

科學史在科學教學的角色與功能

許良榮 李田英

國立臺灣師範大學科學教育研究所

科學史在科學教學中具有多重的角色與功能，廣為學者所肯定（Kauffman, 1991）。Conant（1951）認為一般大眾最好以科學史的方式學習科學，以理解科學方法。Schecker（1992）指出科學史可以幫助學生知覺到自己的觀念，並提供建構新概念之學習的方法。Garrison & Lawwill（1993）則認為利用科學史，可以讓學生了解科學理論的暫時性與不確定性。Klopfer & Wastson（1957）認為科學課程加入科學史的素材，能增加學生對於科學家及其工作的興趣和鑑賞。Oldroyd（1977）也認為利用科學史教學，有下列幾項優點：(1)一般說來，科學理論的歷史發展大多相對應於該理論的邏輯結構，例如沒有原子的觀念，就不可能引介電子、質子、中子的發現；(2)由科學史可以了解科學家面對問題時的思考或實驗探究的歷程，有助於學生領悟解決問題的方法；(3)適當的科學史例子，可幫助學生領悟科學家創造的過程；(4)讓學生了解科學理論是持續的改變著，也因而使學生能開闊心胸，接受錯誤；(5)讓學生了解科學與社會之間的關係，縮小科學與人文的鴻溝。

本文旨以文獻探討，分析科學史在科學教學的多種角色，希望藉此能引起學者與大眾對於科學史的注意，並進而思考如何利用科學史於科學教學。

壹、科學史與科學、人文之鴻溝的架橋

在第一次世界大戰後，由於科學進步所帶來的傷害，使各界學者反省科學對人類的危害，1916年Livingstone即指出「科學的基本弱點是沒有告訴我們任何人文的成分」（Jenkin, 1989）。1959年C. P. Snow的「兩種文化」（Two Culture）闡明了科學與人文之間存在著鴻溝，成為兩種互不溝通的文化。趙金祁教授（民82）即指出：「史諾爵士曾大聲疾呼，現代學術文化分裂而形成科學社群與非科學社群兩大壁壘的互不溝通，甚至出現對抗傾向，勢必帶給人世間整體文化觀的異常發展，導致人類不少的災難」（第2頁）。因此，如何消弭科學與人文之間存在的鴻溝，是科學教育必需面對的問題之一。

Jenkin (1989) 指出科學史能提供人文層面的認知。Brush (1989) 認為要改變學生對科學家的觀點並了解科學也是人類的文化之一，應用科學史是一個很好的教學方法。是以科學史被賦與能提供科學與人文之橋樑的功能。在趙金祁教授主持的國科會專題研究計劃「科學與人文平衡研究規劃協調計畫」(民83)，與會人士也多次強調科學史在平衡科學與人文的重要性，如徐光台教授即指出：「科學雖是人類文明的一種特殊成就……可是，如同其他人類文化成就一般，這樣的成果所出自的歷程也不離社會與人文的活動。科學史在第二次世界大戰後崛起而成爲一門專業學科與此有關，……有識之士乃提議科學史可跨越科學家與非科學家間的鴻溝」(15頁)。此觀點如同 Shortland & Warwick (1989) 所言：生活於現今社會，要靠科學與科技之產物的運作，科學與科技已成爲文化的一部分，科學史可以提供科學在社會的角色很多新的透視，並能促使人們注意到科學——科技——社會的關係。

由科學史描述科學的發展歷程，可以讓學生了解科學包含了人文的因素，也是一種文化的產物 (Jones, 1989)，不能脫離社會、人群、宗教、政治……等等而獨立發展。例如由哥白尼的例子，說明宗教的影響；由牛頓與虎克對行星橢圓形軌道的爭議，說明科學家之間的互動以及對優先權的重視；由燃素論說明科學如同藝術也具有人類的創造力或想像力的特性。

貳、科學史與科學方法

科學課程的改革，由過去強調科學爲一個知識體，轉移到強調科學活動與探究的教學 (Hodson; 1990)。Kirschner (1992) 認爲此種轉移讓很多科學教育學者因而假定，科學知識最好經由實驗或實務活動來教，並且可以培養科學態度、過程技能、了解科學本質……等等。但是，此種教學本質上是歸納主義論者，是培根的科學方法論 (Cawthron & Rowell; 1978)，它並不能包含所有科學理論的研究歷程。歸納推論雖然重要，但是僅呈現一部分科學家的工作，並不能代表獲得新概念或知識的所有方法。

雖然強調觀察、分類、控制變因、形成假說……等等科學過程技能或強調活動本位的教學，是否會使學生成爲一個經驗論者，未必有因果關係，但是這些教學的基本假定卻明顯地屬於經驗論。例如 Nersessian (1991) 即指出在科學教育中，常強調動手操作以及活動中心的學習，通常意涵了科學方法主要是經由“歸納資料”的過程，這是一種實證論、經驗論的觀點。而這種方法學的觀念在近代科學哲學有很大的爭議。例如 Kuhn (1962) 的典範理論，以歷史觀點說明科學理論的革命是一種世界觀的改變，

Poper (1958) 的否證論更反對歸納方法的有效性，Lakatos (1970) 則以研究綱領說明科學理論的發展。

以實驗活動教授科學理論，基本上假定學生如果有了正確的資料，他們就會以蒐集的資料修正迷思概念，這種假定值得重新考慮。活動本位或重視由實驗驗證理論的教學，基本上存在的問題是經驗意涵的適切性。此問題容易導致混淆「做科學」(doing science) 與「學科學」(learning science) (Kirschner, 1992)。「做科學」強調的是科學方法的學習，例如觀察、分類、測量……等等，「學科學」強調的是科學理論或知識的建構歷程，這是兩種不同層面的學習。Kirschner (1992) 即指出強調以應用“科學過程”為科學教學的方法，並以此為學習科學的主要路徑，其基本的問題是假設科學家的探討方法或驗證一個新概念的路徑(做科學)，與學生學習科學概念(學科學)是相同的。

我們除了培養學生熟悉過程技能的操作與應用之外，也應審視強調由事實、實驗結果進行所謂“探究”的科學教學，是否也讓學生在運用或學習過程技能時，也了解在建構科學理論時這些過程技能的本質。Schecker (1992) 研究 254 名高中生對於科學方法的認知，要學生評論下列的敘述：「物理課中，經常用假設或思想實驗(thought experiment) 考慮在實際生活中不一樣的狀況，例如：沒有空氣阻力的狀況或假設有無限的直線運動」。結果有 11 % 認為這種假設沒有用，典型的回答是：「我為什麼要考慮不存在的情形？」。有超過一半的學生認為，這種方法只有對物理有用，因為物理不是處理實際的狀況。只有 25 % 的學生對於科學上的“理想狀況”能理解。

科學史的例子可以協助學生了解科學方法的本質，Garrison & Lawwill (1993) 認為如果科學教學的目標是引發學生對於科學探討之過程的理解，則科學史是科學教學的必備要素。例如由科學史的個案研究(case study) 可說明科學家在建構科學理論時，在特定的技術背景、概念架構中科學家所選擇的研究方法。如伽利略說明自由落體的思想實驗(thought experiment)，是以論證的方式說明自由落體的速度與質量無關，當時真空技術尚未發展，伽利略的推理不是以實驗數據為基礎，而是一種理性的活動(Soque, 1987)。所以科學革命有很多是數學化及分析性的過程，而不完全是以觀察為根據的經驗論觀點(Matthews, 1992)。

Carey & Smith (1993) 評論現在的科學課程指出，雖然強調實做的過程技能，有可能使學生學習到實驗的設計及操作能力，但是對於這些過程技能在建構科學知識的角色並沒有幫助，也就是沒有提供學生對於科學探討的本質的認識。換句話說，延續了

傳統上脫離情境 (context) 的處理方式，教導過程技能。Carey & Smith(1993) 強調與“情境”連結的教學，正反映了科學史所能提供的特質與功能。

參、科學史與知識的建構

Duschl (1990) 指出現今科學教育強調的是把科學當為「辯護知識」的過程，強調驗證我們已經知道的，至於科學知識如何產生，則不去注意。但是科學知識的本質包含了兩個層面：(1)視科學為「辯護知識」的過程 (justifying knowledge)：強調我們知道什麼。例如以教師講解或教科書寫明的方式，權威地認為某事是真實，或以斷言 (assertive) 的方式要學生去了解；(2)視科學為「發現知識」的過程 (discovering knowledge)：強調我們如何知道。例如解釋科學家如何得知一個科學理論，或說明某個科學理論產生的情境。

Nersessian (1991) 指出以辯護的方式描述科學事實、理論或原理，在學生已經具有正確的概念架構時是有用的，但是在概念的起始學習則會發生問題，尤其以“定義”的方式呈現科學理論，會造成如同學習語言一般，只是記憶與複誦。例如 Jung(1994) 發現很多學生以能夠用等式 (equation) 回答問題，就認為了解科學理論，此現象顯示辯護知識的教學使學生以背誦或記憶理論為滿足。

另一問題是如果沒有說明科學家是如何得知一個科學理論，或某個科學理論 (知識) 之所以產生的情境，學生可能會認為知識的成長是一個常態的、線性累積過程——一種新的事實、理論不斷加成的過程。也會讓學生認為科學家經常都會有一定的共識。如果教學生科學知識是「如何」成長，可發展學生對於「科學」的知識——科學家如何發展並說明一個科學理論，科學家又是如何思考問題 (Duschl, 1990)。

Hodson (1988) 以及 Millar & Driver (1987) 指出，科學教學以單純累積的方式介紹科學知識，會導致學生對科學有不正確而單純化的印象。Gil & Solbes (1993) 強調必須學生了解新舊典範的遷移，包含了概念及方法學的改變，唯有讓學生了解這些改變，才能真正了解科學知識的本質。

在此必須釐清的是所謂“學習科學知識”應考慮知識建構的二個不同層面，一是弱重建 (weak restructuring)，二是根本重建 (radical restructuring) (Carey, 1986 ; Duschl, 1994 ; 洪振方，民 83)。「弱重建」是指知識以舊有概念架構可以相容或相似的方式建構，類似皮亞傑的“同化”，知識建構的結果不是改變概念架構，而是內容的改變，以 Lakatos (1970) 的觀點則是“保護帶” (Protect belt) 的改

變，在 Kuhn 的觀點則是發生“科學革命”，Lakatos 的理論則是“硬核”（hard core）的改變，或是類似皮亞傑的“調整”（accommodation）（Duschl, Hamilton, & Greudy; 1990）。學生在學習科學概念時，可能發生的情形是已具有正確的概念架構，但是並不充分，此時的教學應強調「弱重建」；另一可能是學生的概念架構是不對的，或是與科學理論不相容，此時的教學應強調如何引發學生的「根本重建」。例如學生對於力與運動方向的概念常有類似於亞里士多得的衝力論（impetus theory）的迷思概念，改變此種概念就是一種「根本重建」（Carey, 1986）。在科學教育中經常強調的概念改變教學，常屬於一種知識的根本重建。由最近的文獻常可發現學生的迷思概念並不容易改變（Nersession, 1991）。

由科學史的發展可以看出，學生有很多的迷思概念與科學史是相平行的（McCloskey, 1983; Nussbaum, 1983; Clement, 1983; Driver & Easley, 1978），也有研究者指出學生科學概念的再重建與科學革命相似（Carey, 1985）。例如 Wandersee（1986）研究學生光合作用的迷思概念，發現與科學史上光合作用概念的演變有密切的關係。McDonald（1989）的研究指出兒童對於「看見」與「顏色」的概念，與科學史有平行的現象；認為眼睛放出光線而看見物體；而顏色是物體的固有性質，包覆於物體表面；並認為白光是純的、無色的光。雖然個人與歷史的知識建構是“內容”（content）或是“結構”的平行，仍有爭論（Franco & Colinvaux-De-dominguez, 1992），但是科學史可以協助學生的知識建構是可以肯定的。例如引介科學史可以幫助學生知覺到自己的概念，以提供相矛盾之新概念學習的借鏡（Schecker, 1992）。此外 Sanchez（1989）指出科學史不僅幫助我們瞭解科學概念產生的情境，也可提供我們對於科學概念的學習順序的判準。McDonald（1989）則認為科學史有助於預測學生的迷思概念，以協助教學的設計。

肆、科學史與科學教科書

教科書不僅是一種文化的傳承（Stray, 1994），也是呈現給學生科學面貌的最主要工具（Memory & Uhlhorn, 1991），對於學生的學習影響也相當重要（McKeachie, 1978）。

目前很多教科書對於科學史的應用雖然不是完全忽視，但大多數很簡略地呈現，例如科學史通常只呈現於第一章，之後就沒有再出現（Brackenridge, 1989），或是以日期及科學家名字表示某個理論的發現（Souque, 1987）。de Berg（1989）分析

澳大利亞中學理化教科書，也發現科學史被忽略了。Gil & Solbes (1993)分析西班牙42種物理教科書，發現有約90%既沒有描述古典物理的困難或危機，也沒有說明科學知識也具有非線性發展的特性，導致絕大部分的學生無法分辨古典物理、現代物理的差別何在。或是科學家被描述為孤單的天才 (Souque, 1987)。

科學史被漠視的現象，Duschl (1994)指出可能有幾個原因；一方面是1980年之前，對科學史的研究不是科學教育的主流，哈佛大學1970年發展的「Physics Project」在科學教育的地位仍落於數學導向的解題（如PSSC課程）之後。另一方面，科學史及科學哲學對於教學或學習的功能尚未明確建立，以致未能影響實際的應用（如課程設計）。de Berg (1989)認為可能是科學史的資源不足，以及科學史很少被當為分析教科書的一個特徵，以致科學史對教學的影響未被突顯。但是，如果要給學生了解什麼是科學？科學家在幹什麼？科學對人類的影響及其人文性？科學史是設計教科書不可缺少的成分。如果教科書只是單純地呈現科學假說、事實、理論的一種「最終形式」(final form)的設計，Duschl (1990)認為有以下的三個危險 (risk)：(1)簡化了科學理論的結構以及與其他理論之間的互動，使學生認為所有的科學知識或理論均有相同的角色、地位；(2)將科學理論孤立於社會、文化之外，使學生認為科學是科學家獨立運作的產物；(3)會使學生對科學的本質沒有正確的認識，誤以為所有科學的研究過程具有一致性、科學知識具有絕對性的對錯、科學知識是一種線性累積的過程……等等。

Kuhn (1962)對於科學史在教科書的角色曾提出他的看法；科學教育要教給學生的是當今的優先典範，不鼓勵學生以典範之外的方式解決問題，這種教學扭曲了科學史的本質，不過在典範的指導下學習科學，可以讓學生由範例學得解決問題的方法，否則將會傷害學生的科學發展 (Siegel, 1979)。Kuhn的觀點顯示設計教科書的兩難；一方面希望能培育從事常態科學研究的未來科學家，另一方面又希望呈現未經扭曲的科學史。

Siegel (1979)認為這是一種悲觀的看法。並以哈佛大學發展的「Project Physics」為例，說明以科學史組織一個課程，不僅可以不扭曲科學的歷史發展，也可以提供各種不同的看法、解題標準，使學生對科學的本質有更深切的認識。「Project Physics」是一種歷史取向的教科書，目的在於以歷史文化的觀點呈現物理科學的進展，除了希望增進學生的物理知識，更希望讓學生了解物理科學具有人類多面向的活動 (Brush, 1989)。該課程於1970年正式發行，研究顯示雖然在獲得物理知識方面沒有顯著差異，但是對於學生的態度有顯著的改變，學生不再認為物理很難，更願意去閱讀

它 (Welch, 1973 ; Ahlgren & Walberg, 1973) , 並且也增加學生對科學—科技—社會之互動關係的了解 (Quattropani, 1978) 。

但是科學史取向的教科書也必須考慮可能的負作用, 如 Kauffman (1991) 指出科學史可能讓學生覺得科學家是非理性的, 這對於學生不是一個好的榜樣, 若只談科學史的“光明面”, 又會扭曲了事件真相。這個問題牽涉到價值取向的哲學觀點, 而且歷史記錄的真偽與解釋也常有爭議, 恐非有論斷。科學史的取材, 有幾項策略可供選擇; 例如以個案研究的方式, 針對某個理論, 妥善地選擇科學史上, 科學家的思考、研究動機以及發生的錯誤, 經由學習心理學的過濾, 編寫內在、外在一致性 (coherence) 的課文, 以幫助學生的學習與了解 (Kenealy, 1989) 。或以歷史的對話 (dialogue) 方式, 呈現不同時代科學家對自然現象的不同觀點 (Lochhead & Dufresne, 1989) , 例如亞里士多得與牛頓的對話, 強調的是不同概念架構對自然現象的不同觀點與解釋。Stinner & Williams (1993) 則提出以故事的方式組織科學教學; 首先是選出重要的中心概念, 整理其歷史發展脈絡, 以學生能了解的層次解釋科學家的工作, 並發展一個敘述主要概念的故事, 主要概念應根據科學史的發展來描述, 但是故事細節 (如人物對話內容) 可以虛構。其他可參考 Kauffman (1991) ; Sanchez (1989) ; Wandersee (1994) 等人的設計, 本文不再贅述。

我國中學的科學教材是否適當在應用科學史, 筆者尚未進行正式的研究, 但先舉幾個例子, 希望能引起我們對於課程規畫與教材設計的一些省思。國中理化課本第二冊79頁對於伽利略自由落體的觀點, 描述為比薩斜塔的實驗證明, 在第88頁對慣性的敘述為: 「……由這樣的實驗觀察, 伽利略建立了物體有慣性的觀念。」, 這種經驗論的描述是否恰當, 值得斟酌。而在高二物理第一冊82頁卻有不同的描述, 除了說明了亞里士多得、伽利略以及牛頓對慣性的不同看法, 並且說: 「他 (伽利略) 還設想了另一組實驗來支持他的論點……」, 在此沒有用“證明”一詞而用“支持”, 並且用“設想”一詞表徵了伽利略推理方法的特性 (思想實驗) 。此外在第130頁也描述了虎克與牛頓之間對於發現行星運轉軌道為橢圓形之優先權的爭議。

對於科學史上曾流行而如今被淘汰的科學理論, 如化學的「燃素說」 (phlogiston) 、物理的「熱質說」 (caloric) 在高一基礎理化「燃素說」被省略了, 「熱質說」則被提及。到了高二化學第一冊才提到「燃素說」, 而高二物理第二冊則仍提及「熱質說」。此現象顯示化學及物理的編輯者, 對於被淘汰的科學理論有不同的處理方式。

上述的例子值得我們思考的是不同年級階層的課程設計, 除了內容或概念銜接之外,

對於科學方法之本質的基本假定是否具備了一致性？科學家之間的互動（如優先權的爭議）應於什麼年級階層開始教？不同生涯規畫的學生（一、四類組的學生不考高中物理及化學），是否應接受不同科學本質觀的教學？被淘汰的科學理論又應該如何處理？

伍、結 語

本文不在強調或討論科學史應否成爲一個科目來教，而在於論述科學史在科學教學的潛在功能以及科學史教材設計的問題。我國科學教育界對於科學史的重視，長久以來似乎不如教學理論、統計評量、認知心理學（如解題、迷思概念、認知發展）……等受重視，也未見針對教科書所包含的科學史素材是否恰當、是否影響學生或教師的科學本質觀的研究。有待我們思考的問題仍很多，謹希望這些省思能有助於科學教學與學習的提升。

參考資料

- 洪振方（民83）：從孔恩異例的認知與論證探討科學知識的重建。國立臺灣師範大學科學教育研究所博士論文。
- 趙金祁（民82）：科學理念衝擊下科學教育再出發芻議。科學教育月刊，158期，2～16頁。
- 趙金祁（民83）：科學與人文平衡研究規劃協調計畫。國科會專題研究，NSC 83-0111-S003-017。
- Ahlgren, A., & Walberg, J. (1973). Changing attitudes towards science among adolescents. *Nature*, 245, 187-190.
- Brackenridge, J. B. (1989). Education in science, history of science, and the textbook—necessary vs. sufficient conditions. *Interchange*, 20 (2), 71-80.
- Brush, S. (1989). History of science and science education. In M. Shortland & A. Warwick (eds.), *Teaching the history of science* (p. 54-66). Basil Blackwell: The British Society for the History of Science.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: Mit Press.
- Carey, S. (1986). Cognitive science and science education. *American Psychologist*, 41 (10), 1123-1130.

- Carey, S., & Smith, C. (1993). On understanding the nature of scientific knowledge. *Educational Psychologist*, 28(3), 235-251.
- Cawthorn, E. R., & Rowell, J. A. (1978). Epistemology & science education. *Studies in Science Education*, 5, 31-59.
- Clement, J. (1983). A conceptual model discussed by Galileo and used intuitively by physics students. In D. Gentner & A. Stevens (eds.), *Mental Models*. (p. 325-340). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Conant, J. B. (1951). *On understanding science: An history approach*. New York: Mentor.
- de Berg, K. C. (1989). The emergence of quantification in the pressure-volume relationship for gases: A textbook analysis. *Science Education*, 73(2), 115-134.
- Driver, R., & Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5, 61-84.
- Duschl, R. A. (1990). *Restructuring science education: The importance of theories and their development*. New York: Teacher College Press.
- Duschl, R. A. (1994). Research in the history and philosophy of science. In D. L. Gabel (ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (p. 443-465). New York: McMillan.
- Duschl, R. A., Hamilton, R., & Grandy, R. E. (1990). Psychology and epistemology: Match or mismatch when applied to science education? *International Journal of Science Education*, 12(3), 230-243.
- Franco, G., & Colinvaux-De-Dominguez, D. (1992). Genetic epistemology, history of science and science education. *Science and Education*, 1(3), 255-272.
- Garrison, J. W., & Lawwill, R. S. (1993). Democratic science teaching: A role for the history of science. *Interchange*, 24(1 & 2), 29-39.

- Gil, D., & Solbes, J. (1993). The introduction of modern physics: Overcoming a deformed vision of science. *International Journal of Science Education*, 15(3), 255-260.
- Hodson, D. (1990). Making the implicit explicit: A curriculum planning model for enhancing children's understanding of science. In D. E. Herget (ed.), *More History and Philosophy of Science in Science Teaching. Proceedings of the first international conference* (p. 292-310). Tallahassee: Florida State University.
- Jenkins, E. (1989). Why the history of science? In M. Shortland & A. Warwick (eds.), *Teaching the history of science* (p. 19-29). Basil Blackwell: The British Society for the History of Science.
- Jones, R. (1989). The historiography of science: retrospect and future challenge. In M. Shortland & A. Warwick (eds.), *Teaching the history of science* (p. 80-99). Basil Blackwell: The British Society for the History of Science.
- Jung, W. (1994). Toward preparing students for change: A critical discussion of contribution of the history of physics in physics teaching. *Science and Education*, 3(1), 99-130.
- Kauffman, G. B. (1991). History in the chemistry curriculum. In M. R. Matthews (ed.), *History, Philosophy, and Science teaching: Selected Readings* (p. 185-200). Toronto & New York: OISE Press, Teachers College Press.
- Kenealy, P. (1989). Telling a coherent "story": A role for the history and philosophy of science in a physical science course. In D. E. Herget (ed.), *The History and Philosophy of Science in Science Teaching. Proceedings of the first international conference* (p. 209-220). Tallahassee: Florida State University.
- Kirschner, P. A. (1992). Epistemology, Practical work and academic skill in science education. *Science and Education*, 1(3), 273-299.

- Klopfer, L.E., & Watson, F.G. (1957). Historical materials and high school science teaching. *The Science Teacher*, October, 264-265; 292-293.
- Kuhn, T.S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In I. Lakatos & A. Musgrave (eds.), *Criticism and the growth of knowledge* (pp. 91-196). London: Cambridge University Press.
- Lochhead, J., & Dufresne, R. (1989). Helping students understand difficult science concepts through the use of dialogues with history. In D. E. Herget (ed.), *The History and Philosophy of Science in Science Teaching. Proceedings of the first international conference* (p. 221-229). Tallahassee: Florida State University.
- Matthews, M.R. (1992). History, Philosophy, and Science teaching: The present rapprochement. *Science and Education*, 1(1), 11-47.
- McCloskey, M. (1983). Naive theories of motion. In D. Gentner & A. Stevens (eds.), *Mental Models*. (p. 299-324). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- McDonald, D. (1989). Teaching science for understanding: Implications of spontaneous concepts and the history of science. ERIC: ED314251.
- McKeachie, W.J. (1978). *Teaching tips* (7th ed.). Lexington, MA: D.C. Heath.
- McKeown, M.G., Beck, I.L., & Worthy, M.J. (1993). Grappling with text ideas: Questioning the author. *The Reading Teacher*, 46(7), 560-566.
- Memory, D.M., & Uhlhorn, K.W. (1991). Multiple textbooks at different readability levels in the science classroom. *School Science and Mathematics*, 91(2), 64-72.
- Millar, R., & Driver, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- Nersessian, N. (1991). Conceptual change in science and in science Education. In M.R. Matthews (ed.), *History, Philosophy, and Science teaching*

- :Selected Readings(p.133-140).Toronto & New York:OISE Press,Teachers
College Press.
- Nussbaum,J.(1983).Classroom conceptual change:The lesson to be learned
from the history of science.In H.Hlem & J.D.Novak(eds.), Misconcep-
tions in Science & Mathematics(p.272-281). Cornell University, De-
partment of Education.
- Oldroyd,D.R.(1977).Teaching the history of chemistry in New South
Wales secondary schools.The Australian Science Teachers Journal,
23(2),9-22.
- Popper,K.(1959).The logic of scientific discovery.London:Hutchinson.
- Quattropani,D.J.(1978).An evaluation of the effect of Harvard Project
Physics on student understanding of the relationships among science
,technology,and society. Unpublished PH.D.dissertation.University
of Connecticut,pp,62-63.
- Roger,P.J.(1982).Epistemology and history in the teaching of
school science. European Journal of Science Education, 4(1),
1-10.
- Russell,T.L.(1981).What history of science, how much, and why? Scienc
Education,65(1),51-64.
- Sanchez,L.(1989).On the implicit use of history in science education.
In D.E.Herget(ed.), The History and Philosophy of Science in Science
Teaching.Procedings of the first international conference(p.306-312).
Tallahassee: Florida State University.
- Schecker,H.P.(1992).The paradigmatic change in mechanics:Implication
of historical processes for physics education. Science
and Education,1(1),71-76.
- Shortland,M.,& Warwick,A.(1989)(Eds.).Teaching the history of science
(p.1-16).Basil Blackwell:The British Society for the History of

Science.

- Siegel, H. (1979). On the distortion of the history of science education. *Science education*, 63(1), 111-118.
- Souque, J.P. (1987). Science education and textbook science. *Canadian Journal of Education*, 12(1), 74-86.
- Stake, R.E., & Easley, J.A. (1978). Case studies in science education. Volume II: Design, overview and general findings. (NSF Publication No. SE-78-74). Urbana: Center for Instructional Research and Curriculum Evaluation and Committee on Culture and Cognition, University of Illinois at Urbana Champaign.
- Stinner, A., & Williams, H. (1993). Conceptual change, history, and science stories. *Interchange*, 24(1 & 2), 87-103.
- Stray, C. (1994). Paradigms regained: Toward a historical sociology of Textbook. *Journal of Curriculum Studies*, 26(1), 1-29.
- Wandersee, J.H. (1986). Can the history of science help science educators anticipate student's misconceptions? *Journal of Research in Science Teaching*, 23(7), 581-597.
- Wandersee, J.H. (1994). Short story science: Using historical vignettes. *The Science Teacher*, 60(8), 18-21.
- Welch, W.W. (1973). Review of the research and evaluation program of Harvard Project Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 10, 365-378.

★