段與微觀和符號表徵連結片段方面， θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 、 γ 波之第六頁體積和溫度的關係功率強度平均數皆大於第四頁壓力和體積的關係，但未達顯著差異。

在主題四動畫頁面之微觀片段， θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 、 γ 波之功率強度在第八頁壓力、體積和莫耳數的關係與第十頁體積、溫度和莫耳數的關係並沒有顯著差異。而在微觀和圖表表徵連接片段，則顯示在第十頁體積、溫度和莫耳數的關係 $\beta 1$ 波之功率強度顯著大於第八頁壓力、體積和莫耳數的關係。主題四的微觀片段之腦波功率在兩個頁面間並沒有顯著差異，推論可能是主題四的頁面較少，概念難度差異較小，學生在這兩個頁面都需要相當的腦波功率來處理視覺及編碼等概念建構之訊息，而在微觀和圖表表徵連接片段時，第十頁仍需要較強的 $\beta 1$ 波處理概念間的連結和複雜的認知。

(三) 不同表徵和不同概念之同調性與腦波功率強度之關聯性分析

本研究分別針對不同表徵片段和不同概念頁面之同調性，與腦波功率強度分析的資

料比對，並討論其關聯性。

(1) 不同表徵之同調性與腦波功率強度之關聯性分析

本研究發現學生學習微觀表徵時較微觀和符號表徵連結時需要所有腦區(包含前後腦長距離與左右腦區)之間和腦區內的合作與連結運作，在功率強度方面，微觀表徵片段之各頻率腦波於較概念較複雜之頁面顯著大於微觀和符號表徵連結片段。在微觀表徵片段與微觀和符號表徵連接片段的比較上，發現第三頁壓力和體積的關係在微觀表徵片段 θ 和 $\alpha 2$ 波功率顯著大於微觀和符號表徵連接片段，第五頁體積和溫度的關係的微觀表徵片段 θ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 、 γ 波功率顯著大於微觀和符號表徵連結片段，第七頁莫耳數和體積的關係在微觀表徵片段之 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 、 γ 波功率強度顯著大於微觀和符號表徵連結片段，由同調性成對樣本 T 檢定的資料發現，此三頁的微觀表徵片段在 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 、 γ 波的額葉區、中央區、頂葉區和顳葉區之間跨腦區合作情形和相同腦區內的連結都顯著大於微觀和符號表徵連結片段。因此，學生在主題三微觀分子運動及公式運用動畫頁面之微觀表徵片段同調性顯著大於表徵連結片段，與微觀表徵片段功率強度也顯著較大的結果一致。

學生學習微觀表徵時也較微觀和圖表表徵連結時需要所有腦區之間和腦區內的合作與連結運作，在微觀表徵片段與微觀和圖表表徵連接片段的比較上，第八頁壓力、體積和莫耳數的關係的微觀表徵片段 $\beta 1$ 和 $\beta 2$ 波功率顯著大於微觀和圖表表徵連接片段，第十頁體積、溫度和莫耳數的關係的微觀表徵片段 $\beta 1$ 和 $\beta 2$ 波功率平均值也顯著大於微觀和圖表表徵連接片段，由同調性成對樣本 T 檢定的資料發現，此二頁的微觀表徵片段在 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 、 γ 波的額葉區、中央區、頂葉區和顳葉區之間跨腦區合作情形和相同腦區內的連結都顯著大於微觀和符號表徵連結片段。因此，學生在主題四微觀分子運動及圖表動畫頁面之微觀表徵片段同調性顯著大於表徵連結片段，與微觀表徵片段功率強度也顯著較大的結果一致。

綜合以上結果可見微觀表徵之同調性在所有腦區連結皆顯著較大，且微觀表徵之功率強度在部份腦波頻率也顯著較大，可見學生在科學概念之微觀表徵學習時相較於符號表徵或圖表表徵加入後，未能有效率的運用某個腦區，顯示學生較不習慣運用微觀表徵。

(2) 不同概念之同調性與腦波功率強度之關聯性分析

在不同概念頁面的比較上，在主題三動畫頁面之微觀表徵片段，第五頁體積和溫度的關係的 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 和 $\beta 2$ 波功率強度顯著大於先前的三個頁面，第七頁莫耳數和體積的關係在各腦波頻率下有次大的功率強度，且達顯著差異。由同調性成對樣本 T 檢定的資料發現，第三頁壓力和體積的關係到第五頁體積和溫度的關係， θ 波出現在前腦、中腦和前後長距離跨腦區的同調性顯著降低， $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 波出現在後腦、前後長距離和部份中腦的跨腦區同調性顯著降低， γ 波出現在中腦和後腦的跨腦區同調性顯著降低；而第五頁體積和溫度的關係到第七頁莫耳數和體積的關係， θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 和 γ 波在前腦、中腦、後腦和前後長距離跨腦區的同調性都顯著降低。此時，功率強度平均值和同調性的表現不一致，顯示當建構概念的過程需整合先前的主題三概念時（第五頁）需要較強的腦波頻率處理訊息，但微觀表徵在概念建構的初期階段需要較多的腦區連結，推論是因為我們的高中物理和化學課程雖然皆以微觀概念出發，但在教材和課堂教師的表徵呈現上仍以文字或公式講述，很少以微觀圖像表徵表達。學生難以具體理解微觀現象，可能是主要造成學生需要較高功率之腦波處理微觀訊息的原因。

在主題三動畫頁面之微觀和符號表徵連接片段，第五頁體積和溫度的關係在 $\alpha 1$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 和 γ 波功率強度顯著大於第一頁、第二頁和第三頁，而第七頁莫耳數和體積的關係的功率強度較第五頁小，但未達顯著差異。由同調性成對樣本 T 檢定的資料發現，第三頁壓力和體積的關係到第五頁體積和溫度的關係， θ 波出現在前腦、中腦和後腦的跨腦區同調性顯著升高， $\alpha 1$ 和 $\alpha 2$ 在部份前腦、中腦、後腦和前後長距離跨腦區的同調性顯著升高， $\beta 1$ 和 $\beta 2$ 在前腦區、前後長距離和部份中腦和後腦的同調性顯著升高， γ 波在前後長距離、部份前腦和後腦的跨腦區同調性顯著升高；而第五頁體積和溫度的關係到第七頁莫耳數和體積的關係， θ 波出現在前腦和中腦的跨腦區同調性顯著降低， $\alpha 1$ 和 $\alpha 2$ 在部份前腦和中腦的同調性同時包含顯著升高和降低的趨勢， $\beta 1$ 和 $\beta 2$ 波在部份前腦、中腦、後腦和前後長距離跨腦區的同調性顯著降低， γ 波在部份後腦和前後長距離跨腦區的同調性顯著降低。此時，功率強度平均值和同調性的表現一致，顯示微觀和符號表徵同時出現時，在當建構概念的過程需整合先前的概念時（第五

頁)需要較多的腦區連結,且需要較強的腦波頻率處理訊息,表示學生已相當習慣公式符號的運用,故其腦波反應會與概念難度正相關。

主題四之動畫頁面之微觀表徵片段,第八頁壓力、體積和莫耳數的關係和第十頁體積、溫度和莫耳數的關係的功率平均數並沒有顯著差異。由同調性成對樣本 T 檢定的資料發現,第八頁壓力、體積和莫耳數的關係到第十頁體積、溫度和莫耳數的關係, θ 波在部份前腦、中腦、後腦和前後長距離跨腦區的同調性顯著升高, $\alpha 1$ 在前後長距離和部份前腦的跨腦區同調性顯著降低,在部份中腦的跨腦區同調性顯著升高, $\alpha 2$ 在中腦和前後長距離的跨腦區同調性顯著降低, $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 和 γ 波在部份前腦、中腦、後腦和前後長距離跨腦區的同調性包含顯著降低和升高的趨勢。此兩頁在概念難度差異較小,學生腦波的功率強度無顯著差異,但第十頁體積、溫度和莫耳數的關係在 θ 波的各腦區同調性仍較強,而 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 和 γ 波同調性差異也較小,顯示學生在最後一個頁面的微觀表徵片段需要較多的腦波進行編碼和提取記憶。

主題四動畫頁面之微觀和圖表表徵連接片段,第十頁體積、溫度和莫耳數的關係的 $\beta 1$ 波功率平均數顯著大於第八頁壓力、體積和莫耳數的關係。由同調性成對樣本 T 檢定的資料發現, θ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 2$ 和 γ 在少部份前腦、中腦和後腦的跨腦區同調性顯著降低, $\alpha 1$ 則在部份前後長距離跨腦區的同調性顯著降低。因為兩頁的概念難度差異不大,微觀和圖表表徵連接跨腦區的合作關係在第十頁體積、溫度和莫耳數的關係略為減少,而大部份的腦波功率強度和同調性並無顯著差異。

以上研究結果可與 Fiagibbon et al. (2004)對視覺棋盤、預期、閱讀、減法、音樂、文字學習、文字回憶、影片片段事件的腦波差異研究對照,他發現在期望、文字學習、閱讀、減法任務時尾部和中央腦殼區的 α 波增加,而此兩區為視覺和運動系統。Weiss & Rappelsberger (2000)在字詞回憶成功與否在腦波同調性之差異研究中,發現有效的字詞記憶登錄通常伴隨額葉與顳葉、頂葉間的同調性提升,且越多長距離電極有同步化現象及越高比例的跨半腦合作時,字詞回憶表現越好,並提出 θ 可能與事件記憶之登錄與儲存有關、 $\alpha 2$ 與 $\beta 1$ 可能與語義的處理有關,而在他們的研究中並未發現 $\alpha 1$ 同調性之差異。Haarmann & Cameron (2005)在有關句子記憶與理解之研究中指出 θ 同調性之增加

反映了記憶登錄過程之負荷增加。但本研究在由簡至深的表徵學習歷程，不只在尾部和中央腦殼區有 α 波提升，也有許多前腦區和前後長距離的連結提升，顯示科學概念建構需要同時進行編碼、補償、語言記憶、事件記憶等過程，在工作記憶區中除了包含語音和視覺等新訊息的處理，還需處理由長期記憶區提取的更多相關記憶。但科學概念建構過程的機制確切為何，仍有待更進一步的研究。

第二節 建議

根據本研究之研究過程及結論，提出以下建議，期盼能提供教師教學與後續研究者一些參考。

一、對教學與教材設計上的建議

本研究針對氣體分子動力論設計網路多媒體課程，以表徵連接的方式促進學生對概念全面理解，學生在學習後概念顯著提升，也提升多重表徵問題解決的能力。根據腦波資料，學生在課程中的微觀分子運動表徵片段需花費較大的腦波功率強度及較多的腦區連結，與公式符號或圖表表徵出現後的表徵連接片段達顯著差異。本研究之多媒體課程能補強課室教學較難具體呈現的氣體分子運動狀態，而成功促進學生對微觀表徵的理解，且更加強理解原本已知的公式表徵，因此課室教學之教師需思量整個科學概念抽象、微觀與動態過程之特性，在教學設計上設法讓抽象成為具體，讓不可見變為可見，協助學生得以觀察念發生之過程，才能幫助學生建構特定的化學概念。

二、對未來研究的建議

本研究結果顯示針對氣體分子動力論所設計之網路多媒體課程，使學生建立表徵轉換能力，且透過表徵連接概念建構歷程之腦波資料分析，可探知學生在建構概念歷程中的腦波狀態，顯示腦電圖應用於科學教育上概念建構歷程之研究確然可行，也期望未來能有更多相關研究投入，以能更明瞭學生在科學概念建構過程中的大腦運作模式。

但由於本研究受限於人力與時間，在取樣與分析上均有未臻完善之處，僅以以下幾點建議，期待後續之研究能加以參酌，讓科學教育相關研究亦能結合認知神經科學、認知心理學之研究，以進一步瞭解學生在建構科學概念正程中如何進行訊息處理，進行協助學生之科學學習。

- (一) 本研究所施測之受試者為新竹和彰化兩所高中之八十三位高二學生，但僅有新竹的高中學生參與腦波受試，且概念建構內容設計僅針對氣體動力論單元，建議未來研究者可更擴大施測對象及針對不同的科學課程進行設計，以期明瞭學生在科學學習中之認知歷程是否有其通則性。
- (二) 本研究未能進行四個主題之腦波記錄，僅記錄微觀、公式和圖表之概念建構歷程，未來若能增加巨觀實驗之腦波記錄，能更瞭解學生在此概念之建構歷程。
- (三) 本研究並未進行腦波變化之追蹤研究，未來若能考量增加受試者之追蹤測，或許能對概念改變之歷程及其成效，以及長期記憶之運作模式有更進一步的瞭解。
- (四) 本研究以概念建構理論為主軸，採用多媒體網路課程方式進行施測，未來或可將腦電圖之研究應用於更多科學學習層面，如結合學生之科學實作、科學讀寫、科學問題解決等，以期對學生的科學學習提供不同角度之思維。

參考文獻

中文部分

- 王甦、江安聖 (2001)。《認知心理學》。北京：北京大學出版社。
- 吳佳玲 (2001)。影響高一學生地球科學問題解決能力之相關變項探討。國立台灣師範大學地球科學研究所碩士論文 (未出版)。
- 吳清山 (2001)。問題導向學習。《教育研究月刊》，97，120。
- 李玉琇和蔣文祁 (合譯) (2005)。《認知心理學 (Cognitive psychology (3E))》。台北市：雙葉。
- 李素卿 (譯) (2003)。M. W. Eysenck & M. Keane 著。《認知心理學 (Cognitive Psychology A Student's Handbook)》。台北市：五南。
- 李震甌 (2002)。高低學習成就學童科學問題解決能力之比較研究。國立屏東師範學院數理教育研究所碩士論文 (未出版)。
- 洪文東 (2000)。從問題解決的過程培養學生的科學創造力。《屏師科學教育》，11，52-62。
- 洪文東 (2001)。從問題解決的過程培養學生的科學創造力：化學學習活動模組與教學活動設計 (I)。行政院國家科學委員會專題研究成果報告：C89-2519-S-153-006。屏東縣：國立屏東師範學院自然科學教育學系。
- 洪文東、李震甌 (2001)。從科學問題的解決看創造思考的研究。《屏師科學教育》，14，46-59。
- 洪榮昭 (1997)。問題解決的思考模式。《技術問題解決能力發展研究研習會報告資料》。台北：台灣師範大學。
- 陳怡仁 (2007)。應用數位化雙重情境學習課程探討多媒體呈現形式對國中學生遺傳概念建構之影響。新竹市：國立交通大學教育研究所碩士論文 (未出版)。
- 教育部、國科會 (2002)。《科學教育白皮書》。台北市：教育部。
- 張春興 (1989)。《張氏心理學辭典》。台北：東華書局。
- 張春興 (1996)。《教育心理學》。台北：東華書局。

張春興 (1999)。《教育心理學 (修訂 14 版)》。台北市：東華書局。

游文楓、余曉清 (2006)。網路化問題解決教學策略對學生生物學習成效的影響。《科學教育學刊》，14(4), 381-400。

黃茂在、陳文典 (2004)。「問題解決」的能力。《科學素養的內涵與解析》。台北：教育部。

黃萬居 (2002)。九十年度【科學概念學習研究(II)】—化學科—子計畫六：台灣地區國小學生酸鹼概念之研究(II)。行政院國家科學委員會專題研究成果報告：NSC90-2511-S-133-006。台北市：台北市立師範學院數理教育研究所。

國立編譯館 (1987)。高中化學。台北市：國立編譯館。

英文部分

Anderson, J. R. (2000). *Cognitive psychology and its implication (5th ed.)*. New York: Worth.

Ardac, D. (2002). Solving quantum number problems: An examination of novice performance in terms of conceptual base requirements. *Journal of Chemical Education*, 79(4), 510-513.

Baddeley, A. D. (2002). Is working memory still working? *European Psychologist*, 7(2), 85-97.

BouJaoude, S., Salloum, S., & Abd-El-Khalick, F. (2004). Relationships between selective cognitive variables and students' ability to solve chemistry problems. *International Journal of Science Education*, 26(1), 63-84.

Bransford, J. D., & Stein, B. S. (1984). *The ideal problem solver*. New York: W. H. Freeman and company.

Brook, A., Briggs, H., & Driver, R. (1984). *Aspects of secondary students' understanding of the particulate nature of matter*. Leeds: Children's learning in science project. Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.

Burewicz, A., & Miranowicz, N. (2001). Categorization of visualization tools in aspects of

- chemical research and education. *International Journal of Quantum Chemistry*, 88, 549-563.
- Chandrasegaran, A. L., Treagust, D. F., & Mocerino, M. (2007). The development of a two-tier multiple-choice diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 293-307.
- Chiu, M. H. (2001). Performance on problem solving and conceptual learning in chemistry by high school students in Taiwan. *Science and Technology Education*, 11(1), 20-38.
- Chittleborough, G., & Treagust, D. F. (2007). The modeling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 274-292.
- Chang, C. Y., & Barufaldi, J. P. (1999). The use of a problem-solving-based instructional model in initiating change in students' achievement and alternative frameworks. *International Journal of Science Education*, 21(4), 373-388.
- Chang, C. Y., & Weng, Y. H. (2002). An exploratory study on students' problem-solving ability in earth science. *International Journal of Science Education* 24(5), 441-451.
- Cook, M. P. (2006). Visual representations in science education: The influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. *Science Education*, 90, 1071-1091.
- Dewey, J. (1910). *How We Think*. Boston: D. C. Heath.
- Doch, D., & Holcomb, P. J. (2003). The N400 in beginning readers. *Dev Psychobiol*, 43, 146-166.
- Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, 11, 481-490.
- Ferk, V., Vrtacnik, M., & Gril, A. (2003). Students' understanding of molecular structure representations. *International Journal of Science Education*, 25, 1227-1245.

- Fox, S. I. (2002). *Human Physiology (7E)*. America: McGraw-Hill impress.
- Fitzgibbon, S. P., Pope, K. J., Mackenzie, L., Clark, C. R., & Willoughby, J. O. (2004). Cognitive tasks augment gamma EEG power. *Clinical Neurophysiology*, *115*, 1802-1809.
- Gabel, D. L., Samuel, K. V., & Hunn, D. (1987). Understanding the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, *64*, 695–697.
- Gagne, E.D.(1985). *The cognitive psychology of school learning*. Boston : Lettle, Brown and Company.
- Göker, M. H. (1997). The effects of experience during design problem solving. *Design Studies*, *18*(4), 405-426
- Goldstein, E. B. (2005). *Cognitive psychology*. USA: Thomson Wadsworth.
- Haarmann, H. J., & Cameron, K. A. (2005). Active maintenance of sentence meaning in working memory: Evidence from EEG coherences. *International Journal of Psychophysiology*, *57*, 115-128.
- Hayes, J. R. (1981). *The complete problem solver*. Philadelphia: The Franklin Institute Press.
- Heppert, J., Ellis, J., Robinson, J., Wolfe, A., & Mason, S. (2002). Problem solving in the chemistry laboratory: A pilot project to reform science teaching and learning. *Journal of College Science Teaching*, *31*(5), 322-326.
- Jaušovec, N. (1996). Differences in EEG alpha activity related to giftedness. *Intelligence*, *23*(3), 159
- Jaušovec, N., & Jaušovec, K. (2000). EEG activity during the performance of complex mental problems. *International Journal of Psychophysiology*, *36*(1), 73-88.
- Jaušovec, N. (2000b). Differences in cognitive processes between gifted, intelligent, creative, and average individuals while solving complex problems: An EEG study. *Intelligence*, *28*(3), 213-237
- Jin, S. (2006). Differences in brain information transmission between gifted and normal

- children during scientific hypothesis generation. *Brain and Cognition*, 62(3), 191-197.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Great Britain: Harvard university press.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of computer assisted learning*, 7(2), 75-83.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching. *Journal of Chemical Education*, 70, 701-705.
- Jonassen, D. H. (1997). Instructional design models for well-structured and ill-structured problem-solving learning outcomes. *Educational Technology: Research and Development*, 45(1), 65-94.
- Kahney, Hank. (1986). *Problem solving - A cognitive approach*. Milton Keynes: Open University Press.
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Review*, 29, 169-195.
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Pachinger, T., & Ripper, B. (1997). Brain oscillations and human memory: EEG correlates in the upper alpha and theta band. *Neuroscience Letters*, 238(1-2), 9-12.
- Klimesch, W., Sauseng, P., & Hanslmayr, S. (2006). EEG alpha oscillations: The inhibition-timing hypothesis. *Brain Research Reviews*, 53, 63-88.
- Lovett, M. C. (2002). Problem Solving. Problem Solving. In H. Pashler, & D. Medin (Eds.) *Stevens' Handbook of Experimental Psychology*. (pp.317-362). New York: Wiley.
- Lamm, L., Jirschmeister F. Ph, S., & Bauer, H. (2008). Linking performance with brain potentials: Mental rotation-related negativity revisited. *Cognitive Brain Research*, 25, 900-912.
- Lin, H. S., & Chiu, H. L. (2004). Student understanding of nature and their problem-solving strategies. *International Journal of Science Education*, 26(1), 101-112.
- Luck, S. J. (2005). *An introduction to the event-related potential technique*. MIT press.

- Mason, D. S., Shell, D. F., & Crawley, F. E. (1997). Differences in problem solving by nonscience majors in introductory chemistry on paired algorithmic-conceptual problems. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 905-923.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43-52.
- Meltzer, D. E. (2005). Relation between students' problem-solving performance and representational format. *American Association of Physics Teachers*, 73, 463-478.
- Nakhleh, M. B. (1993). Are Our Students Conceptual Thinkers or Algorithmic Problem Solvers? Identifying Conceptual Students in General Chemistry. *Chemical Education*, 70(1), 52-55.
- Nakhleh, M. B., & Mitchell, R. C. J. (1993). *Concept Learning versus Problem Solving: There is a Difference*, 70(3), 190-192.
- Newell, A. (1990). *Unified Theories of Cognition*. Harvard University press.
- Newell, A., & Simon, H. (1972). *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Niaz, M., & Robinson, W. R. (1992). "Manipulation of logical structure of chemistry problems and its effect on student performance." *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 211-226.
- Noh, T., & Scharmann, L. C. (1997). Instructional influence of a molecular-level pictorial presentation of matter on students' conceptions and problem-solving ability. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 199-217.
- OECD (2003). *The PISA 2003 assessment framework- mathematics, reading, science and problem solving knowledge and skills*. OECD, Paris, France.
- Osborne, R., & Freyberg, P. (1985). *Learning in Science: The implication of children's science* (Auckland: Heinemann).
- Palva, S., & Palva, J. M. (2007). New vistas for α -frequency band oscillations. *Trends in*

- Neurosciences*, 30(4), 150-158.
- Paivio, A (1986). *Mental representations: a dual coding approach*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Perner, J. (1991). *Understanding the representational mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Penner, D. E. (2000). Explaining systems: Investigating middle school students' understanding of emergent phenomena. *Journal of research in science teaching*, 37(8), 784-806.
- Pitt, D. (2004). Mental representation. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, from the World Wide Web: <http://plato.stanford.edu/entries/mental-representation/>
- Posner, M., Sheese, B. E., Odludas, Y., & Tang, Y. (2006). Analyzing and shaping human attentional networks. *Neural Networks*, 19, 1422-1429.
- Rappoport, L. T., & Ashkenazi, G. (2008). Connecting levels of representation: emergent versus submergent perspective. *International Journal of Science Education*, 30(12), 1585-1603.
- Rieckensky, I., & Jagla, F. (2008). Linking performance with brain potentials: Mental rotation-related negativity revisited. *Neuropsychologia*, 46, 3069-3073.
- She, H. C. (2002). Concepts of a higher hierarchical level require more dual situated learning events for conceptual change: A study of air pressure and buoyancy. *International Journal of Science Education*, 24(9), 981-996.
- Shin, N., Jonassin, D. H., & McGee, S. (2003). Predictor of well-structured and ill-structured problem solving in an astronomy simulation. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(1), 6-33.
- Simon, H. A. (1979). Information-processing theory of human problem solving. In W.K. Estes (Ed.), *Handbook of learning and cognitive processes* (pp. 271-295). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Solso, R. L., MacLin, M. K., & MacLin, O. H. (2005). *Cognitive psychology* (7th ed.). Boston:

Allyn & Bacon Press.

Sternberg, R. J. (2003). *Cognitive psychology 3E*. C. A. Thomson press.

Sternberg, R. J. & Ben-Zeev, T. (2001). *Complex Cognitive*. New York: Oxford University Press.

Stieff, M. (2007). Mental rotation and diagrammatic reasoning in science. *Learning and Instruction*. 17, 219-234.

Sewards, T. V., & Sewards M. A. (1999). Alpha-band oscillations in visual cortex: Part of the neural correlate of visual awareness? *International Journal of Psychophysiology*, 32, 35-45.

Ward, L. M. (2003). Synchronous neural oscillations and cognitive processes. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 7(12), 553-559.

Weiss, S., & Rappelsberger, P. (2000). Long-range EEG synchronization during word encoding correlates with successful memory performance. *Cognitive Brain Research*, 9(3), 299-312.

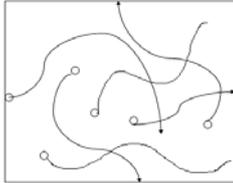


理想氣體模型成就測驗

學校_____ 班級_____ 座號_____ 姓名_____

() 1-1 下列何者為理想氣體分子在容器內的狀態？

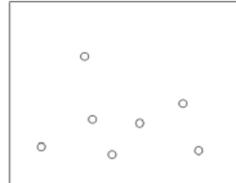
(A) 分子弧線運動



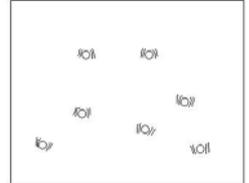
(B) 分子直線運動



(C) 分子靜止不動



(D) 分子原地振動



() 1-2 你的理由是

- (A) 氣體分子質量幾乎可以忽略
- (B) 密閉容器內氣體分子不會對流
- (C) 氣體分子彼此吸引而無法自由運動
- (D) 氣體分子體積極小，分子間的空隙很大

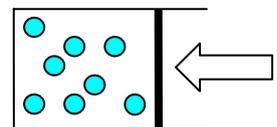
() 2-1 下列哪一種現象最能夠說明「一定量的氣體在壓力不變的情況下，氣體的絕對溫度與氣體體積間的關係」？

- (A) 熱氣球升空
- (B) 密封的塑膠袋受太陽照射而膨脹
- (C) 由水底上升至水面的氣泡
- (D) 利用升空的探空氣球觀測氣象

() 2-2 承上題，你的理由是？

- (A) 熱氣球內的氣體受熱後，分子平均速率變快，導致熱氣球體積變大而上升
- (B) 太陽照射下，塑膠袋內氣體溫度上升，氣體分子的平均速率變快，使氣壓增大，因而體積膨脹
- (C) 水中氣泡往上升時，因受水壓力減少，氣泡內氣體的碰撞頻率減少而使氣壓下降，所以氣泡的體積隨著上升而變大
- (D) 探空氣球往上升時，因外界大氣壓力減少、氣溫下降，氣球內氣體分子的碰撞頻率減少、平均動能也變小，所以氣球的體積隨著上升而變大

() 3-1 標準狀況下(0°C、1 大氣壓)，裝有一定量的氣體的容器，如右圖，施力將活塞往內推使氣體體積變小，則壓縮後的氣體其分子運動的平均速率變化情形為何？



活塞

- (A) 變快
- (B) 不變
- (C) 變慢
- (D) 變快後又恢復

() 3-2 承上題，你的理由是

- (A) 因為氣體活動空間變小，分子間相互碰撞，使平均碰撞頻率增加而造成平均運動速率變快
- (B) 容器被壓縮時，分子碰撞頻率增加，使得分子的平均運動速率也變快。但當體積不再改變時，分子碰撞頻率不變了，使得分子的平均運動速率也恢復和原來相同
- (C) 因為容器被壓縮，氣體分子的活動空間變小，因此氣體分子的平均運動速率也變慢

(D) 氣體的平均動能只受氣體溫度的影響，故當溫度保持不變時分子的平均運動速率也不變

() 4-1 利用打氣筒將空氣壓入剛性瓶中，則剛性瓶內氣體的哪些因素會發生改變？

甲、氣體壓力 乙、氣體分子莫耳數 丙、氣體溫度
丁、氣體體積。



(A) 一項 (B) 兩項 (C) 三項 (D) 四項

() 4-2 承上題，你的理由是

(A) 進入空氣越多，所以分子莫耳數增加

(B) 進入空氣越多，所以分子數莫耳增加，相對的分子碰撞器壁頻率也增加，因此氣體壓力也變大

(C) 進入空氣越多，所以分子數增加，相對的分子的平均運動速率增加，所以溫度升高

(D) 進入空氣越多，所以分子數增加，相對的分子碰撞器壁頻率、平均運動速率也增加，所以氣壓增大、溫度升高

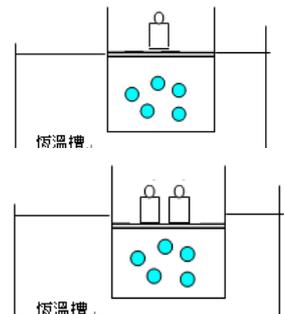
() 5-1 附有活塞的密閉容器內填入氮氣，置於恆溫槽中，活塞質量可忽略不計，如右圖。如在活塞上增加砝碼的個數，則密閉容器的體積以及內部的壓力會如何變化？

(A) 體積不變、壓力變大

(B) 體積不變、壓力不變

(C) 體積變小、壓力變大

(D) 體積變小、壓力不變



() 5-2 你的理由是

(A) 當外界壓力變大時，氣體分子會不斷由恆溫槽中吸收熱量，使得分子的平均運動速率增大，造成氣體壓力增大，因而使得氣體的體積能保持不變

(B) 當外界壓力變大時，會使氣體分子碰撞器壁的頻率變大，造成氣壓增加，因而使得氣體的體積能保持不變

(C) 當外界壓力變大時，氣體分子活動空間變小，因而使得分子使碰撞器壁頻率增加，造成氣體壓力增大而與外界壓力相同

(D) 氣體有可壓縮性，當外界壓力變大時分子間距離會變小，造成氣體體積變小。但在恆溫槽中，氣體分子的平均運動速率不變，造成氣體壓力也不改變

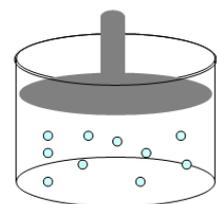
() 6-1 在附有活塞的密閉容器中填入氮氣，活塞質量可忽略不計。如右圖，當活塞靜止不動時，瓶內的氣壓與大氣壓力相同。如在恆溫狀況下，將容器中的氮氣抽掉一半，則密閉容器的體積以及最終內部的壓力會如何變化？

(A) 壓力變小、體積不變

(B) 壓力變小、體積變大

(C) 壓力不變、體積變小

(D) 壓力變小、體積變小

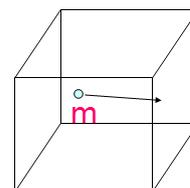


- () 6-2 承上題，你的理由是
- (A) 分子個數減少使得氣體分子碰撞器壁的頻變小，因而壓力變小。而氣體壓力變小後，體積因而增大
- (B) 分子個數減少使氣體分子的碰撞頻率變小，相對的氣體所占據的空間也變小，因而氣壓變小、體積也變小
- (C) 分子個數減少使得碰撞器壁的頻變小，因而壓力變小，使得活塞下降。當活塞不動時，瓶內氣壓與外界壓力相同，因此容器內氣體所占據的空間變小
- (D) 分子個數的改變會影響氣體分子碰撞器壁的頻率，所以壓力變小。但氣體分子可自由運動，故仍能占據原來的空間，所以體積不變

7~14 題請利用下列的公式來作答：

$p = mv$	$\Delta p = 2mv$	$f = \frac{v}{2L}$
$E_k = \frac{1}{2}mv^2$	$P = \frac{N_0 \times \frac{mv^2}{L}}{L^2}$	$PV = nRT$

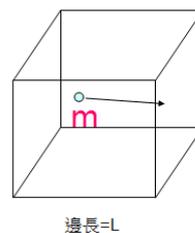
- () 7-1 下列有關理想氣體常數 R 的敘述，何者正確？
- (A) 理想氣體常數 R 的值會隨氣體的壓力、體積、溫度、莫耳數的值而改變
- (B) 理想氣體常數 R 的值為 0.082 atm·l/mol·°C
- (C) 理想氣體常數 R 的值為 8.314 cal/mol·K
- (D) 理想氣體常數 R 的值不會隨氣體溫度的改變而改變
- () 7-2 你的理由是
- (A) 0°C、1atm 下，1mol 氣體體積有 22.4 公升，所以理想氣體常數 R 的值等於 0.082 atm·l/mol·°C
- (B) 理想氣體常數 R 只會隨著壓力、體積、溫度、莫耳數單位改變，而不會隨其數值改變
- (C) 理想氣體常數 R 的值等於 PV/nT，所以其值會受氣體的壓力、體積、溫度、莫耳數而改
- (D) 1atm=1.013×10⁵ N·m²、22.4 公升=22.4×10⁻³m³，所以理想氣體常數 R 的值等於 PV/nT=8.314 cal/mol·K
- () 8-1 右圖中一分子在邊長為 L=1.5 的密閉容器內運動，分子質量為 m=0.1，平均運動速率為 v=300，問分子每次碰撞器壁產生的動量變化為何？
- (A) 30 (B) 60 (C) 4500 (D) 9000
- () 8-2 你的算式是
- (A) mv (B) 2mv (C) 1/2mv² (D) mv²



邊長=L

- ()9-1 右圖中一分子在邊長為 $L=1.5$ 的密閉容器內運動，分子質量為 $m=0.1$ ，平均運動速率為 $v=270$ ，問分子每次碰撞器壁產生的平均動量為何？

(A)27 (B) 54 (C)3645 (D) 7290

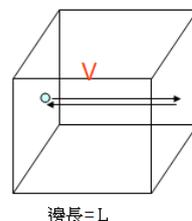


- ()9-2 你的算式是

(A)mv (B) 2mv (C) $1/2mv^2$ (D) mv^2

- ()10-1 下圖中一分子在邊長為 $L=1.5$ 的密閉容器內運動，分子質量為 $m=0.1$ ，平均運動速率為 $v=270$ ，問分子平均每秒 x 方向碰撞頻率為何？

(A) 90 (B) 30 (C)0.14 (D) 0.01

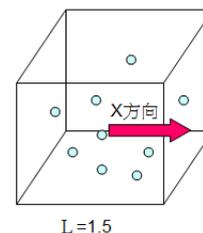


- ()10-2 你的算式是

(A) $v/2L$ (B) $\frac{1}{3}v/2L$ (C) $2L/\frac{1}{3}v$ (D) $2L/v$

- ()11-1 假設 $N_0=6.02 \times 10^{23}$ 個分子在邊長 $L=1.5$ 的容器內，每個分子在 x 方向碰撞一次器壁的動量變化量 $\Delta P=700$ ，每秒碰撞的頻率 $f=3$ ，請問此壁受到的壓力為？

(A) 6.450×10^{20} (B) 5.805×10^{21}
(C) 6.243×10^{25} (D) 5.619×10^{26}

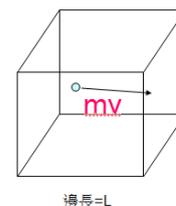


- ()11-2 你的算式是

(A) $\frac{N_0 L^2 f}{\Delta P f}$ (B) $\frac{N_0 L^2 f}{\Delta P}$ (C) $\frac{N_0 \Delta P}{L^2 f}$ (D) $\frac{N_0 \Delta P f}{L^2}$

- ()12-1 下圖中分子質量 $m=0.1$ ，x 方向平均速率為 $v=90$ ，容器邊長為 $L=1.5$ ，每秒一個分子在 x 方向碰撞器壁的動量變化為？

(A)18 (B)540 (C)270 (D)1080



- ()12-2 你的算式是

(A)2mv (B) mv^2/L (C) $mv^2/2L$ (D) $2mv^2/L$

- ()13-1 在 20°C 和一大氣壓時，取乾冰 8.8 克使其完全氣化，可得二氧化碳氣體多少升？(原子量：C=12、O=16)

(A)0.3 (B)4.8 (C)211.4 (D)487.2

- ()13-2 你的算式是

(A) $0.2 \times 0.082 \times 20$ (B) $0.2 \times 0.082 \times 293$ (C) $8.8 \times 0.082 \times 293$ (D) $0.2 \times 8.314 \times 293$

- ()14-1 假設分子平均動能為 E_k ，平均速率為 v ，絕對溫度為 T ，平均碰撞頻率為 f ，總動量變化為 ΔP ，abcd 皆為常數。則下列何者正確？

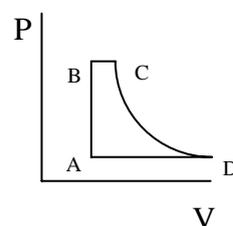
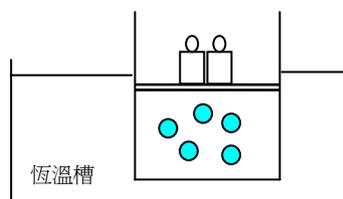
(A) $E_k=av$ (B) $E_k=bT$ (C) $E_k=cf$ (D) $E_k=d \Delta P$

- ()14-2 你的理由是
- (A)動能與平均碰撞頻率成正比 (B)動能與總動量變化成正比
(C)動能與平均速率成正比 (D)動能與絕對溫度成正比
- ()15-1 在 25°C 、 1atm 時，甲、乙兩氣球充滿了氬氣，若填入甲、乙兩氣球的氬氣分別是 1 莫耳、2 莫耳，若不考慮氣球膜對氣球體積的影響，則甲、乙兩氣球的體積比為：
- (A)1:1 (B)1:2 (C)2:1 (D)4:1
- ()15-2 你的理由是
- (A)相同溫度與壓力下，由於氣體分子數增加 2 倍，分子的平均動能變為 2 倍，造成因溫度增大而使體積膨脹 2 倍
(B)相同溫度與壓力下，由於氣體分子數增加 2 倍，分子的碰撞頻率與平均動能都變為 2 倍；分子所佔據的體積會變為 4 倍
(C)分子所佔據的體積只受溫度與壓力的影響，所以同溫、同壓下，氣體體積不會因氣體的莫耳數而改變
(D)相同溫度與壓力下，由於氣體分子數增加 2 倍，總碰撞頻率變為 2 倍，造成因壓力增大而使體積膨脹 2 倍
- ()16-1 下列哪一種情況下，分子的總碰撞頻率最大？
- (A) 0°C 、 1atm 下 1 莫耳的氬氣 (B) 0°C 、 1atm 下 2 莫耳的氬氣
(C) 20°C 、 1atm 下 1 莫耳的氬氣 (D) 20°C 、 2atm 下 2 莫耳的氬氣
- ()16-2 你的理由是
- (A)當氣體莫耳數愈大，分子數愈多，使得分子來回碰撞次數增加
(B)當壓力愈大時，氣體的體積會愈小，使得分子來回碰撞次數增加
(C)當溫度愈高，氣體分子的平均速率會較快，使得分子來回碰撞次數增加
(D)當氣體莫耳數愈多、溫度愈高，有愈多運動速率較快的分子；而且當壓力愈大，氣體體積也會愈小，使得分子來回碰撞次數增加
- ()17-1 定壓下，將裝有定量氬氣的氣球由 4°C 的冰箱移至 24°C 的室內，則體積由 2.27 公升變為若干公升？
- (A) 2.27×6 (B) 2.27×24
(C) $2.27 \times (277/297)$ (D) $2.27 \times (297/277)$
- ()17-2 承上題，你的理由是？
- (A)在定壓下，溫度上升 6 倍，分子平均動能增加 6 倍，所以氣體體積會膨脹 6 倍
(B)在定壓下，溫度愈高，分子平均速率愈大，使得氣體體積也愈大，因此當溫度變為 24°C 時，氣體體積也膨脹 24 倍
(C)在定壓下，溫度上升，造成分子平均速率與碰撞頻率都增加，所以氣體體積膨脹 $(297/277)$ 倍
(D)一定量的氣體在定壓下，其體積與絕對溫度成正比，所以體積膨脹 $(297/277)$ 倍

- () 18-1 下列哪一種情況下，分子的平均動能最大？
 (A) 0°C 、1atm 下 1 莫耳的氫氣 (B) 0°C 、2atm 下 1 莫耳的氫氣
 (C) 20°C 、1atm 下 1 莫耳的氫氣 (D) 0°C 、1atm 下 2 莫耳的氫氣
- () 18-2 承上題，你的理由是
 (A) 壓力愈大，氣體的體積會愈小，造成分子來回碰撞的頻率增加，使得分子的平均動能也較大
 (B) 氣體莫耳數愈大，分子數愈多，氣體分子的總碰撞頻率會增加，使得分子的平均動能也較大
 (C) 溫度愈高，氣體分子的平均速率會較快，使得分子的平均動能也較大
 (D) 氣體體積愈大，分子活動的空間較大，所以分子運動的速率會愈大，使得分子的平均動能也較大
- () 19-1 0°C 下，將裝有定量氫氣的密閉容器由 2.26m^3 壓縮至 1.13m^3 ，則壓力由 100Pa 變為若干？
 (A) 50Pa (B) 100Pa (C) 200Pa (D) 800Pa
- () 19-2 承上題，你的理由是？
 (A) 容器體積變為原來的 $1/2$ ，器壁間的距離變為 $1/8$ ，使得分子來回碰撞器壁的頻率變為 8 倍，所以氣體壓力變為原來的 8 倍
 (B) 容器體積變為原來的 $1/2$ ，使得分子來回碰撞器壁的頻率變為 2 倍，所以氣體壓力變為原來的 2 倍
 (C) 由於溫度維持不變，分子的平均速率不改變，所以氣體的壓力不會改變
 (D) 由於氣體的量不變，分子個數不改變，但體積變小使分子運動速率變為原來的 $1/2$ ，所以氣體壓力變為原來的 $1/2$ 倍

- () 20-1 右圖(一)在恆溫槽中放置一個附有活塞的容器，活塞重量不計，在活塞上慢慢增加砝碼個數，則在圖(二)中哪一段曲線或直線可表示容器中氣體壓力與氣體體積之間的關係？

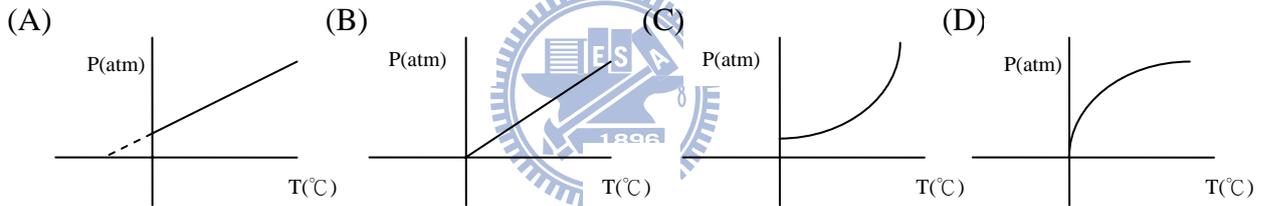
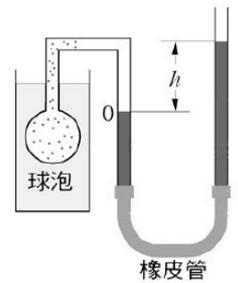
- (A) AB 段 (B) BC 段
 (C) CD 段 (D) AD 段



()20-2 你的理由是

- (A)同溫下，氣體分子數不變時，當外界壓力增大時，分子會不斷吸收外界的熱量，使分子的平均動能增加，造成壓力增大以保持氣體原來的體積
- (B)當外界壓力增大，氣體體積變小，使得氣體溫度上升，導致分子平均速率變大，產生較大壓力與外界壓力相同，但隨著溫度又下降使得壓力變小，氣體體積又膨脹回原來體積
- (C)同溫下，當氣體分子數一定時，外界壓力增大會使氣體體積變小，使得氣體分子總碰撞頻率變大，導致氣體壓力增加而與外界壓力相同
- (D)由於外界壓力變大，使得氣體體積變小，導致氣體的分子平均速率增加，使得分子因平均動能增大而造成壓力增大

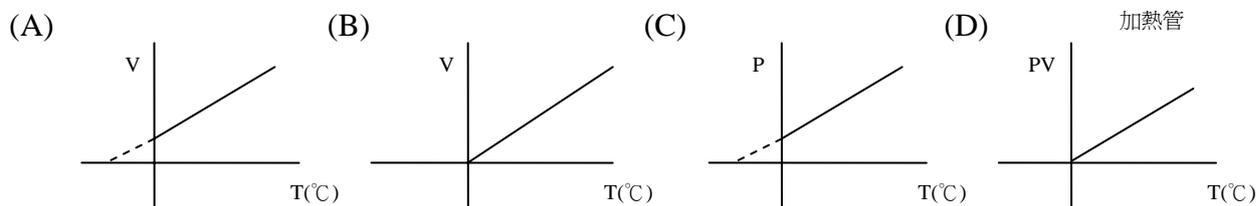
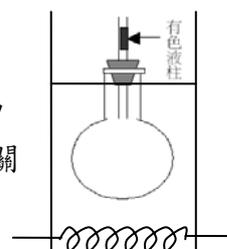
()21-1 將一個放在燒杯內的球泡與一盛有水銀的 U 型管連接，如右圖。改變燒杯內的液體的溫度，使球泡內溫度與燒杯中的液體溫度達到熱平衡時，由 U 型管右端添加水銀，使左端水銀面維持在「0」的刻度，則球泡內氣體的溫度($^{\circ}\text{C}$)與球泡內氣體壓力(atm)的關係圖，下列何者正確？



()21-2 你的理由是

- (A)在相同體積與分子數的條件下，氣體溫度越高，分子的平均動能越大，氣壓也越大；但 0°C 時分子仍有動能，所以氣壓與絕對溫度成正比，但不通過原點
- (B)在相同體積與分子數的條件下，氣體溫度越高，分子的平均動能越大，氣壓也越大；但 0°C 時分子沒有動能，所以氣壓與溫度成正比，而且通過原點
- (C)在相同體積與分子數的條件下，氣體溫度越高，分子的平均速率越大，而氣壓與分子的平均動能($1/2 mv^2$)成正比；但分子的運動速率有個極限，所以溫度太高時氣壓無法再增加
- (D)在相同體積與分子數的條件下，氣體溫度越高，分子的平均速率越大，而氣壓與分子的平均動能($1/2 mv^2$)成正比；但 0°C 時分子仍有運動速率，所以溫度愈高與氣壓也越大，但不通過原點

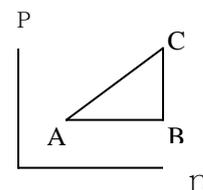
()22-1 將一個附有細玻璃管的燒瓶放置入有加熱管的水槽中，觀察水槽中水溫與細玻璃管中有色水柱的高低的關係，其實驗所得的圖表關係以下列何者最正確？



()22-2 你的理由是？

- (A) 當有色水柱靜止時，瓶內氣壓與外界壓力始終相等，因此在壓力與分子數不變條件下，氣體溫度上升，分子的平均動能增加，使得氣體體積膨脹
- (B) 水槽溫度升高，瓶內分子的碰撞頻率及分子的平均速率均增加，使得瓶內氣壓與氣體體積均增加，因此 PV 的乘積隨溫度的升高而增大
- (C) 由於溫度升高會使分子總碰撞頻率增大，造成氣體壓力增加，但 0°C 時分子仍會運動，仍有氣壓存在，因此壓力(P)與溫度(T)關係圖不通過原點
- (D) 溫度愈高，分子平均速率增大，使得氣壓增大造成體積膨脹，但 0°C 時分子速率為 0，因此體積(V)與溫度(T)關係圖通過原點

()23-1 理想氣體定律為 $PV=nRT$ 。若一容器內的氣體壓力和莫耳數的關係如右圖。請問，下列何者敘述正確？



- (A) 曲線由 $A \rightarrow B$ 的過程中，只能藉由體積改變而達成，無法藉由溫度的改變達成
- (B) 曲線由 $B \rightarrow C$ 的過程中，只能藉由溫度改變而達成，無法藉由體積的改變達成
- (C) 曲線由 $C \rightarrow A$ 的過程中，體積和溫度都不發生改變
- (D) 曲線由 $A \rightarrow B \rightarrow C$ 的過程，只能藉由容器的體積改變而達成，無法藉由溫度的改變達成

()23-2 你的理由是

- (A) 因為分子數和壓力的變化只會影響分子總碰撞頻率，而使體積發生改變，卻不改變分子平均動能
- (B) 壓力和分子數成正比關係，需在溫度和體積維持恆定的狀態下才能達成
- (C) 當壓力維持一定值，分子數增加，總碰撞頻率增加造成體積增大，但無法改變分子平均動能，所以溫度無法改變
- (D) 當分子數一定時，唯有使溫度升高，分子的平均動能增加，才能使壓力變大

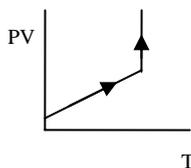
()24-1 將一定量氦氣視為理想氣體，在一升活塞容器中做下列操作：

(甲)若壓力保持不變，溫度由 67°C 升高到 100°C

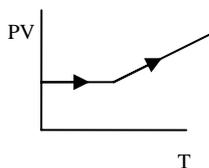
(乙)然後溫度保持在 100°C ，將氣體的體積壓縮變小

上述操作過程中，其氣體狀態變化過程，下列何者表示最為適合？

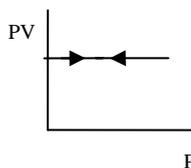
(A)



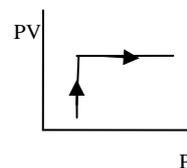
(B)



(C)



(D)



()24-2 你的理由是

(A)溫度只會影響氣體分子的平均動能，而氣體體積只會受氣體分子碰撞頻率影響，亦即壓力變大，氣體體積變小，因此 PV 乘積維持一定值而與溫度無關

(B)定壓下，溫度升高使得分子碰撞頻率增大，造成體積增加，使得 PV 乘積變大；定溫下，壓縮體積，使分子碰撞頻率變大，壓力變大，使得 PV 乘積變大

(C)定壓下，溫度上升使分子運動速度變快，體積變大，使得 PV 乘積變大；定溫下，壓縮體積，使分子碰撞頻率變大，壓力變大，使得 PV 乘積維持一定值

(D)溫度升高使得分子平均動能與碰撞頻率都增大，造成體積變大，壓力變小，使 PV 乘積維持一定值；但隨著溫度升高，分子碰撞頻率增加，壓力變大，使得 PV 乘積變大



問題解決：如何利用氣體的性質測量溫度？

哥哥小明在學校上完化學課氣體的單元後，

一回家就問弟弟小華道：「你知道可以用什麼來測量溫度嗎？」

小華沒好氣的回答：「當然是溫度計啊！」

「溫度計有很多種，你知道哪幾種呢？」小明繼續問。

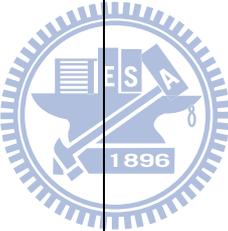
「有水銀溫度計、酒精溫度計，如果要量體溫的話，還有耳溫槍呀！」小華回答。

小明得意的說：「那你知道氣體溫度計嗎？」

小華不相信的質疑：「氣體怎麼測量溫度，它看不到也摸不到，又不能顯示溫度！」

「嘿嘿～這你就不懂了……」

一、如果你是哥哥小明，你如何利用氣體的性質測量溫度呢？寫下你知道的方法。將設計圖畫出來，並說明操作原理(需說明控制變因、操縱變因與應變變因)。

設計圖	說明
	

二、當氣體的溫度發生變化時，請用粒子的觀點(氣體分子的運動)說明氣體的何種性質隨溫度而改變。

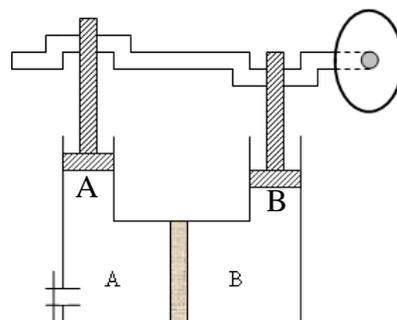
三、請你利用氣體公式或定理說明你使用的原理。

$p = mv$	$\Delta p = 2mv$	$f = \frac{v}{2L}$
$E_k = \frac{1}{2}mv^2$	$P = \frac{\frac{N_0}{3} \times \frac{mv^2}{L}}{L^2}$	$PV = nRT$

四、請利用圖表說明你的氣體溫度計，操縱變因與應變變因之間的關係，並說明圖表上變因的改變與氣體分子運動的關係。

問題解決二：如何讓輪子轉動？

右圖為一雙活塞的密閉U型容器，中間為一可活動或可固定的隔板，將U型容器隔成兩個密閉空間。若A、B活塞上下運動，就會產生力矩，帶動輪子轉動。



一、有什麼方法能讓輪子轉動？請寫出你的方法及應用之原理（需說明控制變因、操縱變因與應變變因）。

二、由你設計的方法，以粒子的觀點（氣體分子的運動）說明AB活塞上下運動造成輪子轉動的原因。

三、請你利用氣體公式或定理說明你使用的原理。

$p = mv$	$\Delta p = 2mv$	$f = \frac{v}{2L}$
$E_k = \frac{1}{2}mv^2$	$P = \frac{N_0}{3} \times \frac{mv^2}{L^2}$	$PV = nRT$

四、當活塞上下移動時，請利用圖表說明，操縱變因與應變變因之間的關係，並說明圖表上的變因改變與氣體分子運動的關係。