科學教育學刊
2014, 第二十二卷第三期, 307-330
DOI: 10.6173/CJSE.2014.2203.04

Chinese Journal of Science Education
2014, 22(3), 307-330

科學史教學對學生科學認識觀與概念學習的影響——不同教學順序的比較

邱奕華[1]　劉湘瑤[2、*]

[1]新北市私立竹林高級中學
[2]國立臺灣師範大學　科學教育研究所

摘要

本研究旨在瞭解科學史融入科學教學單元對學生科學認識觀和概念學習的影響。本研究以高中一年級基礎物理「光電效應」單元設計三組教學方式：「科學史—科學概念教學」(後稱歷史概念組)、「科學概念—科學史教學」(後稱概念歷史組)以及「傳統教學」(後稱對照組)，由一位物理教師在其授課班級依研究者提供的教學活動流程進行教學。參與學生有六個班級共270人，每組有兩班平均90位學生，最後約八成學生全程參與本研究。兩組實驗組所接受的教學除該單元原教科書內容之外，另加入科學史案例和科學本質的討論問題。透過科學認識觀問卷前後測結果發現，概念歷史組有最佳成效，對照組則顯著退步。另以學生課堂學習單的作答進一步分析兩個教學介入實驗組學生的科學認識觀。以該單元學習後之小考和段考成績比較三組學生該單元概念學習的表現，結果顯示三組學生並無顯著差異，至少科學史教學對學生學習光電效應這類較艱深的科學概念未產生不利影響。本研究結果顯示，先將該單元的內容知識教完後再帶入科學史教材的教學成效最佳，因此教學內容呈現的順序會影響學習效果。

關鍵詞：光電效應、科學史、科學認識觀、概念學習

壹、緒論

長久以來，科學教育界提倡科學教學應融入科學史的論調不曾間斷。若從1940年代美國哈佛大學校長J. B. Conant所發起的科學史個案導向的大學通識科學課程開始，到1960和70年代美國國家科學基金會贊助下發展高中「物理課程計畫」(Harvard Project Physics)，至今此類課程倡議已超過半個世紀，探討科學史在科學課程中所具有的角色與功能一直受到科學教育學者的關切(Brush, 1969; Jenkins, 1994; Matthews, 1989; Russell, 1981; Seroglou & Koumaras, 2001)。這些研究主張科學史教學在情意面向上可提升科學學習興趣和態度，在認知面向上可讓學生認識科學知識形成的過程和探究的方法，有助於學習科學概念，在哲學面向上則引導學生

*通訊作者：劉湘瑤
(投稿日期：民國102年6月30日，修訂日期：民國102年12月5日，接受日期：民國102年12月10日)

airiti

思考科學事業的特性、科學與社會文化的關係，對科學和科學家的形象有真實的認識(Klopfer, 1969; Matthews, 1994)。既然許多研究已顯示科學史為科學課程提供良好的科學知識發展情境和概念學習的素材，然而現今的科學教學中融入科學史的情形和成效，卻似乎並未與時遽增。

國內外科學課程綱要皆指出科學教學目標不僅止於科學概念和內容知識的學習，還應對科學本身有所認識，以培養具有科學素養的公民(教育部，2008；American Association for the Advancement of Science [AAAS], 2001; National Research Council [NRC], 1996)。融入科學史於科學課程的相關研究主張，科學史題材可促進學生的科學學習，包括：瞭解科學本質、認識科學與社會文化間的交互關係、提升科學態度和學習興趣、促進對科學概念與方法的深入理解(Lin, Cheng, & Chang, 2010; Monk & Osborne, 1997; Rudge & Howe, 2009)，這些皆為科學素養的重要內涵。反觀國內的物理教學模式，如同杜鴻模(2002)所觀察，物理教師常以自編教材或坊間講義上課，將概念重點式條列，接著讓學生不斷練習解題。物理教學就成了傅大為(2001)所形容的乾淨、純真、體操運動型的G級教育(genuine或gymnastic)，使學生認為物理知識是事實的累積，具有如真理般的絕對和純淨，因此要像體操運動員般不斷的練習以精熟物理公式和解題(Hammer & Elby, 2003; Prosser, Walker, & Millar, 1996)。高中基礎物理的教科書中提供部分科學史料，但遺憾的是，這些史料常只使用單一科學家歷史事件或單一科學知識或概念進行教學，且一般教師在教學上十分倚賴教科書，很少能呈現科學家的工作及影像(林陳涌、鄭榮輝、張永達，2009)。如此的科學教學造成學生以為知識的發展是依靠單一科學家，或科學知識的發展是獨立於其他科學知識情境的，非但無助於科學概念的建構，且容易令學生對科學本質(nature of science)產生不當的迷思。

長期提倡科學史融入科學教學的學者Matthews (1994)建議此類課程的編排方式可分為附加式(add-on)和整合式(integrated)兩種，附加式課程是先教內容知識，再帶入科學史；整合式課程則是以科學史為主軸，將科學概念和科學史料整合至課程中。關於這兩種課程編排方式的討論，隱含了科學概念知識與科學史內容(如：科學知識證成的歷程、科學家與科學社群和科學知識發展的社會文化背景等)的優先順序關係。理想上，以科學史為課程編排主軸的整合式課程，賦予科學史優先性和重要性(Kim & Irving, 2010)，但也有學者認為此種課程編排牽涉到教材內容結構性的改變，有實施上的困難(Wang & Marsh, 2002)。由於科學史融入科學教學的教學策略之相關研究不足，學校教師在教學實務上通常只單純加入與單元內容相關的科學史素材，且在教學成效的評量上只在乎學生能否有效學習該單元的科學概念(Wang & Marsh)，而忽略科學史融入科學教學的根本內涵。反觀我國高中的科學教學，教師為應付考試而更著重學生的概念學習，多數教科書版本皆以文字框或補充教材的方式呈現科學史材料，教材本身即無法達成理想中整合式的科學史融入課程，且教師缺乏科學史融入科學教學的專業培訓和教學經驗。如同Höttecke與Silva (2011)指出的，科學史教學在實際課室中仍有許多障礙必須克服。本研究的考量是在不增加教師教學負荷的前提下，在有限的教學時間內適當地帶入科學史題材，並透過實徵研究探討此類教學是否能有效地達成科學史融入科學教學的目標，包

airiti

括科學認識觀的改變和概念知識的學習。故選擇高中物理「光電效應」單元設計教材，作為一案例以提供教師從事科學史融入科學教學之參考。研究者設計科學史教材，提供給合作教師融入其科學教學中，並藉由科學史教材與原單元教材出現順序的調整，探討科學史融入的教學順序是否對學生在該單元的成就測驗和科學認識觀量表得分上有所影響。先教完原單元教材之科學概念，再帶入科學史，為常見的附加式設計；若將順序反轉，先引介光電效應的研究歷程、歷史事件與人物等作為情境背景，再回到教科書內容著重的科學概念，也就是以科學史鋪陳主題脈絡，增加科學史的優先性。教材出現順序的實驗設計，乃意圖回應前述關於課程編排方式的問題，以及尋找可行的教學方式以克服實施科學史融入科學教學的障礙。根據上述的目的，本研究的待答問題為：

一、科學史教學能否增進學生的科學認識觀？

二、科學史教學是否影響學生的概念學習，亦即該單元的學習評量成績？

三、科學史教材呈現的順序在科學認識觀和學習評量成績上是否產生差異？

貳、文獻探討

一、科學史教學與科學認識觀

Matthews (1994)提出的七個科學史教學的功能中，特別強調科學史可提升學生對科學歷程方法和知識發展特性的認識，許多科學史教學文獻皆已探討對科學本質認識的影響(如Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Kim & Irving, 2010; Monk & Osborne, 1997; Rudge & Howe, 2009; Solomon, Duveen, Scot, & McCarthy, 1992)。多數實驗研究結果顯示，科學史對學生的科學認識觀有顯著的影響，但也有研究得到無顯著或部分顯著差異的結果(李明昆、劉靜怡、洪振方，2011)。單純從前後測量表工具測得結果評量學生認識觀的變化，仍有其限制，應可搭配質性資料收集和學習歷程紀錄，以深入探究學生認識觀的表現(Abd-El-Khalick, Bell, & Lederman, 1998)。

科學認識觀一詞源自於哲學，哲學上的認識論(epistemology)是研究人類知識的本質(nature)和證成(justification)，而心理學上則集中在個人認識論(personal epistemology)的研究(Hofer, 2001)。在科學教育領域則視科學認識觀(或稱科學本質觀)為個人對科學知識建構的理解(Tsai & Liu, 2005)。然而關於科學的本質，並沒有單一的定義(Abd-El-Khalick & Lederman, 2000)。科學本質的內容有許多不同版本，如：AAAS (1990)將科學本質分成三個面向——科學世界觀(scientific world view)、科學探究(scientific inquiry)、科學事業(scientific enterprise)；Hofer (2000)則從四個向度去探討學生對科學知識特性的觀點——知識的確定性(certainty of knowledge)、知識的簡要性(simplicity of knowledge)、知曉的來源(source of knowing)、知曉的辯護(justification for knowing)；其後所發展的科學認識觀研究工具(Conley, Pintrich, Vekiri, & Harrison, 2004)將知識的來源和科學理論的驗證歸為知曉的本質(nature of knowing)，理論的確定性和科學知識的發展屬於知識的本質(nature of knowledge)。由於前述工具涵蓋了哲學和心理學的範疇，故本研究採用作為教學前後的量測工具。基於認識論發展的理論，另有研究提出不同的發展階段模型，Baxter Magolda (2004)的認識論反思模型即為前述架構的延續，將認識論分為四個階段：(一)絕對性認識(absolute knowing)：認為知識

airiti

是確定的並相信權威瞭解所有的知識；(二)過渡性認識(transitional knowing)：開始認為有些知識是不確定的，且希望能瞭解某些知識的適用情形；(三)獨立性認識(independent knowing)：質疑權威是否是唯一的知識來源，將自己的意見和知識視為是平等有效的；(四)情境性認識(contextual knowing)：能在情境中使用證據建構自己的觀點(Baxter Magolda; Hofer, 2001; Hofer & Pintrich, 1997)。本研究之科學史教材設計的學習單，使用幾個反思問題引出學生的科學認識觀，將以此模型作為分析學生作答的主要架構，以輔助解釋量表評量的結果。

論及科學史教學能否有效提升學生對科學本質的認識，Abd-El-Khalick與Lederman (2000)發現單純教科學史內容，並不能有效改變學生對科學本質的認識，認為必須採用明示的教學法，也就是在科學教學中將科學本質視為認知目標，設計活動和提問引導學生思考科學知識發展的特性(Rudge & Howe, 2009)。前段論及科學史融入科學教學的編排方式可分為附加式和整合式兩種(Matthews, 1994)，理論上，整合式的編排方式較優於附加式，整合式的設計是以科學史為主軸，鋪陳科學知識發展的歷程，同時結合重要科學概念的建構；附加式課程則是保留原內容知識的呈現方式，於適當處帶入科學史題材。然而，實務上，整合式的課程編排牽涉到教材內容結構性的改變，有實施上的困難(Wang & Marsh, 2002)，而附加式的設計讓教師在教學上較有彈性，可依需要在教科書內容之外補充科學史題材。

二、科學史教學與科學概念學習

Monk與Osborne (1997)認為，教導科學史上的想法能幫助學生概念的學習，因為歷史上科學想法常與學生想法平行，而現今接受的科學想法在一開始遭遇到的反對理由也和學生想法類似，若專注在不同對立的學說將增進概念的聚焦，故科學史教學擁有促進學生學習的功能。傅麗玉(1999)也指出科學史在科學教育的功能，其中和學生概念學習相關的包括：兒童科學概念發展與科學史的發展類同、科學史可以幫助科學學生學習科學概念、以及科學史滿足學習認知的需要。根據概念改變理論，意義由長期記憶中的陳述性知識組成，學習要產生意義則必須將新的陳述性知識和長期記憶中的陳述性知識做連結，且當新的知識和舊有知識容易整合時，真正的學習才會發生(Klassen, 2010; Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982)。故提供學習相關情境，可幫助學生產生意義並有助於記憶，以促進學習。提供學習情境的方式有很多，其中科學史教學可提供真實的科學情境，促進學生對科學概念、科學過程以及科學情境的理解(林陳涌等，2009；Klopfer, 1969; Wang & Marsh, 2002)。

早期提倡科學史哲融入科學課程的學者強調，學生科學概念的學習和思考與科學史上科學產製歷程有近似平行的脈絡，而將學生概念改變歷程比擬為如Kuhn所提出的科學革命典範轉移般的發展歷程(Monk & Osborne, 1997; Posner et al., 1982)，因而指出科學史能幫助老師預測、尋找學生的迷思概念(Mas, Perez, & Harris, 1987; Wandersee, 1986)。基於此觀點，Dedes與Ravanis (2009)採用科學史案例作為概念學習的情境，讓學生從觀察歷史事件發現自己概念的不足，產生認知不平衡(destabilization)，進而發生概念改變；也就是，科學史可以成為學生概念外選擇的資料庫，當學生發現新的概念較好時，就能促進學習。然而，學生概念和科學史平

airiti

行的說法受到許多挑戰，學者認為不應對此平行關係作過度推論，因為兩者間通常只是部分相似，不代表整體架構是一致的，科學家的想法通常衍生自有一致性的概念系統中，但兒童所使用的概念則未必具有此特性(Driver, Guesne, & Tiberghien, 1985; Vosniadou, 2010)。綜上所述，科學史教學對學生概念學習的幫助主要有兩點，第一是提供學生科學史上相互衝突的想法，促使學生對照自己的概念，引發概念改變，第二是經由科學史預測學生迷思概念，教師能對症下藥，引導學生學習，但使用科學史促進學生學習時，必須注意學生概念和科學家有許多不同處，須避免過度推論。從所收集的文獻中也發現，科學史教學和一般講述教學的效果似乎沒有明顯的不同(例如：李明昆等，2011；林陳涌等，2009；Kim & Irving, 2010)。

三、科學史教學的挑戰

雖然教育學者認為科學史教學有許多功用，但在推行之際，Matthews (1994)指出科學史教學曾受到歷史學家和科學家的質疑，歷史學家質疑科學課堂上的科學史是一種貧乏的歷史，且因教學上的需求而成為一種偽歷史，科學家則認為在教學上引用科學史會浪費時間且可能傷害學生的信念。面對以上的質疑，許良榮(1999)提出幾點建議：(一)依照教學目標和學生的層次，恰當地安排科學史教學內容；(二)可引用歷史學家對科學史所做的詮釋，並比較不同歷史學家的著作，在教材中使用中性的描述；(三)為了呈現科學史上的概念轉變，不一定拘泥於時間序列的真實性，可採對話形式呈現。所以在設計科學史教學時，應視教學目標和對象適當地安排科學史教材。

除了來自於科學家與歷史學家的質疑，科學史教學在實行上遭遇許多問題，Höttecke與Silva (2011)比較了七個歐洲國家和以色列中的十個團隊的結果，統整了物理科學史教學的挑戰有：(一)物理教學的文化：物理教學文化常教導學生物理為真理及事實的集合、缺乏與學生對話討論、著重知識的灌輸、學生並非自主學習、呈現物理是由男性建構的意象等；(二)教師的技術、知識論以及教學的態度、信念：常見教師的認識論相當傳統，例如將科學本質視為內隱的目標且傳遞錯誤訊息、沒有使用科學史教學的技術、對科學史教學沒有信心等；(三)科學教學的制度：例如歷史應有本身的課程目標與科學不同、教師強烈遵照課程目標、忽視科學史融入的需要等；(四)教科書內容：本內容傳遞了傳統的科學本質觀、課本只有時間與姓名的資訊、科學史常和課程內容分開、教科書的編寫者未包含哲學家和歷史學家等。

另一項科學史教學的難題是教學時間的不足，戰克勝(2006)指出，現今多數科學教師必須在有限的時間中傳授許多課程內容，導致教師只能照課本教學。Wang與Marsh (2002)發現即使科學教師能接受科學史教學的價值，但因教學必須涵蓋許多主題，因此可用於科學史教學的時間非常有限。為瞭解決教學時間不足的問題，Wandersee提出互動式科學小故事(interactive historical vignettes)的教學方式，分為四個步驟：(一)選擇有趣、適合學生的單元；(二)產生二元對立的衝突；(三)發展故事；(四)化解衝突；(五)評鑑 (Roach & Wandersee, 1995)。本研究考量在有限的時間內完成科學史教學，因此採納互動式科學小故事之特性設計教材。

物理領域的科學史教學單元多集中在古典物理的科學史案例(如：Dagenais, 2010; Solomon et al., 1992)，近代物理的科學史則

airiti

常以原子的單元為題材(如：Justi & Gilbert, 2000; Viana & Porto, 2010)。和古典物理比較起來，近代物理中常提到許多科學家所做的實驗和研究歷程。在高一基礎課程中，共分為緒論、物質的組成、物體的運動、物質間的基本交互作用、電與磁的統一、波、能量、量子現象、宇宙學簡介等九個章節，其中量子現象主要是介紹波粒二象性和量子的行為，學生普遍認為相當困難，而光電效應是那一章第一個單元。Niaz, Klassen, McMillan與Metz (2010)指出引介光電效應的歷史時應該涵蓋以下重點：(一)雷納為瞭解釋光電效應現象所提出的觸發假說；(二)愛因斯坦提出的光量子假說；(三)科學社群對光量子假說的不認同；(四)密立坎利用實驗證明了光電方程式的正確性並計算了普朗克常數；(五)密立坎對光本質的預設；(六)科學史哲對歷史事件的解釋。他們分析了103本大學的物理教科書發現，沒有教科書完整包含上述六項重點，顯示教科書對歷史事件的不重視。類似情形也發生在高一基礎物理的教科書中，教科書只提到愛因斯坦提出光量子假說，未提及上述的重點。本研究參考Niaz等所建議的科學史重點，設計光電效應的科學史教材，與合作教師溝通彼此間的需求及目標後，將科學史融入於原有課程中實施教學。

參、研究方法

一、教學設計

本研究教材發展的主題是99高中課程綱要高中一年級基礎物理的「光電效應」單元。選擇本單元的原因有：(一)光電效應的事件發生在古典物理和近代物理的交替時期，當時物理學界對此現象的爭論，提供強烈的故事性足以吸引學生興趣，並有許多關於科學研究及社群互動的事件值得探討；(二)國內外文獻除了原子模型單元之外，幾乎未有近代物理單元的科學史教學，相較於古典物理的單元，近代物理不論是物理概念或科學史實，對學生來說均是相當陌生，值得嘗試。

光電效應單元原本的教學內容，讓學生理解以下主要的概念：(一)光電效應是金屬表面因受光照射而釋放電子的現象；(二)相關名詞定義如：「照射光強度」、「照射光頻率」、「光電子」、「光電流」、「截止電壓」、「功函數(束縛能)」、「截止電壓」、「光電子動能」、「低限頻率」；(三)光電效應現象的產生與否和照射光強度無關，和照射光頻率有關；(四)光量子假說內涵：將光視為是一個個光量子組成，稱為光子，每一個光子的能量大小正比於光頻率大小；(五)當光照射於金屬表面後，光子將能量完整傳遞給電子，當電子獲得之能量大於金屬功函數時，電子將離開金屬；(六)認識光電效應實驗之光電流電壓對電流圖，以及照射光頻率對光電流電壓圖。初步分析教科書和講義上關於光電效應的科學史料，包括：赫茲發現光電效應現象、古典波動理論無法解釋光電效應、雷納統整的光電效應特性、愛因斯坦提出光量子假說獲得諾貝爾物理獎、密立坎的驗證等。雖有這些科學史料，但傳統式教學不會補充介紹，仍著重在習題練習為主。本研究對照組的學生即接受此種形式的教學。

實驗組所接受的科學史教材由研究者參考前述Niaz等(2010)所建議的歷史脈絡編制，並結合互動式科學小故事的兩個元素——「中斷故事進行」以及「二元對立」的方式，編製教材投影片和學習單，提供給合作教師，並與之說明設計的理念和相關的科學史資料。科學史教材依序包含四個階段：光的本質說、光電效應的發現、假說的提出、

airiti

科學社群的看法。各階段教學內容與理念簡述於表1，詳細教學內容及學習單設計可參閱邱奕華(2012)，以下說明科學史教學內容及其搭配的科學本質觀學習問題。

「光的本質說」：先回顧科學家描述光現象的兩派說法——微粒說和波動說，接著請學生閱讀學習單上三則關於光本質的著名實驗的文章，分別是楊氏(T. Young, 1773-1829)的雙狹縫干涉實驗、帕松亮點(Poisson spot，圓盤繞射)、傅柯(J. B. L. Foucault, 1819-1868)測定水中光速，文章參考自郭奕玲與沈慧君(1996)所著之物理通史。學習單所設計的科學本質問題一為：「波動說以及微粒說，哪派學說(理論)對你來說比較有說服力？為什麼？」學生依據上課資訊或閱讀資料，說明哪個理論較有說服力，由於學生於高一物理所學為光的波動性質，故本題預期學生將多數回答波動說較有說服力，且可能引用閱讀資料裡的實驗內容當作有說服力的理由。

「光電效應的發現」：介紹在赫茲發現光電效應之後，幾位科學家是如何設計實驗逐步瞭解光電效應的性質。從描述當時科學界普遍認為光本質是電磁波，再進入赫茲發現紫外線對放電現象有所影響，接著介紹兩位科學家霍爾瓦克斯(W. Hallwachs, 1859-1922)和斯托列托夫(A. Stoletov, 1839-1896)的試探性實驗，發現金屬照射紫外線後，導致帶負電粒子從金屬表面中離開，經由湯姆生(J. J. Thomson, 1856-1940)設計實驗證實此負電粒子為電子，最後由雷納統整了光電效應的性質，最後介紹光電效應和波動說相互牴觸的論點。在介紹每位科學家工作後，引導學思考各位科學家之研究重點，並比較各個實驗結果有什麼含意；介紹完雷納的實驗後，讓學生思考雷納做出來的實驗圖表有什麼樣的特性。

「假說的提出及驗證」：介紹雷納及愛因斯坦對光電效應所提出之假說，及密立坎對光電效應所做的實驗以及假說的驗證。先回顧上一階段波動說和光電效應的矛盾，接著介紹有兩位科學家分別提出的假說內容以及被當時學界反駁的理由，此時讓學生猜猜這兩位科學家可能是獲得諾貝爾物理獎的科學家雷納，還是時任專利局技師的愛因斯坦，並思考哪一個假說較有說服力。接著介紹愛因斯坦光量子假說的內容，再介紹密立

表1：各階段教學內容及理念

階段	內容	理念
一、光的本質	介紹微粒說以及波動說學說內容，並比較各派優缺點，學生閱讀學習單上介紹十九世紀三個重要實驗的文本，回答學習單問題。	藉由光本質爭論讓學生看見理論的競爭、同現象有不同解釋、理論的限制以及理論和實驗的關係。
二、光電效應現象的發現	介紹光電效應現象發現的歷史，並總結光電效應的特徵及與當時流行的波動理論衝突處。	讓學生知道光電效應與當時光本質說有所牴觸；認識科學家是如何探索未知現象，從中歸納出規則。
三、假說的提出	介紹雷納觸發假說以及愛因斯坦的光量子假說，比較其異同。	讓學生知道同一個現象能有不同競爭理論，並且瞭解理論的發展擁有不同的進路。
四、科學社群的看法	介紹觸發假說以及光量子假說在科學社群的接受程度，著重於介紹驗證光電方程式的密立坎對光量子假說的看法。	讓學生瞭解接受或放棄一個理論不是一件容易的事情。

airiti

坎對愛因斯坦光電方程式的實驗驗證。學習單的問題二是：「假說一(觸發假說)和假說二(光量子假說)，哪個對你來說較具說服力？為什麼？」同第一階段的提問相似，將分析學生接受假說理論的理由。

「科學社群的看法」：主要介紹密立坎對光量子假說的看法，密立坎在發表驗證光電效應方程式的實驗時曾質疑光量子假說的正確性，且當愛因斯坦因光量子假說獲諾貝爾獎後，密立坎發表演說表示對光量子假說持保留態度。介紹完這段史料後，利用學習單上的問題引導學生思考科學的客觀性。問題三：「科學家對光電效應的研究發展歷程中，實驗、假說、和學說(理論)之間有何關係？」讓學生回想整個光電效應課程，所有的實驗、假說、學說間的關係。問題四：「課堂中老師教到密立坎因堅信波動理論，雖驗證了光電方程式，仍不認同光量子假說，為什麼？科學家在從事科學研究時都是客觀的嗎？」是讓學生思考科學家的主觀性，學生可從密立坎的演講評論他為什麼不認同光量子假說。

二、研究設計與流程

本研究採準實驗研究法，共分成三組，兩組為科學史教學介入實驗組，一組為傳統物理教學組，實驗組一是「科學史教學—科學概念教學組」(後稱歷史概念組)，先進行科學史教學，再進行概念學習；實驗組二為「科學概念教學—科學史教學組」(後稱概念歷史組)，學生先學習科學概念，再進入科學史內容。對照組為「傳統教學組」(後稱對照組)，教師依照課本和講義內容上課，以傳授科學概念和例題練習為主。每組在光電效應這個單元的授課時數皆為三節，其中實驗組的科學史教學佔兩節，概念教學佔一節。

參與的師生是臺北市某公立高中一年級六個班級的學生和其物理教師，該校入學PR值約在96-98，學生屬高學習成就者。每班學生人數平均為44人，每個教學組有兩班，由研究者隨機分派，每組有88位學生，但因部分學生未全程完成評量和學習單作答，資料流失率介於18.0-28.0%，對照組最多，最後結果分析總計收錄約八成的學生資料。該校依學生入學成績S型分班，研究期間為學生進入高中的第一學期期末前一個月，故以前兩次段考成績分析，三組學生物理科學業成績無差異。

合作教師是一位教學經驗一年的女教師，沒有任何科學史的教學經驗，對本研究有高度興趣。選擇新任教師的原因除了其參與意願外，也可排除因先前教學經驗及期望干擾研究結果。合作教師曾擔心科學史教學介入會占用上課時間而影響學生學業成績，經溝通後，研究者僅使用一個教學單元，且在不增加原授課時間的前提下，請合作教師依照研究者設計的實驗教材順序進行教學。研究者在教師實施實驗組和對照組的教學時，進行課室觀察並紀錄影音資料，為確保教學流程符合研究者的設計，亦於課前後訪談合作教師與其溝通上課內容及方式。

本研究探討學生科學認識觀的研究工具有「科學認識觀問卷」的前後測，兩次測驗的時間間隔一個月以上，另透過「隨堂學習單」開放式問題追蹤實驗組學生在科學史教學中認識觀的表現。學生對光電效應單元的概念理解程度，以該單元教學後的小考和學期評量之試題答對情形為分析依據，在本單元教學前學生對光電效應尚未具備相關概念。圖1呈現本研究的教學實施和資料收集的流程。



圖1：各實驗組別之教學與資料收集關係圖

三、研究工具

本研究在教學前後和教學過程收集量化和質性的資料，以綜合分析實驗組學生的科學認識觀和概念理解，以下分別說明各資料收集工具。

(一)科學認識觀問卷

本研究採取Conley等(2004)的架構，使用其所發展的問卷，測量學生在知識本質和知曉的本質上的表現變化，問卷題目共有26題。分別檢測學生對於「科學知識的來源」、「知識的確定性」、「科學知識的發展」、「科學理論的驗證」的看法，各向度分量表信度(Cronbach's alpha值)介於 .66和 .82之間。此問卷已翻譯成中文版本，在Liang與Tsai (2010)的研究也完成建構效度檢核，內部一致性信度介於 .69和 .82之間。本研究樣本以前測施測結果得「科學知識的來源」五題信度值 .80、「知識的確定性」六題 .70、「科學知識的發展」六題 .85、「科學理論的驗證」九題 .85，顯示問卷具有良好的信度。

(二)隨堂學習單

科學史教材設計依循Lederman, Abd-El-Khalick, Bell與Schwartz (2002)提出科學本質教學目標，選用其發展的VNOS-C (Views of Nature Of Science, form C)的部分題目，設計成兩份學習單，其中文翻譯版本已在先前研究使用過(Liu & Lederman, 2007)。配合科學史教材呈現之二元對立的理論或假說，學習單以開放式問題引出學生的科學認識觀。此類型題目共四題，內容已於前段教學設計中說明，學習單之其他題目則為回顧科學史內容為主，此處不列入分析。科學史教材與學習單題目由兩位科學史和科學教育專長的學者審查修正後定稿。

(三)光電效應小考與段考題目

對照組與實驗組學生皆在本單元教學後實施小考，另擇取期末段考中光電效應單元的題目，作為評量學生「光電效應」概念理解程度之分析資料。測驗目標為：(1)對光電效應的瞭解——照射光頻率和光電子最大動能有關、照射光強度和光電子數量有關、光子能量和頻率有關、照射光頻率必須高於低限頻率才能產生光電效應、頻率不足的照射光不論照射多久或強度多高均無法產生光電效應；(2)光電方程式$h\nu - W = eV$的瞭解——不同金屬其功函數均不同、截止電壓的概念。光電小考題目共十題，五題單選題，五題填充題，於學生進行完光電效應單元學習後施測。小考試題由合作教師依據單元目標從題庫中選取題目命題，經另一位教師及研究者審核內容效度。期末段考試題則由該校

airiti

教師共同命題，其中有六題為光電效應範圍，故僅選取這些題目作答結果做後續分析。

四、資料分析

科學認識觀量表問卷所收集的數據和檢測概念理解的小考和段考分數，為量化資料類型。科學認識觀問卷各分量表前後測得分，先進行相依樣本*t*考驗，檢視不同組別學生在不同項目下科學認識觀進步情形。另以學生前測分數為共變數，進行MANCOVA，比較三組在後測的表現是否有所差異。科學概念的檢測僅在教學後實施，計算學生在小考和段考題目的答對率，再以ANOVA檢視不同組別間是否有差異。

隨堂學習單收集的質性資料則採用分析歸納法(analytic induction)處理資料，乃根據文獻中的類別與定義，再從資料中歸納結果修正或重新定義類別(Bogdan & Biklen, 1998)。學習單問題一和問題二最主要的分析重點是學生選擇某一方的理由，初步以學生作答的內容編碼為「解釋力」、「證據力」、「具權威性」、「可理解性」、「自身經驗」、「一致性」(題目與編碼說明詳見表2)。接著參考Baxter Magolda (2004)的認識論反思模型評估學生選擇理由的優劣，將前述類別對應至該模型的四種認識階段，依發展成熟度由低而高分為絕對性認識、過渡性認識、獨立性認識、情境性認識。當學生作答歸類為「解釋力」、「證據力」、「一致性」時，這些學生是在情境中使用證據建構自己的觀點，類似於情境性認識，為較高層次的認識觀；當理由為「自身經驗」時，代表學生提出自身意見，將自己的意見和權威知識視為平等有效，類似於獨立性認識；當理由為「可理解性」，這些學生雖未將知識視為絕對的，但「容易理解」本身並非健全的理由，無法用來說服他人，故將此類別對應於過渡性認識；當理由為「尋求權威」時，表示學生認為權威可保證知識的確定性，屬絕對性認識觀。

後兩題的編碼類別則由研究者從資料中歸納出來，形成類目並加以定義。學習單第三題由三個角度分析，分別為「實驗的作用」、「假說的來源」、「理論的來源」。「實驗的作用」指的是認定實驗的功能，分別有「驗證功能」和「產生問題功能」。「假說的來源」包含「源自理論」及「源自實驗」，當學生提到理論產生假說時，即屬於前者，若提到實驗產生假說時，即屬後者。「理論的來源」則包含「假說接受」、「實驗驗證」、「實驗發現」以及「假說和實驗」。第四題則分為兩個次主題，一為學生認為密立坎不接受光量子假說的原因為何，其二是學生對科學家是否客觀的想法。前項次主題學生作答分為「傳統衝突」、「個性尊嚴」、「公式理論」、「證據不足」等四項。第二項對科學家的客觀性的想法，分為「主觀意見」、「派系對立」、「社會影響」三個項目。編碼類別及說明參見表2。

肆、結果與討論

一、科學認識觀的改變

科學史教學對學生科學認識觀的影響，先透過「科學認識觀問卷」前後測作答結果比較如表3所示。前後測比較結果顯示歷史概念組在各向度的表現經教學後並無顯著的改變；概念歷史組在「科學知識的來源」和「科學理論的驗證」兩個向度之後測分數高於前測分數，顯示學生在此兩項科學認識觀有顯著進步；在對照組中，每向度後測分數

表2：學生學習單作答編碼和說明

問題	編碼		說明
1.波動說以及微粒說，哪派學說(理論)較有說服力？ 2.假說一(觸發假說)和假說二(光量子假說)，哪一個較有說服力？	情境性認識	解釋力	理論應能解釋越多現象越好。 理論不能解釋的現象越少越好。
		證據力	理論需要實驗、證據證實。
		一致性	理論內或新舊理論間應有一致性。
	獨立性認識	自身經驗	理論必須符合自身經驗。 學生以現有知識做推論，駁斥某方想法。
	過渡性認識	可理解性	理論必須容易理解。
	絕對性認識	尋求權威	理論提出者必須為權威人士。 理論經教科書採用已具有權威性。
3. ……實驗、假說、和學說(理論)之間有何關係？	實驗功能	驗證	實驗的作用：驗證假說。
		產生問題	實驗的作用：產生假說。
	假說來源	源自理論	假說的產生→從理論推論而來。
		源自實驗	假說的產生→從實驗的發現而來。
	理論來源	假說接受	理論由推論而來，不須驗證，只要人們接受即可。
		實驗驗證	理論由假說驗證後而來。
		實驗發現	理論從實驗中發現。
		假說理論	理論可能從實驗、假說而來。
4.密立坎……不認同光量子假說，為什麼？科學家在從事科學研究時都是客觀的嗎？	密立坎的原因	與傳統衝突	光量子假說和波動理論不合，且無法完整解釋繞射現象。
		尊嚴	認為密立坎因尊嚴、地位，無法接受當時默默無名的愛因斯坦的想法。
		公式理論	認為驗證公式不代表驗證了理論。
		證據不足	認為當時光量子假說的證據不足，故密立坎不採信。
	科學家的客觀性	主觀意見	科學家擁有主觀意見是無法避免的。
		派系對立	科學界不同派系間彼此鬥爭。
		社會因素	不同社會因素(經費、地位)影響科學家的客觀。

均低於前測分數，且「科學知識的來源」和「科學知識的發展」此兩向度達統計顯著水準，後測整體分數也顯著退步。

進一步以前測分數作為共變數進行MANCOVA以觀察三組學生科學認識觀改變情形如表4，發現教學類別對於後測「科學知識的來源」和「知識的確定性」的解釋能力達統計上顯著，代表不同教學方式影響學生在這兩個科學認識觀向度的後測分數。事後比較顯示，在「科學知識的來源」向度，概念歷史組顯著高於歷史概念組和對照組；在「知識的確定性」向度，概念歷史組顯著高於對照組。

整體而言，概念歷史組在提升科學認識觀的教學成效最佳，而對照組則呈現反效果，研究結果可確認科學教學若只著重於概

airiti

表3：「科學認識觀問卷」學生前後測作答情形

分組	向度	前測		後測		平均進步		Effect size
		平均	標準差	平均	標準差	(後測—前測)	*t*值	
歷史概念組	科學知識的來源	3.96	0.54	3.92	0.74	-0.04	-0.484	n.s.
	知識的確定性	4.04	0.58	3.96	0.59	-0.08	-1.033	n.s.
	科學知識的發展	4.27	0.53	4.31	0.49	0.03	0.528	n.s.
	科學理論的驗證	4.16	0.65	4.19	0.52	0.03	0.401	n.s.
	總平均	4.12	0.41	4.11	0.44	-0.01	-0.169	n.s.
概念歷史組	科學知識的來源	3.95	0.65	4.10	0.65	0.14	2.586*	0.29
	知識的確定性	4.07	0.51	4.03	0.56	-0.04	-0.614	n.s.
	科學知識的發展	4.36	0.47	4.29	0.59	-0.07	-0.897	n.s.
	科學理論的驗證	4.08	0.46	4.18	0.44	0.11	2.251*	0.25
	總平均	4.12	0.39	4.16	0.39	0.04	1.083	n.s.
對照組	科學知識的來源	4.06	0.71	3.8	0.84	-0.23	-2.540*	0.30
	知識的確定性	3.82	0.71	3.68	0.84	-0.15	-1.624	n.s.
	科學知識的發展	4.39	0.58	4.17	0.72	-0.22	-2.318*	0.28
	科學理論的驗證	4.06	0.57	4.03	0.64	-0.02	-0.265	n.s.
	總平均	4.08	0.43	4.08	0.58	-0.14	-2.096*	0.25

註：標示*者達統計顯著性 $p < .05$

念的講解，會加強學生不當的科學認識觀(Meichtry, 1993; Tsai, 2000)。科學認識觀四個向度中僅科學知識的來源和知識的確定性有明顯的效果，可能是本研究所設計之科學史教學較強調這兩項內容，例如我們展示雷納和愛因斯坦的假說，讓學生思考科學知識的成立並非因提出者的身份地位的權威性，此為「科學知識的來源」之範疇；又例如教材內容圍繞在微粒說和波動說的爭論，讓學生瞭解科學知識一直在改變，此為知識的確定性向度的評量範疇。此兩個向度經教學介入後效果量估計值分別為0.29與0.25，趨近於中度效果量，本研究以一個佔三節課的教學活動單元，對提升學生科學認識觀的效果並不遜色於長時間的課程介入(Lin et al., 2010)。

本研究結果顯示歷史概念組的科學認識觀並未呈現提升的效果，此結果與原先預期不同，可能是受到傳統教學文化造成的障礙(Höttecke & Silva, 2011)。學生平時習慣的物理課為教師講述事實概念和演練習題，又光電效應對學生來說是較為困難的單元，在該單元初始階段先引入科學史題材，意圖製造對話的情境，與傳統教學差異頗大，可能引發學生的不安與排斥，因而降低學習動機(邱奕華，2012)。概念歷史組的設計是先學習各光電效應名詞和概念後，再探討科學史案例，相較於歷史概念組，能有助於降低學生理解科學史內容的負荷。另一可能的推論是教師的教學技術，先引介科學史營造概念學習的情境到概念的釐清，教師需要有技巧的將兩者貫串一氣，一般未受過科學史融入教學訓練的教師是不易掌握其中的關鍵。本研究雖透過設計好的教材，以及不斷地與合作教師溝通，然仍可能受限於教師本身的經驗與信念(Höttecke & Silva)，無法達到很好的效果。而概念歷史組符合附加式的設計，教師

表4：「科學認識觀問卷」MANCOVA結果

後測項目	教學組別	Adjusted M	*F*	*p*值	Partial	Post Hoc
科學知識的來源	歷史概念組	3.911	4.68	.01*	0.05	概念歷史＞歷史概念 概念歷史＞對照
	概念歷史組	4.121				
	對照組	3.821				
知識的確定性	歷史概念組	3.921	3.20	.04*	0.03	概念歷史＞對照
	概念歷史組	4.005				
	對照組	3.753				
科學知識的發展	歷史概念組	4.308	0.75	.47	0.01	
	概念歷史組	4.278				
	對照組	4.186				
科學理論的驗證	歷史概念組	4.171	1.00	.37	0.01	
	概念歷史組	4.172				
	對照組	4.065				

註：標示*者達統計顯著性 $p < .05$

接受度較高，從本研究結果確實可見對學生科學認識觀的提升。

二、科學史教學中學生科學認識觀的表現

配合科學史教材設計的隨堂學習單，意圖透過學生對開放式的引導問題作答結果，進一步檢視實驗組學生在科學史教學中的科學認識觀表現。開放式問題不僅引導學生反思科學史例的內容，更可讓研究者從文字作答中瞭解學生的真實觀點(Lederman et al., 2002)，依此，若將前段的科學認識觀問卷視為總結性評量，則學習單可視為實驗組的形成性評量。依據學習單的問題所對應之評量目標，以下分別歸納分析學生對科學理論的形成以及科學客觀性的觀點。因四個科學認識觀問題分散於兩份隨堂學習單中，各次回收之有效學習單數量不同，以下分析僅呈現各類別次數，無法作量化的統計分析。

(一)接受理論、假說的理由

學習單問題一要求學生先選擇波動說或微粒說何者較有說服力，再論述其原因。本教材一開始即介紹光的性質，提及牛頓為微粒說的代表人物，惠更斯為波動說的代表人物，並分析兩派學說能解釋和不能解釋光的哪些現象。分析學生作答情形發現，歷史概念組有18人(22.5%)認為微粒說較具說服力，62人(77.5%)認為波動說較具有說服力；概念歷史組則有26人(30.2%)選擇微粒說，58人(67.4%)選擇波動說。選擇微粒說人數比例比預期多，顯示約有四分之一的學生即使學習了光的波動性質，也未必真正接受波動說。

理由闡述的分析結果見表5，數據顯示兩組學生多數認為理論的解釋能力是最重要的。研究者原先預期學生會受閱讀資料影響，會提及實驗證據的支持，但選擇人數並不是最多。另進一步觀察學生選擇微粒說較有說服力的理由中，約有半數提及是由於牛頓的聲望，傾向於尋求權威的保證，屬絕對性認識觀；選擇波動說的學生中，多數的理由集中在波動說的解釋能力，強調波動說能解釋干涉、繞射現象，而微粒說不能。學生的理由屬於「解釋力」、「證據力」、「一

表5：學生接受理論的理由之類別、範例及次數

類別		範例	歷史概念組 (n = 80)	概念歷史組 (n = 86)
情境性認識	解釋力	因為波動說可以解釋較多現象	31 (38.8%)	42 (48.8%)
	證據力	因為實驗證明水中光速較空氣中慢	14 (17.5%)	9 (10.5%)
	一致性	因為矛盾較少	0 (0.0%)	1 (1.2%)
獨立性認識	自身經驗	如果光是微粒，那我們應該要被光撞到才對	13 (16.3%)	7 (8.1%)
過渡性認識	可理解性	因為光是微粒比較容易理解	7 (8.8%)	12 (14.0%)
絕對性認識	尋求權威	因為是牛頓提出的 因為課本這樣說	13 (16.3%)	13 (15.1%)

致性」三個項目者，歸為情境性認識，加總計算得歷史概念組有45人(56.3%)，概念歷史組52人(60.5%)，超過半數學生在本題的作答呈現較成熟的認識觀。

學習單問題二是在第二節課用匿名的方式呈現兩個假說——觸發假說和光量子假說後，詢問學生認為哪個假說比較有說服力，教材中僅以得諾貝爾獎的物理學家(雷納)和專利局職員(牛頓)代表這兩個假說的提出者。但因學生對愛因斯坦的故事較為熟悉，就算前一節課花費相當的時間介紹雷納的實驗，仍對雷納的印象不及愛因斯坦深刻，所以當學生猜出假說二的提出者是愛因斯坦時，多數學生(歷史概念組中有44人，60.3%；概念歷史組中56人，74.7%)會選擇光量子假說較有說服力。選擇觸發假說的學生，兩組比例差不多，歷史概念組18人(24.7%)，概念歷史組16人(21.3%)，仍有少部分學生認為兩者都無法接受，其中歷史概念組10人(13.7%)明顯多於概念歷史組2人(2.7%)，可能因為概念歷史組已經先行學習光量子假說，較不會認為兩者均無法接受。

學生接受假說的理由之分析結果見表6，此項分析增加「數學推導」這個類別，因有6位學生的作答中提及光量子假說是根據數學計算而推導出，較觸發假說好。相較於題目一，此題的學生作答類別之次數分布較為分散，較多歷史概念組的學生(18人，24.7%)選擇「解釋力」，這些學生著重在假說能解釋或不能解釋什麼，而概念歷史組則最多學生重視哪個學說較容易理解(23人，30.7%)。兩組皆有約百分之十五的學生具有絕對性認識觀，與第一題作答比例幾近相同。學生的理由屬於情境性認識，歷史概念組總計有33人(45.2%)，概念歷史組28人(37.3%)，以該組人數比例看來，概念歷史組在此題作答所呈現的認識觀較歷史概念組差，有較多概念歷史組的學生落在「可理解性」的過渡性認識觀項下。此與前述評量結果不同，可能原因是概念歷史組已經學習光電效應的內容知識，因此不論選擇哪個假說，有部分的學生會以是否容易理解作為判斷依據，而歷史概念組因尚未詳細學到光量子假說的內容，有的學生則傾向以自身經驗推斷哪個學說較具說服力。

比較這兩個題目，學生對情境內容的熟悉度以第一題較高，故表現出較好的認識階段，學生不但注意到其中的證據力，也能發現理論解釋能力的重要性。第二題的情境為本單元重要的學習內容，學生正試圖理解兩種假說，在背景知識不夠充分的情形下做出判斷時，可能採取的策略一是憑藉教師所提供資料，以個人原有認識觀或自身經驗作答，策略二則是以可理解程度作為評估知識的正當性。

airiti

(二)對實驗、假說和理論間關係的看法

問題三是在第二份學習單，該節教學介紹愛因斯坦的光量子假說及密立坎的實驗，引導學生瞭解光電效應研究的歷程。教學內容中介紹了多個實驗(如：雷納研究光電子特性的實驗、湯姆生測荷質比、密立坎的實驗)、學說(波動說和微粒說)和假說(觸發假說和光量子假說)，本題詢問學生這三個名詞間有何關係。由於教學中呈現的光電效應發展史，大致的關係式是「實驗發現光電效應現象→提出假說→實驗驗證→漸漸為人接受」，依據學生作答內容歸類為「實驗的功能」、「假說的產生」及「理論的產生」三類。作答類別及次數分布列於表7。

本教學中呈現之實驗的功能一為產生問題，另一為驗證問題，以此作為分析學生的作答類別。結果發現，6成以上學生均提到實驗的驗證功能，只論及產生問題的比例相當少，選擇兩者兼具的比例也不多。整體而言，察覺實驗擁有產生問題功能的學生人

表6：學生接受假說的理由之類別、範例及次數

類別		範例	歷史概念組 (n = 73)	概念歷史組 (n = 75)
情境性認識	解釋力	因為假說二能完整解釋光電效應 因為假說二不能解釋干涉、繞射現象	18 (24.7%)	12 (16.0%)
	證據力	因為假說一由實驗結果得知，比較可靠 因為反駁假說一的是實驗	10 (13.7%)	11 (14.7%)
	一致性	因為假說二違背了電磁學	3 (4.1%)	1 (1.3%)
	數學推導	由數學推導而來的假說較可靠	2 (2.7%)	4 (5.3%)
獨立性認識	自身經驗	如果能量沒有傳遞，那麼電子的動能何來？	7 (9.6%)	3 (4.0%)
過渡性認識	可理解性	因為該假說比較好理解	9 (12.3%)	23 (30.7%)
絕對性認識	尋求權威	因為假說二是愛因斯坦提出來的 因為課本這樣說	12 (16.4%)	11 (14.7%)

表7：學生對於實驗、假說和理論間關係的看法之作答分布

類別		範例	歷史概念組 (n = 73)	概念歷史組 (n = 75)
實驗功能	驗證功能	假說→實驗	48 (65.8%)	49 (65.3%)
	產生問題	實驗→假說	3 (4.1%)	6 (8.0%)
	兩者兼具	假說↔實驗↔理論(三者互推)	5 (6.8%)	10 (13.3%)
假說來源	源自理論	理論→假說	2 (2.7%)	2 (2.7%)
	源自實驗	實驗→假說	7 (9.6%)	11 (14.7%)
	兩者兼具	假說↔實驗↔理論(三者互推)	3 (4.1%)	3 (4.0%)
理論來源	假說接受	假說→理論	5 (6.8%)	8 (10.7%)
	實驗驗證	假說→實驗→理論	47 (64.4%)	50 (66.7%)
	實驗發現	實驗→理論	3 (4.1%)	2 (2.7%)
	假說實驗	假說↔實驗↔理論(三者互推)	1 (1.4%)	4 (5.3%)

註：學生作答若有出現任何類別即計次，並計算佔總人數的百分比，故總和非100.0%。

airiti

數(產生問題＋兩者兼具)歷史概念組有8人(10.9%)，概念歷史組有15人(21.3%)，概念歷史組人數較多。

本教學中呈現之假說的產生主要是兩種來源，觸發假說源自於實驗，光量子假說源自於理論推導。僅非常少數學生作答有提及假說的來源，有此類作答的學生中，多數認為假說源自於實驗來源，較少察覺假說源自於理論。

理論的產生類別下學生的反應又分為四種，「假說接受」、「實驗驗證」、「實驗發現」以及「假說和實驗」。學生認為假說未必需要實驗證據，只要被人們接受後即成為理論，此類屬於「假說接受」；若學生認為假說需要實驗驗證後才能成為理論，此類屬於「實驗驗證」；若學生回答理論由實驗發現而來，代表學生認為理論不需要假說，可以從實驗數據發現得出，此類屬於「實驗發現」；若學生回答中，假說和實驗同時有箭頭指向理論，代表學生認為假說或實驗都有可能產生理論，就屬於「假說和實驗」。結果發現，有六成以上的學生認為假說經「實驗驗證」成為理論；次多的則是假說被人們接受後即成為理論。值得注意的是，多數學生回答「假說→實驗→理論」的直線式關係，也有部分學生在這樣關係上加上了一個迴圈——若假說經實驗後發現是錯的，則再回到假說階段，修改假說或換一個假說，再經實驗驗證，直到假說正確就成為了理論，這些回答傾向於實證主義(傳統)的觀點。僅有少數學生認為假說、實驗、理論的發展關係並不一定有固定路徑，學生將假說、實驗、理論三者間使用雙向箭頭連接彼此，寫道：「假說、實驗、理論這三者是相互影響的，可以互相推衍」，顯示學生認為在科學發展上，此三者的關係沒有一個先後順序，三者互相影響引導科學進步，這種看法較接近現代的科學認識觀。

(三)對科學家客觀性的看法

科學史教材後段介紹到密立坎因堅信波動理論，雖驗證了光電方程式，仍不認同光量子假說，本題以此史例引發學生思考科學研究是否絕對客觀。關於密立坎觀點的問題中，學生作答可分為「傳統衝突」、「個性尊嚴」、「公式理論」、「證據不足」四個類別。由於學生的反應不一定只符合一個類別，只要內容符合某類別的定義即編碼計次，學生作答分佈見表8。結果顯示，兩組學生絕大多數認為密立坎因光量子假說與傳統觀點(波動說)衝突所以不認同，歷史概念組有65人(83.3%)和概念歷史組有55人(67.1%)擁有此觀點。教學中曾多次提及科學家認為光量子假說無法解釋干涉、繞射現象，這些學生也傾向以此作為密立坎不認同光量子假說的原因；次多者是「個性尊嚴」的類別，這些學生認為密立坎原先為了否證光量子假說，但結果卻證實了光電效應方

表8：學生認定密立坎不接受光量子假說的理由及分佈

類別		範例	歷史概念組 (n = 75)	概念歷史組 (n = 82)
密立坎不接受光電效應的理由	傳統衝突	因為光量子假說不能解釋干涉和繞射現象	65 (83.3%)	55 (67.1%)
	個性尊嚴	因為密立坎的尊嚴	5 (6.4%)	15 (18.3%)
	公式理論	因為證明公式不代表證明理論	1 (1.3%)	3 (3.7%)
	證據不足	因為光量子假說的證據不夠	2 (2.6%)	6 (7.3%)

註：學生作答若有出現任何類別即計次，並計算佔總人數的百分比，故總和非100.0%。

airiti

程式，為維護自身尊嚴，導致密立坎不肯承認光量子假說的正確；一小部分學生選擇「證據不足」，這些學生認為當時支持的證據不足，導致密立坎不認同光量子假說，此項可能源於課堂最終結語「隨著證明粒子的波動性實驗的出現，最終科學界普遍接受波粒二象性」；僅四位學生作答歸類為「公式理論」，這些學生認為密立坎證明了光電效應方程式，但公式並不等於理論或假說，所以可不認同該理論。值得注意的是，較多概念歷史組的學生注意到「傳統衝突」之外的類別(歷史概念組7次，10.3%；概念歷史組24次，29.3%)，代表概念歷史組的學生注意到較多教材本身以外的內容，也較能從不同面向思考此歷史事件。

針對科學家是否都是客觀的問題，僅有3位學生認為科學家的客觀是不容質疑，且提到「才能經由每一次實驗出的真相一一拓展出堅定的學說」。表9列出的是論及科學的主觀性之作答情形，結果顯示，多數學生認為科學家主觀的意見是無法避免的；少數歸類於「派系對立」及「社會影響」兩類的學生，則察覺到除了科學家的本身因素外，其他外在因素也可能導致科學家無法客觀做判斷。有學生提到對客觀性的看法「客觀是絕對不存在的，頂多是能夠在主觀、客觀間達到最盡力的平衡」，算是較成熟的看法；學生也提到類似於Kuhn (1962)的常態科學看法：「一旦成立的思想，要被推翻前一定要長時間才能被接受，在這期間研究時也會朝舊思想發展」；也有學生提到了科學會自我修正的特性，例如「我認為不總是客觀的，但就是如此而常使得科學界對一主題出現兩種對立看法，而經過時間，後代會不斷找尋答案，修正理論，使之更趨於事實」、「科學家不放棄舊學說，不斷質問新學說時，也使學說更加完整」，屬於相當成熟的看法。另也有學生對宗教和科學的關係有所誤解，如「總有主觀的看法，目光太狹小的科學家總以為自己是對，而不去接受其他的理論，看看古典科學吧！那些無知的教廷」，學生在此可能聯想到教會迫害伽利略(G. Galilei, 1564-1642)的歷史事件，但Wilson (1999)曾提醒若要以歷史角度瞭解伽利略事件，必須先拋棄由「科學」與「宗教」兩個字所產生的限制。觀察學生對科學史事件的迷思，可作為日後教學設計之參考。

三、對科學概念學習的影響

科學史教學對學生概念學習的影響，是以三組學生之「光電效應」單元評量成績作為比較之依據。其一為單元教學結束的小考共10題以一百分計，歷史概念組平均得分61.23 (± 26.90) 分，概念歷史組為66.76 (± 25.60)分，對照組平均60.92 (± 26.26)分，概念歷史組平均分數最高，對照組平均分數最低，但ANOVA結果未達顯著水準(F值為1.11, p = .33)。其二為學期段考抽出光電效應的題目，計算答對率作為學生光電效應概念分數。歷史概念組平均76.92 (± 21.81)分，概念歷史組平均79.28 (± 19.71)分，對照組平

表9：學生對科學家客觀性的看法之作答情形

類別		範例	歷史概念組 (n = 75)	概念歷史組 (n = 75)
科學家的客觀性	主觀意見	科學家會受到主觀影響	13 (17.3%)	31 (41.3%)
	派系對立	不同派系會相互攻擊	6 (8.0%)	3 (4.0%)
	社會影響	會受到金錢、地位影響	5 (6.7%)	8 (10.7%)

airiti

均73.27 (± 22.13)分，分數狀況與小考成績類似，ANOVA檢定亦未達顯著水準(F值為1.40, p = .25)。以上結果均顯示，各組學生在光電效應單元的評量成績均無顯著差異，與先前研究(如：林陳涌等，2009；Kim & Irving, 2010)相似，雖未如理論預設之科學史教學可提升概念學習，但仍可弭平教師對科學史教學的疑慮，亦即增加科學史題材並不會對學生的學習成就產生不利影響。

預設科學史教學能幫助學生概念學習是源於三種說法：一是科學史可以預測迷思概念；二是學生概念發展平行於科學史；三是學生可能因科學史而發現自己的概念不足，或發現更為恰當的概念，進而促進概念改變。學習光電效應單元，學生需理解光的本質，從光的波動性轉變為光的波粒二象性。本研究設計的教材雖以故事的方式呈現科學史上的概念改變歷程，但仍礙於無法實際操作或重現一些實驗觀察，使得其中牽涉到的名詞內容對學生而言顯得抽象而難以理解。科學史是否能達成促進概念改變的效果，以單元學習評量成績似乎無法明確診斷出來，未來可仿照科學認識觀學習單設計的方式，於教學過程中進行觀察。

伍、結論與建議

本研究以高中物理科光電效應單元設計科學史教材，在一所高中實施教學，透過準實驗研究設計探討科學史教學對學生學習的影響。對應研究問題，上述分析結果可獲致主要的結論如下：

一、以科學認識觀問卷前後測結果觀之，歷史概念組未有顯著改變，概念歷史組則在「科學知識的來源」和「科學理論的驗證」兩個向度上有顯著進步，對照組則在「科學知識的來源」、「科學知識的發展」兩個向度上顯著退步。顯示科學史教學對學生之科學認識觀有正向的影響，且先學習科學概念後再介紹科學史促進學生科學認識觀改變的效果最顯著，反之傳統教學可能強化不適當的科學認識觀。

二、由科學史教材學習單結果分析觀之，兩組實驗組的學生在各題作答表現不分軒輊，雖然在科學認識觀問卷的評量結果呈現歷史概念組的表現並無明顯提升，但在教學進行中，透過反思問題的引導，兩組學生的認識觀表現以Baxter Magolda (2004)的認識論反思模型評估，平均約有半數學生的作答可歸類於情境式認識(如表5、6所示)，即達成較高層次的認識觀階段，表示科學史教學對學生認識觀的建立有一定程度的影響。另也發現學生的作答會依照題目情境的熟悉度而有所變化，面對一般性情境時，學生會呈現較佳的認識觀層次，但當情境包含較深的背景知識時，學生的判斷理由便有所分歧，有些則會反應出對概念理解的需求，而用較低層次的認識觀評估知識的正當性。

三、搭配教學內容所設計的學習單問題，可引導學生思考科學史例中有關實驗、假說和理論間的複雜關係，也可引出學生對某些科學史事件的誤解或認知不足，透過分析學生的作答可作為科學史教學主題選擇之參考。

四、科學史教學對學生在光電效應的學習評量成績無顯著提升的效果，但也沒有產生不利的影響。因本研究僅以一個單元三節課的教學，可能礙於時間限制無法達成明顯的效果，也可能因光電效應涵

airiti

蓋較深的概念，科學史教材無法作為充分的概念鷹架，真正的原因仍須進一步研究探討。

基於本研究的發現與結論，本文最後對科學史融入科學課程和後續研究提出建議。

文獻中建議整合式的設計以科學史為教學情境，引導學生學習科學本質和內容知識(Kim & Irving, 2010)，為較好的課程編排方式，但也挑戰了傳統的學校物理教學文化(Höttecke & Silva, 2011)，對教師和學生造成負擔。本研究的科學史教材不論何種順序，仍是以附加式的方式帶入科學史題材與科學教學中，然歷史概念組的設計乃意圖加強科學史的優先性，引介光電效應知識發展歷程作為背景脈絡，再釐清相關的知識概念，某種程度地參考整合式的精神——以科學史作為科學概念學習的情境，但本實驗組的學生科學認識觀未如預期的提升。概念歷史組學生的科學認識觀經教學後則有明顯的提升，依據「科學認識觀問卷」的量化工具所得資料，雖然效果量僅介於0.25和0.29之間，但三節課的教學介入已可見一定的成效。此教學順序是讓學生在熟悉內容知識後，再進入科學史題材的討論，研究結果顯示透過精心設計的科學史故事中對立懸疑的情節，搭配提問引導，學生能在學習單的撰寫中反應出對於科學知識發展特性的思考。然而，研究者對於歷史概念組未有顯著提升仍存有疑慮，可能因光電效應的歷史情境富含學生所不熟悉的科學知識，而干擾認識觀發展，抑或是受到量化工具的限制，以致測量結果無法反應真實表現。從學習單的結果可見，歷史概念組學生經教學反思後，亦可達到較高層次的認識觀階段，因此是教學內容本身還是工具限制所造成的效果不明顯，仍有待進一步釐清。未來研究建議可採用不同教學主題或增加科學史單元的實驗設計，以重複驗證科學史與概念教學順序的成效。

除了教學文化之外，科學史教學的另一個挑戰是教師的技術、認識觀和教學信念(Höttecke & Silva, 2011)。本研究合作的學校教師是個生手教師，在研究進行前的訪談瞭解其對科學本質的認識，大致上受其先前科學學習的影響，偏向實證主義的觀點。研究進行過程，由研究者設計科學史教材內容，並透過多次的溝通討論和課堂觀察，指導並協助合作教師按照教學方案進行教學。透過研究結果的驗證，研究者可有信心地將設計的科學史教材引介給沒有經驗的初任教師及職前教師，此個案也可作為相關師資培育課程之參考。此外，若實施本教學者是有經驗之教師，教師如何詮釋和轉換教材及其科學史和科學本質的教學內容知識(pedagogical content knowledge)，將可做為進一步研究的題材。

至於加入科學史是否能幫助概念學習，從本研究結果並未獲得支持的證據。由於本研究對象是一群高成就的學生，且習慣於傳統上課形式，平時也會自發性的反覆練習準備考試，但這種學習方式對某些入學考試成績較低的學生而言，不一定適用。鄭秀如與林煥祥(1998)的研究就曾提出，科學史教學對低成就學生的提升效果較高成就學生好。參與本研究的學生之學習評量成績未呈現差異，有可能是因為光電效應內容知識的難度較高，加入科學史內容不足以作為概念學習的鷹架，也可能是因為研究對象的高學習成就所造成的天花板效應(ceiling effect)，真正原因有待進一步設計不同的實驗組，以比較科學史教學對不同學習成就學生的影響。

光電效應的研究是近代物理中量子力學史發端的事件之一，高中課程中近代物理尚

airiti

有許多主題是學生將學習的，例如高一基礎物理中介紹粒子的波粒二象性、量子論、原子光譜，高三選修物理除了光電效應和量子論外，還有電子的發現、X射線、物質波等單元。此階段的物理課程涵蓋了較為艱澀抽象的近代物理學知識，然這些單元常有關於科學家的實驗和理論的片段介紹，若能以串連的歷史事件或故事(林陳涌等，2009；Klassen, 2010)完整呈現近代物理學發展的歷程，將可幫助學生對科學發展有較真實的認識。

誌謝

本研究為國科會專題研究計畫NSC 100-2511-S-003-29-MY3之部分成果。感謝參與的合作教師與學生，也感謝匿名審稿專家給予本文寶貴的建議。

參考文獻

1. 李明昆、劉靜怡、洪振方(2011)。科學史融入物理教學對高一女生的科學本質觀與電磁學概念改變之研究。**屏東教育大學學報**，**36**，133-168。
2. 杜鴻模(2002)。物理科低成就學生之輔導個案。**科學教育月刊**，**252**，46-51。
3. 林陳涌、鄭榮輝、張永達(2009)。融入科學史教學對高中學生的科學本質觀、對科學的態度以及學習成就的影響。**科學教育學刊**，**17**(2)，93-109。
4. 邱奕華(2012)。**科學史與科學概念教學順序對學生科學認識觀與學習動機之影響**。未出版之碩士論文，國立臺灣師範大學科學教育研究所，臺北市。
5. 教育部(2008)。**97年度國民中小學九年一貫課程綱要**。臺北市：作者。
6. 許良榮(1999)。科學史與科學教學——一些省思與建議。**物理教育**，**3**(1)，93-101。
7. 郭奕玲、沈慧君(1996)。**物理通史**。臺北市：凡異。
8. 傅大為(2001)。X Rated物理教育。**物理雙月刊**，**23**(1)，7-8。
9. 傅麗玉(1999)。科學家的「不當行為」故事在中等科學教育的價值與意義。**科學教育學刊**，**7**(3)，281-298。
10. 鄭秀如、林煥祥(1998)。科學史對高中學生學習成就之影響。**科學與教育學報**，**2**，205-222。
11. 戰克勝(2006)。互動式科學小故事對高中學生科學本質觀之影響。**屏東教大科學教育**，**24**，3-20。
12. Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000). The influence of history of science courses on students' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, *37*(10), 1057-1095.
13. Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Lederman, N. G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. *Science Education*, *82*(4), 417-436.
14. American Association for the Advancement of Science. (1990). *Science for all Americans*. New York: Oxford University.

airiti

15. American Association for the Advancement of Science. (2001). *Atlas of Science Literacy* (Vol. 1). Washington, DC: American Association for the Advancement of Science Press.
16. Baxter Magolda, M. B. (2004). Evolution of a constructivist conceptualization of epistemological reflection. *Educational Psychologist*, *39*(1), 31-42.
17. Bogdan, R., & Biklen, S. K. (1998). *Qualitative research for education: An introduction to theory and methods* (3rd ed.). Boston, MA: Allyn & Bacon.
18. Brush, S. B. (1969). The role of history in the teaching of physics. *The Physics Teacher*, *7*(5), 271-280.
19. Conley, A. M., Pintrich, P. R., Vekiri, I., & Harrison, D. (2004). Changes in epistemological beliefs in elementary science students. *Contemporary Educational Psychology*, *29*, 186-204.
20. Dagenais, A. (2010). Teaching high school physics with a story-line. *Interchange: A Quarterly Review of Education*, *41*(4), 335-345.
21. Dedes, C., & Ravanis, K. (2009). History of science and conceptual change: The formation of shadows by extended light sources. *Science & Education*, *18*(9), 1135-1151.
22. Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1985). *Children's ideas in science*. Milton Keynes, UK: Open University Press.
23. Hammer, D., & Elby, A. (2003). Tapping epistemological resources for learning physics. *Journal of the Learning Sciences*, *12*(1), 53-90.
24. Hofer, B. K. (2000). Dimensionality and disciplinary differences in personal epistemology. *Contemporary Educational Psychology*, *25*(4), 378-405.
25. Hofer, B. K. (2001). Personal epistemology research: Implications for learning and teaching. *Educational Psychology Review*, *13*(4), 353-383.
26. Hofer, B. K., & Pintrich, P. R. (1997). The development of epistemological theories: Beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning. *Review of Educational Research*, *67*(1), 88-140.
27. Höttecke, D., & Silva, C. C. (2011). Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: An analysis of obstacles. *Science & Education*, *20*(3/4), 293-316.
28. Jenkins, E. W. (1994). HPS and school science education: Remediation or reconstruction? *International Journal of Science Education*, *16*(6), 613-623.
29. Justi, R., & Gilbert, J. (2000). History and philosophy of science through models: Some challenges in the case of "The Atom". *International Journal of Science Education*, *22*(9), 993-1009.
30. Kim, S. Y., & Irving, K. E. (2010). History of science as an instructional context: Student learning in genetics and nature of science. *Science Education*, *19*(2), 187-215.

airiti

31. Klassen, S. (2010). The relation of story structure to a model of conceptual change in science learning. *Science & Education*, *19*(3), 305-317.
32. Klopfer, L. E. (1969). The teaching of science and the history of science. *Journal of Research in Science Teaching*, *6*(1), 87-95.
33. Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
34. Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, *39*(6), 497-521.
35. Liang, J. C., & Tsai, C. C. (2010). Relational analysis of college science-major students' epistemological beliefs toward science and conceptions of learning science. *International Journal of Science Education*, *32*(17), 2273-2289.
36. Lin, C. Y., Cheng, J. H., & Chang, W. H. (2010). Making science vivid: Using a historical episodes map. *International Journal of Science Education*, *32*(18), 2521-2531.
37. Liu, S. Y., & Lederman, N. G. (2007). Exploring prospective teachers' worldviews and conceptions of nature of science. *International Journal of Science Education*, *29*(10), 1281-1307.
38. Mas, C. J. F., Perez, J. H., & Harris, H. H. (1987). Parallels between adolescents' conception of gases and the history of chemistry. *Journal of Chemical Education*, *64*(7), 616-618.
39. Matthews, M. R. (1989). A role for history and philosophy in science teaching. *Interchange*, *20*(2), 3-15.
40. Matthews, M. R. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. New York: Routledge.
41. Meichtry, Y. J. (1993). The impact of science curricula on student views about the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, *30*(5), 429-443.
42. Monk, M., & Osborne, J. (1997). Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for the development of pedagogy. *Science Education*, *81*(4), 405-424.
43. National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
44. Niaz, M., Klassen, S., McMillan, B., & Metz, D. (2010). Reconstruction of the history of the photoelectric effect and its implications for general physics textbooks. *Science Education*, *94*(5), 903-931.
45. 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.
46. Prosser, M., Walker, P., & Millar, R. (1996). Differences in students' perceptions of learning physics. *Physics Education*, *31*(1), 43-48.

47. Roach, L. E., & Wandersee, J. H. (1995). Putting people back into science: Using historical vignettes. *School Science and Mathematics*, *95*(7), 365-370.
48. Rudge, D. W., & Howe, E. M. (2009). An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. *Science & Education*, *18*(5), 561-580.
49. Russell, T. L. (1981). What history of science, how much, and why? *Science Education*, *65*(1), 51-64.
50. Seroglou, F., & Koumaras, P. (2001). The contribution of the history of physics in physics education: A review. *Science & Education*, *10*(1), 153-172.
51. Solomon, J., Duveen, J., Scot , L., & McCarthy, S. (1992). Teaching about the nature of science through history: Action research in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, *29*(4), 409-421.
52. Tsai, C. C. (2000). Relationships between student scientific epistemological beliefs and perceptions of constructivist learning environments. *Educational Research*, *42*(2), 193-205.
53. Tsai, C. C., & Liu, S. Y. (2005). Developing a multi-dimensional instrument for assessing students' epistemological views toward science. *International Journal of Science Education*, *27*(13), 1621-1638.
54. Viana, H. E. B., & Porto, P. A. (2010). The development of Dalton's atomic theory as a case study in the history of science: Reflections for educators in chemistry. *Science & Education*, *19*(1), 75-90.
55. Vosniadou, S. (2010). Conceptual change research: An introduction. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. xiii-xxviii). New York: Routledge.
56. Wandersee, J. H. (1986). Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions? *Journal of Research in Science Teaching*, *23*(7), 581-597.
57. Wang, H. A., & Marsh, D. D. (2002). Science instruction with a humanistic twist: Teachers' perception and practice in using the history of science in their classrooms. *Science & Education*, *11*(2), 169-189.
58. Wilson, D. B. (1999). Galileo's religion versus the church's science? Rethinking the history of science and religion. *Physics in Perspective*, *1*(1), 65-84.

科學教育學刊
2014, 第二十二卷第三期, 307-330
DOI: 10.6173/CJSE.2014.2203.04

Chinese Journal of Science Education
2014, 22(3), 307-330

Does Sequence Matter? The Influence of Teaching History of Science on Students' Scientific Epistemological Views and Conceptual Learning

Yi-Hua Chiu[1] and Shiang-Yao Liu[2,*]

[1]Chu-Lin Private High School
[2]Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

Abstract

The purpose of this study was to examine the effect of involving the history of science materials in a science unit on students' scientific epistemological views and conceptual learning outcomes. Taking the Photoelectric Effect as the subject, we designed three different combinations of teaching materials, e.g. History of Science-Scientific Concept (HOS-SC group), Scientific Concept-History of Science (SC-HOS group) and Traditional Teaching (control group), and provided these materials to one high school science teacher. This teacher followed the teaching instructions in all of her classes. 270 students in 6 classes were involved and separated into three groups, and about 80% of them retained in this study. In contrast to the control group, the two experimental groups obtained additional scientific history materials and reflective questions regarding nature of science. Comparisons of the pre- and post-tests of scientific epistemology views indicated a considerable improvement in the SC-HOS group and a notable deterioration of the control group, but no significant change in the HOS-SC group. Students' scientific epistemological views were further analyzed through their responses to the open-ended questions in the worksheets. There were no significant differences on the scores of unit quiz and midterm assessment among the three groups of students. Yet, HOS teaching did not have negative influence on students' science achievement either. Overall, the SC-HOS teaching approach demonstrated an advantage when teaching units with relatively tough concepts. This study concluded that different sequence of HOS and content knowledge presented in science instruction indeed have different effect on students' learning outcomes.

Key words: Photoelectric Effect, History of Science, Scientific Epistemological Views, Conceptual Learning

* Corresponding author: Shiang-Yao Liu