

心智模式動態變化之研究 - 物理現象的觀察與詮釋

任宗浩

國立台灣師範大學 科學教育所博士班研究生

(投稿日期：民國 90 年 4 月 10 日，修訂日期：90 年 6 月 8 日，接受日期：90 年 5 月 25 日)

摘要：本研究探討心智模式的變化過程以及心智模式對於訊息選取和訊息知覺的影響。整個研究包含兩個實驗，實驗一採用晤談的方式進行。六位受試者（國三學生、高三學生以及大學一年級的學生各兩名）以放聲思考的方式解釋研究者所提供的物理現象，過程中允許受試者操弄實驗。所獲得的口語資料以原案分析的方式進行編碼，兩位編碼者的一致性為 93%。結果顯示心智模式可能的改變過程包括：(1)放棄原有的心智模式並以新的模式取代；(2)增加或刪除某些變數或約束條件；(3)增加週邊理論以解釋不同的現象；(4)合併不同的理論。實驗二利用實驗研究法，進一步確證實驗一對於心智模式可能影響知覺和對訊息選取的推論。131 位國中三年級的學生經由隨機分配分成對照組(32 人)以及三個實驗組(A、B、C，每組 33 人)。受試者觀察實驗一的物理現象，並紀錄其觀察到的細節。三個實驗組的學生在進行觀察之前，分別閱讀有關該現象不同的解釋模型，對照組的學生則直接進行觀察活動。結果發現：(1)對照組受試學生平均觀察到的細節比實驗組多，且達顯著差異($p < .01$)；(2)對照組和不同實驗組的受試者觀察到某些特定現象的人數比率有顯著差異($p < .05$)，顯示實驗組的學生對於現象的觀察和知覺，受到他們在觀察活動之前所閱讀模型的限制和引導。

關鍵字：心智模式、高層次知覺理論、推理、動態過程

前言

二十世紀前葉心理學的發展與研究受到行為主義哲學觀的影響，認為所有的理論應該建立在可以直接觀察的現象之上。這種哲學觀所影響的層面不單只有心理學甚至包括了物理學，例如早期的粒子物理理論中主張散射矩陣

理論(S-matrix theory)的學者堅持認為應該利用可觀測的粒子和它們的散射幅(scattering amplitudes)來建立粒子碰撞的理論(Redish, 1994)；而另一派主張場論的物理學家們則相信可以利用微觀抽象的交互作用模型來解釋並預測粒子碰撞的結果，時間證明了場論的成功以及散射矩陣理論的沒落。如同當代主流物理學對建立抽象模型的重視，過去的三十年隨著

認知心理學的快速成長，心理學家們廣泛並成功地利用所推測的心理結構或模型來解釋或預測人們相關的行為表現(Bransford, Brown, & Cocking, 1999; Redish, 1994)。其中心智模式理論是認知心理學家用來解釋人們如何理解語言陳述和觀察現象，以及如何推理的眾多理論之一。

一般認為心智模式的概念最早是由 Kenneth Craik (1943)提出(Johnson-Laird, 1983; Senge, 1990)，當時行為主義仍是心理學的主流，Craik 嘗試給予「刺激反應理論」一個可能的內在機制。他認為生物根據過去經驗在腦中建構出對外在實體的「微觀模型」(small-scale models)，並利用該模型嘗試各種可能的情形來預測一些未發生的狀況，如此便可對所遭遇到的情境作出最適當、最安全的回應(Craik, 1943)。這個概念後來被認知學者所採用，並逐漸地被管理領域的學者大量的應用(Senge, 1990)。

在認知領域中，Johnson-Laird 利用心智模式來說明人們如何理解語言陳述和作日常的推理(Johnson-Laird, 1983; 1989; 1999)。其他學者的研究也顯示心智模式參與許多不同的心理運作，它可以幫助特殊領域的專家組織專業知識，並且對新資訊的編碼、解釋或儲存有所幫助(Borgman, 1986; Gott, Bennett, & Gillet, 1986; Schlager, Means, & Roth, 1988); Holland, Holyoak, Nisbett 和 Thagard (1986)甚至認為心智模式是一切推理過程的基礎。教育學者也認為如果學生在學習物理相關概念時，新概念能與既存的心智模式相吻合或相容，那麼學習可能會更加容易(Redish, 1994)。了解學生的心智模式有助於科學教師在介紹複雜系統或抽象科學概念時對於學生學習困難的理解，並藉此發展出合適的教學模型(邱美虹和翁雪琴, 1995; Stevens & Collins, 1980)。

此外，相關研究還指出人們經常利用心智

模式推測某些特定系統在不同條件下的行為。即使是一個領域的專家也經常利用心智模式來理解現象，而不是遵循正式的邏輯規則來進行推理(Johnson-Laird, 1999; Schlager, Means, & Roth, 1988; Schumacher & Czerwinski, 1992; White & Frederiksen, 1987)。可能的原因之一是受限於工作記憶的容量；由於遵循正式的推理規則經常要考慮眾多的可能性，而利用心智模式作為推理的依據可以降低認知負荷，但是推論結果未必正確(Hitch & Baddeley, 1976; Rips, 1994)。在推論過程中，心智模式並非保持不變，如果因為一開始建立了錯誤的心智模式而得到錯誤的表徵或是推論，有可能藉由考慮其它模式或修訂原有模式而改變其推論(Johnson-Laird, 1989, 1999)。

本研究藉由觀察受試者在表徵和解釋物理現象的過程，探討心智模式的變化歷程，以及其心智模式對於資訊的選取和知覺之影響。研究包含兩個部分，實驗一藉由個別晤談以及原案分析的方式，探討受訪者在面對物理現象時，如何建立其心智模式，以及在解釋現象與推理的過程中，其心智模式的動態變化。實驗二利用實驗法，在受試者觀察物理現象之前，提供實驗組受試者不同理論模型，藉以探討心智模式對於訊息知覺的影響。

文獻探討

一、心智模式的定義與內涵

心智模式是人們日常理解事物和推理過程時，在短期記憶或工作記憶中所建立對問題情境或外在事物的一種暫時性表徵，也可以是人們儲存在長期記憶中對外在世界的穩定表徵或「圖像」(Craik, 1943; Johnson-Laird, 1983; Senge, 1990; Vosniadou, 1994)。個體透過與目標系統（他人、環境與標的事物）的交互作用以及根據過去的經驗和教育建立心智模式，並利用它

來解釋或預測所觀察到的事物或現象(Norman, 1983; Vosniadou, 1994)。

不同學者對於心智模式內涵的詮釋則有相當大的差異：有一部份學者強調單一形式的心智表徵，例如 Jagacinski 和 Miller (1978)認為心智模式是「基模的一個特例」，劇本式(scripts)的事件基模就是儲存在長期記憶中對某些事件的特定心智模式。Kintsch (1988)則強調心智模式是複雜的命題表徵。然而大部份的學者相信心智模式是各種不同的表徵形式的綜合體，例如 Johnson-Laird (1983, 1993)所提出的心智模式即為一種綜合模式，是對外在世界結構上的抽象類比表徵。由於概念和物件取決的觀點不同，心智模式內建構的概念或物件只是知覺對象暫時性的類似物；他強調視覺心像是構成心智模式的重要成分，但非必要條件。Bloch (1991)也認為除了視覺心像以外，心智模式還包含如分析命題以及一連串的例子等許多無法視覺化的元素。White 和 Frederiksen (1985)將心智模式視為一種概念結構，認為心智模式包括了陳述性和程序性知識使個體得以運用來解決問題。McNamara (1994)則認為心智模式包含了「類比成份」和「符號成份」。作者在本研究中採用心智模式為一種綜合表徵的定義，它可以是一種類比或是一種類似理論的陳述，這種暫時性的似理論不若正式理論一般的嚴謹，其中甚至可能包含相互矛盾的元件。

二、心智模式的特質

Norman (1983) 觀察許多人從事不同作業時所持有的心智模式，歸納出六個關於心智模式的特質，這六個特質並非相互獨立的：(1)不完備性：人們對於現象所持有的心智模式大都是不完備的；(2)侷限性：人們執行心智模式的能力受到嚴重的限制；(3)不穩定：人們經常會忘記所使用模型的細節，尤其是經過一段時間沒有使用它們；(4)沒有明確的邊界：類似的機

制或操弄經常會相互混淆；(5)不科學的：人們常採取迷信的模式，即使他們知道這些模式並非必要的，但是卻可以因此而節省體力和心力；(6)簡約的：人們寧可耗費體力去作一些可以因為心智規劃而省去的行動。作者根據上述心智模式之特質，綜合其他學者對心智模式之觀點，對心智模式之動態特性、不完備性以及簡約性做更詳細的介紹。

(一)心智模式是既保守又動態的

研究指出心智模式經常是保守(reactionary)卻又動態的。人們往往利用學習者先前的理解或經驗來架構表徵問題的心智模式(Johnson-Laird, 1983; Rogoff, 1984)，這些儲存在長期記憶裡的知識並不容易改變。另一方面，由於心智模式內的「類比成份」和「符號成份」透過關聯系統和規則系統這兩個互補推理系統的交互作用，使得各成份間的關係是動態而非靜態的(Sternberg, 1996)。Grosslight 等人(1991)認為心智運作建構一個特定的心智模式來理解因果情境，所建立的心智模式又去影響產生新的心智運作，因此形成「連續不斷建構、再建構、回饋循環」的過程。

人們對自然現象所形成的初始心智模式通常是簡單的或直觀的(Strike & Posner, 1992)，這類組織知識的原則被稱為是「素樸的架構理論(naïve framework theories)」(Vosniadou, 1994)。當個體無法利用這個素樸理論去詮釋矛盾現象時，個體會嘗試調解(reconcile)自己的心智模式和概念想法(Harrison & Treagust, 1996)，形成更精緻化的心智模式。根據Stevens 和 Collins (1980)對複雜系統的心智模式研究，發現精鍊心智模式的方法包括了：(1)增加模型中的部分元件；(2)更換模型中的部分元件；(3)刪除模型中的部分元件；(4)將心智模式中的部分元件通則化；以及(5)指出心智模式中部分元件之間的差異。Stevens 和 Collins(1980)所指的部分元件係指受試者觀察到之相關變數，並未

說明各種元件之特性以及與心智模式間的關係。

(二) 心智模式是不完備的

研究結果指出人們在面對問題情境所建構出的心智模式大都是不完備的(Harison & Treagust, 1996; Norman, 1983; Vosniadou, 1994)。心智模式的運作是有侷限的合理性(boundary rationality) (Simon, 1957), 其中主觀滿足的感受對心智模式的運作有重要影響。人們綜合感官訊息和過去經驗, 透過由下而上和由上而下的策略推理來理解外在世界或問題情境(Holyoak & Nisbett, 1988)。Johnson-Laird (1989) 也提到知覺是心智模式的一個重要來源, 我們可建構出的各種心智模式就是我們所知覺到外在世界的限制(圖1)。

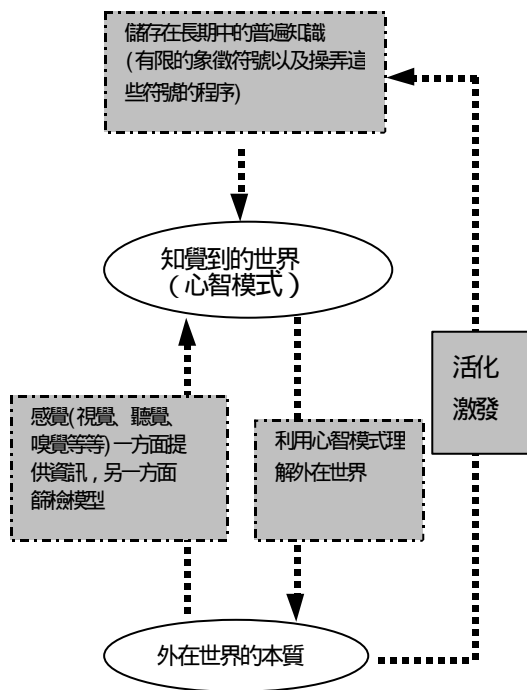


圖 1：知覺是一種對外在世界的表徵，為心智模式的一個重要來源(整理自 Johnson-Laird, 1989)。

Daviso 和 Sternberg (1984)由訊息處理觀點提出「三過程觀點」(The three-process view)，認為解決問題包含三個不同過程：選擇性編碼、選擇性比較、選擇性結合，這三個歷程可以個別使用，也可以互補使用。先前經驗與知識加上問題呈現的情境決定觀察者的觀察，從長期記憶中提取待用的訊息(這個階段所激發的相關訊息量超出工作記憶可能處理的範圍)，透過評估選擇重要訊息，過濾不重要或不相關的訊息，將訊息編碼之後再比較(類比)新訊息與檢索既有舊訊息(知識)的關連性，最後將兩訊息結合得到新的知覺和訊息用以解決問題。我們根據這種觀點可以推論「心智模式」的建立和轉變受到工作記憶容量、感官記錄、長期記憶、控制歷程、情境的影響，而這些因素都有可能是造成心智模式不完備的原因。

(三) 心智模式是簡約的

人們可以耗費體力去作一些藉由心智規劃而省去的行動，不過相較之下他們似乎寧願用身體的行動來節省心智的複雜度，尤其是當額外的身體行動可以允許一套簡單的心智規則應用在各種不同的機制時，可以將心智混淆程度減到最小(Norman, 1983)。前面提到心智模式的運作必須考量工作記憶有限容量負載、經濟效益以及主觀意義化，所以個體在使用連結系統或原則系統時，並無法考慮所有可能選擇，為了減低認知負荷，會有許多捷思法和偏見(Tversky & Kahneman, 1971, 1983)。

雖然因為認知負荷或工作記憶的限制，致使心智模式無法考慮到各種複雜的狀況(Hitch & Baddeley, 1976; Rips, 1994)，但是一個領域中的某個模型即使不完全或不正確，但它仍然能夠繼續被使用(Norman, 1983; Johnson-Laird, 1983)。有時候「錯誤但簡單的模型」是比「複雜而更接近真實的模型」為更好的引導者，錯誤的模型可能(但未必)導致錯誤的結論和認知

上的固執，但是錯誤的模型未必一定是錯誤的來源。模型中錯誤的來源很可能僅僅是來自疏忽。有時錯誤是由於無法適當的面對情境或考慮各種可能的機率所引起的(Johnson-Laird, 1989)。

三、心智模式與推理

推理是思考的一個系統化過程：由一組命題引導致另一組命題。目前人工智慧和認知心理學對推理理論的發展，大致有三個共同的方向(Johnson-Laird, 1989; Sloman, 1999)：(1)透過正式推理規則；(2)透過知識網絡的連結(專家系統)；(3)透過心智模式的推理。

第一類理論強調推理可以依靠正式的推論規則（如邏輯的計算），而這些正式的規則是與前提的內容無關，僅與所謂的邏輯形式有關。這種推論基本上在解釋人們可以推論任何事而無視於其內容，尤其是一些抽象的或不熟悉的事物。代表人物為 Braine (Braine, 1990) 以及 Rips (Rips, 1994)。第二類推理的理論則是直接強調內容的重要，強調特定領域的推論規則。這種推理類似專家系統（例如 Clancey, 1986），推理取決於連結架構中特殊範例的累積。在這種情形下推理和回憶是很難區分的。然而這一類理論主要解釋前提的內容如何影響推理。第三類理論假設推理是取決於對心智模式的操弄。以三段論法為例，一般未受過邏輯訓練的人並不會有一套簡單而標準的程序（如利用邏輯、范氏圖、尤拉圖等方法）來處理推論。大部分的人會對前提的陳述產生一個或多個的心智模式，其次利用該模型推論出一個暫時性的結論，最後是尋找看看有沒有與該暫時性結論矛盾的反例(Johnson-Laird, 1989)。

四、高層次知覺理論

「高層次知覺」(high-level perception; HLP) 這個名詞最早是由 Hofstadter 和他的研究生提

出來的(Chalmers et al., 1992; Mitchell, 1990)，引發他們提出 HLP 的一個重要的目的是為了解釋人們如何篩檢大量的資訊(Hofstadter & Mitchell, 1993)。Chalmers 等人(1992)根據康德(1929)的想法，將知覺過程中與「感受」(sensitivity)有關的部分稱為「低階知覺」(low-level perceptions)，與「理解」(understanding)有關的部分稱為「高階知覺」。HLP 為一種基本認知功能，是生物對一個概念層次在某種情境下的表徵過程，這個表徵過程是經由高階概念和低階的知覺過程交互作用的結果：高階概念影響低階的知覺過程，而低階作用所知覺到的則會影響某些高階概念的激發以至於建立該情境的表徵。

雖然 Pylyshyn (1980)和 Fodor (1983)都曾經反對高階的概念會透過「由上而下」的方式影響知覺，但是他們所提到的知覺指的是相當程度的低階知覺，對於概念層次的高階知覺則很少人會反對「由上而下」以及「情境脈絡」影響的重要性(Chalmers et al., 1992)。許多認知心理學對表徵的研究也顯示人們對外在世界或問題的表徵是受到高階概念和知覺交互作用而來的。例如 Chi, Feltovich 和 Glaser (1981)對問題表徵的研究以及 Johnson-Laird (1989)對心智模式的研究等等。

研究設計與發現

本文以兩個實驗探討學生心智模式之變化過程以及心智模式對訊息選取及訊息知覺的影響。茲將研究設計及研究發現分述如下。

實驗一

實驗一利用半結構式的晤談方式，探討不同受試者在表徵和解釋物理現象過程中的動態變化類型，以及心智模式對於訊息知覺和選取的影響。

一、研究對象

為了探討不同知識背景受試者在推論過程中，心智模式變化的共同特質，實驗一的六位受試者分別選取來自不同學習階段的學生。其中 S1 與 S2 是兩位剛修完物理課程的國三學生 S3 與 S4 為剛修完高三物理課程之畢業生。S5 與 S6 為剛修完大一普物課程的醫學系學生。

二、研究過程

(一)提供問題情境

晤談者在一開始的時候呈現一個物理現象給受試者看，隨後進行晤談讓受試者對該現象作解釋。此物理現象取自 Mayer 和 Mamaeva (1985) 的「熱水噴泉實驗」。首先將開口滴管放入熱水中（約攝氏 90 度），待管內水面上升後，用手指按住滴管上方開口並將滴管提起（如圖 2(a)），接著將滴管翻轉朝上，熱水立刻噴出（如圖 2(b)）。

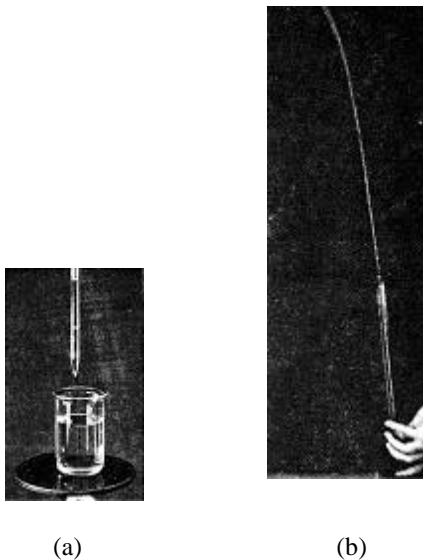


圖 2：受試者需解釋之噴水現象：(a)將開口滴管放入水中後，將上方開口用食指封住然後將滴管提起；(b)將滴管翻轉朝上，熱水噴出。(取自 Mayer & Mamaeva, 1985, p. 57)

(二)晤談

晤談過程可分成二個部分：

1. 事前對受試者說明及訓練：先對受試者說明如何進行放聲思考(think aloud)之後，讓受試者先觀察待解問題之器材，並要求受試者說出其心裡的想法藉以練習放聲思考。晤談者告知受試者如果他在晤談進行中，說出任何一個解釋，晤談者會要求其說明來源（例如以前看過或是由現象判斷）和對該解釋的信心程度，並向受試者說明這是例行詢問，而不是因為受試者的解釋有錯誤。
2. 正式訪談開始時，先探討受試者對問題的初步表徵，之後讓受試者進行實驗操弄。提供受試者操弄的實驗器材包括：1 毫升、5 毫升與 10 毫升的開口玻璃滴管各一支、兩支長短不同之乳頭玻璃滴管、兩支長短不同之乳頭塑膠滴管、溫度計、燒杯、量筒、電熱盤與冷、熱水。
 - (1) 對問題的初步表徵階段：晤談者首先對受試者進行實驗示範，呈現待解釋的物理現象（如圖 2）；然後要求受試者描述他所看見的現象，並以放聲思考的方式猜想可能的原因。最後詢問受試者對其解釋的信心度。
 - (2) 實驗操弄階段：進行完初步表徵的階段後，晤談者要求受試者自行操弄所提供的實驗器材，以進一步確認或探討可能導致研究者所示範之實驗現象的原因。過程中要求受試者說明每一個動作，如果受試者忘記放聲思考，晤談者會以提示的方式，請受試者說明做該動作的理由及當時的想法。過程中晤談者會適時要求受試者解釋一些利用受試者心智模式無法解釋的現象，一旦受試者有新的解釋，詢問其原因及信心度。最後要求受試者嘗試

解釋所有看到的現象。

三、研究限制

實驗一的討論是根據對六位受試者的原案分析所得到的，所有的推論皆以個案研究的角度來分析，所以不具推廣性。由於放聲思考無法對心理過程機制提供有效的確證證據，所以文中對於心理機制的討論只能作合理的推測。此外，實驗一在晤談時所給予受試者的情境在某種程度下要求受試者對觀察到的現象作因果解釋，所以與其說是觀察學生的心智模式，不如說是引導受試者建構其心智模式。

四、研究結果與討論

對原案的分析是以觀點或概念為單位進行編碼。也就是說一旦受試者解釋現象的說詞中包含新的概念或觀點，或者對原有的模式有所修正時，便加以註記。所蒐集之原案資料經兩位具有高等物理教育背景之編碼者進行編碼，一致性達 93%，其結果如表 2 所示。

實驗中影響所呈現待解釋現象的變因相當多，受試者在解釋與推理的過程中，主要針對的現象有三個（如果受試者沒有察覺該現象，研究者會設法引導其解釋該現象）：

現象 I：在熱水情況下的噴水現象：這是所有受試者在一開始就都觀察到的現象，所發展出來的模型主要也是為了解釋這個現象；

現象 II：在熱水情況下，滴管提起時管內的熱水並不會噴出，而必須將滴管倒置，熱水才會噴出。這個現象除了 S3 和 S4 兩位受試者在初步表徵的階段就已經注意到，並成功的利用其心智模式解釋該現象之外，其他的受試者都是經由晤談者引導去注意或者要求解釋該現象後，才嘗試做出解釋；

現象 III：幾乎所有由晤談者所提供的滴管在熱水的情況下都有噴水的現象，唯獨一毫升的滴管（本研究提供受試者的滴管中，管內

徑最細的一隻）沒有噴水的現象。六位受試者中除了 S5 在實驗操弄過程時意外發現這個現象之外，其餘的五位受試者都是經由晤談者引導，並要求其對這個現象作解釋時，他們才提出解釋。

（一）編碼規則及編碼結果

本研究利用 $M_i\{v; C_j; E_k(v')\}$ 代表受試者對於待解釋現象所持有的心智模式；大括弧內利用分號將受試者對三個主要現象的解釋或相關變量區隔開來。表一六位受試者對上述三個現象解釋原案的編碼符號。其中 $M_i(v)$ ($i=1, 2, 3$) 分別代表受試者解釋現象 I 所採用各種不同的心智模式， v 代表該模式所涉及的主要變數， T 代表溫度， P_a 為大氣壓力， P 代表滴管內氣體壓力， f_g 代表重力。以表一中的 $M1(T, f_g, P_a)$ 為例， $M1$ 代表以「空氣受熱膨脹」為解釋現象 I 的主要模型，其中影響現象 I 的變數包括水溫、重力以及大氣壓力。 C_j ($j=1, 2, 3, 4$) 代表的是受試者為了解釋現象 II 所加上各種不同的約束條件及解釋。 $E_k(v')$ ($k=1, 2, 3, 4$) 則是受試者針對現象 III 所提出的解釋理論或模型， v' 是該解釋理論或模型中所包含的變數。除此之外，有時候受試者並不會對該現象形成一個因果的解釋模型，只是推測該現象與某些變數有關時，則利用 $F_x(v')$ 表示現象 x 與變數 v' 有關，其中變數 f_{ad} , r/R , R 和 l 代表滴管內水與管壁之間的附著力、滴管口徑與內徑之比值、滴管內徑之大小以及滴管的容積。

表 2 為對六位受試者的原案分析編碼後所記錄的心智模式變化過程。以 S5 在實驗操弄過程中所出現的編碼 $M1\{T, f_g, P_a; C2; --\}$ 為例，代表受試者是以空氣受熱膨脹作為其解釋的主要模式，但是必須考慮的變數包括溫度 (T)、滴管內水所受的重力 (f_g) 以及大氣壓力 (P_a)；分號分開的第二項「C2」代表受試者用來解釋現象 II 所加上的約束條件，也就是滴管必須要倒置使得管內空氣受到擠壓，才會將水

表 1：受試者針對不同的現象所提出的心智模式，以及其說明理由之編碼

現象 I	現象 II	現象 III
M1(T)管內空氣受熱膨脹將水推出	C1 滴管倒置時，熱水往下流，加熱管內空氣，使管內空氣受熱膨脹	X 不承認此一現象
M1(T, f_g , P_a)噴水現象是空氣受熱膨脹結果、但必須考慮膨脹、重力、和大氣壓力三者間平衡的結果	C2 滴管倒置時，管內水對空氣產生一股壓力，氣體的反作用將水推出	E1(f_{ad})因為附著力的關係，使得一毫升滴管的水無法向下流，所以無法加熱滴管內的空氣
M2(P)熱水產生水蒸氣造成額外的壓力將水推出	C3 滴管倒置時，管內的水必須形成開口，管內空氣才能衝出。	E2(f_{ad})因為毛細現象的關係，使得一毫升滴管的水無法向下流，所以無法造成回流現象
M3 因為手指壓滴管擠壓管內氣體，將水噴出(類比有乳頭的滴管)	C4 熱空氣上升，所以只有將滴管倒置，水才會噴出	E3(l)容量小的滴管倒置時，壓力不夠大，反作用力不足以將水噴出
F_i (T)與溫度有關	$F_{ii}(T, f_g, P_a)$ 必須考慮管外大氣壓力、管內氣體壓力與水所受重力之間的平衡關係	E4(r/R)口徑與管徑的比值越小，水噴的越高
F_i (P)與壓力有關		$F_{iii}(l)$ 與滴管容量有關
		$F_{iii}(r/R, R)$ 和滴管口徑與管徑的比值有關，也和管徑有關

1. $M_i(v)$ ($i=1, 2, 3$)為受試者對現象I所提出的三種心智模式。其中M1、M2和M3分別代表不同的模型，括弧內的符號 v 代表該模式所涉及之變數。例如M1(T, f_g , P_a)代表以「空氣受熱膨脹」為解釋現象I的主要模型，其中影響現象I的變數包括水溫、重力以及大氣壓力

2. C_j ($j=1, 2, 3, 4$)為受試者對現象II所提出的約束條件及解釋

3. $E_k(v')$ ($k=1, 2, 3, 4$)為受試者對現象III所提出各種不同子理論或解釋，括弧內的符號 v' 代表該解釋所涉及之變數

4. $F_x(v')$ ($x=I, II, III$)表示現象 x 與變數 v' 有關

5. T：溫度

6. P_a ：大氣壓力

7. P：滴管內氣體壓力

8. f_g ：重力

9. f_{ad} ：滴管內水與管壁之間的附著力

10. r/R ：滴管口徑與內徑之比值

11. R：滴管內徑之大小

12. l ：滴管容積

噴出；分號分開的第三項為符號「-」，代表S5此時對現象III並未提出或自認沒有適當的說明；其它的編碼依此類推。

(二)心智模式的動態變化歷程

這個部分主要討論受試者對所觀察的現象如何建立其最初的心智模式，以及在現象探究過程中，受試者心智模式變化的過程。

1.初步表徵的產生

在本研究當中受試者運用類比(S1、S2)、和過去的經驗的比較(S4)或聯想(S5)的方式而產生對問題的初步心智模式；也有的受試者(S6)一開始並沒有形成一個心智模式，只是經由聯想推測出相關的變因。

表 2：六位受試者心智模式變化過程編碼結果

受試者	初步表徵模式	實驗操弄階段	最後表徵模式
S1	M3	$M3 \rightarrow F(P) \rightarrow F_i(T) \rightarrow F_i(T, P) \rightarrow M2\{P; -, -\} \xrightarrow{(4)} M2\{T, P; C4; -\}$ <p style="text-align: center;">(1)</p>	$M2\{T; C4; x\}$
S2	$M1\{T; -, -\}$	$M1\{T; -, -\} \xrightarrow{(1)} M2\{T; -, -\} \xrightarrow{(2)} M2\{T; C4; -\} \xrightarrow{(1)} M1\{T; -, -\}$	$M1\{T; -, -\}$
S3	$M1\{T; C1; -\}$	$M1\{T; C1; -\} \xrightarrow{(3)} M1\{T; C1; E1(fad)\}$	$M1\{T; C1; E1(ad)\}$
S4	$M2\{T; C2; -\}$	$M2\{T; C2; -\} \xrightarrow{(3)} M2\{T; C2; Fm(l)\} \xrightarrow{(3)} M2\{T; C2; E3(l)\}$	$M2\{T; C2; E3(l)\}$
S5	$M1\{T; -, -\}$	$M1\{T; -, -\} \xrightarrow{(2)} M1\{T, fg, P; Fm(T, fg, P); -\} \xrightarrow{(2)} M1\{T, fg, P; C2; -\} \xrightarrow{(2)}$ $M1\{T, fg, P; C2, C3; -\} \xrightarrow{(2)} M1\{T, fg, P; C2; -\} \xrightarrow{(3)} M1\{T, fg, P; C2; E2(fad)\}$ $\rightarrow M1\{T, fg, P; -, -\}$ <p style="text-align: center;">(2)</p>	$M1\{T, fg, P; -, -\}$
S6	$F_i(P)$	$F_i(P) \rightarrow F_i(T) \rightarrow M1\{T; C1; -\} \xrightarrow{(3)} M1\{T; C1; E4(rR)\} \xrightarrow{(3)} M1\{T; C1; Fm(rR, R)\}$	$M1\{T; C1; Fm(rR, R)\}$

1. 表中的(1)、(2)、(3)和(4)分別代表心智模式不同的變化過程：

- (1) 尋求其它適當的模式（放棄原有的表徵模式）。
- (2) 增加或刪除該模式的變數（ v_i ）或約束條件（ C_i ）。
- (3) 發展出不同的子理論或週邊理論（ E_i ）。
- (4) 對不同的解釋或理論進行調解。

2. 相關編碼符號之定義，請見表 1。

S1 和 S2 都是以類比的方式產生對問題最初的心智表徵。當晤談者在一開始示範完待解釋現象之後，要求 S1 解釋該現象，S1 之說明如下：

S1 004：..把水吸上來..就是說把水吸進去然後噴出來這樣子(用手比了一比)

晤 005：可不可以把過程再描述清楚一點。

S1 005：..就是把這個滴管..滴管啊..吸上水，倒過來，就噴出水來了。

晤 006：請你說一下你認為為什麼會發生這個現象？

S1 006：有吸力的關係吧..手指頭有按阿，然後有吸力的關係...

這裡可以推論 S1 認為因為晤談者手指頭有「按」的動作，先將水吸進滴管之後再噴出

來。這個類比到乳頭吸管的模型（請見表 1 之 M3），就像是 Clement (1983) 所認為經由一個轉變(transformation)而產生的自發性類比，也就是說受試者直接經過修改問題部分條件而產生類比情境。另一位受試者 S2 所產生的初步表徵則是類似 Clement (1983) 所認為經由關聯(association)所產生的類比：

S2 004：..我想是因為熱脹冷縮的關係...

晤 005：怎麼會想到熱脹冷縮？

S2 005：..因為好像看過類似的現象...以前舊教材裡面好像有一個..碳酸鈣加上稀鹽酸還是什麼的..也是有類似的..好像叫做噴泉現象...記得老師好像說是熱脹冷縮的關係。

S4 則是經由和過去經驗的比較，而想到可能的解釋模型（請見表 2 之 M2{T; C2; -}）：

晤 002：好，你以前有沒有看過這個現象？

S4 002：以前是..冷水就不會這樣子。冷水的時候，水就不會噴出來。

晤 003：這是你的經驗嗎？

S4 003：對..對對。

晤 004：可不可以解釋一下你認為造成這個現象的理由？

S4 004：可能是因為它是熱水，所以裡面產生水蒸氣，在這裡（管內）產生一個更大的壓力，然後你轉過來的時候，因為加上有大氣壓力還有水的重量，一壓縮可能產生壓力然後把水擠出來。嗯，因為氣體..因為他本身是熱水，然後會繼續產生水蒸氣，所以可能...以前冷水的話，這邊（管內）不會產生新的壓力，一個更大的壓力，所以那時候不會噴出來。

S5 則是關聯相關的背景知識而得到「空氣受熱膨脹」的簡單模式做為詮釋該問題情境的主要模型：

S5 006：我猜可能是因為裡面的氣體膨脹，然後把水推出來。

晤 007：為什麼你會這麼想？是不是因為你曾經見過類似的現象，還是...

S5 007：沒有，純粹是想像。

在建立了最初的心智表徵後，晤談者要求受試者實際的去操作並探索問題，受試者必須利用推理規則（演繹與歸納）將心智模式和所經驗到的現象做連結。由於最初的心智模式大都是不完備的（素樸的或簡單的），當受試者發現心智模式無法解釋某些現象時，會嘗試修改其心智模式（精緻化、釐清心智模式的條件或作典範的轉移）或發展出其它的理論以拓展對現象的解釋度或調解（reconcile）心智模式

中各子系統的矛盾性。

2. 心智模式的動態變化過程

受試者一開始所提出來的心智模式經常是針對所注意到的部分現象（在本研究中主要是針對現象 I）作解釋，當晤談者要求受試者對其它現象（例如現象 II 或現象 III）作解釋時，受試者往往會遭遇到困難而修改其心智模式。受試者心智模式的變化過程可分為下列四種情形：

(1) 放棄原有的表徵模式，改尋其它適當的模式來解釋

S1 的初步表徵是經由類比而來（以下簡稱此類比的表徵為「吸力說」），當晤談者要求 S1 對問題作進一步的探索，讓他親自重複晤談者的現象操弄時，S1 很快地發現類比模式的情境條件與問題情境不相符合，因而改尋其它適當的模式來解釋（請見表 2 之 M3→M2(P)）：

晤 008：你不用太緊張，這不是考試，我們要了解一個現象之前通常都會去猜它的原因嘛！..所以「有吸力」是你覺得的一個可能的原因..對不對？

S1 008：嗯...

S1 011：..(生很緊張的重複了一遍)..可是沒有水噴出來？

晤 012(a)：因為你的滴管裡面根本沒有水阿！

（晤談者稍微指導一下 S1 的動作，避免該生被水燙到）

（S1 成功地作出晤談者示範的現象）

晤 012(b)：你覺得你的答案是否正確？

S1 012：不知道。

這裡顯示 S1 對最初的心智模式「吸力說」產生動搖，可能是因為 S1 經過操弄後理解到手指並無特殊的擠壓動作將水吸上來和噴出去。

S1 013 : (生又用不同的滴管去試) ...跟空氣有關是不是？

S1 017 : 它們(指其它的滴管)因為有空氣壓它，所以推出去 ..我覺得就是這樣！

S1 在此處提出了「氣壓說」，且從此以後不再提「吸力說」，顯示其放棄原有的表徵模式。在這個例子中，S1 放棄原有表徵的可能原因是 S1 察覺到他誤解了問題的情境，發現原本的類比模式根本不適用，所以能夠很快的放棄。對 S2 的晤談中也發現了類似的現象，當 S2 被要求仔細利用其初步心智模式 $M1\{T; -; -\}$ 作進一步的探索和說明後，S2 出現了第二種模式 $M2\{T; -; -\}$ 。不過 S2 到最後仍無法成功的利用 M2 的模型說明現象 III 的時候卻又恢復到最初的心智模式 M1 (請見表 2)。

(2)增加或刪除該模式的變數(v_i)或約束條件(constraints)(C_i)以拓展心智模式的解釋力

六位受試者之中，除了 S3 成功利用最初的心智模式解釋所有觀察到的現象，其餘的五位受試者在晤談過程中都曾利用增加或刪除心智模式的變數或約束條件，企圖拓展心智模式的解釋範圍。以 S5 為例，在晤談一開始的時候，為了解釋現象 II，S5 在最初的模式之外引入「重力」和「大氣壓力」的影響，將原本的模式修改成為「三力平衡說」(請見表 2 之 $M1\{T; -; -\} \rightarrow M1\{T, f_g, P_a; F_H(T, f_g, P_a); -\}$)：

S5 022 : 我在想為什麼會這樣子。我在想是不是因為重力的關係 ..它在管內除了受到管內氣體的推力以外，也會受到管外大氣壓力的推力還有重力 ..思考這三者之間平衡的關係，看看是不是能想出答案。

然而 S5 並未成功的解釋現象 II，所以又

在原有的「空氣受熱膨脹說」之外，加上「擠壓」這個約束條件($C2$)來解釋「管口必須向上才會噴出」的現象($M1\{T, f_g, P_a; F_H(T, f_g, P_a); -\} \rightarrow M1\{T, f_g, P_a; C2; -\}$)：

S5 025 : 我覺得除了熱膨脹有關以外 ..我這樣轉過來的時候，液體會稍微向下，所以會把裡面的空氣推擠，讓裡面的氣體壓力變大，才大於外面的空氣壓力把它擠出來 ..還有加上，我覺得應該熱膨脹讓氣體體積膨脹有關係。

隨後 S5 又修改模型加上「回流造成開口」的條件($C3$)嘗試解釋該現象($M1\{T, f_g, P_a; C2; -\} \rightarrow M1\{T, f_g, P_a; C2, C3; -\}$)：

S5 046 : ..它反過來得時候它會因為重力的關係而向下流，然後可能因為這個關係，它向下流以後 ..向下流 ..(一邊動作)這個東西會開(指水柱會開口)，不是完全密封的，氣體會流動 ..所以熱的氣體會衝出去，順便把水帶出去 ...

晤 049 : 所以你認為要有開口它才有辦法噴出去？

S5 047 : 對，我認為這個水一定要開出一個小縫，然後這個原因是因為它會流下來，所以一定會有縫。

很快地 S5 又觀察到與「開口」條件矛盾的現象，於是又放棄了「開口」的約束條件，但堅持一定要有回流的條件($M1\{T, f_g, P_a; C2, C3; -\} \rightarrow M1\{T, f_g, P_a; C2; -\}$)：

S5 064 : (又試看看) ..這個是沒有開口 ...一定要往回流才噴的出去，可是跟開口沒有關係 ..為什麼？

一直到最後，S5 的心智模式仍然是以原本的「空氣受熱膨脹」說加上一些其它的約束條件(如重力、大氣壓力的影響以及是否有「回流」的條件)嘗試解釋所觀察到的現象，不過

並未成功。

(3) 針對不同的現象或問題發展出不同的子理論或周邊理論(Ei)

S3、S4、S5 以及 S6 在晤談過程中，都曾出現過這一類型的改變歷程（請見表 2 中各受試者心智模式變化的第(3)種類型）。以 S5 為了解釋金屬滴管問題而提出「固體和氣體熱膨脹的相對比例」的解釋為例，當 S5 試圖解釋一毫升的滴管為何不會噴出熱水，以及面對晤談者提出金屬滴管的問題中，受試者分別引入「毛細現象」和「固體和氣體熱膨脹的相對比例」等理論針對不同的問題提出解釋：

晤 073：..如果我告訴你，現在把滴管改成金屬的，譬如說銅製的，當我們把它從熱水拿出來倒過來，這個噴出來現象會更明顯。這個提示可不可以給你一些幫助？

S5 071：用銅製的？金屬跟玻璃管之間的差別，首先是它們對水吸附力的大小。銅跟水之間的力量和玻璃跟水之間的力量哪一個比較大？

晤 074：玻璃的吸附力可能大一些。

S5 072：玻璃的吸附力大一些喔，第二個不一樣的地方是它們的膨脹速率，就是滴管也是會受熱膨脹嘛，滴管和空氣都會膨脹，可是..我不知道銅的膨脹速率..跟那個...跟氣體的..就是說如果受熱的話，那個銅的滴管體積會膨脹，氣體也會膨脹嘛，可是如果當銅的滴管體積膨脹的比玻璃還要多，那相對之下，它氣體..在相對來講，它就沒有膨脹那麼多，所以它能夠擠出去的水也會比較少。

S5 用來解釋金屬滴管問題時所提到的元件，包括「吸附力」和「膨脹速率」以及滴管的「熱膨脹率」等概念，有些是在先前討論時

便已經提到過的(例如「吸附力」)，有些則是首次出現(例如「滴管的熱膨脹率」)，我們無法確定這個元件是當受試者被問到金屬滴管問題之後才被活化的，抑或是之前就已經被激發，只是沒有把它併入先前的模型中。

(4) 對相同的現象產生不同的解釋，而又不願放棄原有的理論，則必須進行調解 (reconciliation)的工作

S1 在放棄最初的類比模型後，首先提出「氣壓說」：

S1 017：它們(指其它的滴管)因為有空氣壓它，所以推出去..我覺得就是這樣！

直到觀察到冷熱水的差異之後，便歸納出該現象與溫度有關的結論：

S1 021：..跟熱水有關！溫度有關？

晤 023：為麼跟溫度有關？為什麼你會得到這個結論？

S1 023(很快的回答)：因為放這(熱水)會噴，這裡(冷水)不會。

因為 S1 堅持「氣壓說」，而「溫度」則是經由比較得出的變因。S1 最後是以「氣壓說」加上有「適當溫度」的條件來調解這兩個不同的解釋。事實上，「溫度」上升導致管內「氣壓」上升，這兩個說法原本就是邏輯一致的，似乎並不需要調解的動作。但是由於 S1 缺乏「波以耳定律」等相關的背景知識(晤談後作者詢問該受試者，S1 表示並不了解「波以耳定律」的內容)，無法將「溫度」和「壓力」直接關聯起來。最後 S1 調解的方式是利用「熱空氣上升」將「氣壓說」與「溫度」關聯起來，才解釋了為何滴管必須朝上才能噴出水的現象。S1 認為因為熱水產生水氣，而且熱氣上升，所以只會往上推不會往下推：

S1 052：熱水阿..有蒸出來的水氣..才可以往上跑...

國內學者張敬宜(2000)針對國小學童有關「溫度與空氣的影響」相關概念所作之調查，顯示有相當比例的國小學童（二年級約 17% 到六年級約 28%）持有類似 S1 這種「因為熱空氣上升，所以只會造成向上推力」的迷思概念。但是本研究的焦點在於歸納各種心智模式的改變過程，雖然 S1 的解釋是不正確的，但是卻成功地調解了先前的「氣壓說」以及「與溫度有關」的推論。

根據以上所觀察到的四種心智模式改變歷程的討論得知除了第一種「放棄原有的心智模式」之外，受訪者的心智模式是由簡單而越趨複雜的，心智模式的邊界也隨著約束條件的加入，由「模糊」逐漸變的「定義良好」（這裡的「定義良好」並不是指正確的定義，其中可能包含許多迷思概念）。在改變的過程中，受試者會不斷的將被活化的元件與「核心模式」作合併重組的工作；而這種嘗試將某些元件（觀念、約束條件或子理論）併入心智模式的行為似乎經常是隨機的，這一點可以從受試者所修正後的模式往往無法解決原本所想要解釋的現象看出。受試者經常嘗試將所聯想到的元件併入核心模式中企圖拓展心智模式的解釋力，當他成功的達到此一目的時，該元件就會被納入核心架構中；若是失敗（無法解釋所觀察到的現象）時，該元件可能被拋棄或重新以其它的方式併入核心架構。

（三）心智模式對資訊的知覺以及選取的影響

高層次知覺的理論主張高階概念會影響低階的知覺過程，而低階作用所知覺到的則會影響某些高階概念的激發，以致於建立該情境的表徵(Hofstadter, 1995)。這一節將討論心智模式（屬於高階的概念層次）對知覺的影響和對資訊選取的影響。

1. 心智模式對知覺的影響

從受試者 S1 和 S5 對於滴管放入水中之後，滴管內的水被「吸」上來的知覺可以看出心智模式對知覺的影響；對於 S1 而言，「吸」力是因為手指頭有按它所造成的，似乎是將問題情境類比到有乳頭的滴管。這一點可以從 S1004 和 S1006 看出：

S1 004：..把水吸上來..就是說把水吸進去然後噴出來這樣子（用手比了一比）

S1 006：有吸力的關係吧..手指頭有按阿，然後有吸力的關係...

對於 S5 而言，「吸」是因為毛細現象而造成的，是因為水和玻璃間的「吸附力」將水「吸」上來：

S5 004：（滴管）把水吸上來，然後把它倒過來，結果水就噴出來了。

晤 035：你為什麼會想到毛細現象？...

S5 034：因為剛剛這個水是因為毛細現象才會上來的啊，就是它跟玻璃之間的吸附力讓它(水)上來的阿...

事實上，管內水面上升是因為壓力差所導致，比較正確的知覺應該是被「推」上來，然而兩位受試者都認為水是被「吸」上來的，由此可以推測受試者對於現象的知覺是受到其心智模式的影響。

2. 心智模式對資訊選取的影響

大部分的時候，人們的觀察是非常不仔細的，尤其是對於一些細節或不容易觀察到的現象，然而有些時候卻觀察得到某些細微的現象，其中一個可能的解釋是與「注意」(attention)有關。如果事先已經預料到會有該現象的產生，那便很容易觀察到該現象的存在。在對 S5 的晤談中發現一個非常有趣的現象就是最初受試者並未觀察到「將含有熱水的滴管翻轉朝上之後，滴管內的水會延著管壁流下來」（以下

稱為「回流」現象)，然而當 S5 修改其心智模式後卻很快觀察到這個現象：

S5 025：我覺得除了熱膨脹有關以外 ..我這樣轉過來的時候，液體會稍微向下，所以會把裡面的空氣推擠，讓裡面的氣體壓力變大，才大於外面的空氣壓力把它擠出來..還有加上，我覺得應該熱膨脹讓氣體體積膨脹有關係。

S5 032：有些水會噴出來，有些水會流下來 ..可是一毫升的水完全不會動 ..有些水會噴出來，有些水會流下來(喃喃自語)...

S5 觀察到「回流」現象可能是修正心智模式（加上「擠壓」的條件）之後，轉移注意力所導致的，但是也有可能只是因為作了更仔細的觀察所得到的結論，說明這一點是非常間接而繁複的工作。首先，「擠壓」的出現是為了解釋為何滴管一定要朝上才會將水噴出，而後因為觀察到「回流」的現象，配合起來就可以連帶解釋 1 毫升滴管為何無法將水噴出（因為附著力的關係，所以一毫升滴管中的水無法「回流」不會造管內空氣的擠壓，所以不會將水噴出）：

S5 032：有些水會噴出來，有些水會流下來 ..可是一毫升的水完全不會動 ..有些水會噴出來，有些水會流下來(喃喃自語) ..噢！ ..(拿起十毫升滴管又放下) ...十毫升不用試，十毫升跟五毫升是差不多的 ...為什麼會這樣子？ ..跟毛細現象會不會有關係啊，就是它跟玻璃之間的那個 ..吸附力。

至此仍無法確定 S5 觀察到「回流」現象是因為加上「擠壓」條件的關係。然而當受試者發現「擠壓」無法解釋冷熱水之間的差異而

放棄「擠壓」這個約束條件以後，S5 對為什麼 1 毫升滴管沒有回流的現象也變得更不肯定了：

S5 068：整理一下 ..第一個是玻璃和水之間吸附力的關係，為什麼 1 流不下去 5 和 10 就可以，那力的那個要用算的 ...

至此，S5 已經很確定的用「吸附力」來解釋一毫升無法產生「回流」的現象。可是當他放棄「擠壓」的條件之後，對這個一毫升滴管無法產生回流的解釋卻又變得不確定了：

S5 070：..管內氣體要推它出去 ..只有兩個原因，第一個是壓力和體積嘛，體積膨脹才會把它推出去，或是壓力大於外面的大氣壓力，可是如果是壓力的關係的話(這裡的壓力指的是受到擠壓而產生的壓力，屬迷思概念)，冷水也會有同樣的效果，因為冷水和熱水的體積其實吸起來是差不多的 ..所以應該是體積膨脹的關係把它推出去(放棄「擠壓說」)，所以熱水才會有，冷水沒有效果。那我對它們的解釋是這樣。

S5 073：可是要我解釋那兩點 ..想想，那兩點不能解釋 ...

S5 074：第一個是為什麼口徑太小 ..水就流不下來？第二個是為什麼一定要反過來讓水流動，氣體才擠的出去？ ...完全搞不懂，為什麼一定要讓水這樣流下來以後，膨脹氣體才可以把水推出去，而不是膨脹完之後就把它推出去？

原本利用「吸附力」說明「1 毫升滴管沒有回流」的現象與「擠壓」這個約束條件說明「滴管必須朝上，水才會噴出」毫無關係；即使放棄「擠壓」這個條件，仍舊可以利用「吸

附力」去解釋一毫升滴管不會「回流」的現象。可是在 S5 放棄「擠壓」之後，先前對「口徑小的滴管中..水為什麼流不下來」現象所提出的「吸附力」解釋也變得更不確定。這個結果間接說明當初在受試者的心智模式中，「回流」現象和對其產生的解釋（「吸附力」）與「擠壓」的密切關聯；或者我們說「回流」現象的拋錨(anchorage)點很可能是在「擠壓說」的子系統中，所以一旦放棄了「擠壓」這個約束條件，利用「吸附力」解釋「回流」概念的定位則變的模糊。雖然這樣的證據是間接的，但根據前述對 S5 原案的分析，推論 S5 因為改變其心智模式而觀察到「回流」現象是非常合理的。實驗二將更進一步的確證心智模式對於訊息的知覺的確有所影響。

(四)對異例的處理

由於對於「異例」的定義很分歧，本研究定義「異例」為「用心智模式無法解釋的現象或資訊，或者是與心智模式預測結果不同的現象或資訊」。此外，「異例」必須是已經被觀察到的現象。在研究當中我們觀察受試者對異例的處理方式，除了 S1 對於「一毫升的滴管不會噴水」的現象(現象 III)採取「不承認」的態度(請見表 2 中的 M2{T;C4;-}→M2{T;C4;X})，其餘的受試者都嘗試去修改心智模式，以解釋原本無法解釋的現象，結果有的成功也有失敗。我們將舉例說明這兩種不同的狀況。

1.對異例採取不承認的態度

在與 S1 的晤談中，當受試者引導 S1 去試一毫升滴管的情形，一開始 S1 承認所觀察到的現象，並以該滴管「空氣不通」為理由來解釋噴不出水的現象：

S1 015：(S1 試各種容量的滴管)...(拿著 1 毫升的滴管)只有這個不會(噴)....(又試了幾次) ..好奇怪...會不會是空氣氣壓的關係？

晤 016：我不知道，如果是的話你怎麼證明？

S1 016：..然後這一隻(1 毫升滴管)是因為(空氣)不通所以噴不出來。

而當晤談者引導 S1 嘗試冷水的情形之後，S1 便不承認「異例」的存在：

S1 021：(又用其它滴管試冷水，發現沒有噴出了現象)..(又試了一毫升的熱水情形，其實幾乎沒有噴水，只有少部分流出來)..有！..跟熱水有關！溫度有關？

此時 S1 也歸納出噴水的現象與溫度有關，實際上其它的滴管噴水的高度和現象都非常明顯而一毫升滴管幾乎沒有噴水的現象，可是 S1 堅持有水噴出。

2.改變心智模式以解釋異例

當受試者遭遇到直接挑戰心智模式的矛盾現象時，最常見的反應是修改心智模式嘗試解釋此一矛盾現象；例如 S1、S2 與 S5 面對現象 II 以及 S3、S4、S5 與 S6 面對現象 III 的時候(請見表 2)，改變的過程參考前面第(二)部分有關「心智模式的動態變化過程」討論的結果。

以 S5 面對現象 II 這個異例時所採取的反應為例，原案分析顯示 S5 對「異例」處理的方式是先利用加上周邊理論(例如 E2(fad))和約束條件(例如 C2 滴管倒置)的方式來修改心智模式，以嘗試解釋「異例」，雖然沒有成功，S5 仍然承認現有的模式無法解釋該異例。

而受試者 S1 面對相同現象的處理方式則是在「氣壓說」加上有「適當溫度」的條件，認為「熱水產生水氣，因為熱氣上升，所以只會往上推不會往下推」。不過我們不將相同的現象視為是 S1 的「異例」，因為自從 S1 一開始放棄最初對問題的類比模型之後，便一直沒有一個相對完整的心智模式出現。一直到最後結合「氣壓說」及「熱氣上升」的概念，才有

比較整體而非片段陳述的心智模式；所以同樣的現象並未直接挑戰到 S1 的心智模式，因此現象 II 對 S1 不算是異例。

實驗二

實驗一的結果顯示受試者對於訊息的選取 (S5 觀察到熱水「回流」的現象) 與知覺 (S1 和 S5 知覺到滴管內的水被「吸」上來) 似乎受到心智模式的影響。此一結果與高層次思考理論(HLP)的預期相符。實驗二利用實驗控制的方式，進一步確證這個論點。

一、研究對象

參與實驗二的受試者為國中三年級的學生共 131 名。研究者利用抽籤方式隨機將此 131 名受試者分成一組對照組和三組實驗組，其中對照組 32 人，實驗組又分 A、B 和 C 三組，每組 33 人。

二、研究過程

研究者先對受試者示範實驗一中的物理現象 (見圖 2)，隨後要求每位實驗組的受試者閱讀一張說明，上面提供一個模型說明產生噴水現象的主要原因。三組實驗組的每一位受試者利用 5 分鐘閱讀完說明之後，研究者要求他們自行重複示範的現象，並將他所觀察到的所有現象仔細的記錄下來，時間為 15 分鐘。對照組的 32 位受試學生則沒有經歷此一閱讀說明的過程，直接進行歷時 15 分鐘的觀察活動。

三組實驗組的學生分別閱讀不同的解釋模型，其中 A 組的學生所閱讀有關熱水噴出的理由是因為「因為空氣受熱壓力增加，加上熱空氣上升，導致滴管朝上時水柱向上噴出」，也就是實驗一中所提到 M2(T, P; C4; -) 的模型。B 組的受試者所閱讀的解釋則是強調「與管內溫度、壓力與管內水柱所受之重力有關，

並且當滴管朝上時，管內的水柱受到重力作用向下壓，造成管內空氣壓力增加，給予管內的水柱一股向上的反作用力將水噴出」，相當於實驗一中的 M1(T, f_g , P_a; C2; -) 模型。C 組的學生所閱讀的說明是「滴管朝上時，熱水沿著管壁流下，加熱管內空氣，使得氣體體積膨脹，將水柱推出」，相當於實驗一中的 M1(T; C1; -)。

由於 A、B 兩組受試者所閱讀的解釋模型皆不正確的，為避免學生在實驗後產生永久性的迷思概念，研究者在取得所需要的資料後，對所有的受試者說明產生該現象之正確理由，以及指出該 A、B 兩組實驗組受試者所閱讀模型的錯誤之處。

三、研究結果與討論

表 3 為四組受試者觀察記錄之書面原案分析所得之部分結果，其中分別列出各組受試者所記錄觀察到的不同現象以及人數，兩位編碼者編碼的一致性為 96%。另外有 8 個現象，因為記錄觀察到該現象的總人數不超過兩人則沒有在表 3 中列出，例如 C 組有一位受試者記錄「燒杯和滴管皆為透明的」。

各組受試者平均記錄觀察現象的數量為對照組 4.7 項，A 組 3.6 項，B 組 3.4 項，C 組 3.3 項。這個結果顯示對照組學生平均寫下之觀察現象數目比其它三組為多 ($F(3,127) = 9.90$, $p < .01$; 對照組 A B C)，實驗組的三組受試者在記錄觀察現象的數量上則無顯著差異。此外，在受試者所記錄觀察到的現象當中 (請見表 3)，對於那些實驗組受試者所閱讀的解釋模型未提及的現象，結果顯示對照組記錄該現象的人數比率都比其它三組高，例如表 3 中的第一項「燒杯內的水中有許多小氣泡」($F(3,127) = 4.28$, $p < .01$; 對照組 A B C)，第二項「滴管的管口很尖」($F(3,127) = 4.96$, $p < .01$; 對照組 A B C)、第九項「水柱噴出的高度大約為 .. 公分」($F(3,127) = 3.24$, $p < .05$;

表 3：各組受試者所記錄觀察到的現象以及人數

記錄現象	控制組 人數 (比率)	實驗組 人數 (比率)		
		A 組	B 組	C 組
1. 燒杯內的水中有許多小氣泡***	12 (37.5%)	4 (12.1%)	6 (18.2%)	2 (6.1%)
2. 滴管的管口很尖 (或很小) ***	8 (24.2%)	2 (6.1%)	0 (0.0%)	2 (6.1%)
3. 滴管置入水中後，滴管內水面開始上升	32 (100%)	28 (87.5%)	32 (97.0%)	30 (93.8%)
4. 滴管內水上升至 (大約) 與管外水面同高*	24 (75.0%)	15 (45.5%)	17 (51.5%)	16 (48.5%)
5. 手指按住滴管上方之開口將滴管提起時，水不會滴下 (或並未噴出) *	17 (53.1%)	10 (30.3%)	8 (24.2%)	12 (36.4%)
6. 當滴管反轉向上後，管內熱水噴出	32 (100%)	33 (100%)	32 (97.0%)	33 (100%)
7. 當滴管反轉向上後，管內水柱先向下擠壓 (然後噴出) ***	0 (0.0%)	1 (3.0%)	13 (39.4%)	1 (3.0%)
8. 當滴管反轉向上後，管內部分熱水沿著管壁流下 (然後噴出) ***	3 (9.4%)	2 (6.1%)	13 (39.4%)	24 (72.7%)
9. 水柱噴出的高度大約為 ... (不定) 公分**	15 (46.9%)	11 (33.3%)	7 (21.2%)	5 (15.2%)

* $p < .10$ ** $p < .05$ *** $p < .01$

對照組 A B C) 第四項「滴管內水上升至(大約) 與管外水面同高」($F(3,127) = 2.43, p < .1$) 以及第五項「手指按住滴管上方之開口將滴管提起時，水不會滴下」($F(3,127) = 2.23, p < .1$)，其中後面兩個現象，雖然對照組平均記錄人數比率較高，但是未達顯著標準。

根據「高層次知覺」理論，導致「對照組受試者平均觀察到較多的現象」以及「實驗組和對照組受試者觀察到某些特定現象的人數比例上有顯著差異」兩項結果，可能的原因是對照組的受試者事先未閱讀有關產生現象的解釋模型，所以在觀察現象時並沒有特別注意去觀

察某些特定的現象。而其它三組受試者因為受限於解釋的模型，將注意力放在與模型有關的現象上，導致對於其它現象的疏忽。

表 3 顯示對照組的受試者觀察到「當滴管反轉向上後，管內水柱先向下擠壓 (然後噴出)」和「當滴管反轉向上後，管內部分熱水沿著管壁流下 (然後噴出)」這兩個現象的人數比率較其它組少，此一結果與對照組受試者記錄觀察到其它現象人數比率都比實驗組高的結果不太一樣，所以可能是受到實驗組受試者事先閱讀的解釋模型所產生的影響。對於「當滴管反轉向上後，管內水柱先向下擠壓 (然後

噴出)」這個現象，如果實際去觀察噴水現象，當滴管反轉朝上後，水幾乎是立即噴出，無論管內是否有向下擠壓，肉眼都不可能辨識在瞬間發生的現象，因此判斷觀察到此一現象的受試者是受到其心智模式的影響產生一種錯誤的知覺。實驗結果也和此預期結果一致($F(3,127) = 14.94, p < .01$; B 對照組 A C)。結果顯示約有 39% 的 B 組受試者記錄觀察到此一現象(占總共觀察到此一現象的 87%)，其它組別的受試者只有兩位記錄觀察到此一現象，這應該與 B 組學生所閱讀之解釋模型有關，因為 B 組的受試者在觀察活動之前所閱讀的解釋則是強調「當滴管朝上時，管內的水柱受到重力作用向下壓，造成管內空氣壓力增加，給予管內的水柱一股向上的反作用力將水噴出」，受試者可能產生心像而導致錯覺。

至於「當滴管反轉向上後，管內部分熱水沿著管壁流下」則是肉眼可以觀察到的現象，但是各組受試者記錄觀察到此一現象的人數比率也有差異($F(3,127) = 21.17, p < .01$; 對照組 A B C)。結果顯示對照組和 A 組的學生觀察到此一現象的人數比例都很少(分別為 6% 和 9%)，C 組的受試者記錄觀察到此一現象的人數比例最多(約為 C 組人數的 73%)，B 組其次(約為 39%)。判斷此一結果也和受試者在進行觀察活動前所閱讀的解釋模型有關，C 組的受試者所閱讀的麼形直接指出因為「熱水沿著管壁流下，加熱管內空氣，使得氣體體積膨脹，將水柱推出」，所以大部分的受試者會觀察到此一現象為預期中的結果。B 組也有相當比例的受試者觀察到此一現象，原因可能與「注意」有關，此結論與實驗一研判 S5 觀察到「回流」現象之推論一致。B 組學生事前所閱讀之解釋模型雖然未提及「熱水會沿管壁流下」，但是可能為了要觀察「水柱向下擠壓」的現象而將注意力放在滴管內的水柱而觀察到此一現象。這個推論可以從 B 組受

試者中「聲稱」他們觀察到此兩種現象的人數看出：觀察到此二現象分別各有 13 人，而其中同時看到兩種現象的人數為 11 人，佔全部之 85%。

結 論

實驗一針對六位受試者面對物理現象的待解釋情境所產生的心智模式，以及修改心智模式以解釋相關現象的過程作原案分析，歸納出四種心智模式改變的過程：(1)放棄原有心智表徵，尋求適當的模式來解釋；(2)增加或刪除該模式的變數或約束條件以拓展心智模式的解釋力；(3)針對不同的現象或問題發展出不同的子理論或周邊理論；(4)對相同現象產生不同解釋又不願放棄原有理論時，則必須進行調解。

Chinn 和 Brewer (1993)認為影響人類對異例資料的反應程度取決於：(1)個體對先前知識的堅信度、本體類別的信念以及背景知識；(2)新理論的可用性和品質；(3)異例資料的可信度、模糊性和數量；(4)對異例處理的深度。在實驗一的晤談過程中，受試者遇到異例時所採取的反應包括不承認或曲解異例、修改心智模式以解釋異例。此結果和 Thagard (1992)以及 Chinn 等人(1993)等人的研究結果相符合。此外，同一位受試者，對不同異例可能有不同的反應，不同受試者對於相同的異例也有不同反應。

作者經由實驗一推論受試者的心智模式會影響其對於現象的知覺，以及 S5 可能因為改變心智模式後才觀察到「熱水沿管壁回流」的現象。實驗二利用控制實驗方法，確認實驗一的推論。結果顯示：(1)對照組受試者記錄觀察到現象的平均數量比實驗組多($p < .01$)；(2)對於實驗組受試者事先閱讀的模型中未提及之現象，對照組的受試者觀察到該現象的人數比率較實驗組高；(3)實驗 B 組受試者觀察到「管內水柱先向下擠壓(然後噴出)」這個現象的

人數比率比其它三組都高($p < .01$)；(4)實驗 C 組受試者觀察到「滴管反轉向上後，管內部分熱水沿著管壁流下」現象的人數比率高於其它三組($p < .01$)；(5)實驗 B 組受試者觀察到「滴管反轉向上後，管內部分熱水沿著管壁流下」現象的人數比率比對照組和 A 組高($p < .01$)。造成(1)、(2)兩項結果的可能原因為實驗組的受試者因為受到特定心智模式的侷限，使得其在觀察現象時受到限制。造成結果(3)的原因可能是受試者受到心智模式的影響而產生錯覺。(4)和(5)兩項結果則顯示受試者可能因為心智模式的導引，使得他們更容易觀察到某些特定的現象，這一點和 Evans 等人(1983)的研究結果顯示先前信念會影響受試者對訊息的注意一致。這些結果均符合「高層次知覺理論」之預期，顯示心智模式的確會影響受試者對於資訊的選取和知覺。

本研究著墨於心智模式本身的變化歷程，以及嘗試結合心智模式與知覺之間的關係。未來的研究方向或許能對於其它認知因素或行為（如知識結構與推理）與心智模式之間的關係做更深入的探討。類似的研究雖然在認知領域並非創新的觀點，但是如果要把相關的研究結果應用在物理教育上，仍然需要更多人投注心力。傳統的物理教學經常將複雜現象過於簡化，雖然有助於讓學生理解某些基本的原理（如「熱脹冷縮」），但是當學生實際利用所學的概念去解釋觀察現象時，往往有很大的差距。本研究嘗試結合認知心理學與物理教學活動，利用晤談的方式了解學生的心智模式。至於學生的先備知識、迷思概念與推論的謬誤，雖然不在本研究討論的範圍，相信也都能利用這種方式有更深入的了解。

誌 謝

感謝指導教授李田英老師、本所所長邱美

虹教授的細心指導，以及彰化師範大學邱守榕教授和國科會郭允文研究員在本文撰寫及修改過程中提供的意見。另外要感謝所有參與本研究的受試學生，以及本所林樹聲學長、羅珮華、林秀玉和吳明珠等諸位同學對作者提供的建議以及精神上的鼓勵，使得本文得以順利完成。最後要特別感謝兩位審查委員細心的指正以及對本文提供的意見。

參考文獻

1. 邱美虹和翁雪琴（1995）：國三學生「四季成因」之心智模式與推論歷程之探討。科學教育學刊, 3(1), 23-68。
2. 張敬宜（2000）：大台北地區國小學童對空氣概念認知之研究。科學教育學刊, 8(2), 141-156。
3. Bloch, N. (1981). *Imagery*. Cambridge, MA: MIT Press.
4. Borgman, C. (1986). The user's mental model of an information retrieval system: An experiment on a prototype online catalog. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24, 47-64.
5. Braine, M. D. S. (1990). The "natural logic" approach to reasoning. In W. F. Overton (Ed.), *Reasoning, necessity, and logic: Developmental perspectives* (pp.133-157). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
6. Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (1999). *How people learning: Brain, mind, experience and school*. Washington: National Academy Press.
7. Chalmers, D., French, R., & Hofstadter, D. (1992). High-level perception, representation, and analogy: A critique of artificial-intelligence methodology. *The Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, 4(3), 185-211.

8. Chi, M. T. H., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121.
9. Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63, 1-49.
10. Clancey, W. J. (1986). Qualitative student models. In J. F. Traub, B. J. Grosz, B. W. Lampson, & N. J. Nilsson (Eds.), *Annual reviews of computer science* (Vol. 1, pp. 381-450). Palo Alto, CA: Annual Reviews.
11. Clement J. (1983). *Observed methods for generating analogies in scientific problem solving*. Amherst, MA: University of Massachusetts.
12. Craik, K. (1943). *The nature of explanation*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
13. Davison, J. E., & Sternberg, R. J. (1984). The role of insight in intellectual giftedness. *Gifted Child Quarterly*, 28, 58-64.
14. Evans. J. St. B. T., Barston, J. I., & Pollard P. (1983). On the conflict between logic and belief in syllogistic reasoning. *Memory and cognition*, 3(11), 295-306.
15. Fodor, J. A. (1983). *The modularity of mind*. Cambridge, MA: Bradford Books/MIT Press.
16. Gott, S. P., Bennett, W., & Gillet, W. (1986). Models of technical competence for intelligent tutoring systems. *Journal of Computer-based Instruction*, 13(2), 43-46.
17. Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 799-822.
18. Harison, A. G., & Treagust, D. F. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80(5), 509-534.
19. Hitch, G. J., & Baddeley, A. D. (1976). Verbal Reasoning and working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 28, 603-621.
20. Hofstadter, D. (1995). *Fluid concepts and creative analogies*. New York: Harper Collins Publishers, Inc.
21. Hofstadter, D., & Mitchell, M. (1993). The Copycat project: A model of mental fluidity and analogy-making. In K. Holyoak, & J. Barnden (Eds.), *Advances in connectionist and neural computation theory*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation.
22. Holland, J. H., Holyoak, K. J., Nisbett, R. E., & Thagard, P. R. (1986). *Induction: Processes of inference, learning and discovery*. Cambridge, MA: MIT Press.
23. Jagacinski, R. J., & Miller, R. A. (1978). Describing the human operator's internal model of a dynamic system. *Human Factors*, 30, 425.
24. Johnson-Laird P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
25. Johnson-Laird, P. N. (1989). *Mental Models*. In M. I. Posner (Ed.), *Foundations of cognitive science* (pp. 469-499). Cambridge, MA: MIT Press.
26. Johnson-Laird, P. N. (1993). *Human and machine thinking*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
27. Johnson-Laird, P. N. (1999). Formal rules versus mental models in reasoning. In R. J. Sternberg (Ed.), *The nature of cognition* (pp. 586-624). Cambridge, MA: MIT Press.
28. Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: A construction-

- integration model. *Psychological Review*, 95, 163-182.
29. Mayer, V., & Mamaeva, E. (1985). Magic with Physics. In I. K. Kikoin (Ed.) *Physics in your kitchen lab* (Translated from the Russian by Zilberman). Mosco: Mir Publishers.
30. McNamara, T. P. (1994). Knowledge Representation. In Sternberg R. J. (Ed.), *Handbook of perception and cognition* (pp109-110). Academic Press.
31. Mitchell, M. (1993). *Analogy-making as perception*. Cambridge, MA: Bradford Books/MIT Press.
32. Noman, D. A. (1983). Some observations on mental models. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp7-14). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
33. Pylyshyn, Z. (1980). Cognition and computation. *Behavioral and Brain Science*, 3, 111-132.
34. Redish, E. F. (1994). The implications of cognitive studies for teaching physics. *American Journal of Physics*, 62(6), 796-803.
35. Rips, L. J. (1994). *The psychology of proof*. Cambridge, MA: MIT Press.
36. Schlager, M., Means, B., & Roth, C. (1988l). *Cognitive analysis of expert knowledge: Input into design of training*. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, New Orleans, LA.
37. Schumacher, R., & Czerwinski, M. (1992). Mental models and the acquisition of expert knowledge. In R. Hoffman (ed.), *The psychology of expertise*. New York: Springer-Verlag.
38. Senge, P. (1990). *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization*. New York: Doubleday/Currency.
39. Simon, H. A. (1957). *Administrative behavior* (2nd ed.). Totowa, NJ: Littlefield, Adams.
40. Sloman, S. A. (1999). Rational versus arational models of thought. In R. J. Sternberg (Ed.), *The nature of cognition* (pp. 557-586). Cambridge, MA: MIT Press.
41. Sternberg, R. J. (1996). *Cognitive psychology*. Harcourt Brace College Publishers.
42. Stevens, A. L., & Collins, A. (1980). Multiple conceptual models of a complex system. In R. E. Snow, P. Federico, & W. E. Montague (Eds), *Aptitude, learning and instruction* (Vol. 2). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
43. Strike, K. A., & Posner G. J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In R. A. Duschl & R. J. Hamilton (Eds), *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice* (pp. 147-176). New York: State University of New York Press.
44. Thagard, P. (1992). *The structure of concepure revolutions*. Cambridge, MA: MIT Press.
45. Tversky, A., & Kahneman, D. (1971). Belief in the law of small numbers. *Psychological Bulletin*, 76(2), 105-110.
46. Tversky, A., & Kahneman, D. (1983). Extensional versus intuitive reasoning: The conjunction fallacy in probability judgement. *Psychology Review*, 90(4), 293-315.
47. Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.
48. White, B., & Frederiksen, J. (1985). Qualitative models and intelligent learning environments. In R. Lawler & M. Yazdani (Eds.), *Artifical intelligence and education*. Norwood, NJ: Ablex.

The Dynamic Processes of Mental Modeling -- Observations and interpretations of a physical phenomenon

Tsung-Hau Jen

Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

Abstract

This paper explored (1) the dynamic processes of mental modeling from a phenomenological standpoint, and (2) the effects of mental models on the perception of information. The study included two experiments. In experiment 1, six subjects were investigated through interviews. In order to elicit the subjects' mental models, they were required to explain a physical phenomenon by thinking aloud. Two coders analyzed the verbal protocols, and the inter-rater reliability was 0.93. Results indicated that the subjects' mental models could evolve through (1) abandoning the primary models and replacing with other models, (2) adding or deleting variables and constraints, (3) developing branching theories, or (4) reconciling different theories. Experiment 2 confirmed the conclusion in experiment 1, which suggests that mental models might influence the perception of information on top-down processes. One hundred and thirty one students were randomly assigned into a control group ($N = 32$) and three experimental groups ($N = 33$ for each). The subjects were asked to observe a physical phenomenon, which was the same as in experiment 1, and to record whatever they saw. Before starting to observe, subjects in each experimental group were asked to read one of the three different readings, which were provided as explanatory models for the observed phenomenon. The subjects in the control group were required to describe what they saw directly without any previous reading. Results indicated that (1) the subjects in the control group recorded significantly more details than those who were in the experimental groups ($p < .01$), and (2) there were significant differences between the percentages of subjects from different groups who observed some certain phenomena ($p < .05$). The mental models formed by subjects confined and guided their perceptions and selections of information.

Key words: mental models, high-level perception theory, reasoning, dynamic process.