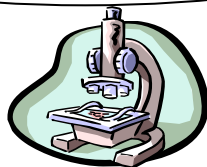


# 實驗教學法淺論



國立台灣師範大學物理系 姚 珩

(83年4月 中等教育雙月刊 第45卷第2期)

什麼是好的教育？有系統地給予學生們些機會，讓他們自己去發現事情。

— 史賓塞 (德思想家, 1820 -1903)

## 摘 要

本文是以科學的實驗本質，配合物理課程發展的內容，扼要提出的一種自然科學的探討式教學法——「實驗教學法」，或謂「循環學習法」(Learning Cycle)。這是以實驗或現象來引導學生的注意、觀察與思考(Exploration)，接著由老師介紹必要的概念和關鍵名詞來詮釋(Term Introduction)，最後為擴充應用這些新的觀念來解決周遭一些新問題(Concept Application)。

## 一、前言—實驗的內涵與中小學物理課程的發展

### (I) 實驗的內涵：

大多數人都相信物理和化學，是門實驗的科學，而實驗即是觀察、測量、記錄、分析…等操作活動。透過實驗可開拓諸多新思想、新觀點，如法拉第(Faraday)從無數次的實驗中找出電與磁的交互作用關係；普朗克(Planck)分析黑體輻射實驗，提出能量的不連續性而開創了本世紀的量子世界，…等等。

另一方面也惟有透過實驗方可檢視何種自然現象的理論、思惟為可靠正確的。當愛因斯坦(Einstein)於 1911 年提出等效原理，並說明光線在通過強重力場時，將會受到曲折，當時並未被科學界接受和重視，直至 1919 年英國兩支天文觀測隊，發現在日蝕時，遠方恒星通過太陽抵達地球的影像，的確與昔日在黑夜時觀測到此恒星的位置不同，其偏移值更與預測值幾乎完全吻合，此時廣義相對論，遂被科學界視為重要突破與成就，英國皇家科學學會會長湯姆遜(Thomson)並稱相對論為「人類思想史上最偉大的成就之一」，愛因斯坦也因而成為家喻戶曉的人物。另在 1987 年左右，為統合自然界的四大作用力所提出的「弦論(String Theory)」，獲得了不少理論上的成果，如日中天，倍受寵愛，許多理論學者更全心投入，蔚為風潮。當時楊振寧曾提出警語：「一門新的理論，若不能化為實驗，並經實驗驗證，將易很快萎縮。」，後來由於弦論無法提供一些可被目前驗證的實驗和現象，大約兩三年後，慢慢地熱潮便褪去，而漸轉移至去探討有較多實驗結果，但而尚未被解決的高溫超導理論。

實驗它可發現原理，它可驗證理論，它提供預測的基礎，它揭示觀念的實在內涵，它是科學活動的廣大園地，亦是科學的主要本質。「實驗在物理及化學觀念上的領悟與發展，至為重要」[1]，美數學與哲學家懷海德(Whitehead)亦言：「一種科學教育的特點應該是：它的思想以直接觀察為基礎。」[2]，在觀察現象時學生的第一印象形成，在操作實驗時學生的觀念得到落實、掌握。「對於運用實驗室，發現和解決正待努力解決問題的學生來說，即使這些問題的答案，是一些其他的人——老師或其他的學生——所知道的，這種實驗工作也是一種真正的實驗。對於學生來說，這種實驗經驗就是一種研究。」[2]

誠然，科學的另一重要層面為原理背後，清晰、嚴謹、有效，具抽象性和廣義化的數學方法，因藉此可以擴大科學的領域和達到更高度的成果。伽利略(Galileo)說：「描述大自然的語言即是數學」，但在使用語言去描述時，我們是否該先知道我們想去描述些什麼？這大自然有些什麼現象可被描述？譬如，若沒有原子的光譜數據和拉塞福(Rutherford)發現原子核的存在，波爾(Bohr)如何提出他的穩定態與躍遷的理論，又如何繼之而有運算子與固有值的數學方法被正確的引入，建立了相當數學化的量子力學。科學發展史上，許多觀念來自實驗與現象，在化學上尤其如此，縱使諸多原理，經過數學抽象演譯和推論，最後仍須回歸實驗。實驗、觀察和現象是科學的基石，是科學活動的第一層次，亦是最重要的範疇。

## (II) 中小學物理課程的發展：

不僅是如此，實驗更是科學知識最具體的呈現。教育心理學家皮亞傑(Piaget)，將人認知發展的結構，從出生至 14 歲，劃分成四個階段：感覺動作期、前運思期、具體運思期和形成運思期，這亦顯示欲進入形式或抽象思考時，必先經過具體實物的操作、感受和經驗。而皮亞傑的看法早已被科學教育人士廣泛的接受、採納，並在六〇年代於美國掀起了中小學科學教育和課程的改革。

在小學方面，有三個較受國內重視的新教學課程（含理念、內容及方法）。第一個

是**程序漸近似的科學課程**(Science-A Process Approach, SAPA, 1962-1971)[3]，這是根據美行為學派心理學家**蓋聶**(R.Gagne)學習階層的教學理論：認為兒童要達成預期的終點行為，必須先要完成其起點行為，因此兒童若要達成複雜性較高的終點行為，他必須先要把達成終點行為的附屬行為一一做到。故主張兒童應在教師有計劃的引領下，循著適當的順序，進行接受學習。此課程認為：明白人們對世界以科學趨近處理所獲得的知識，在每位孩童教育中，具相當的重要性。而孩童們即是**藉著在學習科學概念時所使用的科學程序，來獲得此種了解**。當學習去做科學專業者所做的事，兒童們即開始高度參與並使用了科學程序。**SAPA** 把這些科學過程分為八項基本技能：觀察、使用時空關係、分類、應用數字、測量、傳達、預測與推論(Observing, Using Space-Time Relationships, Classifying, Using Numbers, Measuring, Communicating, Predicting and Inferring)，及五項統合技能：控制變數、詮釋數據、形成假說、操作定義與實驗(Controling Variables, Interpreting Data, Formulating Hypotheses, Defining Operationally and Experimenting)。SAPA 認為科學的閱讀的能力並非如傳統課程般的重要，所以科學的探討可以早自幼稚園時期即開始，教學的成功並非依賴閱讀的技巧，而是在使用科學程序的能力。**SAPA 的目標是協助和培備每位小孩在科學程序上的基本技能**，透過老師們的教學，旨在提供學童們機會，去學習定義和解決問題的方法。此課程逐步帶領孩童，在細心規劃的教學內容上，讓學童學習到許多重要的科學技能，但難免無法兼顧到如何去啟發兒童與兒童的個別差異性。

第二種全然不同的科學課程為**初等科學學習**(Elementary Science Study, ESS, 1962-1973)[4]，這是受美心理學家**布魯納**(J. Bruner) 探討式（或發現式）教學(Discovery Learning) 理論的影響，認為**小學科學教育應以兒童的內在動機(如好奇心)為基礎，來喚起兒童對科學活動的興趣**，而不應以背誦零碎的科學知識為目的。鼓勵孩子去檢視、分析和了解環繞著他們的世界，並激發他們渴望繼續如此。ESS 認為這些工作的執行不應該嘗試去將所有的小孩變為科學工作者，而是應去提昇他們的科學素養與心智上的好奇心。透過無言的實驗裝置與圖畫性或口頭上的說詞，讓學生們能訴諸於所有傳統的、理性的、直覺的和頑皮的各種感受、想像及本能來學習。ESS 共設計了 56 個有趣的學習單元，一開頭即讓兒童自己進行試驗、探索和尋找解決問題的方法而非以基本科學原理的討論來開始。故 ESS 主張老師採用個別化教學，讓每個兒童自己做、自己學，並以自己的速度進行活動。此課程重現培養兒童的創造力，但費時過多、進行緩慢。而目前能兼具 ESS 探討式啟發教學的精神，及 SAPA 科學過程技能培養的理念，則是由美加州大學所發展的**科學課程改進計劃**(Science Curriculum Improvement Study, SCIS, 1962-1973) [5]。

SCIS 計劃主持人**凱普拉斯**(R.Karplus)任教於加大物理系，並曾赴瑞士皮亞傑研究中心進修一年。此課程建基於：現代科學家所具的科學結構，是與兒童心智成長的近代自然觀一致的觀點上。是以 SCIS 所含之單元皆源自以科學家的觀念為探討對象，來激發學童，並藉此立下關鍵性的科學概念。每個小孩的國小階段便是他持續對這世界的探討，與發展他有信心地擁有自我理念的轉換期。在此階段藉著大量的實驗室經驗，協助他以合理的方法把科學概念與真實世界聯繫起來，當這小孩長大時，連續地持有此洞察、詮釋力，將可不斷地督促他，去更新與校正他對周遭世界的觀點。SCIS

提供的科學概念是與小孩的心智成長、發展抽象程度的階段相吻合的，藉著與自然象的直接接觸、觀察，孩童們自己去搜尋、累積和供應可提升抽象化次的層背景資訊。為達成此步驟，有三種不同的學習層次被發展出。初探(Exploration)層次：藉著材料與裝備提供給孩童各種不同的經驗；發現(Invention)層次：介紹一些新觀念以協助孩童從他們的初探經驗中導得一些意義；深究(Discovery)層次：孩童學習這些觀念的擴充和應用。老師所處的角色，一方面是傾聽和注意學童們，在探討時，進展情形的**觀察者**，一方面也是引領學童去看到他們的摸索，與重要的科學觀念之間，相互關係的**導引者**。這種學習方式與教學理念，即是本文第二章後的討論主題。

在中學部分，課程的理念大致上與前面所述三者接近，但開始重視傳遞較多的科學概念與知識。如國中的**中級科學課程學習**(Intermediate Science Curriculum Study, ISCS,1969) [6]，以個別學生的興趣、能力與背景來調整授課的步調和程度，並認為學生應該獨立地、按照自己的狀況來從事大部分學習工作，老師主要是處於顧問的角色—提示思路、回答問題、修正迷思、擴充觀念。**這些與 ESS 的探討式教學相當類似**。國一時以「能量、它的形式與特徵」和「測量及操作型定義」為主題，國二以「物質及其組成」和「模型建立」為主題，國三則將所學應用在生物、地球及太空科學上。在材料上分為核心必修部分及輔助選修部分，以加強能力較高的學生或補救背景知識有所不足的學生。另一國中科學課程為**物理科學概論**(Introductory Physical Science, IPS, 1963-1969) [7]，是為期一年給國中高年級使用的。除包括物理科學的初階知識，並提供獲得科學知識方法的內涵，此課程主在強調物質與原子模型發展的學習。**實驗是此課程的中心部份，並含在教科書內，許多儀器經特別的規劃，使得能在一般教室的講台上示範使用。**

在高中課程方面，主要有**物理科學研習委員**(Physical Science Study Committee, PSSC1956-1968)。過去的教材多重物理的應用與事實的組合，而 PSSC 是著重於物理的本質與思考過程，此課程花費甚多時間，從事以故事型態來貫穿物理的工作，並藉此闡述諸多事實如何緊密關聯。實驗被視為與教科書具同等的重要性，而課堂討論與影片使用，則是學習與教授的方法。最特別的是，PSSC 找到許多優秀的編著，編出上百種單元教材與教學影片，有偏重歷史發展、有偏重數學，也有偏重於應用，生動有趣，並以古典物理為中心，不因時代的變遷而過時，至今仍有教學應用價值。接著為**物理課程計劃**(Project Physics Course. PPC,1965-1969)，除描述近代科學觀念的發展，促成關鍵性貢獻者的工作，亦敘及物理與科技和人文的交互關係。PPC 與 PSSC 共同的特色均是**重視如何幫助學生了解物理的概念**，而不是去記一些數字或公式。在化學課程上則為**化學教材研究**(Chemical Educational Material Study, CHEM, 1960-1975)，以原子模型做為思考化學物質特性的基礎，以週期表做為連接化學物質間的骨架，以化學鍵和動力論來研討化學現象。不強記化學公式與事實，**以操作化學實驗來支持化學理論，以化學理論來說明化學現象**。注重建立一種正確的科學精神，對規律性之尋求，模型之建立，均詳述其推導過程。是六、七〇年代最佳的化學教本。最近則加強化學與生活和環境關係的內容。

## 二、背景—循環學習法的形成

由以上討論，可知近三十年來的科學課程，已一致著重在科學的思考程序、實驗的運用操作、與探討式的啟發教學。由於 SCIS 所引入的初探—發現—深究的學習法，在教法上清晰簡明，頗易執行，在內容上以實驗出發，現象帶領，能符合各年齡階層初探學子的認知情況，並易提起學習動機與興趣，且在活動程序上，又常與科學概念的發展過程極為接近，所以底下我們將特別地加以介紹、討論〔8〕。

當凱普拉斯於 1957 年，接受他小學二年級的女兒邀請，到她班上給個有關產生電荷儀器的演講，事後他與班上的小孩都覺得該次訪問非常愉快，接著幾個月，他又給了些有關電與磁的演講，並擴及至國中部分。很快地，凱普拉斯有了欲將其理念發展成小學科學課程的想法，後至瑞士研究了一年多的發展心理，於 1962 年與伊利諾大學教育訪問學者亞特丁(M. Atkin)，在加大建立了引導發現(Guided Discovery)教學理論〔9〕，這種設計是與昔日科學家們發現自然界新觀點的方法相類似，在論文中他倆以古人對太陽或行星運動的觀察與解釋為例：於最初觀察時期，地球是太陽系的中心為一觀念的發現，而以太陽為系統之中心的觀念則是另一種新發現，藉此新觀念的發現，人們就可進一步去探究導至地球中心或太陽中心學說之其他新現象，若此種嘗試成功或發現與新觀測一致的話，則原先的觀念就得到再確認且更精緻，若不成功的話，表示在某些情況，原先的觀念有其限制，而須被取代。

亞特丁與凱普拉斯很清楚地分辨出新觀念的起初引入（稱做“發現(Invention)”）與接下的驗證或擴充（稱做“探究”(Discovery)）之差別。由於孩童們通常無法發現當代的科學概念，所以老師們適時的介紹某些科學概念是必須的，但須確信在引用了這些概念後，學生們先前的一些觀察可被詮釋，更進一步老師應為學生找到機會，去探索到新的觀察，且可使用所介紹的概念來解釋。他倆並試以文藝復興時期，信奉哥白尼的人士為老師，用太陽為中心的學說教導學生，而當時社會上幾乎每個人均認為或知道，地球才是中心的事實為例，來呈現他倆的理念。雖然 exploration 與 learning cycle 並未出現在 1962 年之論文上，但 invention 與 discovery 的名詞與層次，已明顯地出現在他們的討論和教學例子上了。

同年夏天，凱普斯接受教育部小學課程研究會之邀，赴馬利蘭州參與 SCIS 之召集工作，在那他更清楚明白，孩童需要時間，用他們自己的步調和他們自己的先前概念來探討實驗系統，只有在這先期的摸索與探討(exploration)之後，再介紹稍多的分析觀點，方是明智之舉。於 1967 年，教學的三段層次第一次被言及：初探、發現與深究(Preliminary Exploration, Invention and Discovery)[10]。

而學習環或循環學習法(Learning Cycle)，則是於 1970 年首次出現在 SCIS 課程的教師手冊內。初探、發現與深究及循環習法被凱氏持續引用到 1975 年，但顯然欲在課堂上區分「發現」與「深究」，此二名詞的區別，對許多老師而言常有困難。故 1977 年起，凱氏決定使用初探，概念介紹與概念應用(Exploration, Concept Introduction and Concept Application), Renner, Abraham 與 Birnie 於 1985 年稱此三層次為

Exploration-Conceptual Invention-Expansion，次年再用 Exploration -Conceptual Invention- Conceptual Expansion,而後 Larson 於 1988 年使用**初探—術詞介紹—概念應用**(Exploration-Term Introduction-Concept Application) [11]，所以如此稱呼，是由於一般定義概念(concept)為一種心智形象，並由一群字語、術詞(term)來描述，故概念應是心智圖象加上術詞。術詞可由老師介紹引入，但學生們必須自己去察覺或體會其心智圖象，故在第二層次使用「術詞介紹」比「概念介紹」較能達意。

### 三、方法—實驗教學法或循環學習法的介紹

在科學教育上，教學方法大致被分為兩種，一為**直述式教學法**(Dictation)：將科學概念和原理，直接灌輸給學生之傳統教學法。二為**探討式教學法**(Inquiry)：建立在發現之上，學生要像專業科學家一樣，用科學方法去探討問題。或於其下再細分為發現式探討教學、理性式探討教學和實驗式探討教學(Inquiry by Discovery, Rational Inquiry, and Inquiry by Experimentation) [ 12 ]。而所謂發現，就是一種特殊設計的學習活動，使學生能在適當的學習情境中，運用其心智，以發現新的概念或原理。有時「探討」與「發現」常不作區別。循環學習法不以老師講述來灌輸科學觀念，而以實驗帶領學生，去發現現象、探討問題，自然是屬於探討式教學法的一種。由於每當欲向學生引進重要的科學概念時，均以此三段層次，逐步牽引，當學生完成一新概念的學習時，再以相同的三段層次法，去學習下一個新概念，如此一步步地，擴充循環下去，為自己建立起完整的科學思想架構，故謂之**循環學習法**。又由於在初探層面中，是以操作實驗、觀察現象為主，在術詞介紹層面則是欲給此實驗結果合理詮釋，而在概念應用層面上，則為擴充此觀念於其他的實驗或可觀察的現象上。全部層面都以實驗和現象為其導源、基礎、主幹與依歸，故且以**實驗教學法**(Inquiry by Experimentation)名之。

**初探—實驗教學法**的第一個層次：在此層面中，學生藉著對新的情況下所引起的反應來學習，並在最少的指導下，探討新的材料與新的觀念。在摸索或操作當中，要讓他們體會一些新經驗，**一些無法引用他們過去慣常使用的思考方法所可解決的問題或困惑**，另外此活動還要導向對現象中規律性圖像的辨認。

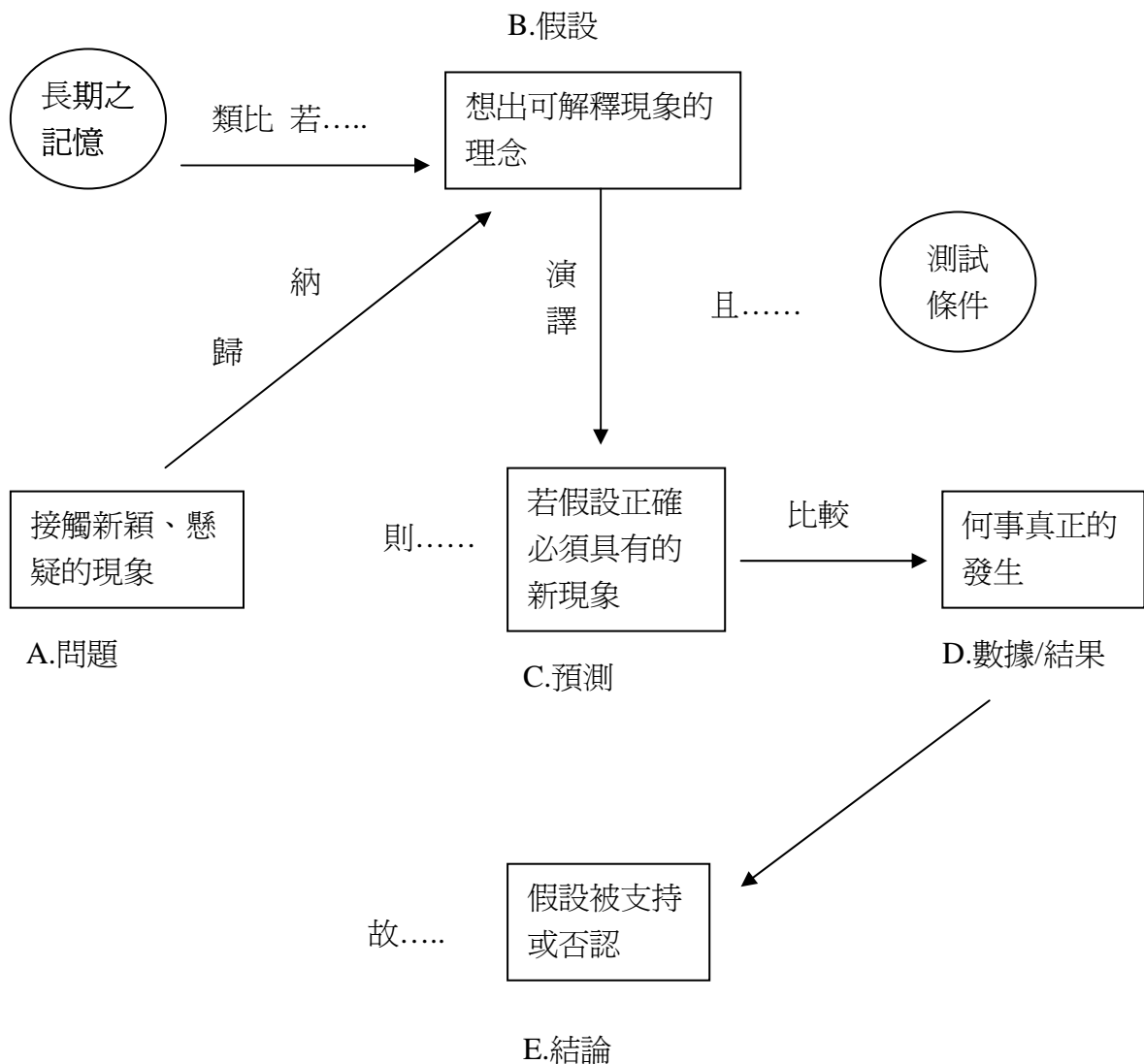
**術詞介紹—實驗教學法**的第二個層次：在此層次中，引進一些新名詞，如氣壓、分子模型、焦距…等等，**一些可用來詮釋或直接聯繫在初探層次中所發現的圖像模式**。此術詞可經老師、教科書、影片或其他媒體來介紹。在此專門術詞被介紹給班上前，學生們應受鼓勵，儘可能多去辨認或形成圖像，但期待學生們能發現出所有複雜的科學圖像，則是不夠切實的。

**概念應用—實驗教學法**的第三個層次：最後學生應用新的術詞或思考圖像到更多的例子上，這是擴大學生利用新觀念能力所必要的。**若無各式各樣的應用，這些概念可能仍滯留或被限制在當初所定義或討論的例子上**，多數的學生因此無法從具體的例

子加以抽象，並推廣至其餘狀況。應用的活動可協助那些概念組織力較慢的學生，或未能將老師最初的解釋與他們自己的經驗做適當和充分銜接的學生。

以上每個層次又要以何種格式來實行呢？由於初探層次最適於用在探討自然和發現其規律形式，對中學生而言，**實驗操作**已被顯示是最有效的。**術詞介紹**層次主在討論數據，釐清思考模式，並給予名稱，而**全班共同的討論**則為**最佳方法**。**概念應用**層次則最適於擴充、回顧、再建、加強和應用觀念，由於其角色多樣化，故如**實驗、指定閱讀、示範、與解題……**等，均可被使用。

科學教育不在培養人去記憶、覆誦，而主在讓我們去形成和使用前人有用和有效的科學觀念與思考方法。認知學者將概念的**形成與改變**，曾以下圖一來表示：



圖一 概念的形成與轉變之示意圖

圖中的框框表示各種概念性或描述性之知識，如問題、假設、預測、結果與結論，而框與框間之箭頭表示各種程序，如類比、演譯、歸納與推論。

底下我們將以兩個例子—透鏡的焦距與瓶內水面之上升，來示範實驗教學法如何進行，並與概念形成之示意圖加以對照。

## 四、範例—實驗教學法的進行

### (I) 描述式的循環學習法 (Descriptive Learning Cycle) :

學生們發現並描述，在一特定範圍內的經驗圖象(初探)，接著老師則賦予名稱(術詞介紹)，然後這圖象再在其他的範圍上被檢驗(概念應用)。此型態的教學法，師生只去描述他們所觀察的東西，而不試著去解釋觀察。旨在回答“何物”的問題，而不提出“為什麼”的因果性問題。茲以**透鏡實驗**為例。

#### 初探：

1. 發給每組學生一個透鏡與一張白色卡片，告訴他們儘可能去找出任何有關該片透鏡的特徵，並操作和記錄他們認為重要之測量。學生們一般會去測量透鏡之直徑和厚度，並發現中央部分為最厚。
2. 當再發給一小燈泡時，學生發現燈泡可經過透鏡，在另一端於白卡上形成一亮點(影像)。
3. 當燈泡被漸移近透鏡時，卡片上之影像將逐漸消失，亦即不論學生如何移動卡片，均無法尋找到燈泡之像。此時學生若從卡片這端，經過透鏡去觀察，將會發現燈泡看起來變大了。而這提供了老師介紹“放大”(magnification) 這名詞的機會。
4. 當燈泡稍遠離透鏡時，白卡只可能在一特定地方形成清晰影像。並且當遠離某一段距離後，不論燈泡再如何往後移動，透鏡與有影像之卡片間的距離，不再改變。

#### 術詞介紹：

1. 讓各組學生，將成像時燈泡與透鏡間之距離物(物距)和透鏡與卡片間之距離(像距)列在黑板上。不久，只要學生們的數據完全，學生們將會同意(或老師可給予提示)，當物距變得很大時，像距將仍維持一固定值。老師這時便可介紹謂此固定像距即為此透鏡之焦距。
2. 在初探步驟3中，眼睛透過透鏡看到之燈泡，並非真正的燈泡，謂之**虛像**(virtual



image), 虛像的高度與實物(燈泡)的高度比值, 謂之放大率 (magnification ratio)。

3. 教科書上常述: 當物距無限大(infinitely great) 時, 當時之像距謂之此鏡之焦距。老師應告知學, 無限大表示很大、漸大, 而非真有一處為無限大, 且無限是個不定之詞。

## 概念應用:

1. 當燈泡移向透鏡多近時, 像距將開始改變?

學生可由收集之資料, 或列在黑板上各組之數據, 回答此問題, 並得知當像距開始改變時, 此時之物距, 即對應一般教科書所言之無限大值, (當然不同之透鏡, 此無限大之物距自亦不同)。由於是以明確的數值來回答, 學生們較易感受焦距的意義。同時, 對實驗數據之討論, 以該數據支持結論, 並從其中感受論證之本質, 要遠比結論本身來得重要。

事實上此問題只是回顧焦距之定義, 但利用此問題和討論, 一些已明白其意義的同學, 可充當小老師, 教導另一些似懂而尚未全懂的同學, 如此大量增加了可使用的老師, 對授課者與全班的學習效率, 均是有益的。

2. 厚與薄透鏡與其焦距, 有何關係?

若學生只有同類型之數個透鏡, 則他們可試著將兩透鏡以膠帶聯接起來, 並定性地可發現, 當合起來之透鏡, 增加了其厚度, 則焦距將變短。

很明顯地, 教學法可以且應該往前邁出此描述型式, 一旦學生開始使用光線繪圖模型, 來解釋他們的觀察現象時, 則教學法將進入如下所述之另一型態。

## (II) 經驗類比舉證式之循環學習法 (Empirical-Abductive Learning Cycle):

學生們依然去發現和描述, 在某一特定範圍內之經驗圖像(初探), 但進一步提出該圖像的可能成因, 這需要使用類比推理或舉例證明, 將過去從其他方面所習得之術詞或概念, 轉用到眼前的新範圍上(術詞介紹), 此術詞可由學生、老師或二者引入。在老師的引導下, 學生們將這自實驗數據所篩選出之假設, 檢視其是否與其他已知的現象符合(概念應用)。雖在初探層次仍為描述型態, 但比種教法進一步以類比推測原因並開始測試、檢驗此成因, 故謂之經驗類比式的實驗教學法。茲以瓶內水面為何上升之實驗為例。

### 初探:

1. 在一平底之水槽上, 置放一燃燒中之蠟燭, 然後手持一瓶口朝下之圓柱瓶, 將蠟燭覆蓋起來, 此時蠟燭將漸熄滅, 不久後, 瓶內之水會迅速升起。老師此時可

問：為何火焰會熄滅？為何水會上升？學生們經過思考後，大致可獲得如此答案：**由於瓶內助燃物—氧氣用盡**，所以火焰會熄，同時**水上升以取代瓶內消失的氧氣**。有些學生還會進一步說水大約會上升至 1/5 的高度處，因氧氣占空空气中的 1/5。但這個廣泛普遍的答案是否正確呢？如果正確則將可預測：**即使改變瓶內燃燒中蠟燭之個數，並不會改變水面上升之高度**。譬如說三隻燃燒之蠟燭，僅會較快用盡瓶內之氧氣，所以火焰將較快熄滅，但因並無用盡更多的氧氣，所以水面上即升之高度依舊。

2. 接著即可讓學生們進行此實驗，並報告其結果。而令他們驚奇的是：結果顯示**水位將因燃燒蠟燭的個數而有所不同**。因此他們的假設顯然有誤。此時老師該強調必須有另一解釋，並叫他們提出。若學生們無法想出，可讓他們當做家庭作業，再想想。
3. 若不久後，有學生的確提出底下答案：**空氣因燃燒受熱，跑出瓶外**。但勿馬上告知這為正確答案，而是將它視為另一有待檢驗的假說。並問學生該如何測試此假說。其測試法將為：**當將瓶蓋上時，可見到少許氣泡由瓶口跑出**。同時，若燃燒的蠟燭個數愈多，可加熱更多的空氣，跑出之氣泡也愈多。（因此，當蠟燭熄滅不久後，瓶內空氣溫度下降，壓力亦相對下降，水遂受外界大氣壓，被推向瓶內。）
4. 若學生仍然無法提出此正確答案，則老師必須自己提出，但一樣該確定不應讓學生感覺這是個正確答案，且仍必須等待檢驗。只有在所收集的新實驗數據或現象與所預測者一致時，方可做答案是正確的結論，如：有氣泡；水只在瓶內空氣冷卻後，方會上升；愈多燃燒的蠟燭，水上升愈高。

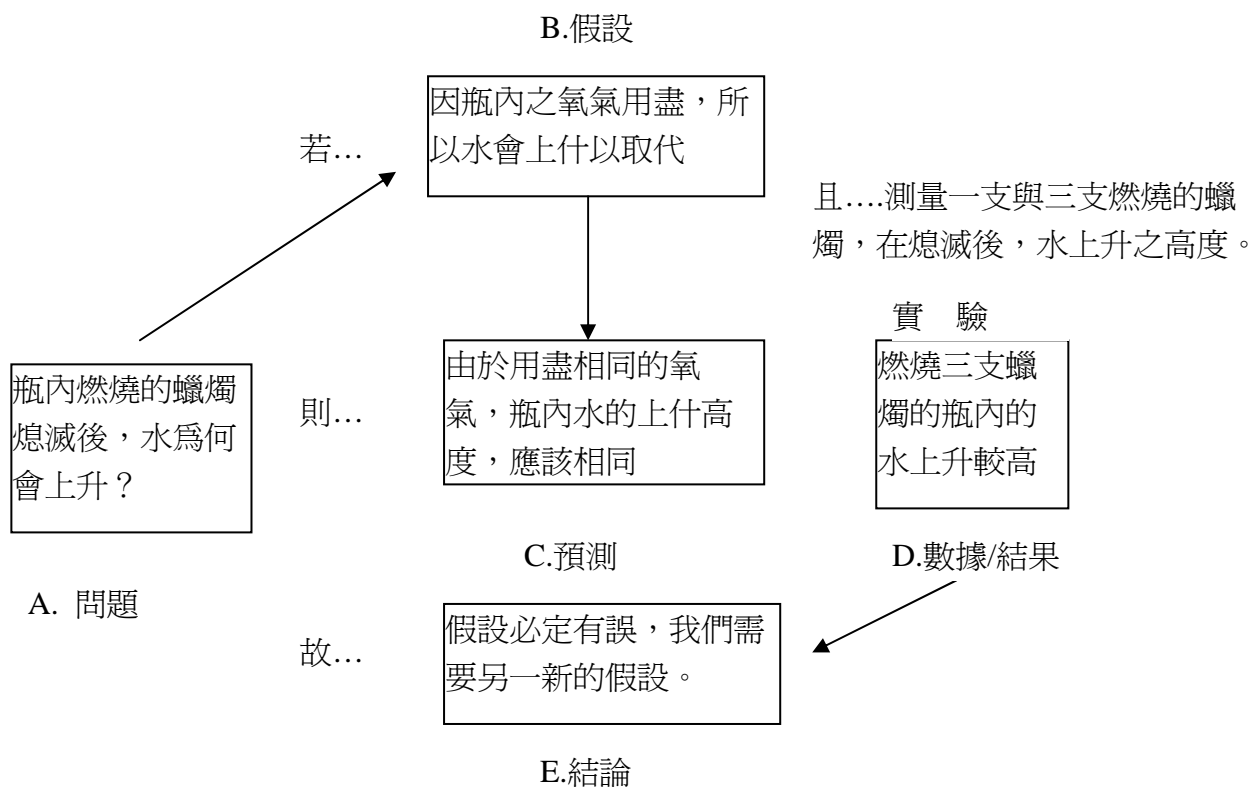
## 術詞介紹：

在以上新的實驗測試數據被收集後，我們則可介紹專有名詞：**氣壓**(air pressure) 或**氣體之分子模型**(molecular model of gases)：空氣或氣體，不論在瓶內或瓶外，所以會有壓力性質，是因氣體由其組成成分的諸微小粒子的運動，並在撞擊器壁，界面或儀器時所造成。溫度愈高，粒子運動愈快，壓力遂愈大；同樣若溫度相同時，粒子數愈多，壓力也愈大。

## 概念應用：

1. 將一煮熟去殼的雞蛋，置於一瓶內盛有熱水的瓶口上，而**瓶口之直徑稍小於雞蛋**。待數分鐘，瓶內的水溫降低後，**雞蛋會掉入瓶內**，為何？
2. 私下取一鋁製空可樂罐，盛水少許，加熱後將罐口密封，然後拿出至桌上讓學生們均可見到。不久後，**此可樂罐卻自動地往內擠壓**。讓學生應用氣壓與氣體分子模型，解釋此現象。

茲將以上之實驗，以概念建立之思考模式圖二 來表示：



圖二 概念改變的思考模式圖，以「瓶內水為何會上升？」為例

在實驗教學法提出後，雷勒(Renner)等人曾對大一主修物理的學生做了調查，並有底下結論[13]。

1. 在學生們從自己的實驗得到數據之前，他們並不喜歡討論物理觀念。
2. 學生們相信，如果他們先使用實驗儀器取得數據，而後討論數據的意義，並再有了擴充概念的經驗後，將可較容易學習到更多的物理內容。
3. 當多數的學生抵達至形式抽象階段時，他們即可從老師的教導獲得益處，縱使該教學內容並未在實驗的初探層次教過。
4. 當建立概念時的主要來源，不是來自學生從實驗室得來的數據，而是用讀或被告知的方式來取代實驗經驗，學生們並不喜歡如此，且很快地就變得乏味無聊。

由此可知，**實驗或現象不僅是概念建立的骨架，亦是引起學生興趣與動機不可或缺的主要因素。**

## 五、討論－實驗教學法是否可行

接觸一些實習老師，並與其討論實驗教學法後，最易感到他們對實驗教學，耗時較多且不易配合升學考試成效上之質疑。

**問：實驗教學法花如此多的時間在實驗上：在討論上來建立概念，那還有多餘的時間去涵蓋教科書上每個觀念，並再演練題目？**

**答：**凡接觸物理稍久的人，均可感到**物理裡重要的、有用的東西，常是那些最常用的觀念和基本原理**，所以若學生在第一次接觸此重要的觀念與原理時，是以最具體的實驗與有意義的概念建立模式來進行，除讓學生有深刻長遠的印象外，更奠定了他們良好的深厚基礎。老師們教了數年之後，大多會覺得，**傳遞巨量的科學知識，並無法讓學生清楚明白與掌握住該學科的主題與最重要、有用的原理**，此時，當會有所選材，將多數的時間用最好的教法，一步步地幫忙學生建立這些最主要的科學概念。

譬如，我們不會太著重滑輪與斜面的問題，而會多注意動能－位能守恆定律的應用，同時，也會去交待此定律的來源與功能定理的關係。又如，在演練許多化學計量的計算問題前，我們不會說亞佛加厥常數  $6 \times 10^{23}$  為一任意規定的數值，而莫耳則是人為設定的有用觀念，我們會慢慢地花較多時間來介紹莫耳的來源，及其與質子質量  $1.67 \times 10^{-24}$  克的關係。試想若學生無法感受到這些觀念的實際意義，他們會如何看待化學計量？

最近建構主義學者，亦指出一般數理教科書常見的缺失為[14]：教材內容涵蓋的範圍廣泛，但流於簡淺，未以有助真正理解的方式詳加介紹。這遂鼓勵了學生以背誦事實和字彙來學習科學。同時他們還提供了有效應用教科書的原理：**專注在幾個重大的議題**；提出問題用以引發學生去思考；製造出概念衝突；有重覆的機會應用課本上的概念來解釋真實世界的真象。在在都與實驗教學法吻合、類似。

是以**教科書內的諸多概念，有輕重之分**，老師們是要以相同的時間，平均分配在每個概念上，抑或花較多的時間強調較重要的觀念，並賦與學生們良好的機會去觀察、思考和分析，以達成重要概念的真正建立？

**問：實驗教學法執行完後，演練題目的時間被剝奪，如何能在入學考試與人競爭？**

**答：**題目的確需要演練，且這也是實驗教學法中觀念應用層次的工作，但是否只要多求題目的熟練，而少注意甚或忽略觀念建立之基礎，如初探與術詞介紹的兩層次，即可在入學考試取得較好的成績呢？許多美國研究報告顯示，採用探討式教手法所培養的學生，與那些經傳統直述灌輸式教學法所培養的學生，成就並無兩樣，但在科學態度與方法上的成就，則遠超過傳統教學法下的學生們[15]。當老師全心全力將大多數時間，來培養學生演練參考書和測驗卷上的題目時，是否相信還有其他在考試上顯得一樣有效、有成果的教學法，並又能讓學生在潛移默化中，建立起更完整的思考方式與判斷能力呢？

不論是高中或大學聯考的題目，均是由投入科學研究工作十數年以上的大學老師們參與，他們會去考驗考生們了解與掌握重要原理的分析能力與深度，抑或去觀看他們是否記得教科書上所言的諸多細節？他們會以自己的經驗，設計出可為考生接受處理的有觀念、有意義的題目，還是會由坊間的參考書來帶領他命題呢？78 年度北區五專招化學考題，經統計結果，每道題均有 30% 以上的考生答對 [16]，所以真的有冷僻、生澀的考題嗎？而實驗教學法下的學生，對重要概念經過循環學習法的建立後，在分析、判斷與思考能力的深度上，與傳統直述演練式培養出的學生，會有些什麼差異呢？何者會在聯考競賽上取得優勢呢？

## 六、結論－實驗教學法的回顧

我們相信教育系統應該協助學生

1. 取得一套有意義、有用的概念或觀念系統。
2. 發展能導向有獨立、創見、深刻思想的思考模式與技能。
3. 獲得應用知識去自我學習、解決問題與從事理性判斷諸能力的信心。

而許多理論已顯示，最合適且可能是唯一的方法，來達成以上目標的教學方法，便是允許學生去表示或流露他們先前的概念，並在全班以驗證為焦點的氣氛下，公開自由地來述說、辯論、和檢驗。而正確地使用實驗教學法可讓這些發生。現簡短地將其理論總結於下：

1. 不論孩童抑或成人，均是由自己親自來建立有關對自然現象的了解與信念，而其中有些是與目前被接受的科學理論相異的。
2. 這些不同的想法或迷思，是對獲得有效科學信念（或概念）的障礙。
3. 欲取代這些迷思，須將學生置於他的信念與科學概念不一致的情境下，以引起**認知衝突(cognitive conflict)**或**不平衡(non-equilibrium)**的心智狀態。
4. 思考技能(thinking skill)的改善，在於能讓學生描述他的信念，並能參與檢驗和**尋找解決其矛盾錯誤的證據**，這可讓他面對原先信念的合理性。
5. 實驗教學法是一種包含**初探、術詞介紹與概念應用**三種層次的教學法。
6. 實驗教學法的使用可提供學生，**流露自己的想法**，並去**討論和測試**的機會，而在不平衡的情境下，發展了更合適的概念與思考模式。
7. **描述式的實驗教學法**，是讓學生去觀察世界的一小部分，發現圖像，加以命名，並試在他處尋得此圖像。通常只需要描述的思考技能即可。

8. **經驗類比（舉證）式的實驗教學法**，需要學生描述和詮釋現象，故允許不同的概念，論證與失衡情境出現，且會有較高思考技能的發展。

茲再佐以近來頗受重視的建構主義之教學策略，以供相互參照：「對於中小學階段自然科學的教學，其重點已由以往強調知識的灌輸和科學家獲得知識的方法，轉變為如何協助達成概念的改變。強調學生在學習過程中對於知識獲得，探討方法之**不斷地重組、修正和調適**，以及概念與探討過程間的互動。」[17]

實驗教學法比起傳統式教學法，有甚多優點，尤其當思考技能被認為是一重要目標時。科技工作者均深知從業人員最重要的不是記憶，而是如何活用概念，把握要點，洞察現象與預測未知。而許多研究顯示此種思考方式與技能，在中學與大學裡，有很大部分的學生，相當薄弱[8]。為讓學生不僅於聯考時，能適當地發揮，且在投入大量的時間後，能真正習得**探討科學的方式、正確概念的建立與獨立思考的信心**，實驗教學法，似乎值得在科學課堂上廣泛地被推廣實施。

本文的完成，得感激本系陳文典教授，在教材與教學上的帶領、協助與指導，也謝謝本校科教所李田英教授，提供重要的資料與可貴的討論。

## 參考文獻：

1. G. Bugliarello (1989) "A Project 2061 Panel Report", American Association for the Advancement of Science (AAAS), Washington D.C., PP.18.
2. 瓊斯、李查德生著，王寅卯譯，(民 57 年)，「中等學校的科學教育」，帕米爾書店，83 頁，121 頁。
3. P. Sears, (1974), "Commentary for Teachers", AAAS, Washington D.C..
4. D. Hawkins, (1970), "The ESS Reader", Education Development Center, Mass..
5. W. Jacobson and A. Kondo, (1968), "SCIS Elementary Science Source book", Science Curriculum Improvement Study, CA..
7. 楊冠政，(民 67 年)，「美國中級科學課程簡介(ISCs)」，科學教育月刊，16。
8. U. Haber-Schaim, (1969), "Introductory Physical Science (IPS)", Education Development Center, Mass.
9. A. Lawson, M. Abraham, and J. Renner, (1989), "A Theory of Instruction: Using the Learning Cycle to Teach Science Concepts and Thinking Skills", The National Association for Research in Science Teaching (NARST).

10. J. Atkin and R. Karplus, (1962), "Discovery or Invention?", *Science Teacher*, 29(5), 45.
11. R. Karplus and H. Thier, (1967), "A New Look at Elementary School Science", Rand McNally, Chicago, pp.40.
12. A. Lawson, (1988), "A Better Way to Teach Biology", *American Biology Teacher*, 50, 266-289.
13. 郭鴻銘，(民 66 年)，「概念形成的教學法」，國民小學自然科學研習教師手冊，233 頁。
14. J. Remner, M. Abraham and H. Birnie, (1985), "The Importance of the Form of Student Acquisition of Data in Physics Learning Cycles", *Journals of Research in Science Teaching*, 22, 303-325.
15. 郭重吉，(民 82 年)，「建構主義與數理課程發展」，中華民國物理教育學術研討會邀請論文，2-16 頁。
16. 卓播禮，(民 67 年)，「探討教學及創造能力的發展」，科學教育月刊，16。
17. 「國民中學科學課程評量改進計劃—理化科評量手冊」，(民 81 年)，國立台灣師範大學科學教育中心編，153 頁。
18. R. Duschl and D. Gitomer, (1991), "Epistemological Perspectives on Conceptual Change: Implications for Education Practice", *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 839-858.