



同儕團討對科學概念改變之探討

陳正治¹、劉嘉茹²

¹國立科學工藝博物館 科技教育組

²國立高雄師範大學 科學教育暨環境教育研究所

¹電郵：nelson@mail.nstm.gov.tw

²電郵：chiaju1105@gmail.com

收稿日期：二零一七年五月九日

(於二零一七年六月二十七日再修定)

內容

- [摘要](#)
 - [壹、緒論](#)
 - [貳、文獻探討](#)
 - [參、研究設計與方法](#)
 - [肆、結果與討論](#)
 - [伍、結論與建議](#)
 - [參考文獻](#)
-

摘要

本研究以同儕團討教學策略，操作「科學類博物館科學學習認知」課程，並以準實驗教學設計與質性研究，探討此教學課程對一般大學生，在日常生活中，空氣流體運動相關的物理學概念上，概念轉換與學習成效造成的影響。

在資料分析方面，本研究採用 114 名來自各大學校院系的大學生當樣本，在他們蒞臨科工館擔任夏令營的實習生勤前教育訓練時進行資料收集，將其隨機分為 3 個研究群組(A 組、B 組與 C 組)，分別進行無討論、小組一次討論與



二次討論等不同任務，每群組再細分數個小隊，每小隊成員 3-4 人，採用次數分配分析、獨立樣本 t 考驗、變異數分析法及概念改變的過程。研究結果顯示：

1. 同型式的前置討論，有助於一般大學生在科學學習上概念的轉變
2. 同儕討論可以有效促進非理工背景之大學，對於日常生活中有關空氣流體對日常活動之影響概念建立及應用。
3. 同儕團討二次討論的學習成效較佳。

研究亦發現，一般大學生對空氣流體特性概念之欠缺，藉由動手做實驗活動，眼見為憑，始能有效傳播科普知識，同時藉由不同背景的同儕團討，可以避免偏見。

關鍵字:同儕團討、準實驗教學設計、概念改變、科學學習、科學博物館

壹、緒論

一、研究動機、背景

依據研究者在一些大學的通識教育中，有關生活中物理學科普演講中，進行的觀察與調查，發現到約有 80% 的在場學生，同意與肯定物理科學之實用性與重要性，可是在物理學習上具有興趣的學生，比率僅 0.5%，甚至，非常討厭物理的學生竟超過一成，排斥學習物理的現象令人好奇，究其原因不外乎是在國中、高中階段，紙筆考試評量的比例過高，一般實用性的科普實驗貧乏。

環顧現今大學的科學教育或科教類通識課程之設計越趨實務應用，對理工科系的學生，是為一大福音，但是，對於非理工科類的大學生，在學校中能與科學教育的接觸或學習，仍屬機會鮮少。特別是自 1990 年後，台灣地區廣設大學後，屬於非理工類(如設計與管理)的學院與就學人數比例大增，傳統理工學院的學生比例相對減少，也因此，對於一些日常生活中科學現象的發生，較少關心。研究者亦發現許多的通識科教或科普演說，大都是講者言之、聽者聞之，高度欠缺學習前的先備知識交流與討論、更遑論學習中的互動與體驗，以及學習後的成效檢驗。

然而，物理現象的普及與應用，卻高頻率地出現在日常生活之中，例如：電磁波、奇異的共振現象，或因空氣流體壓差產生的交通事故等，均與科學應用概念有關，常見於新聞報導，以交通事故相關的新聞為例：

1. 騎乘機車者與大卡車會車或超車時，被氣流捲入大卡車輪下的事故；
2. 站立在火車站月台上的黃色警戒線危險標示區內，過站未停的火車帶來高速氣流壓差，外側空氣將人推擠至軌道區域的事故；



3. 高速公路上疾行的貨車，當後車斗無遮蓋物時，車斗內輕巧的物體，往上往後飛車外，造成砸中緊隨在後車輛的事故。
4. 高鐵火車會車時產生抖動，高速公路上同向車速差異太大時也會產生抖動現象。
5. 河川外側凸出彎流處水流速大於內側凹陷處，。

事故發生，新聞總會鉅細靡遺的描述與報導事故中，人事時地物之細節，再以意外事故總結，鮮少就事件的因果，做科學性的探討與論述，以避免再次發生類似事故，科學觀念與教育的推廣與普及，確實為當務之急。

另一方面，研究者也對大學生獲取一般科學新知的管道做了觀察與訪談，不意外地，網路知識與維基百科是主要提供資料與資訊的來源，但僅止於資訊傳遞，卻無法針對科學新知做進一步的互動、學習，或是解惑。此外，根據觀察，在學校內許多科學屬性的通識課程，多採用傳統講述式的教學，教學設計上，與老師討論科學議題的機會不多，學生有感科學離生活越來越遠、也越來越生疏。科教教學與學習的調整，確實有其必要。

二、研究目的

為推廣與普及科學觀念與教育，並嘗試在科教教學與學習的調整，本研究設計以位於高雄的國立科學工藝博物館(簡稱科工館)為實驗場域，該館在每年寒、暑假期間，均有大批大學生報名從事實習或社會服務等志工類工作，科工館舉辦之科學類營隊的大學生實習志工，於短期(約兩週)志工勤前教育訓練中，融入生活物理科學重點學習(如：柏努利定律)，運用「同儕討論」教學策略，操作「科學類博物館科學學習認知」課程，進行物理科學學習。研究目的在以準實驗教學設計與質性研究，探討此同儕討論教學對大學生在生活物理學上，概念轉換與學習成效造成的影響，檢驗概念改變教學策略在大學生的科學觀念與教育的推廣與普及上發揮的效能。

三、名詞釋義

(一) 科學工藝博物館：

科學工藝博物館主要的任務是提供一般民眾在科學教育上的終身學習(Long Life Learning)、自由探索的場域，其服務內容有科學展示教育、科學類典藏物品的蒐藏、科學教育的推廣及民眾休閒娛樂的需要，換言之，人人均可自由來去科工館，自無像學校般有固定的時間與課程進度的安排，因此，會蒞臨科工館活動者，不論其背景殊異，基本上是對科學教育或科普新知，有股學習、吸收與參與熱誠。



(二) 科工館科學營隊與實習志工：

科工館於寒、暑假期間，會提供各式科普活動營隊讓一般民眾報名參加，為提供較佳的服務品質，科工館便開放實習機會，供一般在學大學生，不論其所學或背景，參與社會服務或具學分的校外實習，擔任志工。但在服務前，科工館提供其必要的服務勤前教育訓練，訓練內容包含應對進退、服務態度、服務熱誠、機動能力、解決問題能力與相關的科學知識與科技技術、技法與概念。然而，從實習報到開始，到營隊開辦日，時間很緊迫；科學概念的建立，非一朝一夕可成，故研究者在勤前教育期間，必須採短期密集的訓練，並融入重點學習之教學策略，並求取較高訓練效能。

(三)、柏努利定律(Bernoulli's Principle)

流體在同一水平面上流動，則在流體流速快的地方壓力會變大，反之，流體流速慢時壓力會變小，此理論由瑞士物理學家丹尼爾-柏努利(Daniel Bernoulli, 1700-1782)於 1738 年出版他的理論《Hydro-dynamic》，描述流體沿著一條穩定、非粘滯、不可壓縮的流線移動行為。柏努利從牛頓運動學中，能量守恆觀念：動能+位能=定值，推導出

柏努利定律：動能+壓力=定值。

當液體流速減少時，壓力便會增加。

柏努利定律簡單的說就是"流體流速愈大 壓力愈小"

飛機能飛在空中即利用此原理

飛機向前飛 在機頭的空氣不管是背部或腹部 皆須同時到達機尾

因為飛機背部呈弧形 腹部成平面狀

所以背部的空氣流速快 相對腹部壓力就較小

所以壓力大的腹部空氣可以支撐飛機的重量 飛機也就飛起來了

這是水平狀態的應用。

(四)、康達效應(Coanda Effect)：

直進的噴流束空氣(吹風機吹出的氣流)碰到圓柱(球)狀的障礙物時，因流體具黏滯性，會隨著凸出障礙物表面流動傾向的康達效應(Coanda Effect)，空氣會繞過圓柱(球)狀的障礙物後，會繼續前進；本活動使用的圓球四周被流動空氣團團圍住，球外未受到噴流束影響的空氣壓力相對比球表面流動的空氣壓力較大些，此即柏努利原理(Bernoulli's principle)應用，使球不致於離開噴流束航道；另外球的重量與空氣吹力大小相等，方向相反，使球得以穩定地飄浮在空中。



貳、文獻探討

一、認知發展(Cognitive Development)與概念改變 (Conceptual Change)

目前有關概念改變之研究，大致上可從學習理論、認知心理學、及本體論之觀點加以探討。本節擬就各觀點作一扼要說明。Posner 等人(1982)從學習的觀點指出，概念改變的形式可分為同化(Assimilation)及調適(Accommodation)二類。若學習者僅是將新知識加入原有的知識當中，而新、舊知識二者並未重新組織，稱之為同化，這種學習方式並未使原有的概念體系發生重大的改變。若學習者之現有概念不適當，無法成功地掌握新情況時，學習者必須取代或重新組織他們的中心概念，此稱之為調適，這種學習方式需要較大規模結構上之概念改變。因此，如果我們希望修正學生原有錯誤想法，則必須使學生發生調適學習。

概念學習的理論強調「學生的學習」即為「概念的改變」(Conceptual Change)，教師的工作除了教授學科知識之外，於教學活動中幫助學生建構概念改變的機制與橋樑，達成概念的成長與躍遷就更形重要了。在科學哲學與科學史中，自 1962 年孔恩(T. Kuhn)發表了科學革命的結構一書後，革命性的概念改變理論，開始受到了重視(Paul, 1992)。近年來，「概念改變」也開始被科學教育社群視為科學研究與教學的重要議題(Wandersee, 1993; Paul, 1992)。從建構主義的觀點來看，學習就是概念的轉變，包括新舊概念兩者之間的交互作用。若新舊概念之間能夠互相協調，得到一致，學習就沒有困難；反之，新舊概念之間無法配合，便須重新建構既有的概念或轉變成新的概念(Posner et al, 1982; Hewson, 1981)。李玉貞(2000)指出，一般而言學生的學習之所以常會固守先前概念(Prior Knowledge)的原因，乃因對學生而言，此概念係來自於周遭事物的親身經驗，由於經常使用，具有自動自發、不易改變的特性。學生會有偏見，經常傾向於只注意到此概念可以適用的情況，而忽略其他不適用的情況，倘若教師未能留意學生個別的概念，且學校的評量也忽視了對學生想法的瞭解，即使學生的想法有誤，也不見得能夠及時予以糾正(Hashweh, 1986)。教師如果想要運用傳統的講述方式來改變學生的概念，通常是失敗的，學生如果在教師教學後仍表現出相同於之前的「素樸概念」(Naive Conception)，學習者本身自行建構，用以解釋某些科學概念時所抱持的基本理論。學習者經由日常生活經驗與對於周遭環境事物的了解，產生一些原始想法，甚而形成理論架構，用以解釋、解決所面臨的科學概念、問題。然而，由學習者所建構的素樸理論出發，對科學現象進行預測、說明或原因的解釋時，常衍生異於科學家想法的迷思概念(Mis-conception)，或與課室中科學概念的學習相互作用而產生預期之外的學習成果，則整個學習活動當屬於無效的學習。Carey(1986)曾指出有個矛盾的情形普遍存在於學生學習過程之中：要理解一個概念，必須要有更新於先備知識的資料予以支持，可是這個先備知識「自己使之有意義的一種工具」



卻要改變了，這就是 Toulmun(1972)所說的「概念改變的難題了」。學生若長期具有另有概念，亦不利於科學知識的學習。例如 Champagne, Klopfer, & Anderson(1980)和 Champagne & Klopfer(1982)等人的研究發現，並不是學生沒有先備知識才導致學習發生困難，而是學生的「先前知識」或「另有概念」與學校的教學有所衝突所致。另有概念(Alternative Conception)一辭根據黃文俊(1994)的說法，其意義為學生在尚未學習科學概念之前的直覺知識(Intuitive Knowledge)，或與正統科學不符的概念，而這些概念通常是錯誤的。

瑞士教育心理學者皮亞傑(Piaget, 1972)的認知發展理論(Cognitive Development)指出，當學生發現外界客觀世界與其內在的認知結構不一致時，將失去平衡狀態(Disequilibrium)，因此想重新組織以期恢復平衡，學習就是一中恢復平衡的方式之一。但學生對學習新概念，也不是一味的來者不拒，唯有下列情形發生時，學生比較容易進入並打開接受新概念的形成的形成(Posner, Strike, Hewson & Gertzog 1982)。

1. 對自己的先備概念或另有概念感到不滿意(Dissatisfaction)：個體只有在遭遇異例(Anomalies)或無法解釋的現象時，才會想要發生概念的改變，亦即發現對於新概念若只採取「同化」是不夠的，必須發生「調適」才行。
2. 能提供易於領悟(Intelligible)的其他條件(Alternative)：新概念必須提供易於理解的方法、事例，否則個體會考慮只「修正」之前的先備概念，更甚者不理會眼前那個明顯的難題，而回歸到原有的概念，故可運用適當的類比(Analogy)與暗喻(Metaphor)，使新概念更易於理解，來達成概念的改變。
3. 條件是合理的(Plausible)：縱使某些新概念是易於領悟的例子，但要被個體接受，則必須此一概念與其他的知識是一致的、合理的，才能發生概念的改變。
4. 與切身相關者(Relative Status)：當兩個彼此相競衡的概念同時並存時，與學生切身相關的想法將決定學生選擇哪一個概念 (Hewson et al 1992)。

在認知心理學方面，有關概念改變的分野不一。如 Keil 分為根本的重建(Radical Restructuring)及較少的根本重建(Less Radical Restructuring)。Carey 則分為強烈的(Strong)概念改變與輕微的(Weak)概念改變(Chi, 1992)。Vosniadou & Brewer(1987)則將概念改變分為根本的概念改變(即 Carey 所謂的強烈的概念改變)與輕微的概念改變。Vosniadou & Brewer 認為當新、舊基模所包含的概念、結構、及所解釋的現象有所不同時，則發生根本的重建。譬如 Kuhn 的典範轉移(paradigm shift)為根本的概念改變(Vosniadou & Brewer, 1987) 而若僅是專家特質的獲得(Acquisition of Expertise)一如知識表徵內容的增加(Carey,



1985)或是 Rumelhart Norman (1981) 所認為的增加(Accretion)、調整(Tuning)、甚至重建(Restructuring)以獲得較深層的理解與頓悟的過程，則屬於輕微的概念改變。事實上，輕微的概念改變與根本的概念改變與上述的同化及調適有異曲同工之效。Chi、Slotta 以及 de Leeuw(1994)從本體論的觀點將實體(Entities)分為三個類別:物質(Matter)、過程(Processes)及心智狀態(Mental states)，每一類別中皆有其階層性。所謂根本的概念改變是指類別之間概念的改變(Across Ontological Categories)如某一概念由物質類別轉至過程類別。若概念的改變僅涉及類別內的改變(within Ontological Categories)，則屬於輕微的概念改變。如修正部分和全體的關係、形成新的上階(Super ordinate)或下階(Subordinate)類別、重新分類既有的類別、頓悟、或在同一本體類別內直接重新指定某一概念的類別(Chi, 1992)。

根據 Chi 一連串精緻的研究結果指出，如果學生的迷思概念無一致性、不同年齡間的表現不同、可隨發展而改變、學生的迷思概念與中世紀時的迷思概念並無相似性、再加上學生的學習與阻止科學發現的歷史障礙無關者，則皆屬於輕微的概念改變月相盈虧之概念改變(邱美虹、陳英嫻，1994)，若概念的形牽涉到個人經驗、學生的迷思概念具一致性、不同年齡學生間的表現相似、學生的迷思概念與中世紀時的迷思概念非常相似(如物理中的力學概念，Chi 等人，1989)，要學生進行根本的概念類別轉移，放棄原有的素樸概念，則有賴根本的概念改變(Chi, 1992)。根據 Chi 的看法，類別間根本的概念改變在日常生活中並不常見，因為通常我們在面對一些現象時並不需要修正先備知識的本體狀態，即可解釋或預測許多物理事件。

綜上所述，學習者首要認知其學習上的需要，概念改變方得以進行。而概念改變依其所屬類型而難易不同，並非皆為困難的。由於本研究主要的目的是在了解學生在物理科學學習上的心智模式以及概念改變的機制，故將以學習理論以及認知心理學中知識表徵為主，並參考 Chi 之研究以進行實驗設計與執行。

二、同儕對話與互動

有關對話(Dialogue)一詞，可從古老的希臘「Dialogos(對話)」文字中找到一些線索，Dialogos 是分別由「Dia」與「Logos」組合而成，分別意指「經由(Through)」和「文字(Word)」，簡言之，對話就是在同儕或團體群組間從事談話或爭論。新進有關對話(Dialogue)的定義是一種個人與它人間口語交換，且至少獲得一個以上的回答(Howe, 1981)。

Thagard(1992)認為當概念改變牽涉到知識元素的新增、刪減或修正時，會驅使概念改變的程度更複雜化，也就是說要改變學生的刻板印象，所需花費的



時間與精神將更多。Cobern(1993)認為，學生在其文化內涵裡所建構的知識才是有意義的知識，例如社會學習理論所講述的近側發展區(the Zone of Proximal Development theory)、專家鷹架理論(Expert Scaffolding Theory)、蘇格拉底探究對話(Socratic Dialogue Theories)及互動式教學(reciprocal teaching)，也在強調互動式的學習比較容易讓學生進行概念的改變。

Palincsar & Brown (1984) 也支持相同的看法，他們一致認為團隊合作可以創建一個專家次文化(sub-culture of expertise)，採用輪流且有次序的意見發表、討論及諮議，對新認知的理解、建構與妥協，確實扮演著重要的角色。

在當下的上課活動中，教師通常是採權威式的授課方式，其目的是要學生專心一致地聽從老師的對某一目標的教學，但從對話式的教學活動中，教師認知並企圖將學生反饋的意見或看法納入其教學活動中，並得知不同的看法與觀點(Scott et al., 2006)。因此，Louis Pasture 認為，學生學習科學前的前置討論，可以培養其預備心態(prepared mind)，有助其對後續的某一欲學習的科學觀點有所幫助，本研究將此前置討論學習方式稱為課前預備討論學習，其與一般所謂的課前預習有所相似，為了促進彼此合作學習可以增強學生對某一主題的理解，學生必需擁有並提出不同的意見或見解(Howe, et al., 1995)。換言之，對話式的討論本質有其學習的豐富性，在對話式的討論中，所有正反意見得被尊重與維護，正反意見必需能充份表達其欲陳述與說服的理由，並給與不同綜合優點評量基準(Kuhn, 1991)，因此，小組間內部對話將內化成個人內在的想法，因為所有較高層次的思考，將會在人群中顯現出關係來。(Vygotsky, 1978)。同時，協同合作可以協助參與人員的觀察，並注意各種現象產生，並對不同意見或見解的處理(Howe, 2010)。

黃俊儒、楊文金以國中學生為樣本，從學生之間同儕互動的角度，探討國中理化實驗課中教學安排的方式。透過對於理化實驗課中相關理論基礎的探討，分析一堂理化實驗課中所可能面臨的問題，並從任務性質及教學處置兩方面的考量，發展三階段的教學處置，以期從理論的討論上提供改善學生間互動品質的方法，促進同儕間角色關係的平衡(黃俊儒、楊文金 2000)。

劉新等學者在其研究的「小組合作學習的教學理念與實務」一文表述，依據建構者的架構，學習不單是增加一點新知識而已，而是修正既存知識的過程。先備概念會影響學生對於新學習內容的記憶，標準化的自然科成就測驗可能無法確實點出學生科學知識上與個人信念矛盾之處，此乃因許多測驗題偏重記憶性的題型。因此教師常常需要診斷學生的迷思概念，檢測學生何以發展出這種與科學理論和模式相悖的錯誤概念。概念改變的教學策略因而發展(劉新、林如愷、李秀玉、楊雯仙、張永達，2006)。



同儕對話在數學上的應用，確實能促進反思與數學教學知識發展，且幫助教師理解教學中的學習、教學行動與數學知識等問題(陳彥廷、康木村、柳賢, 2010)，但在科學上的同儕對話，仍是鮮少有相關文獻可供參閱(陳信助、陳正治、劉嘉茹, 2016)。

綜上所述，雖然學理上說前置討論很重要且有效，但近年來的研究顯示，不但課前對話少，討論式的對話也很少。此外，有關同儕間對話式的科學新知探討的相關文獻稀少，實驗或操作模式也多屬口耳相傳，難有互動體驗式的科學探究活動可供學習。在同儕討論或合作學習的研究對象，大多以國中小學生為樣本，鮮少有大學生當作研究對象，故本研究設計以概念改變教學策略，透過大學生同儕討論，操作科學學習認知課程，探討此教學課程對大學生在生活物理學上，概念轉換與學習成效造成的影響。

參、研究設計與方法

一、研究問題

概念改變是教學活動中重要的任務，特別是科學教育上，教學的目的往往是要學生做一些概念的改變。一般人總是相信自己樸素概念(Naive Concept)、另有概念(Alternative Concept)，統稱為既有概念(Existed Concept)。除非做教學前的調查，否則很難得知其既有概念為何，而且學習主體進行學習時，其既有的科學概念不是被動或靜態的等待新知識的加入，反而發揮主動且動態的功能指導認知主體去理解與融合新的知識。經由學習的過程，學習者的既有概念可能不變也可能改變。學習者的科學概念可分為人為概念與自然概念，前者指當代科學社群所認可的，也通常是學校教材所呈現的科學概念；後者是學童在其生長過程中，經驗外在事物所得到的科學概念。學習者在觀察自然現象建構自然概念的過程，深受信念架構、既有知識、認知過程、情感、價值，甚至美學等因素的影響。因此人為概念與自然概念在內容上可能相同但經常非常不一致，而且自然概念的固著性較強且保留時間較長，要讓學習者想要進行內心世界既有概念的改變，則需要強而有力的說服力。進行概念改變的策略有團隊合作學習或同儕討論，訓練學生、以理服人、眼見為憑、學然後知不足的科學學習。

本研究嘗試藉由營隊開辦前的教育訓練課程，將生活中的議題導入(如騎乘機車與大貨車貼近的危險性)，分析科工館服務的大學生志工，在短時間之內(1-3 天)，能否藉由同儕團體討論、提供眼見為憑的科學演示，對影響其日常生活中的空氣流體特性，有更深更新的認識、應用及概念的改變，並藉由調查是否會延伸應用的其他類似的案例上，進而探討大學生對科學學習認知與概念改變的學習歷程與成效。



因此，本研究問題聚焦於以下兩點：

1. 同儕間的前置討論(Pre-discussion)對學習新概念是否對學習新知有所助益?
2. 對空氣流體的特性與應用學習，同儕討論的延宕成效是否顯著?

二、研究對象:

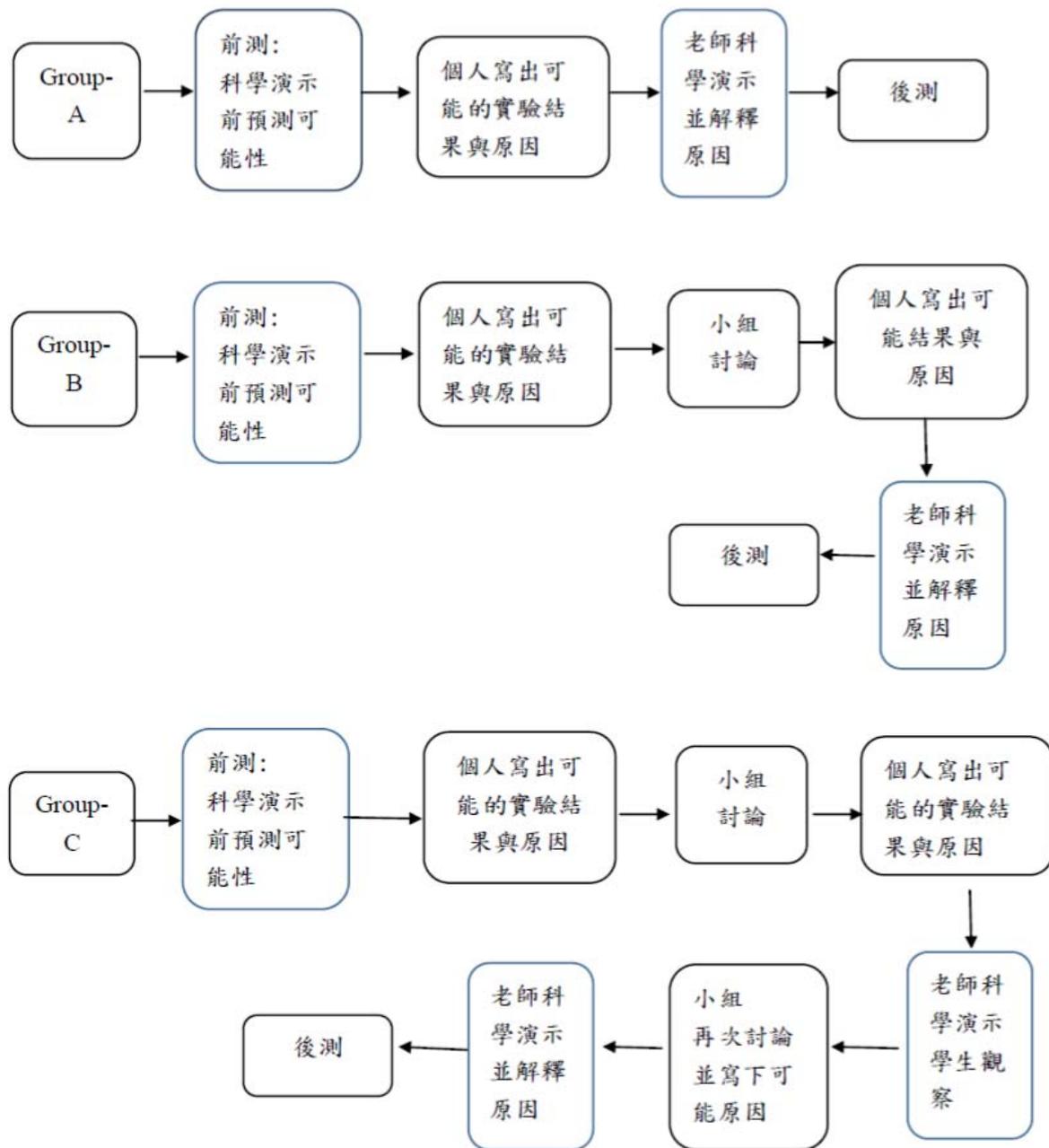
本研究以蒞臨科工館從事暑假夏令營服務的實習與社會服務大學生為研究共計 114 名為對象與樣本，其中有僅有 7 名的學生是理工學院背景，有關訓練課程主題空氣動力學的概念，這批志工學生多數(94%)屬先備知識不足。114 名大學生依據所屬學院分布狀態，如表一：

表一、調查樣本之所屬學院背景比例(單位: 人/%)

| | | | | | |
|-----|----------------|----------------|------------|-----------|-----------|
| 背景 | 工程學院 | 教育學院 | 文學院 | 商學院 | 設計學院 |
| 樣本數 | 7 (6.14%) | 3 (2.63%) | 3 (2.63%) | 6 (5.26%) | 2 (1.75%) |
| 背景 | 醫學院 | 管理學院 | 法律 | 社會學院 | 藝術學院 |
| 樣本數 | 1 (0.88%) | 63 (55.26%) | 0 (0%) | 6 (5.26%) | 2 (1.75%) |
| 背景 | 農學院 | 其它 | 合計 | | |
| 樣本數 | 21 (18.42%) | 0 (0%) | 114 (100%) | | |

三、研究分組與實驗設計

本研究為了解運用課前同儕團體討論，是否對大學生在新概念學習上有所助益，將學員隨機分為三組(Group -A, Group-B & Group-C)，每一組的討論的學習策略不同，並設計如下的實驗設計操作流程，如圖一：



圖一、分組操作流程圖

教學策略採獨立學習、獨立學習-小組討論，獨立學習-小組討論-小組再次討論，並將樣本隨機分為三組: Group-A, Group -B and Group- C)，如下表二，並進行前測。

表二、教學策略與分組表

| 組別/樣本人數 | 獨立學習 | 獨立學習-小組討論 | 獨立學習-小組討論-小組再次討論 |
|---------|------|-----------|------------------|
|---------|------|-----------|------------------|



| | | | |
|---------------------------|--|--|---|
| 操作方式 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 教師進行科學實驗預演，但未呈現實驗結果。 2. 學生各自獨立學習，進行示範實驗的臆測結果與解釋原因。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 三人一小組，組內相互討論臆測結果與解釋原因，並統整出一個小組結論。 2. 小組成員寫出個人討論後的臆測結果與解釋原因 3. 標示個人與小組是否有差異。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 教師呈現實驗結果。 2. 小組成員再次解釋為何會有如此的實驗結果並解釋產生這種結果的原因。 3. 標示個人與小組是否有差異。 |
| Group-A (N=29, 7 teams) | V | | |
| Group -B (N=42, 12 teams) | V | V | |
| Group-C (N=43, 13 teams) | V | V | V |

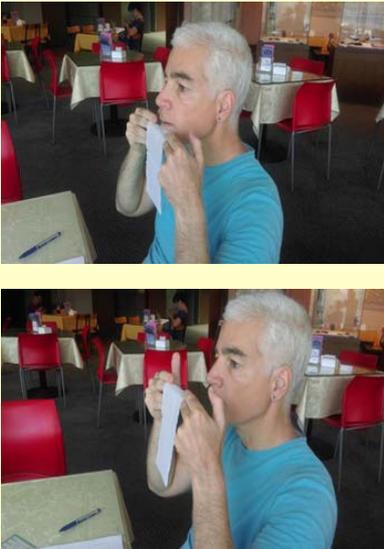
四、研究工具與資料分析

本研究為讓非科學類組背景的大學生，生活周遭事物，能有親身經驗與體驗的機會，經由動手做 (Hands-on) 的實驗設計，採準實驗研究法 (Quasi-experimental method)，設計數個與空氣流體有關的實驗，並經藉由開放式半結構問卷的前、後測設計，以測試前置討論對學生學習科學新知的成效進行評量，前測採五種以空氣流體中應用柏努利原理 (Bernoulli's Principle) 有關的科學演示實驗，請學員臆測結果並解釋原因，並進行統計單因子變異數分析 (One-Way ANOVA)；後測部分也是設計與空氣流體中應用柏努利原理的實驗，請學員解臆測結果並解釋原因。

開放式質性問卷(題目卷詳如附錄)，問卷並經來自以色列的科教專家效度檢定，其測量功能與目的，在前測上欲測驗原有先備概念 (pre-conception) 及小組討論是否獲得概念改變；隔數日後，再次設計相同原理應用，但不同的實驗方式，再進行僅有圖示與無討論的紙筆後測，測量其答題正確率。茲將問卷內容與各組填寫的方式如表三，

表三、大學生對空氣流體特性之概念同儕前置討論檢測表

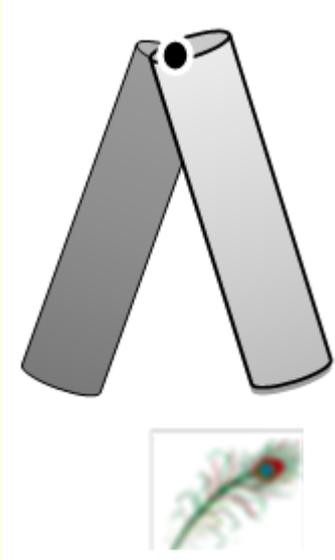
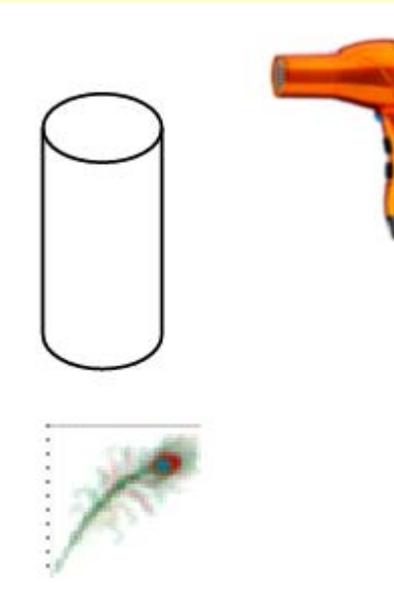
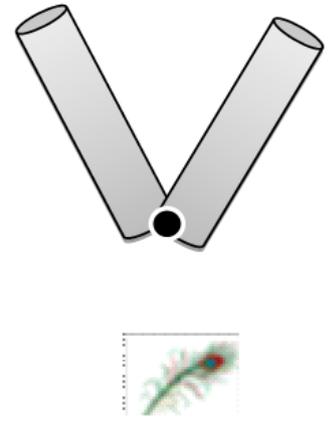


| 前測狀況(Pre-test Situation, PS)與圖示 | 各組前測題目 | 對應之後測狀況(Post-Test Situation, PTS) 與圖示 | 各組後測題目 |
|---|---|---|---|
| <p>PS1.在紙片上、下方分別吹氣 (Blowing air below and above a page of paper)</p>  | <p>Group-A 個人臆測結果與原因</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.吹紙片下方 2.吹紙片上方 <p>Group-B</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.個人臆測結果與原因 2.小組討論後知臆測結果與原因 <p>Group-C</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 個人臆測結果與原因。 2. 小組討論後知臆測結果與原因 3. 在觀察實驗結果後，小組討論並解釋原因。 | <p>PTS1 如圖示，在紙片上方吹氣</p>  | <p>Group-A : 紙片會如何運動，請解釋原因</p> <p>Group-B : 紙片會如何運動，請解釋原因</p> <p>Group-C : 紙片會如何運動，請解釋原因</p> |
| <p>PS2. 在兩紙片中間吹氣 (Blowing air between two papers)</p>  | <p>Group-A 個人臆測結果與原因:</p> <p>Group-B</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 個人臆測結果與原因 <p>小組討論後知臆測結果與原因</p> | <p>PTS2 與 PTS5</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 在兩紙片中間吹氣 2. 在水中懸吊二金屬球，在兩球中央處噴射一水柱  | <p>Group-A : 紙片會如何運動，請解釋原因</p> <p>Group-B : 紙片會如何運動，請解釋原因</p> |

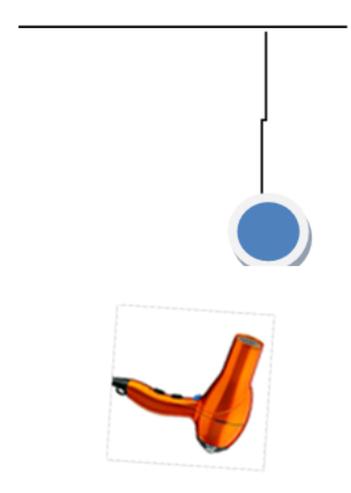
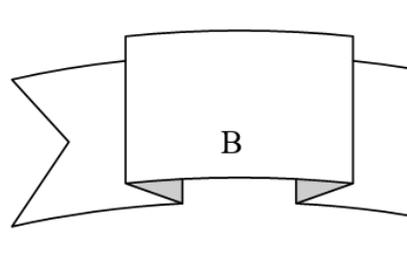


| | | | |
|---|---|---|---|
| | <p>Group-C</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 個人臆測結果與原因 2. 小組討論後知臆測結果與原因 3. 在觀察實驗結果後，小組討論並解釋原因 |  | <p>Group-C : 紙片會如何運動，請解釋原因</p> |
| <p>PS3.使用吹風機吹球(Blowing air on ping-pong ball with a hair dryer?)</p>  | <p>Group-A 個人臆測結果與原因:</p> | <p>PTS3 使用吹風機吹球(Blowing air on ping-pong ball with a hair dryer?)</p>  | <p>Group-A : 球會如何運動，請解釋原因</p> |
| | <p>Group-B</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 個人臆測結果與原因 2. 小組討論後知臆測結果與原因 | | <p>Group-B : 球會如何運動，請解釋原因</p> |
| | <p>Group-C</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 個人臆測結果與原因 2. 小組討論後知臆測結果與原因 3. 在觀察實驗結果後，小組討論並解釋原因 | | <p>Group-C : 球會如何運動，請解釋原因</p> |
| <p>PS4 搖擺中空管後，觀察羽毛運動型況(A shaken tube and a feather) 手握上端，下動上不動</p> | <p>Group-A 個人臆測結果與原因:</p> | <p>PTS4 中空管下方放置羽毛，上方吹氣</p> | <p>Group-A : 羽毛如何運動，請解釋原因</p> |
| | <p>Group-B</p> | | <p>Group-B</p> |



| | | | |
|--|---|--|------------------------|
|  <p>手握中間，上下皆動</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. 個人臆測結果與原因 2. 小組討論後知臆測結果與原因 |  | <p>: 羽毛會如何運動，請解釋原因</p> |
|  <p>手握下端，上動下不動</p> | <p>Group-C</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 個人臆測結果與原因 2. 小組討論後知臆測結果與原因 3. 在觀察實驗結果後，小組討論並解釋原因 | <p>Group-C</p> <p>: 羽毛會如何運動，請解釋原因</p> | |
|  | | | |



| | | | |
|---|---|--|--|
| <p>PS5 在懸吊的乒乓球側邊吹風 (Blowing wind on the side of hang ping-pong ball)</p>  | <p>Group-A 個人臆測 結果與原因:</p> | <p>PT5 將紙摺成如圖橋樑狀</p>  | <p>怎麼吹氣才會使 B 點上下運動，至少寫出兩種方法</p> |
| | <p>Group-B</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 個人臆測結果與原因 2. 小組討論後知臆測結果與原因 | | <p>怎麼吹氣才會使 B 點上下運動，至少寫出兩種方法</p> |
| | <p>Group-C</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 個人臆測結果與原因 2. 小組討論後知臆測結果與原因 3. 在觀察實驗結果後，小組討論並解釋原因 | | <p>怎麼吹氣才會使 B 點上下運動，至少寫出兩種方法</p> |

待各組完成問卷給分標準(coding criteria) ，如表四：

表四、開放式質性問卷給分標準

| | | | | |
|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 前測給分基準 | 臆測結果錯誤 解釋原因錯誤 | 臆測結果錯誤 解釋原因正確 | 臆測結果正確 解釋原因錯誤 | 臆測結果正確 解釋原因正確 |
| 前測得分 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| 前測給分基準 | 臆測結果錯誤 解釋錯誤 | 臆測結果錯誤 解釋原因正確 | 臆測結果正確 解釋錯誤 | 臆測結果正確 解釋原因正確 |
| 後測得分 | 0 | 1 | 1 | 2 |



肆、結果與討論

本研究經由前後、測的資料收集，依不同的實驗項目(如表三)，參照表四的計分方式，就受測者的得分，進行初步的統計分析，結果如下表五至表九

表五、分別在紙片上、下方吹氣

| | 個人臆測答對率(PS)-無小組討論 | 第 1 次小組討論答對率-無科學演示 | 第 2 次小組討論原因答對率-科學演示後 | 後測-1 (PTS-1) |
|---------|-------------------|--------------------|----------------------|--------------|
| Group-A | 0.59 | - | - | 1.80 |
| Group-B | 0.24 | 0.57 | | 1.68 |
| Group-C | 0.28 | 0.37 | 1.12 | 1.66 |

理論上，當在紙片下方吹氣時，很自然地會吹到紙片，使紙片受到吹力往上飄揚。但當在紙片上方吹氣時，依據柏努利原理，紙片會因空氣在紙條上方流動所產生的壓力，比紙片下方靜止不動的空氣要小一些，因此紙條會往上飄，但上飄後又因重力作用，紙條又會往下降，如吹氣不間斷，紙條就會上下飄動。

調查結果顯示如下:

1. 第 1 組的前測個人臆測平均得分率由 0.59 分，增為後測之 1.80 分(增幅 205%)。
2. 第 2 組的前測個人臆測平均得分率由 0.24 分，但在第 1 次小組討論後，平均得分增為 0.57 分(增幅 136%)；在後測變為 1.68 分(增幅 600%)，增幅比第 1 組大。
3. 第 3 組的前測個人臆測平均得分率由 0.28 分，在第 1 次小組討論後，平均得分增為 0.37 分(增幅 32%)，增幅比第 2 組小；但觀摩演示後第 2 次小組討論 平均得分為 1.12(增幅 300%)，在後測變為 1.66 分(增幅 493%)；
4. 資料顯示，小組討論後得分有增加，且在全體均觀摩過科學演示後，對於空氣流體在紙片上方吹氣的所產生的上、下壓力差異，均能作正確地回答其產生的原因。

表六、在兩紙片中間吹氣

| | 個人臆測答對率(PS)-無小組 | 第 1 次小組討論答對率-無科學演 | 第 2 次小組討論原因答對率-科學 | 後測-2 與 5 (PTS-2/ |
|--|-----------------|-------------------|-------------------|------------------|
|--|-----------------|-------------------|-------------------|------------------|



| | 討論 | 示 | 演示後 | PTS-5) |
|---------|------|------|------|-----------|
| Group-A | 0.55 | | | 1.80/1.12 |
| Group-B | 0.38 | 0.60 | | 1.68/1.03 |
| Group-C | 0.56 | 0.93 | 1.35 | 1.66/1.34 |

理論上，當在兩紙紙片中間吹氣時，兩紙片中間會因空氣流動所產生的壓力，比兩紙片外靜止不動的空氣要小一些，因此兩紙片會相互吸引。

當在兩紙片中間吹氣時，加入後測的液體流體實驗(PTS-5)，結果顯示如下：

1. 第 1 組的前測個人臆測平均得分率由 0.55 分，增為後測之 1.80 分，與 1.12 分(增幅 227%，104%)，似乎學生認為空氣流體與液體流體壓力差不同。
2. 第 2 組的前測個人臆測平均得分率由 0.38 分，但在第 1 次小組討論後，平均得分增為 0.60 分(增幅 58%)，在後測變為 1.68 分與 1.03 分(增幅 342% 與 171%)，增幅比第 1 組大，在認為空氣流體與液體流體壓力差異時，與第 1 組雷同。
3. 第 3 組的前測個人臆測平均得分率由 0.56 分，在第 1 次小組討論後，平均得分增為 0.97 分(增幅 66%)，增幅比第 2 組稍大；但觀摩演示後第 2 次小組討論，平均得分為 1.35 分(增幅 141%)，在後測變為 1.66 分與 1.34 分(增幅 196% 與 139%)，在認為空氣流體與液體流體壓力差異時，與第 1、2 組雷同。
4. 資料顯示，小組討論後得分有增加，且在全體均觀摩過科學演示後，均能體會並解釋流體在兩物中間穿過時，會使兩物外側與中間的壓力差產生變化，且兩物會相互吸引，唯在液體中的效果答對率較低。

表七、使用吹風機吹球

| | 個人臆測答對率(PS)-無小組討論 | 第 1 次小組討論答對率-無科學演示 | 第 2 次小組討論原因答對率-科學演示後 | 後測-3 (PTS-3) |
|---------|-------------------|--------------------|----------------------|--------------|
| Group-A | 0.45 | | | 1.44 |
| Group-B | 0.74 | 0.81 | | 1.25 |
| Group-C | 0.84 | 0.74 | 0.86 | 1.54 |



理論上，當空氣碰到圓球曲面球體時，依據康達效應(Coanda Effect)，球面四週的空氣會沿著球面由下往上運動並在球的上方會合，繼續前進，此時在球上方放一紙條，即可清楚見到紙挑會往往飄動；此時球表面的空氣速度流速比球外靜止的空氣快，球四週外側空氣壓力大，往球體四週擠壓，使球不致於脫離空氣運動軌道，即使將吹風機傾斜吹球，球也不會離開空氣運動軌道，此時球所受到力的平衡，即時往上的風力與球本身的重量。

當使用吹風機吹球時，結果顯示如下：

1. 第 1 組的前測個人臆測平均得分率由 0.45 分，增為後測之 1.44 分(增幅 99%)。
2. 第 2 組的前測個人臆測平均得分率由 0.74 分，但在第 1 次小組討論後，平均得分增為 0.81 分(增幅 7%)；在後測變為 1.25 分(增幅 69%)，增幅比第 1 組小。
3. 第 3 組的前測個人臆測平均得分率由 0.84 分，在第 1 次小組討論後，平均得分增為 0.74 分(降幅 12%)，原因值得探究；但觀摩演示後第 2 次小組討論，平均得分為 0.86(增幅 2%)；在後測變為 1.54 分(增幅 83%)，第 3 組的後測得平均得分比第 1、2 組較佳。
4. 資料顯示，小組討論後得分雖有增加，但增加幅度微小。

表八、搖擺中空管後，觀察羽毛運動型況對照 中空管下方放置羽毛、上方吹氣

| | 個人臆測答對率(PS)-無小組討論 | 第 1 次小組討論答對率-無科學演示 | 第 2 次小組討論原因答對率-科學演示後 | 後測-3 (PTS-3) |
|---------|-------------------|--------------------|----------------------|--------------|
| Group-A | 0.63 | | | 1.40 |
| Group-B | 0.83 | 0.88 | | 1.10 |
| Group-C | 0.63 | 0.97 | 0.99 | 1.57 |

本搖擺中空管實驗中，搖擺方式計有 3 種，分述如下：

A 型：手持中空管上端當軸，並帶動管徑下端左右運動

X 型：手持中空中段當軸，並帶動管徑上、下端左右運動

V 型：手持中空管下端當軸，並帶動管徑上端左右運動

理論上，當採用”A 型”搖動時，羽毛會在桌面上飄動，此時學習者總認為是搖桿下端左右運動，驅使空氣運動，帶動羽毛飄動；但當採”X 型”搖動時，



即使搖桿下端左右運動，但羽毛卻靜止不動，足見驅動羽毛飄動的原因並不是左右運動的搖桿；如果採用“V 型”搖動時，羽毛會沿著管徑內側由下往上運動，顯見有一股力量驅使羽毛往上運動。經進一步探究，當管徑上方空氣因搖桿擺動快速時，管徑上的空氣流速相對比管徑下方快些，相對空氣壓力較小，驅使空氣由下往上運動，帶動羽毛往上飄動。

依上述三種方式運動，分別進行實驗，並取其平均得分值，再將觀察羽毛運動型況對照中空管下方放置羽毛、上方吹氣，結果顯示如下：

1. 第 1 組的前測個人臆測平均得分率由 0.63 分，變為後測之 1.40 分(增幅 122%)。
2. 第 2 組的前測個人臆測平均得分率由 0.83 分，但在第 1 次小組討論後，平均得分變為 0.88 分(增幅 6%)；在後測變為 1.10 分(增幅 33%)。
3. 第 3 組的前測個人臆測平均得分率由 0.63 分，在第 1 次小組討論後，平均得分增為 0.97 分(增幅 54%)；但觀摩演示後第 2 次小組討論，平均得分仍為 0.99(增幅 57%)，顯示學生對空氣流動產生壓力差，會有基本的認知，但是如細看各種搖擺方式得分，對於「V 型」的搖擺方式所產生的吸羽毛結果，許多學生表示無法理解。
4. 資料顯示，對於中空搖桿產生的上、下壓力差，學生很難理解，但在中空管上吹氣時，仍會認知壓力較小，會帶動羽毛往上飛升。

表九、在懸吊的乒乓球側邊吹風對照紙摺橋樑狀

| | 個人臆測答對率(PS)-無小組討論 | 第 1 次小組討論答對率-無科學演示 | 第 2 次小組討論原因答對率-科學演示後 | 後測-3 (PTS-3) |
|---------|-------------------|--------------------|----------------------|--------------|
| Group-A | 0.41 | | | 0.96 |
| Group-B | 0.76 | 0.83 | | 1.03 |
| Group-C | 0.74 | 0.56 | 1.00 | 0.83 |

理論上，在球單邊吹氣，球應會往吹氣方移動。

在懸吊的乒乓球側邊吹風對照紙摺橋樑狀，結果顯示如下：

1. 第 1 組的前測個人臆測平均得分率由 0.41 分，增為後測之 0.96 分(增幅 134%)。
2. 第 2 組的前測個人臆測平均得分率由 0.76 分，但在第 1 次小組討論後，平均得分增為 0.83 分(增幅 9%)；在後測變為 1.03 分(增幅 36%)。



3. 第 3 組的前測個人臆測平均得分率由 0.74 分，在第 1 次小組討論後，平均得分增為 0.56 分(降幅 24%)，原因值得探究；但觀摩演示後第 2 次小組討論，平均得分為 1.00 分(增幅 35%)；在後測變為 0.83 分(增幅 12%)，第 3 組的後測得平均得分比第 1、2 組較差，原因也值得探討。
4. 資料顯示，小組討論後得分雖有增加，但增加幅度微小。

研究結果顯示：

1. 三個隨機分配編組的小組，對於前測時個人的無討論時的臆測結果與解釋原因，並無統計上的顯著差異($F=1.823$, $P=.169 >.05$)，顯見隨機分組可信度高。
2. 從各小組的前、後測得分成長量來看，除了有關使用不同搖擺中空管方式，對紙片運動的實驗項目，小組間差異性的統計顯著水準較大($F=3.21$, $P<0.05$)，其他四個實驗設計，小組間差異度統計顯著水準不明顯。
3. 個人的先備概念與小組成員不同時，個人會願意投入討論，倘被小組說服時，也會接受小組討論結果。
4. 般大學科學通識課程有關柏努利原理的應用，學生間彼此無機會相互討論，本實驗研究設計中，發現即使學生無先備概念，就算被小組成員說服概念改變，也願投入討論。
5. 從學生前後、測的開放式問卷中，擇幾件樣本觀察，會發現學生的概念改變的歷程，如表十

表十、學生概念改變的歷程

| 組別 | 就讀學院 | 前測狀況 | 前測臆測結果與解釋原因 | 後測狀況 | 後測臆測結果與解釋原因 | 改變的歷程 |
|----|------|------|--------------------------------------|------|-------------|---|
| A | 藝術 | PS1 | 吹紙下方，會會飛起來，因受力；出紙上方，紙不動，因無受力 | PTS1 | 紙會往上飄揚 | 1. 眼見為憑，記憶與經驗延宕難以連結。 2. 大自然裡總存在一些莫名的奧妙，用感性的字眼比較容易接受。 |
| A | 工程 | PS1 | 當吹紙上方時，紙會飄動，原因是吹氣的氣流隨者紙片傳至下方，所以力量較強。 | PTS1 | 紙會往上飄揚 | 1. 會解釋紙片上方壓力比下方較小 2. 日常生活中，流動空氣無所不在，穿風衣騎車時，風衣容易鼓起也是流動空氣所產生的因果關係。 |



| | | | | | | |
|---|----|-----|---|------|--|---|
| A | 管理 | PS3 | 球會往上直飛，因為風流是往上 | PTS3 | 兩球會相互吸引，因兩球中間壓力比兩球外側小。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 會解釋流體速大壓小的現象。 2. 喜用直覺觀察並表現空氣的運動。 |
| B | 文學 | PS4 | “V 型”上動下不動時，羽毛不會動，因無任外力作用 | PTS4 | 羽毛沿管徑上飄，因上端壓力大 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 無法說明上下壓力差的原由。 2. 無法解釋或理解較複雜的科學實驗。 3. 空氣壓力的感覺太抽象。 |
| B | 文學 | PS2 | 兩紙不會動，因無任何力作用利在紙上；小組討論後認為，紙會受力往外往上飛。 | PTS2 | 紙會相互吸引，因紙外側壓力大於內側 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 會經由實驗則歸納出紙的運動是受流體壓力差。 2. 與日常生活的經驗難以連結與解析。 |
| B | 社會 | PS5 | 球不會動，因球體未受到風吹力；小組討論後，以吹風機吹乾頭髮經驗，頭髮會飛揚，所以球會飛揚往外。 | PTS5 | 在 B 點處上方與下方吹氣，均會使 B 點上下運動 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 會解析 B 點會動，除了直接受力外，當體速度改變時，也會影響其運動。 2. 相同的原理、不同的表徵方式，學習者難以作連結。 |
| C | 文學 | PS1 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 吹紙上方，未知紙會如何 2. 小組團討後，認為紙會飛起來，但無法解釋原因 3. 觀察實驗後，團討認為是因為風行程氣流，使紙飛起來 | PTS1 | 吹紙上方，紙會往上飛揚，是因為紙上方空氣流速快，壓力小所致。 | 會觀察並說出影響紙張運動的主要原因是壓力 |
| C | 管理 | PS5 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 球會遠離出風口 2. 第一次團討後 | PTS5 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 吹 B 點下方會使 B 往 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 未明示吹 B 點時，由上往下吹會使 B 受力下陷，但如在 B 點上方橫吹，如力氣夠大可能會使 B |



| | | | | | | |
|--|--|--|---|--|-----------------------------|--|
| | | | 無共識 3. 科學演示後，第二次團討，認為球會旋轉、內轉與公轉，但未知原因。 | | 下陷。 2. 吹 B 點上方，會使 B 往上飄揚 | 點往上飄揚。 2. 誤認為所有的空氣流動總會產生壓力差，原因在於無法探究力的作用方式與作用點。 |
|--|--|--|---|--|-----------------------------|--|

伍、結論與建議

本準實驗研究中，經由實驗結果，可以歸納出下列數項結論：

1. 藉由幾個空氣流體的實驗設計，前測平均得分(Group-A 至 Group-C)僅 0.58 分來看，非理工科背景學生對空氣流體的特性與認知(如柏努力原理)仍很缺乏。
2. 無科學演示前，經由小組第 1 次討論後，學生的前測平均得分(Group-B 及 Group-C)增為 0.72 分，顯示透過課前討論，對教學策略有正向的幫助。
3. 有科學演示後，小組第 2 次討論，對科學現象的解釋，前測平均得分為 1.06 分，顯示有一半以上的學生能在觀察科學演示後能精準地說出其中可能原因。
4. 無論是雷同實驗或類似的科學原理應用，即使是非理工科學生，也可以大部份進行推理與應用。
5. 比較高層次且複雜的思考題，如中空管「V 型」搖擺方式與紙摺橋樑狀的空氣流體實驗，學生比較無法理解與解惑，表示影響其結果的原因並非單一作用力，此部份就不是一般非理工科學生可以想像與理解。由此也可以觀察到，一般非理工科學生對空氣流體的特性，僅能片面地認為是流動空氣與不流動空氣的壓力差異，當導引至深層思考與探究時，即無法更精準地說明其因果關係。
6. 藉由科學演示與小組課前討論，學生的後測平均得分達 1.37 分，可以有效提升學生學習成效。
7. 理工科背景學生對於相同的原理、不同的應用，比一般文學、管理學及設計學的學習者較強一些。在一個綜合領域的日常生活動，同儕討論與團隊合作始能彌補彼此之不足。



8. 一般大學生對科學的探究能力不足，如在 PT5 將紙摺成橋樑狀實驗中，誤認為所有的空氣流動總會產生壓力差，原因在於無法探究力的作用方式與作用點。

本研究結果呼應 Louis Pasture 的理論，學習者前置討論(Pre-discussion)，使學生具有備妥心智(Prepared mind)，對學生學習有所助益。亦顯示小組同儕前置討論某一主題，可以培養其對該學習主題的興趣與熱情，特別對初次學習的學生而言，效果有正向作用。

此外，實驗中對於不同搖擺中空管方式，對紙片運動，小組間差異顯著的可能原因，是影響紙條運動因素之一是流體因流速不同，產生壓差，另一原因是當中空管上端擺動幅度較大時，其運動方式類似物體圓周運動(Circular Motion)，產生的離心力(Centrifugal force)也影響紙條的運動。

過去數十年，雖然概念改變的研究日益增加，但是通常只用單一觀點研究，而後發現使用單一觀點似乎沒有辦法完全解釋複雜的情境，建議採用多面向的觀點，才能增加複雜度，以便解釋複雜的情境。利用多面向觀點才能提供足夠的架構，讓研究者可以進行教與學的研究。

參考文獻

- 李玉貞(民 89)：《光學史融入教學對高中生科學本質觀及光概念的改變之研究》。碩士論文，國立高雄師範大學科學教育研究所。
- 全中平(1994)：師範學院學生對學習物理力學概念之分析研究。《國立臺北師範學院學報》，7, 481~506。
- 任宗浩(2001)：心智模式動態變化之研究-物理現象的觀察與詮釋。《科學教育學刊》，9(2), 147-168。
- 吳怡嫻(2007)：跨年級學生氣體心智模式演變歷程之探究與分析。國立台灣師範大學科學教育研究所碩士論文(未出版)。
- 吳明珠(2008)：科學模型本質剖析：認識論面向初探。《科學教育月刊》，307, 2-8。
- 周金城(2008)：探究中學生對科學模型的分類與組成本質的理解。《科學教育月刊》，306, 10-17。
- 林靜雯與邱美虹(2008)：從認識/方法論之向度初探高中學生模型及建模歷程之知識。《科學教育月刊》，307, 9-14。
- 邱美虹(2000)：概念改變研究的省思與啟示。《科學教育學刊》，8(1), 1-34。
- 邱美虹(2007)：建模能力分析指標的應用-以電化學為例，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，NSC 95-2511-S-003-024-MY2。
- 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。
- 邱美虹與林靜雯(2002)：以多重類比探究兒童電流心智模式之改變。《科學教育》，10(2), 109-134。



- 黃文俊(民 83)：《國中生物理壓力迷思概念及概念改變教學可行性之研究》。碩士論文，私立淡江大學教育資料科學研究所。
- 郭重吉、楊其安(1989)：利用臨床晤談探究國中學生對力學概念的另有架構。《科學教育》，1, 37-59
- 陳英嫻(民 83)。不同學習模式對學生學習『月相盈虧』之影響，國立台灣師範大學地球科學研究所碩士論文。
- 陳盈吉(2004)：探究動態類比對於科學概念學習與概念改變歷程之研究-以國二學生學習氣體粒子概念為例。國立台灣師範大學科學教育研究所碩士論文(未出版)。
- 董正玲、郭重吉(1992)：探究國小兒童運動與力概念的另有架構。《科學教育》，3,93-121。
- 黃俊儒、楊文金(2000)：從同儕互動的觀點討論中學理化實驗課之教學安排。《物理教育》，4(1)，19-31。doi:10.6212/CPE.2000.0401.02。
- 劉新、林如愷、李秀玉、楊雯仙、張永達(2006)：小組合作學習的教學理念與實務，臺灣師範大學科學教育中心，《科學教育月刊》，294，34-46。
- 陳彥廷、康木村、柳賢(2010)。同儕對話促進兩位國中數學教師教學反思與專業成長。《科學教育學刊》，18(4)，331-359。
- 陳信助、陳正治、劉嘉茹(2016)。運用概念改變教學策略對大學生在科學學習成效之探討。載於台灣工程教育與管理學會(主編)，工程與科技教育學術研討會論文集(99-118頁)。台灣：台灣工程教育與管理學會。doi:10.6571/CETE.2016.05.08
- Alles, D. L. (2005). The nature of evolution. *The American Biology Teacher*, 67(1), 7-10.
- Au, T. K. (1994). Developing an intuitive understanding of substance kinds. *Cognitive Psychology*, 27(1), 71-111.
- Caravita S., & Halldén, O. (1994). Re-framing the problem of conceptual change [special issue]. *Learning and Instruction*, 4, 89-111.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT press.
- Carey, S. (1986, April). Cognitive science and science education. *American Psychologist*, 41(10), 1123-1130.
- Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind* (pp. 257-291). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Carey, S., & Spelke, E. (1994). Domain-specific knowledge and conceptual change. In L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Eds.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture* (pp. 169-200). New York: Cambridge University Press.
- Chi, M. T., Bassok, M., Lewis, M. W., Reimann, P. & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, 13, 145-182.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Chi, M. T. H., de Leeuw, N., Chiu, M. H., & LaVancher, C. (1994). Eliciting self-explanation sim-proves understanding. *Cognitive Science*, 18, 439-477.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction: The Journal of the European Association for research on Learning and Instruction*, 4, 27-43.
- Champagne, A. B., Klopfer, L. E., & Anderson, J. H. (1980). Factors influencing the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics*, 48, 1074-1079.
- Champagne, A. B., Klopfer, L. E. (1982). A causal model of students achievement in a college physics course. *Journal of Research in Science Teaching*, 19, 299-309.



- Chan, C. C., Tsui, M. S., & Chan, M. Y. C. (2002). Applying the structure of the observed learning outcomes (SOLO) taxonomy on students' learning outcomes: an empirical study. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 27(6).
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive Models of Science: Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, (pp.129-186). University of Minnesota Press: Minneapolis, MN.
- Chi, M. T. H. & Roscoe, R.D. (2002). The processes and challenges of conceptual change. In M. Limon and L. Mason (Eds.), *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp 3-27.
- Chi, M. T. H., Siler, S. A., & Jeong, H. (2004). Can tutors monitor students' understanding accurately? *Cognition and Instruction*, 22(3), 363-387.
- 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), 1-49.
- Clark, D. B. (2006). Longitudinal conceptual change in students' understanding of thermal equilibrium: An examination of the process of conceptual restructuring. *Cognition and Instruction*, 24(4), 467-563.
- Clement, J. (1989). Learning via model construction and criticism. In G. Glover, R. Ronning & C. Reynolds (Eds.), *Handbook of creativity, assessment, theory and research*. New York: Plenum.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Coburn, W. W. (1993). Contextual Constructivism: The Impact of Culture on the Learning and Teaching of Science, In K. Tobin (Ed.), *The Practice of Constructivism in Science Education*, (pp51-70). Washington, D. C.: AAAS Press.
- Cohen, G. (1983). *The psychology of cognition*. New York: Academic Press, Inc.
- Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. E. (1987). *Cognitive apprenticeship: Teaching the craft of reading, writing, and mathematics*. In L. Resnick (Ed.), *Learning, knowing, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser* (pp. 453-494). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum. University Press.
- diSessa, A. A., Gillespie, N. M., & Esterly, J. B. (2004). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive Science*, 28(6), 843-900.
- Dori, Y. J., & Belcher, J. (2007). Learning electromagnetism with visualizations and active learning. In J. K. Gilbert (Eds.), *Visualization in Science Education* (pp. 187-216). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphor in learning science. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Duit, R., & Glynn, S. (1996). Mental modeling. In G. Welford, J. Osborne, & P. Scott (Eds.), *Research in science education in Europe* (pp. 166-176). London: Falmer Press.
- Dykstra, D. I., Boyle, C. R., & Monarch, I. A. (1992). Studying conceptual change in learning physics. *Science Education*, 76(6), 615-652.
- Eckstein, S. G., & Shemesh, M. (1989). Development of children's ideas on motion: Intuition vs. logical thinking. *International Journal of Science Education*, 11, 327-336.
- Fensham, P.J. & Kass, H. (1988). Inconsistent or discrepant events in science instruction. *Studies in Science Education*, 15, 1-16.
- Finegold M., & Gorsky, P. (1991). Students' concepts of force as applied to related physical systems: A search for consistency. *International Journal of Science Education*, 13, 97-113.



- Finegold, M., & Grosky, P. (1988). Learning about forces: Simulating the outcomes of pupils' misconceptions. *Physics all Science*, 17, 251-261.
- Franco, C., de Barros, H. L., Colinvaux, D., Krapas, S., Queiroz, G., & Alves, F. (1999). From scientists' and inventors' minds to some scientific and technological products: relationships between theories, models, mental models and conceptions. *International Journal of Science Education*, 21(3), 277-291.
- Gilbert, J., & Boulter, C. (1998). Learning science through models and modeling. In B. Fraser & K. Tobin (Eds), *International Handbook of Science Education* (pp. 52-66).
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science education: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 799-822.
- Hashweh, M. Z. (1986). Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3), 229-249.
- Hewson, P. W., Zeichner, K. M., Tabachnick, B. R., Blomker, K. B., & Toolin, R. (1992). A conceptual change approach to science teacher education at the University Wisconsin-Madison. *Paper presented at the Annual Meeting of the American Education Research Association*, San Francisco, CA.
- Howe, C. (1981). *Acquiring language in a conversational context*. London: Academic Press.
- Howe, C., Tolmie, A., & Mackenzie, M. (1995). Collaborative learning in physics: Some implications for computer design. In C. O'Malley (Ed.), *Computer-supported collaborative learning* (pp. 51-68). Berlin: Springer-Verlag.
- Howe, C. (2010). *Peer groups and children's development*. Oxford: Blackwell.
- Hestenes, D. (1995). Modeling software for learning and doing physics. In Bernardini, C., Tarsitani, C., & Vincentini, M. (Eds.). *Thinking physics for teaching*. (pp. 25-66.) New York: Plenum.
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369-1386.
- Kember, D., Jones, A., Loke, A., McKay, J., Sinclair, K., Tse, H., et al. (1999). Determining the level of reflective thinking from students' written journals using a coding scheme based on the work of Mezirow. *International Journal of Lifelong Education*, 18(1), 18-31.
- Klausmeier, H. J. (1974). *Conceptual Learning and Development*. New York Academic Press.
- Kuhn, T. S. (1970). *The Structure of Scientific Revolutions (2nd edition)*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kuhn, D. (1991). *The skills of arguments*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Meheut, M. (2004). Designing and validating two teaching-learning sequences about particle models. *International Journal of Science Education*, 26(5), 605-618.
- Novak, J. D. (1988). Learning science and the science of learning. *Studies in Science Education*, 15, 77-101.
- Ohlsson, S. (1984). Induced strategy shifts in spatial reasoning. *Acta Psychologica*, 57, 46-67.
- Paul, T. (1992). *Conceptual Revolutions*. New Jersey: Longevity of the Council on Library Resources.
- Palincsar, A. S., & Brown, A. L. (1984). Reciprocal teaching of comprehension-fostering and comprehension-monitoring activities. *Cognition and Instruction*, 1, 117-175.
- Pella, M. O. (1975). *Concept of concept*. University of Wisconsin-Madison Press.
- Piaget, J. (1950). *The psychology of intelligence*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Piaget, J. (1972). *The psychology of the child*. New York: Basic Books.



- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Posner, G.J. & Strike, K. A. (1985). A Conceptual Change View of Learning and Understanding. In L. H. T. West & A.L. Pines (Eds.), *Cognitive structure and conceptual change*. New York: Academic Press, INC., pp.211-232.
- Rumelhard, D. E., & Norman, D. A. (1981). Accretion, tuning and restructuring: Three modes of learning. In R. Klatsky & J. W. Cotton (Eds.) *Semantic factor in cognition*. Hollsdale, NJ: Lawren Eribaum Associates.
- Scott, P.H., Mortimer, E.F., & Aguiar, O.G. (2006). The tension between authoritative and dialogic discourse: A fundamental characteristic of meaning making interactions in high school science lessons. *Science Education*, 90, 605-631.
- Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition & Instruction*, 23(2), 165-205.
- Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R., & Joolingen, W. R. V. (2005). The Difficult Process of Scientific Modeling: An analysis of novices' reasoning during computer-based modeling. *International Journal of Science Education*, 27(14), 1695-1721.
- Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Toulmin, S (1972). *Human understanding*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Wandersee, J.H. (1993). The declared research interests of NARST members: An analysis of the 1992 NARST "Directory of Members." *J.R.S.T.*30, pp.319-320.
- Vosniadou S & Brewer, W. F. (1987). Theories of knowledge restructuring in development. *Review of Education research*, 57, 51-67.
- Van Driel, J. H., & Verloop, N. (1999). Teacher's knowledge of models and modeling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1154.
- Vygotsky, L. S. (1962). Development of science concepts in childhood. In E. Hanfman & G. Vakar (Eds), *Thought and Language* (pp. 82-118). Cambridge, MA: MIT Press.
- Vygotsky, L.S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.