

國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士班

碩士論文

指導教授：邱美虹 博士

探討建模文本對於十年級學生學習原子模型之

學習成效與建模能力之影響

**Investigating the Effectiveness of Modeling-based Text on Tenth
Graders' Learning Performance and Modeling Competencies
about the Atomic Model**

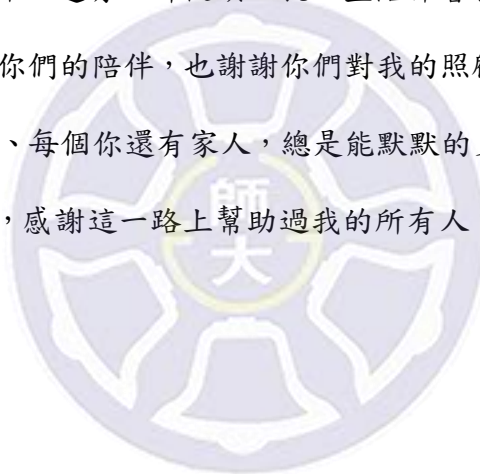
研究生：周 宜 靜

中華民國 105 年 01 月

致 謝

本論文能夠順利完成，首先要感謝我的指導教授 邱美虹老師，從進入邱老師的研究室之後，就一路跟著老師不斷的學習，在我的研究所生活當中，邱老師不僅扮演著指導教授的角色，更像是朋友一般關心著我，不論是在研究上遇到的困難或是其他難題，老師總是以無比的耐心，了解我所遇到的困難，並不斷鼓勵我、指引我，每每與邱老師討論聊天之後，總是充滿著動力，讓我可以慢慢地克服困難，並一步一步完成碩士學位，很開心也很幸運在研究上能夠受到邱老師的啟發，在此獻上我對於邱老師最誠摯的謝意，也非常感謝老師對我的指導與照顧！

然而，在研究所的生活當中，還有一群從碩一就一直陪伴著我並支持著我的好朋友們，豐富了我在師大的生活，很感謝有你們的陪伴，也謝謝你們對我的照顧，讓我能夠順利一直到畢業。還有要感謝一直以來的好姊妹、每個你還有家人，總是能默默的支持著我、鼓勵著我，讓我有更大的動力完成碩士論文，最後，感謝這一路上幫助過我的所有人，也期許自己與大家都能夠往目標更進一步！



摘要

科學文本在學校科學教育中扮演著非常關鍵且重要的角色，不僅能夠幫助學生對於科學概念的學習，更是教師設計教學活動的主要依據。據此，本研究以建模歷程為架構設計了「外顯式」與「內隱式」的建模文本，並依照學生心智模式的屬性，將 36 位十年級學生平均分到「一般文本組」、「內隱式建模文本組」與「外顯式建模文本組」，最後，則透過各組科學文本的閱讀，探討學生對於原子模型概念、心智模式與建模能力的影響。本研究結果顯示學生在原子模型概念上，以外顯式建模文本的閱讀較有助於完整原子模型概念的學習，並能夠發展其建模能力，也能在閱讀文本之後，建立較接近科學模式的心智模式，因此，此結果也彰顯了外顯化建模歷程的效用，更顯示出外顯式建模文本的有效性，最後，也能在科學教育中提供建模科學文本編寫的參考依據。

關鍵字：建模歷程、建模文本、建模能力、原子模型

Abstract

Scientific texts played an important role in science education. They not only could help students to learn scientific concepts, but they were also the main basis for designing teaching activities by teachers. In order to investigate the impact of scientific text, this study used two modeling-based texts about the atomic model for high school students to learn the atomic models during different periods of time. One of them included explicit descriptions and representations of modeling process, and the other included implicit description of modeling processes. The participants of this study included 36 tenth-grade students from a high school in New Taipei City. The students were equally classified into three groups in which students read three different versions of scientific texts (i.e., two modeling-based texts and one regular textbook). Finally, this study investigated the effectiveness of reading three different versions of scientific texts, mental models and modeling competencies about the atomic models. The analyses results revealed that the students who read modeling-based text that including explicit modeling process not only had better learning performance about the concepts of atomic model , but they also developed better modeling competencies. Furthermore, the modeling-based text helped students construct their mental models closer to the scientific models. In sum, the results revealed the significant effects of the modeling-based text that including explicit modeling process, and it also provided a reference for the preparation of relevant textbooks.

Key words : modeling process, modeling-based text, modeling competencies, atomic model

目 錄

第壹章 緒論.....	-1-
第一節 研究背景與動機.....	-1-
第二節 研究目的與問題.....	-3-
第三節 名詞釋義.....	-5-
第四節 研究範圍與限制.....	-6-
第五節 研究的重要性.....	-7-
第貳章 文獻探討.....	-9-
第一節 模型與建模.....	-9-
第二節 建模能力.....	-26-
第三節 心智模式.....	-32-
第四節 原子模型之相關研究.....	-37-
第五節 科學文本.....	-40-
第六節 結語.....	-42-
第參章 研究方法.....	-43-
第一節 研究設計與流程.....	-43-
第二節 研究對象.....	-48-
第三節 文本教材的設計.....	-49-
第四節 研究工具.....	-64-
第五節 資料分析與處理.....	-72-
第肆章 研究結果.....	-77-

第一節	原子模型概念試題之學習成效分析.....	-78-
第二節	概念試題之四大原子模型之學習成效分析.....	-81-
第三節	原子模型心智模式分析.....	-88-
第四節	原子模型之建模能力分析.....	-99-
第五節	原子模型各建模歷程之建模能力分析.....	-103-
第六節	原子模型半結構式晤談之建模能力分析.....	-115-
第伍章	討論與結論.....	-137-
第一節	討論與結論.....	-137-
第二節	啟示、反思與建議.....	-140-
參考文獻		
	中文部分.....	-145-
	英文部分.....	-146-
附錄		
附錄一	原子模型的發展之一般文本.....	-153-
附錄二	原子模型的發展之內隱式建模文本.....	-169-
附錄三	原子模型的發展之外顯式建模文.....	-189-
附錄四	原子模型之概念試題.....	-215-
附錄五	原子模型之建模能力試題(晤談試題).....	-223-

表 次

表 2-1-1	模型定義彙整.....	10
表 2-1-2	建模定義彙整.....	16
表 2-1-3	建模歷程之定義說明.....	21
表 2-2-1	建模能力定義彙整.....	26
表 2-2-2	設計建模試題的重要敘述與例題.....	29
表 2-3-1	心智模式的定義.....	32
表 3-1-1	本研究設計之流程.....	45
表 3-2-1	本研究參與對象人數分布.....	48
表 3-2-2	本研究參與半結構式晤談對象人數分布.....	49
表 3-3-1	一般文本試題類型舉例說明.....	55
表 3-3-2	建模歷程定義及其解釋.....	56
表 3-3-3	外顯式建模文本之建模試題舉例說明.....	60
表 3-3-4	一般文本與兩建模文本之差異.....	62
表 3-4-1	研究工具設計要點.....	64
表 3-4-2	原子模型概念試題之雙向細目表.....	65
表 3-4-3	原子模型概念試題難度分析表.....	67
表 3-4-4	原子模型概念試題鑑別度分析表.....	67
表 3-4-5	原子模型建模能力試題之雙向細目表.....	68
表 3-4-6	原子模型建模能力試題難度分析表.....	70
表 3-4-7	原子模型建模能力試題鑑別度度分析表.....	71

表 3-5-1	研究問題與其對應分析方法表.....	72
表 3-5-2	各原子模型發展之「成分與關係」.....	74
表 3-5-3	原子模型心智模式分類.....	75
表 4-1-1	原子模型概念測驗之前測總分 K-W 檢定.....	78
表 4-1-2	不同組別之學生閱讀文本前後原子模型概念表現之 Wilcoxon 符號等級檢定...	79
表 4-1-3	「文本組別」與「概念先備知識(前測)」組間回歸係數同質性檢定摘要表.....	80
表 4-1-4	文本組別與原子概念測驗後測之單因子共變數(ANCOVA)分析.....	80
表 4-2-1	四大原子模型概念之前測總分 K-W 檢定.....	82
表 4-2-2	不同組別之學生閱讀文本前後各原子模型概念表現之 Wilcoxon 符號等級檢定...	84
表 4-2-3	「四大原子模型概念(前測)」與「文本組別」組間回歸係數同質性檢定摘要.....	85
表 4-2-4	四大原子模型概念後測與文本組別之單因子共變數(ANCOVA)分析.....	85
表 4-3-1	三組前測之心智模式分布.....	89
表 4-3-2	三組之前、後測原子模型之心智模式分布.....	93
表 4-3-3	三組原子模型的心智模式分布與轉變途徑比較.....	96
表 4-4-1	原子模型建模能力試題之前測總分 K-W 檢定.....	99
表 4-4-2	不同組別學生閱讀文本前後原子模型建模能力表現之 Wilcoxon 符號等級檢定.	100
表 4-4-3	「文本組別」與「建模能力(前測)」組間回歸係數同質性檢定摘要表.....	100
表 4-4-4	文本組別與原子建模能力測驗後測之單因子共變數(ANCOVA)分析.....	101
表 4-4-5	「建模能力測驗」前、後測 ANCOVA 事後比較分析.....	101
表 4-5-1	各建模歷程之前測總分 K-W 檢定.....	104
表 4-5-2	不同組別之學生閱讀文本前、後「模型選擇」表現之 Wilcoxon 符號等級檢定.....	105
表 4-5-3	不同組別之學生閱讀文本前、後「模型建立」表現之 Wilcoxon 符號等級檢定.....	106

表 4-5-4	不同組別之學生閱讀文本前、後「模型效化」表現之 Wilcoxon 符號等級檢定.....107
表 4-5-5	不同組別之學生閱讀文本前、後「模型分析」表現之 Wilcoxon 符號等級檢定.....107
表 4-5-6	不同組別之學生閱讀文本前、後「模型應用」表現之 Wilcoxon 符號等級檢定.....108
表 4-5-7	不同組別之學生閱讀文本前、後「模型修正」表現之 Wilcoxon 符號等級檢定.....109
表 4-5-8	不同組別之學生閱讀文本前、後「模型轉換」表現之 Wilcoxon 符號等級檢定.....109
表 4-5-9	「各建模歷程(前測)」與「文本組別」組間回歸係數同質性檢定摘要表.....110
表 4-5-10	各建模歷程後測與文本組別之單因子共變數(ANCOVA)分析.....111



圖 次

圖 2-1-1	模型、心智模式與實體或現象之關係.....	13
圖 2-1-2	模型視覺化作用.....	14
圖 2-1-3	模型、來源與目標之間的轉換.....	15
圖 2-1-4	一般性建模歷程.....	17
圖 2-1-5	建模模型的架構.....	19
圖 2-1-6	建模歷程圖.....	20
圖 2-1-7	以模型為基礎的學習模型.....	23
圖 2-1-8	以模型為基礎之學習理論架構.....	24
圖 2-2-1	科學理論結構模型.....	28
圖 2-2-2	以電化學為例之理論建模的模型.....	29
圖 2-2-3	本研究原子模型發展之理論建模的模型.....	31
圖 2-3-1	概念與心智模式關係圖.....	34
圖 2-3-2	生物物種與心智模式類比.....	35
圖 3-1-1	研究設計示意圖.....	45
圖 3-1-2	研究流程圖.....	47
圖 3-3-1	本研究之文本設計流程.....	50
圖 3-3-2	本研究之原子模型概念圖.....	51
圖 3-3-3	建模歷程指標.....	54
圖 3-3-4	一般文本設計.....	55
圖 3-3-5	外顯式建模文本設計與內隱式建模文本設計.....	58

圖 3-3-6	建模文本之外顯式建模歷程及想一想試題之舉例.....	59
圖 3-3-7	文本中的小提示.....	60
圖 3-3-8	本研究之檢測文本的設計.....	63
圖 3-5-1	心智模式分類結構示意圖.....	76
圖 4-1-1	三組原子模型概念測驗之前、後測平均分數.....	81
圖 4-2-1	「一般文本組」於各原子模型之前、後測平均分數.....	86
圖 4-2-2	「內隱式建模文本組」於各原子模型之概念前、後測平均分數.....	87
圖 4-2-3	「外顯式建模文本組」於各原子模型之概念前、後測平均分數.....	87
圖 4-3-1	三組學生原子模型前測之心智模式分布情形.....	90
圖 4-3-2	「一般文本組」學生前、後測心智模式分布圖.....	94
圖 4-3-3	「內隱式建模文本組」學生前、後測心智模式分布圖.....	94
圖 4-3-4	「外顯式建模文本組」學生前、後測心智模式分布圖.....	94
圖 4-3-5	三組原子模型前、後測之心智模式分布與轉變情形.....	97
圖 4-4-1	三組原子模型建模能力測驗之前、後測平均分數.....	102
圖 4-5-1	三組各建模歷程建模能力之前測平均分數.....	112
圖 4-5-2	三組各建模歷程建模能力之後測平均分數.....	113
圖 4-5-3	一般文本組各建模歷程之建模能力前、後測平均分數.....	113
圖 4-5-4	內隱式建模文本組各建模歷程之建模能力前、後測平均分數.....	114
圖 4-5-5	外顯式建模文本組各建模歷程之建模能力前、後測平均分數.....	114
圖 4-6-1	B2 學生的手稿內容.....	134

第壹章 緒論

本研究旨在探討建模文本對於十年級學生原子模型之學習成效、心智模式與建模能力的影響。本章節共分為五大部分，第一節說明本研究的背景與動機；第二節將引出本研究的目的，並提出三個研究問題；第三節為名詞釋義，說明本研究所採用的名詞；第四節則提出本研究的範圍與限制；第五節則提出本研究之重要性，分別詳述如下：

第一節 研究背景與動機

對於科學教育而言，模型(model)與建模(modeling)已成為科學發展中的重要元素，同時，也是科學學習中不可或缺的認知與能力(邱美虹，2008)。然而，在近十多年來，「模型與建模」在科學教育改革中，已漸漸受到肯定及存在著價值(AAAS, 1993；National Research Council, 1996)。例如：美國研究團隊於2013年提出的「新一代科學教育標準」(Next Generation Science Standards, 簡稱NGSS)，明確的條列出「建模對於9-12年級的學生，能夠在自然世界中，使用、合併及發展模型去預測和得到變量之間的關係」；除此之外，PISA(2012, 2015)也將建模納入其評量內涵之中；我國十二年國教亦於探究能力之草案中將模型與建模納入探究能力中，其中指出「建立模型——學生能理解科學原理的模型，藉由理解來建立模型，並運用模型的選擇、應用，來認識科學原理及解釋科學現象」(教育部，2015)。

有鑒於此，模型與建模已逐漸在科學教育中被重視及使用，甚至納入教育標準，因此，模型與建模對於教學而言是重要的，對於學生而言，更是必要學習的一環。Justi 與 van Driel (2005)也指出模型與建模對於學生的重要性，分別為：(一)學習科學：學生應理解主要的科學模型以及該模型的限制與範圍；(二)學習動手做科學：學生要有創造、表達和檢測自己模型的機會；(三)學習科學本質：學生應學習並認識模型的本質及角色。

然而，學生的學習內容來自於教師及科學文本（即為教科書），Sanchez 及 Valcarcel（1999）指出教師相當依賴科學文本的內容來設計教學活動，因此，在教育上，教師的教學活動、學生的學習內容與科學文本的內容是環環相扣的。就目前正規的教學活動現場來看，僅有少數包含模型與建模觀點的教學活動能夠提高學生的心智建模（張志康、邱美虹，2009；Hestenes, 1992; Justi & Gilbert, 2002; Saari & Viiri, 2003; Schwarz et al., 2009; Jong, Chiu & Chung, 2015）；而對於科學文本方面，卻缺少了模型與建模的觀點（Gericke & Hagberg, 2010），因此，教師的教學內容若是僅參考教科書（文本）來設計教學活動，其教學活動是難以發展模型與建模的觀點（劉俊庚、邱美虹，2010），學生亦無法學習到模型與建模的觀點。

此外，研究亦指出教科書（文本）在「原子理論的發展」描述均有缺失（Justi & Gilbert, 2000；Niaz & Rodríguez, 2001；Niaz & Coştu, 2009；Rodríguez & Niaz, 2004），無法描述不同原子理論之間的修正與限制，以及模型之間的連結也不夠清楚、完整（劉俊庚、邱美虹，2010）。

歸納上述內容及原因，如下：第一，模型與建模的觀點對於科學教育而言逐漸茁壯，對於教師與學生更是重要；第二，科學文本對於教師與學生在教與學上均扮演著相當重要的角色；第三，科學文本中原子理論的內容有所缺失。因此，本研究透過原子模型之建模文本的設計，探討建模文本組（內隱式建模文本、外顯式建模文本）與一般文本組的學生對於原子模型概念之學習成效、心智模式及建模能力之影響，更進一步提供建模文本編排之參考，協助教師與學生之文本的使用，以及對於原子模型的發展提供較完整的內容。

第二節 研究目的與問題

根據文獻的發現及目前教學現場文本內容的缺失，本研究設計編排了三種不同的文本，並結合高中一年級化學課程之原子單元，作為本研究的概念主題，而本研究的目的為探討建模文本（內隱式建模文本、外顯式建模文本）之閱讀與一般文本之閱讀前、後，對於原子模型之學習成效、心智模式及建模能力之影響，可分述成以下三個研究目的：

1. 研究目的 1：探討十年級學生閱讀一般文本、內隱式建模文本與外顯式建模文本，對於原子模型概念之學習成效的影響。
2. 研究目的 2：探討十年級學生閱讀一般文本、內隱式建模文本與外顯式建模文本，對於原子模型之心智模式的改變情形。
3. 研究目的 3：探討十年級學生閱讀一般文本、內隱式建模文本與外顯式建模文本的，對於原子模型之建模能力的影響。

根據上述的研究目的，本研究欲探討的研究問題分支如下：

研究問題 1：十年級學生透過一般文本/內隱式建模文本/外顯式建模文本的閱讀，對於原子模型概念的學習成效為何？

問題 1-1 十年級學生閱讀一般文本/內隱式建模文本/外顯式建模文本之前，對於原子模型概念的學習情形為何？

問題 1-2 十年級學生閱讀一般文本/內隱式建模文本/外顯式建模文本之後，對於原子模型概念的學習情形為何？

問題 1-3 十年級學生閱讀一般文本/內隱式建模文本/外顯式建模文本之前、後，對於原子模型概念的學習成效為何？

研究問題 2：十年級學生透過一般文本/內隱式建模文本/外顯式建模文本的閱讀，學生的心智模

式分布與轉變情形為何？

問題 2-1 十年級學生在閱讀一般文本/內隱式建模文本/外顯式建模文本之前，學生的心智模

式分布情形為何？

問題 2-2 十年級學生在閱讀一般文本/內隱式建模文本/外顯式建模文本之後，學生的心智模

式分布情形為何？

問題 2-3 十年級學生在閱讀一般文本/內隱式建模文本/外顯式建模文本之前、後，學生的心

智模式轉變情形為何？

研究問題 3：十年級學生透過一般文本/內隱式建模文本/外顯式建模文本的閱讀，學生的建模能

力的表現為何？

問題 3-1 十年級學生閱讀一般文本/內隱式建模文本/外顯式建模文本之前，學生的建模能力

的表現為何？

問題 3-2 十年級學生閱讀一般文本/內隱式建模文本/外顯式建模文本之後，學生的建模能力

的表現為何？

問題 3-3 十年級學生閱讀一般文本/內隱式建模文本/外顯式建模文本之前、後，學生建模能

力的表現為何？

第三節 名詞釋義

本研究重要名詞界定如下：

一、 建模歷程（Modeling Process）

本研究之建模歷程定義為採用邱美虹（2014）研究計畫所提出的建模歷程指標（Modeling Process Indicators, MPI），共分成四個階段——「模型發展階段」、「模型精緻化階段」、「模型遷移階段」、「模型重建階段」，每個階段又可各在再細分出兩個建模歷程，因此，共包含了八大建模歷程，即為「模型選擇」、「模型建立」、「模型效化」、「模型分析」、「模型應用」、「模型調度」、「模型修正」、「模型轉換」。

其中，模型選擇為從先前概念中選擇合適的成分或物件；模型建立為根據所選擇之成分或物件，建立其關係或結構；模型效化為進行模型之關係與結構的效化，包含了判斷、檢驗、或比較模型內部一致性；模型分析為利用已效化的模型分析問題，包含了數據計算或推理；模型應用與調度分別為將已效化模型運用到相似情境或是新情境的問題上，因此，模型應用又可為近遷移，模型調度又可為遠遷移；模型修正為察覺模型失效，需增加或減少成分、物件或關係，以修正為新的模型，可為弱重建；模型轉換為察覺模型整體失效，以重新建立為新的模型，又可為強重建。

二、 建模能力（Modeling Competencies）

本研究之建模能力為接近思考的技巧，讓學生可以用它來生成、驗證、修正及重建自己的心智模型，意即 Jong、Chiu 與 Chung（2015）提及的建模能力觀點，模型選擇之建模能力為學生選擇適當的模型組件、成分的能力；模型建立之建模能力為加入模型組件、成分以生成較完成整的心智模型的能力；模型效化之建模能力為檢驗模型的外部或內部一致性的能力；模型分析之建模能力為用有效的模型分析目標問題的能力；模型應用、模型調度之建模能力為運用有效的模型去

解決相似情境或新情境問題的能力；模型修正、模型轉換之建模能力為修改無效的模型，形成一個修正模型或建立新模型的能力。

三、 建模文本（Modeling-based Text）

本研究之建模文本是以建模歷程的為主要架構所編排和設計的文本，共分為兩種，一為「內隱式建模文本」，二為「外顯式建模文本」。其中，外顯式建模文本是將建模歷程「外顯化」於科學內容之中；內隱式建模文本，則是將建模歷程「內隱」在科學內容中，詳細內容請參考第三章第三節文本教材的設計。

四、 科學原子模型（Atomic Model）

本研究所提及之科學原子模型為化學家使用之正確模型的內容，即為道耳頓原子模型、湯姆森原子模型、拉塞福原子模型及波耳原子模型。

第四節 研究範圍與限制

本研究由於受到研究方法、人力、時間等因素的限制與影響，使得其研究結果有侷限性，因此，本研究將其研究的限制與範圍整理如下，包含地域及研究對象的限制、單元的限制及研究工具的限制，分別說明如下：

一、 地域及研究對象的限制

本研究之研究對象為台中市某私立普通高中十年級的學生，如欲將結果推論至其他年級或其他學校，需考量各項條件之差異性，不宜過度推論。

二、單元的限制

本研究所涵蓋的單元內容為原子模型之科學概念，包含了道耳頓原子模型、湯姆森原子模型、拉塞福原子模型及波耳原子模型，其研究結果適用於本研究的設計範圍內，故不宜將研究結果推論至其他科學概念的學習上。

三、研究工具的限制

本研究的研究工具有三，一為「原子模型概念試題」；二為「原子模型建模能力試題」；三為「原子模型建模能力之半結構式晤談」。其中「原子模型概念試題」為單一選擇題的紙筆測驗；「原子模型建模能力試題」為非選擇題的紙筆測驗；「原子模型建模能力之半結構式晤談」則為原子模型建模能力試題的晤談。因此，本研究僅能透過學生答題表現及晤談資料，理解學生的概念理解程度、建模能力及心智模式的發展，故不宜將本研究結果做過多的推論。

第五節 研究的重要性

於科學教育當中，科學文本為教師編排教學活動的依據，更是學生學習的根本，因此，本研究將「模型與建模」的觀點融入科學文本當中，更是在科學教育的研究領域中，首次初探原子模型之外顯式建模文本的使用，透過本研究的研究設計，提供了外顯式建模文本的編排，更提供了系統性的架構，除了強調各個原子模型的修正與轉換，更從一個較完整且全面性的建模觀點連結每個模型，因此，本研究希望透過之外顯式建模文本的設計，能夠提升學生學習原子模型之學習成效與建模能力，亦希望能夠提供不同於教育現場科學文本的使用與設計，讓原子模型單元的設計更加的完整，由此，可以建立本研究在科學教育中的重要性。



第貳章 文獻探討

本研究的主軸圍繞於建模文本對於學生學習原子模型概念之成效及建模能力之影響，因此，本章第一節「模型與建模」，將探討科學教育中模型與建模之定義，並進一步歸納模型與建模的重要性；第二節為「建模能力」，將說明建模能力之定義、說明建模能力的檢測方式與建模能力試題的發展，最後則提出建模能力對於科學教育的重要性；第三節欲透過「心智模式」的文獻資料，歸納整理出本研究的心智模式分類；第四節則探討本研究之主要原子模型單元的相關研究；第五節「科學文本」，除了探討科學文本的重要性與使用，亦探討建模文本的需要；最後，第六節「結語」，整理此章節對於本研究的影響與啟示。

第一節 模型與建模

在科學教育當中，邱美虹（2008）認為「模型（model）」與「建模（modeling）」是科學發展的重要元素之一。相同的，Gilbert（1991）亦認為「科學」即為建立模型的一個過程，而「學習科學」則是學習如何建立模型的過程，因此，學生在學習科學上，「模型與建模」扮演著非常重要的角色，除了是科學學習的過程，也是學習建立模型的过程，學生若能夠察覺並培養其建立模型的能力，將有助於學生科學概念的學習與理解。

一、科學教育中的模型

（一）模型的定義

模型因為能夠提出適當的理解以及能夠被使用，而被許多學者視為是科學的理解中心（Gilbert & Boulter, 1998; Harrison & Treagust, 2000; Ramadas, 2009, 引自 Coll & Lajium, 2011）。除了在課堂上，教師為了讓學生有正確的概念，會藉由「模型」的使用，讓學生建立微觀或抽象

的科學概念之外，於文本中，更是如此。然而，模型的定義為何？一般來說，對於模型的認知，會停留在較具體的層面，如 Bliss (1994) 提及的模型會比實際物體更為簡化，只是其尺度的大小可能比實體來的小或是大，如文本中經常出現的原子模型圖片等。但是相對的，模型也能夠是從抽象層面的去扮演理論 (theories) 與現象之間的中介物 (mediators) 或是橋梁角色 (Morgan & Morrison, 1999, 引自劉俊庚、邱美虹，2010)，例如：波耳氫原子能階之能量公式 $E_n = -\frac{2.179 \times 10^{-18} \text{ J}}{n^2}$ ， $n=1, 2, 3\ldots$ 。因此，對於模型的定義可以是很廣泛的，能夠從具體的層面延伸到抽象的層面，就如同 Schwarz 等人 (2009) 認為的模型可以是某現象的抽象或簡化的一種表徵。

但是，至今對於「模型」的定義，並未有一個較為一致性的看法，Hartmann (1995) 指出模型於科學、邏輯與哲學等不同領域的使用，會有不同代表的意義，因此，不同的研究者對於模型的定義亦會有不同的詮釋內容，如表 2-1-1 所示。

表 2-1-1 模型定義彙整 (修改自劉俊庚、邱美虹，2010)

研究者	模型的定義
Hestenes (1987)	模型是真實事物的一種概念性表徵
Tiberghien (1994)	模型是為了表徵物質情境的某些部分，包括質化與量化的功能性關係 (數學式)
Glynn 與 Duit (1995)	模型是系統的系統化表徵，或是某些系統簡化的觀點，包括規則、關係、概念和物件，用來描述、表徵和解釋外在世界的現象
Gilbert 與 Boulter (2000)	模型被視為是一個物件、事件、想法或現象的表徵
Tregidgo 與 Ratcliffe (2000)	模型是表徵物件、現象或想法的結果
Schwarz 等人 (2009)	模型可以是某現象的抽象或簡化的表徵
Gericke 與 Hagberg (2010)	模型是現象的簡化，企圖使用發展現象的解釋

除了表 2-1-1 的研究者對模型的定義之外，吳明珠（2004）也提出模型為某個現象的樣本與原型之間能夠有一定相似的結構系統，Ogborn（1994）認為模型是將事物簡單化或理想化成為另一種替代的表徵，因此，可以發現不同的研究者對於模型定義的詮釋都不盡相同，但是，卻可以整理歸納出一個共同的核心意義，也就是「模型能代表在某些情況下對物件、事件或關係所呈現的另有表徵」（邱美虹、劉俊庚，2008；劉俊庚、邱美虹，2010）。

（二）模型對於科學教育的重要性

根據模型定義，就如同 Franco 等人（1999）指出的，模型主要價值在於提供我們認識世界的方式，因此，在科學教育中，模型為可信賴的（authentic）的教育途徑，對於學生的學習與認識自然世界或情境是有所幫助的，Leatherdale（1974，引自 Gilbert, 1993）針對模型的功能，提出了七點，其中兩點為模型能夠將複雜現象簡單化，以利於思考；模型能提供更簡易的方式來理解理論，根據 Leatherdale 對於模型的功能，歸納整理出模型於科學教育的重要性，分別為「有助於複雜現象簡單化學習」、「有助於抽象概念的學習」，也就是「模型的呈現」方面，如同 Treagust、Chittleborough 與 Mamiala（2002）認為科學的教學應該提供與現象對照的呈現模型（或科學模型），讓學習生能夠建立以模型為基礎的學習。另外，於「心智模式方面」提出一點，為「有助於表達個人化的知識」，最後，則提出「模型的限制」，分別敘述如下。

1. 有助於複雜現象簡單化學習

教科書以及教學上經常使用類比模型，來簡化複雜的概念學習。其類比模型可以簡單、豐富或延伸（Curtis & Reigeluth, 1984，引自 Harrison & Treagust, 2000），在簡單的類比模型中，模擬和目標物之間的關係是淺而易見的，例如：原子如同一顆球。林靜雯與邱美虹（2008）指出模型的功能有簡化複雜的現象，把複雜化的現象簡化，有助於學生在學習上不會因為太過於複雜而

興趣缺缺，反而可以透過簡化的模型激發學生的學習興趣，也能夠簡單學習較為複雜的現象或概念。

Harrison 與 Treagust (2000) 也提及類比模型是個假設，適合將概念教授給學生，以及解釋複雜化的概念，但模型並不是都是簡單的，也可能會引出許多的問題，例如：原子如何像一個球？因此，在選擇模型來解釋概念的時候，要先了解學生存有的先備知識及科學內容的性質 (White, 1994, 引自 Harrison & Treagust, 2000)，才能夠將複雜化的概念透過簡單模型的方式傳授給學生。

2. 有助於抽象概念的學習

在 20 世紀中，模型在知識發展中成為了的核心角色 (Gilbert, 2004)，例如：在化學方面，模型已成為主要思考的方式，因此，在科學教育上，模型同樣扮演著相當重要的角色，也常用來表示抽象的概念，Grosslight 等人 (1991) 的研究中，說明只要提到抽象的原子模型，學生想到的會是行星模型，原因是教師上課會用行星模型類比原子模型，而要求學生畫原子的形狀，大多數學生呈現的是球或球體的形狀，因此在模型的教學中，選擇的模型模式會影響到學生的學習認知，也會讓學生學習抽象概念可以更容易理解。

邱美虹 (2008) 也提及教師在教學時描述原子結構時，通常使用太陽系行星模型，原子核對應的是太陽，電子則是外圍行星的運轉，而 Grosslight 等人 (1991) 提到學生在畫原子的圖像中，大部分學生都沒有考慮到空間的關係及其模型的限制，因此，必須告知學生模型的目的及使用，避免讓學生產生學習上的錯誤。

3. 有助於表達個人化的知識

Gilbert、Boulter 和 Elmer (2000) 指出模型可以透過心智模式的方式來表徵，而其心智模式

是屬於個人化的知識表徵。邱美虹與劉俊庚（2008）認為可以透過圖片、文字、符號等多元的表徵方式來呈現，以達到模型不同的功能與目的（如：解釋性、描述性、溝通、抽象化、問題解決等）。他們認為個體藉由模型所表徵之實體或現象能夠建立內在的心智模式，相對的，個體也能夠藉由模型所表徵的方式來陳述對於實體或現象的理解。其中，對於實體或現象屬於外顯模型，可以是單一或多重、教學的、歷史的、個人的...等特質，而相對於心智表徵則屬於內隱模型，其可能具有完整/片段的知識、一致/不一致的結構，以及正確/不正確的性質，其模型、心智模式與實體或現象之關係如圖 2-1-1。



圖 2-1-1 模型、心智模式與實體或現象之關係（邱美虹、劉俊庚，2008）

4. 理解模型的限制

於 Duit (1991) 的研究中，提供了映射目標到來源之間有效的視覺化作用，也就是說，透過模型能夠簡化事件或是情境（目標）與已有的經驗（來源），而呈現視覺化的模型，如圖 2-1-2。其中，模型如同前述的類比模型，能夠表示情境或事物（目標）的類比，但模型之間的屬性與目標和類比僅共享了某些屬性，也就是說，模型和目標的範圍共享的屬性各不相同 (Maksic, 1990)，模型及目標可能在某些狀況下是不同的，也可能在許多方面是不相同的，而產生了模型的限制特徵。就如 Portides (2007) 提及的模型代表的是真實的接近值，或是對於目標的有限「版本」，因此，許多的模型是具有明顯的限制，如果這些限制提前被知道，對於模型的使用或功能會有所幫助 (Coll & Lajium, 2011)。

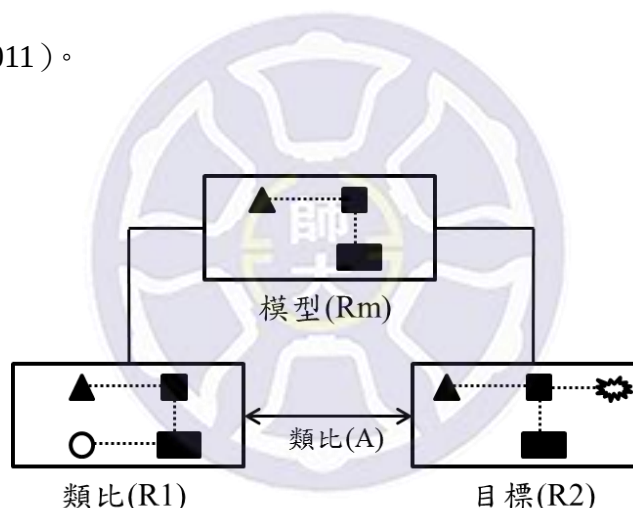


圖 2-1-2 模型視覺化作用（修改自 Duit, 1991）

二、科學教育中的建模（Modeling）

（一）建模的定義

在科學教育的文獻中，指出了在科學中使用建模的三大主要目的 (Gilbert & Rutherford, 1998a, 1998b; Passmore & Stewart, 2002; Ramadas, 2009; Thomas & McRobbie, 2001；引自 Coll & Lajium, 2011)：(1) 對於物件或概念，可以建立更簡單的一種形式；(2) 在學習上或概念生成時，提供

一個刺激性的作用，進而產生現象的視覺化作用；(3) 對於科學現象，能夠提供解釋。由此建模在科學教育上可以是認知、問題解決的基礎，也是產生適當模型的過程。然而，何謂建模(Modeling)呢？張志康與邱美虹(2009)從建模的詞彙上進行解讀，認為建模在英文上，就是「把 Model 加上 ing」，而在中文詞彙上就是「把模型加以建構(construction)」，因此，從中文及英文詞彙上可以得出其建模與建構的觀點有相像之處。但是，單從詞彙上並無法真正說明「建模運作的具體因子」，也就是無法了解模型建立的過程及運作機制。

對此，Brodie 等人(1994)認為建模涉及了模型、來源與目標之間的轉換，如圖 2-1-3，模型在此扮演著幫助目標與來源之間的連接關係，也就是說，當我們想要了解某一件事件或現象(目標)，我們可以根據模型去連接生活中或過去經驗已知的內容或事情(來源)來尋找解決此目標的相關經驗(Brodie et al., 1994; Suckling, Suckling, & Suckling, 1978，引自 Coll & Lajium, 2011)。



圖 2-1-3 模型、來源與目標之間的轉換 (after Brodie et al., 1994, 引自 Coll & Lajium, 2011)

此外，對於建模定義的說明，許多研究者均提出不同的定義來描述建模，研究者將其定義分別整理如表 2-1-2。

表 2-1-2 建模定義彙整（新增並整理自劉俊庚、邱美虹，2010）

研究者	建模的定義
Devi、Tiberghien、Baker 與 Brna（1996）	建模為連結科學理論與經驗世界或現象與模型，過程中將實體或現象加以簡化，並能夠與所觀察的實體進行比較
Morgan 與 Morrison（1999）	建模為模型與理論或現象之間的一種連結
Buckley 與 Boulter（2000）	建模是以「模型」為基礎的學習，是模型的建構，是透過形成、使用、修正與詳細闡述的反覆過程
Lopes 與 Costa（2007）	從「情境問題」(situation-problem) 為考量，認為建模是在與情境結合的任務之間，運用和建構科學模型
Justi、Gilbert 與 Ferreira（2009）	建模是科學探究的核心技能，為產生、檢驗和修正模型的一個動態歷程
Schwarz 等人（2009）	建模為科學模型的使用，包括了建立和使用模型，及評估和修正模型
Jong、Chiu 與 Chun（2015）	建模為科學家或學生生成、建立、修正及重建心智模式的過程，能夠使他們解決問題及概念化科學知識

綜合以上研究者對於建模的定義，發現對於建模的定義慢慢趨向於建模歷程，如 Justi、Gilbert 與 Ferreira（2009）與 Jong、Chiu 與 Chun（2015）對於建模的定義以論及了建模歷程，也就是說，從早期對於建模的定義為代表理論、現象或經驗與模型之間的連結，慢慢的發展到，除了是連結模型與理論/事件之外，更可以為一個動態的過程或是歷程，因此，根據以上對於建模定義的發展，可以歸納出建模為一個動態的歷程去連接模型與物件或現象，以解決問題或自然現象等。

（二）建模歷程

根據建模的定義趨向於動態歷程化，也更趨向於發展科學知識的重要過程，如 Jong、Chiu 與 Chung（2015）指出的建模為科學家或學生生成、建立、修正及重建心智模式的過程，能夠使他們解決問題及概念化科學知識，而這樣通用的建模歷程在文獻中已經是被支持的，只是不同研究者對於建模歷程觀點的詮釋方式各有不同。

建模歷程早在 1987 年由 Hestenes 提出的建模策略，認為建模的過程為物理問題之解決，其包含了四個階段，分別為描述 (description) 階段、形式化 (formulation) 階段、分枝 (ramification) 階段、效化 (validation) 階段，其中，描述階段為描述模型的各種基本變數，以及確定所發展之模型的形式；形式化階段為透過定律和交互作用，進而形成方程式；分枝階段為指出各模型的不同意義或表徵的形式；效化階段為考量分枝模型的評估。Hestenes 亦認為在建模歷程中，這樣的過程只是屬於基本步驟，並不是硬性規定的策略。但是，Shen 與 Confrey (2007) 則認為 Hestenes 的建模步驟太過於強調其相關線性的過程 (引自劉俊庚、邱美虹，2010)。

Halloun (1995, 引自 Halloun, 1996) 提出「一般性建模歷程的模型」，如圖 2-1-4，透過建構、精緻和應用模型的過程來解釋如教科書上的問題 (也就是情境)，也認為建模歷程為反覆循環的一個過程。其過程為先辨認及描述情境、現象中的組成物和個別現象，接著定義建模的「目的」以及「效化預期的結果」。透過這些步驟，能夠選擇和建立合適的模型，便可進一步分析模型及持續的效化模型，最後則可以推論出一個適當的結論。

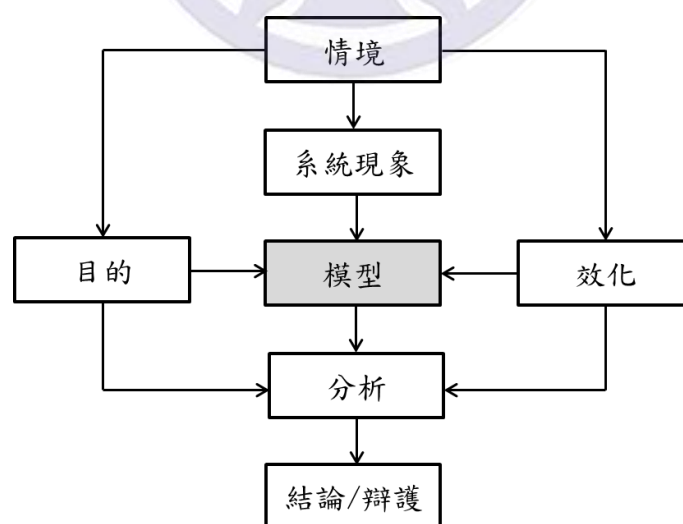


圖 2-1-4 一般性建模歷程 (Halloun, 1995)

Halloun (1996) 奠基在 Halloun (1995) 所提出的「一般性建模歷程的模型」，根據教科書問題的解決，提出了建模歷程應包含有：模型選擇(model selection)、模型建構(model construction)、模型有效化(model validation)、模型分析(model analysis)和模型調度(model deployment)。其中，模型選擇為當解決問題時，選擇常使用之合適的模型；模型建構為建構組成成分及組織以解決問題；模型效化為包含不同形式之模型評估及重視其內部一致性；模型分析為當模型已被確認及具有內部一致性時，能夠為了達成目的而不斷的被分析與修正；模型調度則為將模型則將已效化之模型用於新的問題之中。Halloun 亦認為此五個建模歷程沒有等級、步驟的關係，例如：在模型建構、效化與分析常會互相重疊，也就是說，在建模過程中，有些建模歷程是會同步進行的。

另一個與 Halloun (1996) 所提出的架構相似的為 Justi 與 Gilbert (2002) 的「建模模型的架構(model of modelling framework)」，如圖 2-1-5 所示。可以清楚地看見心智模式發展的一個過程，從目的的決定之後，根據已有的資源及經驗形成心智模式，更透過修正或重新形成新的心智模式來完成目的，其中，特別的是要考量到模型的範圍以及限制。

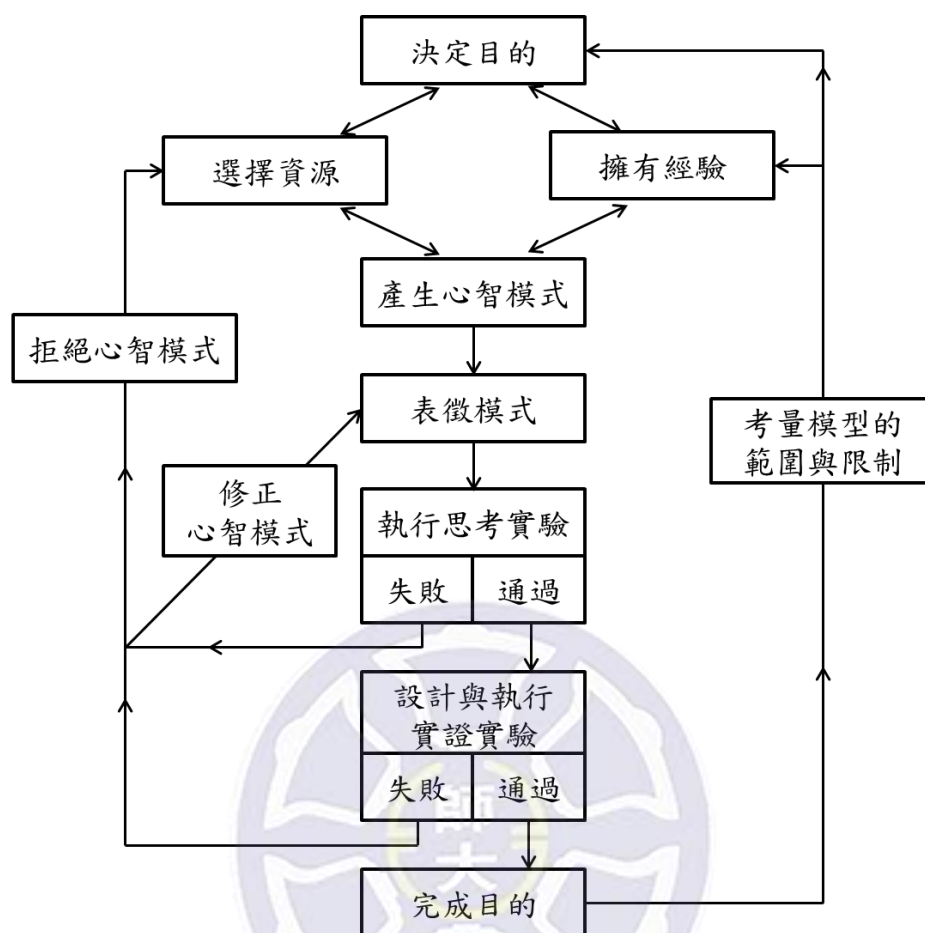


圖 2-1-5 建模模型的架構 (Justi & Gilbert, 2002, 引自邱美虹、劉俊庚, 2008)

邱美虹 (2007) 以 Halloun 的建模歷程為主要架構，加入了其認為相當重要之新元素——模型重建，認為模型重建能夠幫助擴大並精緻其模型的解釋能力，之後，劉俊庚與邱美虹 (2010) 將建模歷程歸納為兩個主要階段，分別為模型發展 (model development) 和模型運用 (model implement)，因此，在此提出的建模歷程包含了有六個階段，為模型描述與選擇、模型建立、模型效化、模型分析、模型調度和模型重建，其各階段之交互運作如圖 2-1-6 所示。由建模歷程圖可以發現此時的建模歷程不再屬於線線性關係的階段，而是像是網絡交錯循環的關係，舉例說明，當建模歷程來到模型效化階段，可能因為缺乏內部一致性，而導致模型重建或是回歸模型描述與

選擇階段，因此，每一個建模階段都有可能會回歸上一個階段，或是跳到另一個階段，而形成一個交錯網絡循環的運作。

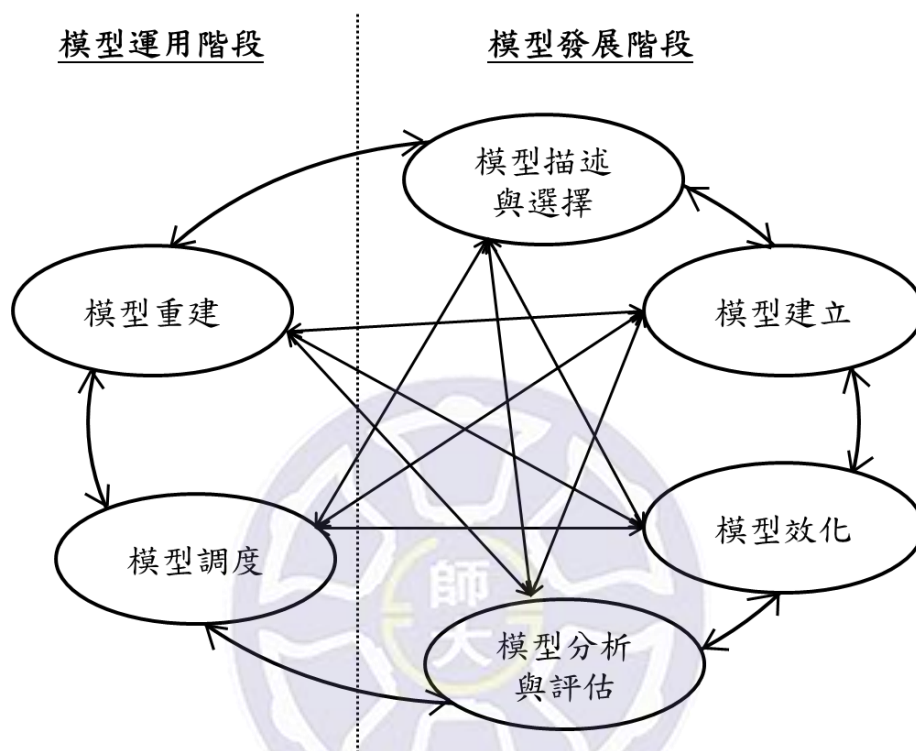


圖 2-1-6 建模歷程圖 (劉俊庚、邱美虹，2010)

至今，邱美虹 (2014) 提出了建模歷程指標 (Modeling Process Indicators, MPI)，將模型階段由兩階段新增為四個階段，分別為「模型發展階段」、「模型精緻化階段」、「模型遷移階段」、「模型重建階段」，每個階段又可以往下細分為「模型選擇」、「模型建立」、「模型效化」、「模型分析」、「模型應用」、「模型調度」、「模型修正」、「模型轉換」，共八個歷程，其建模歷程之定義說明如表 2-1-3。

表 2-1-3 建模歷程之定義說明（出自邱美虹，2014）

建模歷程		定義
模型發展階段	模型選擇	從先前概念中選擇合適的物件（成分）或基本模型
	模型建立	建立所選物件（成分）、或基本模型的關係與結構
模型精緻化階段	模型效化	利用已建立模型之關係與結構進行效化，判斷、檢核、或比較模型內部的一致性
	模型分析	利用已效化的模型分析問題，並解釋適當性，可包括數據計算或推理
模型遷移階段	模型應用	用已效化的模型應用於相似情境的問題，也就是「近遷移」
	模型調度	利用已效化的模型應用於新情境的問題，也就是「遠遷移」
模型重建階段	模型修正	察覺已效化的模型失效，需增加或減少物件（成分）與關係，以修正成新的模型，又可稱為「弱重建」
	模型轉換	察覺已效化的模型整體失效，以重新建立為新的模型，又可稱為「強重建」

綜合以上不同學者對於建模歷程所提出的觀點，可以發現，對於建模歷程的發展從較為線性過程，慢慢發展到持續循環且更加有系統化的過程，甚至有許多交互作用的產生，也在建模歷程的過程中，分的更細、更清楚。由此可知，在科學教育中，建模歷程已被許多學者重視與討論，因此，更應該將建模融入於科學教育上，以提升學生的學習。

（三）建模與建模歷程於科學教育的重要性

在建模學習方面，多數學者均認同其重要性（Gilbert, 1991; van Driel & Verloop, 1999; 邱美虹, 2008），也認為建模歷程對於學生的學習有一定的幫助，以下整理歸納出建模與建模歷程對於科學教育的重要性，有「有助於提升科學概念的學習」、「有助於發展接近科學模型之心智模式」及「應重視建模觀點缺乏的情形」。

1. 有助於提升科學概念的學習

對於科學建模的學習歷程可以視為是進展階段相關的過程，其各個階段都代表了著學生對於現象或情境的表現和理解，Jong、Chiu 與 Chung (2015) 透過以建模歷程為架構的文本，探討高二學生對於波以耳定律、查理和給呂薩克定律及亞佛加厥定律、理想氣體方程式概念的學習成效，結果顯示透過讓學生去評估他們建立的模型與驗證模型的合理性，學生能夠認識到科學概念的完整建模歷程，知道所建立模型的侷限性，並學習到更準確的科學概念。Schwarz 等人 (2009) 認為透過建模教學，學生能夠使用模型去表達現象的過程和機制，對於概念表現出成功的理解。

另外，於賴俊文 (2010) 的研究中，以建模歷程為架構的教學，結果顯示學生於教學過程中不斷的重複建模歷程的階段，有助於學生對於物質粒子概念的學習，並於延宕測驗中，學生較能夠維持所建立之正確的物質概念。相同的，於黃文田 (2013) 探討建模教學於酸鹼概念的研究，其結果顯示建模教學能有助於學生在酸鹼概念的學習，並能建立較為完整的學習架構。

綜合以上，顯示出建模歷程的教學，不論是透過文本或式教學法的設計，對於學生在科學概念上的學習均有所幫助，因此，模型的使用（建模）可作為認知的工具，亦可以幫助學生對於模型的本質和建模過程有更好的理解 (Ünal, Çalik, Alipaşa, & Coll, 2006)。

2. 有助於發展接近科學模型之心智模式

以模型為基礎的學習，為學生能夠透過形成、使用、強化、精緻化與修正等心智表徵的建構過程 (Buckley & Boulter, 2000)，使用他們已知的知識，去整合新的訊息與延伸其知識，如圖 2-1-7。其過程中，亦可回饋進行模型的效化、修正、或重建。

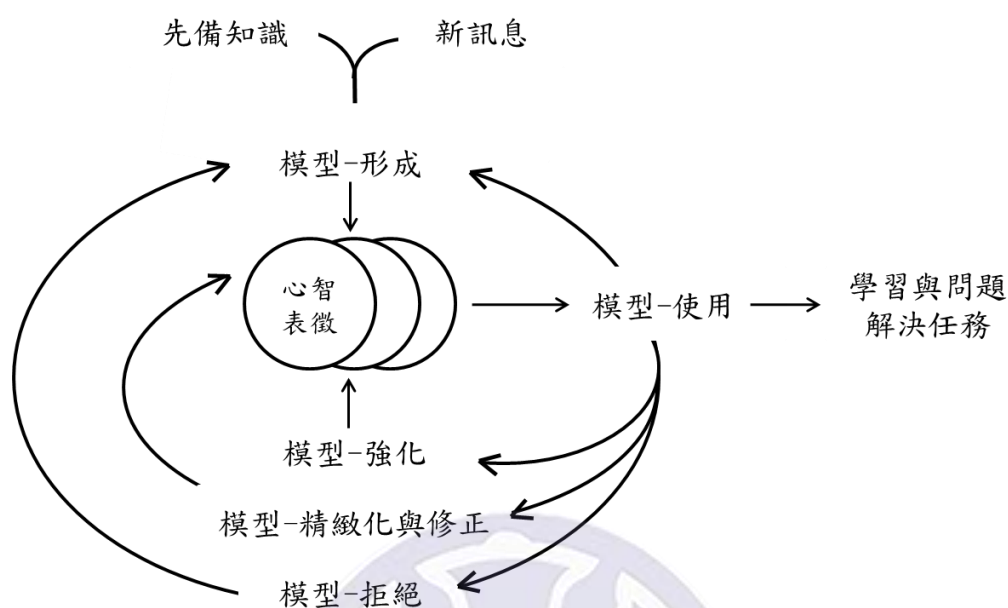


圖 2-1-7 以模型為基礎的學習模型 (Buckley & Boulter, 2000)

而 Clement (2000) 則提出以模型為基礎的學習 (model based learning) 理論架構，如圖 2-1-8。此架構為透過學習的過程，學生從學習前的先前概念（與目標模型不符的另有概念或與科學模型相互兼容的有用概念），到學習過程中所產生的一個或多個中間模型（M1、M2...）的引導，而後透過模型的使用與不斷的修正，而於教學後發展成「目標模型(Mn)」，此目標模型為預期學生達到的模型，與專家共識模型之間亦會有所差異。Jong、Chiu 與 Chung (2015) 的研究結果與此理論架構相符，學生透過建模文本(內容為波以耳定律、查理和給呂薩克定律及亞佛加厥定律、理想氣體方程式)的閱讀，於學習過程中會產生數個中間模型，如中間模型 1：包含兩個變因的關係 ($PV=K$) 以及中間模型 2：包含三個變因的關係 ($PV=KT$)，而於學習後則可以發展多變量之間的關係及建立正確的心智模型 ($PV=nRT$)。

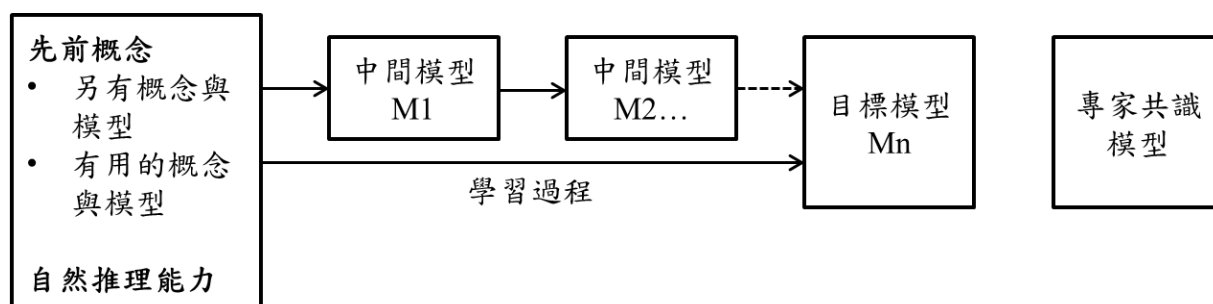


圖 2-1-8 以模型為基礎之學習理論架構 (Clement, 2000)

相同的，在賴俊文（2010）與黃文田（2013）的研究中均呈現透過建模教學，學生於教學後，其心智模式的發展較接近於科學模式。而目前，於教學活動中，有明確標示出科學模型認識論的觀點以及建模能力的發展，亦是能夠提高學生的心智建模（張志康、邱美虹，2009；Justi & Gilbert, 2002; Saari & Viiri, 2003; Schwarz et al., 2009; Jong, Chiu & Chung, 2015）。

3. 應重視建模觀點缺乏的情形

根據前述的討論，建模的重要性代表著科學知識是如何被建構、評估及溝通（Duschl, Schweingruber & Shouse, 2007, 引自 Schwarz 等人，2009），以及能夠發展較正確之心智模式。然而，於教學現場中，卻很少有建模觀點的融入，Schwarz 等人（2009）提及教師往往把重點放在教學具體的模型上，而不是在建模本身，特別的是，教師是專注於科學內容或是教學內容上，這意味著，教師並不了解科學建模的本質。Driel 和 Verloop（2002）的研究中也指出教師對於學生在「模型與建模」的知識是非常有限的，也就無法在教師的課程當中融入，因此，學生鮮少有機會能夠透過模型而去建立良好學習科學的架構，更不用說在課堂上能夠使用模型。縱使在表面上教師有體會到科學模型與建模的價值，但事實上，卻很少能在課室中實施（Justi & Gilbert, 2003; Schwarz et al., 2009），除此之外，於教科書上，Gericke 與 Hagberg（2010）提及亦多數缺少建模

的觀點。

由此可以得知，不論是在教學活動或是教科書上，均缺少了建模的觀點與融入，以至於教師無法於課程中實施，但也更應該重視建模觀點缺乏的情況，因此，劉俊庚與邱美虹（2010）提及能夠將建模與融入課程與教材當中，可協助學生發展正確的科學模式，也助於學生於科學概念上的學習，教師亦能夠採用建模觀點，於課程活動中實施，進而增加學生建模的經驗，Saari 與 Viiri（2003）更認為應該將建模納入正規的教學中。

三、 模型與建模對於本研究的啟發

透過「模型與建模」對於科學教育重要性的探討以及定義的歸納，可以得知「模型與建模」均對於學生科學概念的學習與心智模式的發展，有正向的幫助，又文獻提及於教育現場中，教學活動與教科書中均缺少「建模」的觀點，因此，本研究將「模型與建模」的觀點融入科學文本當中，並採用邱美虹（2014）提出的建模歷程指標（Modeling Process Indicators, MPI）做為文本的架構，以「外顯式」與「內隱式」的建模歷程作區別形成兩種建模模式文本，並以一般文本進行比較，其中，外顯式建模文本強調模型的限制與轉換，欲透過此研究設計，探尋出建模歷程融入文本中，對於學生學習科學概念與心智模式發展的成效，也希望透過將「模型與建模」觀點的融入，能夠於未來在教育上提供文本的參考，讓教師能夠於課程活動中使用，減少建模觀點於科學教育現場中缺乏的情況。

第二節 建模能力

透過第一節的文獻探討，顯示「模型與建模」在科學教育上的重要性，那麼建模能力勢必也是學習科學的關鍵因素（張志康、邱美虹，2009），此節將針對建模能力的定義、檢測方式、建模能力試題的發展與建模能力於科學教育上的重要性進行探討。

一、建模能力的定義

Jong、Chiu 與 Chung（2015）提及建模能力這個術語儘管在定義上沒有確切的說明，但是卻已經被廣泛的使用了，更有研究者意識到建模能力是科學模型發展中必要的能力（Dori & Kaberman, 2012; Kaberman & Dori, 2009; Wang & Barrow, 2011; Jong, Chiu & Chung, 2015; 邱美虹、劉俊庚，2008；張志康、邱美虹，2009），表 2-2-1 為彙整不同研究者對於建模能力的定義。

表 2-2-1 建模能力定義彙整（新增並整理於 Jong, Chiu & Chung, 2015）

研究者	建模能力的定義
Gilbert（1991）	建模能力是一種可預測概念(模型建構)的過程技能
Kaberman 與 Dori（2009，2012）	建模能力就像是思考的能力，不僅產生正確三維分子結構的表徵，也可在不同分子表徵中轉換
Wang 與 Barrow（2011）	定義了建模能力的五個特點：1.產生心智模型；2.重建、操作及調整產生的心智模型；3.分析問題及確認條件和主張；4.監視推理過程；5.使用另一種方法自我檢驗
Schwarz 等人（2009）	整合後設建模知識和練習的元素（elements of the practice），認為建模能力能夠建立、使用、評估和修正其模型
Jong、Chiu 與 Chung（2015）	建模能力比較接近思考技巧，讓學生可以用它來生成、驗證、修正及重建自己的心智模型
邱美虹、劉俊庚(2008)	建模能力為能建立模型需要達到的目的、確認模型組成成分，以及選擇、建立、檢驗與修正模型，已發展出新的模型

綜合以上對於建模能力定義的彙整，建模能力其實就是建立模型的能力，也就是建模歷程中，模型的成分選擇、建立、修正等建模歷程的能力，如 Kaberman 與 Dori (2009, 2012) 與 Jong、Chiu 與 Chung (2015) 提到的建模能力像是思考的技巧，要了解學生對於建立模型的能力，就是要知道學生的思考內容，以及學生所表達的心智模式，然而，要如何得知與檢測學生的建模能力呢？將於下個段落進行說明。

二、 建模能力的檢測

對於建模能力的檢測，Jong、Chiu 與 Chung (2015) 提及能夠透過「筆試與晤談」兩種方式進行檢測。其中，晤談的方式較能夠要求學生整理出他們的想法，而筆試則是涉及到較簡單的題目，學生在回答上，也不完全能夠表達出其想法，因此，學生在晤談上的表現會比紙筆測驗來的差，但也比較能夠得知學生的想法。

而於目前的研究中，較多的文獻會使用「晤談」的方式來檢測學生的建模能力，雖然在晤談中花費的時間比較長，但是，確實比較能夠深入理解學生想法，也能預防高估了學生的知識，例如：張志康與邱美虹 (2009)、Dori 與 Kaberman (2012)、Wang 與 Barrow (2011)、Jong、Chiu 與 Chung (2015)、Schwarz 等人 (2009) 以及 Grosslight 等人 (1991) 的研究均採用晤談的方式檢測學生的建模能力。此外，張淑女(2008)的研究則是以紙筆測驗來檢測學生的建模能力，因此對於建模能力的檢測可以以筆試與晤談融合的方式進行檢測，以深入了解學生的想法。

三、 建模能力試題的發展

根據上述，建模能力能夠透過晤談或紙筆測驗的方式，了解學生的對於建立模型的想法，然而，要如何真正檢測到學生的建模能力，其建模能力試題或晤談題目的發展亦是相當重要的，但是，目前研究者尚未找到有研究深入探討建模能力試題的發展。

然而，要理解學生建立模型的能力必須要對於學生所要學習的科學理論作解構，分析學生該有的表現，Hempel (1958) 提出了一個科學理論結構的模型（引自張志康、邱美虹，2009），說明了科學理論與觀察之間的關係，如圖 2-2-1。其中上層為理論系統，包含了理論術語 (F_n 、 C_{nm}) 與基本定義或假說（連結理論術語），而可以透過中層—解釋規則 (α 、 β 、 γ) 將其理論術語與觀察平面上的特定位置 (O_n) 做連結。張志康與邱美虹 (2009) 認為學生學習科學理論會覺得困難的原因為學生無法將裡科學理論中的理論術語(F_n)正確的連結觀察平面上的特定位置(O_n)，也就是說，學生對於科學概念的認知不足，才導致在學習科學理論覺得困難，因此，學生若要對科學理論有所理解，就應該要將科學理論與經驗觀察平面上特定的位置做出正確的連結以及分析。

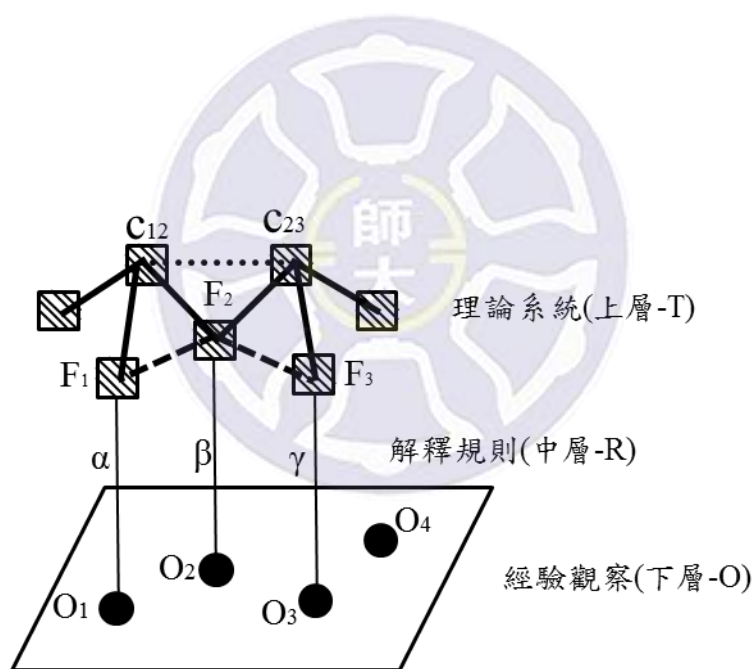


圖 2-2-1 科學理論結構模型（Hempel, 1958, 引自張志康、邱美虹，2009）

再來，對於建模能力試題的設計與發展，除了在將科學理論進行解構之外，張志康與邱美虹 (2009) 針對建模能力試題的設計提出了三個要素，為「科學理論的分析」、「試題的類型」、「命題的陳述」。其「科學理論的分析」為對於特定科學理論結構的因素進行分析，避免學生產生非

特定理論的因素，如圖 2-2-2；「試題的類型」則根據建模歷程的需要，可選定「開放式問題」，引發學生運用不同可能的科學知識來回答問題；「命題的陳述」為根據各建模歷程的定義，其開放式問題的陳述應內涵「背後蘊含的理論、組成的結果、運作的連接關係」等語句進行命題，以達成各建模歷程所需的能力，如表 2-2-2。

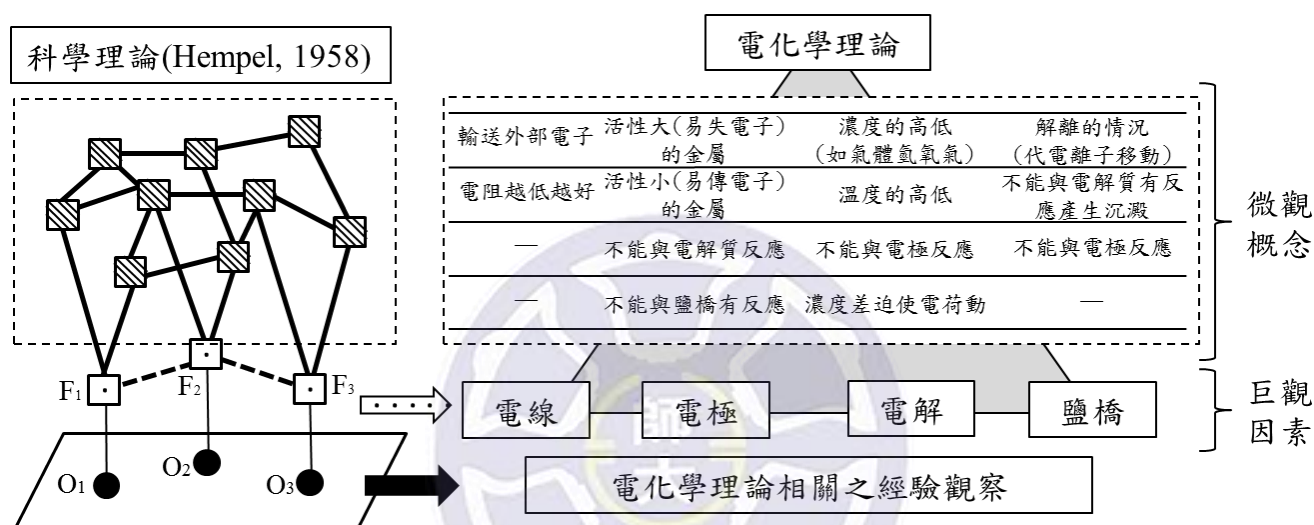


圖 2-2-2 以電化學為例之理論建模的模型(引自張志康與邱美虹，2009)

表 2-2-2 設計建模試題的重要敘述與例題 (引自張志康與邱美虹，2009)

試題類型	類別定義	重要概述	電化學相關例題
模型選擇	從熟悉模型中，選擇出一個合適的模型以解決問題	用到什麼... 會準備... 考慮哪些因素	若要自己製作電池，會用到什麼科學知識？ 在這些知識架構下，你會準備哪些材料？ 在使用這些材料時，應考慮哪些因素？
模型建立	確認所選模型的相關成份與結構	背後蘊含的理論... 組裝的結果... 條件為何？ 運作連接關係...	在使用這些材料製作電池時，背後蘊含的理論（或概念）是什麼？ 請將所選材料正確組裝的結果畫下來 欲使自製電池能供電的條件為何？ 整體組裝完成後，能運作的連接關係為何？

續表 2-2-2

模型效化	利用模型的相關成分進行不同形式的評估, 檢驗或修正模型的內部一致性	其他尚未考量... 證明 (驗證)...	有任何其他尚未考量的相關因素會影響自製電池的效能嗎? 為什麼整體組裝完成後能運作, 你怎麼證明此法可行?
模型應用	使用已效化的模型解決相似情境的問題	相似與相異... 來解釋 重新詮釋...	你有聽過水果電池嗎? 它跟你的電池有何相似與相異之處? 若用你所製作電池的蘊涵理念來解釋水果電池的運作機制時有何限制? 你將如何重新詮釋整個製作電池的理論模型?
模型調度	使用已效化的模型解決新情境的問題	更... 改成探討...	請畫出一個電壓更強的組裝電池 若改成探討長壽電池的設計, 它與你自製的電池有何關聯?
模型重建	察覺模型的限制, 再發展新模型	是否...有差異...	整合前述問題, 目前電池工廠所製造的電池, 是依據什麼科學理論所設計的呢? 其理論是否與你自製的電池有差異?

四、 建模能力於科學教育的重要性

在科學教育中, 建模歷程已受到許多學者的重視, 也認為應將建模歷程融入教學中, 因此, 建模能力的發展亦是應該被注意, 如 Gilbert (1991) 認為「模型的建構 (建模)」是一種較為進階的過程技能, 發展建模能力是科學素養的一部份, 亦可使學生了解知識是如何被人們所建構的, 因此, 在學生學習科學的過程中, 融入建模的能力是能夠幫助學生學習科學 (邱美虹、劉俊庚, 2008; Jong, Chiu & Chung, 2015), 與協助發展其心智表徵 (邱美虹、劉俊庚, 2008), 更是科學模型發展的必要能力。

然而, Saari 與 Viiri (2003) 指出提高學生的建模能力也只是暫時性的, 除非將建模納入正規的教學中, 也就如同, 在教育決策面上, 邱美虹、劉俊庚 (2008) 認為應於課程目標中, 融入

建模能力的指標、明確指出培養學生建模能力的重要性，並加以規範建模能力所應該包含的內容，以促進學生的科學學習。

五、 建模能力對於本研究的啟發

綜觀上述關於建模能力的探討，在科學教育中，建模能力是有必要發展且需要被重視的能力，也有助於學生對於建立模型、學習科學，因此，本研究依據 Hempel (1958) 提出之科學理論結構的模型以及張志康與邱美虹 (2009) 對於科學理論的解構分析方法，針對「原子模型發展」的理論進行結構分析，如圖 2-2-3，更進一步採用張志康與邱美虹 (2009) 對於建模能力試題發展的要素，設計本研究之原子模型建模能力試題。並於研究設計上，以開放式紙筆測驗輔以晤談的方式，來檢測學生於閱讀文本之後，對於原子模型發展各建模歷程之建模能力的成效，以及分析學生對於原子模型發展的想法。

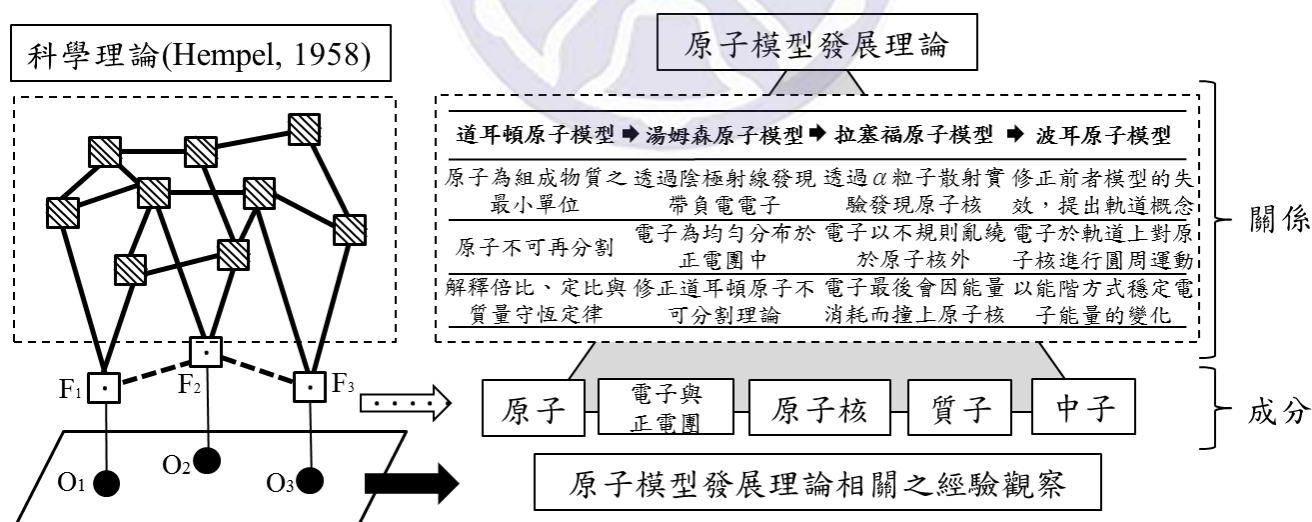


圖 2-2-3 本研究原子模型發展之理論建模的模型

第三節 心智模式

對於自然世界的理解以及科學教育而言，心智模式所扮演的角色是非常重要的，因為個體會運用心中存有的內在模式，進行問題的解決，同樣的，在科學教育的研究中，也愈來愈多研究根據探討與分析學生心智模式的發展，以了解學生的想法，因此，本節將心智模式分成兩個部分進行探討，一為心智模式的定義、組成與特性，二為心智模式的分類，最後則提出心智模式對於本研究啟示，分述如下。

一、 心智模式的定義、組成與特性

一般來說，心智模式是屬於個別化人的，是不同於他人的一種模式，也可以說成心智模式是具有「獨特性」與「不可共量性」的（張志康，2008），會因為人、事、時、地而有所差異，因此，不同研究者對於心智模式的定義也不可共量的，也就是說，不同研究者對於心智模式的定義也會有所差異。

最早對於心智模式的陳述是於 1943 年由 Kenneth Craik 提出的，他認為個體會透過外在事件轉譯為內在模式的方式來進行推理，其中涉及了符號的表徵來辨識內在與外在之間是否存在其一致性（邱美虹、林靜雯，2002），然而，不同研究者對於心智模式的定義，整理如表 2-3-1。

表 2-3-1 心智模式的定義

研究者	心智模式的定義
Johnson-Laird (1983)	心智模式能夠是對事物的直接表徵或是類比
Norman (1983)	心智模式為個體對外在事物互動之後所產生的一個內在的表徵
Williams、Hollan 與 Stevens (1983)	心智模式為心智實體之間特定關係、變數或步驟的組合，可以用來推論或進行問題解決

續表 2-3-1

Vosniadou 與 Brewer (1992)	心智模式是個體在認知過程中所產生的類比表徵，亦是一個動態的表徵
Johnson-Laird 與 Byrne (2000)	心智模式可視為是各種內在表徵所產生的「概念架構」
Chi 與 Roscoe (2002)	心智模式為某結構中相互關聯概念的表徵
張志康、林靜雯與邱美虹 (2009)	心智模式是一種在特定知識領域中會隨時間演變的動態結構，其中包含了各種相關的表徵

根據表 2-3-1，不同研究者對於心智模式的定義，可以以 80 年代作為分割依據，在 80 年代之前，研究者對於心智模式的定義比較聚焦在心智模式為個體內在表徵或是心智實體的一種組合，也反映出與外在事物的相關狀態；然而，於 80 年代後期，心智模式的定義逐漸成為是一種個體於認知過程中的「動態的概念架構」，也會是如張志康（2009）提及的心智模式不僅是一種複雜的概念架構，亦是一種不斷改變的內在運作機制，綜合以上，心智模式不僅是個體呈現的內在與外在的表徵之外，也會隨著時間的演變或是於學習過程中而有所改變。

其中，Norman(1983)則依據其對於心智模式的定義，提出了心智模式具有的五大特性，如：不完整的、不穩定的、無完整定義限制、不科學的、省力的。也就是說，他認為心智模式為個體在處理或接受某些訊息時，根據當時的情境或內在知識所產生的不完整心智模式，又心智模式是不穩定的，可能會容易遺忘產生的過程，而心智模式同時也是根據個體對外在或內在所呈現的表徵，因此，也無完整的定義限制與不一定會符合科學的概念，最後，提到心智模式是省力的，亦即個體會以最少的心智複雜度去建立心智模式，而減輕負擔。

然而，不同個體對於心智模式的產生，有如 Norman（1983）提出的心智模式的特性，會因人而異，產生的心智模式也不盡相同，而在學習的過程中，要如何使學生產生正確的心智模式呢？畢竟心智模式亦屬於一種複雜的概念運作，而對於這樣複雜的概念架構，可以透過 Johnson-Laird（1994）提出心智模式的建立是以「概念作用」的方式來整理，而概念作用為視覺圖像訊息、聲

音訊息或抽象符號表徵等方式，形成次概念單元而組成概念之後進而建立心智模式，如圖 2-3-1。因此，心智模式雖然為一種複合體，其內涵的組成概念亦會受到外在訊息的或表徵而有所影響，但是，卻可以形成一個階層性的系統網路關係。因此，在學習上要讓學生發展出正確的心智模式，必須選擇合適的概念化作用，組成正確的概念及發展其心智模式。

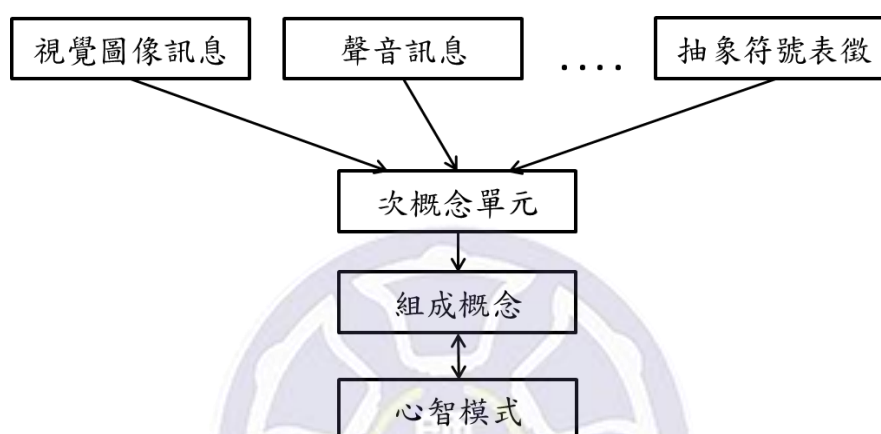


圖 2-3-1 概念與心智模式關係圖 (Johnson-Laird, 1994)

透過上述提及網路系統的心智模式關係，可以根據心智模式的功能，分出其心智模式具有特性，如 Viscuso 與 Spoehr (1986, 引自張志康、林靜雯與邱美虹，2009) 提出的四大特性：(1) 可執行的、(2) 具連結性訊息、(3) 具有因果的連結、(4) 具功能性訊息。可執行的為可以透過心智模式對於外在事件或情境作模擬，並可以預測模擬系統中的改變會如何影響整個心智模式；具連結性訊息為可以從模擬的系統中，對系統中的所有部分作連結；具有因果的連結為心智模式的模擬系統，會根據外在的改變而有所影響；具功能性訊息為模擬系統中的每個部分都具有不同的功能。因此，在學生學習新資訊的時候，可以根據學生的心智模式，透過讓模擬系統中的某些部分（或組成概念）有所衝突或變異，給予適合學習情境的那些部分（合適的組成概念），引導讓學生發展出正確的心智模式。

二、 心智模式的分類

對於心智模式的分類，以 Vosniadou 與 Brewer (1992) 的研究最具指標性，針對學生對於地球形狀概念，將心智模式大致分成三大類，為「初始模式 (Initial Models)」、「綜合模式 (Synthetic Models)」、「科學模式 (Scientific Models)」。其中「初始模式」為基於日常生活經驗或基礎信念所產生的模式，例如：學生根據所見認為地球是平面的；「綜合模式」為初始模式透過文化背景或科學解釋的同化，形成得一個綜合模式，此模式還是保有先前直覺信念，例如：學生接受了地球是圓型的科學解釋之後，也保有先前對於地球是平面的概念，因此認為地球為一個扁圓盤的模式；第三類「科學模式」為與科學觀點一致的模式。

然而，吳怡嫻 (2007，引自張志康、林靜雯與邱美虹，2009) 以生物學的分類方法對心智模式進行解構，她認為物種能夠依據其具有的特徵或狀態進行分類和辨識，如圖 2-3-2，也就是說，能夠透過心智模式具有的特徵或成分進行分類，如張志康、林靜雯與邱美虹 (2009) 認為能夠將心智模式與生物物種作類比，因為心智模式亦是由某些認知的特徵組成的，又可以將這些特徵進行分類，作為判斷與分類心智模式的依據。

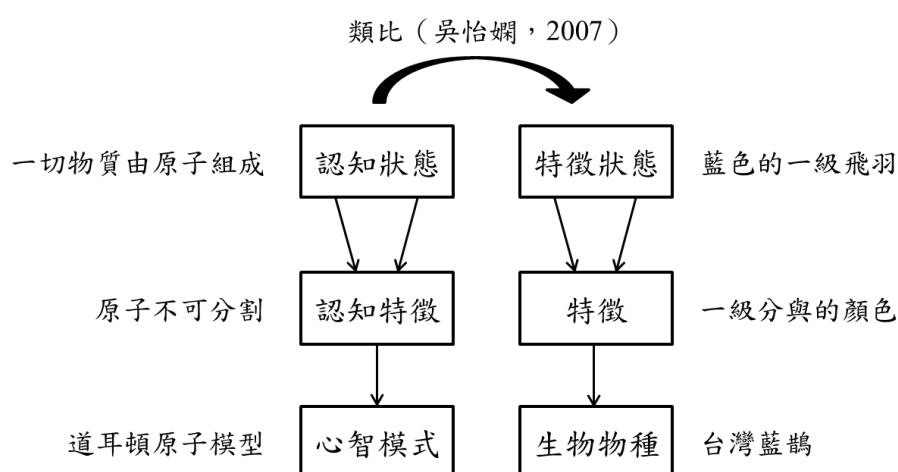


圖 2-3-2 生物物種與心智模式類比 (改編自吳怡嫻, 2007) (引用改編自張志康, 2008)

綜合前述對於心智模式的分類以及類比，林靜雯（2006）認為若學生在進行科學學習的過程中，將「心智模式的演變」類比成「生物的演化」，便可以將認知特徵的改變視為是一種演化的過程，也就是說，心智模式的轉變可以依照概念認知發展的過程或是科學史的方式加以分類，以得知學生在學習科學概念後，所具有的心智模式為何，亦可以得知學生的學習狀況，其中，張志康、林靜雯與邱美虹（2009）也提及若要分析學生心智模式的演變，必須選定特定的概念或主題，才能進行簡化研究的複雜性，又學生認知特徵的改變也必須以「完整的認知狀態(即心智模式)」作為演變的單位，才能夠真正呈現學生心智模式的演變情形。

三、 心智模式對於本研究的啟示

綜合本節對於心智模式的探討，可以得知心智模式為個別化動態結構的內在表徵，又根據心智模式的特性可以將心智模式運用於科學教育中，以建立學生正確的心智模式。然而，要如何得知學生的心智模式呢？從 Johnson-Laird（1994）的概念與心智模式的關係圖中，可以得知學生能夠透過符號、聲音、圖片等方式組成並建立心智模式，因此，本研究欲透過科學文本(符號、文字、圖片等)的閱讀讓學生能夠建立其心智模式，也依據學生對於試題的回答分析學生於閱讀文本前、後的心智模式，又依據 Vosniadou 與 Brewer（1992）、吳怡嫻（2007）與林靜雯（2006）對於心智模式的分類與類比，以及張志康、林靜雯與邱美虹（2009）對於心智模式演變的觀點，將本研究原子模型發展的概念依照其「科學史」與「原子核發展」的方式，將本研究之心智模式的類型分成十一個心智模式，分別為「初始原子模式」、「道耳頓原子模式」、「道耳頓-湯姆森原子混合模式」、「湯姆森原子模式」、「湯姆森-拉塞福原子混合模式」、「湯姆森-波耳原子混合模式」、「拉塞福原子模式」、「波耳原子模式」、「進階拉塞福原子模式」、「進階波耳原子模式」、「科學模式」，更進一步分析學生心智模式轉變的情況。

第四節 原子模型之相關研究

原子模型的發展已成為化學課程中重要的組成元素之一（Niaz & Coştu, 2009），也就是說於化學教育課程中，原子模型的發展是學生必要學習的一環，然而，卻有許多研究者提出原子模型發展單元在目前的教育課程中存在著許多缺失，因此，本節以「科學歷史與哲學」以及「建模」兩層面探討「原子模型概念以及於科學教育上的缺之」，最後，則提出原子模型之相關研究對於本研究的啟示。

一、 原子模型概念以及於科學教育上的缺之

目前與科學教育課程中，對於原子模型發展的內容有：德謨克利特模型(古典模型)、湯姆森原子模型、拉塞福原子模型、波耳原子模型，以及薛丁格原子模型。其中，德謨克利特認為物質由原子組成的，是物質切割到最後會形成一種堅硬的粒子，無法再分割的粒子就稱為原子，但這只是他對於原子概念的想法，並沒有經過驗證的；道耳頓則認為原子是構成物質最小的單位，而原子是不可再分割的，也提出「原子說」來解釋定比、倍比與質量守恆定律；湯姆森則根據陰極射線實驗發現帶負電的電子，並認為原子為帶正電的球體（正電團），其帶負電的電子則均勻分布在正電團之中；拉塞福根據 α 粒子散射實驗結果推出原子核的存在，修正了湯姆森提出的原子模型，而提出「核原子模型」，認為原子核為體積小質量大，電子則繞著原子核運轉，若根據古典電磁理論，電子最後能量會消耗殆盡而撞上原子核；波耳則修正拉塞福原子模型的失效，提出能階軌道概念，說明電子於特定軌道上具有特量且穩定的能量，能夠透過能量的吸收和釋放，躍遷至更高能階或到更低的能階，其中，電子則是於原子核外對原子核進行圓周運動；根據測不準原理，電子的運動具不可預測性，薛丁格則提出電子雲模型，以軌域的方式說明電子可能出現的機率，以上為科學課程對於原子模型的內容，但卻有許多學者提出原子模型發展的缺失，將整理

如下。

根據原子模型的內容編排，以及目前研究對於此單元的看法，可以從兩個層面去分析原子模型發展的內容，第一能夠從「科學歷史與哲學」的層面，第二則是從「模型與建模」的層面去看待原子模型的發展，以下將分別進行探討。

(一) 從「科學歷史與哲學」的層面看原子模型的發展

近年來，對於科學本身而言，在科學教育中有系統性地納入科學歷史與哲學（history and philosophy of science，簡稱 HPS），是一個能夠更清楚理解科學的發展和內容的方式之一（Allchin, 1995; Carson, 1992; Hodson, 1985, 1992; Matthews, 1994; Monk and Osborne, 1997, 引自 Justi & Gilbert, 2000），更有許多研究者意識到從 HPS 的角度看待原子模型發展的教學是很重要的（Chiappetta et al., 1991; Dumon and Luft, 2008; Harrison and Treagust, 1996; Niaz, 1998; Justi and Gilbert, 2000; Taber, 2001, 2003; Tsaparlis, 2001; Rodríguez and Niaz, 2002, 2004, 引自 Niaz & Coştu, 2009），也就是說，對於學生學習原子模型發展的概念而言，如果能更清楚知道科學的發展、歷史、背景...等，學生會對原子模型的發展有一個更全面的看法。

然而，Justi 與 Gilbert（2000）提及目前的傳統教授原子模型發展的單元是沒有注意到科學歷史與哲學的觀點，因此，學生對於模型的發展以及科學知識的內容均不足，此結果也與 Blanco 與 Niaz（1998）的研究相似，學生在經過傳統教學之後，能夠明確知道原子模型歷史發展的重要實驗以及實驗結果的解釋，但結果卻發現學生無法理解各個模型的發展過程，例如：學生對於原子的想法是絕對的、不會改變的、學生會認為科學家提出的模型被另一個科學家修改，其原因為上一個科學家對於實驗的錯誤，亦即學生透過科學概念的學習之後，並沒有意識到模型發展的過程，僅針對某個概念的對錯。

Niaz 與 Coştu（2009）也提及教科書在原子模型的發展之編排上，缺少了科學歷史與哲學的

角度，Rodríguez 與 Niaz（2004）也提及原子模型發展的單元大多強調實驗細節，而缺乏原子模型的發展，因此，他們認為應於科學理論、模型的發展與歷史重構的方式呈現原子模型，激發學生的思考與學習，而不是只是呈現記憶的知識。

綜合以上，原子模型的發展於教科書或教學上的缺失為太過於強調理論實驗以及結果，缺少模型之間的發展，以至於學生在學習無法有一個完整且全面的理解，也因此，許多研究者均認同從「科學歷史與哲學」的角度看待原子模型的發展，科學的歷史與哲學也應「內化」於化學當中，以促進學生對於科學概念的理解（Niaz & Rodríguez, 2001），以及讓學生在學習上，能夠察覺模型之間的發展。

（二）從「建模」的層面看待原子模型的發展

根據第一節「模型與建模」的探討，建模對於科學學習而言，有助於科學概念的理解，以及能夠發展出較正確的心智模式，又能夠對於科學概念提供一個系統性的整合來幫助學習，在學習過程中能夠理解科學模型的建立過程，包括了模型的建立、修正、轉換等。然而，劉俊庚與邱美虹（2010）從建模的觀點分析原子模型理論之教科書內容，認為原子理論是不斷透過實驗修正的結果，但是在教科書中原子模型理論卻沒有呈現不同理論與模型之間的修正與限制，更提到模型之間的連結也不夠完整，多數僅描述科學的實驗結果，更提出教科書並沒有具備完整的建模歷程要素，多數呈現「模型選擇」以及「模型建立」。

綜合上述兩個層面，均提出在化學教育教材上，原子模型的發展大多在呈現科學實驗或概念知識內容上，對於原子模型的發展或轉換過程並沒有清楚的連結，也就是說，在原子模型發展的內容中，其實存在著許多缺失，而會造成學生學習上的困難。

二、 原子模型之相關研究對於本研究的啟示

透過以上的探討，發現原子模型單元在科學教育中有所缺失，又根據第一節的文獻資料整理，模型與建模能夠提供更完整的學習系統，因此，本研究採用模型與建模的方式融入於教科書中，以補足此單元在科學教材中的缺失，並希望能夠透過建模觀點的融入，於文本中強調模型失效、修正與轉換的過程，讓原子模型發展的內容能夠趨向系統化，以利學生學習原子模型的發展。

第五節 科學文本

在許多國家中，科學文本在學校中是很受矚目的教學教材的來源，也影響到教師的教學以及學生的學習，因此，本節與透過科學文本的重要性與使用之探討，提出建模文本的需要，最後，則提出科學文本對於本研究的啟示。

一、 科學文本的重要性與使用

科學文本（即教科書）是學校最常使用的主要教學工具之一，也是大部分教師會於課室當中使用的教材（Sanchez and Valcarcel, 1999; Jong, Chiu & Chung, 2015），用來幫助於學生學習，不僅是透過科學知識的傳遞，也透過科學文本中的範例和例題提升學生對於科學的知識的理解（Nakibog˘lu, 2009, 引自 Kapıcı & Savaşçı-Açıklan, 2015），Chiappetta 等人（2006）的研究也指出 90%的教師會透過科學文本來設計教學，因此，在科學教育中，科學文本扮演著非常重要的角色，不僅成為教師課程設計的依據之外，也有助於學生對於科學概念的學習，在科學教育中，更是受到許多學者的關注（Chiang-Soong and Yager, 1993; Do˘kme, 2005; Han and Roth, 2005; Karamustafaog˘lu and U˘stu˘n, 2005; Skoog, 2005; Irving et al., 2006; Tekbıyık, 2006; Niaz and Fernandez, 2008; Nakibog˘lu, 2009; Calık and Kaya, 2012; S- en and Nakibog˘lu, 2012, 引自 Kapıcı &

Savaşcı-Açıkalın, 2015)。

然而，有研究顯示科學文本沒有適當的考慮到科學知識的多面性，如 Gericke 與 Hagberg (2010)、Smith 與 Adkison (2010) 的研究提及科學文本在生物基因概念多個模型使用上，會有概念不連貫的情形發生，此結果與 Gericke、Hagberg 與 Jorde (2013) 相同，以至於學生無法在科學文本中理解多個模型與概念之間的變化。其中，Gericke 與 Hagberg (2010) 也提出教科書缺乏科學建模的過程，除此之外，張志康與邱美虹 (2009) 也提及傳統教科書的內容，只重視科學公式或對科學概念下操作型定義，因此，科學文本的不完整是無法幫助學生們產生有意義的學習。綜合以上，科學文本在科學教育中，亦是存在著許多缺失。

但是，於科學教育研究上，Jong、Chiu 與 Chung (2015) 提及有許多研究顯示科學文本能夠支持概念改變的使用，例如：概念改變或是反駁式文本能夠促進科學學習且達到正確概念的學習 (Chambers & Andre, 1997)。更提出概念改變的文本會要求學生針對所給予的情境去進行預測和解釋，這些文本的內容會使學生意識到他們的迷思概念，以及使他們能夠重建自己的心智模型。而反駁式文本會指出學生的迷思概念，及針對現象提供的正確解釋 (Palmer, 2003; Tippett, 2010, 引自 Jong, Chiu & Chung, 2015)，因此，科學文本的使用，對於改變學生迷思概念的層面，是有所幫助的，也能夠使學生的學習有更正確的概念。

整體而言，科學文本的重要性已是眾所皆知，能夠幫助學生學習，甚至運用在概念改變的使用，雖然，以多面向去考量，科學文本的確存在著許多的不足，但是，科學文本如果使用的好，在教學與學習上便會成為有用且有效率的工具 (Nyachwaya and Wood, 2014)。

二、 建模文本的需要

上述提及了概念改變與反駁式文本的使用，著重在學生個人的迷思概念，而不是在科學知識及心智建模系統性的概念上，然而，這是有必要讓學生去理解科學家在科學過程中是如何辨別和

使用系統性的思維(Jong, Chiu & Chung, 2015)。Schwarz 等人(2009)也提出教師缺少高品質的課程教材去支持科學建模的使用，因此，建模文本於科學教育中有其發展與被重視的需要。

三、科學文本對於本研究的啟示

根據上述科學文本的重要性與缺失，更顯得建模文本的重要，透過建模的觀點能夠解決科學文本中的缺失，例如：透過建模的觀點能夠以系統性的方式連結多個模型之間的改變，也能提供科學建模教學的使用，因此，本研究在科學的教學與學習之中，擴展文本的研究也提供建模文本設計的參考。

第六節 結語

根據五節的文獻探討，從第一節「模型與建模」中確立了模型與建模對於科學教育的重要性，因此，本研究採用了「模型與建模」的觀點在科學文本中，也希望能夠補科學教育現場「模型與建模」觀點的不足。從第二節「建模能力」中設計了本研究之建模能力試題，也確立了建模能力式試題的檢測方式。從第三節「心智模式」分類出本研究原子模型單元的心智模式類型。從第四節「原子模型之相關研究」指出原子模型在科學教育上的缺失，以及第五節「科學文本」確立建模文本在科學教育上的需要。因此，本研究透過模型與建模融入與原子模型之科學文本中，以探討學生對於原子模型科學概念的學習成效、心智模式的分布與轉變，以及對於原子模型之建模能力，希望透過此研究設計與架構，能夠提供建模文本的有效性。

第參章 研究方法

根據本研究的目的與問題，進行了相關的研究設計，以探討一般文本/內隱式建模文本/外顯式建模文本對於學生學習原子模型的成效與建模能力之影響。本章分為五節，第一節為研究設計與流程；第二節為研究對象；第三節為文本教材的設計；第四節為研究工具；第五節為資料分析與處理。分別說明如下：

第一節 研究設計與流程

一、研究設計

本研究的設計架構主要以閱讀文本為主，可分為外顯式建模文本組、內隱式建模文本組及一般文本組，以探討十年級學生對於原子模型學習成效及建模能力之影響。又由於本研究為初探原子模型建模文本的成效，因此，在閱讀外顯式建模文本之前，為能發揮外顯式建模文本的效用及學生之科學概念的學習，本研究在研究進行之前，針對外顯式建模文本組之研究對象進行兩次建模文本使用的閱讀訓練，預計每次訓練時間為二十分鐘，進而讓學生能夠熟悉外顯式建模文本，而不影響概念上的學習。

因此，外顯式建模文本組主要的設計流程為讓學生透過外顯式建模文本的閱讀，並在閱讀過程中施以重點畫記、例題練習與學習單的檢測，進而確認學生科學概念的獲得及其文本的使用情形。而在閱讀此文本前、後以實施原子模型概念、建模能力試題測驗及建模能力之半結構式晤談，藉由分析概念試題前、後測的結果，檢測學生對於閱讀外顯式建模文本前、後之原子模型概念學習的成效，另外，也藉由分析建模能力試題及建模能力晤談的結果，檢測學生的建模能力及心智模式。

內隱式建模文本組，沒有建模文本的閱讀訓練，原因為內隱式建模文本沒有外顯化的建模歷

程說明，僅有內隱建模的編排架構，因此，閱讀上並不需要加以閱讀建模歷程的說明及理解文本的閱讀使用方式，所以，內隱式建模文本組的學生在閱讀前不需要對文本的閱讀加以練習。相同的，內隱式建模文本組在閱讀過程中會施以重點畫記、例題練習與學習單的檢測，進而確認學生科學概念的獲得。而在閱讀前、後各施以原子模型概念、建模能力試題測驗及原子模型建模能力之半結構式晤談，藉由分析概念試題前、後測的結果，檢測學生的學習成效，也透過分析建模能力試題與晤談的結果，分析學生的建模能力及心智模式。

而一般文本組的設計為讓學生閱讀兩次的文本內容，主要控制與其他兩組學生閱讀時間的一致性，並在閱讀過程中施以重點畫記、例題練習與學習單檢測，進而確認學生科學概念的獲得。而在閱讀前、後相同的施以原子模型概念、建模能力試題測驗及原子模型建模能力之半結構式晤談，藉由分析概念試題前、後測的結果，檢測學生的學習成效，也透過分析建模能力試題與晤談的結果，檢測學生的建模能力及心智模式的發展。

根據以上的研究設計，可以得出文本閱讀的研究需花費較多時間來進行資料上的蒐集，包含了前、後測及前、後晤，以及文本閱讀等，亦考量到學校課程進度以及老師與班級上的配合，因此，以願意配合本研究的一個班級為主要研究對象的來源，並運用早自習、午休或班會課時間，以及借課的方式來進行研究，並在此班級進行原子模型單元之前，收集完本研究的資料，也就是說，學校課程上並不會干擾到本研究的資料收集，上述之研究設計如圖 3-1-1 所示，詳細之研究設計流程呈現如表 3-1-1。

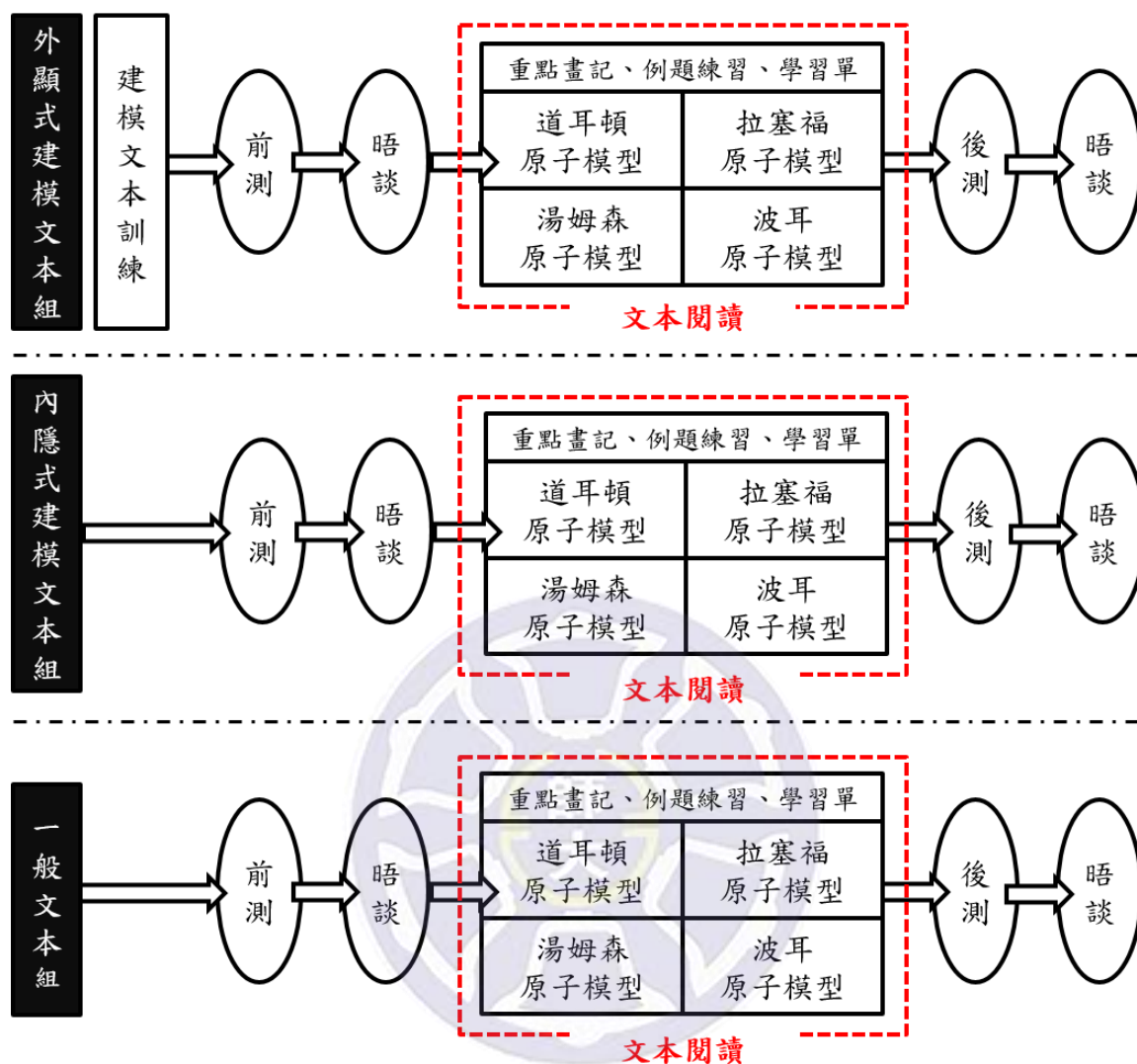


圖 3-1-1 研究設計示意圖

表 3-1-1 本研究設計之流程

週次	實施內容	安排時間與節數
第一週	1. 外顯式建模文本組之建模文本閱讀訓練(20 分鐘)	兩天早自習
	2. 前測(原子模型概念試題、原子模型建模能力試題)	一天早自習+兩節班會
	3. 晤談(原子模型建模能力之半結構式晤談)	三天(午休+早自習)

續表 3-1-1

第二週	文本閱讀(道耳頓、湯姆森原子模型)+重點畫記、例題 練習與學習單	借兩節課閱讀及對答案與複習
第三週	1. 文本閱讀(拉塞福、波耳原子模型)+重點畫記、例題 練習與學習單	借兩節課閱讀及對答案與複習
	2. 總複習文本閱讀(四大原子模型內容複習)	借一節班會
第四週	1. 後測(原子模型概念試題、原子模型建模能力試題)	一天早自習+借兩節課
	2. 晤談(原子模型建模能力之半結構式晤談)	三天(午休+早自習)

二、研究流程

本研究係起因於參與邱美虹(2015)研究計畫的建模文本撰寫，對於建模文本深感興趣，又Jong、Chiu與Chung(2015)指出建模文本有助於學生在科學概念上的學習，也指出目前缺乏科學建模文本(Morgan & Morrison, 1999; Schwarz et al., 2009, 引自Jong、Chiu與Chung, 2015)，因此，本研究認為建模文本需要有更多的研究支持及較多的建模文本範例，故本研究選擇模型明確的原子模型單元，又因為目前的教科書在原子模型這概念的內容有所缺失(Justi & Gilbert, 2000; Niaz & Rodríguez, 2001; Niaz & Coştu, 2009; Rodríguez & Niaz, 2004)，因此，本研究將探討建模文本是否能促進原子模型概念的學習，因而形成本研究的研究方向。自研究方向為起始點，初步進行相關文獻搜尋及回顧，整理並確立本研究的目的及研究問題。本研究的文本是參考Jong、Chiu與Chung(2015)所設計之建模文本，進而引用邱美虹(2015)研究計劃中的建模文本，修改設計成本研究之閱讀文本教材—原子模型外顯式建模文本/內隱式建模文本/一般文本，其三個文本均透過兩位化學專長教師給予評估及建議，經修改後以確立專家效度。而本研究之研究工具—「原子概念試題」、「原子模型建模能力試題」，均透過台中市某高中之十二年級學生作為預試對象，針對其結果進行修改並確立本試題之信度。

待研究工具及閱讀文本設計完成後，即進行本研究之兩三組（兩建模文本組及一般文本組）四大原子模型文本閱讀，並進行重點畫記、例題練習及學習單檢測，而在文本閱讀前、後分別進行原子概念、建模能力試題之測驗，以及建模能力半結構式晤談。最後，本研究將根據前、後測，以及晤談資料，進行分析、統整，依據資料之結果形成本研究之結論，並進一步提出建模文本編排之建議，而後完成本研究之論文撰寫。上述之研究流程如圖 3-1-2 所示。

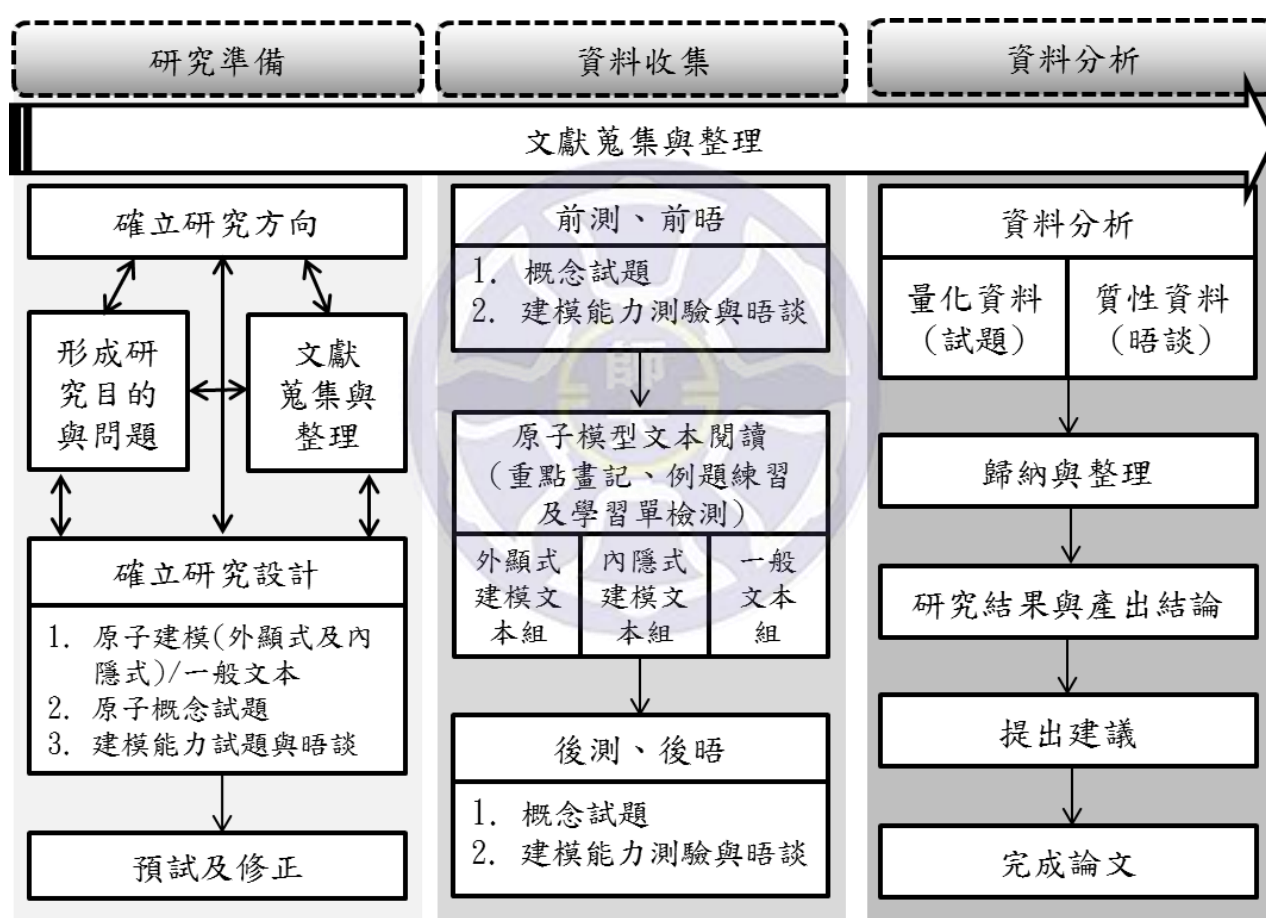


圖 3-1-2 研究流程圖

第二節 研究對象

本研究對象共分成三部分，分別為預測階段之預測對象、正式研究之研究對象，以及晤談對象，各說明如下：

一、 預試對象

預試對象為台中市某私立十二年級之學生，共計兩班，在十至十二年級期間時已學過原子模型概念的相關知識。預試完成後，進行原子模型概念試題與建模能力試題分析與修改，並將概念試題從 20 題增為 30 題，再一次進行預試，此預試對象為同校十二年級另外兩個班級的學生，於第二次預試之後，再一次分析試題與細修題目並作為正式研究階段之用。

二、 正式研究對象

正式研究對象為台中市某私立十年級之學生，此班級為願意配合研究時間的班級，又由於學校採能力分班，因此，正式研究對象的能力程度不相上下，再從中採立意取樣 36 人，進行原子概念之前測與建模能力試題之前測，再者以心智模式的不同，將相似之心智模型的學生分到不同組別，而本研究組別之學生人數之分布如表 3-2-1 所示。

表 3-2-1 本研究參與對象人數分布

組別	總人數	男生	女生
一般文本組	12	4	8
內隱式建模文本組	12	3	9
外顯式建模文本組	12	5	7

三、 晤談對象

晤談對象為依據各組研究對象隨機取前測分數較高者及較低者（前、後 27%）各兩位進行約 30 至 40 分鐘的半結構式晤談，回答相同的問題，其學生人數分布如表 3-2-2 所示。

表 3-2-2 本研究參與半結構式晤談對象人數分布

組別	總人數	男生	女生
一般文本組	4	1	3
內隱式建模文本組	4	1	3
外顯式建模文本組	4	2	2

第三節 文本教材的設計

本研究目的為探討十年級學生閱讀外顯式建模文本、內隱式建模文本與一般文本前、後，對於原子模型之概念學習成效及建模能力的影響。因此，依照本研究目的，將本研究對象根據其前測之心智模式的不同，將相同心智模式之學生分到「一般文本組」與「建模文本組」，也就是說，於「一般文本組」的學生所閱讀的為本研究之原子模型一般文本；於「內隱式建模文本組」的學生則是閱讀本研究之原子模型內隱式建模文本；於「外顯式建模文本組」的學生則是閱讀本研究之原子模型外顯式建模文本。其中，本研究所採用的文本皆是修改於邱美虹（2015）研究計畫中的原子模型一般文本及建模文本，然而，此研究計畫亦是研究者本身所參與的計畫，同時也是負責此計畫一般文本及建模文本的撰寫，因此以下將本節分成六大部分說明本研究之文本教材的設計，第一為說明文本設計流程；第二說明文本中的建模歷程；第三說明一般文本的設計；第四說明兩建模文本的設計；第五為一般文本、內隱式建模文本與外顯式建模文本之比較；第六則說明關於本研究之文本，學生概念獲得情況檢測的設計，以上分別說明如下：

一、 文本的設計流程

本研究之文本的設計流程主要根據邱美虹（2015）研究計畫之文本設計流程，自概念圖為出發點，接著擷取教科書內容，整理為一般文本，再將其一般文本改為外顯式建模文本，最後，比對兩文本之內容與試題，進行修改調整，再經由一位化學教師及一位有建模文本撰寫經驗的化學教師審查並修改，以確定專家效度，並完成一般及外顯式建模文本，之後，再將外顯式建模文本之「外顯化建模歷程」及「建模統整試題」刪除，則形成本研究之內隱式建模文本。而本研究參考並修改其邱美虹（2015）研究計畫之文本設計流程，將本研究文本設計的流程分為五個部分，分別為「單元範圍及概念確定」、「一般文本初稿」、「外顯式建模文本初稿」、「一般/外顯式建模文本比對」及「內隱式建模文本初稿」，如圖 3-3-1 所示，詳細之設計流程內容將一一說明，如下。



圖 3-3-1 本研究之文本設計流程

(一) 單元範圍及概念確定

首先，本研究所選擇的單元為原子模型的單元，又由於本研究的研究對象為十年級的學生，考量高一學生的程度及可理解之範圍，因此無法完全呈現原子模型發展的過程（道耳頓原子說模型、湯姆森原子模型、拉塞福原子模型、波耳原子模型、薛丁格原子模型），其中為高三內容之薛丁格原子模型，故不再本研究範圍內，因此，本研究之單元範圍包括了道耳頓原子說模型、湯姆森原子模型、拉塞福原子模型，以及波耳原子模型，共計四大模型。確立單元範圍之後，並依照其單元內容繪製概念圖，如圖 3-3-2（完整呈現原子模型之概念圖，並註明本研究之範圍），以確立本研究文本中應包含的科學概念內容。

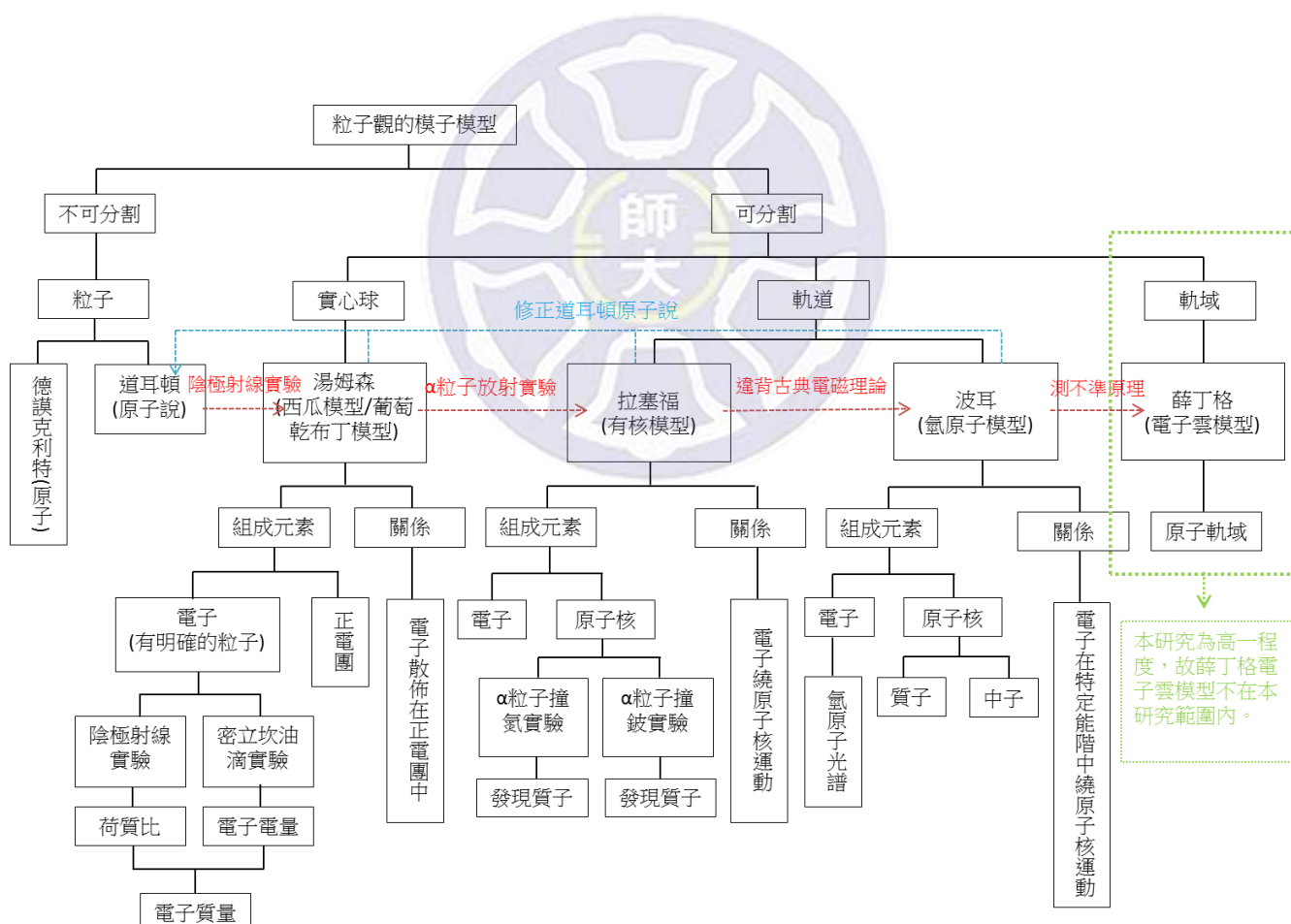


圖 3-3-2 本研究之原子模型概念圖（修改引用自邱美虹，2015）

(二) 一般文本 初稿

依照本研究之概念圖，擷取某版本高一及高三化學教科書的內容，包括了文字及圖片，再將其內容經過整理與排版，並檢核所擷取之內容是否符合概念圖的每個概念。再者，於每個原子模型內容的最後，加上符合一般本文內容之練習試題，讓此一般文本能夠更加完整，最後再進行內容排版與整理，讓版面看起來不會太過於零亂，便完成一般文本之初稿。

(三) 外顯式建模文本 初稿

建模文本主要為修改一般文本初稿的排版，以及將建模歷程「外顯化」，再將一般文本的內容一一填入每一段建模歷程的底下，思考並加入缺少之建模歷程的內容，讓建模歷程能夠更加完整，接著，改寫文本內容，變成「想一想」的試題，使其文本更有思考的過程，也更符合建模本文的設計，並於每個原子模型內容的最後，加上建模試題與統整試題，最後，依照內容重點給予小提示的內容，提醒學生該段落之重點為何。相同的，整理內容並排版，完成建模文本之初稿。

(四) 一般/外顯式建模文本 比對

最後，進行一般文本與外顯式建模文本之概念內容與試題之比對，並調整、修改其內容，讓此兩文本的科學概念是相同的，而後，將其兩文本送至專家審查，本研究之文本是經由一位化學教師與一位有撰寫建模文本經驗之化學教師審查、修改後，以確定專家效度並完成一般文本與外顯式建模文本的設計。

(五) 內隱式建模文本 初稿

內隱式建模文本則是根據外顯式建模文本的架構，刪除外顯式建模文本之「外顯化建模歷程」的說明，以及刪除統整式題，再次檢查並比較三個文本之差異與調整內容，由一位化學教師與一

位有撰寫建模文本經驗之化學教師審查、修改後，以確定專家效度並完成內隱式建模文本的設計。

以上為本研究之文本設計流程。

二、 定義文本中的建模歷程

本研究之內隱式建模文本及外顯式建模文本均含有建模歷程，其中內隱式建模文本包含的建模歷程為「內隱式」，隱藏於文字段落之中；而本研究之建模文本為「外顯式」的建模歷程，因此以下說明本研究所採用之建模歷程的定義為何。

本研究之建模歷程採用邱美虹（2014）研究計畫所提出的建模歷程指標（Modeling Process Indicators, MPI），共分成四個階段——「模型發展階段」、「模型精緻化階段」、「模型遷移階段」、「模型重建階段」，每個階段又可以往下各細分出兩的階段，因此可分為八個建模歷程，即為「模型選擇」、「模型建立」、「模型效化」、「模型分析」、「模型應用」、「模型調度」、「模型修正」、「模型轉換」。

而其定義為，「模型選擇」在建立模型時，會從先前概念中選擇合適的物件（成分）或基本模型作為詮釋，稱為「模型選擇」；接著，依照先前的物件（成分）或基本模型，建立其關係與結構，稱為「模型建立」；後而利用已建立模型之關係與結構進行效化或比較模型內部的一致性，則稱為「模型效化」；再利用已效化的模型去分析問題，並解釋其適當性（數據計算或推理），則為「模型分析」；若其模型能類推到其他相似問題情境（近遷移）或是新情境問題（遠遷移），便可強化所建模型的解釋力，稱為「模型應用」及「模型調度」；最後，察覺已效化之模型失效，可透過增加或減少物件（成分）與關係，以修正為新的模型（弱重建），稱為「模型修正」；若察覺已效化之模型整體失效，以重新建立為新的模型（強重建），則稱為「模型轉換」。

以上為根據建模歷程指標對於個建模歷程之定義，如圖 3-3-3 所示。

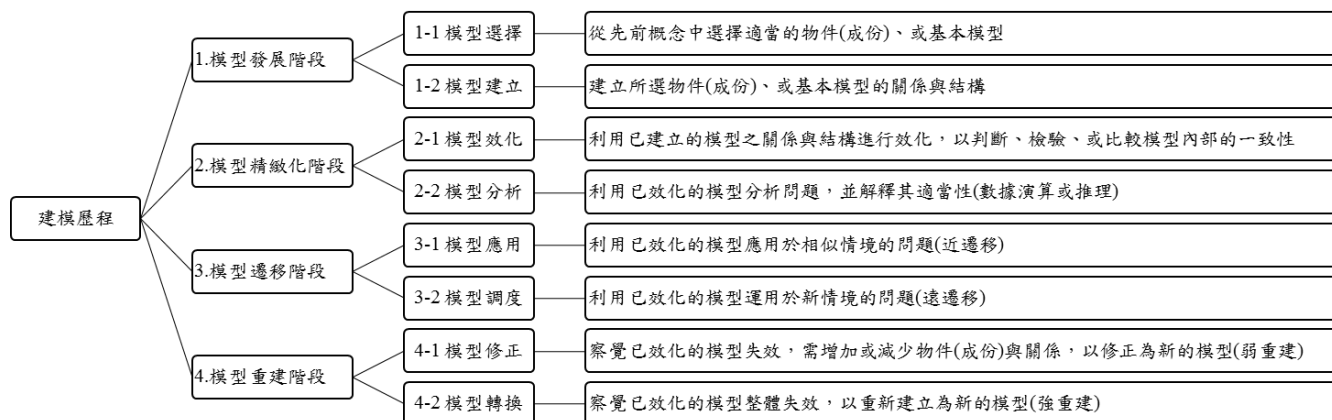


圖 3-3-3 建模歷程指標 (Modeling Process Indicators, MPI, 邱美虹, 2015)

但由於本研究僅討論原子模型之間的轉換等過程或內容，因此，在文本設計中僅包含了七大歷程，少了「模型調度」這個歷程，調度屬於遠遷移的部分，在原子模型中不討論應用於新情境的問題，也就是原子模型不討論與其他元素產生化合物等內容，因此，在本研究之建模文本中僅包含了「模型選擇」、「模型建立」、「模型效化」、「模型分析」、「模型應用」、「模型修正」、「模型轉換」等七大歷程，相對的於原子模型建模能力試題當中也僅包含相同的七大建模歷程。

三、一般文本的設計

一般文本的設計概念為用來與兩建模文本的成效做比較，因此，設計上，主要的內容必須以某版本之化學教科書的內容為主，只擷取教科書之內容，因此，本研究之一般文本設計共包含五大部分，其中包含了四大原子模型之內容，如：道耳頓原子模型、湯姆森原子模型、拉塞福原子模型、波耳原子模型，以及一般練習例題，本研究之一般文本設計如圖 3-3-4 所示。

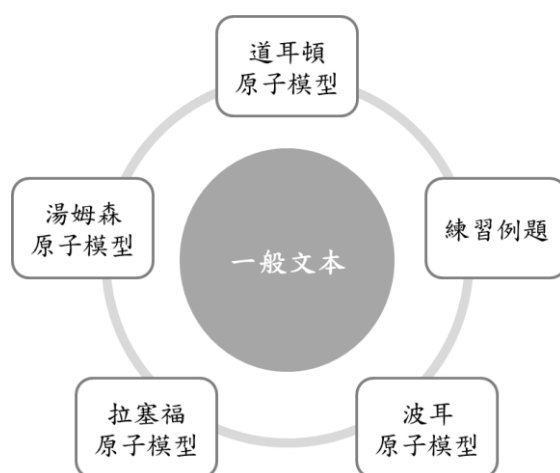


圖 3-3-4 一般文本設計

其中，四大原子模型的內容，主要以概念圖為範圍，並擷取教科書之內容編排，然而，一般文本加入了一般的練習試題，此練習試題主要來自及某版本之教科書習作試題，分別於每個原子模型之後加入其模型之相關概念試題，包括了有單一選擇題、多重選擇題、非選擇題不等的試題。題型舉例說明如表 3-3-1。詳細之一般文本內容請參見附錄一。

表 3-3-1 一般文本試題類型舉例說明（例題引用自邱美虹，2015）

題型	一般文本之一般試題舉例
單一選擇題	道耳頓原子說模型例題： 下列何組物質可用來說明道耳頓的倍比定律？ (A) O_2 、 O_3 (B) ^{12}C 、 ^{13}C (C) N_2O 、 NO (D) CO 、 NO
	拉塞福原子模型例題： 有關 <u>拉塞福</u> 的散射實驗，下列敘述何者正確？（多選） (A) <u>拉塞福</u> 以 α 粒子撞擊金屬箔， α 粒子相當於氫原子核 (B) 發現絕大部分用來撞擊的粒子產生偏折，只有少數粒子穿過金屬箔 (C) 證實了原子核的存在，而原子絕大部分質量集中在此 (D) 由於「 α 粒子」和原子核都帶正電荷，故會產生 180° 大角度反轉 (E) 同時發現了中子的存在

續表 3-3-1

湯姆森原子模型例題：**非選擇題**

五次油滴實驗所得到的電量數據： 4.80×10^{-19} 、 3.20×10^{-19} 、 8.00×10^{-19} 、 1.44×10^{-19} 、 9.60×10^{-19} 庫倫，試由這些實驗結果決定一電子電量為多少？

四、建模文本的設計

建模文本的設計，包含內隱式建模文本與外顯式建模文本，其中內隱式建模文本的設計，主要是依據外顯式建模文本，僅有刪除而沒有增加，因此，內隱式建模文本之設計僅直接參考附錄二，或圖 3-3-5，以下為說明外顯式建模文本之設計。首先，根據外顯式建模文本教材設計的需求，必須將建模歷程「外顯化」，因此，本研究引用邱美虹（2015）研究計畫中，對於建模文本各模歷程的解釋，與本研究對於建模歷程之定義整理如表 3-3-2 所示。

表 3-3-2 建模歷程定義及其解釋

建模歷程		定義與建模文本中對於各階段的解釋
模型選擇	定義	從先前概念中選擇合適的物件（成分）或基本模型
	解釋	科學家在建立科學模型時，有一定的思考過程；當他們經歷多次類似的生活現象後，便開始從先前概念中選擇適當的物件（成分）、或基本模型，稱為「模型選擇」
模型建立	定義	建立所選物件（成分）、或基本模型的關係與結構
	解釋	建立所選物件（成分）、或基本模型的關係與結構，包括文字說明、化學式與數學方程式，稱為「模型建立」
模型效化	定義	利用已建立模型之關係與結構進行效化，判斷、檢核、或比較模型內部的一致性
	解釋	判斷所提出文字說明、化學式與數學方程式等的合理性，及判斷是否忽略其他影響理論的因素，或者判斷實驗方法的可行性或考慮替代的方案，稱為「模型效化」

模型分析	定義	利用已效化的模型分析問題，並解釋適當性（數據計算或推理）
	解釋	其模型具備有效性後，就必須分析數據，找出變因間的關係並評估預測與實作結果的差異性，稱為「模型分析」
模型應用	定義	利用以效化的模型應用於相似情境的問題（近遷移）
	解釋	若其模型能類推到相似問題情境，便可強化所建模型的解釋力，稱為「模型應用」
模型調度	定義	利用已效化的模型應用於新情境的問題（遠遷移）
	解釋	若其模型能類推到新的問題情境，便可強化所建模型的解釋力，稱為「模型調度」
模型修正	定義	察覺已效化的模型失效，需增加或減少物件（成分）與關係，以修正成新的模型（弱重建）
	解釋	若其模型無法再類推到更多的問題情境時，就必須思考其限制，重新做修正，稱為「模型修正」
模型重建	定義	察覺已效化的模型整體失效，以重新建立為新的模型（強重建）
	解釋	若察覺其模型整體失效，無法使用，就必須重新建立新的模型，稱為「模型轉換」

根據此建模歷程，本研究在外顯式建模文本設計上，共包含九大部份，除了包含「外顯式的建模歷程」之外，亦包含了四大原子模型的內容、小提示、建模練習試題、想一想試題及原子模型統整試題，本研究之兩建模文本(外顯式建模文本與內隱式建模文本)設計如圖 3-3-5，詳細內容請參考附錄二及附錄三。



圖 3-3-5 外顯式建模文本設計與內隱式建模文本設計

其中，建模文本之四大原子概念內容與一般文本相同，均包含了道耳頓原子說模型、湯姆森原子模型、拉塞福原子模型、波耳原子模型，然而，在排版上是參考引用邱美虹（2015）研究計畫的建模文本，以建模歷程為架構，也就是說，在每一段文字之前會有明確外顯式之建模歷程的說明，如圖 3-3-6，讓學生清楚此建模階段的主要內容為何。除此之外，建模文本中也引用邱美虹（2015）研究計畫之建模文本中的想一想試題，其想一想試題是改寫文本內容的敘述，穿插於

文本內容之中，欲使本研究之建模文本更具建模思考的過程，如圖 3-3-6。

【模型轉換】：依據拉塞福 α 粒子撞擊金箔的實驗結果，察覺湯姆森的原子模型失效，不符合拉塞福的實驗結果，拉塞福進而提出「核型的原子模型」。

在 1911 年，拉塞福（E. Rutherford，1871～1937，英國）試圖要證明湯姆森的原子模型—西瓜模型(葡萄乾布丁模型)是正確的。

想一想：1. 如果在實驗開始之前，依據湯姆森的原子模型進行預測，你認為實驗結果會是如何？想說明你的理由。



拉塞福以 α 粒子進行一連串撞擊極薄的金箔的實驗。撞擊後， α 粒子進行的方向可由它擊中塗有螢光劑的螢光幕來偵測。結果發現大約 99% 的 α 粒子直線地穿過金箔，少數 α 粒子產生偏折，僅極少數的 α 粒子產生大角度的偏折。

圖 3-3-6 建模文本之外顯式建模歷程及想一想試題之舉例

由於本研究文本的設計為閱讀上的使用，為了讓學生閱讀更加有系統及重點，因此，在文本中加入「小提示」之重點提示，讓學生能夠再一次思考文本段落應該注意到的重點，同時，也具備了效化的功能，讓學生能夠檢視模型的內部一致性，如圖 3-3-7。

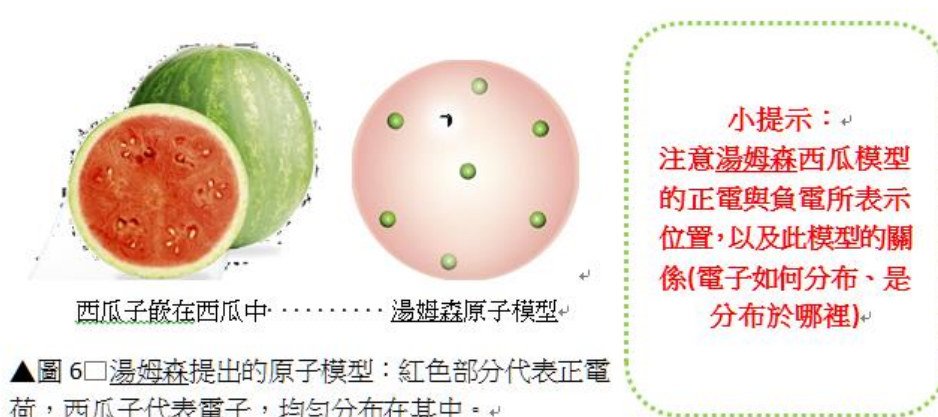


圖 3-3-7 文本中的小提示

在試題方面，引用了邱美虹（2015）研究計畫中建模文本之試題，建模文本所加入之試題類型，包含多重選擇題及非選擇題之建模例題試題，與一般試題不同的在於，建模試題除了要求選出答案之外，同時也要求提出理由，使其更加符合建模的歷程。其中，外顯式建模文本亦加入了原子模型之統整的試題，要求說明每個原子模型的成分與關係，以及修正了道耳頓原子說的哪些內容。本研究之建模文本試題舉例如表 3-3-3。

表 3-3-3 外顯式建模文本之建模試題舉例說明（例題引用自邱美虹，2015）

題型	一般文本之一般試題舉例
多重選擇題	拉塞福原子模型例題：
	1. 有關 <u>拉塞福</u> 的散射實驗，下列敘述何者正確？（多選） 錯誤的選項請說明理由。（模型效化）
	☐ (A) <u>拉塞福</u> 以 α 粒子撞擊金屬箔， α 粒子相當於氫原子核 理由：
	☐ (B) 發現絕大部分用來撞擊的粒子產生偏折，少數粒子穿過金屬箔 理由：
	☐ (C) 證實了原子核的存在，而原子絕大部分質量集中在此 理由：

續表 3-3-3

非選擇題	□ (D) 由於「α 粒子」和原子核都帶正電荷，故會產生 180° 大角度反轉 理由： □ (E) 同時發現了中子的存在 理由：
	道耳頓原子說模型例題： 小銘認為 ^{12}C、^{13}C 可以用來說明道耳頓的倍比定律。你認為是對的還是錯的？請說明原因。(模型應用) 湯姆森原子模型例題： (1) 美國某一研究者進行了五次油滴實驗所得到的電量數據如下： 4.80×10^{-19}、3.20×10^{-19}、8.00×10^{-19}、1.44×10^{-19}、9.60×10^{-19} 庫侖， 試由這些實驗結果決定一電子電量為多少？(模型分析) (2) 第二次實驗的數據如下：4.80×10^{-19}、2.40×10^{-19}、6.00×10^{-19}、 4.00×10^{-19}、7.20×10^{-19} 庫侖，請判斷那些數據是錯誤的？並說明你的理由。(模型分析)
	統整試題 請根據湯姆森西瓜模型/葡萄乾布丁模型，繪圖並說明其模型的成分及關係，並提出修正了道耳頓原子說的哪些內容：(模型建立)

五、一般文本、內隱式建模文本與外顯式建模文本之比較

本研究之外顯式建模文本與內隱式建模文本、一般文本的差異性在於外顯式建模文本有「外顯式」的建模歷程（包含模型選擇、模型建立、模型效化、模型分析、模型修正及模型轉換），其中，外顯式建模文本也強調各原子模型之間的轉換過程；內容排版除了根據建模歷程之外，也依據 Jong、Chiu 與 Chung (2015) 所提及之建模能力接近「思考的技巧」，因此在建模文本中，修改了文本的文字敘述，增加了「想一想」的題目試題，讓學生可以針對文本內容進行思考，進而建立自己的模型；而三個文本之練習例題則為相互對應，換句話說，試題為相同概念的題目，一般文本為一般試題，兩建模文本則是建模試題，需要學生提出理由與想法。其中外顯式建模文本與內隱式建模文本、一般文本較不同的是，外顯式建模文本針對於每個原子模型均有其模型相

關之「成分、關係」的統整試題。以上為本研究三文本教材內容之差異，整理如表 3-3-4 所示。

表 3-3-4 一般文本與兩建模文本之差異

組別	一般文本組 (12 人)	內隱式建模文本組 (12 人)	外顯式建模文本組 (12 人)
定義	一般教科書(課本)的內容,文字敘述加圖片	以建模歷程為架構(內隱式),將一般教科書之內容改寫(想一想題目),外加小提示	以外顯化建模歷程為架構,將一般教科書之內容改寫(想一想題目),外加小提示
四大原子模型 內容	O	O	O
建模歷程	X	O (內隱式)	O (外顯式)
小提示	X	O	O
例題	O (一般例題)	O (建模例題)	O (建模例題)
模型整合題 (成分、關係)	X	X	O

六、 檢測文本學習的設計

本研究欲透過閱讀一般文本及兩建模文本前、後，了解學生對於原子模型的學習成效及建模能力之影響。因此，學生科學概念的學習僅透過閱讀文本的方式獲得，然而，閱讀文本之概念獲得的情形亦為本研究之重點，因此，針對一般文本與兩建模文本之概念學習檢測的設計為，透過學習單、試題練習及重點畫記的方式，來檢測學生對於文本之科學概念獲得的情況，本研究之檢測文本學習的設計如圖 3-3-8 所示。

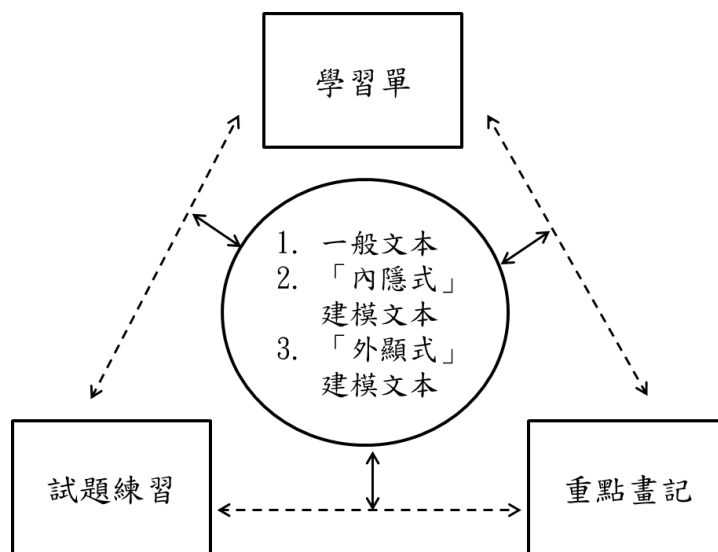


圖 3-3-8 本研究之檢測文本的設計

學習單方面，主要為學生在閱讀完某一個原子模型之後，並完成試題練習，利用學習單的方式理解學生對於原子模型概念上的理解；在試題練習方面，可以根據試題答案結果馬上檢測學生對於文本閱讀之概念獲得的情況，而試題的對錯又可以反映出重點畫記的內容；然而，重點畫記方面，在一般文本組根據文本閱讀的次數要求學生進行兩次重點畫記，分別以不同顏色的筆進行畫記，而在兩建模文本組則進行一次的重點畫記，主要為理解學生對於科學概念重點的畫記，相同的，亦可透過學習單的方式理解學生畫記的內容是否為重點，亦可以反應出答題對錯之概念的獲得情形。根據以上，可以歸納出本研究設計之文本的三個檢測方式，彼此之間存在著交互關係，並與一般文本及兩建模文本概念的獲得息息相關，因此，本研究欲透過此檢測設計，得知學生透過文本閱讀之科學概念獲得的情況以及文本使用的情況。

第四節 研究工具

本研究所使用的研究工具分為「閱讀之文本」及量化及質性工具兩大部分，量化部分為「原子模型概念試題」及「原子模型建模能力試題」；質性部分為「原子模型建模能力之半結構式晤談」。其中，「閱讀之文本」包含了一般文本及兩建模文本，其設計流程及檢測等相關內容已詳細呈現於本章第三節—文本教材的設計，故於此節便不加以說明，而量化與質性工具分述如下，表 3-4-1 為呈現本研究之完整的研究工具設計要點。

表 3-4-1 研究工具設計要點

研究工具	題型	概念/內容	使用目的
原子模型 一般文本	一般文本	四大原子模型概念	為本研究文本閱讀之對照組，用來與建模文本組的學生進行比較，學生閱讀建模文本前、後，其原子概念的變化及建模能力
原子模型 「內隱式」 建模文本	建模文本	四大原子模型概念	為本研究文本閱讀之實驗組，於檢測此文本的閱讀對於學生原子模型概念的學習成效及建模能力的發展
原子模型 「外顯式」 建模文本	建模文本	四大原子模型概念	為本研究文本閱讀之實驗組，於檢測此文本的閱讀對於學生原子模型概念的學習成效及建模能力的發展
原子模型 概念試題	單一選擇題	四大原子模型概念	比較三組學生於閱讀不同文本前、後，原子模型概念之學習成效
原子模型 建模能力試題	開放式問題	依據四大原子模型及建模能力，探討學生對於原子模型之建模能力的程度有何不同	1. 了解三組學生對於原子模型之建模能力的表現 2. 探討學生對於原子模型心智模式的分布與變化
原子模型建模 能力之半結構 式晤談	開放式問題	建模能力試題之晤談	深入了解學生對於原子模型各建模歷程之建模能力

一、 原子模型概念試題

為了解學生閱讀一般文本與兩建模文本之前、後，對於原子模型概念的理解，本研究欲在閱讀文本前、後，實施原子模型概念試題的測驗，以了解三組學生對於原子模型概念的變化，並比較三種文本之成效。試題設計為依據文本所包含的原子模型概念內容，為道耳頓原子模型、湯姆森原子模型、拉塞福原子模型與波耳原子模型的單一選擇試題，總共 30 題，其中，為避免學生猜測本試題之答案，因此，本試題的選項均為五個。

本試題經由兩位化學科專家進行審查，共同建立本試題之效度。透過專家審查之結果與建議，進行本試題之修改，而後進行本概念試題之預試（兩次）。每一次預試對象皆為高三年級之兩個班級的學生，共計 96 名學生，於高一至三高時已學過原子模型相關概念，最後，於第二次預試後進行修正，完成本研究正式的原子模型概念測驗試題，其信度為.826。表 3-4-2 為原子概念試題之雙向細目表，詳細試題內容請參見附錄四。

表 3-4-2 原子模型概念試題之雙向細目表

分類	次分類	主要概念	題號	題數
道耳頓 原子說	關係	一切物質都是由微小粒子組成的，這種粒子不能再被分割成更小的粒子，稱為原子	1	8
		化合物中組成元素的質量恆成固定之比例（定比定律）	3, 6	
		同一種元素的原子，其質量和性質都相同；不同元素的原子，其質量和性質不相同		
		若兩元素可以生成兩種或兩種以上的化合物時，當其中一種元素的質量固定，則另一元素的質量比恆為簡單整數比（倍比定律）	2, 4, 5	
		化合物是由不同種類的原子以一定的比例組成的一化學變化發生時，反應前後的總質量相等（質量守恆定律）	7, 8	

續表 3-4-2		當物質發生化學反應時，原子會重新排列，組成另一種物質，但是原子的質量不會改變，而且原子既不會消失，也不會產生新原子		
湯姆森 原子模型	組成 元素	陰極射線具有粒子性，且會產生偏轉	9, 11	8
		陰極射線是從負極射出光線到正極	10	
		湯姆森測得電子之荷質比為 1.759×10^{11} 庫倫／公斤	12	
		密立坎油滴實驗，得知每個電子所帶的基本電量皆為 1.602×10^{-19} 庫倫	13, 14	
		由荷質比與電子電量可以得出電子的質量 9.109×10^{-31}	15	
	關係	原子模型為質量與電荷密度均勻的球體，為一個帶正電的球體，其中有帶負電的電子均勻分布於其中	16	
		大部分的 α 粒子直接穿透金箔，打在螢光幕上，僅有極少數的粒子產生偏折或反彈（ α 粒子狀金箔實驗）	17	
拉塞福 原子模型	組成 元素	α 粒子散射實驗，可以得出帶正電原子核的概念	19	8
		拉塞福使用 α 粒子撞擊氮原子，結果發現原子核中含有帶正電的質子	20	
		於發現電子、原子核、質子之後，查兌克以 α 粒子撞擊鈹（Be），發現原子核中含有不帶電荷的中子	21, 22	
	關係	原子由帶負電的電子環繞帶正電的原子核所組成，其中，原子質量大部分集中在原子核	18	
		同位素為質子數相同，中子數不同，因此其化學性質相近，僅能以物理性質分辨	23, 24	
波耳 原子模型	組成 元素	氫原子光譜為不連續光譜	26	6
		其電子的躍遷伴隨著特定能量的吸收或釋放，此能量以光或熱的形式放出	25, 28	
	關係	電子在特定能階中繞原子核作圓周運動，並不吸收或發射電磁波	27	
		$n=1$ 時， E 最小，軌道最靠近原子核，此時能量最低。 n 愈大，軌道愈遠離原子核，能量愈高	29	
		波耳的原子模型卻仍不夠完美，僅能適用於氫原子或似氫離子（ He^+ 、 Li^{2+} ）	30	

然而，本研究也進行了原子模型概念試題的難易度與鑑別度分析，難易度分析為取前 27% 的學生為高分組，取後 27% 的學生為低分組，分別計算高、低分組之試題答對人數的百分比(高分組為 PH；低分組為 PL)，再根據難度指數公式($P = (PH - PL) / 2$)計算出試題難度，本研究之原子模型概念試題難度分析如表 3-4-3，難易度平均為 0.44，顯示試題屬於難易適中。而在鑑別度分析的部分，為計算各題的鑑別指數(D)，其公式為 $D = PH - PL$ ，根據分析之後，本試題之鑑別度如表 3-4-4 所示，平均鑑別度為 0.36，顯示試題評量是可信的。

表 3-4-3 原子模型概念試題難度分析表

難度指數	試題評鑑	題目
0.7~0.89	易	10、22
0.6~0.69	中等偏易	13、15、18、20、21、25、26、27
0.4~0.59	難易適中	4、6、7、8、14、16、19、23、24、28、29、30
<0.4	難	1、2、3、5、9、11、12、17

表 3-4-4 原子模型概念試題鑑別度分析表

鑑別度指數	試題評鑑	題目
0.40 以上	非常優良	1、9、10、11、16、17、18、19、20、21、24、25
0.3~0.39	優良	2、3、4、5、6、7、8、12、13、14、15、22、23、 26、27、28、29、30

二、 原子模型建模能力試題

建模能力試題主要為檢測學生閱讀一般文本與兩建模文本之前、後，其建模能力的發展與差異，以及對於原子模型之心智模式的分類。本試題主要採用張志康與邱美虹（2009）對於建模能力試題發展的要素，並參考邱美虹（2015）研究計畫中的原子建模能力試題，經由設計而成為本研究之建模能力試題。其中，建模能力為根據邱美虹（2014）研究所提出的建模歷程指標（Modeling Process Indicators, MPI），配合各原子模型的內容及建模歷程，發展出包含四大原子模型（道耳頓原子模型、湯姆森原子模型、拉塞福原子模型、波耳原子模型）的建模能力試題，最後，亦包含了原子模型發展的整合題，透過原子模型發展的學習，針對道耳頓原子說的修正為何，以及各模型前後之轉換修正的內容為何。本建模能力試題共計為 19 題之開放性問題，以上的內容如表 3-4-5 的建模能力之雙向細目表所示，而詳細之建模能力試題請參見附錄五。

本研究之試題是經由兩位化學科專家進行審查，共同建立本試題之效度，並透過專家審查之結果與建議，進行本試題之修改，而後進行本建模能力試題之預試。預試對象為高三年級兩班學生，共計 96 名學生，於高一時已學過原子模型相關概念，更依據預試結果修改試題內容，最後完成本研究正式之原子模型建模能力試題，其信度為.858。

表 3-4-5 原子模型建模能力試題之雙向細目表

原子模型	建模歷程	主要概念	題號	題數
道耳頓 原子說	模型選擇	選擇道耳頓原子模型的成分：原子（微小粒子）	1-1	4
	模型建立	建立道耳頓原子模型的成分與關係：原子為不可再分割的粒子	1-2	
		化合物中組成元素的質量恆成固定之比例（定比定律）		
	模型建立	若兩元素可以生成兩種或兩種以上的化合物時，當其中一種元素的質量固定，則另一元素的質量比恆為簡單整	1-3	

		數比（倍比定律）	
		化學變化發生時，反應前後總質量相等（質量守恒定律）	
湯姆森 原子模型	模型修正	1. 原子可再被分割成電子、原子核（質子、中子） 2. 因元素有同位素（質子數相同，中子數不同）的存在，所以同一元素原子的質量不一定相同 3. 因核反應及放射性蛻變現象之產生，證明原子在和反應中可分裂或融合成新的原子，所以原子可以被毀壞，也可以被創造	5-1
	模型選擇	選擇湯姆森原子模型的成分：電子、正電團	2-1
	模型建立	成分與關係的建立：原子為一帶正電的球體，其中帶負電的電子均勻分布於其中	2-2
	模型分析	由實驗數據結果，計算分析電子電量的相關問題	2-3
	模型修正	電子的發現，修正道耳頓原子說之原子不可分割的理論	2-4
拉塞福 原子模型	模型應用	湯姆森實驗結果於拉塞福 α 粒子散射實驗，其結果為 α 粒子完全穿透金屬片，在螢光屏幕上聚集成一點發光	3-1
	模型效化	拉塞福於 α 粒子散射實驗中，與湯姆森實驗結果不同原因為拉塞福發現體積小質量大且帶正電的原子核存在	3-2
	模型修正	原子核的發現→質子的發現→中子的發現，修正拉塞福提出的核型模型	3-3
	模型選擇	選擇拉塞福原子模型的成分：電子、原子核	3-4
	模型建立	成分與關係的建立：原子由帶負電的電子環繞帶正電的原子核所組成，其中，原子核由不帶電的中子與帶正電的質子所組成	3-5
波耳 原子模型	模型效化	根據古典電磁理論，拉塞福的原子模型其環繞之電子會因為不段放出能量而撞上原子核，但事實上大部分的原子均呈現穩定狀態	3-6
	模型修正	需要有特定軌道（能階），電子吸收或放出能量進行能階的躍遷，維持原子的穩定	3-7
	模型選擇	選擇波耳原子模型的成分：電子、原子核	4-1
	模型建立	成分與關係的建立：電子在特定能階中繞原子核作圓周運動，並不吸收或發射電磁波， $n=1$ 時， E 最小，軌道最靠近原子核，此時能量最低	4-2

原子模型 的發展 整合題	模型效化	比較波耳與拉塞福原子模型之間的差異（成分相同、關係不同）	4-3	
	模型轉換	原模子模型發展順序：道耳頓原子說→湯姆森西瓜模型→拉塞福行星模型→波耳氫原子模型		
	模型建立	1. 道耳頓原子說：不可分割的最小原子 2. 湯姆森西瓜模型：發現帶負電的電子均勻分布於正電團之中 3. 拉塞福行星模型：發現原子中有一質量大體積小且帶正電的原子核存在，其電子為圍繞在原子核外 4. 波耳氫原子模型：假設電子以特定軌道繞原子核進行圓周運動	5-2	1
	模型修正	1. 湯姆森透過 <u>陰極射線實驗</u> 發現電子的存在，而推翻修正道耳頓原子不可分割的理論 2. 拉塞福透過 α 粒子散射實驗發現原子核存在，並修正了湯姆森所提出的西瓜模型 3. <u>違背古典電磁理論</u> ，原子不會像拉塞福的行星模型的電子最後會撞上原子核，因此波耳提出氫原子模型來解決		

然而，本研究也針對原子模型建模能力試題的難易度與鑑別度進行分析，其結果如下：原子模型建模能力試題難度分析如表 3-4-6 所示，本試題之難易度平均為 0.39，也顯示出試題的難度屬於偏難。而鑑別度分析的結果如表 3-4-7 所示，原子模型建模能力試題之平均鑑別度為 0.32，顯示出本研究之建模能力試題評量是可信的。

表 3-4-6 原子模型建模能力試題難度分析表

難度指數	試題評鑑	題目
0.7~0.89	易	1-1、2-1

0.6~0.69	中等偏易	1-2、2-4、3-4
0.4~0.59	難易適中	1-3、3-3、3-5、3-7、4-1、5-1
<0.4	難	2-2、2-3、3-1、3-2、3-6、4-2、4-3、5-2

表 3-4-7 原子模型建模能力試題鑑別度分析表

鑑別度指度	試題評鑑	題目
0.40 以上	非常優良	1-3、2-1、3-5、3-6、5-2
0.3~0.39	優良	1-1、1-2、2-1、2-4、3-1、3-2、3-3、3-4、3-7、4-1、 4-2、4-3
0.3 以下	尚可	2-3、5-1

三、 原子模型建模能力之半結構式晤談

本研究建模能力之晤談主要為針對建模能力試題之內容進行半結構式晤談，可參見附錄五之原子模型建模能力試題，分別於閱讀一般文本與兩建模文本之前、後，進行兩次晤談，每次晤談學生約 30-40 分鐘，每位學生均回答相同之問題，主要為深入探討學生對於原子模型的建模能力為何，其中會要求學生對於建模能力試題之答案進行說明，必要時，會要求學生進行繪圖說明，以深入了解學生的想法，而後，得以比較三組學生於閱讀文本之後，對於原子模型建模能力的差異。

第五節 資料分析與處理

本研究的資料以量化測驗試卷及晤談為主，分別有「原子模型概念試題」、「原子模型建模能力試題」及「原子模型建模能力之半結構式晤談」，以分析三組學生對於原子模型概念的成效、心智模式以及學生的建模能力，輔以質性資料之建模能力晤談分析學生之建模能力。依據本研究之目的及問題，將以四大部分進行說明其資料的分析與處理，第一為原子模型概念試題前、後測分析；第二為原子模型建模能力試題前、後測之建模能力分析；第三為原子模型建模能力試題前、後測之心智模式分析；第四為建模能力試題之半結構式晤談分析，其資料與分析對應研究問題整理如表 3-5-1 所示，並且茲分述如下：

表 3-5-1 研究問題與其對應分析方法表

研究問題	分析內容	統計方法
1.十年級學生透過一般文本/內隱式建模文本/外顯式建模文本的閱讀，對於 <u>原子模型概念</u> 的學習成效為何？	➤ 原子模型概念試題 i. 三組整題概念前、後測 ii. 三組四大原子模型概念前、後測	➤ 無母數分析（Kruskal-Wallis Test） ➤ 無母數分析（Wilcoxon Signed-Rank Test） ➤ 共變數分析（ANCOVA）
2.十年級學生透過一般文本/內隱式建模文本/外顯式建模文本的閱讀，學生的 <u>心智模式</u> 分布與轉變情形為何？	➤ 原子模型建模能力試題 i. 三組前、後測之心智模式分布與轉變情形	無 （進行資料編碼與分類）
2.十年級學生透過一般文本/內隱式建模文本/外顯式建模文本的閱讀，學生的 <u>建模能力</u> 的表現為何？	➤ 原子模型建模能力試題 i. 三組建模能力前、後測 ii. 三組各建模歷程之建模能力前、後測 ➤ 原子模型建模能力晤談 i. 三組各建模歷程之建模能力前、後晤談	➤ 無母數分析（Kruskal-Wallis Test） ➤ 無母數分析（Wilcoxon Signed-Rank Test） ➤ 共變數分析（ANCOVA） ➤ 建模能力晤談質性分析（逐字稿）

一、 原子模型概念試題前、後測分析

由於本研究各組樣本數為小樣本(<30 人)，因此，採用無母數分析進行本研究的資料分析，以下為診斷學生原子模型概念理解的成效：

1. 計算學生原子模型概念測驗試卷之前測總分，利用 SPSS 統計軟體進行無母數分析 (Kruskal-Wallis Test)，比較三組學生的前測表現是否有差異。
2. 利用 SPSS 統計軟體進行無母數分析 (Wilcoxon Signed-Rank Test)，比較三組的前、後測是否達顯著差異 (組內比較)。
3. 利用 SPSS 統計軟體進行共變數分析 (ANCOVA)，比較三組學生原子模型概念之前、後測是否有顯著進步 (組間比較)。
4. 接著，進一步分析四大原子模型之前、後測概念理解的成效，以上述資料分析步驟對四大原子模型之前、後總分進行組內與組間的比較。

二、 原子模型建模能力試題前、後測之建模能力分析

診斷學生原子模型建模能力試題之建模能力的表現：(相同採用無母數分析)

1. 計算學生原子模型建模能力測驗試卷之前測總分，利用 SPSS 統計軟體進行無母數分析 (Kruskal-Wallis Test)，比較三組學生的前測表現是否有差異。
2. 利用 SPSS 統計軟體進行無母數分析 (Wilcoxon Signed-Rank Test)，比較三組的前、後測是否達顯著差異 (組內比較)。
3. 利用 SPSS 統計軟體進行共變數分析 (ANCOVA)，比較三組學生原子模型概念之前、後測是否有顯著進步 (組間比較)。
4. 接著，進一步分析各建模歷程之前、後測概念理解的成效，上述資料分析步驟對各建模歷程之前、後總分進行組內與組間的比較。

三、 原子模型建模能力試題前、後測之心智模式分析

心智模式的分類主要依據「原子模型之建模能力試題」中，各原子模型的「模型選擇」及「模型建立」題（第 1-1、1-2、1-3、2-1、2-2、3-4、3-5、4-1、4-2 題，共九題），再藉由原子模型發展之科學史之「成分與關係」特徵(如表 3-5-2)及「原子核的發展」(拉塞福原子核之發現 1911 年→波耳氫原子模型 1913 年→拉塞福發現質子 1919 年→查克發現中子 1932 年)，將原子模型區分為十一個心智模式，其中，拉塞福及波耳原子模型為平行的關係，是由於在原子核的發展上，拉塞福及波耳原子模型並沒有如科學史的發展，有高低、先後的區別，因此，本研究加入了「原子核發展」的面相，對原子模型心智模式做不同層面的分類，可分為「初始原子模式(I)」、「道耳頓原子模式(D)」、「道耳頓-湯姆森原子混合模式(D-T)」、「湯姆森原子模式(T)」、「湯姆森-拉塞福原子混合模式(T-R)」、「湯姆森-波耳原子混合模式(T-P)」、「拉塞福原子模式(R)」、「波耳原子模式(P)」、「進階拉塞福原子模式(AR)」、「進階波耳原子模式(AP)」、「科學模式(S)」，相關內容如表 3-5-3 所示，而原子模型心智模式分類結構式意圖可參見圖 3-5-1。

表 3-5-2 各原子模型發展之「成分與關係」

原子模型	成分與關係說明	
道耳頓原子模型	成分	原子
	關係	一切物質皆由原子組成，其不可再分割
湯姆森原子模型	成分	正電團、電子
	關係	帶負電的電子均勻分布在正電團中
拉塞福原子模型	成分	原子核、電子
	關係	帶負電的電子隨機環繞於帶正電之原子核外，最後電子會撞上原子核
波耳原子模型	成分	原子核、電子
	關係	帶負電電子在特定軌道中繞著帶正電之原子核作圓周運動

續表 3-5-2

科學模式(薛丁格	成分	原子核(質子、中子)、電子
電子雲模式)	關係	電子運動軌跡無法預測，因此電子出現 90%的空間為電子的軌域

表 3-5-3 原子模型心智模式分類

心智模式類型	心智模式類型說明
原子初始模式	未能完全正確指出四大原子模型(道耳頓、湯姆森、拉塞福及波耳原子模型)之組成成分及成分的關係，但有成分之相關概念
道耳頓原子模式	已形成 <u>正確之道耳頓原子模型之組成成分，以及成分的關係</u> ，但未能建立正確之湯姆森、拉塞福及波耳原子模型的組成成分及其關係
道耳頓-湯姆森 原子混合模式	具有 <u>道耳頓原子模型之正確組成成分(原子)及關係</u> ，也形成 <u>部分正確之湯姆森原子模型的組成成分(正電團及電子)及關係</u> ，但未能建立正確之湯姆森、拉塞福及波耳原子模型的組成成分及成分之間的關係
湯姆森原子模式	已形成 <u>正確之湯姆森原子模型之組成成分，以及成分的關係</u> ，但未能建立正確之拉塞福及波耳原子模型的組成成分及成分之間的關係
湯姆森-拉塞福 原子混合模式	已形成 <u>正確之正確湯姆森原子模型之正確組成成分，以及成分的關係</u> ，具有 <u>拉塞福正確成分</u> ，但未能建立拉塞福原子模型之正確的關係
湯姆森-波耳 原子混合模式	已形成 <u>正確之正確湯姆森原子模型之正確組成成分，以及成分的關係</u> ，具有 <u>波耳正確成分</u> ，但未能建立波耳原子模型之正確的關係
拉塞福原子模式	已形成 <u>正確之拉塞福原子模型之組成成分，以及成分的關係</u>
波耳原子模式	已形成 <u>正確之波耳原子模型之組成成分，以及成分的關係</u>
進階拉塞福原子模式	已形成 <u>正確之拉塞福原子模型之組成成分，以及成分的關係</u> ，也具有 <u>進階的組成成分，如質子和中子</u>
進階波耳原子模式	已形成 <u>正確之波耳原子模型之組成成分，以及成分的關係</u> ，也具有 <u>進階的組成成分，如質子和中子</u>
科學模式 (薛丁格電子雲模型)	已形成 <u>正確的科學原子模型(薛丁格電子雲模型)之組成成分，以及其關係</u>

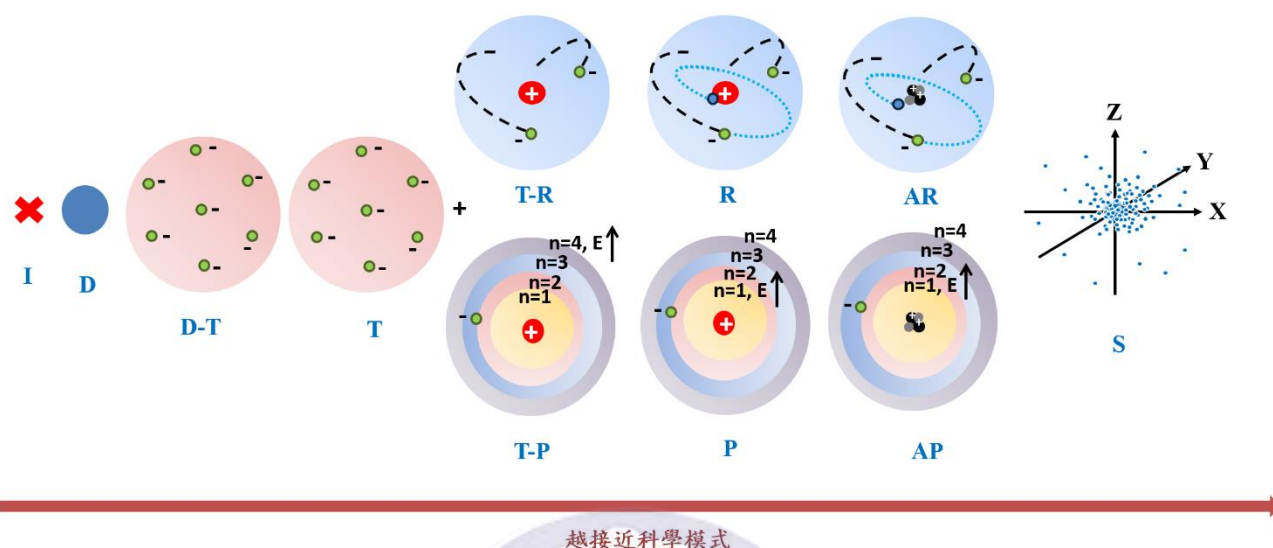


圖 3-5-1 心智模式分類結構示意圖

其中，研究者認為要具有該原子模型之心智模式，應對於其原子模型之「成分」與「關係」有正確的理解，才可歸類到其心智模式下，也就是說，有了該原子模型之「成分」的概念，但其「關係」沒有正確的理解，就不具有該原子模型的心智模式，因此，就算學生有達到正確的道耳頓、湯姆森、拉塞福或波耳原子模型之「成分」，其「關係」沒有正確的理解，都應歸於「初始原子模式」，其他心智模式說明可參閱表 3-5-3。並於前、後測進行各組學生之心智模式的編碼與分類，更進一步進行比較三組學生之心智模式的分布與轉變情形。

四、建模能力試題之半結構式晤談分析

本研究晤談資料來自於原子模型建模能力之半結構式晤談資料，將 12 位學生之前、後晤談的內容轉錄成逐字稿進行分析，為求其客觀性，本研究將晤談內容與逐字稿部分以及建模試題的內容，與一位化學教師進行檢視。

第肆章 研究結果

本研究設計編排了三種以原子模型單元為主要單元內容的文本，分別為「一般文本」、「內隱式建模文本」，以及「外顯式建模文本」，並探討三組學生透過不同文本的閱讀，進一步了解學生對於原子模型概念之學習成效、原子模型心智模式的分布與演變情形，及原子模型建模能力試題之學習成效。

其中，原子模型概念的表現，以本研究所發展之「原子模型概念試題」為研究工具，除了總得分之外，亦根據本研究所設計之雙向細目表，將評量中的試題分別依「原子模型的發展」分成四大原子模型，分別為道耳頓原子模型、湯姆森原子模型、拉塞福原子模型、波耳原子模型，進一步進行探討與討論。

而心智模式的分布與演變則依據本研究工具之一的「原子模型建模能力試題」之「模型選擇」與「模型建立」題，進行心智模式的編碼與分類，更進一步分析比較各組學生對於原子模型心智模式的演變途徑。

最後，建模能力的分析則分成兩大部分，第一部分以分析「原子模型建模能力試題」之總得分之建模能力的表現，更進一步以四大原子模型進行探討各建模歷程之建模能力；第二部分以「原子模型建模能力試題之半結構式晤談」為主，輔以說明三組學生在各建模歷程的建模能力表現情形。

依據本研究之研究目的與研究問題，就所蒐集之資料進行分析、探討與結果討論，以回應本研究之研究問題，因此，本章將分為六節，第一節與第二節將針對本研究問題一，呈現三組文本組別於原子模型概念之整體得分及四大原子模型之前、後測的差異；第三節則比較各組學生在閱讀文本之前、後，對於原子模型心智模式的分布與演變情況，以回應本研究問題二；第四節、第五節及第六節，將回應本研究問題三，呈現三組文本組別於前、後測之建模能力表現的影響。

第一節 原子模型概念試題之學習成效分析

本節以「原子模型概念測驗」前、後測之總成績進行 SPSS 統計分析，透過各組文本的閱讀，比較三組學生對於原子模型概念表現的差異，以了解學生閱讀前、後對於原子模型概念學習成效之影響。

一、比較三組學生於文本閱讀前之原子模型概念(前測)

由於本研究各組的樣本數屬於小樣本，因此，本研究以無母數 K-W 檢定(Kruskal-Wallis test) 比較三組學生於文本閱讀前之原子模型概念(前測)總分，結果如表 4-1-1 所示，三組 K-W 檢定的分析皆未達顯著差異(卡方值 $X^2=1.511$ ，自由度=2， $p=.470>.05$)，也就是說，三組學生在文本閱讀之前，對於原子模型概念的認知差異不大。

表 4-1-1 原子模型概念測驗之前測總分 K-W 檢定

組別	平均分數	標準差	標準誤	卡方值	顯著性
一般文本組(N=12)	25.20	7.36	2.12	1.511	.470
內隱式建模文本組(N=12)	26.58	7.19	2.01		
外顯式建模文本組(N=12)	22.73	7.24	2.01		

二、比較三組學生於文本閱讀後之原子模型概念(後測)

在文本閱讀之後，比較三組學生前、後測總分的差異(組內)，以 SPSS 進行無母數 Wilcoxon 符號等級檢定，結果如表 4-1-2 所示。從表 4-1-2 Wilcoxon 符號等級檢定的結果顯示，三組文本組別於原子模型概念測驗之後測的平均分數在直觀上有明顯的差異，其後測平均分數最高的為「外顯式建模文本組」(43.90 分)；其次為「內隱式建模文本組」(43.63 分)；最低為「一般文本

組」(39.23 分)。而三組學生對於原子模型概念的理解之顯著性(p 值)均小於 0.01，均達統計上的顯著差異，也就是說，三個文本組別(一般文本組、內隱式建模文本組及外顯式建模文組)的學生於原子模型概念測驗試題上的表現皆有顯著的進步。

表 4-1-2 不同組別之學生閱讀文本前後原子模型概念表現之 Wilcoxon 符號等級檢定

組別	N	前測(總分 100 分)		後測(總分 100 分)		Z	p
		平均	標準差	平均	標準差		
一般文本組	12	25.20	7.36	39.23	7.89	-3.884	.002**
內隱式建模文本組	12	26.58	7.19	43.63	10.76	-3.077	.002**
外顯式建模文本組	12	22.73	7.24	43.90	10.99	-3.063	.002**

** $p < .01$

接著，為比較不同文本對於原子模型概念上的理解是否有差異(組間)，要先排除前測成績對後測造成的影響，也就是說，不同組別的學生，閱讀文本之前其原子模型概念知識的高低可能會影響閱讀學習結果，因此，本研究利用單因子共變數分析(ANCOVA)作為主要的分析方式，以調整組別間學生前測知識的影響。然而，在比較文本組別與原子模型概念間是否存有交互作用之前，必須先進行組間回歸係數同質性檢定，確認原子模型概念知識(前測)是否可作為共變項。

本研究將原子模型概念後測分數作為依變項，前測作為共變項，自變項即為文本組別，將文本組別與前測成績進行組間回歸係數同質性檢定，考驗文本組別與共變項(前測)間是否達顯著的交互作用，結果如表 4-1-3 所示。顯示自變項與共變項的交互作用變項 $F(2,30)=1.16$ ， $p=.327$ ，未達顯著水準，也就是說，學生原子模型概念知識(前測)與後測成績間的關係，不會受到文本組別的不同而有所差異，因此，原子模型概念測驗之前測成績可作為校正後測表現之共變項。

表 4-1-3 「文本組別」與「概念先備知識(前測)」組間回歸係數同質性檢定摘要表

變異來源	第 III 類平方和	自由度 df	平均值平方	F	顯著性
迴歸係數(組間)	132.45	2	66.22	1.16	.327
誤差(組內)	1713.77	30	57.126		

而表 4-1-4 則為「文本組別」與「原子概念測驗後測」之單因子共變數(ANCOVA)分析，結果顯示三組組間未達顯著差異($F(2,32)=2.45$ ， $p=.103$)，表示不同的文本之間並不會影響學生原子模型概念的學習成效。

表 4-1-4 文本組別與原子概念測驗後測之單因子共變數(ANCOVA)分析

變異來源	第 III 類平方和	自由度 df	平均值平方	F	顯著性
文本組別	282.14	2	141.07	2.45	.103
誤差	1846.22	32	57.69		

三、小結與討論

綜合上述的分析與結果，閱讀文本之前，三組學生對於原子模型概念和先備知識是相近的。而在閱讀文本之後，三組學生於原子模型概念測驗之後測與前測相較之下，均有達顯著的進步，如圖 4-1-1，也就是說，三種文本的閱讀是有助於學生原子模型概念的學習，也達一定的成效，亦顯示出此三種文本各有其不同的優勢，皆能提升學生原子模型整體概念上的理解，但就促進原子模型整體概念理解的程度上，三組之間並無明顯的優劣，而造成未能比較出不同文本間的顯著差異，此結果從學習成效方面來看，表示三種文本皆能提升原子模型發展的單元概念，對於教育上而言，也是一個好的結果，表示原子模型發展的單元內容不管透過哪一種文本的閱讀，都對於

學生學習原子模型概念上有所幫助。

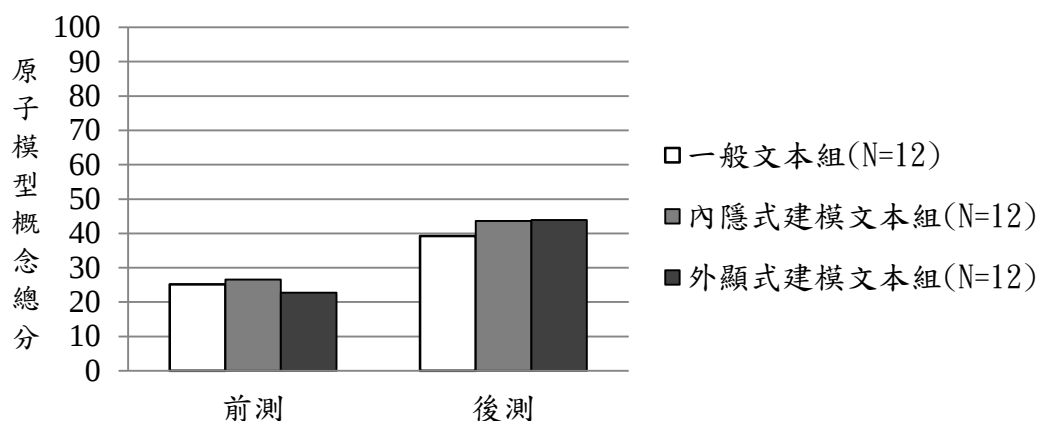


圖 4-1-1 三組原子模型概念測驗之前、後測平均分數

第二節 概念試題之四大原子模型之學習成效分析

在第一節已初步分析比較了三組文本組別於整體原子模型概念測驗之前、後測，而本節則依據各原子模型之概念進行三組文本組別之前、後測分析與比較，亦即從道耳頓原子模型、湯姆森原子模型、拉塞福原子模型及波耳原子模型之各概念前、後測之總分成績進行 SPSS 統計分析，透過各組文本的閱讀，比較三組學生對於四大原子模型概念表現的差異，以了解學生閱讀前、後四大原子模型概念學習成效之影響。

一、比較三組學生於文本閱讀前之四大原子模型概念(前測)

為了進一步了解三組文本組別學生在閱讀前對於各原子模型概念的認知是否有所差異，將三組學生在「道耳頓原子模型」、「湯姆森原子模型」、「拉塞福原子模型」與「波耳原子模型」的前測總分，進行無母數 K-W 檢定(Kruskal-Wallis test)，結果如表 4-2-1 所示。由表 4-2-1 可知，

三組文本組別之學生在四大原子模型概念的顯著性皆未達顯著差異(道耳頓：卡方值 $X^2=4.110$ ，自由度=2， $p=.128>.05$ ；湯姆森：卡方值 $X^2=3.878$ ，自由度=2， $p=.144>.05$ ；拉塞福：卡方值 $X^2=3.051$ ，自由度=2， $p=.218>.05$ ；波耳：卡方值 $X^2=3.984$ ，自由度=2， $p=.136>.05$)，意即三組學生在閱讀文本之前，對於各原子模型概念的認知是差異不大的。

表 4-2-1 四大原子模型概念之前測總分 K-W 檢定

次概念	組別	平均分數	標準差	標準誤	卡方值	顯著性
道耳頓	一般文本組(N=12)	5.77	3.48	1.01	4.110	.128
原子模型 (26.4 分)	內隱式建模文本組(N=12)	8.80	3.25	0.94		
	外顯式建模文本組(N=12)	6.60	4.45	1.28		
湯姆森	一般文本組(N=12)	8.53	3.84	1.11	3.878	.144
原子模型 (26.4 分)	內隱式建模文本組(N=12)	7.15	3.68	1.06		
	外顯式建模文本組(N=12)	5.23	3.58	1.03		
拉塞福	一般文本組(N=12)	6.33	4.33	1.25	3.051	.218
原子模型 (26.4 分)	內隱式建模文本組(N=12)	4.95	3.30	0.95		
	外顯式建模文本組(N=12)	7.98	4.09	1.18		
波耳	一般文本組(N=12)	3.58	2.97	0.86	3.984	.136
原子模型 (19.8 分)	內隱式建模文本組(N=12)	4.68	3.84	1.11		
	外顯式建模文本組(N=12)	1.93	2.62	0.76		

註：次概念(次概念總分)

二、比較三組學生於文本閱讀後之四大原子模型概念(後測)

為了解三組文本組別之學生在閱讀文本之前、後，於各原子模型概念的學習成效(組內)，分別對四大原子模型概念的前、後總分以 SPSS 進行無母數 Wilcoxon 符號等級檢定，結果如表 4-2-2 所示。首先，從表 4-2-2 可以直觀得知在道耳頓原子模型概念中，後測平均分數最高者為「一

般文本組」(11.00 分)；在湯姆森原子模型概念中，後測平均分數最高者為「內隱式建模文本組」(11.83 分)；在拉塞福原子模型概念與波耳原子模型概念中，後測平均分數最高者皆為「外顯式建模文本組」(13.20 分；8.80 分)，亦顯示出，外顯式建模文本組的學生在拉塞福原子模型與波耳原子模型概念的後測成績上，是優於其他兩組(一般文本組與內隱式建模文本組)。

而三組學生對於各原子模型概念前、後具體分數(學習成效)之顯著性，分述如下：

首先，於「道耳頓原子模型概念」的學習成效之顯著性之結果，僅有一般文本組有達顯著差異($p=.015<.05$)，內隱式及外顯式建模文本組在此概念的學習成效上是沒有達顯著差異，也就是說，閱讀一般文本的學生，能夠在道耳頓原子模型概念上有顯著的進步，其他兩組雖然沒有達顯著差異，但在前、後測平均分數比較之下，也是有所進步的。

「湯姆森原子模型概念」的學習成效之顯著性結果，僅有一般文本組未達顯著差異，內隱式及外顯式建模文本組均達顯著差異(內隱式 $p=.004<.01$ ；外顯式 $p=.009<.01$)，意即閱讀建模文本之學生，在此原子模型概念上有顯著的進步，但整體而言，三組學生的後測平均分數均大於前測平均分數。

「拉塞福原子模型概念」的學習成效之顯著性結果，為內隱式及外顯式建模文本組均達顯著差異(內隱式 $p=.004<.01$ ；外顯式 $p=.007<.01$)，一般文本組則未達顯著差異，也就是說閱讀建模文本的學生，在拉塞福原子模型概念上有顯著的進步，但相同的，三組學生在前、後測平均分數上，後測成績比前測成績皆是有進步。

最後，「波耳原子模型概念」的學習成效之顯著性結果，一般文本組與外顯式建模文本組皆達顯著差異(一般 $p=.027<.05$ ；外顯式 $p=.002<.01$)，內隱式建模文本組則沒有達顯著差異，但三組在後測平均分數是進步於前測成績。

綜合以上，四大原子模型概念的學習成效之顯著性結果顯示，不同文本對於不同原子模型之

概念理解上均有不同的優勢與顯著進步，但整體後測平均分數均大於前測平均分數。

表 4-2-2 不同組別之學生閱讀文本前後各原子模型概念表現之 Wilcoxon 符號等級檢定

次模型	組別	N	前測		後測		Z	p
			平均	標準差	平均	標準差		
道耳頓	一般文本組	12	5.77	3.48	<u>11.00</u>	5.14	-2.435	.015*
原子模型 (26.4 分)	內隱式建模文本組	12	8.80	3.25	10.18	2.62	-1.155	.248
	外顯式建模文本組	12	6.60	4.45	9.35	4.63	-1.925	.054
湯姆森	一般文本組	12	8.52	3.84	10.45	3.94	-1.508	.132
原子模型 (26.4 分)	內隱式建模文本組	12	7.15	3.68	<u>11.83</u>	4.76	-2.859	.004**
	外顯式建模文本組	12	5.23	3.58	11.55	4.97	-2.594	.009**
拉塞福	一般文本組	12	6.33	4.33	9.63	5.35	-1.799	.072
原子模型 (26.4 分)	內隱式建模文本組	12	4.95	3.30	12.38	5.29	-2.842	.004**
	外顯式建模文本組	12	7.98	4.09	<u>13.20</u>	5.63	-2.701	.007**
波耳	一般文本組	12	3.58	2.97	7.15	4.63	-2.209	.027*
原子模型 (19.8 分)	內隱式建模文本組	12	4.68	3.84	8.25	3.59	-1.723	.085
	外顯式建模文本組	12	1.93	2.62	<u>8.80</u>	2.93	-3.088	.002**

註：_____為最高分；* $p < .05$ ，** $p < .01$

為比較不同文本對於各原子模型概念上的理解是否有差異(組間)，相同的要排除閱讀文本之前測對後測所造成的影響，因此，透過單因子共變數分析(ANCOVA)分別比較各原子模型之文本組別與各原子模型概念間是否有交互作用，而在此之前，本研究將各原子模型概念後測分數作為依變項，前測作為共變項，自變項即為文本組別，將文本組別與前測成績進行組間回歸係數同質性檢定，考驗文本組別與共變項(前測)間是否達顯著的交互作用，結果如表 4-1-3 所示。顯示四大原子模型之自變項與共變項的交互作用變項皆未達顯著水準，也就是說，學生各原子模型概

念知識(前測)與後測成績間的關係，不會受到文本組別的不同而有所差異，因此，各原子模型概念測驗之前測成績均可作為校正後測表現之共變項。

表 4-2-3 「四大原子模型概念(前測)」與「文本組別」組間回歸係數同質性檢定摘要表

原子模型	變異來源	第 III 類平方和	自由度 df	平均值平方	<i>F</i>	<i>p</i>
道耳頓	迴歸係數(組間)	13.69	2	6.84	0.40	.373
原子模型	誤差(組內)	511.75	30	17.06		
湯姆森	迴歸係數(組間)	81.14	2	40.57	2.36	.111
原子模型	誤差(組內)	514.89	30	17.16		
拉塞福	迴歸係數(組間)	16.31	2	8.16	0.32	.729
原子模型	誤差(組內)	766.94	30	25.57		
波耳	迴歸係數(組間)	49.37	2	24.68	1.76	.189
原子模型	誤差(組內)	420.01	30	14.00		

表 4-2-4 則為「文本組別」與「各原子概念測驗後測」之單因子共變數(ANCOVA)分析，結果顯示在四大原子模型概念中，三組組間未達顯著差異(道耳頓 $F(2,32)=0.93$ ， $p=.405$ ；湯姆森 $F(2,32)=1.08$ ， $p=.351$ ；拉塞福 $F(2,32)=1.67$ ， $p=.205$ ；波耳 $F(2,32)=0.64$ ， $p=.535$)，表示不同的文本並不會影響學生四大原子模型概念的學習成效。

表 4-2-4 四大原子模型概念後測與文本組別之單因子共變數(ANCOVA)分析

原子模型	變異來源	第 III 類平方和	自由度 df	平均值平方	<i>F</i>	<i>p</i>
道耳頓原子模型	文本組別	30.58	2	15.29	0.93	.405
	誤差	525.44	32	16.42		
湯姆森原子模型	文本組別	40.30	2	20.15	1.08	.351
	誤差	596.02	32	18.63		

拉塞福原子模型	文本組別	81.58	2	40.79	1.67	.205
	誤差	783.26	32	24.48		
波耳原子模型	文本組別	18.71	2	9.35	0.64	.535
	誤差	469.38	32	14.67		

三、小結與討論

綜合此節的研究結果，各組在閱讀文本之前，對於各原子模型的概念知識差異不大。而在閱讀文本之後，各組在各原子模型概念的學習上，顯示不同的文本對於各原子模型概念的學習各有優勢，如圖 4-2-1、圖 4-2-2、圖 4-2-3，其中，「外顯式建模文本組」在湯姆森、拉塞福及波耳原子模型概念之學習成效上，均有顯著的進步；「內隱式建模文本組」在湯姆森與拉塞福原子模型概念之學習成效上有顯著差異；「一般文本組」在道耳頓與波耳原子模型概念之學習成效上有達顯著差異。此結果也顯示出，「外顯式建模文本組」的學生在四大原子模型概念上，有較多個原子模型概念之學習成效上達顯著差異，也就是說，外顯式建模文本能促進較完整之原子模型概念的學習，也達一定的成效。但就整體而言，各組在前、後測的平均上，後測成績皆有所進步，也顯示出三種文本在各原子模型概念上的理解皆有不同學習成效。

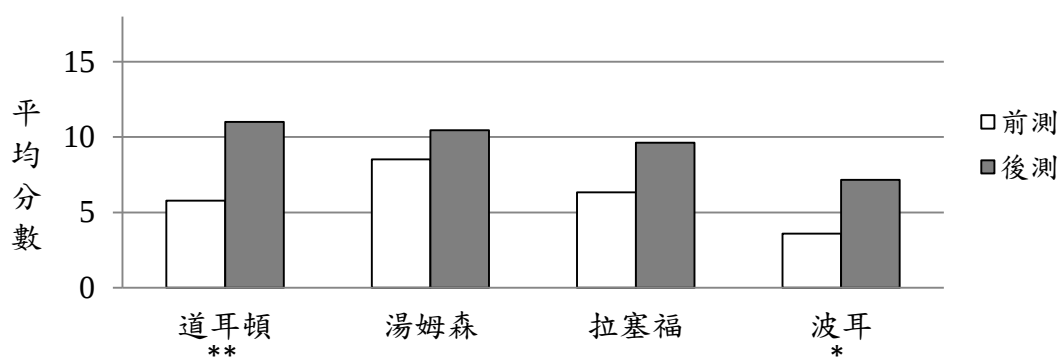


圖 4-2-1 「一般文本組」於各原子模型之前、後測平均分數(*為達顯著進步)

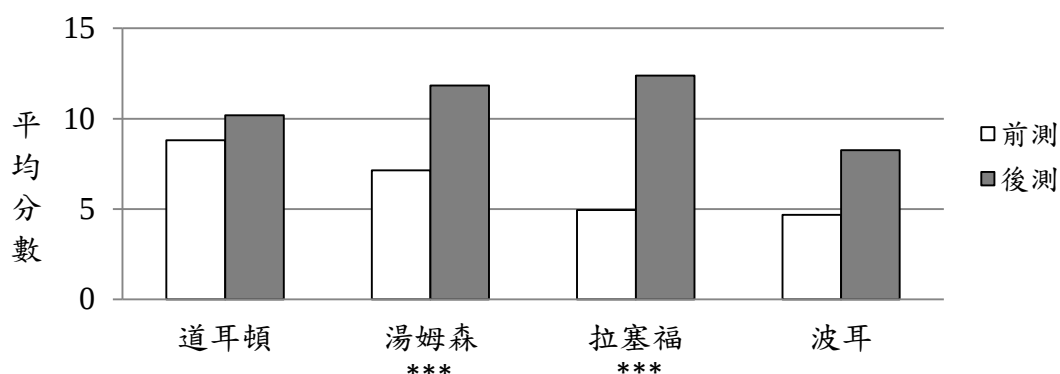


圖 4-2-2 「內隱式建模文本組」於各原子模型之概念前、後測平均分數(*為達顯著進步)

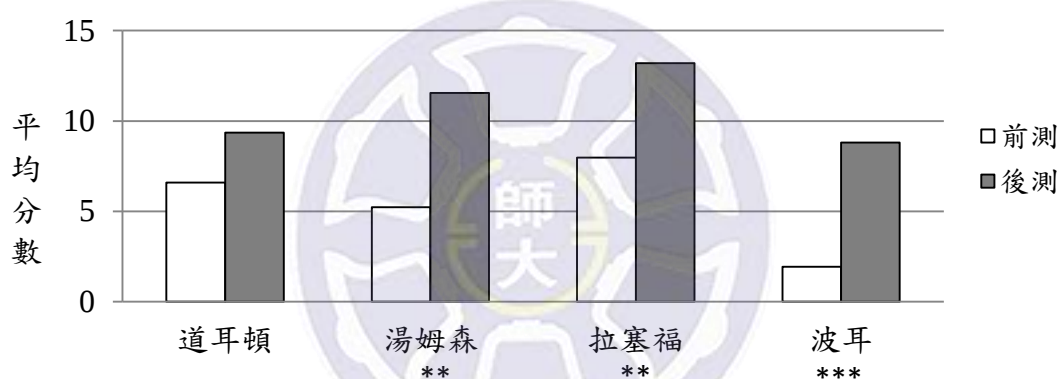


圖 4-2-3 「外顯式建模文本組」於各原子模型之概念前、後測平均分數(*為達顯著進步)

然而，在不同文本之間(組間)，對於促進各原子模型概念的學習成效，三組之間均未達顯著差異，意即，三種文本在四大原子模型概念上，是無法比較出文本之間的差異，但就學習成效的觀點來看，此結果也顯示出透過三種文本的閱讀，雖然無法突顯出哪個文本的優勢，但卻都能夠提升各原子模型的概念學習，這樣的結果對於各原子模型的概念內容而言，不管是透過哪種文本，都能夠有效的提升學生於各原子模型的概念，於教育上，也是亦是一個好的研究結果。

第三節 原子模型心智模式分析

本節主要分析三組學生於閱讀文本前、後，學生對於原子模型的心智模式分布及轉變情形。其中，心智模式的分類主要依據「原子模型之建模能力試題」中，各原子模型的「模型選擇」及「模型建立」題，再藉由原子模型發展的科學史之「成分與關係」特徵及「原子核的發展」，將原子模型區分為十一種主要的心智模式，分別為「初始原子模式(I)」、「道耳頓原子模式(D)」、「道耳頓-湯姆森原子混合模式(D-T)」、「湯姆森原子模式(T)」、「湯姆森-拉塞福原子混合模式(T-R)」、「湯姆森-波耳原子混合模式(T-P)」、「拉塞福原子模式(R)」、「波耳原子模式(P)」、「進階拉塞福原子模式(AR)」、「進階波耳原子模式(AP)」、「科學模式(S)」，其心智模式分析相關內容請參閱第三章第五節中的心智模式分析內容，以下則分別對三組學生於閱讀文本之前、後，原子模型心智模式的分布與轉變情形進行結果的分析，結果如下：

一、比較三組學生對於原子模型的心智模式分布情形(前測)

本研究為了瞭解三組學生之心智模式的轉變情形，因此，以 36 位學生於原子模型建模能力試題前測結果的心智模式分類作為分組依據，也就是說，可以清楚比較相同心智模式於閱讀文本後，其心智模式的轉變，因此，36 位學生於前測中對於原子模型的心智模式分類結果主要為「初始原子模式」及「道耳頓原子模式」(I：91.7%(33/36)；D：8.3%(3/36))，其中，有 33 位學生對於原子模型的心智模式為「初始原子模式」，有 3 位學生對於原子模型的心智模式為「道耳頓原子模式」，根據閱讀文本之前 36 位學生之心智模式，將擁有相同心智模式的學生分類到各組，其三組學生分組結果如表 4-3-1 所示。

表 4-3-1 三組學生前測之心智模式分布(%)

心智模式		一般文本組 (N=12)	內隱式建模文本組 (N=12)	外顯式建模文本組 (N=12)
I	原子初始模式	91.7 (11/12)	91.7 (11/12)	91.7 (11/12)
D	道耳頓原子模式	8.3 (1/12)	8.3 (1/12)	8.3 (1/12)
D-T	道耳頓-湯姆森原子混合模式	0	0	0
T	湯姆森原子模式	0	0	0
T-R	湯姆森-拉塞福原子混合模式	0	0	0
T-P	湯姆森-波耳原子混合模式	0	0	0
R	拉塞福原子模式	0	0	0
P	波耳原子模式	0	0	0
AR	進階拉塞福原子模式	0	0	0
AP	進階波耳原子模式	0	0	0
S	科學模式	0	0	0

註：數字顯示為百分比，()內為所占人數比

由表 4-3-1 顯示，各組均分配到的學生共有 12 位，其中有 11 位學生(91.7%)於閱讀文本之前，其心智模式屬於「初始原子模式」，也就是說，這 11 位學生對於各原子模型的「成分」、「關係」均沒有完全正確的概念或理解；而各組均有 1 位學生(8.3%)的心智模式屬於「道耳頓原子模式」，意即，這 1 位學生對於道耳頓原子模型之「成分」、「關係」均有正確的理解，整體而言，三組學生於閱讀文本之前，對於原子模型發展之心智模式的分布均屬於較低層級的心智模式，而三組學生前測原子模型之心智模式分布如圖 4-3-1 所示。

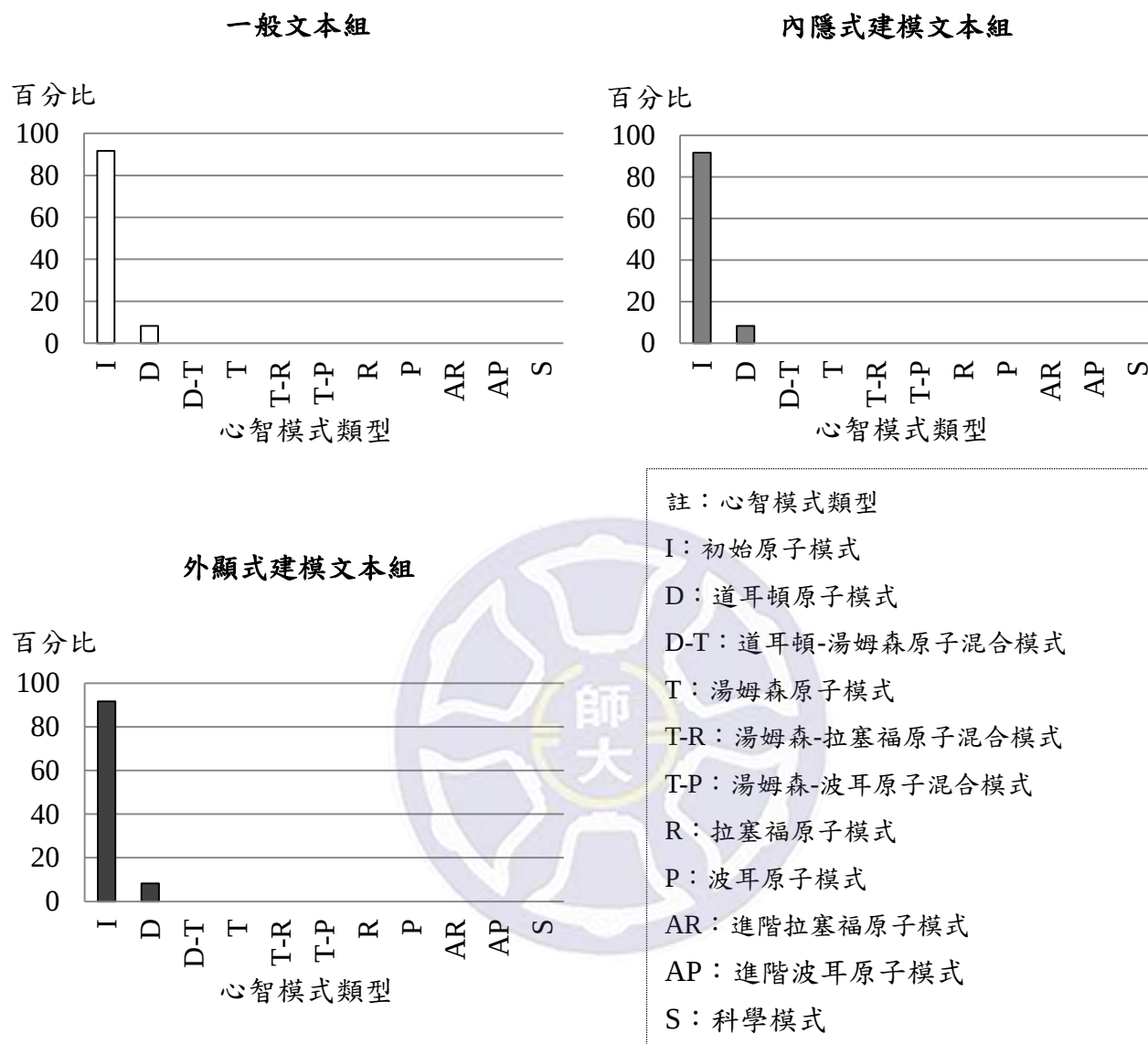


圖 4-3-1 三組學生原子模型前測之心智模式分布情形

二、比較三組學生對於原子模型的心智模式分布情形與轉變途徑(後測)

根據前測之心智模式的分組，各組學生在閱讀各自的文本之後，其心智模式的結果將分成兩部分進行探討，第一部分為比較三組學生於閱讀文本之前、後，對於原子模型之心智模式的分布情形；第二部分則進一步比較三組學生其對於原子模型之心智模式的轉變途徑，分述如下：

(一)比較三組原子模型的心智模式分布情形

經過各組學生於文本(一般文本、內隱式建模文本、外顯式建模文本)的閱讀之後，學生對於原子模型心智模式的分布與前測相較之下，均有明顯的不同，結果如表 4-3-2 與圖 4-3-2、圖 4-3-3、圖 4-3-4 所示。

表 4-3-2 顯示三組學生在閱讀文本之後，學生的心智模式在「初始原子模式」的百分比大幅減少(一般文本組：91.7→16.7%；內隱式建模文本組：91.7→25%；外顯式建模文本組：91.7→16.7%)。其中，一般文本組之「道耳頓原子模式」、「道耳頓-湯姆森原子混合模式」與「湯姆森-拉塞福原子混合模式」皆為增加(D：8.3→25%；D-T：0→58.3%；T-R：0→8.3%)；內隱式建模文本組在「道耳頓原子模式」的人數百分比是減少的(D：8.3→0%)，在「道耳頓-湯姆森原子混合模式」、「波耳原子模式」與「進階波耳原子模式」亦是明顯增加(D-T：0→50.0%；P：0→16.7%；AP：0→8.3%)；而在外顯式建模文本組中，其「道耳頓原子模式」之人數百分比亦是減少的(D：8.3→0%)，在「道耳頓-湯姆森原子混合模式」、「湯姆森原子模式」、「湯姆森-拉塞福原子混合模式」、「湯姆森-波耳原子混合模式」、「進階拉塞福原子模式」與「進階波耳原子模式」均有增加的趨勢(D-T：0→16.7%；T：0→16.7%；T-R：0→8.3%；T-P：0→8.3%；AR：0→25.0%；AP：0→8.3%)，綜合以上，可以發現三組學生在閱讀文本之後，初始原子模式均減少，其他心智模式均有增加的情況。

再者，由圖 4-3-2、圖 4-3-3、圖 4-3-4 顯示三組學生對於原子模型後測之心智模式的分布，「一般文本組」僅分布了四種心智模式，分別為「初始原子模式」(16.7%)、「道耳頓原子模式」(41.7%)、「道耳頓-湯姆森原子混合模式」(33.3%)與較接近科學模式的心智模式「湯姆森-拉塞福原子混合模式」(8.3%)，也就表示，閱讀一般文本的學生，依然有 16.7%的學生停留在初始原子模式，有 41.7%的學生能夠發展正確道耳頓成分與關係的原子心智模式(I)，而有 33.3%的學生能夠發展出正確道耳頓原子模型成分與關係的心智模式且部分正確的湯姆森原子模式(D-T)，僅有

少數 8.3% 的學生能夠發展出正確湯姆森原子模型成分與關係的原子模式且部分正確的拉塞福原子模式(T-R)，然而，圖 4-3-2 亦呈現出閱讀一般文本的學生，無法發展相關波耳原子模式，也就是說，閱讀一般文本之後，學生對於原子模型的心智模式的發展多停留在正確道耳頓原子模式、部分正確湯姆森原子模式，而無法發展至正確或進階拉塞福或波耳原子模式。

「內隱式建模文本組」則於後測的心智模式分佈為「初始原子模式」(25.0%)、「道耳頓-湯姆森原子混合模式」(50.0%)、「波耳原子模式」(16.7%)與較接近科學模式的心智模式「進階波耳原子模式」(8.3%)，共四種心智模式，也就是說，內隱式建模文本有 25.0% 學生的心智模式仍處於初始原子模式，有 50% 的學生分布在道耳頓-湯姆森原子混合模式，亦即有 50% 的學生能夠發展至正確道耳頓成分與關係的心智模式且部分正確湯姆森原子模型成分與關係的心智模式(D-T)，亦有 16.7% 的學生能夠發展至正確波耳原子模式，更有 8.3% 的學生能夠發展出進階且正確的波耳原子模式，但是從圖 4-3-3 顯示出閱讀內隱式建模文本的學生，無法發展至正確的拉塞福原子模式，也就是說，內隱式建模文本組的學生對於原子模型之心智模式的發展大多停留在較低階層的道耳頓原子模式且部分正確的湯姆森原子模式，少部分的學生能夠發展至較高階層的正确波耳原子模式。

而從圖 4-3-4 可以得知，「外顯式建模文本組」的心智模式分布有七種，分別有「初始原子模式」(16.7%)、「道耳頓-湯姆森原子混合模式」(16.7%)、「湯姆森原子模式」(16.7%)、「湯姆森-拉塞福原子混合模式」(8.3%)、「湯姆森-波耳原子混合模式」(8.3%)與較接近科學模式的心智模式的「進階拉塞福原子模式」(25.0%)、「進階波耳原子模式」(8.3%)，與一般文本組和內隱式建模文本組相較之下，外顯式建模文本組的學生能夠發展出較多種的心智模式，對於道耳頓、湯姆森、拉塞福及波耳原子模型之成分與關係有較正確的心智模式發展，以及在進階原子模式中，比其他兩組有更多的學生能夠分布於此(一般文本組 AR+AP:0%; 內隱式建模文本組 AR+AP:8.3%; 外顯式建模文本組 AR+AP:33.3%)。

表 4-3-2 三組之前、後測原子模型之心智模式分布

心智模式類型		一般文本組		內隱式建模文本組		外顯式建模文本組	
		前測	後測	前測	後測	前測	後測
I	初始原子模式	91.7 (11/12)	16.7 (2/12)	91.7 (11/12)	25.0 (3/12)	91.7 (11/12)	16.7 (2/12)
D	道耳頓原子模式	8.3 (1/12)	41.7 (5/12)	8.3 (1/12)	0	8.3 (1/12)	0
D-T	道耳頓-湯姆森 原子混合模式	0	33.3 (4/12)	0	50.0 (6/12)	0	16.7 (2/12)
T	湯姆森原子模式	0	0	0	0	0	16.7 (2/12)
T-R	湯姆森-拉塞福 原子混合模式	0	8.3 (1/12)	0	0	0	8.3 (1/12)
T-P	湯姆森-波耳 原子混合模式	0	0	0	0	0	8.3 (1/12)
R	拉塞福原子模式	0	0	0	0	0	0
P	波耳原子模式	0	0	0	16.7 (2/12)	0	0
AR	進階 拉塞福原子模式	0	0	0	0	0	25.0 (3/12)
AP	進階 波耳原模式	0	0	0	8.3 (1/12)	0	8.3 (1/12)
S	科學模式	0	0	0	0	0	0

註：各組人數各為 12 人，數字顯示為百分比，()內為所占人數比

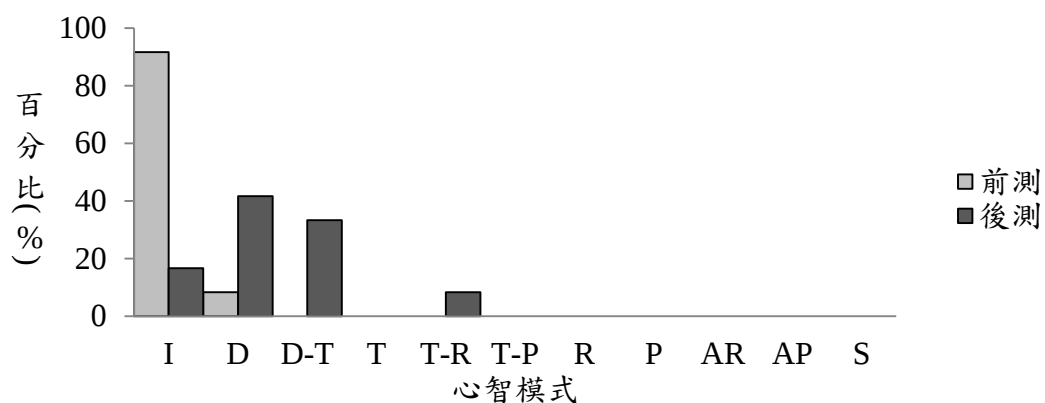


圖 4-3-2 「一般文本組」學生前、後測心智模式分布圖



圖 4-3-3 「內隱式建模文本組」學生前、後測心智模式分布圖

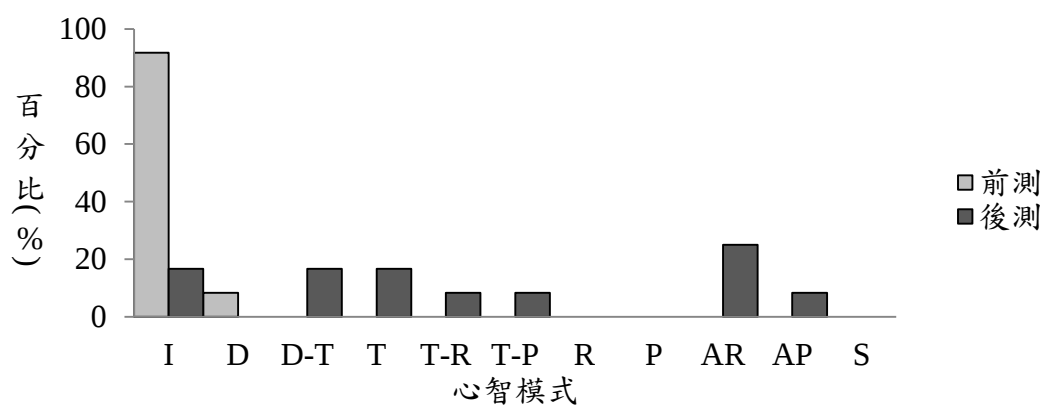


圖 4-3-4 「外顯式建模文本組」學生前、後測心智模式分布圖

(二)比較三組原子模型的心智模式分布與轉變情形

接著，進一步分析各組學生之原子模型心智模式的轉變型情形，從前述的分析，得知三組學生於前測的心智模式大都分布在「初始原子模式」(91.7%)，少數分布在「道耳頓原子模式」(8.3%)，而透過文本的閱讀之後，各組心智模式均有明顯的改變，「一般文本組」主要的心智模式轉變途徑(前測→後測)為「初始原子模式」轉變到「道耳頓原子模式」(91.7→41.7%)；而「內隱式建模文本組」主要的轉變為「初始原子模式」到「道耳頓-湯姆森原子混合模式」(91.7→50.0%)；「外顯式建模文本組」心智模式的轉變為「初始原子模式」到「進階拉塞福原子模式」(91.7→25%)，如表 4-3-3 所示，相較之下顯示，外顯式建模文本之心智模式的主要發展較接近科學模式(進階拉塞福原子模式)，而一般文本與內隱式建模文本心智模式大致上的發展，均發展至較低階層的心智模式，也就是說，一般文本與內隱式建模文本的閱讀較無法提升學生往較接近科學模式之心智模式的轉變，依然停留在較低階層的心智模式(道耳頓原子模式或道耳頓-湯姆森原子混合模式)。

然而，三組之心智模式轉變途徑類型結果如下：

「一般文本組」大部分學生的心智模式從初始原子模式轉變到道耳頓原子模式與道耳頓-湯姆森原子混合模式(均為 33.3%)，少部分轉變到湯姆森-拉塞福原子混合模式(8.3%)，但是，前測之心智模式分類至道耳頓原子模式的學生，經過一般文本的閱讀，於後測卻沒有改變其心智模式，更有 16.7%的學生其初始原子模式在閱讀文本之後沒有改變，意即，過一般文本的閱讀，雖然能夠提升大部分學生的心智模式，但卻無法改變於前測相較之下擁有較高階層之心智模式的轉變，以及，依然有學生的心智模式是沒有改變的。

「內隱式建模文本組」學生心智模式之初始原子模式大部分轉變為道耳頓-湯姆森原子混合模式(41.7%)，少部分轉變到波耳原子模式(16.7%)與「進階波耳原子模式」(8.3%)，而於前測其心智模式分類至較高階層的學生(道耳頓原子模式)，其心智模式轉變到道耳頓-湯姆森原子混合模式(8.3%)，也就是說，內隱式建模文本的閱讀有助於學生原子模型心智模式的轉變，但還是有

少數學生的心智模式是沒有轉變的。

「外顯式建模文本組」之初始原子模式的轉變，大部分轉變至進階波耳原子模式(25%)，而有 16.7%轉變到湯姆森原子模式，亦各有 8.3%轉變至道耳頓-湯姆森原子混合模式、湯姆森-拉塞福原子混合模式、湯姆森-波耳原子混合模式與進階波耳原子模式，而於前測之心智模式為道耳頓原子模式之學生，其心智模式轉變至道耳頓-湯姆森原子混合模式(8.3%)，整體而言，外顯式建模文本有助於學生心智模式的轉變，亦是三種文本之一，其心智模式發展至越接近科學模式之心智模式。

表 4-3-3 三組原子模型的心智模式分布與轉變途徑比較

組別	一般文本組	內隱式建模文本組	外顯式建模文本組
	前測→後測(%)	前測→後測(%)	前測→後測(%)
主要心智模式	I(91.7) → D(41.7)	I(91.7) → D-T(50.0)	I(91.7) → AR(25)
	I → D 4(33.3)	I → D-T 5(41.7)	I → D-T 1(8.3)
	I → D-T 4(33.3)	I → P 2(16.7)	I → T 2(16.7)
	I → T-R 1(8.3)	I → AP 1(8.3)	I → T-R 1(8.3)
轉變途徑類型	—	D → D-T 1(8.3)	I → T-P 1(8.3)
	—	—	I → AR 3(25.0)
	—	—	I → AP 1(8.3)
	—	—	D → D-T 1(8.3)
未改變類型	I 2(16.7)、D 1(8.3)	I 3(25)	I 2(16.7)

註：資料顯示為「人數(百分比)」

綜合以上，三組學生於初始原子模式的主要轉變，以外顯式建模文本較能促使學生心智模式的轉變，有 25% 的學生轉變至進階波耳原子模式(接近科學模式)，其中，一般文本組與內隱式建模文本組學生的初始原子模式主要轉變至道耳頓-湯姆森原子模式(一班文本組：33.3%；內隱式建模文本組：41.7%)，亦顯示出一般文本與內隱式建模文本組之心智模式的轉變，停留在較低階層的心智模式。從另一個角度分析，比較三組學生之心智模式的轉變途徑，以外顯式建模文本組的轉變最接近科學模式，接著為內隱式建模文本組，最後，則是一般文本組，但是，整體而言，三組學生之心智模式均有向上轉變至接近科學模式的心智模式，如圖 4-3-5 所示。

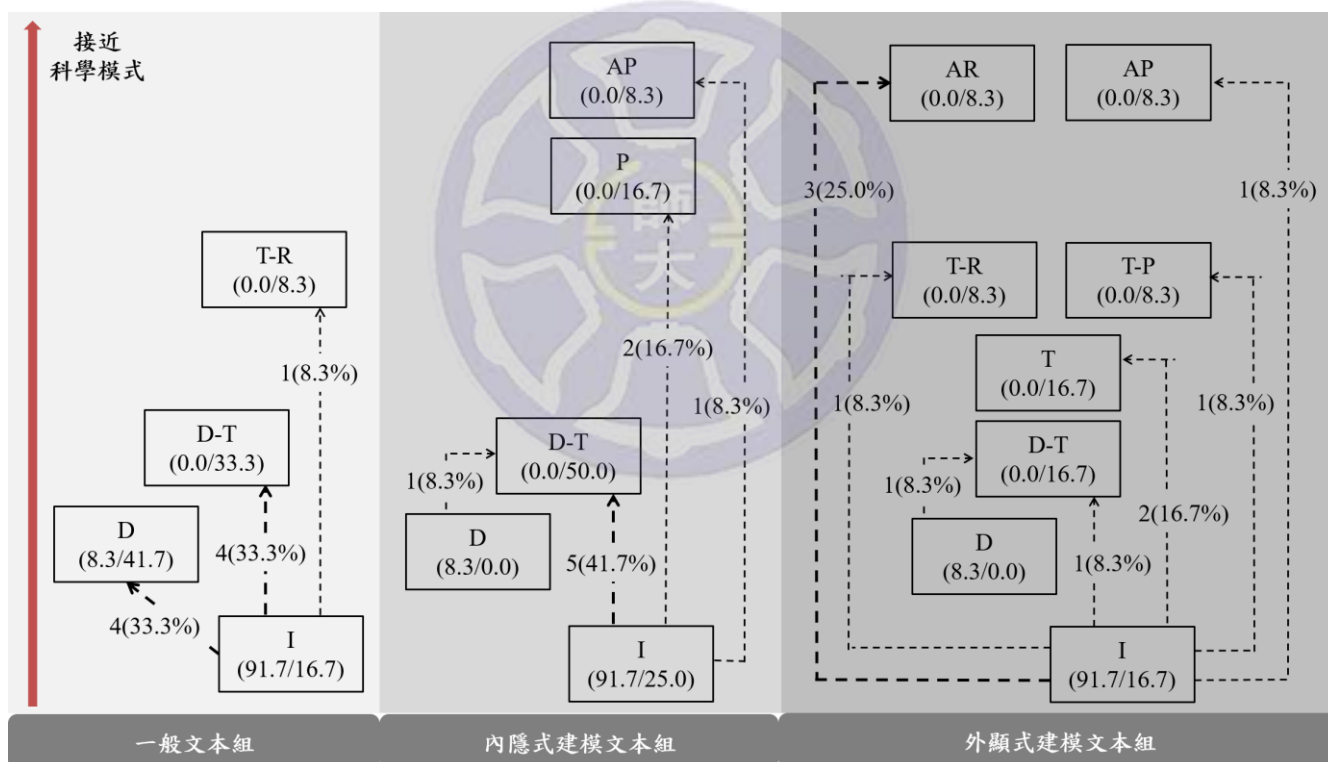


圖 4-3-5 三組原子模型前、後測之心智模式分布與轉變情形

註 1：心智模式種類(前測/後測學生百分比)

註 2：人數(轉換百分比)；----->：前測→後測；--->：心智模式的主要轉變

三、小結與討論

根據前述對於三組學生於前、測後之心智模式的分析結果，於前測，三組學生因為分組的依據均擁有相同比例的心智模式及人數，但經過，文本的閱讀，三組學生於初始原子模式的百分比大幅減少(一般文本組：91.7→16.7%；內隱式建模文本組：91.7→25%；外顯式建模文本組：91.7→16.7%)，其他心智模式的類別均有所提升，也就顯示出，三種文本均能夠提升學生心智模式的發展與轉變，其中，外顯式建模文本組的學生能夠發展出較多種的心智模式(七種)。

然而，依據本研究對於原子模型心智模式的分類，三組學生於後測除了未改變其心智模式的學生之外，其餘的學生均能夠發展至道耳頓原子模式，也就顯示出，三種文本均能讓學生發展出正確道耳頓原子模型成分與關係的心智模式，但是，在湯姆森原子模型的成分與關係上，一般文本與內隱式建模文本組的學生在閱讀文本之後，其心智模式大部分分布在道耳頓-湯姆森原子混合模式，沒有學生分布在湯姆森原子模式，也就顯示出，此兩文本較無法讓學生發展出正確湯姆森原子模型成分與關係的心智模式，相對的，外顯式建模文本組的學生能夠發展至湯姆森原子模式，也就是說，外顯式建模文本較能夠讓學生發展出正確的湯姆森原子模型成分與關係的心智模式，再者，於拉塞福與波耳原子模型的成分與關係上，一般文本僅能夠讓少數的學生發展至道耳頓-拉塞福原子混合模式，卻沒有學生發展至相關波耳原子模型的心智模式，而內隱式建模文本僅能讓少數學生的心智模式發展至波耳原子模式，甚至到進階波耳原子模式，但是，卻也沒有學生能夠發展至相關拉塞福原子模型的心智模式，相較於外顯式建模文本組，透過外顯式建模文本的閱讀，學生能夠發展至進階拉塞福與波耳原子模式，也就表示，外顯式建模文本較能夠讓學生發展出正確且進階的拉塞福與波耳原子模式。

但整體而言，透過文本的閱讀，均能夠改變學生於前測較低層次之心智模式的轉變，其中，以外顯式建模文本組的學生，較能夠發展至接近科學模式的心智模式(進階的拉塞福與波耳原子模式)，又在四大原子模型的成分與關係上，有較正確的心智模式發展。

第四節 原子模型之建模能力分析

本節以「原子模型建模能力測驗」前、後測之總成績進行 SPSS 統計分析，透過各組文本的閱讀，比較三組學生對於原子模型建模能力表現的差異，以了解學生閱讀前、後原子模型建模能力提升之影響。

一、比較三組學生於閱讀文本前之原子模型建模能力(前測)

為了解三組學生在閱讀文本前原子模型建模能力是否有差異，將以三組學生之原子模型建模能力試題前測之總分進行無母數 K-W 檢定(Kruskal-Wallis test)，結果如表 4-4-1 所示。顯示三組學生在前測成績的 K-W 檢定分析結果未達顯著差異(卡方值 $X^2=4.081$ ，自由度=2， $p=.130>.05$)，意即三組學生自閱讀文本之前原子模型建模能力的差異性不大。

表 4-4-1 原子模型建模能力試題之前測總分 K-W 檢定

組別	平均分數	標準差	標準誤	卡方值	顯著性
一般文本組(N=12)	17.50	8.74	2.52	4.081	.130
內隱式建模文本組(N=12)	25.04	11.90	3.44		
外顯式建模文本組(N=12)	19.21	9.53	2.75		

二、比較三組學生於文本閱讀後之原子模型建模能力(後測)

於閱讀文本之後，三組的後測成績以「外顯式建模文組」最高(50.08 分)，其次為「內隱式建模文本組」(43.63 分)，最低為「一般文本組」(34.75 分)。而為比較三組學生前、後測建模能力試題總分的差異(組內)，以 SPSS 進行無母數 Wilcoxon 符號等級檢定，結果如表 4-4-2 所示。由表 4-4-2 之數據顯示，三組學生對於原子模型建模能力上有顯著差異(一般文本 $p=.005<.01$ ；內隱

式建模文本組 $p=.002<.01$ ；外顯式建模文本組 $p=.002<.01$)，也就是說，不同文本組別的學生，對於原子模型之建模能力上均有顯著的提升。

表 4-4-2 不同組別之學生閱讀文本前後原子模型建模能力表現之 Wilcoxon 符號等級檢定

組別	N	前測(總分 100 分)		後測(總分 100 分)		Z	p
		平均	標準差	平均	標準差		
一般文本組	12	17.50	8.74	34.75	12.99	-2.824	.005**
內隱式建模文本組	12	25.04	11.90	43.63	18.84	-3.061	.002**
外顯式建模文本組	12	19.21	9.53	50.08	18.12	-3.061	.002**

**<.01

再者，為了排除前測成績對後測成績所造成的影響，本研究利用單因子共變數分析(ANCOVA)作為主要的分析方式，以調整組別之間學生前測知識的影響。在這之前，先以三組原子模型建模能力之前測(共變項)、後測成績(依變項)與文本組別(自變項)進行組間回歸係數同質性檢定，確認建模能力試題之前測是否可作為共變項，結果顯示於表 4-4-3，文本組別與前測(共變項)的交互作用未達顯著差異($F(2,30)=0.893$, $p=.420>.05$)，即學生原子模型建模能力前測與後測成績不會受到文本組別的不同而有所差異，因此，建模能力測驗之前測成績可作為校正後測表現之共變項。

表 4-4-3 「文本組別」與「建模能力(前測)」組間回歸係數同質性檢定摘要表

變異來源	第 III 類平方和	自由度 df	平均值平方	F	顯著性
迴歸係數(組間)	352.27	2	176.14	0.893	.420
誤差(組內)	5915.31	30	197.18		

之後進行「文本組別」與「原子建模能力測驗後測」之單因子共變數(ANCOVA)分析，其結果如表 4-4-4 所示，顯示三組組間達顯著差異($F(2,32)=3.411$ ， $p=.045<.05$)，也就是說，不同文本會影響學生建模能力的表現。

表 4-4-4 文本組別與原子建模能力測驗後測之單因子共變數(ANCOVA)分析

變異來源	第 III 類平方和	自由度 df	平均值平方	F	顯著性
文本組別	1336.21	2	668.11	3.411	.045*
誤差	626759	32	195.86		

* $p<.05$

緊接著進一步進行 ANCOVA 事後比較，以探討兩兩之間的差異性，分析結果如表 4-4-5 所示。研究結果顯示「外顯式建模文本組」於原子模型建模能力上的表現優於內隱式建模文本組與一般文本組，而一般文本組與內隱式建模文本組並沒有顯著差異，也就是說，一般文本組與內隱式建模文本組在建模能力之表現上沒有不同。

表 4-4-5 「建模能力測驗」前、後測 ANCOVA 事後比較分析

組別		平均數差異(前組-後組)	標準誤	顯著性
外顯式建模文本組	一般文本組	13.70	5.73	.023*
	內隱式建模文本組	12.03	5.88	.049*
內隱式建模文本組	一般文本組	1.67	5.99	.783

* $p<.05$

三、小結與討論

綜合本節之研究結果，於閱讀文本之前，三組學生對於原子模型建模能力的表現是相近的，沒有顯著差異。而在閱讀文本之後，三組學生的原子模型建模能力後測的表現和前測相較之下(組內)，均有顯著的進步(一般文本 $p<.01$ ；內隱式建模文本組 $p<.01$ ；外顯式建模文本組 $p<.01$)，如圖 4-4-1 所示，由此可知，三種文本對於學生原子模型建模能力的提升，皆有一定的成效，但是透過外顯式建模文本的閱讀，在後測成績直觀上是高於一般文本組與內隱式建模文本組的，也就表示透過外顯式建模文本的閱讀，能夠在建模能力試題上有較好的表現。

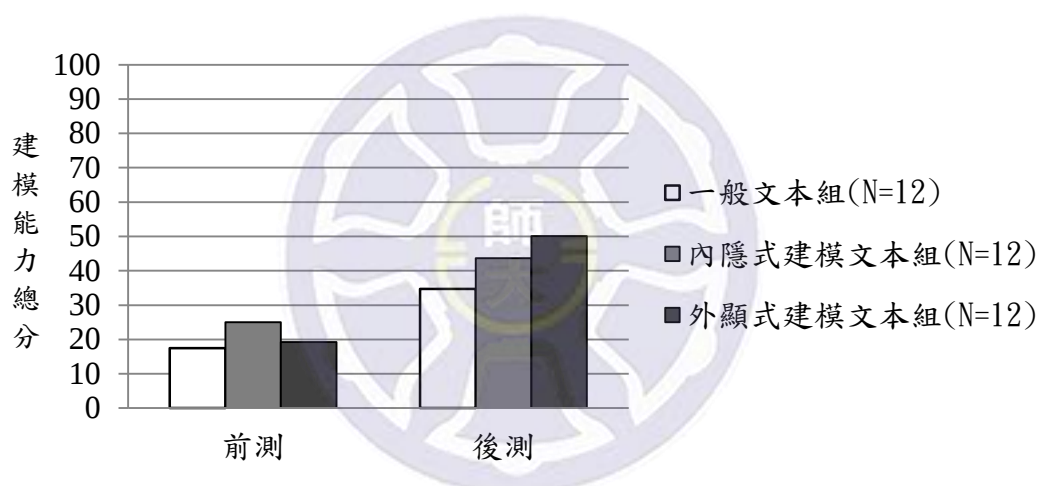


圖 4-4-1 三組原子模型建模能力測驗之前、後測平均分數

然而，就促進原子模型建模能力的表現上(組間)，外顯式建模文本組顯著優於內隱式建模文本組與一般文本組，由此得知，透過外顯式建模文本的閱讀，對於學生原子模型建模能力的提升上有正向的幫助，更凸顯出外顯式建模文本系統性編排與建模歷程「外顯化」的有效性，而對於各建模歷程之建模能力的表現情形於下一節中進行更進一步的結果分析。

第五節 原子模型各建模歷程之建模能力分析

於前一節已初步分析比較了三組文本組於建模能力試題之前、後測建模能力的表現，而本節則依據建模能力試題中所涵蓋建模歷程之建模能力進行分析，其中，試題之建模歷程分類的評分者一致性為 90.8%(21 個分類中，有 3 個不一致)，經由討論將本建模能力試題之建模歷程分類至建模歷程中的「模型選擇」、「模型建立」、「模型效化」、「模型分析」、「模型應用」、「模型修正」與「模型轉換」等七個建模歷程，其中，在本研究第三章第三節中的定義文本之建模歷程當中，有說明在本研究建模歷程中缺少了建模歷程指標的「模型調度」，原因為調度屬於遠遷移的部分，在本研究之原子模型單元中是不討論應用於新情境的問題，也就是原子模型不討論與其他元素產生化合物等等的內容，因此以下研究結果以七大建模歷程的資料為主要分析內容，並將各建模歷程之總分前、後測之成績進行 SPSS 統計分析，以了解三組學生於閱讀文本之前、後，對於各建模歷程之建模能力表現的影響。

一、比較三組學生於閱讀文本前之各建模歷程之建模能力(前測)

為了更進一步了解三組學生在閱讀前對於各建模歷程之建模能力的表現是否有差異，將三組學生於各建模歷程的前測總分進行無母數 K-W 檢定(Kruskal-Wallis test)，結果如表 4-5-1 所示。其顯示三組學生於七個建模歷程之建模能力的表現均沒有顯著差異(模型選擇：卡方值 $X^2=3.943$ ，自由度=2， $p=.139>.05$ ；模型建立：卡方值 $X^2=0.655$ ，自由度=2， $p=.721>.05$ ；模型效化：卡方值 $X^2=0.685$ ，自由度=2， $p=.710>.05$ ；模型分析：卡方值 $X^2=4.114$ ，自由度=2， $p=.128>.05$ ；模型應用：卡方值 $X^2=0.420$ ，自由度=2， $p=.810>.05$ ；模型修正：卡方值 $X^2=2.283$ ，自由度=2， $p=.319>.05$ ；模型轉換：卡方值 $X^2=5.057$ ，自由度=2， $p=.080>.05$)，即三組學生在閱讀文本之前，各建模歷程的建模能力差異不大。

表 4-5-1 各建模歷程之前測總分 K-W 檢定

建模歷程	組別	平均分數	標準差	標準誤	卡方值	顯著性
模型選擇 (12 分)	一般文本組(N=12)	5.00	2.95	0.85	3.943	.139
	內隱式建模文本組(N=12)	7.75	4.69	1.35		
	外顯式建模文本組(N=12)	5.00	3.22	0.93		
模型建立 (32 分)	一般文本組(N=12)	6.42	4.14	1.20	0.655	.721
	內隱式建模文本組(N=12)	7.29	4.53	1.31		
	外顯式建模文本組(N=12)	6.13	2.76	0.80		
模型效化 (12 分)	一般文本組(N=12)	1.75	1.60	0.46	0.685	.710
	內隱式建模文本組(N=12)	1.33	1.07	0.31		
	外顯式建模文本組(N=12)	1.83	1.47	0.42		
模型分析 (4 分)	一般文本組(N=12)	0.33	0.89	0.26	4.114	.128
	內隱式建模文本組(N=12)	0.00	0.00	0.00		
	外顯式建模文本組(N=12)	0.00	0.00	0.00		
模型應用 (7 分)	一般文本組(N=12)	0.83	1.53	0.44	0.420	.810
	內隱式建模文本組(N=12)	0.50	1.17	0.34		
	外顯式建模文本組(N=12)	0.83	1.53	0.44		
模型修正 (25 分)	一般文本組(N=12)	2.00	1.65	0.48	2.283	.319
	內隱式建模文本組(N=12)	3.67	2.90	0.84		
	外顯式建模文本組(N=12)	3.08	2.27	0.66		
模型轉換 (8 分)	一般文本組(N=12)	1.17	2.76	0.80	5.057	.080
	內隱式建模文本組(N=12)	4.50	4.01	1.16		
	外顯式建模文本組(N=12)	2.33	3.60	1.04		

二、比較三組學生於閱讀文本後之各建模歷程之建模能力(後測)

三組學生在閱讀各自的文本之後，於原子模型建模能力測驗前、後測之原子模型各建模歷程之建模能力是否有所提升(組內)? 在此分別對七個建模歷程(「模型選擇」、「模型建立」、「模型效化」、「模型分析」、「模型應用」、「模型修正」與「模型轉換」)之前、後測總分以 SPSS 進行無母數 Wilcoxon 符號等級檢定，比較三組前、後測各建模歷程之建模能力的表現，其 Wilcoxon 符號等級檢定之結果分述如下：

(一) 模型選擇

建模能力試題中「模型選擇」之前、後測 Wilcoxon 符號等級檢定如表 4-5-2 所示。結果顯示，三組學生在閱讀文本之後，其後測平均分數直觀上最高分為「內隱式建模文本組」(10.25 分)；其次為「外顯式建模文本組」(9.75 分)；最低則為「一般文本組」(7.00 分)。然而，組內分數僅有「外顯式建模文本組」在模型選擇建模能力的提升上有達顯著差異($p < .01$)，也就是說，閱讀外顯式建模文本有助於提升模型選擇之建模能力的表現。

表 4-5-2 不同組別之學生閱讀文本前、後「模型選擇」表現之 Wilcoxon 符號等級檢定

建模歷程	組別	N	前測		後測		Z	p
			平均	標準差	平均	標準差		
模型選擇 (12 分)	一般文本組	12	5.00	2.95	7.00	3.46	-1.579	.114
	內隱式建模文本組	12	7.75	4.69	<u>10.25</u>	2.70	-1.802	.072
	外顯式建模文本組	12	5.00	3.22	9.75	3.41	-2.850	.004**

註：____為最高分；** $p < .01$

(二) 模型建立

而建模能力試題中「模型建立」之前、後測 Wilcoxon 符號等級檢定如表 4-5-3 所示。其結果顯示，三組在閱讀文本之後，後測平均分數直觀上最高分為「外顯式建模文本組」(16.58 分)；其次為「內隱式建模文本組」(13.38 分)；最低則為「一般文本組」(11.83 分)。而三組學生在組內成績均達顯著差異(一般文本組： $p<.05$ ；內隱式建模文本組： $p<.01$ ；外顯式建模文本組： $p<.01$)，亦即三種文本的閱讀有助於提升模型建立之建模能力的表現，其中，以外顯式建模文本較有效促進學生在模型建立之建模能力上的表現(p 最小)。

表 4-5-3 不同組別之學生閱讀文本前、後「模型建立」表現之 Wilcoxon 符號等級檢定

建模歷程	組別	N	前測		後測		Z	p
			平均	標準差	平均	標準差		
模型建立 (32 分)	一般文本組	12	6.42	4.14	11.83	5.44	-2.510	.012*
	內隱式建模文本組	12	7.29	4.53	13.38	7.35	-2.906	.004**
	外顯式建模文本組	12	6.13	2.76	<u>16.58</u>	3.34	-3.059	.002**

註：____為最高分；* $p<.05$ ，** $p<.01$

(三) 模型效化

於建模能力試題中「模型效化」之前、後測 Wilcoxon 符號等級檢定如表 4-5-4 所示。顯示三組在閱讀文本之後，後測平均分數直觀上最高分為「內隱式建模文本組」(5.00 分)；其次為「外顯式建模文本組」(4.17 分)；最低則為「一般文本組」(3.33 分)。而三組學生在組內成績的比較，僅有一般文本組沒有達顯著差異($p>.05$)，而外顯式及內隱式建模文本組均達顯著差異(內隱式建模文本組： $p<.01$ ；外顯式建模文本組： $p<.01$)，亦即建模文本的閱讀有助於提升模型效化之建模能力的表現。

表 4-5-4 不同組別之學生閱讀文本前、後「模型效化」表現之 Wilcoxon 符號等級檢定

建模歷程	組別	N	前測		後測		Z	p
			平均	標準差	平均	標準差		
模型效化 (12 分)	一般文本組	12	1.75	1.60	3.33	2.74	-1.637	.102
	內隱式建模文本組	12	1.33	1.07	<u>5.00</u>	2.13	-3.069	.002**
	外顯式建模文本組	12	1.83	1.47	4.17	2.08	-2.662	.008**

註：____為最高分；** $p < .01$

(四) 模型分析

建模能力試題中「模型分析」之前、後測 Wilcoxon 符號等級檢定如表 4-5-5 所示。結果顯示三組在閱讀文本之後，後測平均分數直觀上最高分為「外顯式建模文本組」(1.00 分)；其次為「一般文本組」(0.75 分)；最低則為「內隱式建模文本組」(0.25 分)。而三組學生在組內成績的比較，一般文本組與內隱式建模文本組沒有達顯著差異($p > .05$)，僅有外顯式建模文本組達顯著差異($p < .05$)，亦即外顯式建模文本的閱讀有助於提升模型分析之建模能力的表現。

表 4-5-5 不同組別之學生閱讀文本前、後「模型分析」表現之 Wilcoxon 符號等級檢定

建模歷程	組別	N	前測		後測		Z	p
			平均	標準差	平均	標準差		
模型分析 (4 分)	一般文本組	12	0.33	0.89	0.75	1.22	-0.948	.343
	內隱式建模文本組	12	0.00	0.00	0.25	0.45	-1.732	.083
	外顯式建模文本組	12	0.00	0.00	<u>1.00</u>	1.28	-2.232	.026*

註：____為最高分；* $p < .05$

(五) 模型應用

接著，於建模能力試題中「模型應用」之前、後測 Wilcoxon 符號等級檢定如表 4-5-6 所示。

表 4-5-6 顯示三組在閱讀文本之後，後測平均分數在直觀上，最高分為「外顯式建模文本組」(1.67 分)；其次為「內隱式建模文本組」(1.08 分)；最低分則為「一般文本組」(0.25 分)。而三組學生在組內成績的比較，三組皆沒有達顯著差異($p>.05$)，也就是說，三種文本的閱讀對於模型應用之建模能力的表現幫助不大。但是，比較前、後測之平均分數，三組後測成績均大於前測成績，意即三種文本對於模型應用之建模能力的表現是有所進步。

表 4-5-6 不同組別之學生閱讀文本前、後「模型應用」表現之 Wilcoxon 符號等級檢定

建模歷程	組別	N	前測		後測		Z	p
			平均	標準差	平均	標準差		
模型應用 (7 分)	一般文本組	12	0.83	1.53	0.25	0.87	-1.134	.257
	內隱式建模文本組	12	0.50	1.17	1.08	2.02	-0.966	.334
	外顯式建模文本組	12	0.83	1.53	<u>1.67</u>	1.83	-0.877	.380

註：_____為最高分

(六) 模型修正

建模能力題中「模型修正」之前、後測 Wilcoxon 符號等級檢定如表 4-5-7 所示。表 4-5-7 顯示三組學生在閱讀文本之後，其後測平均分數在直觀上，最高分為「外顯式建模文本組」(10.42 分)；其次為「內隱式建模文本組」(8.50 分)；最低分則為「一般文本組」(5.92 分)。而三組學生在組內「模型修正」前、後測之總分成績的比較，三組皆達顯著差異(一般文本組： $p<.01$ ；內隱式建模文本組： $p<.05$ ；外顯式建模文本組： $p<.01$)，即三種文本的閱讀有助於提升模型修正之建模能力的表現。

表 4-5-7 不同組別之學生閱讀文本前、後「模型修正」表現之 Wilcoxon 符號等級檢定

建模歷程	組別	N	前測		後測		Z	p
			平均	標準差	平均	標準差		
模型修正 (25 分)	一般文本組	12	2.00	1.65	5.92	2.54	-2.810	.005**
	內隱式建模文本組	12	3.67	2.90	8.50	5.33	-2.320	.020*
	外顯式建模文本組	12	3.08	2.27	<u>10.42</u>	4.70	-2.943	.003**

註：____為最高分；* $p < .05$ ，** $p < .01$

(七) 模型轉換

建模能力題中「模型轉換」之前、後測 Wilcoxon 符號等級檢定如表 4-5-8 所示。其結果顯示三組學生在閱讀文本之後，其後測平均分數在直觀上，最高分為「外顯式建模文本組」(6.50 分)；其次為「一般文本組」(5.67 分)；最低分則為「內隱式建模文本組」(5.17 分)。而三組學生在組內「模型轉換」前、後測之總分成績的比較，僅有內隱式建模文本組沒有達顯著差異($p > .05$)，一般文本組與外顯式建模文組皆達顯著差異(一般文本組： $p < .05$ ；外顯式建模文本組： $p < .05$)，即透過一般文本與外顯式建模文本的閱讀，是有助於提升模型轉換之建模能力的表現，則內隱式建模文本則幫助不大。

表 4-5-8 不同組別之學生閱讀文本前、後「模型轉換」表現之 Wilcoxon 符號等級檢定

建模歷程	組別	N	前測		後測		Z	p
			平均	標準差	平均	標準差		
模型轉換 (8 分)	一般文本組	12	1.17	2.76	5.67	3.17	-2.292	.022*
	內隱式建模文本組	12	4.50	4.01	5.17	3.86	-0.816	.414
	外顯式建模文本組	12	2.33	3.60	<u>6.50</u>	3.09	-2.456	.014*

註：____為最高分；* $p < .05$

綜合以上，根據三組文本組別對於七大建模歷程之前、後測 Wilcoxon 符號等級檢定結果，顯示三組對於各建模歷程建模能力的表現各有優劣，但是，可以得知，七大建模歷程之建模能力後測成績皆高於前測成績，也就是說，透過文本的閱讀，雖然前、後測於各建模歷程達顯著的情況各有不同，但是，整體平均分數有所提升的，意即文本的閱讀還是有助於各建模歷程建模能力分數上的提升。

以上探討了三組各建模歷程建模能力之組內前、後測總分的比較，顯示後測成績均高於前測成績，達顯著的情形各有不同。接著，進一步分析比較不同文本對於各建模歷程之建模能力的表現是否有差異(組間)，相同的要排除閱讀文本前之前測對後測所造成的影響，因此，本研究透過單因子共變數分析(ANCOVA)分別比較各建模歷程之文本組別與各建模歷程建模能力間是否有交互作用，而在此之前，本研究將各建模歷程建模能力之後測總分作為依變項，前測作為共變項，自變項即為文本組別，將文本組別與前測成績進行組間回歸係數同質性檢定，結果如表 4-5-9 所示。顯示各建模歷程之自變項與共變項的交互作用變項皆未達顯著差異，也就是說，學生各建模歷程建模能力(前測)與後測成績間的關係，不會受到文本組別的不同而有所差異，因此，各建模歷程建模能力之前測成績均可作為校正後測表現之共變項。

表 4-5-9 「各建模歷程(前測)」與「文本組別」組間回歸係數同質性檢定摘要表

建模歷程	變異來源	第 III 類平方和	自由度 df	平均值平方	<i>F</i>	<i>p</i>
模型選擇	迴歸係數(組間)	20.72	2	10.36	1.100	.346
	誤差(組內)	282.56	30	9.42		
模型建立	迴歸係數(組間)	51.28	2	25.64	0.776	.469
	誤差(組內)	990.86	30	33.03		
模型效化	迴歸係數(組間)	7.40	2	3.70	0.681	.514
	誤差(組內)	162.99	30	5.43		

模型分析	迴歸係數(組間)	0.00	0	-	-	-
	誤差(組內)	36.04	32	1.13		
模型應用	迴歸係數(組間)	1.16	2	0.58	0.21	.815
	誤差(組內)	84.48	30	2.82		
模型修正	迴歸係數(組間)	8.88	2	4.44	0.238	.790
	誤差(組內)	559.36	30	18.65		
模型轉換	迴歸係數(組間)	53.22	2	26.61	2.73	.082
	誤差(組內)	292.95	30	9.77		

則表 4-5-10 為「文本組別」與「各建模歷程建模能力後測」之單因子共變數(ANCOVA)分析的結果，其結果顯示三組學生在七大建模歷程中，三組組間皆未達顯著差異(模型選擇： $F(2,32)=2.833$ ， $p=.074>.05$ ；模型建立： $F(2,32)=2.609$ ， $p=.089>.05$ ；模型效化： $F(2,32)=1.864$ ， $p=.172$ ；模型分析： $F(2,32)=1.630$ ， $p=.212$ ；模型應用： $F(2,32)=2.525$ ， $p=.212$ ；模型修正： $F(2,32)=2.494$ ， $p=.098$ ；模型轉換： $F(2,32)=1.031$ ， $p=.368$)，也就表示不同的文本並不會影響學生於各建模歷程之建模能力的表現。

表 4-5-10 各建模歷程後測與文本組別之單因子共變數(ANCOVA)分析

建模歷程	變異來源	第 III 類平方和	自由度 df	平均值平方	F	p
模型選擇	文本組別	53.70	2	26.85	2.833	.074
	誤差	303.28	32	9.48		
模型建立	文本組別	169.92	2	84.96	2.609	.089
	誤差	1042.14	32	32.57		
模型效化	文本組別	19.85	2	9.92	1.864	.172
	誤差	170.40	32	5.33		
模型分析	文本組別	3.67	2	1.84	1.630	.212

	誤差	36.04	32	1.13		
模型應用	文本組別	12.06	2	6.03	2.252	.122
	誤差	85.65	32	2.68		
模型修正	文本組別	88.59	2	44.29	2.494	.098
	誤差	568.24	32	17.76		
模型轉換	文本組別	22.30	2	11.15	1.031	.368
	誤差	346.16	32	10.82		

三、小結與討論

根據本節之分析結果，顯示各組在閱讀文本之前，對於各建模歷程之建模能力的表現差異不大，如圖 3-5-1 所示。而經過文本的閱讀之後，三組於各建模歷程之建模能力的表現(組內)各有不同的顯著進步，但於比較各建模歷程之建模能力前、後測總分成績的高低，顯示後測成績(圖 4-5-2 所示)，均高於前測的成績，也就是說，三組學生透過文本的閱讀均有助於提升各建模歷程之建模能力的成績。

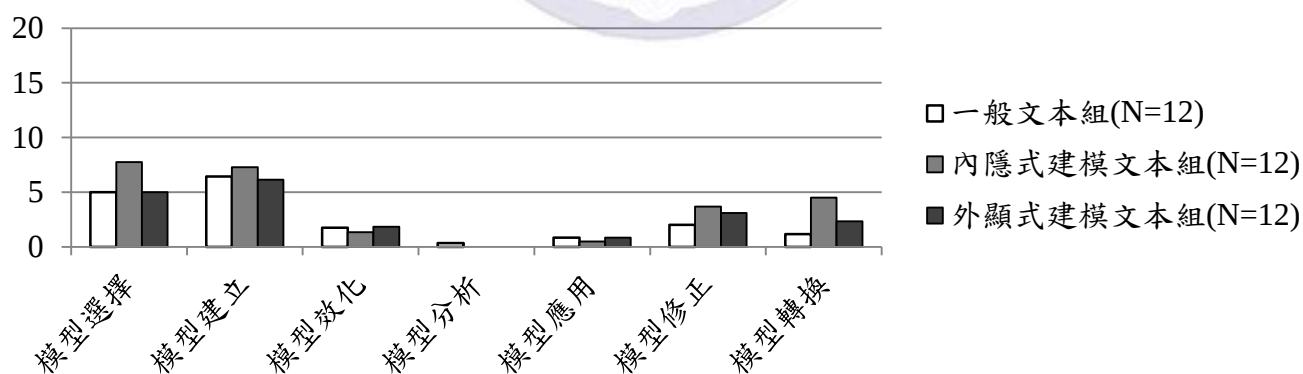


圖 4-5-1 三組各建模歷程建模能力之前測平均分數

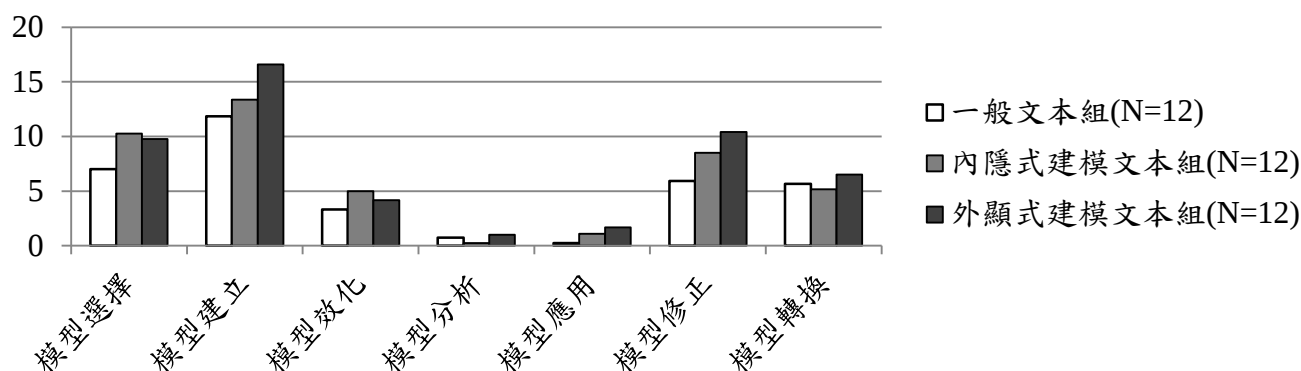


圖 4-5-2 三組各建模歷程建模能力之後測平均分數

其中，「一般文本」於各建模歷程之組內比較結果，顯示在「模型建立」、「模型修正」與「模型轉換」等三個建模歷程上，均達顯著進步，如圖 4-5-3；「內隱式建模文本組」於各建模歷程之組內比較結果，顯示在「模型建立」、「模型效化」與「模型修正」等三個建模歷程上，達顯著進步，如圖 4-5-4；「外顯式建模文本組」於各建模歷程之組內比較結果，顯示在「模型選擇」、「模型建立」、「模型效化」、「模型分析」、「模型修正」與「模型轉換」等六個建模歷程上，達顯著差異，如圖 5-4-5，也就是說，外顯式建模文本能促進較完整建模歷程之建模能力的發展。

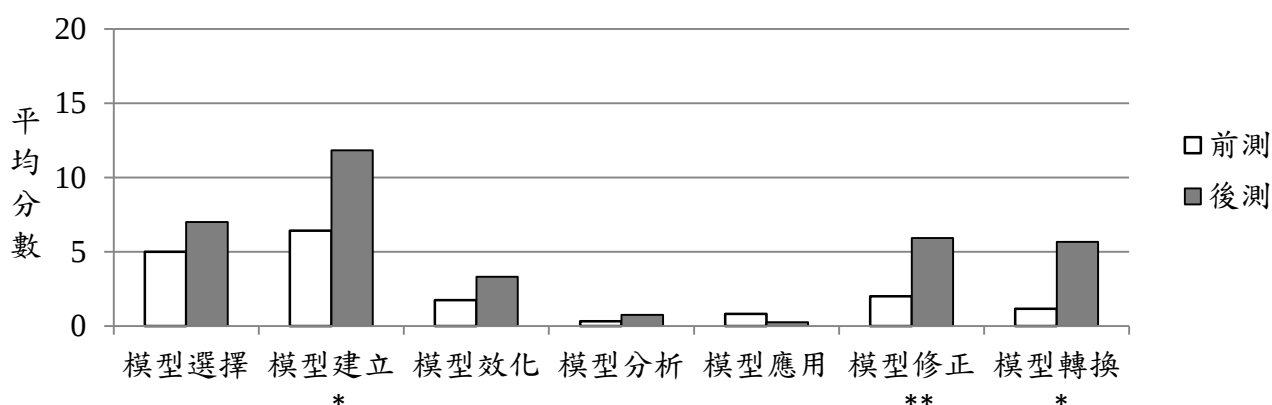


圖 4-5-3 一般文本組各建模歷程之建模能力前、後測平均分數(*為達顯著進步)

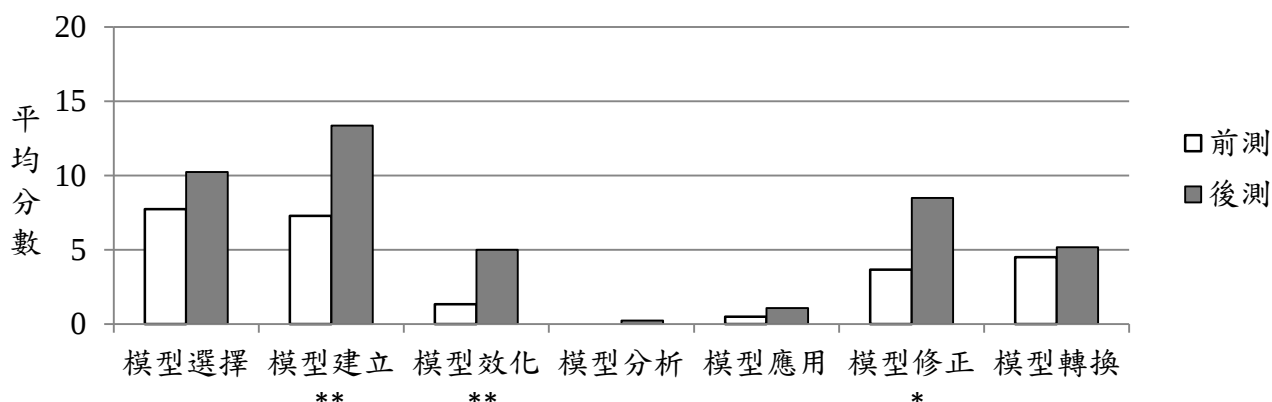


圖 4-5-4 內隱式建模文本組各建模歷程之建模能力前、後測平均分數(*為達顯著進步)

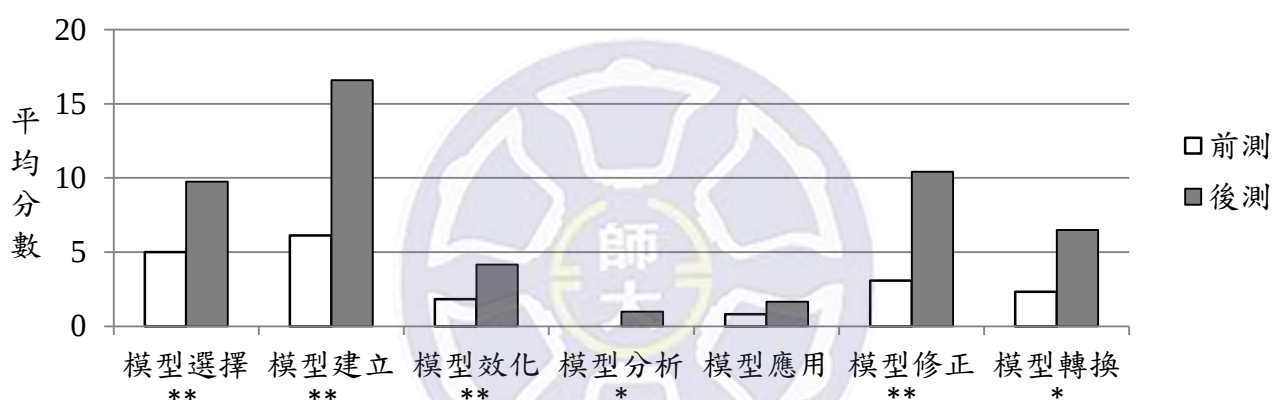


圖 4-5-5 外顯式建模文本組各建模歷程之建模能力前、後測平均分數(*為達顯著進步)

根據以上結果，在高階的建模歷程(模型修正與轉換)中，一般文本組與外顯式建模文本組的學生皆能達到顯著進步，內隱式建模文本組的學生也能在模型修正上達顯著進步，此結果說明一般文本組的學生也能在高階的建模歷程中有較好的表現，可能解釋原因為一般文本的編排偏向科學史的方式介紹四大原子模型的發展及各原子模型的修正，因此，在模型修正與轉換上，透過一般文本的閱讀，也能夠達到各原子模型修正與轉換的理解，然而，內隱式建模文本則是以內隱建模的方式編排，因此在模型的連接上，就沒有明確的指示，因而造成透過內隱式建模文本的閱讀，無法在模型轉換上達顯著進步，然而，外顯式建模文本則是結合了一般文本與內隱式建模文本的

編排優勢，並以較系統化且以外顯式建模歷程的方式明確的連接各原子模型的轉換，也明確指出各模型之間的修正，因此，外顯式建模文本組的學生能夠在模型修正與轉上有較好的表現。

而在較低階的建模歷程(模型選擇與建立)中，一般文本與內隱式建模文本均在模型選擇上沒有達顯著進步，外顯式建模文本則有達顯著進步，也顯示了外顯式建模文本中對於模型成分與關係的外顯化與系統性的統整，讓學生較能夠掌握模型成分與關係上的內容，尤其在模型成分的選擇上較有幫助。

但是，三組學生在模型分析與應用上的表現，較沒有明顯的顯著進步，其中外顯式建模文本也僅在模型分析上有達顯著進步，三組在模型應用上均沒有達顯著進步，也顯示出三種文本將模型應用於新情境的內容上，沒有完善的說明與解釋，儘管外顯式建模文本有明確的思考模型應用的問題(如想一想試題)，但是，此結果也意味著外顯式建模文本缺少了更多的媒介來讓學生能夠理解，例如更明確或完善引導說明或配合教師的解說等來增加外顯式建模文本的效用。

雖然，三組與各建模歷程之建模能力組間的比較中，沒有達到顯著差異(無法比較出三個文本的優劣)，但也顯示出不同文本各自有其優劣，在各建模歷程之建模能力的表現上均有不同的優勢，其中，外顯式建模文本組在各建模歷程之建模能力表現上較為完備且具有較完整的建模能力的發展，也顯示出外顯式建模文本的效益。

第六節 原子模型半結構式晤談之建模能力分析

本節以兩次「原子模型建模能力試題之半結構式晤談」為主要分析的資料(前晤、後晤)，比較分析 12 位學生(「一般文本組」：4 位、「內隱式建模文本組」：4 位與「外顯式建模文本組」：4 位)於閱讀前、後，對於各建模歷程之建模能力的影響，更進一步進行結果的描述與探討。

根據第五節將所歸類之建模歷程，包含了「模型選擇」、「模型建立」、「模型效化」、「模型分

析」、「模型應用」、「模型修正」與「模型轉換」等七大建模歷程，將一般文本組(A3)、內隱式建模文本組(B2)與外顯式建模文本組(C1)學生的晤談質性資料作為代表，其結果如下。

一、閱讀文本前晤談資料分析

(一) 模型選擇

「模型選擇」為學生根據四大原子模型之原子模型圖的選擇，選擇對適合問題的成分或物件（例如：原子、電子、原子核、質子和中子）。

.....

研：你認為道耳頓原子模型較接近下列何者？

A3：A。(如右圖)

研：你為什麼會選A？

A3：就...道耳頓可能猜測原子內有很多個小粒子。

研：那小粒子代表什麼？

A3：電子中子質子。

.....



.....

研：你認為湯姆森的原子模型比較接近下列哪一個？

B2：我選C。(如右圖)

研：為什麼你要選C？

B2：因為題目有提到是射線阿！

研：那C的圖你認為帶負電荷的粒子在哪邊？

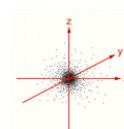
B2：那個...我可以改答案嗎？

研：可以。

B2：那我要改成B。(如右圖)

研：那你為什麼要改成B？

B2：因為...他比較像是一個帶負電的粒子，其他的圖看起來不像。

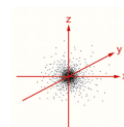


.....

.....

研：你認為波耳的原子模型比接近下列何者？

C1：C。(如右圖)



研：為什麼你會選C？

C1：一點一點的是電子，中間是原子核，所以電子會有軌道繞著原子運轉。

.....

根據三組學生在四大原子模型圖中的成分及物件的選擇上，結果顯示，一般文本組的四位學生中有兩位在四個原子模型的成分選擇上均沒有正確的成分選擇，有兩位在道耳頓與湯姆森模型的成分有部分合適的選擇，但是在拉塞福與波耳模型成分上是沒有正確的成分選擇；內隱式建模文本組的四位學生中有兩位在四個原子模型的成分選擇上均沒有正確的想法，有兩位在模型圖片的選擇是正確的，但是無法提出完整的成分或物件；外顯式建模文本組的四位學生在四大原子模型的成分物件及模型圖片各有部分正確，亦有部分錯誤。

整體而言，在閱讀文本之前，三組學生對於四大原子模型成分物件的選擇上，沒有完整且正確的想法，學生會從題目中尋找可能的關鍵詞，而去選擇該模型的成分或物件，或是猜測可能的成分，因此，在前晤模型選擇上表現不佳。

(二) 模型建立

「模型建立」為從選擇之成分或物件，建立成分之間的關係，因此，模型選擇之成分的選擇，會影響模型建立的成分之間的關係。

.....

研：你選擇湯姆森的原子模型圖(D 圖，如右圖)中帶負電的粒子是何者？

A3：外圍在移動的電子(帶負電)。

研：那中間的是？

A3：中子和質子。

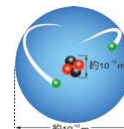
研：是湯姆森發現了還是？

A3：他沒有發現，只是我認為有電子，所以選擇 D。

研：那你認為電子的運動方式為何？

A3：在外圍沒有規律的運動。

.....

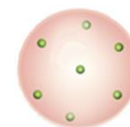


.....

研：為什麼要將湯姆森原子模型又改成 A(如右圖)？

B2：因為帶負電粒子應該不會相吸，所以應該是 A，分散的。

.....



.....

研：你認為拉塞福的原子模型的結構關係為何？

C1：因為有原子核和電子。

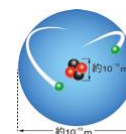
研：你說的原子核是？

C1：中間四個圈圈的那個是原子核。

研：那你認為電子如何運動？

C1：就亂跑，繞著原子核亂跑。

.....



根據分析結果顯示，一般文本組四位學生中，有兩位無法正確呈現模型建立，而有兩位能夠依照所選圖片建立部分關係；內隱式建模文本組的四位學生中，有兩位能依照所選擇之成分建立關係，有兩位則無法建立關係；外顯式建模文本組的四位學生中，有兩位能呈現部分成分的關係，則有兩位無法建立成分之間的關係。

也就是說，於閱讀文本之前，三組學生於模型選擇上，均無法完整提出合適的成分，因此，在模型建立上，也僅能依照所選擇之成分，建立成分之間的關係，從圖片選擇上(學生選擇的圖片與四大原子模型的配對不一定是正確的)建立可能之成分關係，或是無法建立其關係。

(三) 模型效化

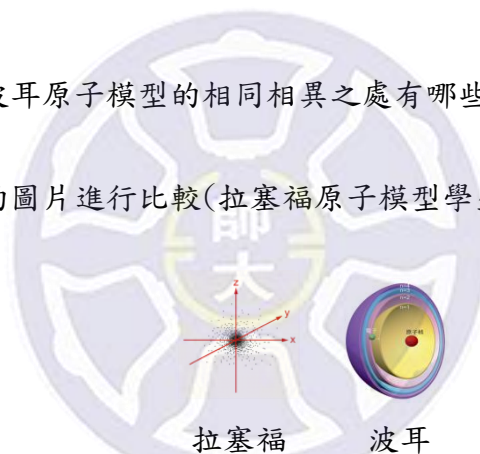
「模型效化」為學生利用所建立之四大原子模型的關係與結構進行模型的效化，意即比較、檢核、判斷模型的內部一致性。

.....

研：你認為拉塞福跟波耳原子模型的相同相異之處有哪些？

A3：我不知道。

研：你可以從你選擇的圖片進行比較(拉塞福原子模型學生選擇 C，波耳原子模型學生選擇 E，如右圖)



A3：就不知道怎麼去進行比較，拉塞福的圖我是依照實驗敘述選擇的。

.....

.....

研：那你怎麼比較波耳和拉塞福的原子模型圖？但是你兩個都選相同的圖？

B2：我不知道，我不清楚我選擇的圖對不對。

.....

結果分析顯示，一般文本組四位學生中有兩位能夠進行兩個原子模型的比較，但是有兩位無

法進行模型的效化；內隱式建模文本組的四位學生中，有三位能夠進行模型的效化比較，有一位無法進行比較；外顯式建模文本組的四位學生中，有三位能夠進行模型的效化，一位則無法進行模型的效化。

然而，雖然部分學生能夠進行模型的效化，但是不代表其模型的建立是正確的，依照模型選擇及模型建立的分析結果來看，學生模型效化的內容不一定是正確的，如 B2 學生提及的「不清楚選擇的圖對不對」，也就代表模型選擇與建立在進行模型效化之前是相當重要的，會影響模型效化的表現。

（四）模型分析

「模型分析」為利用以效化的模型分析問題，並能夠解釋其適當性，可以是數據的計算或是推理。但是，根據分析結果顯示，於閱讀文本之前，三組學生(12 位)均無法呈現模型分析的內容表現，原因為可以歸納出「沒有學過、忘記、不知道如何計算」等。以下以 B2 學生的晤談內容表示。

.....

研：油滴實驗的電子電量計算的部分，可以請你說明一下你的推論過程嗎？

B2：之前沒有學過，所以我不知道怎麼算。

.....

（五）模型應用

「模型應用」為將已效化的模型，應用至相似情境的問題上。

.....

研：依據湯姆森的原子模型，如果應用到拉塞福的實驗上，你認為結果會是哪一個？

A3：應該就直接穿過去吧！

研：那你認為比較接近哪一個選項？

A3：A 選項吧！ α 粒子完全穿透金屬片，在螢光屏幕上聚集成一點發光。

研：那你可以從你選擇的湯姆森原子模型圖說明是如何造成這樣的結果嗎？

A3：痾…我不知道，就感覺是 A。

.....

.....

研：如果依照你選擇的湯姆森的原子模型圖去進行拉塞福實驗的結果推測的話，你認為可能的結果會是如何？ α 粒子會發生什麼事？

C1：D， α 粒子撞擊原子內的某小體積、高質量帶正電體，少數發生偏轉，其餘不受影響，筆直穿透金屬板。

研：為什麼你會選 D？D 的選項跟拉塞福的實驗結果是一樣的？

C1：我覺得結果會一樣的，只是湯姆森當時還沒發現原子核的存在，所以沒畫出來，所以我覺得如果依照湯姆森的原子模型去推論結果的話，應該也是 D。

.....

三組學生對於模型應用的結果，一般文本組的四位學生中有三位學生無法呈現模型應用的結果解釋，一位學生能夠進行解釋提出自己的想法；內隱式建模文本組的四位學生中，有兩位能夠呈現模型應用的解釋，有兩位無法說明理由；內隱式建模文本組的四位學生中，有兩位學生能夠進行模型應用的說明，有兩位無法呈現。

根據閱讀文本之前，大部分學生在模型應用無法呈現其原因，會有像 A3 學生的猜測，或是根據選項而進行說明，但卻無法與原子模型圖進行完整的應用說明，又或者是不了解原子模型於模型應用的內容，導致學生在模型應用上的表現不佳。

(六) 模型修正

「模型修正」為學生能察覺模型的限制與失效，藉此修正(增加或減少)模型中的成分或物件，將其修正為新的模型。

.....

研：透過原子模型的發展及新發現，你認為道耳頓的原子說內容要怎樣做修正？

B2：對道耳頓原子說的內容不熟悉，所以不知道如何修正。

.....

.....

研：你認為拉塞福的原子模型是穩定的嗎？

C1：不穩定，電子可能會跑走，然後不見。

研：那你覺得這樣的狀況要如何修正？

C1：就別的原子的電子也會跑過來，你的電子跑走，別的原子的電子也會過來，互相跑

研：所以你覺得有需要做修正嗎？

C1：不用阿，就會補來補去。

.....

模型修正的結果，一般文本組四位學生中均無法察覺模型失效或限制，以至於無法對模型進行修正；內隱式建模文本組的四位學生也無法查察覺模型的失效，因此，沒有呈現模型的修正；外顯式建模文本組的四位學生中有兩位無法提出模型之間的修正，有兩位能夠指出部分修正，但是，就如 C1 學生的晤談資料，有察覺模型可能失效的原因，但是卻無法提出正確的修正內容。

因此，於閱讀文本之前，大部分學生是無法察覺模型的失效與限制，也就無法指出修正的內容，但也與 B2 學生提到的原因相關，由於在閱讀文本之前，學生沒有四大原子模型的完整內容，因此，在高層次的模型修正上無法有好的表現。

(七) 模型轉換

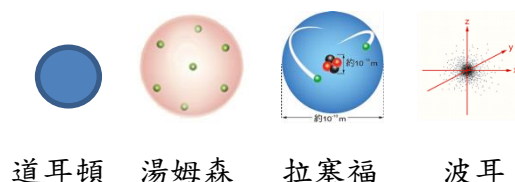
「模型轉化」為學生察覺已失效的模型整體失效，以重新建立新的模型。

.....

研：原子模型的發展順序？

C1：道耳頓是第一個，湯姆森第二個，再來是拉塞福，最後是波耳（學生對於原子模型圖的選擇不確定，如右圖）

.....



此建模歷程(模型轉換)與模型選擇、模型建立與模型修正相輔相成，三組學生於閱讀前，在模型選擇、建立與修正上的表現均沒有正確且完整的呈現成分、關係與修正的內容，因此，在模型轉換上，縱使能夠提出四大原子模型的發展順序，也不能夠完整指出模型失效的原因，如 C1 學生能夠提出原子模型的發展順序，但是其在模型選擇與建立的圖片上，已經不正確了，因此，在模型轉換上也無法呈現模型轉換的內容。

綜合以上，對於三組學生於閱讀文本之前的晤談資料分析結果顯示，三組學生於七大建模歷程的表現差異不大，又對於四大原子模型的內容沒有完整且正確的想法，僅能依照試題內容或選項去表達出自己對於原子模型的想法，在低層次的模型選擇與建立上，無法呈現完整且正確的內容，以至於在較高層次的建模歷程表現上，也無法達到好的表現。

二、閱讀文本後晤談資料分析

前者分析了閱讀本文之前學生對於各建模歷程的建模能力表現，結果顯示學生對於四大原子模型的內容知識是並不完整，而導致在各建模歷程之建模能力的表現不佳。然而，三組學生在透

過文本的閱讀之後，各組學生對於各建模歷程之建模能力的表現會是如何？其結果分析如下。

(一) 模型選擇

於閱讀文本之後，學生較能夠選擇出適合題目的成份以及圖片物件(如：原子、電子、正電團、原子核、質子、中子)。

.....

研：你認為拉塞福原子模型比較接近下列哪一個？

A3：D。(如右圖)

研：為什麼會選擇D？

A3：就外面的是電子，中間就是原子核，顏色較黑的是質子和顏色較淺的是中子。

.....

研：你認為湯姆森原子模型比較接近下列哪一個？

A3：A。(如右圖)

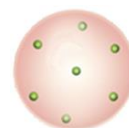
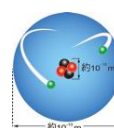
研：那你為什麼選擇A呢？

A3：因為有帶負電的粒子，就是電子，一顆一顆那個就是。

研：那你認為有帶正電的地方嗎？

A3：沒有，就只有帶負電。

.....



.....

研：你認為拉塞福原子模型比較接近下列哪一個？

B2：D。(如右圖)

研：那你為什麼會選擇D呢？

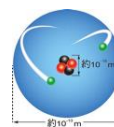
B2：因為他發現原子核，外面有電子在環繞。

研：那你認為此時的原子核內還有其他的粒子嗎？

B2：沒有，就只是原子核。

.....

研：你認為湯姆森原子模型比較接近下列哪一個？



B2：A。(如右圖)

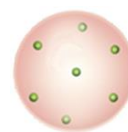
研：那你為什麼會選擇 A 呢？

B2：因為湯姆森的原子模型是西瓜模型，長得像 A，裡面一顆一顆的是帶負電的電子

研：那你認有帶正電的部分嗎？

B2：沒有。

.....



.....

研：你認為拉塞福原子模型比較接近下列哪一個？

C1：D。(如右圖)

研：那為什麼你會選擇 D 呢？

C1：因為發現了原子核，外面有電子

研：那你認為原子核內有其他粒子嗎？

C1：有質子和中子，但是之後才發現的。

.....

研：你認為湯姆森原子模型比較接近下列哪一個？

C1：A。(如右圖)

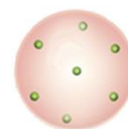
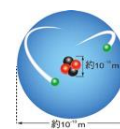
研：那為什麼你會選擇 A 呢？

C1：因為他發現了帶負電的電子，因為他只有發現電子。

研：那你認為有帶正電的地方呢？

C1：有正電團，電子以外的地方。

.....



從 12 位學生的晤談結果顯示，一般文本組的四位學生中，有三位學生在道耳頓與湯姆森的成份上有呈現模型選擇，但於湯姆森原子模型均沒有呈現「正電團」的成分，於拉塞福和波耳的成份上無法均呈現完整的模型選擇，例如：A3 學生認為拉塞福原子核模型中有質子和中子的成份，而有一位學生是無法呈現模型選擇(四大原子模型成份的選擇均錯誤)。

內隱式建模文本組的四位學生中，均能夠呈現模型選擇，但是於湯姆森模型上有三位缺少了「正電團」的成分，於波耳原子模型的成份中，四位學生均認為有質子和中子的存在，其中有三

位學生在拉塞福原子模型的成分中，認為有質子和中子的存在。

外顯式建模文本組的四位學生均有呈現各原子模型的模型選擇，相較於其他兩組，外顯式建模文本組的四位學生中有兩位學生在湯姆森原子模型中均能正確呈現「電子與正電團」的成分，如 C1 學生的晤談內容，而在拉塞福的成分上，有兩位學生能夠正確呈現模型選擇，在波耳原子模型的成分上，也是有兩位能呈現正確的模型選擇。

比較三組學生於閱讀文本之後，其模型選擇的表現均比閱讀文本前來的好，其結果也呼應了第五節於模型選擇後測成績上的提升，其中，外顯式外模文本組的學生較能夠指出正確的模型成分，也就是說，透過外顯式建模文本的架構，能讓學生更容易獲得及得知模型的成分或物件，有效提升學生在模型選擇的建模能力表現。

(二) 模型建立

閱讀文本之後，三組學生對於模型成分之關係的建立也有顯明的提升。

.....

研：你認為道耳頓原子模型比較接近下列哪一個？

A3：B。(如右圖)

研：你為什麼會覺得是 B 呢？

A3：物質一直切下去，切到最後會是一個無法再切割的堅硬粒子。

研：好，那你認為無法再切割的粒子是？

A3：就是像 B 圖只有一顆原子。

.....

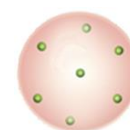


.....

研：你認為湯姆森原子模型比較接近下列哪一個？

B2：湯姆森的原子模型是西瓜模型，長得像 A。(如右圖)

研：那你可以說明一下 A 圖的結構關係嗎？



B2：裡面一顆一顆的是帶負電的電子。

研：那電子的排列是？

B2：就均勻分布在原子中。

.....

.....

研：你認為拉塞福原子模型比較接近下列哪一個？

C1：D。(如右圖)

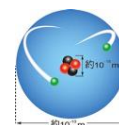
研：那為什麼你會選擇D呢？

C1：因為發現了原子核，但是電子最後會撞上原子核。

研：所以電子在原子核外是如何運動的？

C1：就亂繞，然後最後會撞上原子核。

.....



根據後唔分析的結果顯示，一般文本組四位學生中有三位能夠呈現模型建立，有一位無法呈現正確的模型建立。其中，能夠呈現模型建立的三位學生中有兩位無法正確呈現拉塞福及波耳原子模型的建立，有一位在四大原子模型中能夠呈現模型建立，如 A3 學生對於道耳頓原子模型的建立，能夠提出正確之成分以及關係。

內隱式建模文本組的四位學生，皆能夠呈現模型成分之關係的建立，但由於四位學生於成分上的選擇並不完全正確，因此在成份關係的建立上，也只能呈現有選擇之成分的關係，如 B2 學生，從湯姆森的電子(成分)，去建立其關係為均勻分布於原子中(關係)，但卻缺少了「正電團」的成分。

外顯式建模文本組的學生，亦是四位學生均能夠呈現模型建立，其中，與其他兩組相比之下，僅有外顯式建模文本組的兩位學生能夠在拉塞福原子模型中建立電子最後會撞上原子核的關係，如 C1 學生唔談資料。

相較之下，在模型建立的建模能力表現上，呼應了第五節的結果，三組學生均在閱讀前、後

(組內)，模型建立之建模能力的表現達顯著進步，但是，外顯式建模文本還是較能夠呈現出模型的成分與物件，讓學生能夠獲得較完之整模型建立的內容。

(三) 模型效化

模型效化建模能力的表現上，與前晤的結果相較之下，學生的表現是有進步的，能夠呈現比較、檢核、判斷模型的內部一致性。

.....

研：你認為拉塞福和波耳原子模型有哪些相同和不不同的地方？先看相同的地方，你認為有那些？

A3：都有電子和原子核。

研：那兩原子模型的原子核是相同嗎？

A3：相同的都有質子和中子。(錯誤的比較)

研：不同處呢？

A3：不同處就是電子在拉塞福中是沒有特定軌道，在波耳中是有特定軌道。

.....

.....

研：你認為拉塞福和波耳原子模型有哪些相同和不不同的地方？先看相同的地方，你認為有那些？

B2：都有電子在原子核外繞。

研：那他們電子繞行方式是相同的嗎？

B2：不同，相同的是原子核外都有電子再繞。

研：好，那還有相同的地方嗎？

B2：都有原子核。

研：那兩原子模型的原子核內的粒子有相同嗎？

B2：不相同，波耳的有質子和中子，拉塞福就只是原子核。

研：那環繞的方式差別在哪？

B2：拉塞福就沒有軌道的亂繞，波耳是有軌道。

.....

.....

研：你認為拉塞福和波耳原子模型有哪些相同和不不同的地方？先看相同的地方，你認為有那些？

C1：就是電子會繞著原子核轉，還有都有電子、原子核。

研：那不同之處？

C1：波耳的電子是有軌道的，所以電子不會撞上原子核，拉塞福的電子沒有軌道，所以最後會撞上原子核。

.....

結果顯示，一般文本組的四位學生中有三位能夠呈現模型效化，一位無法呈現；內隱式建模文本組與外顯式建模文本組的學生均能夠呈現模型效化的內容。此結果也與第五節的結果相符，三組學生於前、後測的分數相較之下，後測成績是進步的，又由於內隱式建模文本與外顯式建模文本組的學生較能夠呈現正確內容的比較，如 B2 和 C1 學生的晤談資料顯示，也就代表內隱式建模文本與外顯式建模文本較能夠提升學生的模型效化之建模能力的表現，也呼應了第五節在模型效化建模能力分析的結果，內隱式建模文本與外顯式建模文本組在組內比較上有達顯著進步。

（四）模型分析

模型分析之建模能力的表現，在閱讀文本之後，三組學生無法利用以效化的模型分析問題，並無法呈現數據的計算或是推理。

.....

研：根據密立坎油滴實驗的電量，你認為電子電量的計算為何，你是如何推論的？

A3：這個我不會..不懂。

研：那你認為有什麼方式才會比較好理解？

A3：或許是老師教吧！

.....

.....

研：根據密立坎油滴實驗的電量，你認為電子電量的計算為何，你是如何推論的？

B2：不會算。

研：文中有這部分？

B2：有，但是還是不懂。

.....

.....

研：根據密立坎油滴實驗的電量，你認為電子電量的計算為何，你是如何推論的？

C1：我不會算。

研：為什麼會不會算？

C1：沒有人教我我不會算。

研：所以你文本裡面沒有讀懂？

C1：恩。

.....



根據結果顯示，一般文本組的四位學生在閱讀文本之後，對於模型分析的題目依然不會計算，皆呈現不懂，進一步詢問何種方式較能夠理解，學生均回答希望能透過教師教導的方式。內隱式建模文本組的四位學生也呈現無法自行透過閱讀的方式理解文本中的相似題，也都認為此部分需由教師講解。外顯式建模文本組的四位學生，皆因為無法理解而導致無法呈現模型分析，亦認為需要有教師的講解才有辦法理解。也就表示，於較高層次建模歷程中的模型分析，如果僅透過文本閱讀的方式較難讓學生理解，在模型分析的建模能力上就無法呈現好的表現，而是需要有教師的從旁協助。

(五) 模型應用

將以效化的模型應用到新的情境中，在此部分的結果，有大部分的學生因為無法理解而沒有辦法解釋理由。

.....

研：如果依照你選擇的湯姆森的原子模型圖去進行拉塞福實驗的結果推測的話，你認為可能的結果會是如何？ α 粒子會發生什麼事？

A3：A， α 粒子完全穿透金屬片，在螢光屏幕上聚集成一點發光。

研：那為什麼你會選擇 A 呢？你有畫圖(如下圖)，可以請你說明一下嗎？

A3：我不知道...因為我背課本的圖。



.....

.....

研：如果依照你選擇的湯姆森的原子模型圖去進行拉塞福實驗的結果推測的話，你認為可能的結果會是如何？ α 粒子會發生什麼事？

B2：A， α 粒子完全穿透金屬片，在螢光屏幕上聚集成一點發光。

研：那你的理由是？

B2：因為湯姆森當時沒有發現原子核的存在，所以 α 粒子會直接穿過。

研：直接穿過的意思是？就是 α 粒子和電子之間的關係是？

B2：不清楚...我記得課本是說直接穿過。

研：課本有提到，那你有讀懂嗎？

B2：沒有。

.....

.....

研：如果依照你選擇的湯姆森的原子模型圖去進行拉塞福實驗的結果推測的話，你認為可能的結果會是如何？ α 粒子會發生什麼事？

C1：A。

研：你覺得是 α 粒子完全穿透金屬片，在螢光屏幕上聚集成一點發光，你的理由是？

C1：因為電子太小打不到電子，所以會穿透形成一個光點。

.....

在模型應用的晤談結果顯示，一般文本組的四位學生能夠呈現模型應用，但是在解釋理由上，卻因為沒有理解而無法正確達到模型應用的表現，如 A3 學生能夠知道應用的結果，但因為不理解內容過程，只記得課本的圖片，導致在模型應用的建模能力表現上無法有好的表現。而內隱式建模文本組的四位學生在模型應用上無法呈現正確的理解，而在解釋上會因為不清楚過程，而只記得結果。外顯式建模文本的四位學生，有三位同樣因為沒有真正理解過程原因，而無法說明應用的過程，有一位能夠提出正確的原因解釋。

此結果與第五節的模型應用組內的結果一致，就算僅有外顯式建模文本組有達顯著進步，但是三組學生進步的範圍依然有限，其原因可以歸納出，學生因為不夠理解模型應用的內容，而無法在表現上有好的理解與表現，也就表示，雖然三種文本都有呈現此部分的內容，但學生在較高層次的建模歷程之閱讀理解上是無法自行吸收及理解。

（六）模型修正

模型修正之建模能力的表現，三組學生能察覺模型的限制與失效，藉此修正(增加或減少)模型中的成分或物件，將其修正為新的模型。

.....

研：各個原子模型之間的修正有哪些？湯姆森是如何修正道耳頓的內容？

A3：湯姆森發現帶負電的電子。

研：那拉塞福是如何修正湯姆森的？

A3：多了質子和中子。

研：那質子和中子是拉塞福發現的嗎？

A3：好像不是。

研：那拉塞福是發現了什麼？

A3：不知道。

研：好，那波耳是如何修正拉塞福的？

A3：恩忘記了。

研：那你認為波耳和拉塞福的差別在哪？

A3：軌道的差別，波耳有軌道，拉塞福沒軌道。

.....

.....

研：各個原子模型之間的修正有哪些？湯姆森是如何修正道耳頓？

B2：湯姆森發現電子，修正道耳頓原子不能再被分割的內容，原子是可以被分割的。

研：那拉塞福是如何修正湯姆森的原子模型？

B2：就拉塞福發現原子核，修正了湯姆森的模型，因為湯姆森沒有發現原子核。

研：那波耳如何修正拉塞福？

B2：電子應該是在軌道上運行。

.....

.....

研：各個原子模型之間的修正有哪些？湯姆森如何修正道耳頓的內容？

C1：原子不是最小的，可以再被分割出電子。

研：拉塞福如何修正湯姆森的？

C1：除了電子的運轉方式，還有原子核。

研：是根據什麼實驗？

C1： α 粒子那個實驗

研： α 粒子散射實驗，那拉塞福根據此實驗是發現什麼？

C1：原子核，質子和中子是之後才發現的。

研：好，那波耳怎麼修正拉塞福的？

C1: 多了軌道的概念，電子才不會撞上原子核。

.....

由晤談結果顯示，一般文本組的四位學生中有三位能夠呈現模型修正，一位無法呈現，從 A3 學生的晤談資料顯示，模型的修正與模型選擇、建立、效化有關，雖然可以呈現部分模型修正，但是在成份上卻無法完整的提出修正內容，也就是在低層次的模型選擇與建立沒有達到完整的表現，但是與前晤的結果相比，學生於閱讀文本之後，均能夠掌握部分的模型修正，僅有一位在低層次建模歷程無法呈現模型選擇、建立及效化，因此在模型修正亦無法提出正確的修正內容。

內隱式建模文本組的四位學生均能夠呈現模型修正也呼應了第五節的結果，三組學生於閱讀文本前、後(組內)，有達顯著進步，然而，外顯式建模文本組的四位學生中，有兩位能夠指出其他兩組沒有呈現的拉塞福原子模型的失效內容，也就表示，外顯式建模文本較能夠讓學生察覺模型失效與修正的完整內容。

(七) 模型轉換

根據模型選擇、模型建立與模型修正的內容，三組學生在模型轉換上的表現，也比前晤呈現的內容多了許多，內容也更加的完整，以下舉例圖 4-7-1 為 B2 學生在試卷上的答案呈現內容。

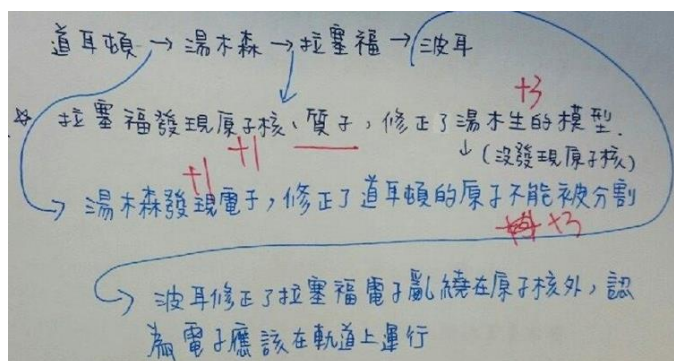


圖 4-6-1 B2 學生的手稿內容

三、小結與討論

根據此節對於原子模型建模能力之晤談結果的分析，顯示在閱讀文本之前，三組學生在各建模歷程之建模能力的表現上均能夠說明第五節呈現的結果，學生在閱讀文本之前，原子模型各建模歷程之建模能力的表現是由於對於原子模型的內容不夠清楚、完整，導致在各建模歷程之建模能力表現上不佳，更顯示出在低層次的模型選擇與建立上，無法呈現完整且正確的內容，以至於在較高層次的建模歷程表現上，也無法達到好的表現。

又於閱讀文本之後，三組學生分別在各建模歷程之建模能力的表現上有所提升。於低層次之建模歷程的表現上，由於透過文本的閱讀，對於四大原子模型的內容有一定程度的吸收，因此，三組之間均能夠呈現低層次建模歷程都有的表現，而外顯式建模文本組的學生較能夠察覺成分與成分之間的關係而有較完整的表現。

於較高層次的建模歷程(如：模型分析與應用)，由於學生透過文本的閱讀無法自行吸收理解內容，以至於在模型分析與應用的表現上無法呈現該歷程的建模能力，因此，此結果顯示出，文本的閱讀雖有助於提升學生對於原子模型各建模歷程的建模能力，但是僅透過文本的閱讀，學生是無法自行理解在較高層次之建模歷程的內容，是需要有教師的教導。

而在模型效化、修正與轉換的建模能力表現上，三組學生均能夠呈現各建模歷程的建模能力，但是，外顯式建模文本組的學生較能夠察覺模型的失效與轉換的過程。

綜合此節的晤談結果能夠說明第五節各建模歷程之建模能力的分析結果，顯示外顯式建模文本組的學生在各建模歷程中的表現，於閱讀前、後，在七大建模歷程中有六個建模歷程達成顯著進步(模型選擇、模型建立、模型效化、模型分析、模型修正與模型轉換)，也根據晤談資料顯示，外顯式建模文本組的學生較能夠呈現出四大原子模型之完整的成分、關係與模型失效與轉換的內容，也說明了，外顯式建模文本能有效的提升學生較完整的建模能力，也呼應第四節的研究結果(外顯式建模文本於建模能力的成效上優於其他兩組)。



第五章 討論與結論

本章可分成兩節，第一節為討論與結論，將針對研究結果的發現與文獻進行進一步的討論，並整理出本研究的結論；第二節將提出本研究對於科學教育的啟示、反思與建議。

第一節 討論與結論

本研究主要探討關於促進原子模型概念學習與建模能力的外顯式建模文本之有效性。研究結果顯示，學生在閱讀外顯式建模文本之後，對於概念學習以及建模能力均有顯著的進步更有助於發展出接近科學模式的心智模式，因此本節將依據本研究的結果與發現，進行結論歸納並與文獻做進一步的討論，以確立本研究的結論，以下，本研究將以三個研究結論層面進行討論與說明，分別為「外顯式建模文本促進概念學習與建模能力」、「外顯式建模文本促進接近科學模式之心智模式的發展」、「外顯式建模文本的重要性」，分述如下。

一、 外顯式建模文本促進概念學習與建模能力

於文獻中能夠理解模型與建模的重要性，因此，在科學教育中不僅要提供模型的範圍、功能以及侷限性之外，更應該讓學生理解模型是如何被建構與發展的，因此，本研究設計了關於原子模型的外顯式建模文本，其中以建模歷程為架構，並以外顯的方式突顯各建模歷程，讓學生在閱讀過程中，能夠意識到模型之間的建立、修正、失效以及轉換...等，以建立對於原子模型有一個更完整的學習。

然而，原子模型在教育上有許多的缺失，認為模型之間的不連貫、過於強調實驗的細節以及結果（Justi & Gilbert, 2000; Blanco & Niaz, 1998; Niaz & Coştu, 2009; Rodríguez & Niaz, 2004），而導致學生在原子模型學習上無法有一個完整且全面的理解，更提出能夠透過「科學歷史與哲學

(簡稱 HPS)」觀點的融入，讓學生能夠以 HPS 的角度看原子模型的發展，促進學生對於科學概念的理解，然而，本研究之外顯式建模文本除了強調模型之間的轉換、修正之外，更從一個較完整且全面性的建模觀點連結每個模型，不僅能夠提高學生對於原子模型概念的理解，也能夠促進學生對於原子模型之建模能力的表現，也較能掌握模型失效的原因，更能夠提供原子模型單元一個更完整且連貫的內容。

除此之外，如同文獻中提及的，建模教學法也是能夠幫助學生掌握相關知識(黃文田，2010；賴俊文，2013; Schwarz et al., 2009; Halloun, 1996)，然而，本研究的結果呼應了 Jong、Chiu 與 Chung (2015) 的研究，透過閱讀的活動，學生能夠去掌握相關的知識，也顯示出外顯式建模文本能夠提供學生促進建模能力與概念學習的機會，以明確的建模歷程架構出完整的科學建模過程，並幫助學生掌握正確模型的成分以及相關知識，例如：模型的失效原因。

然而，本研究之外顯式建模文本的使用是不同於科學文本於概念改變上的使用，概念改變的本文與反駁式文本兩者均著重在迷思概念上，提供了克服概念上的限制與確認科學模型的侷限性，進而達到正確概念的學習，而本研究之外顯式建模文本使用了系統性思考的建模觀點，促使科學模型的生成、效化、修正與轉變，延伸了概念的學習網絡，而不只是在修改特定的迷思概念，而是提供學生完整且有系統的學習網絡，進能促進學生概念的學習以及建模能力的發展。

綜合以上討論內容，外顯式建模文本能夠提供學生全面與系統性的建模學習過程，並也能夠顯示出外顯式建模文本對於學生概念學習上是有所幫助的，更有助於建模能力的發展。

二、 外顯式建模文本促進接近科學模式之心智模式的發展

本研究之心智模式的分類依據除了是依照「科學史」的方式之外，同時也跟根據「模型的成分與關係」及「原子核的發展」進行心智模式的分類，又加上外顯式建模文本的設計，外顯化建模歷程，也更突顯「模型選擇與建立」，更於每個原子模型之後有成分與關係的整合題，讓學生

能夠掌握各個原子模型的成分與關係，因此在心智模式的轉變上，外顯式建模文本組能夠發展出較多個心智模式的種類之外，其心智模式的發展也更趨向於科學模式。

然而，三組學生透過文本的閱讀之後，亦可發現三組學生於初始原子模式的百分比大幅減少（一般文本組：91.7→16.7%；內隱式建模文本組：91.7→25.0%；外顯式建模文本組：91.7→16.7%），原子混合模式增加，如三組主要均有發展至道耳頓-湯姆森原子混和模式（一般文本組：0→33.3%；內隱式建模文本組：0→50.0%；外顯式建模文本組：0→16.7%），其結果與 Vosniadou 與 Brewer（1992）所提到的觀點相同，學生在學習科學概念之前，會由基礎的想法所組成較為樸素的初始心智模式（initial mental model），在經由概念的獲得與原有的想法之交互作用下，轉化為綜合性心智模式（synthetic mental model），最後，如同外顯式建模文本的學生，其心智模式的發展能夠發展於類科學模式，也就表示，外顯式建模文本較能夠提供促進學生發展出較接近科學模式之心智模式的機會。

另外，文獻也提及建模教學法能夠促進學生心智模式的發展（劉俊庚，2010；黃文田，2013；Clement, 2000; Buckley & Boulter, 2000; Schwarz et al., 2009），但是，透過本研究的結果顯示，文本閱讀的方式亦是促進學生心智模式的發展，外顯式建模文本提供了外顯化的建模歷程，有助於學生對於模型成分的掌握與關係之間的建立，進而促進學生發展出較接近科學模式的心智模式。

綜合以上的討論，也顯示出外顯式建模文本對於學生學習上是較能夠發展出接近科學模式的心智模式，也有助於對於模型成分與建立上的掌握。

三、 外顯式建模文本的重要性

根據文獻提及，在教學教育現場中，均缺乏了「模型與建模」的觀點（Justi & Gilbert, 2003; Schwarz et al., 2009; Driel & Verloop, 2002; Gericke & Hagberg, 2010），更有文獻提及，應該於教育

現場中融入「模型與建模」(劉俊庚、邱美虹, 2010; Saari & Viiri, 2003), 協助學生學概念的學習以及心智模式的發展, 因此, 透過本研究的設計與結果, 回應了以上的文獻, 透過建模歷程融入於科學本文當中, 不僅能夠提供教育現場外顯式建模文本的參考, 更能夠提供外顯式建模文本於教育現場中使用的機會, 又透過本研究結果顯示, 外顯示建模文本有助提升學生概念上的學習與建模能力的發展, 以及能夠發展出較接近科學模式的心智模式, 由此, 便可以突顯外顯式建模文本的有效性, 也能夠確認外顯式建模文本對於科學教育的重要性。

第二節 啟示、反思與建議

本節共分成兩部分, 第一部分為提出本研究對於科學教育的啟示與反思; 第二部分則進一步對本研究提出檢討與改進, 提供之後在未來研究上的建議。

一、對於科學教育的啟示與反思

(一)對於科學教育的啟示

本研究從學生學習的根本與教師教學活動的來源設計外顯式建模文本, 採用邱美虹(2014)提出的建模歷程指標(Modeling Process Indicators, MPI)為主要架構, 外顯化其建模歷程, 並以系統性的方式整合原子模型發展的概念及各模型之間的轉換等, 讓學生能夠在建模歷程的架構下學習完整的科學內容, 並能夠掌握模型成分的選擇、建立正確之成分的關係、進行模型之間的效化與比較、發覺模型失效、修正與轉換的過程, 進而幫助學生對於科學模型有更好的理解。而在本研究的結果中, 顯示出明確的外顯化建模歷程可以幫助學生在模型成分與關係上的掌握, 以及知道模型的失效, 使其學生可以修正及轉換至新的模型, 更在概念成效與建模能力上有顯著的進步, 並能夠有較接近於科學模式之心智模式的發展, 透過這些結果, 也呈現出外顯式建模文本的

有效性與重要性。又基於目前科學建模文本的缺乏（Schwarz et al., 2009）以及建模文本的需要（Jong, Chiu & Chung, 2015），本研究之結果亦可以提供教科書編寫的參考，也能提供更有系統性之原子模型發展單元的內容。

（二）對於科學教育的反思

根據本研究的對於科學教育的啟示，顯示外顯式建模文本的有效性，然而，本研究為首次探討原子模型建模文本的成效，因此，在單元概念的選擇與建模文本設計的執行上均有小小的反思，也希望透過本研究的反思能在科學教育建模文本的研究領域中能夠提供小小的幫助。

首先，於科學教育中，要如何選擇單元的概念內容進行外顯式建模文本的設計呢？也就是建模文本有怎樣的屬性去符合哪種類型的單元概念呢？其中，Jong、Chiu 與 Chung（2015）提到建模歷程之建模能力屬於思考的技巧，讓學生能夠進行模型的生成、驗證及重建其心智模式，然而，在科學概念上也有許多的思考過程，因此，本研究將科學概念簡單分為「動態概念」與「靜態概念」，其中動態概念為能夠透過思考、動手做或具體、實際的方式等來協助概念的學習，而靜態的概念則是較無法透過具體或實際操作來完整獲得其科學概念的知識，因此，也顯示出靜態概念是比較需要更多的學習橋樑來幫助其概念的學習，如同本研究之原子模型的單元屬於靜態的概念，其中所涉及之實驗與實驗結果也僅能夠過影片或思考實驗來學習，又原子模型的概念內容也較為抽象，因此，本研究透過外顯式建模文本的設計，以外顯化建模的方式幫助學習思考原子模型之間的發展等相關概念，結果顯示出除了能提升概念上的學習成效之外，也能夠提升學生的建模能力，也就是說，外顯化的建模歷程提供了系統化且較完整的思考架構，有助於像原子模型單元這樣靜態概念上的學習，因此，根據以上的反思與討論，建模文本的使用是較符合需要更多思考或是較為抽象的靜態概念上。

再者，若要進行相關建模文本的研究，其建模文本的設計極為重要，然而，建模文本的設計

應如何執行與該注意哪些事項呢？透過本研究之外顯式建模文本的設計，除了明確外顯化各建模歷程的描述與說明之外，也改寫內容成為想一想的思考題目，並融入閱讀重點的提示與建模練習試題，最後，則凸顯所要建立模型之成分與關係之建模統整試題，均根據建模歷程以系統性的連接外顯式建模文的設計內容，然而，縱使本研究結果顯示外顯式建模文本能夠完整連結各原子模型之間的修正與轉換，也提供了原子模型成分與關係的建立，但是，同時也顯示了在外顯式建模文本中，各建模歷程內容的考量不夠仔細，太過於強調模型之間的連結，而忽略了其他建模歷程應有的完整內容，例如在高階建模歷程(如：模型分析與應用)中，學生無法僅透過閱讀來理解內容，因而影響學生在建模能力試題上的表現，因此，本研究認為在建模文本的設計上，除了要以系統性的建模歷程來連結單元概念之外，亦要更仔細考量各建模歷程在單元內容中的完整性，應配合補足建模歷程下所缺少的內容，例如：增加該建模歷程的內容、提示、練習試題或想一想試題等。

二、建議

(一) 研究執行之建議

由於本研究的執行是以借課以及利用自習課或早修時間，進行文本的閱讀、試題的施測，以及晤談，因此，在研究過程中會受到學校教師與課程進度、月考...等活動之影響而無法順利借課進行研究，導致在研究資料蒐集上會拖延較長的時間，因此，建議本文閱讀之相關研究，若本身為學校之代課代理或正式教師，在研究安排上會較容易實施，可以以身本教授之課程內容為主要設計單元，不僅能夠於課程進度上有所進度，亦能夠進行研究的施測。或是能夠在暑假或寒假之較長時間而沒有學校進度壓力之下，進行文本閱讀的研究，較能夠有效率地進行資料的蒐集與研究。

(二) 文本使用之建議

根據本研究結果顯示，三種文本均能夠提升學生之建模能力，但是，學生於較高層次之模型分析與模型應用上，由於無法僅透過閱讀的方式理解文本內容，而表示出需要有教師從旁的協助，因此，本研究建議文本的使用亦能夠融入教學中進行檢測，去除學生對於文本內容無法理解的狀況，更能夠進一步分析不同文本於較高建模歷程之建模能力的影響。

另一方面，學生對於文本內容沒有理解的情況，也顯示出本研究對於文本檢測的方式（學習單、重點畫記與文本練習試題）不夠完善，是由於本研究強調模型選擇、建立、修正與轉換的內容，而沒有考量到高層次之模型分析與應用的內容對於學生而言難以理解，因此，本研究建議能夠在本文檢測的方式中強調高層次而較難理解之建模歷程內容的試題，找出學生不能夠理解的範圍，在透過引導試題的方式或是晤談引導學生能夠理解較複雜的內容，以減少學生因為不理解而表現不佳，進而無法真正檢測到學生建模能力的情況。

(三) 未來研究之建議

本研究在原子模型發展之外顯式建模文本的研究中，顯示出外顯式建模文本有助於學生概念的學習與建模能力，更能夠提升學生的心智模式至較接近於科學的模式，但可惜的是，無法再進一步分析學生的建模能力的層級，由於本研究在研究設計上，沒有仔細考量到建模能力層級的能力指標，而造成缺乏分析建模能力層級的研究工具，因此，無法進行更深入的分析，也建議未來欲在建模能力相關的研究上著墨，要適當分析單元內容與考量建模能力分級的需要，進而設計好適合的研究工具。又加上目前於科學教育中，建模文本的研究少之又少，也建議能夠多在建模文本研究中進行著墨、研究，發展更多建模文本的相關研究。



參考文獻

一、 中文部分

- 吳明珠 (2004)。從科學史中理論模型的發展暨認知學心智模式探討化學概念的理解-層析理論的模型化案例 (未出版博士論文)。國立臺灣師範大學，臺北市。
- 林靜雯 (2006)。由概念演化觀點探究不同教科書教一學序列對不同心智模式學生電學學習之影響 (未出版博士論文)。國立臺灣師範大學，臺北市。
- 林靜雯、邱美虹 (2008)。從認識論/方法論之向度初探高中生模型及建模歷程之知識。科學教育月刊，307，9-14。
- 邱美虹 (2008)。模型與建模能力之理論架構。科學教育月刊，306，2-9。
- 邱美虹 (2014)。以系統化方式進行模型與建模能力之線上教學與評量系統—探討科學課程、概念發展路徑與建模能力之研究。科技部科教發展與國際合作司計畫 (計畫編號: NSC 102-2511-S-003 -006 -MY3)，未出版。
- 邱美虹 (2015)。以系統化方式進行模型與建模能力之線上教學與評量系統—探討科學課程、概念發展路徑與建模能力之研究。科技部科教發展與國際合作司計畫 (計畫編號: NSC 102-2511-S-003 -006 -MY3)，未出版。
- 邱美虹、劉俊庚 (2008)。從科學學習的觀點探討模型與建模能力。科學教育月刊，314，2-20。
- 張志康、林靜雯、邱美虹 (2009)。跨年級中學生串並聯電路心智模式的研究。科學教育月刊，317，2-17。
- 張志康、邱美虹 (2009)。建模能力分析指標的發展與應用-以電化學為例。科學教育學刊，17 (4)，319-342。
- 張淑女 (2008)。以真實性評量探究建模能力。科學教育月刊，308，2-6。
- 教育部 (2015)。十二年國民基本教育實施計畫之草案。臺北市：作者。
- 黃文田 (2013)。探討建模教學對八年級學生酸鹼概念發展與建模能力的影響 (未出版碩士論文)。國立臺灣師範大學，臺北市。

- 劉俊庚、邱美虹 (2010)。從建模觀點分析高中化學教科書中原子理論之建模歷程及其意涵。 *科學教育研究與發展季刊*，59，23-54。
- 賴俊文 (2010)。探討建模教學對於八年級學生學習物質粒子概念之學習成效與建模能力之影響 (未出版碩士論文)。國立臺灣師範大學，臺北市。

二、 英文部分

- AAAS. (1993). *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.
- Blanco, R. and Niaz, M. (1998). Baroque tower on a gothic base: a Lakatosian reconstruction of students' and teachers' understanding of structure of the atom. *Science and Education*, 7(4), 327-60.
- Bliss, J. (1994). From mental models to modelling. In H. Mellar, J. Bliss, R. Boohan, J. Ogborn, & C. Tompsett (Eds.), *Learning with artificial worlds: Computer based modeling in the curriculum* (pp. 27-32). Hong Kong: Graphicraft Typesetters.
- Buckley, B. C. & Boulter, C. J. (2000). Investigating the Role of Representations and Expressed Models in Building Mental Models. In J. K. Gilbert & C.J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp.119-135.). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Chambers, S. K., & Andre, T. (1997). Gender, prior knowledge, interest, and experience in electricity and conceptual change text manipulations in learning about direct current. *Journal of Research in science Teaching*, 34(2), 107-123.
- Chi, M. T. H., & Roscoe, R. D. (2002). The processes and challenges of conceptual change. In M. Limon & L. Mason (Eds.), *Reconsidering conceptual change. Issues in theory and practice* (pp. 3-27). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Coll, R. K., & Lajium, D. (2011). Modeling and the future of science learning. In *Models and modeling* (pp. 3-21). Springer Netherlands.
- Dori, Y. J., & Kaberman, Z. (2012). Assessing high school chemistry students' modeling sub-skills in a computerized molecular modeling learning environment. *Instructional Science*, 40(1), 69-91.
- Duti, R. (1991). On the role of analogies and metaphor in learning science. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Franco, C., de Barros, H. L., Colinviaux, D., Krapas, S., Queiroz, G., & Alves, F. (1999). From scientists' and inventors' minds to some scientific and technological products: relationships between theories, model, mental models and conceptions. *International Journal o Science Education*, 21(3), 277-291.
- Gericke, N., & Hagberg, M. (2010). Conceptual incoherence as a result of the use of multiple history models in school textbooks. *Research in Science Education*, 40(4), 605-623.
- Gericke, N., Hagberg, M., & Jorde, D. (2013). Upper secondary students' understanding of the use of multiple models in biology textbooks—The importance of conceptual variation and incommensurability. *Research in Science Education*, 43(2), 755-780.
- Gilbert, J. K. (1993). *Models and modeling in science education*. Hatfield, UK: Association for Science Education.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publisher.

- Gilbert, S. W. (1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(1), 3-9.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science teaching*, 28(9), 799-822.
- Halloun, I. (1996). Schematic modelling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 1019-1041.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011- 1026.
- Hartmann, S. (1995). Models as a tool for theory construction: Some strategies of preliminary physics. *Poznan Studies in the Philosophy of Science and the Humanities*, 44, 49-67.
- Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, 55(5), 440-454.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The physics teacher*, 30(3), 141-158.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness* (No. 6). Harvard University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (1994). Mental models and probabilistic thinking. *Cognition*, 50(1), 189-209.
- Jong, J. P., Chiu, M. H., & Chung, S. L. (2015). The Use of Modeling-Based Text to Improve Students' Modeling Competencies. *Science Education*, 99(5), 986-1018.
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369-1386.

- Justi, R. S. & van Driel, J. V. (2005). A case study of the development of a beginning chemistry teacher's knowledge about models and modeling. *Research in Science Education*, 35(2-3), 197-219.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Justi, R., & Gilbert, J. (2000). History and philosophy of science through models: some challenges in the case of 'the atom'. *International Journal of Science Education*, 22(9), 993-1009.
- Justi, R., Gilbert, J. K., & Ferreira, P. F. M. (2009). The application of a 'model of modeling' to illustrate the importance of metavisualisation in respect of three types of representation. In J. K. Gilbert, & D. Treagust (eds.), *Multiple representations of chemical education* (pp. 285-307). Netherlands: Springer.
- Kaberman, Z., & Dori, Y. J. (2009). Question posing, inquiry, and modeling skills of chemistry students in the case-based computerized laboratory environment. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7(3), 597-625.
- Kapıcı, H. Ö., & Savaşçı-Açıklık, F. (2015). Examination of visuals about the particulate nature of matter in Turkish middle school science textbooks. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(3), 518-536.
- Mansoor, N. I. A. Z., & RODRÍGUEZ, M. A. (2001). Do we have to introduce history and philosophy of science or is it already 'inside' chemistry? *Chemistry Education Research and Practice*, 2(2), 159-164.
- NGSS Lead States (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, DC :

National Academies Press.

- Niaz, M., & Coştu, B. (2009). Presentation of atomic structure in Turkish general chemistry textbooks. *Chemistry Education Research and Practice*, 10(3), 233-240.
- Norman, D. A. (1983). Some observations on mental models. In D. Gentner and A. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp.7-14). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Nyachwaya, J. M., & Wood, N. B. (2014). Evaluation of chemical representations in physical chemistry textbooks. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(4), 720-728.
- Ogborn, J. (1994). Overview : the nature of modeling. In H. Mellar, J. Bliss, R. Boohan, J. Ogborn, & C. Tompsett (eds.), *Learning with artificial words: computer based modeling in the curriculum* (pp. 11-15). Hong Kong: Graphicraft Typesetters.
- Páez, Y., Rodríguez, M. A., & Niaz, M. (2004). Los modelos atómicos desde la perspectiva de la historia y filosofía de la ciencia: un análisis de la imagen reflejada por los textos de química de bachillerato. *Investigación y postgrado*, 19(1), 51-77.
- Portides, D. P. (2007). The relation between idealisation and approximation in scientific model construction. *Science & Education*, 16(7-8), 699-724.
- Rodríguez, M. A., & Niaz, M. (2004). A reconstruction of structure of the atom and its implications for general physics textbooks: A history and philosophy of science perspective. *Journal of Science Education and Technology*, 13(3), 409-424.
- Saari, H., & Viiri, J. (2003). A research-based teaching sequence for teaching the concept of modelling to seventh-grade students. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1333-1352.
- Sánchez, G., & Valcarcel, M. V. (1999). Science teachers' views and practices in planning for teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(4), 493.

- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., ... & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Smith, M. U., & Adkison, L. R. (2010). Updating the model definition of the gene in the modern genomic era with implications for instruction. *Science & Education*, 19(1), 1-20.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.
- Ünal, S., Çalik, M., Alipaşa, A., & Coll, R. K. (2006). A review of chemical bonding studies: Needs aims, methods of exploring students' conceptions, general knowledge claims and students' alternative conceptions. *Research in Science and Technological Education*, 24(2), 141-172.
- van Driel, J. H. & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1153.
- Van Driel, J. H. & Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science Education. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1255-1272.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive psychology*, 24(4), 535-585.
- Wang, C. Y., & Barrow, L. H. (2011). Characteristics and levels of sophistication: An analysis of chemistry students' ability to think with mental models. *Research in Science Education*, 41(4), 561-586.
- Williams, M. D., Hollan, J. D., & Stevens, A. L. (1983). Human reasoning about a simple physical system. *Mental models*, 131-154.



附錄

附錄一 原子模型的發展之一般文本

原子模型的發展

✧ 德謨克利特(原子)

希臘哲學家德謨克利特 (Democritus, 460~370 B.C.) 曾經提出原子的概念，他認為物質若一直切割下去，愈切愈小，到最後會有一種堅硬的微小粒子，無法再分割，這種微小的粒子就稱為原子。這種原子的概念，只是一種哲學觀點，並沒有經過實驗的驗證，也不能用來解釋物質間種種變化的現象。

✧ 道耳頓(原子說)

西元 1799 年，普魯斯特發現化合物中各組成元素間的質量恆成固定的比例，稱為定比定律。與普魯斯特同時代的道耳頓 (J. Dalton, 1766~1844, 英國) 也發現若兩元素可以生成兩種或兩種以上的化合物時，在這些化合物中，當其中一種元素的質量固定，則另一元素的質量比恆為簡單整數比，此稱為倍比定律。除了定比定律與倍比定律外，當時的科學家也已知道質量守恆定律，即化學變化發生時，反應前後的總質量相等。

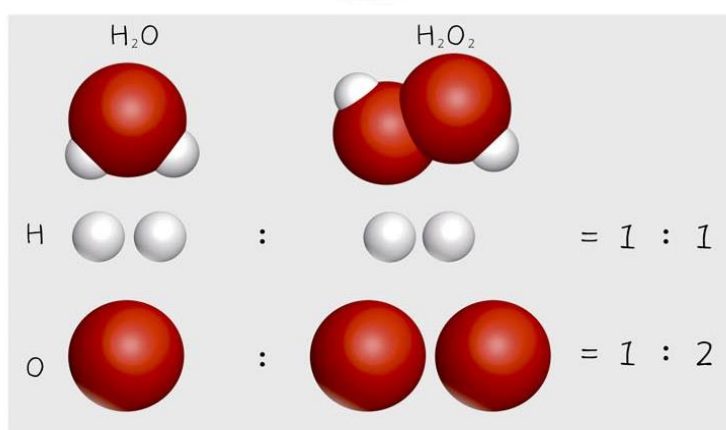
道耳頓 (J. Dalton, 1766~1844, 英國) 為了解釋質量守恆定律(物質發生化學變化時，反應前後的總質量相等。)、定比定律(化合物中各組成元素間的質量恆成固定的比例。)及倍比定律(兩元素可生成兩種或兩種以上化合物時，若一種元素的質量固定，另一元素的質量比恆為簡單整數比。)，提出了原子說 (atomic theory, 物質是由原子組成，每一種元素的原子各不相同，不同原子可結合成化合物，但在化學變化過程中，原子質量與數目都不改變。)。原子說的主要內容如下：

1. 一切物質都是由微小粒子組成的，這種粒子不能再被分割成更小的粒子，稱為原子。
2. 同一種元素的原子，其質量和性質都相同；不同元素的原子，其質量和性質都不相同。
3. 當物質發生化學反應時，原子會重新排列，組成另一種物質。但是原子的質量不會改變，而且原子既不會消失，也不會產生新原子。
4. 化合物是由不同種類的原子以一定的比例組成的。

此項學說能用於解釋質量守恆定律、定比定律及倍比定律。依據原子說，可知物質皆由整數個原子化合而成。例如水（ H_2O ）與過氧化氫（ H_2O_2 ）皆含有氧原子及氫原子，前者由二個氫原子及一個氧原子構成，後者由二個氫原子及二個氧原子構成。

由於同一元素原子的質量皆相同，若氧與固定質量的氫化合，即等同於和相同個數的氫原子化合。假設氧與 $2n$ 個氫原子化合，則在水中的氧原子數應為 n 個，在過氧化氫的氧原子數應為 $2n$ 個，因此兩種化合物中氧原子的個數比及質量比均為 $1:2$ ，如圖 1。

道耳頓根據許多科學家的實驗結果提出原子說，並不是憑空臆測。而且他首先提出不同元素的原子具有不同的質量。原子說對同時代的化學家有很大的啟發，近代化學因而迅速蓬勃發展。



▲圖 1 倍比定律：若氫的質量固定，水與過氧化氫中氧元素的質量比恆為 $1:2$ 。

例題

1. 下列有關道耳頓所提出原子學說的敘述，何者是正確的？(可複選)

- ☐ (A) 一切物質都是由原子所構成
- ☐ (B) 化學反應前後，分子會改變其種類
- ☐ (C) 原子含有帶正電的原子核及帶負電的電子
- ☐ (D) 不同原子間可以整數個相結合而形成各種物質
- ☐ (E) 當原子重新排列時，原子核中的質子與中子不變，所以質量不變
- ☐ (F) 相同的元素，其原子質量、性質有可能不同
- ☐ (G) 化學反應的發生，是原子性質改變，且原子重新排列的結果

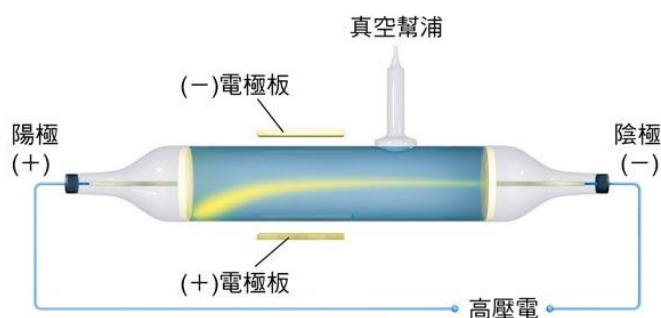
2. 下列何組物質可用來說明道耳頓的倍比定律？

- (A) O_2 、 O_3 (B) ^{12}C 、 ^{13}C (C) N_2O 、 NO (D) CO 、 NO

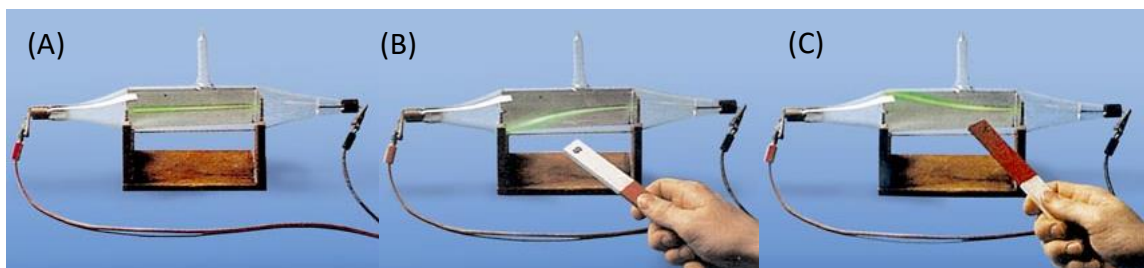
◇ 湯姆森(布丁/西瓜模型)

一、電子的發現

陰極射線在電場中及磁場中皆可產生偏轉，如圖 2 及圖 3 所示。經由多次實驗後，發現可由此射線的偏轉方向判斷陰極射線為帶負電的粒子，不是光線。而後，科學家將此微小帶負電的粒子命名為「電子」。



▲圖 2 陰極射線經過電場時其軌跡偏向正極，表示陰極射線帶負電。



▲圖 3 陰極射線經過磁場時：(A)未加磁場的陰極射線；(B)磁鐵的 S 極（白色端）指向射線時，射線向下偏轉；(C)磁鐵的 N 極（紅色端）指向射線時，射線向上偏轉。由偏轉的方向可知陰極射線是由帶負電的物質所組成。

另外，湯姆森（J. J. Thomson，1856～1940，英國）於 1897 年依據陰極射線可在電場及磁場中產生偏轉的特性，設計了如圖 4 的新型放電管實驗裝置，並且成功地測量出電子的電荷與質量的比值（即荷質比 charge to mass ratio (e/m)）為 1.759×10^{11} 庫侖／公斤（C/kg）。



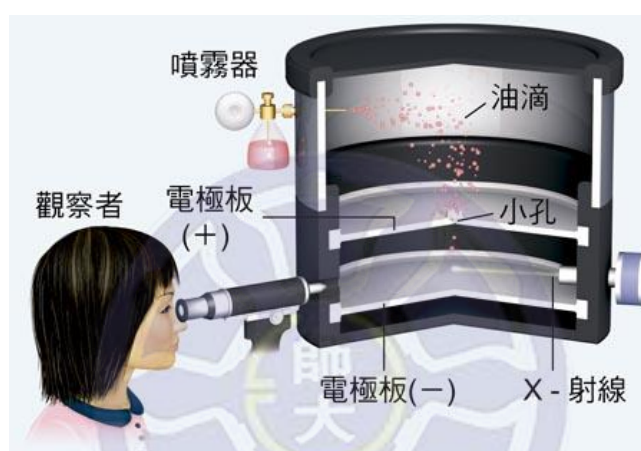
▲圖 4 湯姆森測定荷質比的裝置示意圖：陰極射線在同時控制磁場和電場的交互作用下，仍可能保持原來的軌跡。

湯姆森藉著改變產生陰極射線的陰極材質，發現所產生之陰極射線（即電子）的荷質比均為相同數值，這結果說明了電子存在於所有物質中。

而後，密立坎（R. A. Millikan，1868～1953，美國）於 1909 年也針對電子的研究設計了著名的油滴實驗，（oil-drop experiment，其裝置如圖 5 所示），首先以圖中的噴霧器噴出油滴於上方電極板，而後以 X-射線（X-ray）照射兩電極板間的氣體，使該氣體放出電子形成陽離子，當

油滴由電極板上的小孔落入兩電極中間時，油滴可吸附陽離子或電子進而帶正電或帶負電，最後將兩電極通電形成電場。經由顯微鏡可發現帶電荷的油滴有些急速下降，有些快速上升，甚至有些靜止懸浮於空中。

因為油滴的重力及電場強度皆可先測出，所以可改變電場求出各油滴的電量，再取這些油滴電量的最大公因數，即是電子電荷。經由密立坎數千次的實驗，得知每個電子所帶的基本電量皆為 1.602×10^{-19} 庫侖。



▲圖 5 密立坎油滴實驗裝置示意圖

由湯姆森所測得的電子荷質比為 $e/m = 1.759 \times 10^{11}$ 庫侖／公斤，以及密立坎所測得電子電量 $= 1.602 \times 10^{-19}$ 庫侖，可以得到**電子的質量**，如下：

$$\text{電子質量 } \frac{e}{e/m} = \frac{1.602 \times 10^{-19} \text{ 庫侖}}{1.759 \times 10^{11} \text{ 庫侖／公斤}} = 9.109 \times 10^{-31} \text{ 公斤}$$

二、湯姆森原子模型

湯姆森發現電子，並提出原子模型。他認為原子是一個帶正電的球體，其中有帶負電的電子均勻分布於其中，就像葡萄乾灑在布丁上面一樣。我們也可以將它想像成西瓜子嵌在西瓜中（如圖 6），因此，其原子模型為質量與電荷密度均勻的球體。



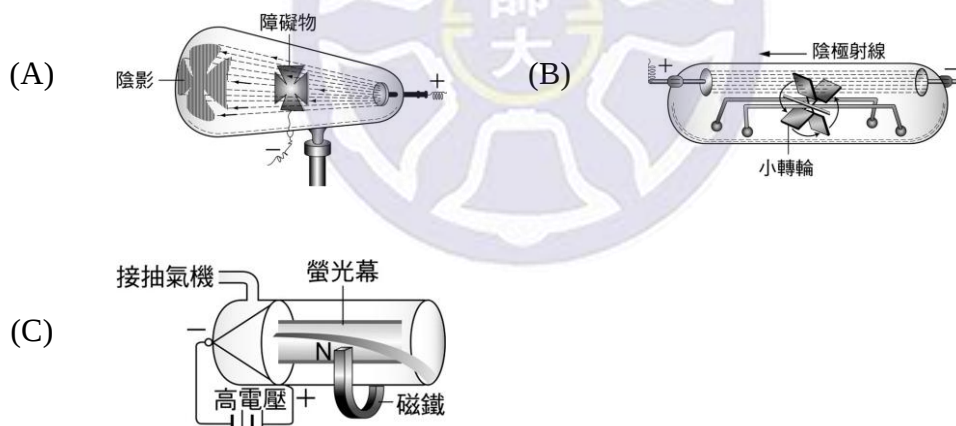
西瓜子嵌在西瓜中

湯姆森原子模型

▲圖 6 湯姆森提出的原子模型：紅色部分代表正電荷，西瓜子代表電子，均勻分布在其中。

例題

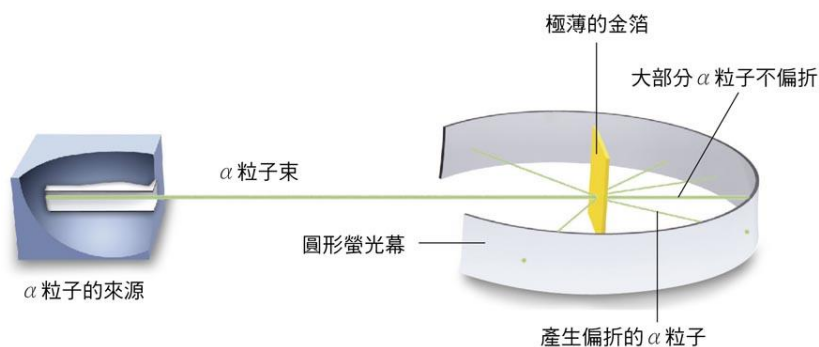
1. 湯姆森由氣體放電管的實驗中發現了電子。下列有關湯姆森實驗裝置的圖形，何者為不正確？



2. 五次油滴實驗所得到的電量數據： 4.80×10^{-19} 、 3.20×10^{-19} 、 8.00×10^{-19} 、 1.44×10^{-18} 、 9.60×10^{-19} 庫侖，試由這些實驗結果決定一電子電量為多少？

◇ 拉塞福(有核模型)

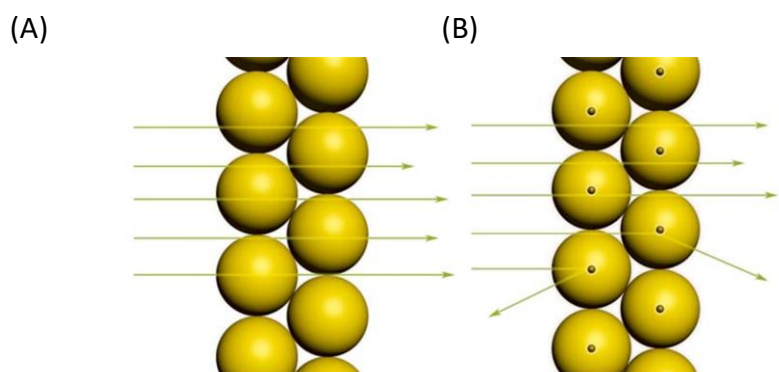
在 1911 年，拉塞福（E. Rutherford，1871～1937，英國）以 α 粒子（指氦的原子核）撞擊極薄的金箔（如圖 7）。



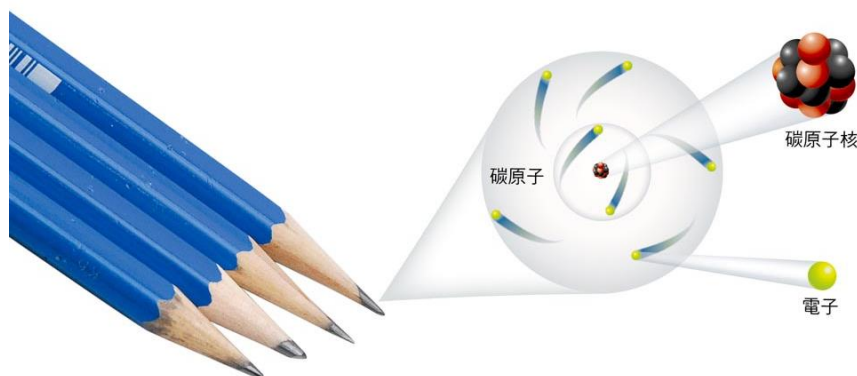
▲圖 7 α 粒子的散射實驗裝置示意圖：實驗結果為 α 粒子由放射性物質釋放出來，大部分的 α 粒子直接穿透金箔，打在螢光幕上，僅有極少數的粒子產生偏折或反彈。

撞擊後， α 粒子進行的方向可由它擊中塗有螢光劑的螢光幕來偵測。結果發現大約 99% 的 α 粒子直線地穿過金箔，少數 α 粒子產生偏折，僅極少數的 α 粒子產生大角度的偏折，但依湯姆森的原子模型預測撞擊結果： α 粒子會直接穿透金箔（如圖 8(A)）。

此實驗結果不符合湯姆森的原子模型概念，因而拉塞福提出「核型的原子模型」—— 原子是由帶負電的電子環繞帶正電的原子核所組成，原子核體積極小，如圖 9 所示。

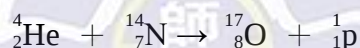


▲圖 8 以 α 粒子撞擊極薄的金箔：(A)湯姆森原子模型，預測 α 粒子會直接穿透金箔。(B)拉塞福原子模型，預測 α 粒子僅極少數產生偏折或反彈。

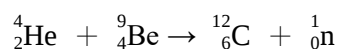


▲圖 9 拉塞福的碳原子模型示意圖：碳原子核帶正電，幾乎占有碳原子的所有質量。電子在碳原子核外運轉，占有碳原子大部分的空間。

此外，1919 年拉塞福也使用 α 粒子撞擊氮原子(核反應)，結果發現原子核中含有帶正電的質子。其方程式如下：

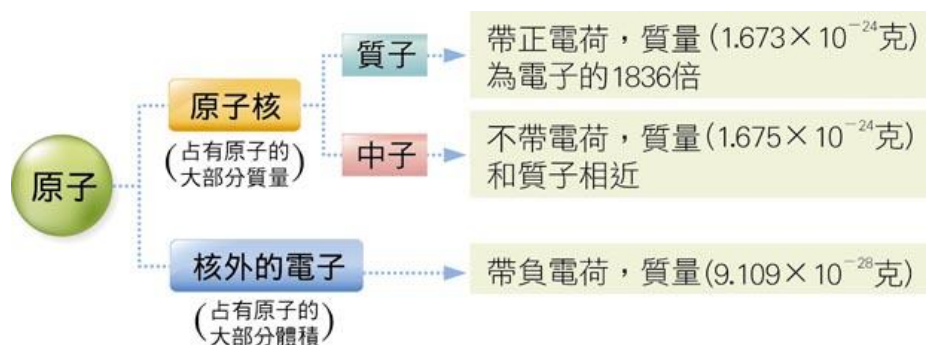


1932 年，查兌克 (J. Chadwick, 1891~1974, 英國) 發現原子核中含有與質子質量相近但不帶電荷的中子，以 α 粒子撞擊鈹 (Be) 元素後(核反應)，會射出未曾確認的粒子，該粒子不帶電，命名為中子 (neutron)，其方程式如下：

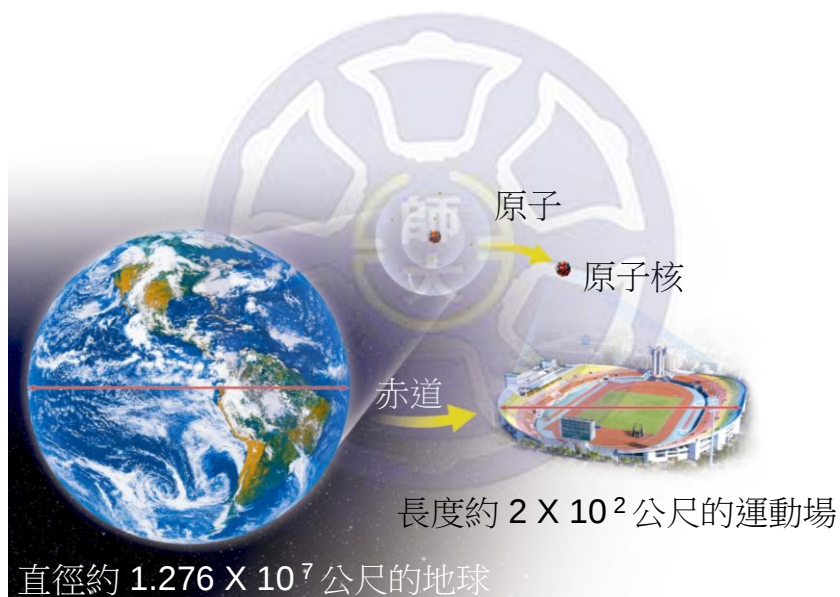


透過以上核反應的實驗，發現當物質發生化學反應時，原子會重新排列，也會產生新的原子，此發現也與道耳頓原子說相牴觸。

科技發展日新月異，至今原子核中已有許多的微粒陸續被發現。依照上面的各種發現及實驗結果，可將原子模型簡要整理如下：



其中，原子大小大約為 10^{-10} 公尺。原子核位於原子的中央部分，大小大約為 $10^{-15} \sim 10^{-14}$ 公尺。如果將原子大小視為地球，則原子核大小可視為長度約為 200 公尺的運動場，如圖 10 所示。



▲ 10 原子核和原子大小比喻。如果把原子大小視為地球，則原子核相當於藏在地球內部正中心且長度約為 200 公尺的運動場。

最後，拉塞福提出了原子結構的行星模型。在這個模型中，帶負電的電子圍繞著原子核運轉如同太陽系的行星圍繞著太陽運轉。(如圖 11)

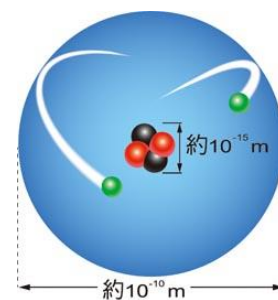


圖 11 拉塞福行星模型

◎同位素概念

從拉塞福原子模型所提出的原子核的概念，直到拉塞福發現質子與查兌克發現中子之後，原子核內就多了質子與中子的存在。然而，質子數相同而中子數不同的元素互稱為同位素，如 $^{35}_{17}\text{Cl}$ 及 $^{37}_{17}\text{Cl}$ 分別稱為氯-35 及氯-37。由於原子的化學性質與其電子數或質子數有關，因此同位素間的化學性質相似，物理性質則因為彼此的質量數不同而有差異。因為同位素的化學性質相似，通常無法以化學方法分離，所以常藉助物理方法加以分離。因此，同位素的發現也修正了道耳頓原子說的內容(同一種元素的原子，其質量和性質都相同；不同元素的原子，其質量和性質都不相同)。表 1 為一些常見元素的同位素。

▼ 表 1 一些常見的同位素及其在自然界的含量

元 素	同位素	電子數	質子數	中子數	名 稱	自然界含量(%)
氫	^1_1H (H)	1	1	0	氕	99.999
	^2_1H (D)	1	1	1	氘	0.001
	^3_1H (T)	1	1	2	氚	極微量
碳	$^{12}_6\text{C}$	6	6	6	碳-12	98.892
	$^{13}_6\text{C}$	6	6	7	碳-13	1.108
	$^{14}_6\text{C}$	6	6	8	碳-14	極微量
氧	$^{16}_8\text{O}$	8	8	8	氧-16	99.759
	$^{17}_8\text{O}$	8	8	9	氧-17	0.037
	$^{18}_8\text{O}$	8	8	10	氧-18	0.204
氯	$^{35}_{17}\text{Cl}$	17	17	18	氯-35	75.77
	$^{37}_{17}\text{Cl}$	17	17	20	氯-37	24.23

例題

- 有關拉塞福的散射實驗，下列敘述何者正確？(多選)
 - 拉塞福以 α 粒子撞擊金屬箔， α 粒子相當於氦原子核
 - 發現絕大部分用來撞擊的粒子產生偏折，只有少數粒子穿過金屬箔
 - 證實了原子核的存在，而原子絕大部分質量集中在此
 - 由於「 α 粒子」和原子核都帶正電荷，故會產生 180° 大角度反轉
 - 同時發現了中子的存在
- 下列有關原子構造的敘述，何者錯誤？
 - 原子半徑大約為 10^{-10} 公尺，原子核位於原子的中央部分，半徑約為 10^{-15} 公尺
 - 原子核占有原子大部分質量，約等於電子與中子的總質量
 - 中子不帶有電荷，質量約略大於質子
 - 質子和電子的數目相等，但電性相反

✧ 波耳(氫原子模型)

根據古典電磁理論，拉塞福行星模型環繞原子核的電子會因為不斷放出能量而撞上原子核。但是事實上大部分的原子均呈現穩定的狀態。這個矛盾的現象一直到 1913 年由科學家波耳 (N. Bohr, 1885~1962, 丹麥) 提出以下兩個假設才獲得解決，並且依此可用來解釋氫原子線光譜的形成。

假設 1：電子僅存在某些特定的穩定狀態

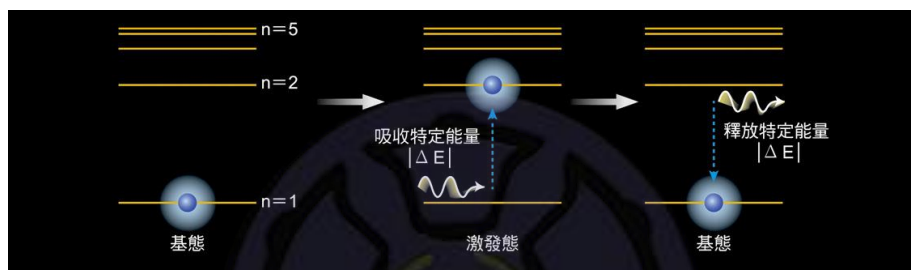
電子只能在某些固定的距離圍繞原子核運行，此時電子將不輻射能量而呈穩定態。這些穩定態的能量若以能階 (energy level) 由低到高排列，便可用 n 等於 1、2、3、……表示，這些整數值稱為主量子數 (n , principal quantum number)。每一能階均有其特定的能量，由於波耳假設氫原子的能階在無窮遠處的能量為零，因此氫原子的電子在各能階中所具有的能量可以下列公式表示：

$$E_n = -\frac{2.179 \times 10^{-18} \text{ J}}{n^2} \quad n=1, 2, 3\cdots$$

假設 2：電子的躍遷伴隨著特定能量的吸收或釋放

氫原子在正常情況時，電子會存在最低的能階（ $n=1$ ），稱為基態（ground state）。當吸收特定的能量時，電子便會躍遷（transition）至較高的能階，使得原子呈激發態（excited state）。

激發態原子的電子從較高能階（ E_i ）回降到較低能階（ E_f ）時，電子於不同二能階間之轉換時所放出的能量恰等於該二能階之能量差（ $|\Delta E|$ ），此能量並以光或熱的形式放出（圖 12）。若以光的形式放出時便產生光譜。為了使求出的頻率與波長為正值， ΔE 不論吸收或釋放能量皆以絕對值表示。



▲ 圖 12 氫原子的能階及其電子躍遷時的能量變化

下圖 13 為波耳的氫原子模型及電子躍遷示意圖：

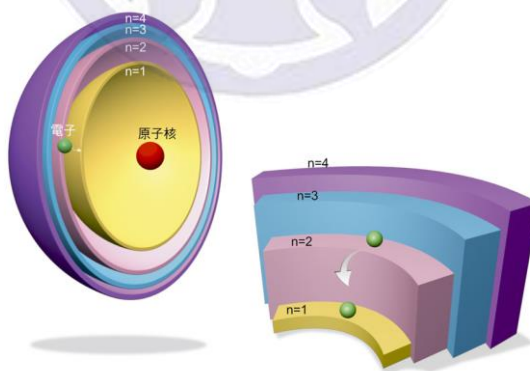


圖 13 為波耳的氫原子模型及電子躍遷示意圖

波耳的氫原子理論雖然引進了量子數及穩定態等觀念，並經由電子在不同能階間的躍遷，成功的解釋氫原子光譜。但是波耳的原子模型卻仍不夠完美，因其僅能適用於氫原子或似氫離子（只有一個電子，如 He^+ 、 Li^{2+} ），對於多電子原子的能階卻無法準確的預測。

例題

1. 下列有關波耳氫原子模型的敘述，何者正確？(多選)
- (A)電子在軌道上運動時具有特定的能量
 - (B)電子在特定能階能穩定存在而不輻射
 - (C)電子由較高能階回到較低能階時，放出任意頻率的能量
 - (D) H 原子的電子在各軌道上所具有的能量為 $E_n = -\frac{2.179 \times 10^{-18} \text{ J}}{n^2}$ ， $n = 1、2、3 \dots$
 - (E)電子吸收輻射能躍遷至較高能階的狀態，此較高能階的狀態稱為基態
2. 波耳的氫原子模型適用於氫原子或似氫離子的解釋，試問下列哪一個原子或離子無法以波耳模型解釋？
- (A) H (B) Li^{2+} (C) He^+ (D) Be^+

-單元回顧-

◆ 道耳頓說的修正

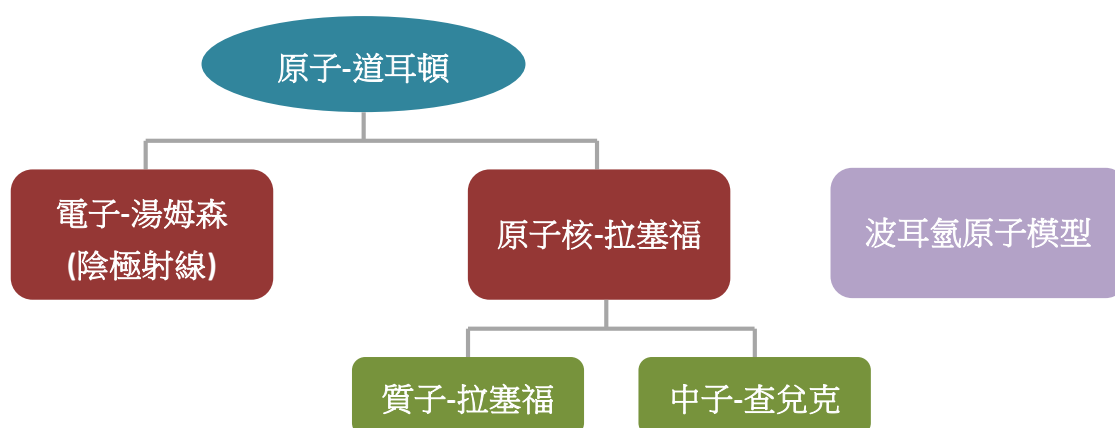
✧ 道耳頓原子說的主要內容：

1. 一切物質都是由微小粒子組成的，這種粒子不能再被分割成更小的粒子，稱為原子。
2. 同一種元素的原子，其質量和性質都相同；不同元素的原子，其質量和性質都不相同。
3. 當物質發生化學反應時，原子會重新排列，組成另一種物質。但是原子的質量不會改變，而且原子既不會消失，也不會產生新原子。
4. 化合物是由不同種類的原子以一定的比例組成的。

✧ 修正後的內容為：

1. 原子並非不可再分割，由湯木生發現原子中的電子、拉塞福發現原子核、質子以及查兌克發現中子，就證明原子是由電子、質子以及中子組成的，不是不可再分割的粒子。
2. 因元素有同位素(質子數相同，中子數不同)的存在，所以同一元素原子的質量不一定相同。
3. 因核反應及放射性蛻變現象之產生，證明原子在和反應中可分裂或融合成新的原子，所以原子可以被毀壞，也可以被創造。

✧ 本單元學習重點



1. 湯姆森經由陰極射線發現電子，並了解電子是帶負電的粒子(電量為 -1.602×10^{-19} 庫侖)，其質量非常微小(約 9.1×10^{-31} 公斤)。
2. 拉塞福經由 α 粒子散射實驗發現原子核及質子的存在，而查兌克也經由 α 粒子的撞擊發現中子。
3. 波耳的氫原子模型認為電子只能在某些固定的圓形軌道圍繞原子核運行，此時電子將不輻射能量而呈穩定態。氫原子的電子在 $n=1$ 時為最安定態，稱為基態。



此單元結束

感謝同學們的參與與配合！



附錄二 原子模型的發展之「內隱式」建模文本

單元-原子模型的發展

~道耳頓原子模型~

一、 原子不可分割

1-1 粒子

1-1-1 德謨克利特(原子)

想一想：你認為物質是由什麼所組成的？試著提出你的想法？



希臘哲學家德謨克利特（Democritus，460～370 B.C.）曾經提出原子的概念，他認為物質若一直切割下去，愈切愈小，到最後會有一種堅硬的微小粒子，無法再分割，這種微小的粒子就稱為原子。這種原子的概念，只是一種哲學觀點，並沒有經過實驗的驗證，也不能用來解釋物質間種種變化的現象。

西元 1799 年，普魯斯特發現化合物中各組成元素間的質量恆成固定的比例，稱為定比定律。與普魯斯特同時代的道耳頓（J. Dalton，1766～1844，英國）也發現若兩元素可以生成兩種或兩種以上的化合物時，在這些化合物中，當其中一種元素的質量固定，則另一元素的質量比恆為簡單整數比，此稱為倍比定律。除了定比定律與倍比定律外，當時的科學家也已知道質量守恒定律，即化學變化發生時，反應前後的總質量相等。

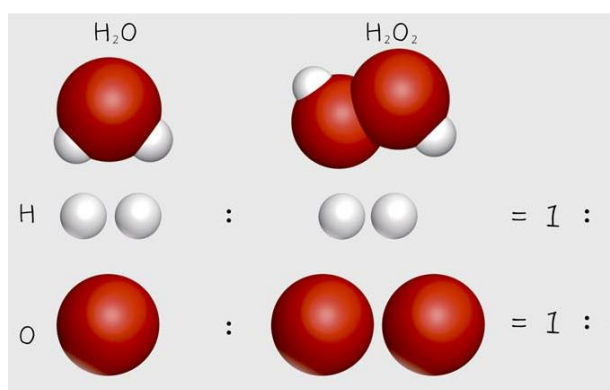
1-1-2 道耳頓(原子說)

道耳頓為了解釋質量守恆定律、定比定律及倍比定律，提出了**原子說** (atomic theory)。原子說的主要內容如下：

1. 一切物質都是由微小粒子組成的，這種粒子不能再被分割成更小的粒子，稱為原子。
2. 同一種元素的原子，其質量和性質都相同；不同元素的原子，其質量和性質不相同。(定比定律)
3. 當物質發生化學反應時，原子會重新排列，組成另一種物質。但是原子的質量不會改變，而且原子既不會消失，也不會產生新原子。(質量守恆定律)
4. 化合物是由不同種類的原子以一定的比例組成的。(倍比定律)

依據原子說，可知物質皆由整數個原子化合而成。例如水 (H_2O) 與過氧化氫 (H_2O_2) 皆含有氧原子及氫原子，前者由二個氫原子及一個氧原子構成，後者由二個氫原子及二個氧原子構成。

由於同一元素原子的質量皆相同，若氧與固定質量的氫化合，即等同於和相同個數的氫原子化合。假設氧與 $2n$ 個氫原子化合，則在水中的氧原子數應為 n 個，在過氧化氫的氧原子數應為 $2n$ 個，因此兩種化合物中氧原子的個數比及質量比均為 $1:2$ ，如圖 1。



▲圖 1 倍比定律：若氫的質量固定，水與過氧化氫中氧元素的質量比恆為 $1:2$ 。

小提示：
再一次與倍比定律的內容作比較，此概念會更清楚!!

道耳頓原子模型例題

~請同學用自己的理解，完成以下的問題~

1. 下列有關道耳頓所提出原子學說的敘述，何者是正確的？(可複選)
錯誤的選項請說明理由。

☐ (A) 一切物質都是由原子所構成

理由：

☐ (B) 化學反應前後，分子會改變其種類

理由：

☐ (C) 不同原子間可以整數個相結合而形成各種物質

理由：

☐ (D) 當原子重新排列時，原子核中的質子與中子不變，所以質量不變

理由：

☐ (E) 相同的元素，其原子質量、性質有可能不同

理由：

☐ (F) 化學反應的發生，是原子性質改變，且原子重新排列的結果

理由：

2. 小銘認為 ^{12}C 、 ^{13}C 可以用來說明道耳頓的倍比定律。你認為是對的還是錯的？請說明原因。

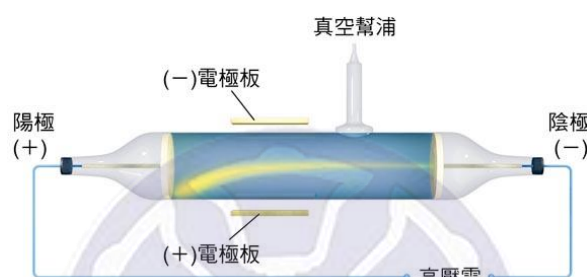
~湯姆森原子模型~

二、 原子可分割

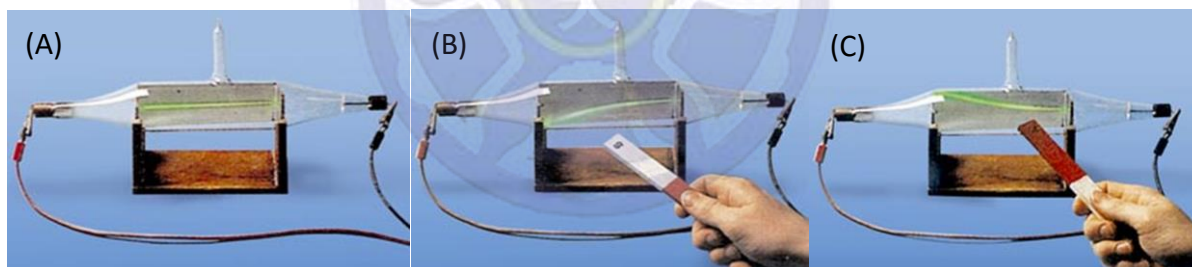
2-1 實心球

2-1-1 湯姆森(西瓜模型/葡萄乾布丁模型)

陰極射線在電場中及磁場中皆可產生偏轉，如圖 2 及圖 3 所示。經由多次實驗後，發現可由此射線的偏轉方向判斷陰極射線為帶負電的粒子，不是光線。



▲圖 2 陰極射線經過電場時其軌跡偏向正極，表示陰極射線帶負電。

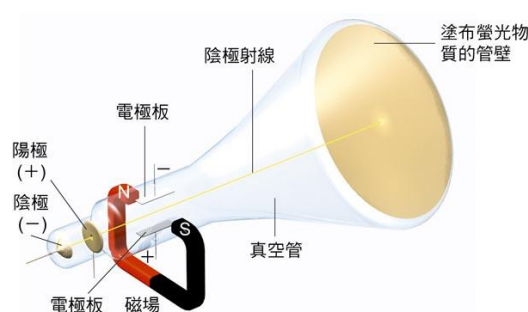


▲圖 3 陰極射線經過磁場時：(A)未加磁場的陰極射線；(B)磁鐵的 S 極（白色端）指向射線時，射線向下偏轉；(C)磁鐵的 N 極（紅色端）指向射線時，射線向上偏轉。由偏轉的方向可知陰極射線是由帶負電的物質所組成。

想一想：你認為陰極射線會偏轉的原因可能為何？試著提出你的想法？

(提示：陰極射線所帶的電為正電或負電？)

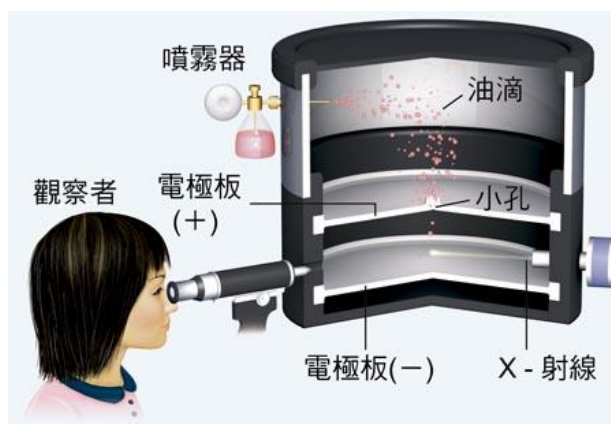
湯姆森 (J. J. Thomson, 1856~1940, 英國) 於 1897 年依據陰極射線可在電場及磁場中產生偏轉的特性，設計了如圖 4 的新型放電管實驗裝置，並且成功地測量出電子的電荷與質量的比值（即荷質比 **charge to mass ratio** (e/m)) 為 1.759×10^{11} 庫侖／公斤 (C/kg)。



▲圖 4 湯姆森測定荷質比的裝置示意圖：陰極射線在同時控制磁場和電場的交互作用下，仍可能保持原來的軌跡。

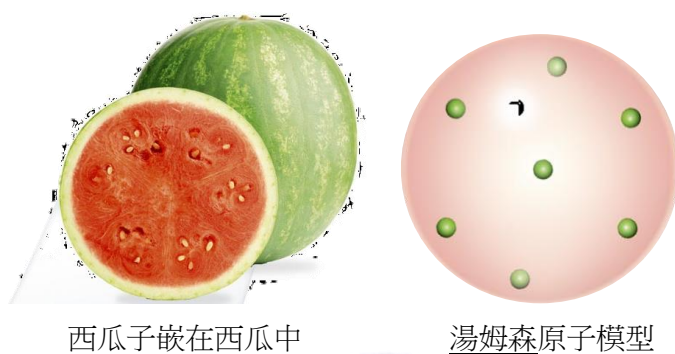
湯姆森也藉著改變產生陰極射線的陰極材質，發現所產生之陰極射線（即電子）的荷質比均為相同數值，這結果說明了電子存在於所有物質中。

而後，密立坎 (R. A. Millikan, 1868~1953, 美國) 於 1909 年也針對電子的研究設計了著名的油滴實驗，(oil-drop experiment, 其裝置如圖 5 所示)，首先以圖中的噴霧器噴出油滴於上方電極板，而後以 X-射線 (X-ray) 照射兩電極板間的氣體，使該氣體放出電子形成陽離子，當油滴由電極板上的小孔落入兩電極中間時，油滴可吸附陽離子或電子進而帶正電或帶負電，最後將兩電極通電形成電場。經由密立坎數千次的實驗，得知每個電子所帶的基本電量皆為 1.602×10^{-19} 庫侖。



▲圖 5 密立坎油滴實驗裝置示意圖

湯姆森發現電子，並提出西瓜原子模型(又稱葡萄乾布丁模型)。他認為原子是一個帶正電的球體，其中有帶負電的電子均勻分布於其中，就像西瓜子嵌在西瓜中(如圖6)，因此，其原子模型為質量與電荷密度均勻的球體。



▲圖6 湯姆森提出的原子模型：紅色部分代表正電荷，西瓜子代表電子，均勻分布在其中。

小提示：

注意湯姆森西瓜模型的正電與負電所表示位置，以及此模型的關係(電子如何分布、是分布於哪裡)

想一想：如何根據湯姆森所測得的電子荷質比為 $e/m = 1.759 \times 10^{11}$ 庫侖/公斤，以及密立坎所測得電子電量 $= 1.602 \times 10^{-19}$ 庫侖，得到電子的質量，請寫下你的想法。

提示：電子的質量 $= \frac{e}{e/m}$

湯姆森原子模型例題

~請同學用自己的理解，完成以下的問題~

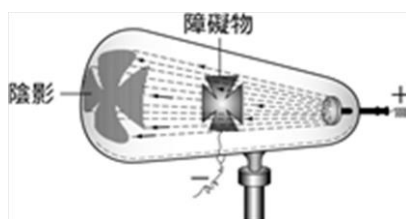
1. (1) 美國某一研究者進行了五次油滴實驗所得到的電量數據如下：
 4.80×10^{-19} 、 3.20×10^{-19} 、 8.00×10^{-19} 、 1.44×10^{-19} 、 9.60×10^{-19} 庫侖，試由
 這些實驗結果決定一電子電量為多少？

- (2) 第二次實驗的數據如下： 4.80×10^{-19} 、 2.40×10^{-19} 、 6.00×10^{-19} 、 4.00×10^{-19} 、 7.20×10^{-19} 庫侖，請判斷那些數據是錯誤的？並說明你的理由。
 (提示：“一個”電子的帶電量)

錯誤：

理由：

2. 有一研究者依據湯姆森實驗的裝置，設置了以下實驗裝置，請指出錯誤的地方。



錯誤的地方：

說明更正後此研究人員可能得到的實驗結果為何？

在 1911 年，拉塞福（E. Rutherford，1871～1937，英國）試圖要證明湯姆森的原子模型—西瓜模型(葡萄乾布丁模型)是正確的。

想一想：1. 如果在實驗開始之前，依據湯姆森的原子模型進行預測，你認為實驗結果會是如何？

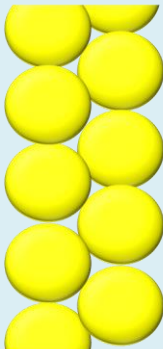
想說明你的理由。

(提示： α 粒子的質量遠大於電子)

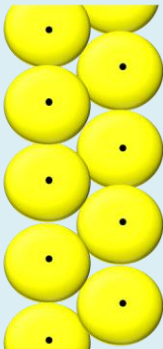
拉塞福以 α 粒子(帶正電)進行一連串撞擊極薄的金箔的實驗。撞擊後， α 粒子進行的方向可由它擊中塗有螢光劑的螢光幕來偵測。結果發現大約 99% 的 α 粒子直線地穿過金箔，少數 α 粒子產生偏折，僅極少數的 α 粒子產生大角度的偏折。

2. 呈上題，拉塞福的實驗結果是否符合湯姆森的原子模型概念？請繪圖說明湯姆森的原子模型與拉塞福原子模型 α 粒子撞擊金箔的差異。

湯姆森



拉塞福



• 原子核

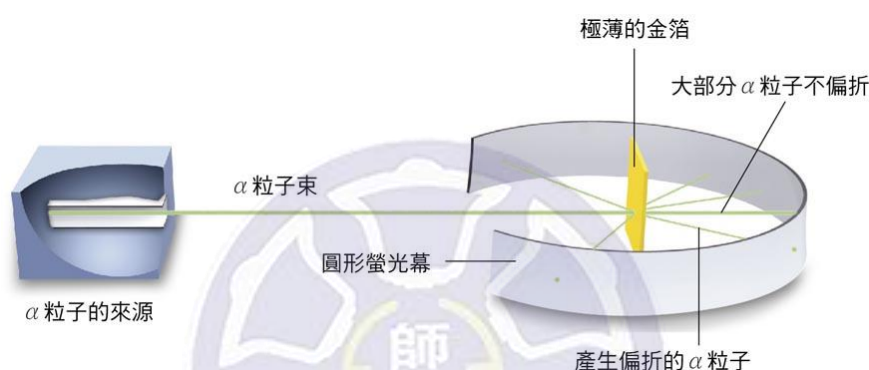
小提示：
從拉塞福的實驗結果，推斷 α 粒子產生大角度的偏折的原因，是撞到什麼？以及成分之間與 α 粒子的大小關係。

~拉塞福原子模型~

2-2 軌道

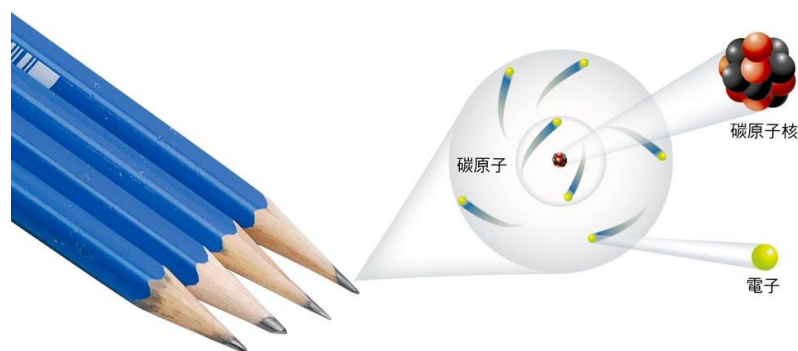
2-2-1 拉塞福(有核模型/行星模型)

拉塞福 (E. Rutherford, 1871~1937, 英國) 以 α 粒子 (指氦的原子核) 撞擊極薄的金箔 (如圖 7)。實驗結果為 α 粒子由放射性物質釋放出來, 大部分的 α 粒子直接穿透金箔, 打在螢光幕上, 僅有極少數的粒子產生偏折或反彈。



▲圖 7 α 粒子的散射實驗裝置示意圖。

拉塞福提出「核型的原子模型(行星模型)」—— 原子是由帶負電的電子環繞帶正電的原子核所組成, 原子核體積極小, 如圖 8 所示。碳原子核帶正電, 幾乎占有碳原子的所有質量。電子在碳原子核外運轉, 占有碳原子大部分的空間。

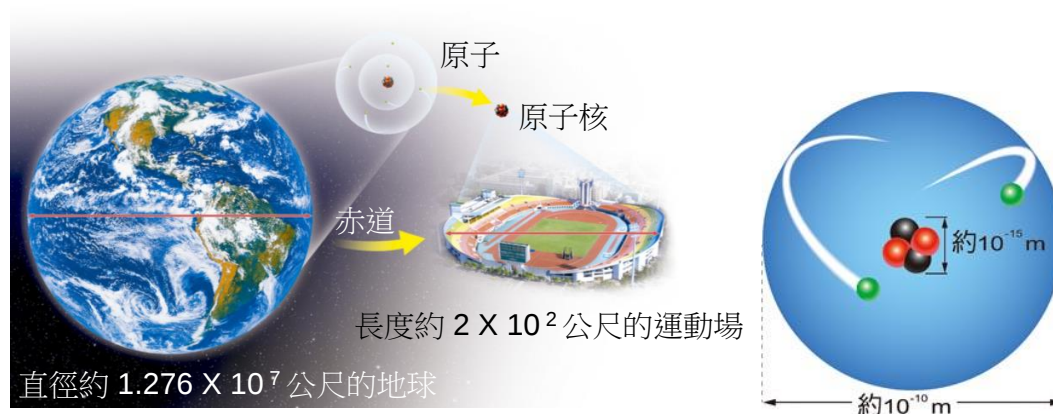


▲圖 8 拉塞福的碳原子模型示意圖。

小提示：

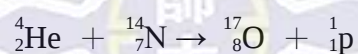
1. 注意拉塞福行星模型的正電與負電所表示位置, 以及此模型的關係(電子如何運轉、是運轉於哪裡)
2. 注意當時的原子核指的是帶正電的原子核, 當時並未發現質子與中子

其中，原子大小大約為 10^{-10} 公尺。原子核位於原子的中央部分，大小大約為 $10^{-15} \sim 10^{-14}$ 公尺。如果將原子大小視為地球，則原子核大小可視為長度約為 200 公尺的運動場，如圖 9 所示。

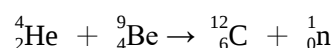


▲圖 9 原子核和原子大小比喻。

此外，1919 年拉塞福也使用 α 粒子撞擊氮原子(核反應)，結果發現原子核中含有帶正電的質子。其方程式如右：



1932 年，查兌克 (J. Chadwick, 1891~1974, 英國) 以 α 粒子撞擊鈹 (Be) 元素後(核反應)，會射出未曾確認的粒子，進而發現原子核中含有與質子質量相近但不帶電荷的中子 (neutron)。其方程式如下：

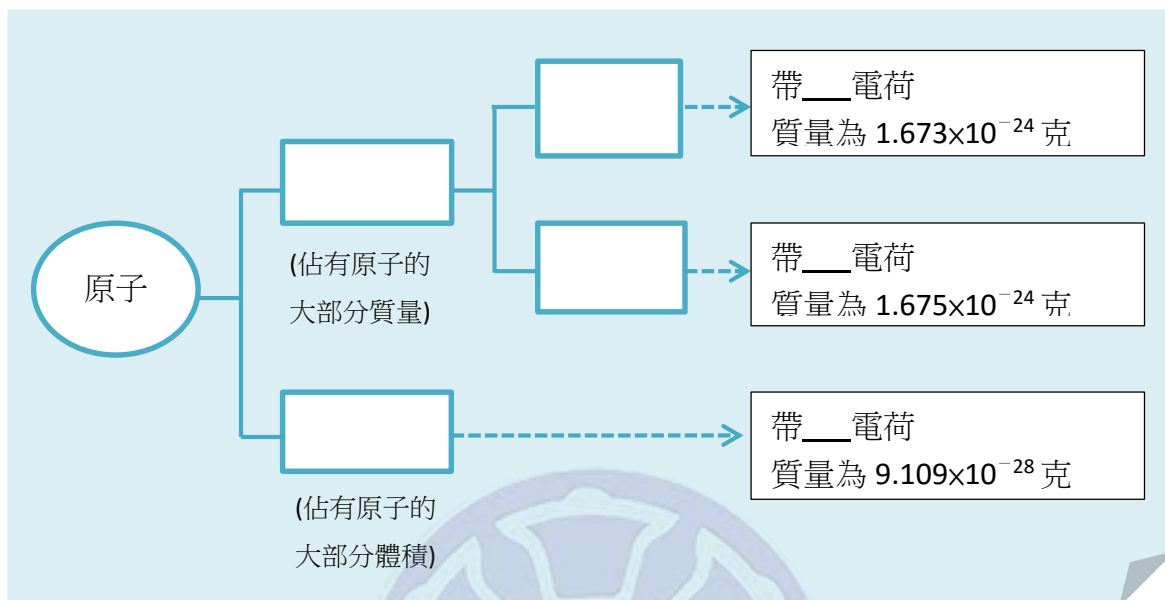


透過以上核反應的實驗，發現當物質發生化學反應時，原子會重新排列，也會產生新的原子，此發現也與道耳頓原子說相牴觸。

小提示：

1. 注意拉塞福對行星模型的修正，以及修正後並沒有中子的存在，中子發現的年代晚了許多。
2. 注意核反應與道耳頓原子說的內容相牴觸。
3. 注意核反應平衡原則。

想一想：至今原子核中已有許多的微粒陸續被發現。請根據以上各種發現及實驗結果，完成以下的整理，並比較質子、電子、中子質量大小與電量關係。



從拉塞福原子模型所提出的原子核內包含了質子與中子的概念，然而，**質子數相同而中子數不同的元素互稱為同位素**，如 $^{35}_{17}\text{Cl}$ 及 $^{37}_{17}\text{Cl}$ 分別稱為氯-35 及氯-37。由於原子的化學性質與其電子數或質子數有關，因此同位素間的化學性質相似，物理性質則因為彼此的質量數不同而有差異。因為同位素的化學性質相似，通常無法以化學方法分離，所以常藉助物理方法加以分離。因此，同位素的發現也修正了道耳頓原子說的內容，相同元素，其質量不一定會相同。表 1 為一些常見元素的同位素。

小提示：
思考同位素的發現，與道耳頓原子說的內容是否相抵觸。

▼ 表 1 一些常見的同位素及其在自然界的含量

元 素	同位素	電子數	質子數	中子數	名 稱	自然界含量(%)
氫	^1_1H (H)	1	1	0	氕	99.999
	^2_1H (D)	1	1	1	氘	0.001

	${}^3_1\text{H}$ (T)	1	1	2	氚	極微量
碳	${}^{12}_6\text{C}$	6	6	6	碳-12	98.892
	${}^{13}_6\text{C}$	6	6	7	碳-13	1.108
	${}^{14}_6\text{C}$	6	6	8	碳-14	極微量
氧	${}^{16}_8\text{O}$	8	8	8	氧-16	99.759
	${}^{17}_8\text{O}$	8	8	9	氧-17	0.037
	${}^{18}_8\text{O}$	8	8	10	氧-18	0.204
氯	${}^{35}_{17}\text{Cl}$	17	17	18	氯-35	75.77
	${}^{37}_{17}\text{Cl}$	17	17	20	氯-37	24.23

拉塞福原子模型例題

~請同學用自己的理解，完成以下的問題~

1. 有關拉塞福的散射實驗，下列敘述何者正確？(多選)

錯誤的選項請說明理由。

☐ (A) 拉塞福以 α 粒子撞擊金屬箔， α 粒子相當於氫原子核

理由：

☐ (B) 發現絕大部分用來撞擊的粒子產生偏折，只有少數粒子穿過金屬箔

理由：

☐ (C) 證實了原子核的存在，而原子絕大部分質量集中在此

理由：

☐ (D) 由於「 α 粒子」和原子核都帶正電荷，故會產生 180° 大角度反轉

理由：

☐ (E) 同時發現了中子的存在

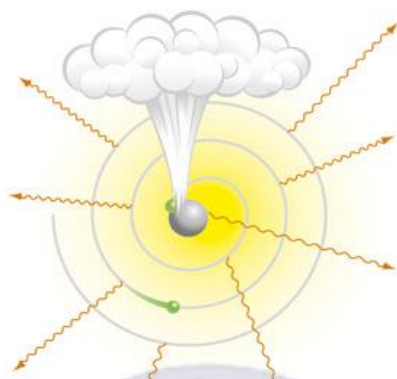
理由：

2. 以下為原子構造的敘述，請提出錯誤的原因？

原子核占有原子大部分質量，約等於電子與中子的總質量。

錯誤原因：

根據古典電磁理論，拉塞福行星模型環繞原子核的電子會因為不斷放出能量而撞上原子核，如圖 10，但是事實上大部分的原子均呈現穩定的狀態。這個矛盾的現象一直到 1913 年由科學家波耳（N. Bohr，1885～1962，丹麥）提出的氫原子模型才獲得解決。



▲ 圖 10 拉塞福原子的崩潰示意圖。

想一想：波耳要如何修正拉塞福的原子模型與軌道概念，以至於原子不會崩潰，請試著提出你的想法。

~波耳原子模型~

2-2-2 波耳(氫原子模型)

1913 年由科學家波耳 (N. Bohr, 1885~1962, 丹麥) 提出以下兩個假設才解決了拉塞福原子模型違背了古典電磁理論, 並且依此可用來解釋氫原子不連續光譜。

假設 1：電子僅存在某些特定的穩定狀態

電子只能在某些固定的距離圍繞原子核作圓周運動(電子作圓周運動的向心力由電子和原子核之間的庫倫力所提供), 此時電子將不輻射能量而呈穩定態。這些穩定態的能量若以能階(energy level)由低到高排列, 便可用 n 等於 1、2、3、.....表示, 這些整數值稱為主量子數 (n , principal quantum number)。每一能階均有其特定的能量, 由於波耳假設氫原子的能階在無窮遠處的能量為零, 因此氫原子的電子在各能階中所具有的能量可以下列公式表示：

$$E_n = -\frac{2.179 \times 10^{-18} \text{ J}}{n^2} \quad n=1, 2, 3, \dots$$

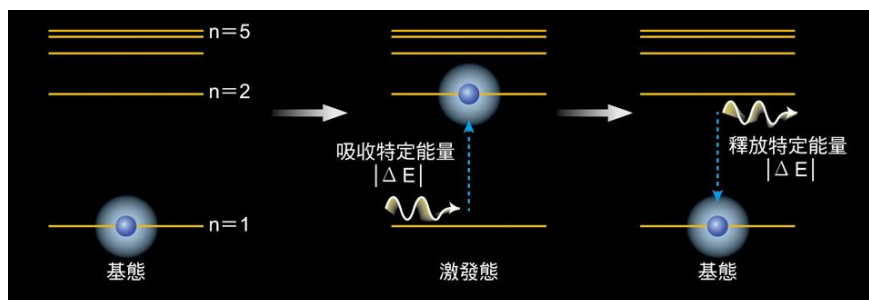
小提示：

1. 比較波耳能量公式與庫倫靜電力公式的關係($F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$)
2. 思考能階的能量, 越靠近原子核, 能量越大還是越小?

假設 2：電子的躍遷伴隨著特定能量的吸收或釋放

氫原子在正常情況時, 電子會存在最低的能階 ($n=1$), 稱為基態 (ground state)。當吸收特定的能量時, 電子便會躍遷 (transition) 至較高的能階, 使得原子呈激發態 (excited state)。

激發態原子的電子從較高能階 (E_i) 回降到較低能階 (E_f) 時, 電子於不同二能階間之轉換時所放出的能量恰等於該二能階之能量差 ($|\Delta E|$), 此能量並以光或熱的形式放出 (圖 11、12)。若以光的形式放出時便產生光譜。為了使求出的頻率與波長為正值, ΔE 不論吸收或釋放能量皆以絕對值表示。



▲圖 11 氫原子的能階及其電子躍遷時的能量變化。

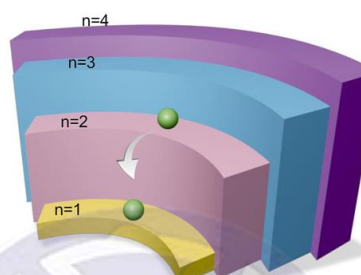


圖 12 電子躍遷示意圖。

波耳提出的氫原子模型，如圖 13，電子在特定能階中繞原子核作圓周運動，並不吸收或發射電磁波。 $n=1$ 時， E 最小，軌道最靠近原子核，此時能量最低。 n 愈大，軌道愈遠離原子核，能量愈高。



圖 13 為波耳的氫原子模型

小提示：

1. 注意波耳氫原子模型的正電與負電所表示位置，以及此模型的關係(電子如何運轉、是運轉於哪裡)。
2. 注意此模型之原子核尚未發現質子與中子(拉塞福原子核之發現 1911 年→波耳氫原子模型 1913 年→拉塞福發現質子 1919 年→查兌克發現中子 1932 年)。

波耳原子模型的限制：只能說明氫原子或似氫離子等 ”單一電子”所組成的粒子的光譜。

例如： H 、 He^+ 、 Li^{2+} 等。

波耳原子模型例題

~請同學用自己的理解，完成以下的問題~

1. 下列有關波耳氫原子模型的敘述，何者正確？(多選)

錯誤的選項請說明原因。

☐ (A) 電子在軌道上運動時具有特定的能量

原因：

☐ (B) 電子在特定能階能穩定存在而不輻射

原因：

☐ (C) 電子由較高能階回到較低能階時，放出任意頻率的能量

原因：

☐ (D) H 原子的電子在各軌道上所具有的能量為 $E_n = -\frac{2.179 \times 10^{-18} \text{ J}}{n^2}$ ，

$n=1、2、3\dots$

原因：

☐ (E) 電子吸收輻射能躍遷至較高能階的狀態，此較高能階的狀態為基態

原因：

2. 波耳的氫原子模型適用於氫原子或似氫離子的解釋，試問下列哪一個原子或離子無法以波耳模型解釋？請說明原因。(模型應用)

(A) H (B) Li^{2+} (C) He^+ (D) Be^+

原因：

單元回顧-道耳頓原子說的修正

想一想：根據科學史的發展與新發現，道耳頓原子說需要做哪些修正？請依據原道耳頓原子說內容進行修正，如不修正，請提出原因。

1. 一切物質都是由微小粒子組成的，這種粒子不能再被分割成更小的粒子，稱為原子。

修正：

2. 同一種元素的原子，其質量和性質都相同；不同元素的原子，其質量和性質都不相同。

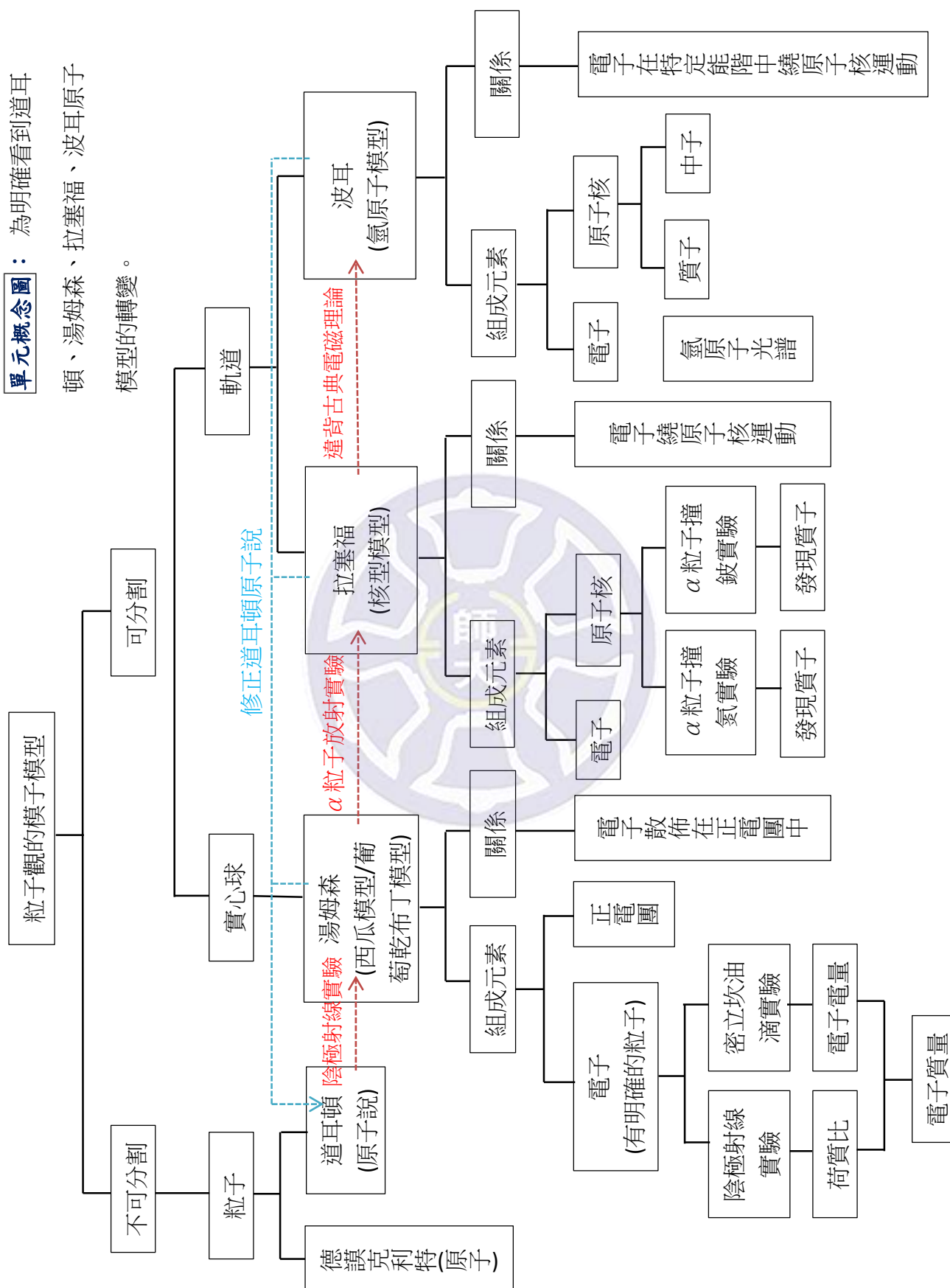
修正：

3. 當物質發生化學反應時，原子會重新排列，組成另一種物質。但是原子的質量不會改變，而且原子既不會消失，也不會產生新原子。

修正：

4. 化合物是由不同種類的原子以一定的比例組成的。

修正：



此單元結束
感謝同學們的參與與配合！





附錄三 原子模型的發展之「外顯式」建模文本

前言

科學家在建立科學模型時，有一定的思考過程；當他們經歷多次相類似的生活現象後，便開始**選擇**某些抽象**概念**做詮釋，稱為「**模型選擇**」；然後，再依據這些抽象概念**建立**出自己的**科學模型**，諸如：文字說明、化學式與數學方程式，稱為「**模型建立**」；接著，**判斷**所提出文字說明、化學式與數學方程式等的合理性，以及**判斷是否忽略其他**會影響理論的**因素**，或者**判斷實驗方法的可行性或考慮替代的方案**，稱為「**模型效化**」；然後，當其模型具備有效性後，就必須**分析數據，找出變因間的關係並評估**預測與實作結果的**差異性**，稱為「**模型分析**」；再者，若其模型能**類推**到其他**相似問題情境(近遷移)或是新情境問題(遠遷移)**，便可強化所建模型的解釋力，稱為「**模型應用**」及「**模型調度**」；最後，若其模型無法再類推到更多的問題情境時，就必須**思考其限制，重新做修正**，稱為「**模型修正**」；若察覺其模型已經整體失效，無法使用，就必須重新建立新的模型，稱為「**模型轉換**」。

上述的八個步驟，分屬在「**模型發展階段**」、「**模型精緻化階段**」、「**模型遷移階段**」、「**模型重建階段**」四大階段中，我們稱之為「**建模的歷程**」，如圖 1，透過這樣的步驟協助我們建立科學理論模型。

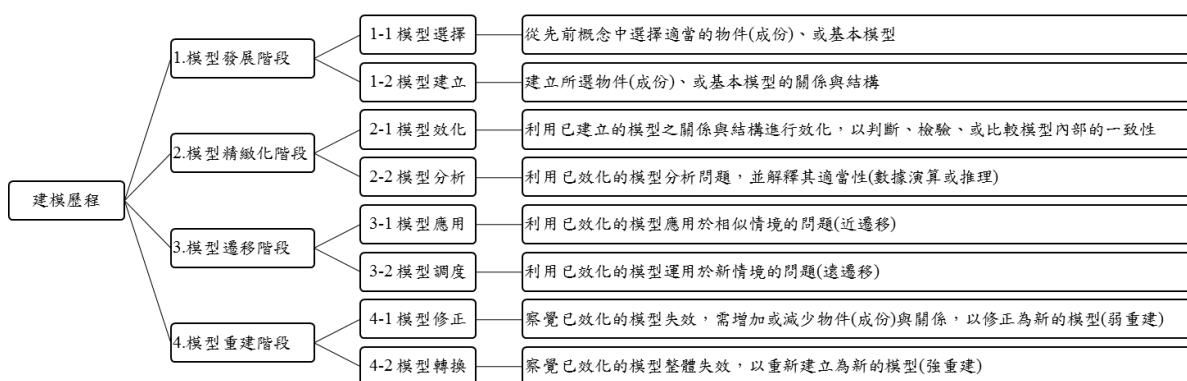


圖 1 建模歷程指標(Modeling Process Indicators, MPI)

單元-原子模型的發展

~道耳頓原子模型~

一、 原子不可分割

【模型選擇】：從原始的原子概念為出發點，選擇化合物的元素組成及化學變化的概念作為詮釋(定比定律、倍比定律、質量守恆定律)。

1-1 粒子

1-1-1 德謨克利特(原子)

想一想：你認為物質是由什麼所組成的？試著提出你的想法？



希臘哲學家德謨克利特（Democritus，460～370 B.C.）曾經提出原子的概念，他認為物質若一直切割下去，愈切愈小，到最後會有一種堅硬的微小粒子，無法再分割，這種微小的粒子就稱為原子。這種原子的概念，只是一種哲學觀點，並沒有經過實驗的驗證，也不能用來解釋物質間種種變化的現象。

西元 1799 年，普魯斯特發現化合物中各組成元素間的質量恆成固定的比例，稱為定比定律。與普魯斯特同時代的道耳頓（J. Dalton，1766～1844，英國）也發現若兩元素可以生成“兩種或兩種以上”的化合物時，在這些化合物中，當其中一種元素的質量固定，則另一元素的質量比恆為簡單整數比，此稱為倍比定律。除了定比定律與倍比定律外，當時的科學家也已知道質量守恆定律，即化學變化發生時，反應前後的總質量相等。

【模型建立】：為了解釋質量守恆定律、定比定律及倍比定律，而建立了道耳頓原子說。

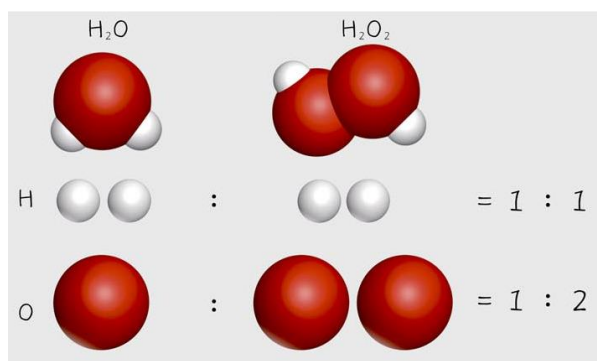
1-1-2 道耳頓(原子說)

道耳頓為了解釋質量守恆定律、定比定律及倍比定律，提出了原子說 (atomic theory)。原子說的主要內容如下：

5. 一切物質都是由微小粒子組成的，這種粒子不能再被分割成更小的粒子，稱為原子。
6. 同一種元素的原子，其質量和性質都相同；不同元素的原子，其質量和性質不相同。(定比定律)
7. 當物質發生化學反應時，原子會重新排列，組成另一種物質。但是原子的質量不會改變，而且原子既不會消失，也不會產生新原子。(質量守恆定律)
8. 化合物是由不同種類的原子以一定的比例組成的。(倍比定律)

依據原子說，可知物質皆由整數個原子化合而成。如水 (H_2O) 與過氧化氫 (H_2O_2) 皆含有氧原子及氫原子，前者由二個氫原子及一個氧原子構成，後者由二個氫原子及二個氧原子構成。

由於同一元素原子的質量皆相同，若氧與固定質量的氫化合，即等同於和相同個數的氫原子化合。假設氧與 $2n$ 個氫原子化合，則在水中的氧原子數應為 n 個，在過氧化氫的氧原子數應為 $2n$ 個，因此兩種化合物中氧原子的個數比及質量比均為 $1:2$ ，如圖 1。



▲圖 1 倍比定律：若氫的質量固定，水與過氧化氫中氧元素的質量比恆為 $1:2$ 。

小提示：
再一次與倍比定律的內容作比較，此概念會更清楚!!

道耳頓原子模型例題與模型整合題

~請同學用自己的理解，完成以下的問題~

道耳頓
原子模型
例題

【模型效化】：根據道耳頓原子模型的內容，判斷或檢驗以下敘述。

【模型應用】：將道耳頓原子模型應用到相似的情境中(^{12}C 、 ^{13}C)。

- 下列有關道耳頓所提出原子學說的敘述，何者是正確的？(可複選)錯誤的選項請說明理由。(模型效化)
 - (A)一切物質都是由原子所構成
理由：
 - (B)化學反應前後，分子會改變其種類
理由：
 - (C)不同原子間可以整數個相結合而形成各種物質
理由：
 - (D)當原子重新排列時，原子核中的質子與中子不變，所以質量不變
理由：
 - (E)相同的元素，其原子質量、性質有可能不同
理由：
 - (F)化學反應的發生，是原子性質改變，且原子重新排列的結果
理由：
- 小銘認為 ^{12}C 、 ^{13}C 可以用來說明道耳頓的倍比定律。你認為是對的還是錯的？請說明原因。(模型應用)

道耳頓原子模型
整合題

請根據道耳頓原子說，繪圖並說明其模型的成分及關係：

◇ 原子模型圖：

◇ 成分：(提示：原子、電子、原子核、中子、質子)

◇ 關係：(提示：成分之間的關係)



~湯姆森原子模型~

二、 原子可分割

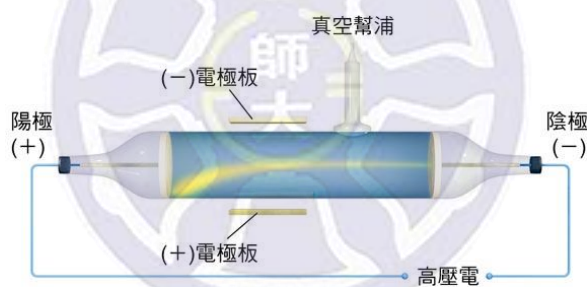
【模型選擇與建立】：湯姆森選擇了陰極射線在磁場中可以偏轉的特性，設計了實驗，得出並建立了電子的荷質比，也詮釋電子存在於所有物質中。

【模型建立】：密立坎選擇了電子的研究，進而設計油滴實驗，得出並建立電子的電量。

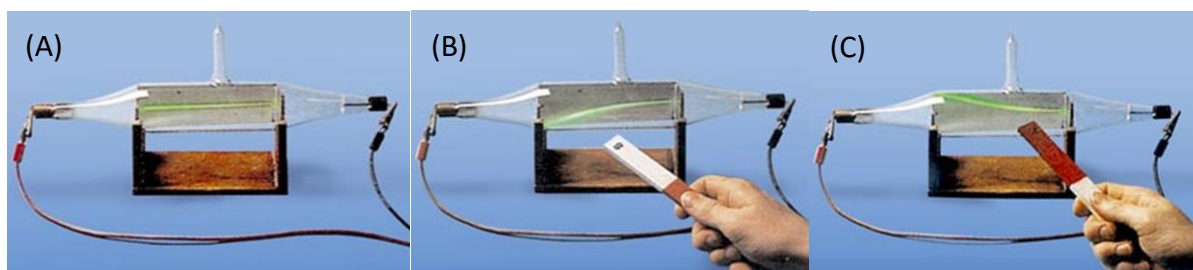
2-1 實心球

2-1-1 湯姆森(西瓜模型/葡萄乾布丁模型)

陰極射線在電場中及磁場中皆可產生偏轉，如圖 2 及圖 3 所示。經由多次實驗後，發現可由此射線的偏轉方向判斷陰極射線為帶負電的粒子，不是光線。



▲圖 2 陰極射線經過電場時其軌跡偏向正極，表示陰極射線帶負電。



▲圖 3 陰極射線經過磁場時：(A)未加磁場的陰極射線；(B)磁鐵的 S 極（白色端）指向射線時，射線向下偏轉；(C)磁鐵的 N 極（紅色端）指向射線時，射線向上偏轉。由偏轉的方向可知陰極射線是由帶負電的物質所組成。

想一想：你認為陰極射線會偏轉的原因可能為何？試著提出你的想法？

(提示：陰極射線所帶的電為正電或負電？)

湯姆森 (J. J. Thomson, 1856~1940, 英國) 於 1897 年依據陰極射線可在電場及磁場中產生偏轉的特性，設計了如圖 4 的新型放電管實驗裝置，並且成功地測量出電子的電荷與質量的比值 (即荷質比 **charge to mass ratio** (e/m)) 為 1.759×10^{11} 庫侖/公斤 (C/kg)。

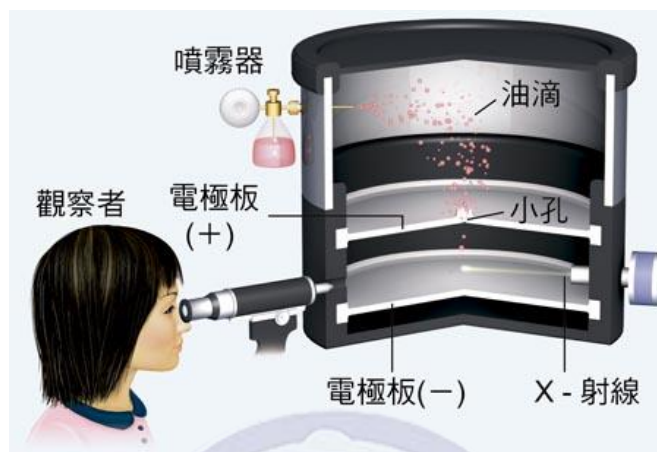


▲ 圖 4 湯姆森測定荷質比的裝置示意圖：陰極射線在同時控制磁場和電場的交互作用下，仍可能保持原來的軌跡。

湯姆森也藉著改變產生陰極射線的陰極材質，發現所產生之陰極射線 (即電子) 的荷質比均為相同數值，這結果說明了電子存在於所有物質中。

而後，密立坎 (R. A. Millikan, 1868~1953, 美國) 於 1909 年也針對電子的研究設計了著名的油滴實驗，(oil-drop experiment, 其裝置如圖 5 所示)，首先以圖中的噴霧器噴出油滴於上方電極板，而後以 X-射線 (X-ray) 照射兩電極板間的氣體，使該氣體放出電子形成陽離子，當油

滴由電極板上的小孔落入兩電極中間時，油滴可吸附陽離子或電子進而帶正電或帶負電，最後將兩電極通電形成電場。經由密立坎數千次的實驗，得知每個電子所帶的基本電量皆為 1.602×10^{-19} 庫侖。



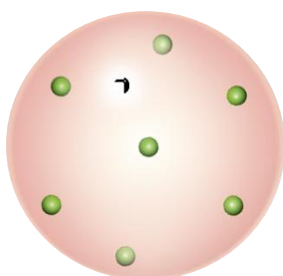
▲圖 5 密立坎油滴實驗裝置示意圖。

【模型建立】：根據湯姆森陰極射線實驗，發現了電子，而建立了西瓜原子模型(或葡萄乾布丁模型)。

湯姆森發現電子，並提出西瓜原子模型(又稱葡萄乾布丁模型)。他認為原子是一個帶正電的球體，其中有帶負電的電子均勻分布於其中，就像西瓜子嵌在西瓜中(如圖 6)，因此，其原子模型為質量與電荷密度均勻的球體。



西瓜子嵌在西瓜中



湯姆森原子模型

▲圖 6 湯姆森提出的原子模型：紅色部分代表正電荷，西瓜子代表電子，均勻分布在其中。

小提示：
注意湯姆森西瓜模型的正電與負電所表示位置，以及此模型的關係(電子如何分布、是分布於哪裡)

想一想：如何根據湯姆森所測得的電子荷質比為 $e/m = 1.759 \times 10^{11}$ 庫侖／公斤，以及密立坎所測得電子電量 $= 1.602 \times 10^{-19}$ 庫侖，得到電子的質量，請寫下你的想法。

提示：電子的質量 $= \frac{e}{e/m}$

湯姆森原子模型例題與模型整合題

~請同學用自己的理解，完成以下的問題~

湯姆森原子模型 例題 1

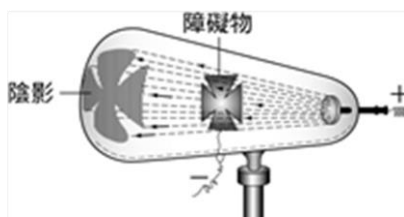
【模型分析】：根據密立坎油滴實驗，分析數據並說明錯誤的數據。

- (1) 美國某一研究者進行了五次油滴實驗所得到的電量數據如下：
 4.80×10^{-19} 、 3.20×10^{-19} 、 8.00×10^{-19} 、 1.44×10^{-18} 、 9.60×10^{-19} 庫侖，試由這些實驗結果決定一電子電量為多少？(模型分析)
- (2) 第二次實驗的數據如下： 4.80×10^{-19} 、 2.40×10^{-19} 、 6.00×10^{-19} 、 4.00×10^{-19} 、 7.20×10^{-19} 庫侖，請判斷那些數據是錯誤的？並說明你的理由。
 (模型分析)(提示：“一個”電子的帶電量)
 錯誤：
 理由：

湯姆森原子模型
例題 2

【模型效化】：根據湯姆森模型，判斷或檢驗實驗的正確與否及結果。

2. 有一研究者依據湯姆森實驗的裝置，設置了以下實驗裝置，請指出錯誤的地方。(模型效化)



錯誤的地方：

說明更正後此研究人員可能得到的實驗結果為何？

湯姆森原子模型
整合題

請根據湯姆森西瓜模型/葡萄乾布丁模型，繪圖並說明其模型的成分及關係，並提出修正了道耳頓原子說的哪些內容：

- ✧ 原子模型圖：
 - ✧ 成分：(提示：電子、原子核、質子、中子)
 - ✧ 關係：(提示：成分之間的關係)
 - ✧ 修正：(提示：跟道耳頓原子模型的差異)
- 1.

【模型轉換】：依據拉塞福 α 粒子撞擊金箔的實驗結果，察覺湯姆森的原子模型失效，不符合拉塞福的實驗結果，拉塞福進而提出「核型的原子模型」。

在 1911 年，拉塞福（E. Rutherford，1871～1937，英國）試圖要證明湯姆森的原子模型—西瓜模型(葡萄乾布丁模型)是正確的。

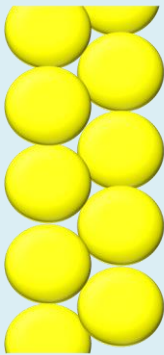
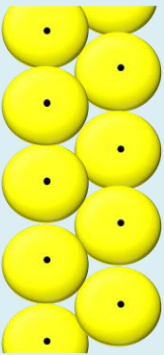
想一想：1. 如果在實驗開始之前，依據湯姆森的原子模型進行預測，你認為實驗結果會是如何？

想說明你的理由。

(提示： α 粒子的質量遠大於電子)

拉塞福以 α 粒子(帶正電)進行一連串撞擊極薄的金箔的實驗。撞擊後， α 粒子進行的方向可由它擊中塗有螢光劑的螢光幕來偵測。結果發現大約 99% 的 α 粒子直線地穿過金箔，少數 α 粒子產生偏折，僅極少數的 α 粒子產生大角度的偏折。

2. 呈上題，拉塞福的實驗結果是否符合湯姆森的原子模型概念？請繪圖說明湯姆森的原子模型與拉塞福原子模型 α 粒子撞擊金箔的差異。

湯姆森	拉塞福	
		小提示： 從<u>拉塞福</u>的實驗結果，推斷 α 粒子產生大角度的偏折的原因，是撞到什麼？以及成分之間與 α 粒子的大小關係。
	• 原子核	

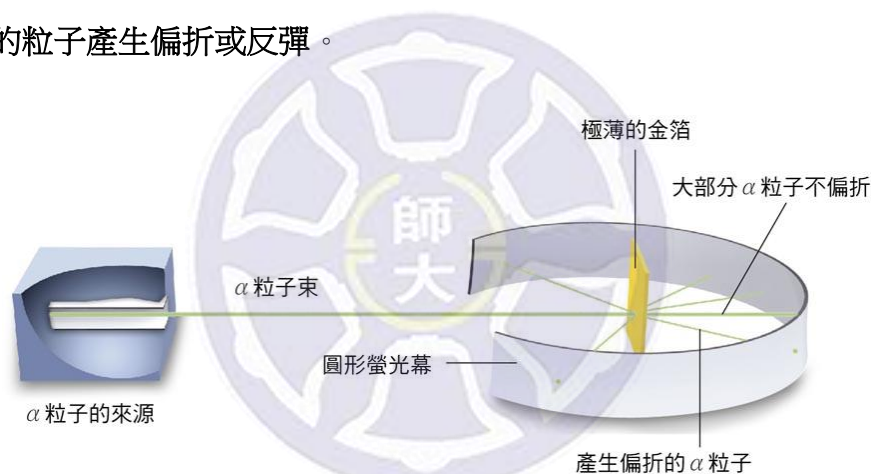
~拉塞福原子模型~

【模型選擇】：拉塞福依據實驗結果，選擇大部分的 α 粒子直接穿透金箔，打在螢光幕上，僅有極少數的粒子產生偏折或反彈的概念，而提出原子模型。

2-2 軌道

2-2-1 拉塞福(有核模型/行星模型)

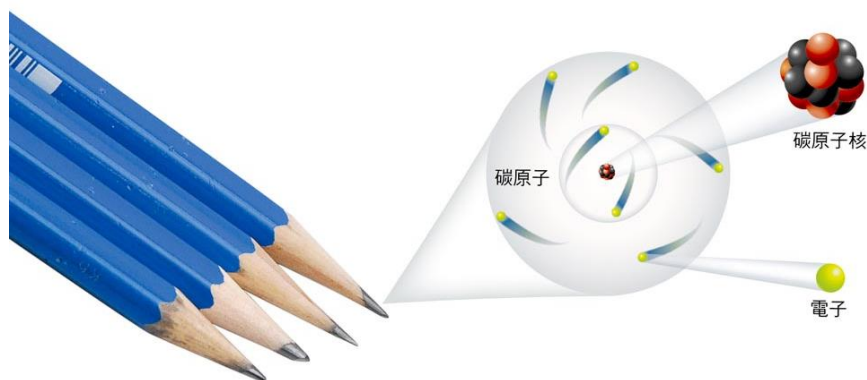
拉塞福 (E. Rutherford, 1871~1937, 英國) 以 α 粒子 (指氦的原子核) 撞擊極薄的金箔 (如圖 7)。實驗結果為 α 粒子由放射性物質釋放出來，大部分的 α 粒子直接穿透金箔，打在螢光幕上，僅有極少數的粒子產生偏折或反彈。



▲圖 7 α 粒子的散射實驗裝置示意圖。

【模型建立】：拉塞福依據實驗結果，建立了「核型的原子模型」。

拉塞福提出「核型的原子模型(行星模型)」—— 原子是由帶負電的電子環繞帶正電的原子核所組成，原子核體積極小，如圖 8 所示。碳原子核帶正電，幾乎占有碳原子的所有質量。電子在碳原子核外運轉，占有碳原子大部分的空間。

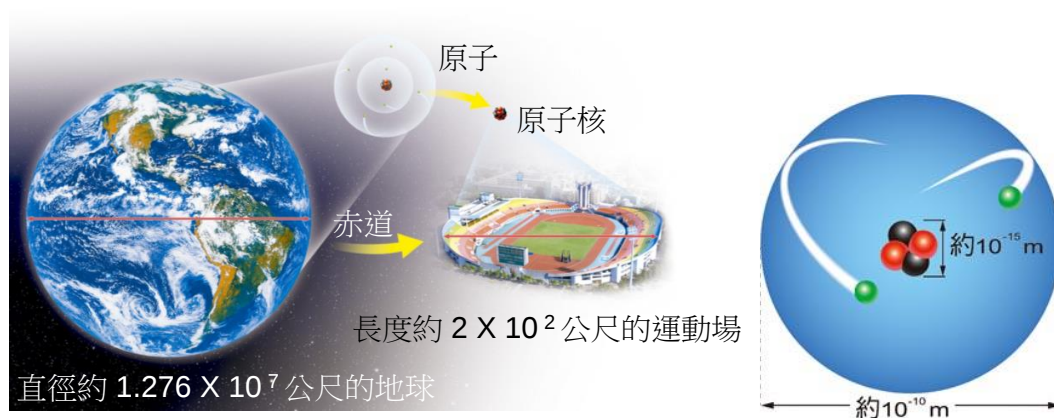


▲圖 8 拉塞福的碳原子模型示意圖。

小提示：

1. 注意拉塞福行星模型的正電與負電所表示位置，以及此模型的關係(電子如何運轉、是運轉於哪裡)
2. 注意當時的原子核指的是帶正電的原子核，當時並未發現質子與中子

其中，原子大小大約為 10^{-10} 公尺。原子核位於原子的中央部分，大小大約為 $10^{-15} \sim 10^{-14}$ 公尺。如果將原子大小視為地球，則原子核大小可視為長度約為 200 公尺的運動場，如圖 9 所示。

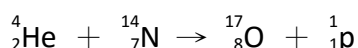


▲圖 9 原子核和原子大小比喻。

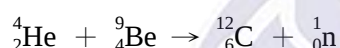
【模型修正】：拉塞福於 1919 年用 α 粒子撞擊氮原子，發現原子模型中的原子核含有帶正電的質子，而查兌克也透過實驗發現中子，因此對於拉塞福一開始提出的核型模型做了小修正。

【模型建立】：建立了 α 粒子撞擊氮及鈹之原子方程式。

此外，1919 年拉塞福也使用 α 粒子撞擊氮原子(核反應)，結果發現原子核中含有帶正電的質子。其方程式如右：



1932 年，查兌克 (J. Chadwick, 1891~1974, 英國) 以 α 粒子撞擊鈹 (Be) 元素後(核反應)，會射出未曾確認的粒子，進而發現原子核中含有與質子質量相近但不帶電荷的中子 (neutron)。其方程式如下：

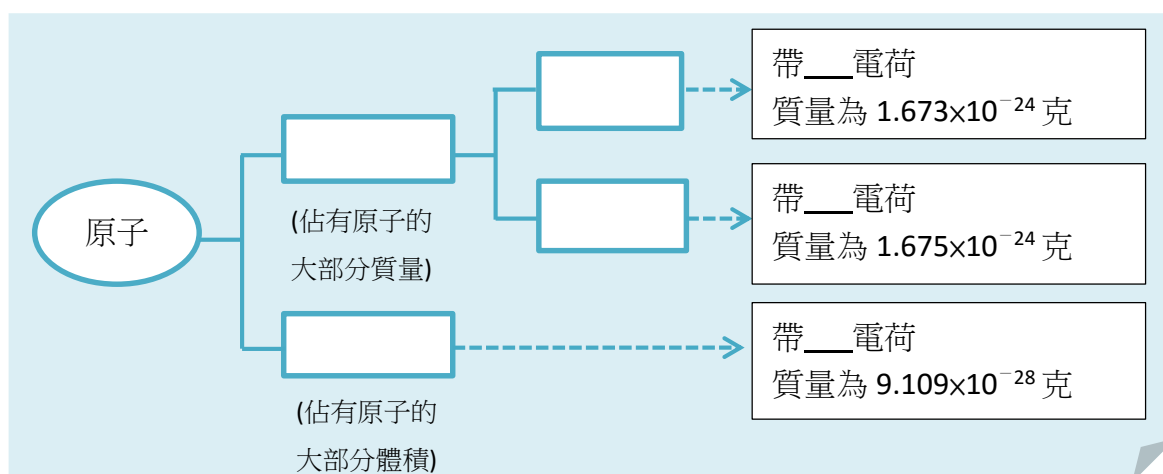


透過以上核反應的實驗，發現當物質發生化學反應時，原子會重新排列，也會產生新的原子，此發現也與道耳頓原子說相牴觸。

小提示：

1. 注意拉塞福對行星模型的修正，以及修正後並沒有中子的存在，中子發現的年代晚了許多。
2. 注意核反應與道耳頓原子說的內容相牴觸。
3. 注意核反應平衡原則。

想一想：至今原子核中已有許多的微粒陸續被發現。請根據以上各種發現及實驗結果，完成以下的整理，並比較質子、電子、中子質量大小與電量關係。



【模型調度】：將拉塞福的原子模型的概念(原子核內包含了質子)運用到新的情境下(同位素：包含了中子)。

從拉塞福原子模型所提出的原子核內包含了質子與中子的概念，然而，質子數相同而中子數不同的元素互稱為同位素，如 $^{35}_{17}\text{Cl}$ 及 $^{37}_{17}\text{Cl}$ 分別稱為氯-35 及氯-37。由於原子的化學性質與其電子數或質子數有關，因此同位素間的化學性質相似，物理性質則因為彼此的質量數不同而有差異。因為同位素的化學性質相似，通常無法以化學方法分離，所以常藉助物理方法加以分離。因此，同位素的發現也修正了道耳頓原子說的內容，相同元素，其質量不一定會相同。表 1 為一些常見元素的同位素。

小提示：

思考同位素的發現，與道耳頓原子說的內容是否相抵觸。

▼ 表 1 一些常見的同位素及其在自然界的含量

元 素	同位素	電子數	質子數	中子數	名 稱	自然界含量(%)
氫	^1_1H (H)	1	1	0	氕	99.999
	^2_1H (D)	1	1	1	氘	0.001
	^3_1H (T)	1	1	2	氚	極微量
碳	$^{12}_6\text{C}$	6	6	6	碳 - 12	98.892
	$^{13}_6\text{C}$	6	6	7	碳 - 13	1.108
	$^{14}_6\text{C}$	6	6	8	碳 - 14	極微量
氧	$^{16}_8\text{O}$	8	8	8	氧 - 16	99.759
	$^{17}_8\text{O}$	8	8	9	氧 - 17	0.037
	$^{18}_8\text{O}$	8	8	10	氧 - 18	0.204
氯	$^{35}_{17}\text{Cl}$	17	17	18	氯 - 35	75.77
	$^{37}_{17}\text{Cl}$	17	17	20	氯 - 37	24.23

拉塞福原子模型例題與模型整合題

~請同學用自己的理解，完成以下的問題~

拉塞福
原子模型
例題

【模型效化】：1. 根據拉塞福原子模型的內容，判斷或檢驗以下選項。
2. 根據拉塞福原子模型，判斷此敘述並說明錯誤原因。

1. 有關拉塞福的散射實驗，下列敘述何者正確？(多選)

錯誤的選項請說明理由。(模型效化)

- ☐ (A) 拉塞福以 α 粒子撞擊金屬箔， α 粒子相當於氫原子核

理由：

- ☐ (B) 發現絕大部分用來撞擊的粒子產生偏折，只有少數粒子穿過金屬箔

理由：

- ☐ (C) 證實了原子核的存在，而原子絕大部分質量集中在此

理由：

- ☐ (D) 由於「 α 粒子」和原子核都帶正電荷，故會產生 180° 大角度反轉

理由：

- ☐ (E) 同時發現了中子的存在

理由：

2. 以下為原子構造的敘述，請提出錯誤的原因？(模型效化)

原子核占有原子大部分質量，約等於電子與中子的總質量。

錯誤原因：

拉塞福原子模型
整合題

請根據拉塞福行星模型，繪圖並說明其模型的成分及關係，並提出修正了道耳頓原子說的哪些內容：

◇ 原子模型圖：

◇ 成分：（提示：電子、原子核、質子、中子）

◇ 關係：（提示：成分之間的關係）

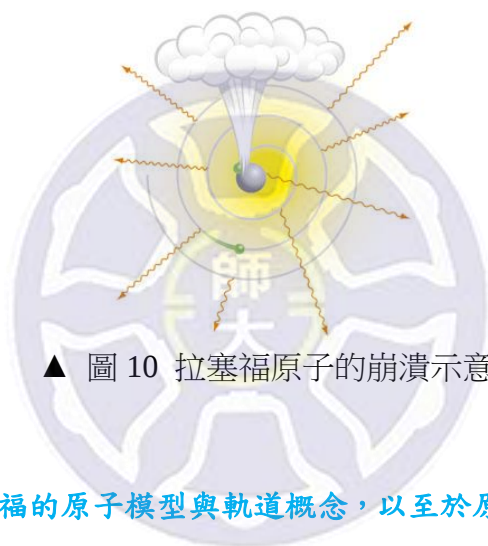
◇ 修正：（提示：成分與關係的改變）

- 1.
- 2.
- 3.



【模型修正】：依據古典電磁理論，察覺拉塞福的原子模型失效，波耳進而修正拉塞福的原子模型和軌道的概念，提出「氫原子模型」。

根據古典電磁理論，拉塞福行星模型環繞原子核的電子會因為不斷放出能量而撞上原子核，如圖 10，但是事實上大部分的原子均呈現穩定的狀態。這個矛盾的現象一直到 1913 年由科學家波耳（N. Bohr，1885～1962，丹麥）提出的氫原子模型才獲得解決。



▲ 圖 10 拉塞福原子的崩潰示意

想一想：波耳要如何修正拉塞福的原子模型與軌道概念，以至於原子不會崩潰，請試著提出你的想法。

~波耳原子模型~

【模型選擇】：波耳依據拉塞福原子模型違背了古典電磁理論，選擇並提出了 2 個假設以用來詮釋氫原子線光譜的形成。

2-2-2 波耳(氫原子模型)

1913 年由科學家波耳 (N. Bohr, 1885~1962, 丹麥) 提出以下兩個假設才解決了拉塞福原子模型違背了古典電磁理論，並且依此可用來解釋氫原子不連續光譜。

假設 1：電子僅存在某些特定的穩定狀態

電子只能在某些固定的距離圍繞原子核作圓周運動(電子作圓周運動的向心力由電子和原子核之間的庫倫力所提供)，此時電子將不輻射能量而呈穩定態。這些穩定態的能量若以能階(energy level)由低到高排列，便可用 n 等於 1、2、3、……表示，這些整數值稱為主量子數 (n , principal quantum number)。每一能階均有其特定的能量，由於波耳假設氫原子的能階在無窮遠處的能量為零，因此氫原子的電子在各能階中所具有的能量可以下列公式表示：

$$E_n = -\frac{2.179 \times 10^{-18} \text{ J}}{n^2} \quad n = 1, 2, 3 \dots$$

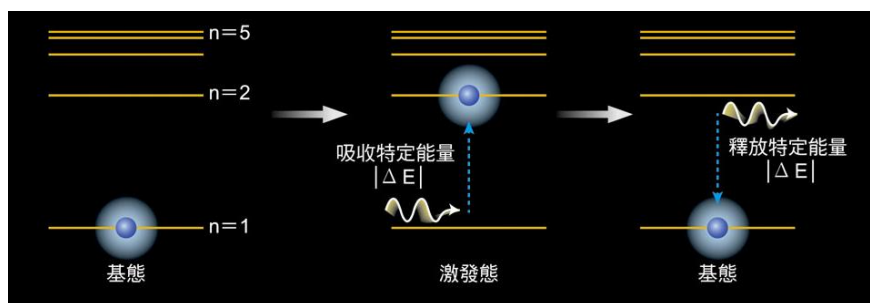
小提示：

1. 比較波耳能量公式與庫倫靜電力公式的關係($F = \frac{kQ_1 Q_2}{r^2}$)
2. 思考能階的能量，越靠近原子核，能量越大還是越小？

假設 2：電子的躍遷伴隨著特定能量的吸收或釋放

氫原子在正常情況時，電子會存在最低的能階 ($n=1$)，稱為基態 (ground state)。當吸收特定的能量時，電子便會躍遷 (transition) 至較高的能階，使得原子呈激發態 (excited state)。

激發態原子的電子從較高能階 (E_i) 回降到較低能階 (E_f) 時，電子於不同二能階間之轉換時所放出的能量恰等於該二能階之能量差 ($|\Delta E|$)，此能量並以光或熱的形式放出 (圖 11、12)。若以光的形式放出時便產生光譜。為了使求出的頻率與波長為正值， ΔE 不論吸收或釋放能量皆以絕對值表示。



▲圖 11 氫原子的能階及其電子躍遷時的能量變化。

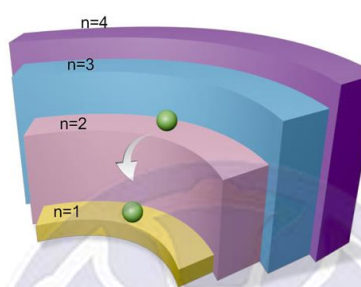


圖 12 電子躍遷示意圖。

【模型建立】：波耳依據其提出的假設，進而提出了「氫原子模型」。

波耳提出的氫原子模型，如圖 13，電子在特定能階中繞原子核作圓周運動，並不吸收或發射電磁波。 $n=1$ 時， E 最小，軌道最靠近原子核，此時能量最低。 n 愈大，軌道愈遠離原子核，能量愈高。



圖 13 為波耳的氫原子模型

小提示：

1. 注意波耳氫原子模型的正電與負電所表示位置，以及此模型的關係(電子如何運轉、是運轉於哪裡)。
2. 注意此模型之原子核尚未發現質子與中子(拉塞福原子核之發現 1911 年 → 波耳氫原子模型 1913 年 → 拉塞福發現質子 1919 年 → 查兌克發現中子 1932 年)。

【模型修正】：波耳氫原子模型方程式經過修正後可應用到似氫離子。

波耳原子模型的限制：只能說明氫原子或似氫離子等 “單一電子” 所組成的粒子的光譜。

例如：H、He⁺、Li²⁺等。

波耳原子模型例題與模型整合題

~請同學用自己的理解，完成以下的問題~

波耳原子 模型 例題

【模型效化】：根據波耳原子模型的內容，判斷或檢驗以下選項。

【模型應用】：應用波耳原子模型到相似的情境中(似氫離子)。

1. 下列有關波耳氫原子模型的敘述，何者正確？(多選)

錯誤的選項請說明原因。(模型效化)

☐ (A) 電子在軌道上運動時具有特定的能量

原因：

☐ (B) 電子在特定能階能穩定存在而不輻射

原因：

☐ (C) 電子由較高能階回到較低能階時，放出任意頻率的能量

原因：

☐ (D) H 原子的電子在各軌道上所具有的能量為 $E_n = -\frac{2.179 \times 10^{-18} \text{ J}}{n^2}$ ，

$n=1、2、3\cdots$

原因：

☐ (E) 電子吸收輻射能躍遷至較高能階的狀態，此較高能階的狀態為基態

原因：

2. 波耳的氫原子模型適用於氫原子或似氫離子的解釋，試問下列哪一個原子或離子無法以波耳模型解釋？請說明原因。(模型應用)

(A) H (B) Li²⁺ (C) He⁺ (D) Be⁺

原因：

波耳原子模型 整合題

請根據波耳氫原子模型，繪圖並說明其模型的成分及關係，以及修正了拉塞福原子模型的那些成分：

✧ 原子模型圖：

✧ 成分：（提示：電子、原子核、質子、中子）

✧ 關係：（提示：成分之間的關係）

✧ 修正：（與拉塞福原子模型的差異）



單元回顧-道耳頓原子說的修正

想一想：根據科學史的發展與新發現，道耳頓原子說需要做哪些修正？請依據原道耳頓原子說內容進行修正，如不修正，請提出原因。

1. 一切物質都是由微小粒子組成的，這種粒子不能再被分割成更小的粒子，稱為原子。

修正：

2. 同一種元素的原子，其質量和性質都相同；不同元素的原子，其質量和性質都不相同。

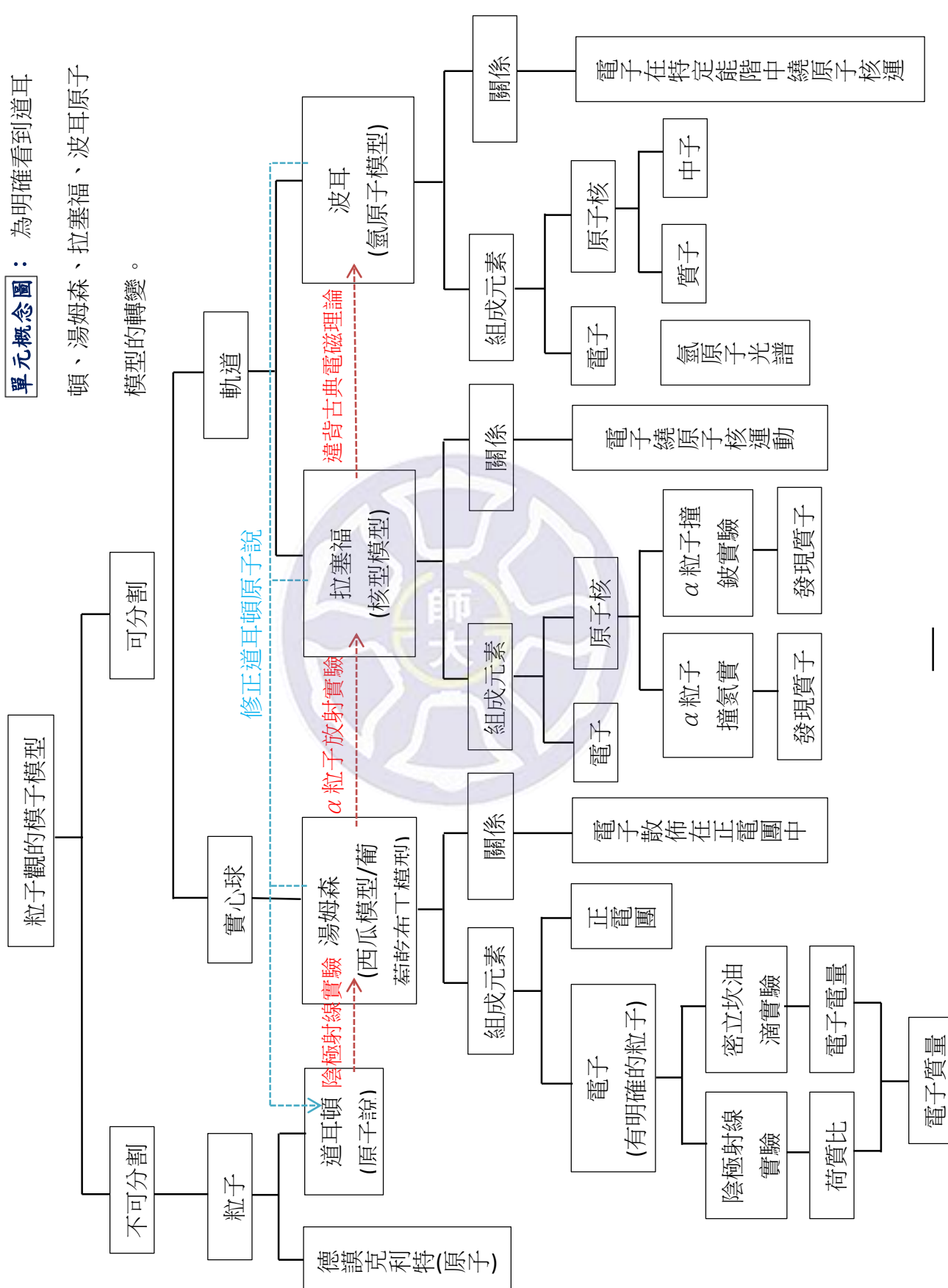
修正：

3. 當物質發生化學反應時，原子會重新排列，組成另一種物質。但是原子的質量不會改變，而且原子既不會消失，也不會產生新原子。

修正：

4. 化合物是由不同種類的原子以一定的比例組成的。

修正：







附錄四 原子模型之概念試題

一、 以下為道耳頓原子模型試題(共 8 題)

- () 1. 下列何者為道耳頓原子說提出的主要依據？
 (A)實驗的結果「看到」原子的存在
 (B)大的物質「必定」是由小的粒子組成
 (C)拉瓦節的「燃素」觀念
 (D)由各種物理及化學規律性「假設」物質是由原子組成
 (E)德謨克利特提出「原始」的原子概念
- () 2. 下列有關道耳頓所提出原子學說的敘述，何者是正確的？
 (A)化學反應前後，分子會改變其種類
 (B)不同原子間可以整數個相結合而形成各種物質
 (C)相同的元素，其原子質量、性質有可能不同
 (D)原子含有帶正電的原子核及帶負電的電子
 (E)當原子重新排列時，原子核中的質子與中子不變，所以質量不變
- () 3. 以下敘述，何者可說明道耳頓的定比定律？
 (A)過氧化氫與水中皆含氫與氧原子
 (B)氮氣與氫氣反應產生氨的體積比為 1 : 3 : 2
 (C)44 克的二氧化碳含 12 克的碳，22 克的二氧化碳僅含 6 克的碳
 (D) $\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ ，反應前後各反應物與生成物的莫耳數比為 2 : 1 : 2
 (E)自然界所含 ^{35}Cl 與 ^{37}Cl 之比為 3 : 1
- () 4. 電解水實驗時發現氫氣與氧氣的體積比為 2 : 1，換算成質量時產生的氫氣與氧氣的質量比為 1 : 8，若現在以氫氣還原氧化銅反應產生銅與水時，則所產生的水 3.6 中氫含有幾克？
 (A)0.4
 (B)0.8
 (C)1.6
 (D)2.0
 (E)3.2
- () 5. 下列何組物質可用來說明道耳頓的倍比定律？
 (A) S_2 、 S_6
 (B) ^{12}C 、 ^{13}C
 (C) SO_2 、 SO_3

(D) CO、NO

(E) H₂O、H₂

- () 6. 元素 A 與 B 形成 I 和 II 兩種化合物，若 2.4 克化合物 I 與 5.6 克化合物 II 中所含 A 皆為 1.6 克，則這兩種化合物的化學式依序可能是：

(A) A₅B，AB₅

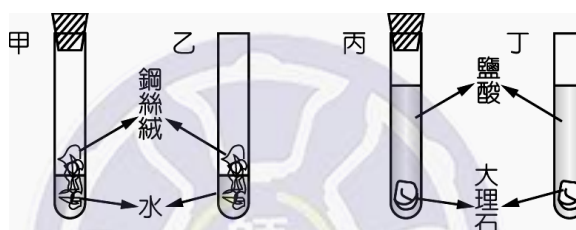
(B) A₂B，A₂B₅

(C) A₂B₅，AB₅

(D) AB，A₂B₅

(E) A₂B₂，AB

- () 7. 如圖所示，甲、乙、丙、丁四反應，經過一段時間後，甲質量不變、乙質量變重、丙質量不變、丁質量變輕。則甲、乙、丙、丁四反應何者遵守質量守恆定律？



(A) 甲、丙

(B) 甲、乙

(C) 乙、丁

(D) 乙、丙

(E) 甲、乙、丙、丁

- () 8. 取 A 23 g 和 B 49 g 混合，恰可完全反應產生 C 和 D，其反應方程式如下： $2A + B \rightarrow C + D$ ，其中產物 C 得到 71 g，若已知 D 的分子量為 2，則 C 的分子量為多少？

(A) 61

(B) 142

(C) 23

(D) 98

(E) 46

二、 以下為湯姆森原子模型試題(共 8 題)

- () 9. 有關於湯姆森陰極射線實驗的敘述，下列何者正確？

(A) 陰極射線僅在磁場中才會造成偏轉

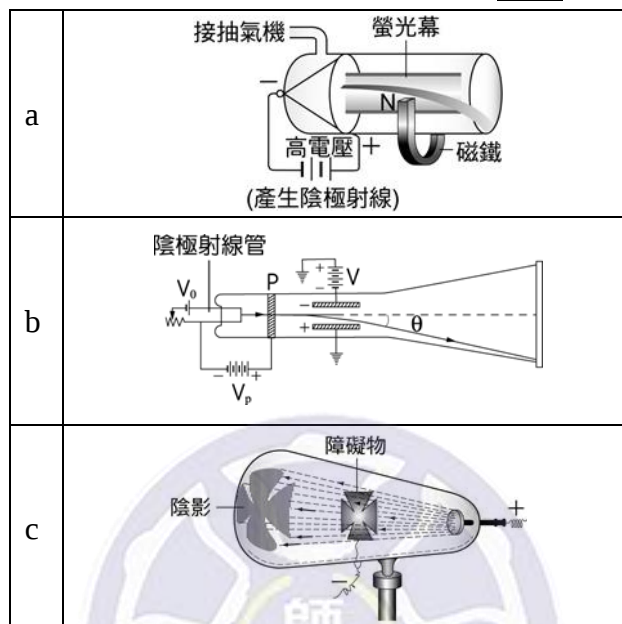
(B) 陰極射線在磁場及電場上皆可產生偏轉

(C)由於在電場上偏向負極，故推測陰極射線為帶正電的粒子所組成

(D)湯姆森依據陰極射線實驗裝置，測得電子的電荷與質量比值為 1.602×10^{-19} 庫倫／克

(E)湯姆森依此實驗發現電子只存在於陰極射線當中

()10.下列有關湯姆森陰極射線實驗裝置的圖形，何者為錯誤？



(A)a

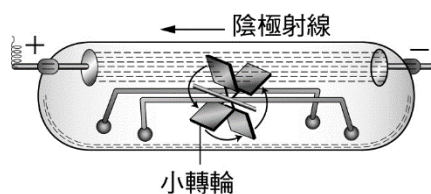
(B)b

(C)c

(D)a、b

(E) b、c

()11. 小城以以下裝置，進行實驗，判斷以下敘述，何者最能表示此實驗的現象？



(A) 道耳頓的原子說正確，原子無法再分割

(B) 不同的原子內皆可發現此粒子，我們將之稱為電子

(C) 原子核的半徑約 10^{-12} 厘米，所占空間極小，因此陰極射線可以穿過原子射出

(D) 此粒子帶負電，且具有質量及粒子性

(E) 電子在均勻分布於正電團中

- ()12.下列關於湯姆森測出荷質比實驗的敘述何者錯誤？
 (A)荷質比為電子的質量與電量的比值，為 1.759×10^{11} 庫侖／公斤
 (B)湯姆森控制電場及磁場的交互作用下，成功測得荷質比
 (C)此實驗可以發現電子存在於所有物質當中
 (D)質子的荷質比大於電子的荷質比
 (E)以上均錯誤
- ()13.由密立坎油滴實驗中，觀察到的油滴電量有下列五種： 4.80×10^{-19} 、 3.20×10^{-19} 、 8.00×10^{-19} 、 1.44×10^{-18} 、 9.6×10^{-19} 庫侖。若有另一油滴之電量為 1.28×10^{-18} 庫侖，則該油滴最少附有多少個電子？
 (A) 7
 (B) 8
 (C) 12
 (D) 16
 (E) 17
- ()14.呈上題，根據一個電子的電量來判斷以下實驗數據所得的電量，何者為錯誤的實驗結果？



a	2.40×10^{-19}
b	4.00×10^{-19}
c	6.00×10^{-19}
d	1.12×10^{-18}

- (A) a、b
 (B) c、d
 (C) a、b、c
 (D) b、c、d
 (E) a、b、c、d
- ()15.下列(甲)、(乙)、(丙)、(丁)四種實驗，哪幾種實驗的結果組合後可以決定電子質量？

(甲) <u>拉塞福</u> 的 α 粒子散射實驗； (乙) <u>湯姆森</u> 的陰極射線實驗； (丙) <u>倫琴</u> 的 X-射線實驗； (丁) <u>密立坎</u> 的油滴實驗

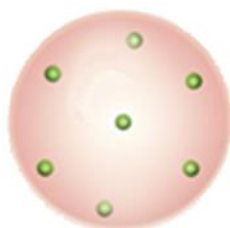
- (A) 甲乙丙丁
 (B) 甲乙丙

(C) 甲乙丁

(D) 乙丁

(E) 丙丁

() 16. 下圖為湯姆森提出的原子模型，下列敘述何者正確？



(A) 此原子模型為質量與電荷密度不相等的球體

(B) 帶負電的電子隨機分布於原子中

(C) 帶負電的電子均勻分布於正電球體中

(D) 此時並沒有正電的存在，但有帶負電的電子均勻分布在原子中

(E) 此原子模型已有原子核的存在

三、 以下為拉塞福原子模型試題(共 8 題)

() 17. 有關拉塞福的散射實驗，下列敘述何者正確？

(A) 拉塞福以 α 粒子撞擊金箔， α 粒子相當於氦原子核

(B) 發現絕大部分用來撞擊的粒子產生偏折，只有少數粒子穿過金屬箔

(C) 證實了原子核的存在，「 α 粒子」和原子核都帶正電荷，故會產生 180° 大角度反轉

(D) α 粒子打螢光幕上，使其螢光幕上產生許多小點

(E) 同時發現了質子的存在

() 18. 拉塞福原子模型的敘述，下列何者正確？

(A) 原子直徑約為 10^{-15}m

(B) 原子質量幾乎集中於原子核，但原子核體積甚小

(C) 帶負電的電子在固定軌道上繞原子核運轉

(D) 電子占了大部分得質量與體積

(E) 原子核中包含了中子，因此帶正電

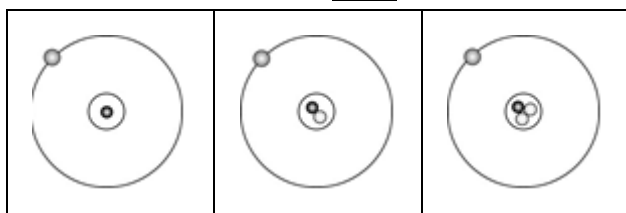
() 19. 拉塞福做「 α 粒子散射」實驗，將 α 粒子束射向一金屬薄膜，觀察穿過薄膜後的 α 粒子偏折至各方向的分布情形，根據此實驗無法說明原子核的何種特性？

(A) 證明原子核的存在

(B) 原子核帶正電

(C) 原子核的直徑很小

- (D) 原子核位於原子的中心
(E) 原子核是由質子和中子組成
- () 20. 拉塞福在 1919 年以 α 粒子(${}^4_2\text{He}$)撞擊氮原子核(${}^{14}_7\text{N}$)，產生核反應。若該反應產生的兩種粒子，有一為氧原子核(${}^{17}_8\text{O}$)，則另一粒子為何？
(A) 質子
(B) 中子
(C) 電子
(D) α 粒子
(E) 原子核(${}^9_4\text{Be}$)
- () 21. 有關原子結構的發展，下列敘述何項正確？
(A) 拉塞福利用氣體放電管實驗發現電子的荷質比
(B) 波耳經由油滴實驗證明電子的基本電量
(C) 密立坎提出核原子模型
(D) 查兌克用 α 射線撞擊鈹原子發現中子
(E) 湯姆森利用 α 粒子散射實驗發現電子的存在
- () 22. 質子、中子、電子、原子核依發現的先後次序排列，下列何者正確？
(A) 電子、中子、質子、原子核
(B) 電子、原子核、質子、中子
(C) 中子、電子、原子核、質子
(D) 原子核、質子、中子、電子
(E) 原子核、電子、質子、中子
- () 23. 下圖為三個簡易的原子結構，其中●表示質子，○表示電子，○表示中子，則有關於此三個原子構造的敘述，何者正確？



- (A) 此三種元素互為同素異形體
(B) 此三種原子互為同位素
(C) 為三種化學性質不同的原子
(D) 此三種原子具有相同的質量數
(E) 此三種原子具有相同的物理性質

- () 24. 列有關同位素的敘述，哪些正確？
- (A) 中子數相同，化學性質相同
 - (B) 最早發現同位素的存在科學家為道耳頓
 - (C) 原子核內的中子數相同，質子數不同，因此質量數不同
 - (D) 以物理性質可分辨同位素
 - (E) 同位素的化學性質相似，是與電子數或質量數有關

四、 以下為波耳原子模型試題(共 6 題)

- () 25. 下列關於氫原子光譜的敘述，何者正確？
- (A) 為連續光譜
 - (B) 光譜是電子由高能階跳到低能階，其能量差以電磁波形式放出而產生的
 - (C) 電子會存在最低的能階，稱為激發態
 - (D) 氫原子光譜可用拉塞福的原子核模型解釋
 - (E) 當吸收任或特定意能量時，電子均會躍遷至較高的能階
- () 26. 波耳的氫原子光譜主要描述下列何者原子的特性？
- (A) 電子具波動性
 - (B) 原子中的正電荷集中於很小的原子核，電子在外繞核運動
 - (C) 電子具粒子性
 - (D) 原子中包含帶負電荷的小粒子
 - (E) 原子中的電子能量為量子化而不連續
- () 27. 下列敘述，何者是波耳氫原子模型的假設？
- (A) 氫原子只有一個電子，氫原子光譜只有一條譜線
 - (B) 電子在繞核作圓周運動時，因有加速度而放出輻射
 - (C) 電子可以在一組特定能階（穩定狀態）之一存在而不輻射電磁波
 - (D) 必須不斷供給能量以維持電子在高能階運動
 - (E) 以上皆是
- () 28. 下列有關波耳氫原子模型的敘述，何者正確？
- (A) 電子在軌道上運動時具有特定的能量
 - (B) 電子在特定能階能穩定存在而放出輻射
 - (C) 電子由較高能階回到較低能階時，吸收特定頻率的能量
 - (D) $n=1$ 時， E 最大，軌道最靠近原子核，此時能量最高
 - (E) 電子吸收輻射能躍遷至較高能階的狀態，此較高的狀態稱為基態

- () 29. 根據波耳提出的氫原子模型，何者能量最大？
- (A) $n=1$
 - (B) $n=2$
 - (C) $n=3$
 - (D) $n=4$
 - (E) $n=5$
- () 30. 波耳的氫原子模型適用於氫原子或似氫離子(只有單一個電子)的解釋，試問下列哪一個原子或離子無法以波耳模型解釋？
- (A) H
 - (B) Li^{2+}
 - (C) He^+
 - (D) Be^+
 - (E) 以上選項都可以說明

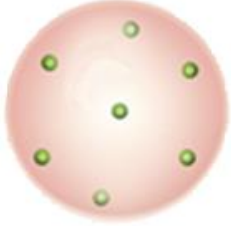
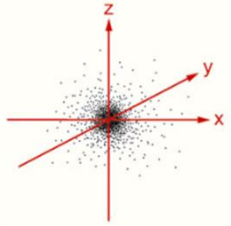
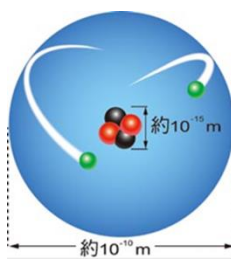
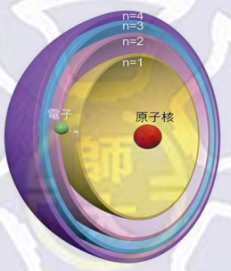


附錄五 原子模型之建模能力試題(晤談試題)

1. 道耳頓原子模型

道耳頓為了解釋定比定律、倍比定律、質量守恆定律，而提出道耳頓原子說。

(1)你認為道耳頓提出的原子模型較接近下列何者？

A. ☐	B. ☐	C. ☐
		
D. ☐	E. ☐	F. ☐ 其他(請你畫下來)
		

(2)呈上題，請說明選擇該結果的理由。

(3)下列有關於道耳頓所提出之原子說的敘述，請根據道耳頓所解釋的定比定律、倍比定律、質量守恆定律的內容，選出下列何者是正確的？(多選)

- ☐ (A) 一切物質都是由原子所構成

☐ (B) 化學反應前後，分子會改變其種類

☐ (C) 原子含有帶正電的原子核及帶負電的電子

☐ (D) 不同原子間可以整數個相結合而形成各種物質

☐ (E) 當原子重新排列時，原子核中的質子與中子不變，所以質量不變

☐ (F) 相同的元素，其原子質量、性質有可能不同

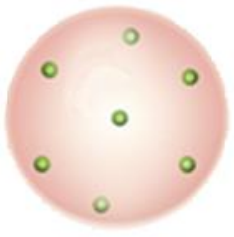
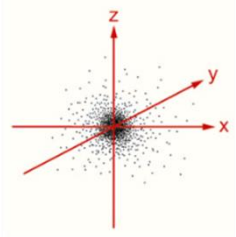
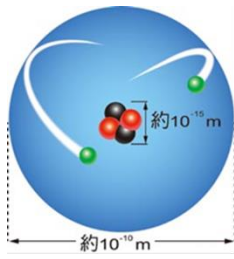
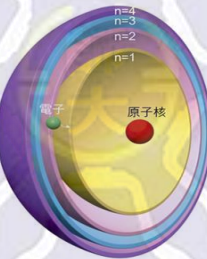
☐ (G) 化學反應的發生，是原子性質改變，且原子重新排列的結果

☐ (H) 一般化學反應儘核外電子轉移或共享，原子核並未參與反應

2. 湯姆森原子模型

早在 1881 年，湯姆森似乎了解到陰極射線是帶電粒子(Niaz, 2009)。1897 年湯姆森透過陰極射線研究一系列氣體在低壓時的放電現象，發現一種帶負電荷的粒子。1897 年湯姆森進而建構原子模型。

(1)根據湯姆森的實驗結果，你認為湯姆森的原子結構模型比較接近下列何者？

A. ☐	B. ☐	C. ☐
		
D. ☐	E. ☐	F. ☐ 其他(請你畫下來)
		

(2)呈上題，請說明選擇該結果的理由並說明此模型的結構關係。

(3)從密立坎的油滴實驗，觀察油滴電量有下列五種： 4.80×10^{-19} 庫侖， 3.20×10^{-19} ， 8.00×10^{-19} 庫侖， 1.44×10^{-18} 庫侖和 9.60×10^{-19} 庫侖。(請寫出推論過程)

- 試推論出一個電子的電量為_____庫侖
- 若另一油滴帶 8 個電子，則此油滴之電量為_____庫侖
- 若另一油滴之電量為 2.40×10^{-18} 庫侖，則該油滴最少附有_____個電子。

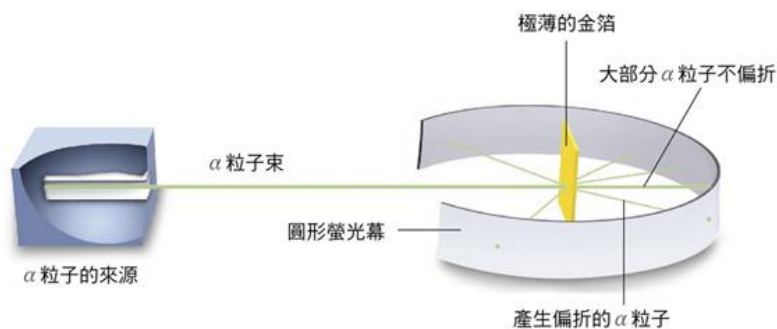
推論或計算過程：

(4)根據湯姆森的實驗結果及原子模型，修正了道耳頓的哪些內容？



3. 拉塞福原子模型

1910 年拉塞福試圖證明湯木生的原子模型——西瓜模型（葡萄乾布丁模型）是正確的，以 α 粒子射線進行一系列的實驗，拉塞福將 α 粒子射向一片極薄的金箔，他驚奇地發現，過去一直認為原子是個實心球，而這種由「實心球」緊密排列成的金箔，在測量金屬箔片被散射 α 粒子於不同角度的數量，發現大部分 α 粒子在穿越時直線穿過或幾乎沒有偏差，即大部分 α 粒子以直線路徑，僅有少數 α 粒子產生的偏差較大，且僅有非常少的 α 粒子(1/8000)偏向會大於 90° 。請根據以上的說明選出適當的推論：



(1)在實驗開始之前，依據湯姆森的原子模型進行推測，實驗理論上應會得到怎樣的結果？(寫出你的理由，並解釋)

可能結果：

- (A) 粒子完全穿透金屬片，在螢光屏幕上聚集成一點發光。
- (B) α 粒子完全被金屬片的電子阻擋，螢光屏幕上沒有光點。
- (C) α 粒子撞擊原子內的電子， α 粒子四散在螢光屏幕上，形成許多光點。
- (D) α 粒子撞擊原子內的某小體積、高質量帶正電體，少數發生偏轉，其餘不受影響，筆直穿透金屬板。
- (E) 其他:_____。

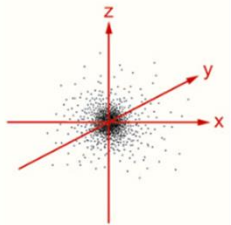
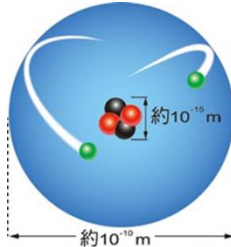
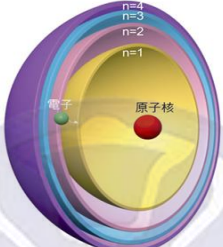
→選擇可能結果答案為：(單選)

→解釋或理由：

(2)呈上題，由拉塞福的實驗結果進行推測，比較湯姆森原子模型的結果與拉塞福原子模型的實驗結果。

(3)根據拉塞福散射實驗的結果可以推出原子核的存在(核型模型)，而後經過哪些粒子的發現，而修正了原本的模型？請將完整順序列出來。

(4)根據拉塞福的實驗結果及新粒子的發現推測，你認為拉塞福的原子結構模型比較接近下列何者？

A. ☐	B. ☐	C. ☐
		
D. ☐	E. ☐	F. ☐ 其他(請你畫下來)
		

(5)呈上題，請說明選擇該結果的理由並說明此模型的結構關係。

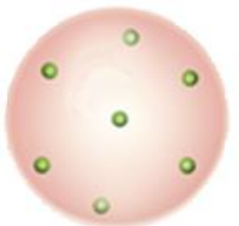
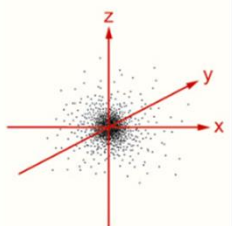
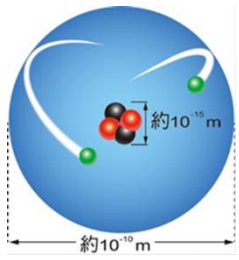
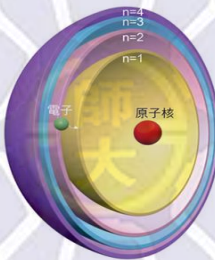
(6)根據古典電磁理論，拉塞福的原子模型會失效，其核外電子是以何種方式繞原子核？其能量的又會如何變化？(請說明你的理由，可配合繪圖表示)

(7)呈第(6)小題，你認為要如何才能夠修正？請提出你的理由。

4. 波耳原子模型

波耳為了解釋拉塞福模型的失效，而修正了軌道的概念，並且提出電子在不同的軌道對原子核進行圓周運動時，擁有不同的能量。波耳依據氫原子光譜提出新的原子模型，請依據波耳氫原子學說回答下列問題。

(1)你認為波耳的原子結構模型比較接近下列何者？

A. ☐	B. ☐	C. ☐
		
D. ☐	E. ☐	F. ☐ 其他(請你畫下來)
		

(2)呈上題，請說明選擇該結果的理由並說明此模型的結構關係。

(3)請問波耳的氫原子模型與拉塞福的行星模型有哪些相同處、哪些相異處(指出兩者不同之處)，請列舉並說明理由。

5. 原子模型整合題

(1)根據科學史的發展與新發現，道耳頓原子說需要做哪些修正？

(2)請完整寫出原子模型的發展順序及各原子模型的發現及內容，並說明後來提出的原子模型是根據哪些發現或理由來修正之前的原子模型，且要說明修正內容。

~本試題結束，非常感謝你的配合

全文完