

國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士班
碩士論文

指導教授：劉湘瑤 博士

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

The influence of the order of teaching scientific history and
concepts on students' epistemological beliefs and learning
motivation.

研究生：邱奕華

中華民國一百零一年八月一日

摘要

本研究針對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)，探討科學史教學對學生學習的影響以及科學史教學和概念學習的順序關係。本研究共 270 人，每組 90 人。利用研究工具「科學認識觀問卷」、「科學學習動機問卷」、「隨堂學習單」並分析學生小考和段考成績，「科學認識觀問卷」和「科學學習動機問卷」以相依樣本 t 考驗和 MANCOVA 分析，「科學概念問卷」以 ANOVA 分析。

結果發現，在科學概念問卷中，三組學生無顯著差異，顯示相較於傳統教學，科學史教學並未對學生產生不利影響；在科學認識觀問卷中，概念歷史組有最佳成效，對照組則顯著退步；科學學習動機問卷中，各組均有退步趨勢，顯示學生學習動機下降；在學生對光電效應單元的看法中，概念歷史組和對照組均顯著優於歷史概念組，顯示不恰當的教學順序可能造成學生學習受挫。實驗結果顯示出概念歷史組的教學成效最好，歷史概念組對光電效應課堂看法觀感最差，對照組科學認識觀顯著下降，顯示恰當的教學順序能促進學生學習，不恰當的順序則導致學生學習認知負荷增加，建議進行科學史融入教學前學生可先行學習科學概念。

關鍵字：科學史教學、光電效應、科學本質、科學認識觀、學習動機、概念學習。

Abstract

This research aims to examine the learning achievement, the view of nature of science and the learning motivation of high school students on scientific study. Taking Photoelectric Effect as the subject, three teaching approaches, History Of Science - Scientific Concept (HOS-SC group), Scientific Concept - The History of Science (SC – HOS group) and Traditional Teaching (control group), have been designed to inspect the influence of the teaching order of scientific history and scientific concepts on students' learning achievement and epistemological beliefs and learning motivation. In this research, 270 students were selected and separated into three groups to perform the study.

The results show that, there are no significant differences between the three groups of students in the scientific concept questionnaire. In the view of scientific epistemology questionnaire, however, there is a considerable improvement of the students in the SC-HOS group and a notable deterioration of the students in the control group. This indicates that in the teaching of Photoelectric Effect, students show a negative reaction to the HOS-SC method. With regards to the influence on learning motivation, all three groups present a declination.

Overall, the SC-HOS teaching approach demonstrates the advantage on the teaching in which the suggestion would be the appropriate of order of teaching scientific history and concepts can improve students' learning.

Key words: teaching history of science, photoelectric effect, nature of science, epistemological beliefs, learning motivation, concept learning.

目錄

第一章 緒論	1
第一節 研究動機與背景	1
第二節 研究目的與研究問題	5
第三節 研究範圍與重要性	6
第四節 名詞解釋	7
第二章 文獻探討	11
第一節 科學史教學與科學認識觀	11
第二節 科學史教學與學生學習動機	17
第三節 科學史教學與概念學習	18
第四節 科學史教學的挑戰	23
第三章 研究方法	26
第一節 研究設計與研究流程	26
第二節 研究對象	28
第三節 研究工具	29
第四節 教學設計	35
第五節 資料分析	41
第四章 研究結果與討論	49
第一節 對合作教師課室的觀察	49
第二節 學生的科學認識觀—「科學認識觀問卷」	51
第三節 學生的科學認識觀—「隨堂學習單」	56
第四節 學生學習動機及學生對科學史課程的看法	70
第五節 學生的小考和段考成績	76
第五章 結論	78
第一節 研究結論	78
第二節 討論	80
第三節 建議	83

參考文獻.....	85
附錄一 科學史課程上課投影片	91
附錄二 科學認識觀問卷和學習動機問卷	101
附錄三 隨堂學習單.....	105
附錄四 光電效應概念測驗卷.....	109

圖表目錄

表 2-1	AAAS 的科學本質觀.....	14
表 2-2	ABD-EL-KHALICK 與 LEDERMAN (2000)和 CONLEY 等(2004)所提出之科學認識觀比較.....	15
表 2-3	近年中英文科學史教學文獻之對學生科學本質觀影響實驗結果	16
表 2-4	科學史教學對概念學習的實徵研究結果整理	22
表 3-1	各組變項關係.....	26
表 3-2	各組授課時間關係.....	27
表 3-3	實驗各組班級分配.....	28
表 3-4	CONLEY 等(2004)和 LIANG 與 TSAI(2010)使用科學本質問卷之內部一致性係數.....	30
表 3-5	TUAN、CHIN 與 SHIEH(2005)使用科學學習動機問卷之內部一致性係數.....	31
表 3-6	光電小考和段考題目內容及測驗目標	33
表 3-7	各階段教學內容及理念	38
表 3-8	第一份學習單問卷編碼表和說明	44
表 3-9	第二份學習單編碼表和說明	47
表 4-1	「科學認識觀問卷」學生前後測作答情形.....	52
表 4-2	「科學認識觀問卷」MANCOVA 結果.....	54
表 4-3	科學認識觀各項成對比較結果	55
表 4-4	學生接受波動說或微粒說的原因範例及作答情形	58
表 4-5	學生選擇波動說或微粒說後的理由分布情形	59
表 4-6	學生認為接受理論最重要的理由之學生作答情形	60
表 4-7	學生選擇觸發假說或光量子假說之作答情形	61
表 4-8	學生分別選擇觸發假說或光量子假說的理由分布情形	63
表 4-9	當理論和實驗結果衝突時之學生回答範例及作答分布	64
表 4-10	學生認定密立坎不接受光量子假說的理由及分佈	68
表 4-11	「學習動機問卷」相依樣本 T 檢定結果	71
表 4-12	「學習動機問卷」之 MANCOVA 分析結果.....	73
表 4-13	「學習動機問卷」成對比較.....	74
圖 3-1	問卷施測實行關係圖	27
圖 3-2	科學史課程教學流程.....	39
圖 4-1	科學認識觀各組平均進步分數.....	53
圖 4-2	「學習動機問卷」相依樣本 T 檢定結果.....	72

第一章 緒論

第一節 研究動機與背景

物理一直都是學生學習感到困難的科目，東吳大學劉源俊(2009)教授指出，物理是自然學科中最基礎，卻是最抽象，故最難學。除了不容易學習之外，物理教學上也常常將情境去除，只教物理概念，例如清大歷史所傅大為(2001)教授提到，當他是理科學生時，感受到的物理教育是 G 級的(general 或 gymnastic audience)，代表乾淨、純真、體操運動型的。「乾淨、純真」如同一般人對於物理的觀感，「體操運動」說明著物理教學上不斷練習，就像在練習體操動作一般。國內的物理教學模式，常常是物理教師自編教材授課，或使用仿間講義上課，接著學生不斷練習解題，這些教材常將概念條列式、重點式寫出，程度好的學生能接受這樣的上課方式，但程度不好的學生卻無法從重點中建構物理概念(杜鴻模，2002)。靳知勤(2007)訪談了台灣 12 位的學術菁英，其中九位提到台灣的教育常以準備考試為主，以致於學生學習常是片段性的知識，而忽略過程技能、基本原理、及情意目標。綜上所述，研究者思考，除了這些傳統考試導向的教學方式之外，是否有不同於傳統，能夠破除學生對物理學習既定形象，並且能提升學生學習理解以及學習動機的物理教學呢？

在 99 年高中課程綱要實施之後，相較於之前的 95 年高中暫行綱要，高一基礎物理最大改變即是加入了較新的物理發現及理論，例如夸克、光電效應、物質波、宇宙學等新的名詞和理論，這些科學概念是日常生活中無法體驗的，對學生來說更是陌生，也更加困難。99 年高中課程綱要基礎物理中課程目標之一是：「介紹物理學的基本精神及物理學的範圍……使學生體認物質科學的發展對人類生活和環境的影響與其重要性……。」在高中基礎物理教科書中可發現，為了符合這樣的學習目標，課文中加入了科學史料，在章節最後也有科學家小傳，教師手冊中更補充許多科學史料供教師教學上使用。但遺憾的是，教科書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)。教學上也常因時間關係只能在教學中穿插一小段科學史事件，教科書又只提及科學史的片段和科學家小傳，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，對科學本質(nature of science)產生不恰當的迷思。

McComas(1998)列出了十項學生對科學本質的迷思：(1)認為假設(hypotheses)將成為理論(theories)再成為定律(laws)，呈現一種直線關係；(2)科學定律是絕對的(absolute)；(3)假說是根據經驗的猜測；(4)有一個舉世通用的科學方法存在；(5)證據的累積將導致正確的知識；(6)科學和科學方法提供了絕對的證明；(7)科學是程序性的(procedural)，不須創造力；(8)科學和科學方法可以回答所有的問題；(9)科學家特別地客觀；(10)必須經過實驗才能成為科學知識。McComas 並指出這些對科學的迷思可能源於教師缺乏哲學方面的訓練、教科書提供有缺點的觀點或有所遺漏。有鑑於傳統考試導向教學，學生對於科學的認識常是片段的、且充滿迷思的，為了避免上述傳統教學對學生的不利影響，研究者認為科學史融入教學(後稱科學史教學)是恰當的上課方式之一，例如學者呂紹海(2007)分析科學史教學相關文獻，指出其相關功能主要有六項：(1)幫助學生了解科學、社會及文化間的交互作用；(2)呈現科學家面對問題時的思考、探究歷程；(3)幫助學生了解科學為動態演變過程；(4)幫助學生了解相關科學概念間的關聯性；(5)幫助學生了解科學本質；(6)助於預測學生迷思概念，並協助教師進行相關實驗設計 (引自李明昆、劉靜怡、洪振方，2011)，以上可發現科學史史料是呈現科學本質的良好教材，故為了讓學生學習恰當的科學本質觀、破除科學的迷思，科學史教學將是非常適合的教學方式。

關於科學史教學主要探討的項目參考自賴淑婷(2007)的研究，其收集了 1997 年到 2006 年共 34 篇國內科學史教學文獻，這些文獻集中討論四個項目：科學學習成就、科學態度(scientific attitudes)、對科學的態度(attitude toward science)以及科學本質。而國外的科學史教學文獻中則多數討論科學本質觀(如 Abd-El-Khalick & Lederman, 2000 ; Rudge & Howe, 2009 ; Kim & Irving, 2010; Monk & Osborne, 1997; Solomon, Duveen, & Scot, 1992)。由此可見，科學史教學的研究中，科學本質觀的變化是科學史教學非常重

要的成果之一，故本研究中將著重於學生科學本質觀的變化。而科學史教學對學生學習成就的影響，則不是本研究的主要探討目標，但為了消除合作教師對科學史教學的疑慮，本研究將簡易分析學生小考成績，比較不同組學生的學習成就是否有所差異。

文獻中除了概念學習成就和科學本質的探討外，尚有科學態度及對科學態度。科學態度是指學生的學習過程中，所表現出類似於科學家的思考方式、策略、或過程；對科學的態度是指學生接觸科學的過程中，對科學的一切所形成的態度、意見、信念等。以上兩項態度特質，均和學生的表現較無直接的關係，也就是說，科學態度及對科學態度良好的學生未必學習表現較佳，故研究者尋求研究另一項和學生學習表現有密切相關的特質——學習動機。學習動機是指引起並維持學習，且朝向學習目標的內在驅力，相較於科學態度及對科學態度兩項特質，學習動機對學生表現的影響較為直接，學習動機強的學生較可能在學習表現上較優秀。又在科學教育的領域中，很少研究和學習動機有關(段曉林、靳知勤與謝祥宏，2001)，在科學史教學中的文獻更是少，故本研究藉此探討科學史教學對學生學習動機的改變，也就是討論科學史教學對學生學習動機之影響。

關於教學單元的選擇，科學史教學的文獻集中在古典物理的科學史料(如:鄭子善，2000；李玉真，2000；王月春，2004；徐錦美，2004；陳麗鴻，2005；引自許峻豪，2009)，近代物理的科學史教學集中在原子的單元(如：林兆聖，2003；王月春，2004；引自許峻豪，2009；Justi, 2000)。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、發現歷程，例如在高一基礎物理課程中，康熹文化版本教科書在介紹電子的波動性時，提到：「西元 1924 年德布羅意(Louis de Broglie，法國，1892～1987 年)提出了一個新穎的理論，就是運動中的物質可以表現出干涉與繞射的波特性，稱為物質波。」同一段文字又提到：「1927 年戴維森(Clinton Davisson，美國，1881～1985)與革末(Lester Germer，美國，1896～1971)使用鎳晶體座電子繞射的實驗，第一個成功證實物質波的假設。電子的雙狹縫干涉實驗在 1961 年由約生(Claus Jönsson，德國，1930～)完成。」在同一個段落提到許多科學家的姓名、實驗及理論，可看出科學史料在近代物理的教學上似乎有其不可替代性，如果學習近代物理勢必要接觸科學史料，那麼科學史教學就可能擁有促進學生學習的潛力。

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、宇宙學簡介此九個章節，其中量子現象主軸介紹波粒二象性和量子的行為，該單元學生普遍認為相當困難，而光電效應是學生先接觸到的單元，那麼關於光電效應，教科書上的科學史料是否恰當呢？Niaz, Klassen, McMillan, 與 Metz(2010)指出六項光電效應的歷史中應該提到的重點：(1)雷納為了解釋光電效應現象所提出的觸發假說；(2)愛因斯坦提出的光量子假說；(3)科學社群對光量子假說的不認同；(4)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；(5)密立坎對光本質的預設；(6)科學史哲對歷史事件的解釋。Niaz 等檢查 103 本大學的物理教科書發現，對於光電效應歷史的描述，只有三本教科書是尚可接受，沒有教科書包含上述六項重點，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，未提及雷納的觸發假說、科學社群對光量子假說的不認同、密立坎利用實驗證明光電方程式的正確性、密立坎對光本質的預設及科學史則對歷史事件的解釋，顯示教科書只重視光電效應的物理概念理解，而不注重科學史實。

本研究重點是科學史和科學概念的教學順序，關於研究教學順序的源起，是當研究者讀到 Kuhn 故事時，了解到 Kuhn 原先是物理學博士，為了傳授一堂科學史的課而踏入科學史界，因而成為一位重要的科學史哲學者，研究者此時產生一個想法：從物理領域踏入科學史哲領域和從科學史哲領域踏入物理領域，兩者間似乎難易程度不一，相較之下前者的似乎較後者容易，那麼在學習上不同的順序是否可能有不同的難易程度呢？也就是說科學史和科學概念的教學順序，是否擁有較佳的組合呢？

那麼是否有相關文獻是關於教學順序呢？在科學史融入教學的研究中，Abd-El-Khalick 與 Lederman(2000)的研究中，以 166 位大學生、研究生，以及 15 位職前教師為受試者，發現如果受試者持有部分科學認識觀，則可以讓後來的科學史課程在強化科學本質方面更有效果，所以建議在進行科學史融入教學之前，可先進行明示的科學本質教學，可增加科學史教學的效果。上述研究顯示科學認識觀的教學和科學史融入教學有某程度的交互作用，但一般教學現場並不會特別設計教授科學認識觀的課程，而是

著重於科學概念的理解，故研究者好奇是否在科學概念學習課程和科學史教學課程間也有如此的交互作用？

在科學史融入教學的文獻中，課程編排方式可分為附加式(add-on)和整合式(integrated)兩種方式(Matthews, 1994)，附加式課程排是在無科學史料的科學課程結束後，再進行科學史教學，科學史教學不是必要的部分，且前後兩種課程間是獨立而無關聯的，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。那麼文獻中這兩種課程編排方式何者較佳呢？賴淑婷(2007)分析了 34 篇科學史融入教學的文獻，發現附加式課程對學生科學本質觀的提升效果優於整合式課程，那麼附加式的課程設計的教學效果是源於何處呢？而一般附加式課程可視為先學習科學概念，再進科學史融入教學，如果說將此順序反轉過來，先進行科學史融入教學後，學生再學習科學概念，學生學習成效是否會因此而改變？也就是說，學生學習科學概念後，是否能增進後來的科學史教學課堂上學生的表現？抑或是學生了解了科學史脈絡後，是否能增進後來的科學概念學習？故本研究將進一步探討科學概念和科學史教學順序對學生的影響，藉此找出附加式科學史融入教學的效果的成因，並期待找出有效且經濟的方式，將科學史課程引介到教學現場。

第二節 研究目的與研究問題

本研究之研究目的：以 99 課綱高一基礎物理光電效應單元為例，探討科學概念和科學史的教學順序關係，以及科學史教學對學生科學認識觀及科學學習動機的影響。

研究問題：

- 一、科學概念和科學史的教學順序是否會影響學生科學認識觀？
- 二、科學概念和科學史的教學順序是否會影響學生學習動機？
- 三、科學概念和科學史的教學順序是否會影響學生在學習單上的表現？
- 四、科學概念和科學史的教學順序是否會影響學生考試的表現？

- 五、光電效應的單元中，科學史教學是否能影響學生科學本質觀？
- 六、光電效應的單元中，科學史融入教學是否能影響學生學習動機？
- 七、光電效應的單元中，科學史融入教學是否能影響學生考試表現？

研究假設：

- 一、進行科學概念學習—科學史教學的學生在學習單上的表現優於進行科學史教學—科學概念學習學生及對照組學生。
- 二、進行科學概念學習—科學史教學的學生在科學認識觀問卷上的表現優於進行科學史教學—科學概念學習學生及對照組學生。
- 三、進行科學史教學的兩組學生在學習動機後測上優於對照組學生。
- 四、進行科學史教學—科學概念學習組的學生在小考表現優於進行科學概念學習—科學史教學組的學生及對照組學生。

第三節 研究範圍與重要性

本研究針對 99 高中課程綱要中，高一基礎物理的「光電效應」單元所設計，不包含波動、能量等其他單元，亦不包含 99 高中課程綱要中，高三選修物理課程中的光電效應單元，故本研究結果的推論僅限於高一課程及學生學習狀況。研究實施於台北市大安區某國立高中一年級，學校入學 PR 值為 98，是台北市前幾志願，學生可視為高成就的學生且家長社經地位中上。本研究學生可能因不同縣市、設備、校風、教師等因素而呈現不同的學習狀況，本研究因研究上的限制，僅以此校學生為個案研究對象，提供相似條件的學校從事科學史融入科學教學之參考。

本研究和其他科學史教學研究的差異主要有三項：(1)本研究選擇高一基礎物理的光電效應單元，光電效應是近代物理中，量子力學的產生前非常重要的事件之一，在此之前的物理學界，普遍認為物理的未來已到了盡頭，物理學家的工作只剩下測量更精確的物理常數。光電效應為發生在古典物理和近代物理的交替的事件之一，此時期物理學界的劇烈變化，已提供強烈的故事性足以吸引學生興趣，並且有許多關於科學認識觀的事

件值得探討，所以光電效應是非常適合進行科學史教學的題材；(2)搜尋國內外文獻發現，除了原子模型單元之外，幾乎沒有研究者研究其他近代物理單元的科學史教學課程，且不同於古典物理領域的科學史教學，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，故本研究可能會產生不同於以往的研究結果。(3)在所有科學史教學的文獻中，沒有研究將科學史教學與學習動機連結在一起，本研究嘗試研究兩者的關聯性。

第四節 名詞解釋

一、科學史融入教學

本研究所使用之科學史融入教學，為整合式科學史教學，融合互動式科學小故事(interactive historical vignettes)的特色，互動式科學小故事的步驟為：(1)選擇有趣、適合學生的單元；(2)產生二元對立的衝突；(3)發展故事；(4)化解衝突；(5)評鑑(Roach & Wandersee, 1995)。本研究以科學史脈絡為主軸，使用投影片教學，由光的微粒說、波動說間辯論出發，經 19 世紀的實驗描寫光電效應發現背景，接著介紹各科學家對光電效應所設計的實驗、雷納和愛因斯坦提出不同假說解釋光電效應、並由密立坎以實驗證明光電方程式，最後介紹當時密立坎以及科學學界對於光電效應的看法。課程中每段落將請學生討論關於科學本質問題並寫在學習單上。教學上視段落需要將採講述、問答、討論等教學策略促進學生學習。

二、科學本質與科學認識觀

本研究所指之科學本質(nature of science)代表著科學發展過程的各項特性，關於科學本質並沒有一個明確的定義(Abd-El-Khalick & Lederman, 2000)，而本研究所發展之科學史教學課程目標參考 Abd-El-Khalick, Bell, 與 Lederman(1998)所提出之科學本質：(1)科學知識的暫時性——科學知識有改變的可能；(2)科學知識的實徵性——科學知識是基於自然界的觀察；(3)科學知識的主觀性(理論蘊含)——每件科學知識的背後包含著科學理論；(4)科學知識是人類想像力、創造力的產物；(5)科學知識受到社會與文化的影響；(6)觀

察和推論的區別；(7)理論和定律的功能與關係(Abd-El-Khalick & Lederman, 2000)。而本研究所指之科學認識觀，又稱科學本質觀，代表個人對科學與知識建構的理解，指的是 Conley, Pintrich, Vekiri, 與 Harrison(2004)所提出之四項科學認識觀：知識的來源(source)——檢驗關於「知識源於外在的權威」的信念；理論的驗證(justification)——檢驗關於「實驗的角色和知識的驗證」的信念；理論的確定性(certainty)——檢驗關於「知識只有單一答案」的信念；科學知識的發展(development)——檢驗關於「科學是會演化的且不斷改變」的信念。前兩項代表知曉的本質(nature of knowing)，後面兩項代表知識的本質(nature of knoeledge)。

三、科學認識觀階段

學者研究學生之科學認識觀之發展(如 Perry, 1970; Belyenky et al. 1986; Baxter Magolda, 1992; King and Kitchener, 1994; Kuhn, 1991)，發現科學認識觀均從知識非對及錯之二元論開始發展，最終發展成接近建構論的想法——知識是人類建構之產物。本研究將利用 Baxter Magolda(1992)的認識論反思(epistemological reflection)模型，評鑑學生學習單之作答，是屬於較佳的認識觀階段或較差之認識觀階段。Baxter Magolda 將學生的認識論分為四種認識階段，分為絕對性認識(absolute knowing)——認為知識是為確定的並相信權威了解所有的知識；過渡性認識(transitional knowing)——開始認為有些知識是不確定的，且希望能了解某些知識的適用情形；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；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, 2004; Hofer, 2001; Hofer & Pintrich, 1997)。

四、科學學習動機

學習動機(motivation to learn)是指引起學生學習活動、維持學習活動，並導致該學習活動趨向教師所設定目標的內在心理歷程，本研究所指之科學學習動機是 Tuan, Chin, 與 Shieh(2005)所提出之六個項目之總和，自我效能(self efficacy)——對自我能力的了解及

完成任務的信心；主動學習策略(active learning strategy)—在學習中主動地選擇策略建構知識；科學學習價值(science learning value)—學習動機高代表個體認為科學能學習到問題解決能力、體驗探究活動、促進思考、並發現日常生活和科學的相關性；表現目標導向(performance goal)—表現目標導向是和其他同學競爭並想獲得教師注意；成就目標(achievement goal)—學生在因學習過程中增長了能力和成就而感到滿足；學習環境誘因(learning environment stimulation)—表示影響學生學習動機的誘因。

五、微粒說

由十七世紀牛頓所提出，此派學說認為光的本質為一顆顆不同顏色之微粒，在空間中直線前進，碰撞到障礙物及進行彈性碰撞。此派學說優點：能夠描述光走直線、反射、折射、顏色、全影半影等現象，非常直觀。但無法說明微粒如何產生、光與光為何不會碰撞、以及繞射現象。由於是牛頓所提出，故到十九世紀前，光的本質說均由微粒說所稱霸。

六、波動說

代表人物為和牛頓同時期之科學家—惠更斯。提出著名的惠更斯原理—將波前上每一點均視為一點波源，利用波的合成，能夠解釋繞射現象，此學說也能說明光的折射、反射。但因為依據當時想法，每種波的傳遞必須要有介質—光的介質當時稱為乙太，但沒有乙太存在的證據，且日常生活上無法觀察到繞射現象，故學說落沒，直到十九世紀的重要實驗產生以及馬克斯威的電磁波理論才翻身，變成光本質說的主流。

七、光電效應

由十九世紀科學家赫茲所發現，赫茲在驗證電磁波實驗中發現—紫外線對放電現象有所影響，但並未仔細追究。之後由許多科學家研究後了解，光電效應為金屬照光後放出電子的現象。最後經科學家雷納進行實驗並整理光電效應性質，發現光電效應的產生和光的頻率有關，和光強度無關，這對於當時光的本質—波動說來說是不可思議的現象，

因為根據波動說，光能量大小和強度有關，和頻率無關，所以強度大的光應該越是能產生光電效應，這和實驗數據不合；且能量是具有累積性的，能量不足的情況下照射久一點也應該能產生光電效應—也和實驗數據不吻合。關於光電效應，當時有兩個著名的假說提出，一是雷納依據實驗結果提出觸發假說，認為光和原子中的電子發生共振，才導致電子從原子中離開，導致光電效應；二是愛因斯坦於 1905 年，經由普朗克的量子論和理論推導提出光量子假說，愛因斯坦將光視為一顆顆光量子，每一顆量子能量為頻率的倍數，故頻率越高的光，其每顆光量子能量越高，當光量子撞擊到原子裡的電子，即將所有能量傳遞給電子，電子以此克服原子束縛能而離開原子。學界起初普遍接受觸發假說，光量子假說後經由密立坎設計實驗驗證其中的光電方程式，但密立坎發表實驗結果時宣稱不同意量子假說。後愛因斯坦於 1921 年因光量子假說獲頒諾貝爾獎，1924 年密立坎獲得諾貝爾獎時表示，對光量子假說持保留態度，顯示光量子假說當時遭受到巨大的阻力。

第二章 文獻探討

科學史教學有什麼樣的功能呢？Matthews(1994)提出了七個科學史教學的功能：(1)促進對科學概念與方法的深入理解；(2)連結個別想法發展與科學想法發展；(3)科學史具有內在價值，學生應該了解科學史上重要事件；(4)對於了解科學本質，科學史是必要的；(5)能中和教科書中常出現的教條主義以及科學至上主義；(6)讓科學教材人性化、減少抽象以及吸引學生；(7)讓不同學科有聯繫性，呈現人類成就的整體性。以上可以發現科學史教學對教學上的益處，是能促進學生科學認識觀和科學概念的學習，並且能吸引學生，擁有提升學習動機的潛力。本章第一節討論科學史教學與學生科學認識觀的關係，第二章討論科學史教學對學習動機之影響，第三章討論科學史教學和科學概念學習的關係，第四章討論文獻中科學史教學的挑戰。

第一節 科學史教學與科學認識觀

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研究個人的認識論(personal epistemology)，不同學者所使用的名稱不盡相同，例如認識論信念(epistemological beliefs)、反思性判斷(reflective judgment)、知曉的方式(way of knowing)、認識論的反思(epistemological reflection)、認識論理論(epistemological theories)等，這些研究主題均為研究個人對知識(knowledge)和知曉(knowing)的想法和信念。研究支線主要分為兩類，第一類研究是將個人認識論視為是一種普遍性、系統化且階段性的發展過程，第二類研究則將個人認識論視為是相互獨立的信念。(Hofer, 2001; Hofer & Pintrich, 1997)

在第一類的研究中，研究者各自發展了認識論發展階段的模型，例如 Perry(1970)的智力和道德發展模型(intellectual and ethical development)、Belenky et al.(1986)的女人的知曉方式(women's ways of knowing)、Baxter Magolda(1992)的認識論反思(epistemological reflection)模型、King and Kitchener(1994)的反思性判斷(reflective judgment)模型、Kuhn(1991)的論證推理(argumentative reasoning)模型，這些模型所描述

的認識論發展階段擁有相似的方式，一開始的認識論階段認為知識是客觀的，並擁有二元論的想法——知識不是正確就是錯誤；接著發展成多元論，開始能接受知識的不確定性；隨後則認為知識是極端的客觀，能從不同角度看出相對的特質，並能了解證據所扮演的腳色；最後了解知識是人類所建構出來的，且知識和真理是會演化的，且知曉和證成是相互調和的(Hofer, 2001; Hofer & Pintrich, 1997)。這些研究可發現，學生所表達的認識觀擁有優劣之分，一開始的階段較接近邏輯實證主義(e.g.認為知識只有對與錯)，而最後的階段則接近建構主義(e.g.了解知識是人類建構出來的)。綜上所述，學生作答之科學認識觀階段有所不同，故研究者可利用學者所述之科學認識觀階段評價學生作答，本研究將以 Baxter Magolda(1992)的認識論反思模型，評鑑學生學習單之作答屬於何種認識觀階段。Baxter Magolda 將學生的認識論分為四種認識階段，分為絕對性認識(absolute knowing)—認為知識是確定的並相信權威了解所有的知識；過渡性認識(transitional knowing)—開始認為有些知識是不確定的，且希望能了解某些知識的適用情形；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；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, 2004; Hofer, 2001; Hofer & Pintrich, 1997)。

在第二類研究中，嘗試找出認識論中的項目，在科學教育領域中稱為科學認識觀，或稱為科學本質觀，代表個人對科學、知識建構的理解。關於科學的本質，並沒有一個明確的定義(Abd-El-Khalick & Lederman, 2000)，所以關於科學本質的內容有許多不同版本，如 AAAS 將科學本質列為將科學本質分成三個面向：科學世界觀(the Scientific World view)、科學探究(Scientific Inquiry)、科學事業(the Scientific Enterprise)，整理如表 2-1。Schommer (1990)將科學認識觀分為五個向度：穩定性(stability)、結構(structure)、來源(source)、獲取速率(speed of acquisition)、獲取控制(control of acquisition)，Schraw, Bendixen 與 Dunkle(2002)開發了知識信念工具(Epistemic Beliefs Inventory)，測量類似於 Schommer 的五個向度：確定的知識(certain knowledge)、簡明的知識(simple knowledge)、全知的權威(omniscient authority)、快速學習(quick learning)、固有的能力(innate ability)。Hofer 與 Pintrich(1997)則認為有四個一般性的科學認識觀向度：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)。Conley 等(2004)將學生科學認識的信念分為兩類，知曉的本質(nature of knowing)和知識的本質(nature of knowledge)，將認識觀分為四個向度，知識的來源(source)和科學理論的驗證(justification)屬於知曉的本質，理論的確定性(certainty)和科學知識的發展(development)則屬於知識的本質(引自 Conley, Pintrich, Vekiri, & Harrison, 2004)。以上可以發現不同學者對科學本質應該包含哪些項目擁有不同的看法。

在科學教育領域上，科學認識觀是否重要呢？美國科學促進學會(American Association for the Advancement for Science, 簡稱 AAAS)於 1989 年 Project 2061 的出版品「Science for all American」中，將下世代學生所該具備的能力彙集，定義了科學素養(Science Literacy)，當中提出科學本質一詞，從此各國開始重視科學本質的教育。國內教育部在 2000 公布的九年一貫暫行綱要以及 2003 年的九年一貫課程綱要中也將科學本質視為一個教學目標。故就科學教育領域來說，科學本質的教學是一個重要的研究目標。而科學教育學者建議，在 K-12 階段，也就是從幼稚園到高中階段，學生可以學習以下較無爭議的科學本質觀：(1)科學知識的暫時性—科學知識可能會改變(後稱暫時性)；(2)科學知識的實徵性—科學知識是基於自然現象的觀察(後稱實徵性)；(3)科學知識的主觀性(後稱理論蘊含)—每件科學知識背後是有理論的；(4)科學知識是人類想像力、創造力的產物(後稱創造力)；(5)科學知識受到社會與文化的影響；(6)觀察和推論的區別；(7)理論和定律的功能與關係(Abd-El-Khalick & Lederman, 2000)。學者建議這幾個向度可成為教學上的目標，故研究者將參考以上科學本質進行課程設計，以期學生能理解這些科學本質觀。

表 2-1 AAAS 的科學本質觀

科學世界觀	1.世界是可理解的。 2.科學想法是會改變的。 3.科學知識是持久的。 4.科學無法提供所有問題的解答。
科學探究	1.科學需要證據。 2.科學是邏輯與想像的混合。 3.科學能解釋和預測的功能。 4.科學家驗明偏見並避免偏見。 5.科學並非獨裁主義。
科學事業	1.科學是複雜的社會活動。 2.科學有不同學科且由不同機構所進行。 3.進行科學活動時，存在普遍同意的倫理原則。 4.科學家參與公共事務時，同時是專家以及公民。

本研究所採用之科學認識觀，將依照本研究的不同目標而使用不同之科學認識觀，在教學目標上，本研究將參考自 Abd-El-Khalick 與 Lederman (2000)所提出之七項之科學認識觀：(1)科學知識的暫時性；(2)科學知識的實徵性；(3)科學知識的主觀性；(4)科學知識是人類想像力、創造力的產物；(5)科學知識受到社會與文化的影響；(6)觀察和推論的區別；(7)理論和定律的功能與關係。而在評量學生科學認識觀的目標上，將採用 Conley 等(2004)的科學認識觀，分為知曉的本質與知識的本質兩類型，在知曉的本質中包含知識的來源和科學理論的驗證兩項，知識的本質中包含理論的確定性和科學知識的發展兩項。此兩類之科學認識觀相互比較見表 2-2。由表中可發現，本研究所用之評量目標較教學目標廣泛，是可接受的設計方式。

表 2-2 Abd-El-Khalick 與 Lederman (2000)和 Conley 等(2004)所提出之科學認識觀比較

Conley 等(2004)		Abd-El-Khalick 與 Lederman (2000)	
科學 認識觀	知曉的本質	科學知識的來源	無
		科學理論的驗證	無
	知識的本質	科學知識的發展	理論蘊含、創造力、實徵性、社會與文化的影響、觀察和推論的區別、理論和定律的關係
		科學的確定性	暫時性

所以實徵研究上，科學史教學是否能促進學生科學認識觀呢？研究者觀察了 2003 年之後的部分中英文科學史教學的文獻，結果見表 2-3，可以發現多數研究對學生的科學認識觀是有顯著性差異的，即使如此，少部分研究也是有無顯著差異的結果，故研究者藉此機會研究光電效應單元中，科學史教學是否能提升學生認識觀。

表 2-3 近年中英文科學史教學文獻之對學生科學本質觀影響實驗結果

名稱	作者	年份	實驗結果
Making Science Vivid: Using a historical episodes map.	Chen-Yung Lin Jung-Hui Cheng Wen-Hua Chang	2010	顯著
History of Science as an Instructional Context: Student Learning in Genetice and Nature of Science.	Sun Young Kim Jaren E. Irving	2010	顯著
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	林陳涌 鄭榮輝 張永達	2009	顯著
以原子發現科學史融入教學對學生科學本質觀影響之研究	林兆聖	2003	顯著
科學史溶入物理教學對高一女生的科學本質觀電磁學概念改變之研究	李明昆 劉靜怡 洪振方	2011	未顯著
資訊支援科學史融入生物教學對七年級學生學習成效影響之協同行動研究	黃耀萱	2011	顯著提升
科學史融入九年級自然與生活科技教學之探討—以『動能、位能與能量』單元為例	許峻豪	2009	部分顯著
互動式科學小故事對高中學生科學本質觀之影響	戰克勝	2006	部分顯著

註：英文排序方式依照第一位作者之字母，中文排序方式依照第一位作者的字首筆畫

第二節 科學史教學與學生學習動機

動機(motivation)是指引起個體活動、維持已引起活動，並導致該一活動朝向某一目標的內在歷程。學習動機(motivation to learn)則是指引起學生學習活動、維持學習活動，並導致該學習活動趨向教師所設定目標的內在心理歷程，若學習動機受外在因素影響而形成的，稱為外在動機；若學習動機是因內在需求而產生的，則稱之為內在動機(張春興，1994)。Hartman與Sternberg(1993)提出BACEIS模型，包含行為(Behavior)、情意(Affect)、認知(Cognition)、環境(Environment)四個互動系統(Interaction System)，其中情意系統和認知系統相互獨立且相互互動，而學習則是此四個系統互動後的結果，情意系統中包含三個項目，分別為態度(attitude)、情意上的自我調節(affective self-regulation)、動機(motivation)，其中動機—包含外在動機和內在動機—為情意系統最終的產物，外在動機將尋求環境中的獎賞，內在動機則選擇忽略外在獎賞。Lee與Brophy(1996)利用質性研究方法研究學生在概念改變教學過程中學習動機的類型，發現有以下五類：對科學學習的內在動機、有內在動機但不持續、外在學習動機、沒有學習動機、負面的學習動機(引自段曉林、靳知勤和謝祥宏，2001)，教學常以增進學生動機為目標，而內在動機尤其重要。

Hogan(1999)指出學生學習科學時會受到個人架構(personal frameworks)的影響，其中包含了動機和知識論的部分，當學生詮釋自己的學習任務時，因個人差異而對學習有不同覺知，進而影響學生學習的投入程度。這些覺知包括：(1)與自我相關的覺知：包括個人目標、自我效能、自我歸因等；(2)與學習相關的覺知：包含促進自我學習的學習策略、連結新舊經驗的策略等；(3)與學科相關的覺知：包括科學本質的認識、對科學知識以及技能形成的認識 (引自蔡執仲、段曉林、靳知勤，2006)。Tuan, Chin 與 Shieh(2005)檢查文獻發現，學生的學習目標、自我效能、學習策略、對科學學習價值的知覺，這幾個向度在學習動機上是相當重要的，研究者經訪談課室教師和學生發現，學生常談到對科學的動機，和自己、教師表現、日常生活相關之科學內容有關，符合文獻所述，此外學生也提到了學科學的外在動機(競爭、獲得老師注意)和內在動機(滿足好奇心)。以上可得知，影響學習動機的因素不只有一個，本研究採用 Tuan 等(2005)的問卷，利用該問

卷的六個項目判斷學生的學習動機高低，分別為自我效能(self efficacy)—對自我能力的了解及完成任務的信心；主動學習策略(active learning strategy)—在學習中主動地選擇策略建構知識；科學學習價值(science learning value)—學習動機高代表個體認為科學能學習到問題解決能力、體驗探究活動、促進思考、並發現日常生活和科學的相關性；表現目標導向(performance goal)—表現目標導向是和其他同學競爭並想獲得教師注意；成就目標(achievement goal)—學生在因學習過程中增長了能力和成就而感到滿足；學習環境誘因(learning environment stimulation)—表示影響學生學習動機的誘因。

那麼科學史教學如何能促進動機呢？Arntzenius(1995)認為，當新知識和記憶衝突時，形成認知上的不平衡，導致固有需求—尋求一個解釋，這固有需求又被 Schwitzgebel(1999)稱為尋求解釋的好奇心(explanation-seeking curiosity)(引自 Klassen, 2010)，故設計教學課程時，可以呈現和學生所知相衝突的史實，當學生發現矛盾時將產生尋求解釋的動機，除了創造內在動機外，且能以活潑生動教學方式提高外在動機，藉以提升內在動機。由 Hartman 與 Sternberg(1993)提出 BACEIS 模型中可了解到，學習動機是情意系統的最終產物，也就是說相較於情意系統中的態度，學習動機和學生的表現有較高的相關性，但相較於興趣、態度，學習動機並非能擁有立竿見影的改變，所以本研究並不預設學生在哪些影響學生學習動機的項目上將有所改變，而是利用這六個學習動機項目判斷學生學習動機的增長。

第三節 科學史教學與概念學習

Monk 與 Osborne(1997)認為，教導科學的想法能幫助學生概念的學習，因為歷史上科學想法常常和學生想法平行，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，且專注在不同對立的學說將增進概念的聚焦，故理論上科學史教學擁有促進學生學習的功能。國內學者傅麗玉(1996)整理了從 1900 年至 1990 年有關運用科學史於科學教育的文獻，指出科學史在科學教育上曾被認定的功能，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(引自傅麗玉，1999)。

為什麼認定科學史能滿足學習認知的需要呢？從格式塔(Gestalt)學派的觀點，知識不是片段、零碎的，Gestalt 這個字指的是組織(organization)以及結構(configuration)，意指我們經歷的世界是充滿意義的型態(pattern)或組織過的整體(organized wholes)(Phillips & Soltis, 2004)，故建議提供學生學習情境，引發頓悟(insight)，強化學習。在概念改變理論中，Posner 等(1982)發表了學習者概念改變模式的必要條件：(1)對自己先前概念不滿意(dissatisfaction)—當先前概念遇到問題卻無法解決而產生質疑；(2)新概念要容易了解(intelligible)—新概念對學習者必須是能夠了解的；(3)新概念是合理的(plausible)—對學習者來說新概念要合理；(4)新概念是豐富的(fruitful)—新概念不只能解決現有問題，還能應用在更廣的範圍上，當上述條件滿足，學生產生概念改變—也就是學習。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(Carey, 1985 ; Hewson, 1981 ; Posener et al., 1982 ; 引述自 Klassen, 2010)，所以學習包含了產生意義以及記憶。故提供學習相關情境，可幫助學生產生意義並有助於記憶，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，可以促進學生對科學概念、科學過程以及科學情境的理解(Klopfer, 1969; Wang & Marsh, 2002; 引自林陳涌、鄭榮輝、張永達，2009)。

Klassen(2010)指出故事的結構和概念改變的學習過程是相關聯的。在故事的結構中，Prince(1973)分析了大量的類似於故事的句子，認為故事的最小結構包含三個階段，其中第一和第三個階段是陳述性的事件，第二個事件是動作性的事件，且第一個事件和第三個事件是相反的，稱為最小化故事(minimal story)，Klassen 將此模型修改，認為在科學史故事中，第一階段和第三階段最好是動作性的，且第一階段和第三階段不一定要相反，只要經過轉變即可接受。Arntzenius(1995)提出了一個包含時間性因果關係的概念改變機制，包含三個階段，第一階段是和過去相關的起始狀態，第二階段是和現在相關的事件，第三階段是和未來相關的最終狀態，當新知識(未來)和舊知識(過去)比較之下若不一致，形成認知上的不平衡，導致固有的需求(innate need)，將尋求理由解釋其不一致(引自

Klassen, 2010)。故此說明了為什麼科學史教學有促進學生學習的潛力，當科學故事的前後不一致時，學生將尋求解釋，在尋求的過程中，不斷產生假設並修正，找尋最恰當的解釋，促進學生學習。

另一個科學史能促進概念學習的說法來自於，部分學者發現兒童有許多概念是平行於科學史的 (Fischer, 1983 ; Kass & Lambert, 1983 ; McCloskey, 1983 ; Nussbaum & Novick, 1982 ; Nussbaum, 1983 ; 引自 Wandersee, 1985)，Carey(1985)認為，兒童概念改變歷程類似於 Kuhn 所提出的科學革命般激烈的概念改變，或類似於科學知識的發現歷程(引自邱美虹，2000)。Christos Dedes (2005)比較了視覺的機制，發現科學史上對視覺的概念轉變和幼童的概念轉變有相當高的相似性，所以他認為，科學史能幫助老師預測、尋找學生的迷思概念，此外還有兩種用途，其一當學生看見歷史事件時，可能就此發現自己概念的不足，造成認知上的不平衡，進而產生概念改變；其二，雖然學生的概念不恰當，但他們可能習以為常，所以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。Wandersee(1985)進行相關研究，研究了 1405 位來自於國小、中學、大學的學生，探討科學史是否能預測學生關於光合作用的迷思概念，結果發現科學史確實能預測學生的迷思概念，也有許多其他的實徵研究支持這樣的說法 (Mas & Perez, 1987; Son, Cho & Chung, 1997; Van Drie, De Vos & Verloop, 1998)。但對於學生概念和科學史平行的說法，Dirver、Guesne 與 Tiberghien(1985)認為不應對此平行關係作過度推論，因為：(1)兩者間通常只是部分相似，不代表整體架構是一致的；(2)科學家的想法常常為一致性概念系統中的一部分，兒童所使用的概念卻未必具有一致性。Thagard(1992)從內容(content)、結構(structure)、機制(mechanism)三個向度比較科學家和兒童的知識成長歷程，均能發現彼此的差異性(引自邱美虹，2000)。Wandersee(1985)也認為學生對世界的詮釋和科學家會有所不同，不能只是將學生當作不成熟的科學家。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，引發學生概念改變，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。

實徵研究上科學史教學是否能促進學生概念學習呢？研究者整理了 1998 年後的中英文文獻，見表 2-4，發現許多實驗結果並未達統計上顯著結果，科學史教學和講述教學的效果似乎沒有明顯的不同，但也沒有研究發現科學史教學有危害學生學習概念的傾向，賴淑婷(2007)分析了 34 篇科學史教學的文獻，發現科學史教學對學生學習成就有正向影響，但屬低效果量，故本研究主要目的並非探討科學史教學對學生學習成就之影響，但考量到合作教師對於科學史教學質疑，將比較學生小考和段考成績，了解科學史教學是否會影響學生概念學習表現。

表 2-4 科學史教學對概念學習的實徵研究結果整理

名稱	作者	年份	學習成就
Historical Case Studies: Teaching the Nature of Science in Context.	Allan R. Irwin	1998	未顯著
Using the history of science to promote students' problem-solving ability.	Huann-shyang Lin Fui-ying Hung Su-chu Hung	2002	問題解決能力較佳
History of Science as an Instructional Context: Student Learning in Genetice and Nature of Science.	Sun Young Kim Jaren E. Irving	2010	未顯著
科學史的學習對國中學生歷史的科學本質觀影響之探討	呂治平	2004	明顯有效
科學史融入物理教學對高一女生的科學本質觀電磁學概念改變之研究	李明昆 劉靜怡 洪振方	2011	未顯著
融入科學史教學對國一學生生物學習成效影響之研究--以「細胞與個體」單元為例	林格朱	2004	有效
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	林陳涌 鄭榮輝 張永達	2009	未顯著
資訊支援科學史融入生物教學對七年級學生學習成效影響之協同行動研究	黃耀萱	2011	顯著提升
科學史融入九年級自然與生活科技教學之探討—以『動能、位能與能量』單元為例	許峻豪	2009	顯著
融入科學史與實驗教學對國二學生理化學習成效影響之研究--以「空氣的成分與性質」單元為例	楊惠如	2009	顯著
光合作用科學史融入國中生物教學對學生學習成效影響之研究	董美津	2004	未顯著

註：英文排序方式依照第一位作者之字母，中文排序方式依照第一位作者的字首筆畫

第四節 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：(1)為了避免科學史傷害學生信念，可以依照教學目標和學生的層次，恰當地安排科學史教材；(2)可以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，且在教材中盡量使用中性的描述；(3)為了傳達科學史上的概念轉變，形式上的逼真是可以忽略的，例如可以讓。所以在設計科學史教學的課程，可以視教學目標恰當安排科學史教材，達成教學目標。

科學史教學在實行上遭遇許多問題，Höttecke 與 Silva(2010)比較了七個歐洲國家和以色列中的十個團隊的結果，統整了物理上科學史教學的挑戰，主要為四個項目：(1)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、課程內容不和學生的討論、教師灌輸知識給學生、學生並非自足學習、且表現出物理是由男性建構等；(2)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；(3)科學教學的制度——例如將歷史視為課程目標而不是科學史哲、教師強烈遵照課程目標而不是將科學史融入教學中、課程常內隱地忽略科學史等；(4)教科書內容——例如課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、教科書的編排未包含哲學家 and 歷史學家等。其中教師的教學技術、知識論、態度和信念可能是最重要的因素，因為教師是課堂最重要的角色。Abd-El-Khalick, Bell, 與 Lederman (1998)研究了 14 位職前中學教師對於科學本質的想法和教學想法，發現教師即使擁有部分恰當的科學本質觀，但很少會將科學本質觀納入教學計畫中，原因包括科學本質教學效果不明顯、備課較費事、沒有教科學本質的經驗和資源、缺乏準備時間。這些教師的疑慮也呼應到了 Höttecke 與 Silva 的研究，欲將科學史教學引介到教學現場中，可能需要更充足的教學資源，教師也需要學習相關教學技巧、策略。故本研究需要

先了解合作教師的科學認識觀，並進行面談溝通合作教師與研究者之教學目標，並傳達研究者所設計之科學史教學的教學目標與教學策略，以避免文獻中所提出之障礙。

另一項教學上的難題是教學時間的長短，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，導致教師只能教授課本內容。Wang 與 Marsh(2002)發現即使科學教師能接受科學史教學的價值，但他們教學必須涵蓋許多主題，以至於剩下不多時間可用於科學史教學(引自 Lin, Cheng, & Cheng, 2010)。在高中一年級的物理課也是如此，老師需要在約七個星期——約 14 堂課的時間，必須介紹能量、近代物理、以及宇宙學三個章節，時間相當緊迫。而 Monk 與 Osborne (1997)建議，將科學史融入教學時，必須考量教師的需求。為了解決教學上時間不足的問題，Wandersee 提出互動式科學小故事(interactive historical vignettes)的教學方式，只需要 15 分鐘即可完成一個小單元，互動式科學小故事的步驟為：(1)選擇有趣、適合學生的單元；(2)產生二元對立的衝突；(3)發展故事；(4)化解衝突；(5)評鑑(Roach & Wandersee, 1995)。為了將科學史課程引介至教學現場，本研究所設計之科學史教學課程考慮時間的急迫性，融合互動式科學小故事之特性，在有限的時間進行科學史教學，並和合作教師溝通彼此間的需求及目標。

在課程內容的編排上又必須注意一些什麼呢？Allchin(2003)列出抵觸科學本質元素，若在教學上有意無意的包含這些元素，將干擾科學本質教育：(1)巨大(Monumentality)：描述科學家為勇敢、善良、孤獨的天才。導致此項迷思是教學上忽略了學家的缺點、科學家的錯誤、其他科學家的貢獻、科學社群發展、建立科學知識需要大量的時間、科學家只是科學社群中的一員等；(2)理想化(Idealization)：認為科學研究設計是不會出錯的以及資料的意義是很明確的。導致此項迷思是因為教學強調某一個事件、忽視其他例子、省略某些事件、簡化故事；(3)情感戲碼(Affective Drama)：描述科學或科學家主導的狀況，卻又特別強調某些掙扎。導致此項迷思原因為使用「我發現了!」的語句描述事件、強調某些想法或人物、或將某些成就只歸因於機會；(4)解釋和辯護的描述(Explanatory and Justificatory Narrative)：描述科學知識來自於邏輯地、恰當地使用科學方法，此項迷思來自於描述某些科學事件時，認為正確方法導致正確知識、錯誤方法導致錯誤知識(引

自 Clough, 2010)。故在課程設計時，為了避免合作教師的不當本質觀影響科學史教學課程，研究者將經由面談與合作教師討論教學目標，並在不影響合作教師其他課堂的情況下進行教學。在課程設計方面，為了避免上述干擾科學本質學習的元素，研究者除了依照 Niaz 等(2010)所提出之光電效應史實規準設計課程之外，並將 Abd-El-Khalick 與 Lederman (2000)所提出之適合中學生學習的七項科學本質——(1)科學知識的暫時性；(2)科學知識的實徵性；(3)科學知識的主觀性（理論蘊含）；(4)科學知識是人類想像力、創造力的產物；(5)科學知識受到社會與文化的影響；(6)觀察和推論的區別；(7)理論和定律的功能與關係，作為課程目標設計科學史教學課程，完成後除了請合作教師和指導教授審閱外，並請歷史專長的教授檢閱，以避免上述干擾元素。

第三章 研究方法

本章節介紹研究設計及方法，第一節為研究設計與流程，第二節描述研究對象，第三節說明研究工具，第四節描述教學設計，第五節為資料分析。

第一節 研究設計與研究流程

本研究採準實驗研究法，相關變項整理如表 3-1。研究主要針對兩個面向：探討科學史教學和科學概念教學間的順序關係，以及科學史教學和傳統物理教學間學生學習成效的異同。實驗共三組，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，其中概念學習的課堂上將不再有科學史料的補充，著重於講授光電效應現象和愛因斯坦的光量子假說概念；實驗組二為「科學概念教學—科學史教學組」(後稱概念歷史組)，學生先行學習科學概念，再進入科學史課堂，和前一組的差別僅止於科學史課堂和概念學習課堂的先後順序。對照組為「傳統教學組」(後稱對照組)，教師以傳授科學概念為主，依照課本和講義內容上課，僅提供課本或提及之科學史料，不另外花時間討論科學史時，學習科學概念後不斷練習例題。每組在光電效應這個單元的授課時數皆為 3 節，其中實驗組的科學史教學佔 2 節，概念學習課堂佔 1 節。相關各組授課時間關係整理於表 3-2。

表 3-1 各組變項關係

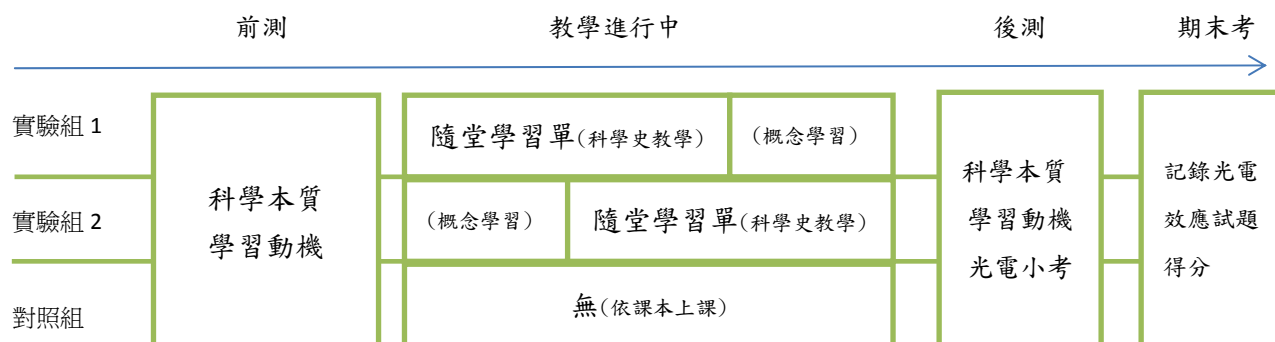
自變項 (教學法、教學順序)	控制變項 (教學環境)	依變項 (學生學習成就)
實驗組一 (歷史—概念組)	教學時數 教學單元 教學教師	科學認識觀 科學學習動機 科學概念
實驗組二 (概念—歷史組)		
對照組 (講述組)		

表 3-2 各組授課時間關係

實驗組別	第一節	第二節	第三節
歷史—概念組	科學史教學		概念學習
概念—歷史組	概念學習	科學史教學	
對照組	依照課本進行教學，並練習例題		

資料的來源主要有三種：「科學本質問卷」、「學習動機問卷」、「隨堂學習單」，並另外分析學生光電效應單元的小考成績和段考成績。「科學本質問卷」由 Conley, Pintrich, Vekiri, 與 Harrison(2004)所發展之問卷，經蔡今中教授翻譯，「學習動機問卷」由 Tuan, Chin, 與 Shieh(2005)所發展，此兩份問卷將進行前後測，目的為測量學生科學本質觀和對科學學習動機，前測實施後，待實驗課程結束後實施後測，前後測的時間間隔一個月，用以了解學生科學認識觀和科學學習動機的改變。「隨堂學習單」是科學史教學中，研究者所設計關於科學史哲和科學本質的問題，學生將在科學史教學課堂上思考這些問題，並寫下他們的想法，「隨堂學習單」所收集的是質性資料。當所有學生均結束光電效應單元時將進行光電效應小考，並另統計學生基礎物理期末考試中，光電效應題目的作答情形，藉此比較不同組別的學生對於光電效應的概念學習結果，各資料收集先後關係整理如圖 3-1。

圖 3-1 問卷施測實行關係圖



第二節 研究對象

為了能和對象教師保持良好的溝通，合作教師和班級的選擇為方便取樣。是台北市大安區某所國立高中，於 100 學年度學習高中一年級基礎物理之學生，學校入學 PR 值為 98，屬於台北市前幾志願，故學生均可視為高學習成就者。實驗班級共六個班，每班人數 45 人，其中四個男生班，一個女生班，以及一個男女混班，六個班級隨機分派至三組，一個男生班和一個女生班編入歷史—概念組，也就是先進行科學史教學後再傳授科學概念，另一個男生班和男女混班編入概念—歷史組，是先教授科學概念後再進行科學史教學，其餘兩個男生班編入傳統教學組，學生分組情形見表 3-3。

合作教師由國立臺灣師範大學物理研究所畢業，是一位女教師，教學經驗一年，對本研究抱持高度興趣，但也質疑學生學業成績會因此變差，對於科學史融入教學則一知半解，且科學本質的了解不夠深入，故研究者利用問卷和面談了解合作教師的科學認識觀，發現合作教師較重視「實徵性」，在「定律和理論的功能」其認識較為薄弱，故研究者須多次和合作教師溝通上課方式，並以影片和錄音紀錄合作教師的上課模式，藉此詮釋學生學習表現。

表 3-3 實驗各組班級分配

歷史—概念組	男生班	女生班
概念—歷史組	男生班	男女混班
傳統教學組	男生班	男生班

第三節 研究工具

本研究所採用之問卷包含「科學認識觀問卷」、「科學學習動機問卷」及「隨堂學習單」此三種問卷，前兩份問卷為量性問卷，學習單為質性問卷。在判斷量性問卷(科學認識觀問卷和科學學習動機問卷)是否可靠時，本研究參考各問卷之內部一致性信度，常使用之內部一致性信度指標為 Cronbach's alpha 值，故本研究以 Cronbach's alpha 值表示各問卷之內部一致信信度。

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，將測量學生在知識本質和知曉的本質上的表現變化，此問卷經蔡今中教授翻譯成中文。問卷題目共有 26 題，採 Likert 五分量表計分，每題均有五個選項「非常同意」、「同意」、「同意和不同意的程度差不多」、「不同意」、「非常不同意」，若學生非常同意該題敘述，則選擇 5，表示「非常同意」，選擇 1 則表示「非常不同意」，以此類推。1 到 5 題探測學生對「科學知識的來源」的看法，6 到 11 題針對「知識的確定性」，12 到 17 題為「科學知識的發展」，18 到 26 題則測量學生對「科學理論的驗證」的想法。各項目說明如下：

(1)科學知識的來源—檢驗關於「知識源於外在的權威」的信念，例如：「在科學中，只有科學家們知道如何確定什麼是對的」、「科學家們所說的，每個人都要相信」。(2)知識的確定性—檢驗關於「知識只有單一答案」的信念，例如「從事科學研究最重要的就是要想出那一個唯一正確的答案」、「科學上的所有問題都有一個正確的答案」。(3)科學知識的發展—檢驗關於「科學是會演化的且不斷改變」的信念，例如：「科學課本中的想法有時候會改變」、「有時候科學家們會改變他們原來認為是對的想法」。(4)科學理論的驗證—檢驗關於「實驗的角色和知識的驗證」的信念，例如：「做實驗是確定一個科學想法對不對的好方法」、「對於科學的問題而言，一個好的答案通常是根據許多不同科學實驗所得到的證據而來的」。那麼此份問卷是否可靠？本研究參考文獻中該問卷內部一致性信度(Cronbach's alpha 值)，以 Conley 等(2004)和 Liang 與 Tsai(2010)的研究為例，各項度之內部一致性信度(Cronbach's alpha 值)整理至表 3-4。

表 3-4 Conley 等(2004)和 Liang 與 Tsai(2010)使用科學本質問卷之內部一致性係數

	Conely et al. (2004)		Liang & Tsai(2010)
科學知識的來源	.81	.82	.69
知識的確定性	.78	.79	.76
科學知識的發展	.57	.66	.82
科學知識的確定性	.65	.76	.77

註：Liang & Tsai(2010)為國內之研究

二、學習動機問卷

為了測量學生在物理上的學習動機，研究者採 Tuan, Chin, 與 Shieh (2005)發展的科學學習動機問卷，用以探討學生科學學習動機，本研究所使用之問卷為第一位作者段曉林老師所提供之中文版問卷。題目共有 35 題，採 Likert 五分量表計分，其中有 9 題為反向題，其餘 26 題為正向題。1 到 7 題測量學生「自我效能」，8 到 15 題測量學生「主動學習策略」，16 到 20 題測量學生「科學學習價值」，21 到 24 測量學生「表現目標導向」，25 到 29 測量學生「成就目標」，30 到 35 測量學生「學習環境誘因」，各項說明如下：

(1)自我效能—學生相信能在物理學習上表現良好，例如：「不論物理內容簡單或困難，我都有把握能學會」、「我有信心在物理科的考試中取得好的成績」。(2)主動學習策略—學生在使用不同策略下採取主動角色，例如：「當有一些物理觀念不懂時，我會找相關資料來幫助理解」、「在學習過程中，我會企圖瞭解所學的知識之間的關聯性」。(3)科學學習價值—學生能了解科學學習的價值在於增進問題解決能力、體驗探究活動、刺激思考、找出和日常生活相關的科學，例如「我認為在物理課中學習解決問題的方法是很重要的」、「我認為物理課中參與科學探究活動是很重要的」。(4)表現目標導向—學生學習的目標在於和同學競爭和獲得老師注意，例如「我參與物理課的活動主要是為了表現比同學好」、「我參與物理課的活動是為了能讓同學認為我很聰明」。(5)成就目標導向—在科學課堂學習中，學生滿足於增進能力和成就，例如「在學習物理時，我覺得最有成就感的時候是，當我對物理的課程或題目練習越做越有自信」、「在學習物理時，我覺得最有成就感的時候是，當我解決一個難題時」。(6)學習環境誘因—影響學生學習動機

的學習環境因素，例如：「我願意參與物理課，因為物理(物理)課本內容生動」、「我願意參與物理課，因為老師教學有變化」。Tuan, Chin, 與 Shieh(2005)的研究中各項度內部一致性係數(Cronbach's alpha 值)整理至表 3-5。

表 3-5 Tuan、Chin 與 Shieh(2005)使用科學學習動機問卷之內部一致性係數

	個人	班級
自我效能	.82	.78
主動學習策略	.87	.84
科學學習價值	.70	.66
表現目標導向	.81	.79
成就目標導向	.80	.78
學習環境誘因	.75	.69

為了檢視學生對於「光電效應」單元的看法，研究者在後測中加了兩句陳述——「我喜歡光電效應單元的上課方式」及「光電效應單元的上課方式能幫助我學習」，目的是測量學生對光電效應單元上課方式的看法，依照 Likert 五分量表形式，非常同意為 5 分，非常不同意為 1 分，並請學生回答理由。

三、隨堂學習單

參考 Lederman et al. (2002)的 VNOS-C，由劉湘瑤教授翻譯之科學本質問卷 (Liu & Lederman, 2007)，其評量項目包括科學知識的暫時性、經驗性、推論性、創造性、理論蘊含性、社會文化影響層面，本研究依照光電效應發展史設計學習單問題時，評估科學史教材和 VNOS-C 題目的契合程度，參考其中之「恐龍大約在距今六千五百萬年前絕跡，贈成恐龍滅絕的原因中說紛紜，最廣為接受的學說有兩個：一個認為在六千五百萬年前有棵巨大的彗星撞擊地球，造成地球表面環境巨變，因而造成恐龍滅絕；另一種說法是認為六千五百外年前地球表面有過劇烈的火山與板塊運動，因而造成恐龍滅絕。兩種學說的支持者都以同樣的證據為依據，為什麼會得到兩種完全不同的結論？」，設計二元對立的理論或假說請學生選擇何者較具說服力，此類型題目共三題分屬於兩份學習單，

學習單之其他題目則依照科學史料設計，製作成為學習單，科學史教材與學習單提問內容另請歷史系教授指點後加以修正。在科學史教學中每階段均請學生思考問題並寫下想法於學習單上，均為非封閉式問題，詳細提問內容見教學設計。

四、光電效應小考與段考題目

由合作教師設計出，目的為測量學生對於「光電效應」的理解程度，測驗目標為檢驗：(1)學生對光電效應的了解——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($h\nu - W = eV$)的了解——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10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。段考題目共六題，是段考考卷中光電效應範圍的題目，題目及測驗目標見表3-6。

表 3-6 光電小考和段考題目內容及測驗目標

光電小考題目	測驗目標
1.下列有關「光電效應」的敘述， 錯誤 的是？ (A) 光電子的最大動能與入射光頻率關係圖為一直線 (B)要使某一金屬表面發射光電子而形成光電流，入射光頻率必須要超過其底限頻率 (C)入射光之頻率高於底限頻率時，縱然光強度微小亦可以產生光電子而形成光電流 (D)光電子的最大動能與入射光的強度成正比(E)入射光波長越短，光電子的最大動能越大。	光電子的最大動能和入射光強度無關
2.光電效應中，與光電子動能 無關 的是： (A)底限頻率 (B)入射光之強度 (C)入射光之波長 (D)入射光之頻率 (E)金屬的功函數。	光電子的最大動能和入射光強度無關
3.選出 正確 的選項： (A)截止電壓與照射光的頻率有關 (B)底限頻率與照射光的頻率有關 (C)照射光強度越強，產生光電子動能越大 (D)照射光強度太弱時，將無法產生光電子 (E)照射光強度太弱，照射金屬久一些，依然可以產生光電子。	截止電壓和照射光的頻率有關
4.在光電效應中，照射光越強： (A)放出電子的動能越大 (B)放出電子時間越短 (C)放出電子的波長越短 (D)放出電子的數目越多 (E)放出電子的速率越大。	照射光強度越大則光電子數量越多
5.下列有關光電效應的敘述，何者 正確 ？ (A)產生之光電子數目與入射光之強度無關 (B)光電子之最大動能與入射光強度有關 (C)光電子之最大動能隨入射光之頻率呈線性減少 (D)光電子之最大動能與產生光電子之金屬種類有關 (E)光照射到金屬表面道開始產生光電子，相隔時間通常在 10 秒以上	光電子的最大動能和金屬的功函數有關，不同金屬擁有不同的功函數。
6.使用功率為 P 的黃光照射光電管時，可產生 2×10^{-7} 安培的光電流，現將此黃光功率提高至 1.5P 照射光電管，可產生_____安培的光電流。	入射光功率提高 1.5 倍，強度也提高 1.5 倍，故光電流也提高 1.5 倍
7.承上題，若功率為 P 的黃光照射光電管時，光電子最大動能為 3eV，當此黃光功率提高至 1.5P 照射光電管，可產生_____eV 最大動能的光電子。	入射光強度和光電子最大動能無關
8.以頻率為 ν 的光照射某金屬表面，所放出的光電子最大動能為 T。若改用頻率 3ν 的光照射，則所放出的光電子最大動能為 5T，則 T 為何？(使用普朗克常數 h 以及頻率 ν 表示)	光電方程式的理解
9.一個波長 700 奈米的紅光光子與一個波長 600 奈米的黃光光子比較，紅光光子比黃光光子的能量比為？	對光子能量大小的理解
10.已知 A 金屬功函數 2eV、B 金屬功函數 3eV，現使用光子能量為 6eV 的單色光照射 A、B 兩金屬，則兩金屬所產生光電子最大動能比 $K_a:K_b$ 為？	對光電方程式的理解

段考題目	測驗目標
1. γ 射線的波長甚短，頻率很大，頻率約在 10^{20} 赫茲以上。某 γ 射線的頻率為 10^{22} 赫茲，其光子能量是多少？ (A) 6.63×10^{-10} 焦耳 (B) 6.63×10^{-12} 焦耳 (C) 6.63×10^{-14} 焦耳 (D) 6.63×10^{-16} 焦耳。	對光子能量大小的理解
2. 在光電效應實驗中，發現 (A) 光電子不帶電 (B) 用以產生光電效應的入射光之底限頻率對所有金屬的光電板均相同 (C) 光電子的最大動能與入射光的強度無關 (D) 入射光強度低於某一大於零的定值時，光電效應就不會發生。	對光電效應現象的理解
3. 用功率 500W 的黃光照射光電管，結果產生 $0.1 \mu A$ 的光電流，若改用功率 1000W 的紅光照射，則產生的光電流約為： (A) $0.1 \mu A$ (B) $0.3 \mu A$ (C) $0.4 \mu A$ (D) 可能不會產生光電流。	產生光電效應的條件
4. 史特龍做光電效應實驗，發現當入射光波長大於 4000 埃時，他所使用之光電管金屬表面即停止放射光電子，若其改為 2000 埃之光照射該金屬表面，則放出光電子的最大動能約為多少電子伏特？ (A) 4.2 (B) 6.2 (C) 3.9 (D) 3.1。	對光電方程式的理解
5. 波長為 6×10^3 埃的黃光設置一光電管，產生 0.4×10^{-7} 安培的光電流。若一個光子打出一個電子，試問引發此電流的光子數約有多少個／秒？ (A) 1.2×10^{11} (B) 2.5×10^{11} (C) 1.2 (D) 6.0×10^3 。	對光強度和光電流大小關係之理解
6. 將電子從金屬鋁表面移出需要 5.6×10^{-19} 焦耳的能量。若以波長為 200nm 的光照射鋁的表面，則釋出的光電子其最大動能約為多少焦耳？ (A) 9.9×10^{-19} (B) 6.4×10^{-19} (C) 4.3×10^{-19} (D) 3.2×10^{-19}	對光電方程式的理解

第四節 教學設計

一、科學史教學

科學史教學主要可分為附加式(add-on approach)教學以及整合式教學(integrated approach)，附加式教學是當非科學史的科學課程教授完畢後，再將科學史料附加、補充，科學史史料是非必要的；整合式教學是將科學史整合進科學內容的研究中，介紹的不只是被接受的歷史，還表現出歷史上的爭論(Matthews, 1994)。本研究之科學史教學設計，採用整合式科學史教學，並結合互動式科學小故事(Interactive Historical Vignettes, 簡稱 IHVs)的兩個元素——「中斷故事進行」以及「二元對立」，前者製造懸疑，以提升學生學習興趣，後者則誘導學生認真思考，產生解釋(Wandersee, 1985)。將科學史史料依照歷史脈絡編列成教材，以投影片上課。為了課程進行的流暢，本研究所設計之科學史教學課程，目的並不是以明示的方式改變學生科學認識觀，而是依照科學歷史脈絡，將適合討論之議題融入，故並非將所有學生該學習之認識觀融入，而是根據歷史脈絡將恰當的認識觀融入課程。課程主要分成四個階段：光的本質說、光電效應的發現、假說的提出以及科學社群的看法。

第一階段 光的本質說。

此階段目的為帶領學生快速回憶科學家描述光現象的兩派說法——微粒說和波動說，教師分別介紹兩派各自能解釋的部分以及不能解釋的部分，接著請學生閱讀學習單上文章，學習單上閱讀資料是三則關於光本質的著名實驗，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，學習單內容見附錄三，此三個實驗均支持光是波動的理論。學生從教師上課的內容和學習單的閱讀資料回答自己的想法。將從課程中了解同一現象會有不同理論作出解釋，理論間會互相競爭，並討論影響理論被接受條件。本階段提問問題：

1. 「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？」

本題目的讓學生依據上課資訊或閱讀資料，提出說明哪個理論較有說服力，由於學生上個章節所學習的即為光的波動性質，故本題預期學生將多數回答波動說較有說服力，並指出閱讀資料的實驗即為有說服力的理由。

2. 「依你的看法，接受一個學說(理論)需要什麼條件？哪個條件最重要？」

本題目的在觀察學生接受理論的一般性理由，由於一般教師對實徵性的重視，本題預期多數學生會回答實驗證據最重要。

第二階段 光電效應的發現

此階段介紹各科學家在赫茲(H. Hertz, 1857-1894)發現光電效應之後，科學家是如何設計實驗，並且一步步了解光電效應性質的。課程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(P. Lenard, 1862-1947)統整了光電效應的性質，課程最後介紹光電效應和波動說相互抵觸的論點，預期讓學生瞭解科學家如何發揮創造力探索未知的現象，以及實驗的另一種功能—產生問題。本階段課程設計目標是帶領學生從發現光電效應現象開始，講解當時科學家使用了哪些方法探索、歸納光電效應的特性，故教學策略採用講述法，並在介紹每位科學家工作後進行簡單提問，請學生課堂上思考並回答，例如介紹完霍爾瓦克斯和斯托列托夫的實驗後，請學生思考這兩者的實驗結果擁有什麼含意；介紹完雷納的實驗後，請學生思考雷納做出來的實驗圖表有什麼樣的特性。本階段學習單提問問題是：

「如果你是科學家，當理論和實驗結果衝突時，你會怎麼做？」

本題欲探討學生當理論和實驗結果衝突時，會傾向於懷疑理論或懷疑實驗，還是保持中立，並要求學生寫出其作法和理由。

第三階段 假說的提出及驗證

此階段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。教學採講述式教學法，先回顧上一階段波動說和光電效應的矛盾，接著告訴學生有兩位科學家提出解釋，此時不讓學生知道是哪兩位科學家，僅描述假說內容以及被當時學界反駁的理由，接著告訴學生一位是獲得諾貝爾物理獎的科學家—雷納，另一位是專利局職員—愛因斯坦(A. Einstein, 1879-1955)，讓學生猜猜這兩位科學家可能是誰，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，再介紹密立坎(R. A. Millikan, 1868-1953)對愛因斯坦光電方程式的實驗驗證。學生在此階段看見假說的提出並不一定需要實驗、實驗驗證對假說的重要性以及科學假說的可測試性。本階段提問問題是：

「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？」
本題目標同第一階段第一題提問，將分析學生接受假說理論的理由，本題由於愛因斯坦的名聲，預期多數學生選擇光量子假說。

第四階段 科學社群的看法

本階段主要介紹密立坎對光量子假說的想法，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，密立坎獲諾貝爾獎時發表演說表示，對光量子假說持保留態度。課程主要介紹這段史料，並請學生思考科學家的客觀性。學生在此階段看見科學家對實驗結果的詮釋仍受到他先入為主的觀點所影響，也同時瞭解理論與定律的區別。本階段提問問題：

1. 「科學家從什麼角度理解光？」

本題目標為讓學生回想科學家以波動和微粒兩種類比，描述光這個現象。預期學生能回答出波動和微粒這兩個答案。

2. 「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？」

本題目標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。由於課程呈現的方式，預期學生回答「由實驗產生假說，假說經驗證後成為理論」。

3. 「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？」

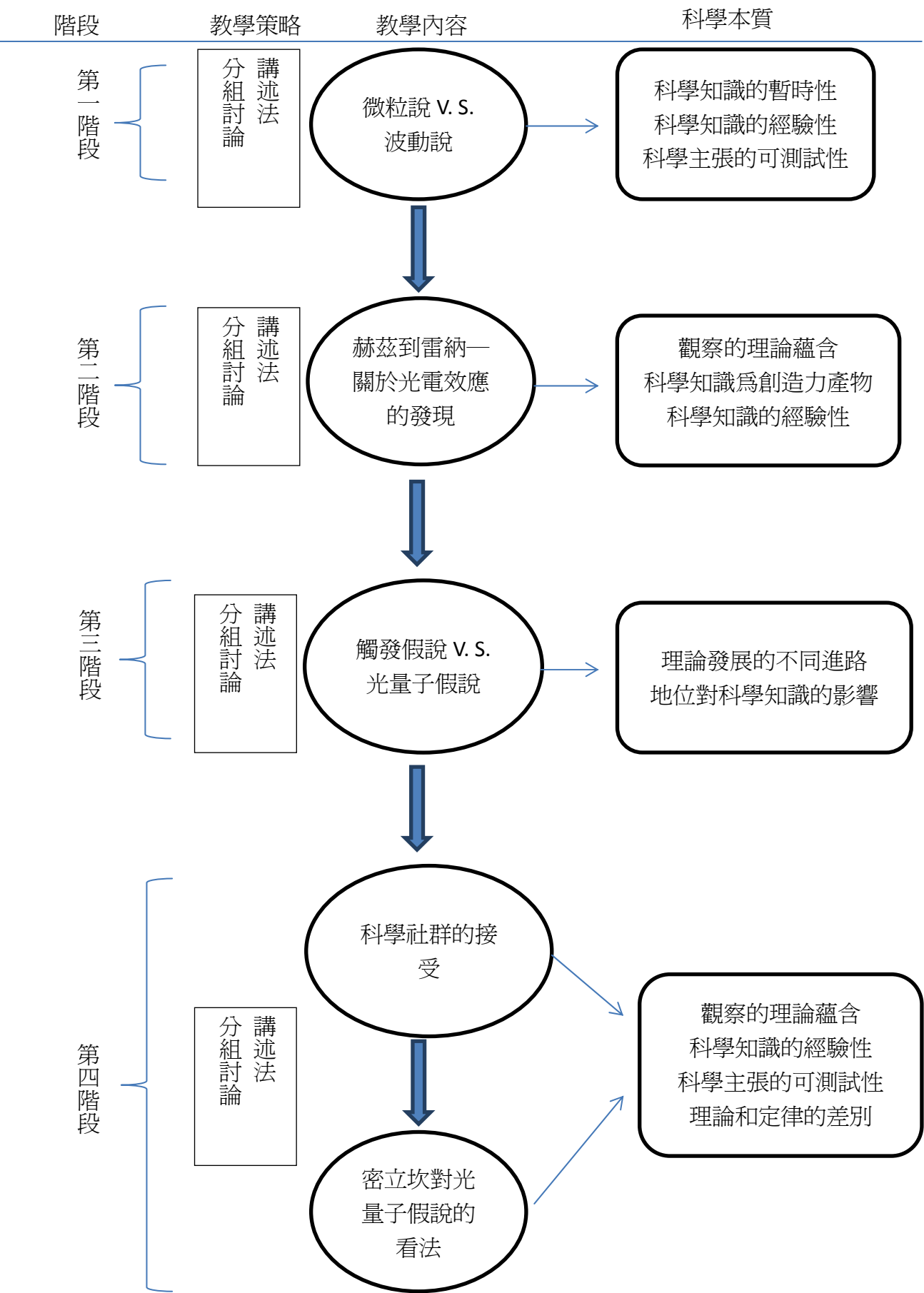
本題目標為讓學生思考科學家的主觀性，並從密立坎的話中判斷出為什麼他不認同光量子假說。

各階段教學內容及教學理念整理於表 3-7，教學流程整理於圖 3-3。

表 3-7 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，並請學生比較各派優缺點，學生將閱讀學習單上介紹十九世紀三個重要實驗的文本，並寫下教師提問問題的想法。	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以及和當時流行的波動理論衝突處，寫下教師提問問題的想法。	讓學生了解科學家如何探索未知現象並且從中歸納出規則，且了解光電效應與當時光本質說有所抵觸。
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，讓學生比較其異同。	讓學生看見同一個現象能有不同理論競爭，並且了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，並且著重介紹驗證光電方程式的密立坎對光量子假說的看法，學生將自己看法寫下於學習單。	讓學生了解接受、放棄一個理論不是一件容易的事情，且理論和方程式是不同的兩部分。

圖 3-2 科學史課程教學流程



二、科學概念教學

科學概念的教學內容為研究者和合作教師共同討論，目標為傳授光電效應的現象和光量子假說的內容，主要可分為：(1)金屬表面因受光照射而釋放電子的現象，稱為光電效應；(2)學習新名詞的涵意——「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」；(3)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；(4)照射光強度越強，則產生之光電流越大；(5)學習光量子假說內涵——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；(6)當照射光於金屬表面後，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；(7)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。教師將使用板書配合講述法教導上述光電效應單元內容，講解完畢後，即開始練習光電效應單元例題，不另補充與討論科學史料。

三、對照組之傳統式教學

傳統式教學內容為合作教師自行編排，課程目標同科學概念教學目標，讓學生理解光電效應單元之概念：(1)金屬表面因受光照射而釋放電子的現象，稱為光電效應；(2)學習新名詞的涵意——「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」；(3)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；(4)照射光強度越強，則產生之光電流越大；(5)學習光量子假說內涵——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；(6)當照射光於金屬表面後，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；(7)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。教師依據教科書、講義上課，僅提供教科書上的科學史料，不另補充，傳統組的學生學習本單元以題目的練習最多。教科書和講義上關於光電效應的科學史料有：(1)赫茲發現光電效應現象；(2)古典波動理論無法解釋光電效應；(3)雷納統整的光電效應特性；(4)愛因斯坦提出光量子假說解釋光電效應，獲得諾貝爾物理獎；(5)密立坎的驗證。

第五節 資料分析

本研究資料共有「科學認識觀問卷」、「學習動機問卷」、「隨堂學習單」，其中「隨堂學習單」為質性資料，最後分析學生光電效應小考成績和段考成績，各問卷資料分析方式分述如後。

一、科學認識觀問卷

科學認識觀問卷共有四個向度，分別為「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」。「科學知識的來源」項目有 5 個，內部一致性信度(以下均為 Cronbach's Alpha 值)=.799，「知識的確定性」項目有 6 個，內部一致性係數=.699，「科學知識的發展」項目有 6 個，內部一致性係數=.847，「科學理論的驗證」項目有 9 個，內部一致性係數=.846，以上顯示問卷具有良好的信度。

學生各向度下項目分數加總後平均，即為學生各向度得分。研究將檢測歷史概念組、概念歷史組、以及對照組的前後測的科學認識觀分數是否有差異，故學生前後測分數，分別進行相依樣本 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。為了比較歷史概念組、概念歷史組、對照組在後測的表現，研究將以學生前測分數為共變數，進行 MANCOVA，以檢視不同教學類別間是否有所差異，並比較三組學生科學認識觀的差異。

二、學習動機問卷

學習動機問卷共有六個向度，分別為「自我效能」、「主動學習策略」、「科學學習價值」、「表現目標導向」、「成就目標」、「學習環境誘因」以及研究者外加之兩項「對光電效應單元的看法」。學習動機問卷中，「自我效能」項目有 7 項，內部一致性係數=.853，「主動學習策略」項目有 8 項，內部一致性係數=.905，「科學學習價值」項目有 5 項，內部一致性係數=.823，「表現目標導向」項目有 4 項，內部一致性係數=.829，「成就目標」項目有 5 項，內部一致性係數=.783，「學習環境誘因」有 6 項，內部一致性係數=.808，以上顯示學習動機問卷具有良好的信度。

學習動機問卷中，學生各向度下項目分數加總後平均，即為學生各向度得分，「對光電效應單元的看法」則分開處理。研究者將檢測歷史概念組、概念歷史組、對照組的學習動機得分是否有所差異，故將學習動機問卷前後測進行相依樣本 t 考驗，檢視不同組別在不同項目下的進步情形。進一步為了比較三組學生學習動機問卷後測分數，將前測作為共變項，進行 MANCOVA，以檢視不同教學法學生表現是否有所差異，並分別比較三組學生的學習動機差異。為了檢視學生「對光電效應單元的看法」是否有所差異，兩題分別進行 ANOVA，檢視不同教學方法的差異，並進行多重比較，比較不同組別的差異。

三、隨堂學習單

由於無法預期學生的回答情形，故研究者將依照學生作答制定編碼表，並計算學生各項選擇人數，為了有利於不同組別間的比較，研究者將比較各項選擇人數的百分比。

第一份問卷共有三個問題，第一個問題「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？」，本題將分為兩個項目作分析，其一分析學生選擇微粒說或波動說的人數，再分別分析其選擇原因，有鑑於選擇不同理論的學生可能具有不同的理由，故本題將依照選擇理論的不同將學生分開，分開分析接受理論的理由。理由的分類分為「解釋力」、「證據力」、「尋求權威」、「可理解性」、「自身經驗」、「一致性」。「解釋力」代表學生接受理論的理由是因為理論能解釋較多現象或解釋特定現象，或是因為該理論無法解釋現象較多或無法解釋特定現象而轉向選擇另一個理論；「證據力」代表學生認為某理論擁有較有利的實驗證據支持，或某理論缺乏足夠證據支持而轉向另一個理論；「尋求權威」代表學生認為某理論的代表人物較有名所以具說服力，或因為該理論是課本的教材，代表學生尋求權威的保證；「可理解性」代表學生選擇的原因是該理論較容易理解；「自身經驗」代表學生使用自身的經驗或知識推理，找出某理論和推理結果矛盾的地方；「一致性」代表學生認為理論內的一致性較重要。

第二個問題「依你的看法，接受一個學說(理論)需要什麼條件？哪個條件最重要？」，將分析學生所認為最重要的條件，本題編碼項目同上一題分為「解釋力」、「證據力」、「尋

求權威」、「可理解性」、「自身經驗」、「一致性」，以利比較差異。「解釋力」代表學生認為能解釋越多現象越好，或不能解釋的現象越少越好；「證據力」代表學生認為實驗證據的支持最為重要；「尋求權威」代表學生認為理論提出者的名聲最重要；「可理解性」代表學生認為最重要的是理論可以被理解；「自身經驗」代表學生認為理論必須符合自身經驗最為重要；「一致性」代表學生認為理論內的矛盾越少越好。

第三個問題「如果你是科學家，當理論和實驗結果衝突時，你會怎麼做？」本題將採兩個方向分析，其一分析學生傾向質疑理論或質疑實驗結果或保持中立，當學生只對理論採取行動表示學生懷疑理論的正確性，當學生只對實驗採取行動，代表學生質疑實驗，當學生作答情形兩者皆出現，代表學生保持中立；其二分析學生作法，分為「質疑理論」、「修訂實驗」、「新角度」、「尋求協助」、「找出矛盾」。當學生提到修改理論、質疑理論時，就屬於「質疑理論」此項；當學生提到重新進行實驗、修改實驗時，就屬於「修訂實驗」此項；當學生以新角度檢視矛盾處，例如換一個理論、換一個實驗、提出新理論、進行新的實驗，皆屬於「新角度」此項；當學生提到尋求其他科學家的協助時，就屬於「尋求協助」此項；當學生只想找出何處矛盾，而無進一步做法時，就屬於「找出矛盾」此項。第一份學習單編碼表見表 3-8

表 3-8 第一份學習單問卷編碼表和說明

問題	編碼		說明
1.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？	理論	微粒說	學生認為微粒說具說服力
	選擇	波動說	學生認為波動說具說服力
	選擇理由	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
		尋求權威	理論提出者必須為權威人士 或理論經教科書採用教學
		可理解性	理論必須容易理解
		自身經驗	理論必須符合自身經驗
		一致性	理論內以及理論與舊理論該有一致性
2.依你的看法，接受一個學說(理論)需要什麼條件？哪個條件最重要？		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
		尋求權威	理論提出者必須為權威人士 或理論經教科書採用教學
		可理解性	理論必須容易理解
		自身經驗	理論必須符合自身經驗
		一致性	理論內以及理論與舊理論該有一致性
3.如果你是科學家，當理論和實驗結果衝突時，你會怎麼做？	相信	懷疑理論	學生懷疑理論的正確性
	何者	懷疑實驗	學生懷疑實驗的正確性
	做法	保持中立	學生兩者都懷疑
		質疑理論	「修改理論」、「提出新理論」都屬於質疑理論
		修訂實驗	「重複實驗」、「修改實驗」都屬於修訂實驗
		新角度	「設計新實驗」、「換理論檢視」、「換實驗做」都屬於以新角度檢視理論、實驗衝突之處。
		尋求協助	尋求他人協助
		找出矛盾	只尋找理論與實驗的衝突之處，無進一步作法。

第二份學習單包含四個問題，第一個問題「假說一(觸發假說)和假說二(光量子假說)，哪一個對你來說比較有說服力？為什麼？」本題由兩處分析，其一分析學生選擇觸發假說或光量子假說的人數，其二分析學生選擇的理由。有鑑於學生選擇不同假說學生可能依據不同理由，故研究者進一步將學生依照選擇假說的不同分析做法。本題編碼類似於第一分問卷問題一，分為「解釋力」、「證據力」、「尋求權威」、「可理解性」、「自身經驗」、「一致性」，並加上「假說來源」此項。「解釋力」代表學生認為該假說能解釋較多現象，或能較完整解釋光電效應現象；「證據力」代表學生認為該假說為實驗證據支持，或因實驗證據反對而轉向另一個假說；「尋求權威」代表學生認為該假說提出者較具知名度，或該假說編排於課本上；「可理解性」代表學生認為該假說容易理解，所以較具說服力；「自身經驗」代表學生使用自身經驗、知識進行推理，而某假說和學生推理結果矛盾，而轉向另一個理論；「一致性」代表學生認為某假說的矛盾較少，故具說服力；「理論來源」代表學生重視假說來源，認為由數學推導的假說較由實驗結果而來的假說具說服力。

第二題為「科學家用什麼角度理解『光』這個現象？」，本題欲讓學生思考並回想光電效應歷程中，科學家利用了微粒和波動兩種模型理解「光」，本題分析學生回答微粒、波動、或微粒和波動。

第三題為「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？」本題將由三個角度進行分析，分為「實驗的作用」、「假說的來源」、「理論的來源」。「實驗的作用」將分析學生認定實驗的功能，包含「驗證功能」和「產生問題功能」，當學生提到實驗證明，或「假說→實驗→理論」時，即屬於驗證功能；當學生提到由實驗產生假說，或「實驗→假說」時，即屬於產生問題功能。「假說的來源」將分析學生認為假說的來源，包含「理論來源」及「實驗來源」，當學生提到理論產生假說，或「理論→假說」時，即屬於理論來源；當學生提到實驗產生假說，或「實驗→假說」時，即屬於實驗來源。「理論的來源」將分析學生對理論來源的看法，包含「假說接受」、「實驗驗證」、「實驗發現」以及「假說和實驗」，當學生提到理論由推論而來，不須實驗證明，只需要人們接受即可，或「假說→理論」，即屬於「假說接受」此項；

當學生認為假說經實驗驗證後成為理論，或「假說→實驗→理論」，即屬於「實驗驗證」此項；當學生提到理論由實驗發現而來，即屬於「實驗發現」此項；當學生認為假說、實驗、理論三者關係為一個循環，三者均會互相影響，即為「假說和實驗」此項。

第四題「課堂中老師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，為什麼？科學家在從事科學研究時都是客觀的嗎？」本題將分為兩個項目分析，其一為學生認為密立坎不接受光量子假說的原因，其二是學生對科學家的客觀的想法。在密立坎不接受光量子假說的理由中，分為「傳統衝突」、「個性尊嚴」、「公式理論」、「證據不足」等四項。「傳統衝突」代表學生認為光量子假說和當時普遍認定的波動說相違背，故密立坎無法接受；「個性尊嚴」代表學生認為密立坎不認同光量子假說的主要理由因為個人尊嚴或地位差異；「公式理論」代表學生認為主要原因是密立坎證明了光電效應公式的正確性卻不代表證明了光量子假說的正確性；「證據不足」代表學生認為當時支持光量子假說的實驗證據還不足夠，導致密立坎不能接受光量子假說。在學生對科學家的客觀的想法中，分為「主觀意見」、「派系對立」、「社會影響」三個項目。當學生提到科學家無法避免的有主觀意見，導致科學家無法以客觀角度行事，此類屬於「主觀意見」；當學生提到科學家有派系對立，不同派系間彼此會互相衝突，此類屬於「派系對立」；當學生提到科學家會受到金錢、地位、名聲等社會性影響，此類屬於「社會影響」。第二份學習單編碼表見表 3-9

表 3-9 第二份學習單編碼表和說明

題目	編碼	說明
1.假說一(觸發假說)和假說二(光量子假說),哪一個對你來說比較有說服力?為什麼?	假說	假說一 學生認為觸發假說較有說服力
	選擇	假說二 學生認為光量子假說較有說服力
		都不接受 學生認為兩者說服力皆不足
	選擇理由	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
		尋求權威 理論提出者必須為權威人士 或理論經教科書採用教學
		可理解性 理論必須容易理解
		自身經驗 學生從經驗、知識做推論,駁斥某方想法
		一致性 理論內或理論與舊理論該有一致性
		理論來源 數學推論來源較實驗來源可靠
2.科學家用什麼角度理解「光」這個現象?	波動	科學家以波動角度理解光
	微粒	科學家以微粒角度理解光
	波動	科學家同時以波動的角度和微粒的角度理解
	微粒	光
3.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?	實驗	驗證 實驗的作用:驗證假說
	功能	產生問題 實驗的作用:產生假說
	假說	理論來源 假說的產生→從理論推論而來
		實驗來源 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.課堂中老師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,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	傳統衝突 光量子假說和波動理論不合,以及無法完整解釋干涉現象。
		尊嚴個性 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	主觀意見 科學家擁有不可避免的主觀意見。
		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

四、光電效應小考及段考

對於科學概念的檢測包含兩部分，一個是光電效應的小考，題目共 10 題，另一部分為學生期末考中，光電效應部分的答對率。研究者將計算學生題目的答對率= $(\text{正確題數}/\text{總題數}) \times 100$ ，即為學生得分。研究者欲研究歷史概念組、概念歷史組、對照組的分數差異，故將光電小考得分和期末考光電效應得分分別進行 ANOVA，以檢視不同組別是否有所差異，若有顯著差異時，進一步進行多重比較，以比較不同組別的差異。

第四章 研究結果與討論

本章就所收集之問卷——「科學認識觀問卷」、「學習動機問卷」、「隨堂學習單」、以及光電效應小考和段考成績，分析並討論教學介入的結果。本章分為五節，第一節描述研究者對合作教師以及課室觀察；第二節討論學生科學認識觀經教學介入後的變化情形；第三節討論學生在本單元教學之「隨堂學習單」的作答情形；第四節討論學生學習動機以及學生對於科學史課程的看法，將討論「學習動機問卷」的統計分析結果；第五節將分析學生小考和段考表現。

第一節 對合作教師課室的觀察

本節將就實驗所收集之影片、錄音檔，以及教師填寫之 VNOS-C 問卷，分析教師的科學認識觀、教師上課方式以及學生上課情形，並將分析結果用以詮釋學生各項表現。

本研究利用 VNOS-C 問卷測量合作教師之科學認識觀，當問到她認為「科學是什麼？」以及科學(如物理、化學、生物等)和非科學(例如宗教、哲學、或藝術等)的區別時，她認為：「科學可以建立一套完備的學說，此套學說可以合理的解釋所有觀察到的現象，而不會因觀測者的不同而有根本上的變化。非科學的學問，通常需要許多不同的說法來解釋一個現象，欠缺統整性。」可以發現，合作教師對非科學學問的認識不深，且不了解科學與非科學的學問區別在何處，她認為非科學學問缺乏統整性，也忽略了科學也可能缺乏統整性，且科學也未必能合理的解釋所有的現象。當問到她將如何介紹學生關於「科學是什麼？」時，她強調實驗證據的重要，重視科學的實徵性；對於實驗的看法則不完整，認為相對論的預測也算是實驗的一種類型，忽略了實驗最重要的因素——控制變因，而相對論的預測並非是控制變因的結果。合作教師能了解學說的暫時性，她說「學說證實、解釋目前的知識，並推論未來之發展，若預言錯誤則須修正現有學說。」；對於學說(理論)和定律的區別認識較為薄弱，認為「學說內含定律，具預測性，定律僅解釋目前結果」，顯示合作教師認為理論包含著定律，無法區別理論和定律。合作教師能了解理論蘊含以及科學是創造力的產物，認為科學的結論「皆是由現有證據去推測原

因，但路徑可能不只一條，更待有力證據驗證」，且認為科學探究過程中「各階段或多或少都要有(想像力或創造力)，心中需有一個圖像，即使是如瞎子摸象，也是需要有感覺，否則與機器無異」，顯示合作教師在此兩則本質觀有充足認識。合作教師認為科學並非獨立於社會的，是受社會影響的，她認為「自然的本質不會受文化影響，但人類對自然的解讀卻時刻被影響，因人有想像力」，在此也展現了科學的主觀性。那麼合作教師的科學認識觀屬於良好或是不足呢？在 Abd-El-Khalick, Bell, 與 Lederman 於 1998 年所進行的研究中，探討 14 位職前教師的科學本質觀，發現所有教師均強調科學的實徵性，並且均能明顯地指出科學的暫時性，以及科學知識內涵創造力和主觀性的，但多數受試者無法明顯區別定律和理論的不同，以上結果和本次研究之合作教師作答情形非常相似，也就是說，合作教師所持科學認識觀屬於典型的教師科學認識觀。

關於合作教師之上課方式，常伴隨著手勢講解觀念，並在欲強調的觀念上，會利用問答方式講解，例如「當紫外線照射到金屬上，什麼會跑出來？」，並常使用擬人化的類比解釋科學機制給學生聽，例如當講解到光電子的最大動能時，她說：「如果你是被關的電子，當你拿到能量時，你當然會支付過路費，之後帶著剩下能量出去。」，也有較為不恰當的例子，例如當說到波動說預測光電效應失效處：「它(波動說)如果去當算命師或星座專家，或是去買樂透一定都很慘，因為每一項預測都失敗。」可發現合作教師上課時所使用的類比，並未仔細評估是否恰當或類比何時無效，可能會造成學生的迷思概念。根據課室觀察，在科學史教學課堂，合作教師確實達成研究者所制定的各項教學目標，無產生其他不利因素。

關於學生在科學史教學課堂上的反應，普遍有無法適應的反應：覺得回答學習單的問題很困難、人名很難記、並且會直接向老師要學習單問題的答案並詢問那些是段考範圍，以上顯示了學生不僅習慣傳統上課方式，並凸顯了傳統教學上考試導向的教學。所以在歷史概念組中，由於習慣傳統上課方式，學生突然接受和傳統教學差異相當大的科學史教學，所以學生課堂上表現出不安，可能導致學生不喜愛科學史教學方式。

在科學史課堂的進行中，發現了學生一個迷思概念，在介紹到霍爾瓦克斯和斯托列托夫的實驗結果時，前者發現當帶負電鋅版照射紫外線後帶電量會變少，後者發現紫外

線照射負極端金屬板電路會流通，問學生以上結果擁有什麼含意，學生回答「紫外線帶正電」，學生回答代表兩個含意：(1)學生認為帶負電量減少意謂著有帶正電的物質中和負電電性，故認為紫外線帶正電，忽略了上一個章節介紹光是電磁波且不帶電的性質；(2)學生進行判斷時思考較為局部，只思考了第一個實驗的結果，未能發現即使紫外線帶正電也不能解釋第二個實驗的結果，可能是因為第一個實驗結果較為簡單，第二個實驗對學生來說較困難，所以在思考時很容易產生假設後直接跳到結論而未能深入思考。

第二節 學生的科學認識觀——「科學認識觀問卷」

「科學認識觀問卷」共 26 題，分為四個向度——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，研究者收集學生前後測問卷後，依照各項度分數平均，再進行相依樣本平均數考驗，以檢視學生科學認識觀改變情形。學生作答結果見表 4-1 和圖 4-1，表 4-1 為學生問卷分析結果，圖 4-1 為學生進步分數(後測分數減前測分數)直條圖，星號代表學生有顯著進步或退步。可發現在歷史概念組和概念歷史組中，各向度在後測中互有高低，但在對照組中，每向度的後測平均均低於前測平均。

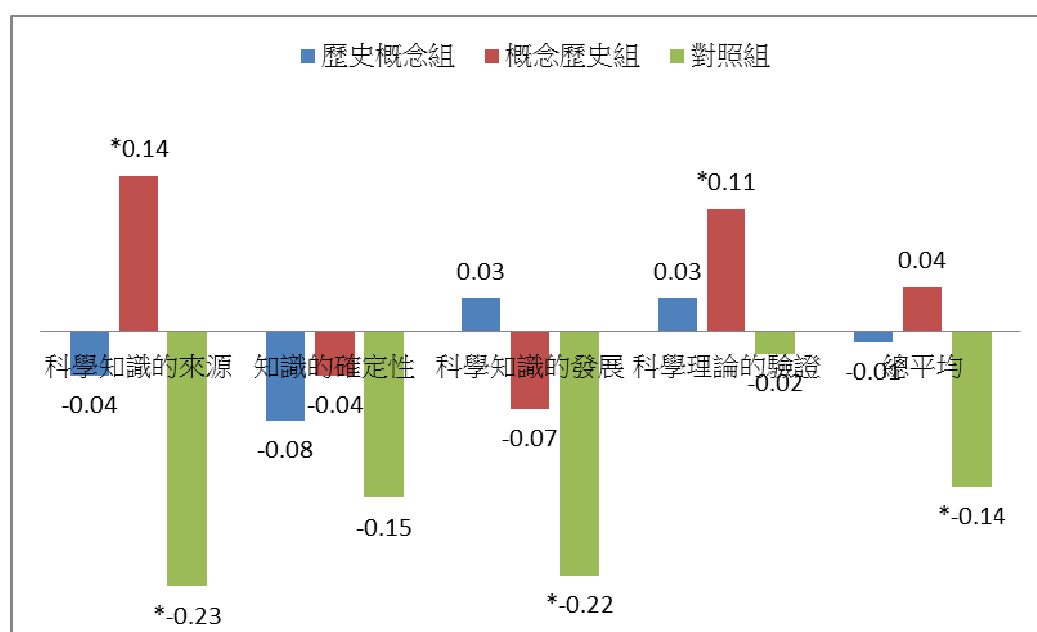
歷史概念組中，雖各向度互有高低，但均未達統計顯著水準，顯示歷史概念組學生之科學認識觀前後測沒有顯著差異；概念歷史組中，「科學知識的來源」和「科學理論的驗證」分數達顯著水準(科學知識的來源： $t(73)=2.586$ ， $p=.012$ ；科學理論的驗證： $t(73)=2.251$ ， $p=.027$)，且後測分數高於前測分數，顯示學生在「科學知識的來源」和「科學理論的驗證」此兩項科學認識觀有顯著進步，而「知識的確定性」和「科學知識的發展」未達統計顯著水準，顯示此兩向度在前後測中，學生表現無明顯差異；在對照組中，每一向度後測分數均低於前測分數，且「科學知識的來源」和「科學知識的發展」此兩向度均達統計顯著水準(科學知識的來源： $t(64)=-2.540$ ， $p=.014$ ；科學知識的發展： $t(64)=-2.318$ ， $p=.024$)，且問卷的總平均 $t(64)=-2.096$ ， $p=.040$ ，達顯著水準，表示對照組學生在「科學知識的來源」和「科學知識的發展」兩項顯著退步，且後測分數整體上也顯著退步。由於學生前測分數平均都在 4 分左右，所以後測可能受到天花板效應的影響，分數要有所進步是較為困難的。數據顯示，科學史教學對學生可能有不同程度、不

同面向上的影響，在進行科學史教學之前先傳授學生科學概念，最能促使學生科學認識觀的進步；反之若維持概念導向的講述式教學，對於學生科學認識觀上可能產生不同程度的不利影響。

表 4-1 「科學認識觀問卷」學生前後測作答情形

分組	人數	向度	前測 平均	後測 平均	前測 標準差	後測 標準差	平均進步 (後測-前測)	平均進步 標準差	t 值	p 值
歷史 概念 組	65	科學知識的來源	3.96	3.92	0.54	0.74	-0.04	0.67	-0.484	.630
		知識的確定性	4.04	3.96	0.58	0.59	-0.08	0.64	-1.033	.305
		科學知識的發展	4.27	4.31	0.53	0.49	0.03	0.51	0.528	.599
		科學理論的驗證	4.16	4.19	0.65	0.52	0.03	0.65	0.401	.690
		總平均	4.12	4.11	0.41	0.44	-0.01	0.37	-0.169	.876
概念 歷史 組	74	科學知識的來源	3.95	4.10	0.65	0.65	0.14	0.49	2.586	*.012
		知識的確定性	4.07	4.03	0.51	0.56	-0.04	0.54	-0.614	.541
		科學知識的發展	4.36	4.29	0.47	0.59	-0.07	0.65	-0.897	.373
		科學理論的驗證	4.08	4.18	0.46	0.44	0.11	0.40	2.251	*.027
		總平均	4.12	4.16	0.39	0.39	0.04	0.34	1.083	.302
對照 組	65	科學知識的來源	4.06	3.8	0.71	0.84	-0.23	0.72	-2.540	*.014
		知識的確定性	3.82	3.68	0.71	0.84	-0.15	0.73	-1.624	.109
		科學知識的發展	4.39	4.17	0.58	0.72	-0.22	0.76	-2.318	*.024
		科學理論的驗證	4.06	4.03	0.57	0.64	-0.02	0.68	-0.265	.792
		總平均	4.08	4.08	0.43	0.58	-0.14	0.52	-2.096	*.040

圖 4-1 科學認識觀各組平均進步分數



註：圖中數字表示後測平均分數-前測平均分數，星號代表該項達顯著水準

為了比較不同組別中，學生科學認識觀的不同項目上的表現，將實驗數據進行 MANCOVA，將前測分數作為共變數，控制學生起始狀態的不同，以比較學生經過不同教學方式後科學認識觀的表現，MANCOVA 結果見表 4-2。經 Box 的變異數同質性檢定，其 $F=2.572$ ， $p=.000$ 達顯著水準，違反同質性假設，代表此三類別資料離散情形具有明顯區別。教學類別對學生科學認識觀後測的整體影響效果未達統計顯著水準($F=1.516$ ， $p=0.150$)，顯示教學類別對於後測的解釋能力不顯著，將教學類別一項分開檢視，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(後測—科學知識的來源： $F=4.680$ ， $p=.010$ ；後測—知識的確定性： $F=3.198$ ， $p=.043$)，代表不同教學方式主要影響在「科學知識的來源」和「知識的確定性」此兩項上，其餘兩項則未達統計顯著。

表 4-2 「科學認識觀問卷」MANCOVA 結果

後測項目	教學組別	平均數	調整後平均數	F	p 值	Partial η^2
科學知識的來源	歷史概念組	3.923	3.911	4.680	*.010	0.045
	概念歷史組	4.102	4.121			
	對照組	3.831	3.821			
知識的確定性	歷史概念組	3.961	3.921	3.198	*.043	0.031
	概念歷史組	4.034	4.005			
	對照組	3.679	3.753			
科學知識的發展	歷史概念組	4.305	4.308	0.749	.474	0.008
	概念歷史組	4.291	4.278			
	對照組	4.174	4.186			
科學理論的驗證	歷史概念組	4.190	4.171	0.996	.371	0.010
	概念歷史組	4.182	4.172			
	對照組	4.036	4.065			

後測各組的成對比較見表 4-3，「科學知識的來源」的表現中，概念歷史組和歷史概念組差異達統計上顯著($p=.037$)，顯示概念歷史組優於歷史概念組；且概念歷史組和對照組的差異達統計上顯著($p=.004$)，顯示概念歷史組表現優於對照組，而對照組和歷史概念組的表現差異則不顯著。在「知識的確定性」的表現上，概念歷史組和對照組差異達統計上顯著水準($p=.013$)，顯示概念歷史組表現優於對照組，其他則不顯著。在「科學知識的發展」和「科學理論的驗證」兩個項目上，各組表現差異均未達統計上顯著。整體而言，後測表現上概念歷史組表現較好，對照組則表現較差。

表 4-3 科學認識觀各項成對比較結果

後測項目	組別	平均差異	p 值
科學知識的來源	歷史概念組 vs. 概念歷史組	-0.210	*.037
	概念歷史組 vs. 對照組	0.300	*.004
	對照組 vs. 歷史概念組	-0.090	.400
知識的確定性	歷史概念組 vs. 概念歷史組	-0.084	.395
	概念歷史組 vs. 對照組	0.252	*.013
	對照組 vs. 歷史概念組	-0.169	.108
科學知識的發展	歷史概念組 vs. 概念歷史組	0.030	.762
	概念歷史組 vs. 對照組	0.092	.355
	對照組 vs. 歷史概念組	-0.122	.241
科學理論的驗證	歷史概念組 vs. 概念歷史組	-0.001	.993
	概念歷史組 vs. 對照組	0.107	.207
	對照組 vs. 歷史概念組	-0.106	.228

資料顯示，科學史教學有促進學生科學認識觀進步的潛力，若教師只著重於概念的講解，可能會加強學生不當的科學認識觀。在教學對學生科學認識觀的影響上，概念歷史組的學生教學成效顯著最佳，對照組學生教學效果則最差，那麼為什麼概念歷史組學生在科學認識觀的表現優於歷史概念組呢？根據課室觀察結果，學生相當習慣傳統講述式上課方式，又光電效應單元對學生來說是較為困難的單元，所以在概念歷史組中，先學習各光電效應名詞和概念，有助於降低學生認知負荷；反觀歷史概念組，學生在尚未熟悉科學史教學的上課方式之下，又必須面對許多不熟悉的名詞，導致學生學習受阻，也就較難促進學生科學認識觀的改變。

對科學認識觀的教學效果，顯著差異集中在科學知識的來源以及知識的確定性上，可能原因是在光電效應單元中，研究者所安排之科學史教學部分，此兩項科學認識觀是較為明顯的，例如我們展示了雷納和愛因斯坦當時的身分地位，讓學生了解當代科學家所提出之假說並非永遠正確，這部分屬於科學知識的來源；又例如我們展現了微粒說和波動說的爭論，讓學生了解到科學知識一直在改變，屬於知識的確定性。而在科學知識的發展以及科學理論的驗證此兩項上則較內隱，學生不易察覺。

第三節 學生的科學認識觀——「隨堂學習單」

隨堂學習單分別屬於兩個科學史教學單元，第一節的科學史教學，從光的本質說——波動說和微粒說開始，再進入初探光電效應的實驗過程，到雷納的實驗結果結束；第二節的科學史教學從雷納的觸發假說和愛因斯坦的光量子假說開始，接著描寫科學界對光量子假說的看法。由於對照組學生未進行科學史教學，也未填寫學習單，故本節僅比較概念歷史組和歷史概念組的作答情形。將無效樣本剔除後，第一份學習單的有效樣本，歷史概念組 80 人，概念歷史組 86 人，共 166 人；第二份學習單的有效樣本，歷史概念組 73 人，概念歷史組 75 人，共 148 人。本節第一部分，將介紹學生接受假說、理論的情形及理由；第二部分介紹學生處理理論和實驗結果衝突時的反應；第三部分介紹學生對光本質的看法；第四部分介紹學生對於假說、實驗、理論三者關係的看法；第五部分介紹學生對科學家的客觀性的看法，分別敘述如下：

一、學生接受理論、假說的理由

為了瞭解學生接受理論或學說的理由，研究者設計三題分屬兩份學習單的問題，分別為第一份學習單的問題一、問題二，以及第二份學習單的問題一，分述如後。分析學生接受學說的理由時，主要分為「解釋力」、「證據力」、「尋求權威」、「可理解性」、「自身經驗」、「一致性」此六種類別，為了判斷學生選擇理由的優劣，本研究參考Baxter Magolda (2004)的認識論反思模型(Epistemological Reflection Model)評估學生選擇的理由，她將學生的認識論分為四種認識階段，分為絕對性認識(absolute knowing)、過渡性認識(transitional knowing)、獨立性認識(independent knowing)、情境性認識(contextual knowing)，絕對性認識的學習者將知識是為確定性的，並相信權威了解所有的知識；過渡性認識的學習者開始認為有些知識是不確定的，且希望能了解某些知識的適用情形；獨立性認識的學習者則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；情境性認識的學習者能在情境中使用證據建構自己的觀點。當學生選擇「解釋力」、「證據力」、「一致性」時，這些學生是依照情境提出理由，類似於情境性認識，這些學生表現最好；當學生理由為「自行經驗」時，代表學生提出自身意見，類似

於獨立性認識，這些學生表現次好；當學生理由為「容易理解」，這些學生並非將知識是視為絕對的，類似於過渡性認識，「容易理解」本身並非健全的理由，無法用來說服別人，故研究者將這些學生評估為次差；當學生理由為「尋求權威」時，學生尋求權威保證，類似於絕對性認識，學生表現最差。「尋求權威」和「容易理解」兩者均為較不成熟理由，分析時合併一起分析。

第一份問卷問題一：「波動說以及微粒說，哪一派學說(理論)對你來說比較有說服力？為什麼？」在作答本題前，學生簡短複習了波動說以及微粒說兩方的優缺點，接下來請學生閱讀學習單上閱讀資料再行回答，閱讀資料是 19 世紀三個關於光本質相當重要的實驗，分別為「楊氏干涉實驗」、「帕松亮點」、「傅柯測定水中光速」，均為強力支持波動說的實驗，目的為提供學生回答時的佐證。本題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。由於學生在前一個單元已學習了光的波動性質，再加上隨堂學習單所附的閱讀資料，描寫了三個支持波動說的重要實驗，所以實驗者預期多數學生選擇波動說，且提出的原因多為實驗和證據的支持。分析結果顯示，歷史概念組學生有 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。兩組選擇上比例差不多，但選擇微粒說人數比例比預期多，顯示部分學生即使學習了光的波動性質，也未必真正接受波動說。

學生作答結果見表4-4，兩組學生多數認為理論的解釋能力是最重要的，歷史概念組有31人(38.8%)，概念歷史組有42人(48.8%)，研究者所預期多數學生將選擇的實驗證據的支持，選擇人數並不是最多，歷史概念組有14人(17.5%)，概念歷史組9人(10.5%)，可能因為學生學過波動理論，且微粒理論也容易理解，所以能以解釋能力評估理論的優劣。在學生的理由評估，將「解釋力」、「證據力」、「一致性」三項目學生加總計算情境性認識，歷史概念組為共45人(56.3%)，概念歷史組52人(60.5%)，代表多數學生能以較成熟認識階段作答。

表 4-4 學生接受波動說或微粒說的原因範例及作答情形

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		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%)

進一步將學生分成選擇波動說或選擇微粒說兩方，以檢視學生是否基於不同理由選擇不同學說。學生選擇分布見表 4-5，選擇微粒說的學生中，約半數提及是由於牛頓的聲望，歷史概念組 9 人(50%)，概念歷史組 12 人(46.2%)，這些學生尋求權威的保證；另也有不少學生選擇微粒說的原因為微粒說容易理解，歷史概念組 5 人(27.8%)，概念歷史組 5 人(19.2%)。選擇波動說的學生中，多數學生的選擇理由集中在波動說的解釋能力，歷史概念組 30 人(49.2%)，概念歷史組 35 人(60.3%)，因為波動說能解釋干涉、繞射現象，而微粒說不能。研究者所預期的證據力比例不高，歷史概念組只有 13 人(21.3%)，概念歷史組只有 6 人(10.3%)，顯示多數學生在此情境下認為，理論的解釋能力較證據的強度重要。在學生的理由評估中可發現，選擇微粒說的學生有六成以上的理由是較差的屬於較差的過渡性認識和絕對性認識(歷史概念組：5+9、77.8%；概念歷史組：5+12、65.4%)，而選擇波動說的學生則七成以上集中在情境性認識(歷史概念組：30+13、70.5%；概念歷史組：35+6+1、72.3%)，顯示這些學生多數對波動說已有足夠了解，故能使用較佳的理由作答。

表 4-5 學生選擇波動說或微粒說後的理由分布情形

類別		微粒說		波動說	
		歷史概念組	概念歷史組	歷史概念組	概念歷史組
		(n=18)	(n=26)	(n=61)	(n=58)
情境性認識	解釋力	1 (5.6%)	6 (23.1%)	30 (49.2%)	35 (60.3%)
	證據力	1 (5.6%)	3 (11.5%)	13 (21.3%)	6 (10.3%)
	一致性	0	0	0	1 (1.7%)
獨立性認識	自身經驗	2 (11.1%)	0	11 (18.0%)	7 (12.1%)
過渡性認識	可理解性	5 (27.8%)	5 (19.2%)	2 (3.3%)	7 (12.1%)
絕對性認識	尋求權威	9 (50.0%)	12 (46.2%)	4 (6.6%)	1 (1.7%)

第一份問卷問題二：「依你的看法，接受一個理論(學說)需要什麼條件？哪一個條件最重要？」是接續在問題一之後，進一步詢問學生認為理論被接受的條件為何，此時並沒有提供相關情境，學生僅憑藉著對科學的一般性的認識作答。此分析只著重在學生認為最重要的條件，分析類別與問題一同，分為「解釋力」、「證據力」、「尋求權威」、「可理解性」、「自身經驗」、「一致性」。由於科學教師在課堂上容易強調科學的實徵性，例如 Abd-El-Khalick 等(1998)研究 14 位職前教師的科學本質觀，發現每一位教師均會強調科學的實徵性，本實驗的合作教師在面談時也強調實徵性，故研究者預期學生多數認為證據力是最重要的條件。學生作答分布見表 4-6，發現至少 7 成以上學生選擇證據力，這些學生認為理論需要有實驗或證據支持最為重要，符合研究者所預期；和問題一比較，上題最多學生選擇的「解釋力」則在本題則相當少學生選擇，歷史概念組中只有 6 人 (7.5%)，概念歷史組只有 4 人 (4.7%)，同樣是問學生接受理論的依據，一個擁有相關情境，一個沒有情境，學生回答南轅北轍，可能因為問題一迫使學生必須利用知識、資料作答，而問題二則是類似詢問學生關於理論接受的信念，所以學生反應有所差異。

表 4-6 學生認為接受理論最重要的理由之學生作答情形

類別	範例	歷史概念組 (n=73)	概念歷史組 (n=75)
解釋力	能解釋多數現象。	6 (7.5%)	4 (4.7%)
證據力	實驗證據最重要。	64 (80.0%)	63 (73.3%)
一致性	矛盾少。	3 (3.8%)	8 (9.3%)
自身經驗	要符合經驗。	0	1 (1.2%)
可理解性	需要我可以理解。	4 (5.0%)	3 (3.5%)
尋求權威	有名的人的理論。	1 (1.3%)	2 (2.3%)

第二份問卷問題一：「假說一(雷納的觸發假說)和假說二(愛因斯坦的光量子假說)，哪一個對你來說較有說服力？為什麼？」在作答本題前，學生先行了解了觸發假說和光量子假說的內容，並同時了解當時學界對此兩假說的反駁，學生依這些資訊進行判斷。因為光量子假說由愛因斯坦提出，由於愛因斯坦是一位家喻戶曉的科學家，而學生對於雷納則所知甚少，故研究者預期學生多數選擇光量子假說。結果顯示，6 成以上學生認為光量子假說較有說服力，歷史概念組中有 44 人(60.3%)，概念歷史組中 56 人(74.7%)，顯示多數學生能夠接受光量子假說，而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%)，有趣的是有少部分學生認為兩者都無法接受，歷史概念組 10 人(13.7%)，概念歷史組 2 人(2.7%)，尤其歷史概念組人數明顯較概念歷史組多，可能因為概念歷史組已經先行學習光量子假說，所以接受光量子假說人數比例較多，且兩者均無法接受的人數也較低。

進一步檢視學生接受此兩假說的原因，由於學生回答情形和前兩題略有不同，故除了依照「解釋力」、「證據力」、「尋求權威」、「可理解性」、「自身經驗」、「一致性」分析之外，並多加一項「數學來源」，選擇此項學生源於教師上課內容，故「數學來源」屬於情境性認識。研究者預期學生原因多數為尋求權威保證，認為愛因斯坦所提出假說較具有說服力。學生作答情形見表 4-7，學生理由頗為分散，各類別均有一定人數選擇，且兩組分布情形大不相同，在歷史概念組中，學生最多選擇「解釋力」(18 人，24.7%)，這些學生著重在假說能解釋什麼，或不能解釋什麼，而概念歷史組則最多學生重視「可

理解性」(23 人，30.7%)這些學生重視哪個學說較容易理解，而研究者所預期的「尋求權威」類別，提及的人數不多，歷史概念組中 12 人(16.4%)，概念歷史組 11 人(14.7%)，顯示多數學生還是能提出自身想法，而不是盲從權威。

表 4-7 學生選擇觸發假說或光量子假說之作答情形

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%)
	數學來源	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	因為假說一比較好理解	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%)

進一步依照學生選擇觸發假說或光量子假說將學生分類，分析不同假說選擇下學生的理由。學生選擇結果見表 4-8，選擇觸發假說的情況下，結果發現，部分學生選擇「可理解性」，歷史概念組 5 人(27.8%)，概念歷史組 7 人(43.8%)，由於觸發假說認為光是波動，和學生之前學習光的波動理論一致，而在此學生反應類似當時學界接受觸發假說的理由；另外也有部分學生選擇「證據力」，歷史概念組有 4 人(22.2%)，概念歷史組 5 人(31.3%)，這些學生認為觸發假說是基於實驗結果得出，相較於光量子假說的純理論推導，較具有說服力；較令人訝異的是在「尋求權威」此項中，兩組差異極大，歷史概念組有 4 人選擇(22.2%)，而概念歷史組則無人選擇，研究者也未預期選擇觸發假說的學生會選擇此項，學生的理由是，當時雷納是非常有名的科學家，所以當時人們會認為觸發假說具說服力，顯然學生將問題界定為「若你是當時的科學家，哪一個假說對你來說較具說服力？」理由評估上，學生選擇較差的理由(尋求權威人數加上可理解性人數)歷史概念

組共 9 人(50%)，概念歷史組共 7 人(43.8%)，比例和選擇較佳的理由人數差不多。

而選擇光量子假說的學生，選擇「解釋力」的人數比例較高，歷史概念組 11 人(25%)，概念歷史組 9 人(16.1%)，他們認為光量子假說能有效解釋光電效應現象；其次學生選擇「尋求權威」的人數比例較多，歷史概念組有 8 人(18.2%)，概念歷史組有 11 人(19.6%)，符合研究者預期，這些學生因為愛因斯坦名氣，或是因為光量子假說是在課本上所教授的，所以具說服力；有趣的是，兩組選擇「可理解性」和「自身經驗」比例有明顯差異，歷史概念組選擇「自身經驗」的比例較多，歷史概念組有 7 人(15.9%)選擇，而概念歷史組只有 3 人(5.4%)，而概念歷史組選擇「可理解性」的比例較多有 15 人(26.8%)，反觀歷史概念組只有 2 人(4.5%)，導致此兩項的差異可能是概念歷史組已經學習了光量子假說，所以認為此假說較容易理解，而歷史概念組因為未詳細學過光量子假說，所以以自身經驗推斷哪個學說較具說服力。值得一提的是選擇「數學來源」此項的人數雖不多(歷史概念組：2/44、4.5%；概念歷史組：4/56、7.1%)，但這些學生的作答顯示，他們認為光量子假說是源於數學、理論推導的，相較於基於實驗結果的觸發假說來得好，是因為數學比實驗更為可靠。例如一位學生寫道「用理論和數學來推導較實驗推導來的更具可信度」，另一位學生寫道「(光量子假說)它是從根本上去做解釋，進而推廣、應用到各方面」，這些學生似乎較喜愛理論科學的治學方法。另有部分學生認為兩者均無法接受(歷史概念組 5/10；概念歷史組 1/2)，主要原因是兩者均無法完全解釋所有現象，這些學生對於知識的不確定性感到不安。

理由的評估上，兩組選擇情境性認識的比例差不多，歷史概念組 18 人(40.9%)，概念歷史組 19 人(33.9%)，歷史概念組選擇較差理由(可理解性人數加上尋求權威人數)的比例較概念歷史組明顯較少，歷史概念組有 10 人(22.7%)，概念歷史組有 26 人(46.4%)，可能因為這些概念歷史組學生先行學習了一節光電效應概念，但未能理解光量子假說內容，所以當兩個困難的假說選擇時，學生優先選擇了雖似懂非懂但已學過的光量子假說，認為它容易理解所以具說服力。

表 4-8 學生分別選擇觸發假說或光量子假說的理由分布情形

類別		觸發假說		光量子假說	
		歷史概念組	概念歷史組	歷史概念組	概念歷史組
		(n=18)	(n=16)	(n=44)	(n=56)
情境性認識	解釋力	2 (11.1%)	2 (12.5%)	11 (25.0%)	9 (16.1%)
	證據力	4 (22.2%)	5 (31.3%)	5 (11.4%)	6 (10.7%)
	一致性	3 (16.7%)	1 (6.3%)	0	0
	數學來源	0	0	2 (4.5%)	4 (7.1%)
獨立性認識	自身經驗	0	0	7 (15.9%)	3 (5.4%)
過渡性認識	可理解性	5 (27.8%)	7 (43.8%)	2 (4.5%)	15 (26.8%)
絕對性認識	尋求權威	4 (22.2%)	0	8 (18.2%)	11 (19.6%)

以上三個題目分別檢視了不同程度上，學生接受假說的反應。當沒有相關情境時(接受理論，什麼最重要?)，一般學生多數認為證據最為重要，研究者相信這和教師教學有關，課堂上教師可能有意無意的強調了實驗證據的重要性，所以學生容易表現出重視證據力的傾向。當有相關情境時，此時學生將依照情境的熟悉程度而產生不同選擇，若學生熟悉相關情境，則能表現出較好的認識階段，由學生作答資料分析結果發現，學生不但注意到證據的重要性，也能發現理論解釋能力的重要性；若學生不熟悉相關情境時，對兩種假說均不理解，學生作答只能憑藉著教師所提供資料，配合自身經驗作答，雖然屬於較佳的認識階段，但此時學生表現則不甚理想；若學生對假說之一似懂非懂，且不理解另一個假說時，是否容易理解就成為理由之一，反而導致學生使用更差的認識階段進行判斷。故教師教學上如欲學生以情境式認識判斷陳述時，必須確保學生能完全了解，才能達成教學目標，促使學生使用較佳的認識階段進行判斷。

二、當理論和實驗結果相衝突時學生的反應

本項分析主要依據第一份問卷的問題三：「如果你是科學家，當理論和實驗結果衝突時，你會怎麼做？」學生的作答內容。此題是學生進行完第一天科學史教學課程後回答，由於課程最後介紹了雷納的實驗，以及實驗結果如何違背了光的波動理論，此命題是要學生將自己定位成實驗者的角色，假想當自己做出的實驗違背了固有的理論時該怎

麼做。本題將從兩個面向檢視，首先根據學生所寫的做法，檢視學生遇到此種情況時的想法，是質疑理論的正確性，或是懷疑實驗的結果，抑或是保持中立。結果顯示歷史概念組選擇懷疑理論有 29 人(36.3%)以及保持中立者有 31 人(38.8%)，此兩項人數最多且比例差不多，而概念歷史組則是過半數選擇保持中立，人數 47 人(54.7%)。概念歷史組在選擇保持中立的比例上很明顯較多，可能因為概念歷史組已經先學習過光量子假說的相關概念，對於雷納的實驗也較容易接受，所以能思考較為周全，而不是只懷疑其中之一，而歷史概念組可能無法很快地理解實驗內容，所以思考取向較單一，導致懷疑理論人數和保持中立人數差不多。

接著統計學生所提出之作法，由於學生在回答本題時，作法不只有一項，學生常常寫了兩項，故研究者將學生提出之作法均紀錄下，每人每項做法最多記一次。學生作法共分為「質疑理論」、「質疑實驗」、「新角度」、「尋求協助」、「找出矛盾」等五項，各項紀錄方式相互獨立，學生選擇分布見表 4-9，兩組學生均較多質疑理論的正確性(歷史概念組：33 人、41.3%；概念歷史組 44 人、51.2%)，可能因為此題作答前，教師展示了波動理論無法解釋光電效應的部分，故多數學生選擇質疑理論。學生較多質疑理論兩組均有多數學生質疑理論的正確性，認為理論是有可能出錯的，需要修改；另外提出以新角度重新檢視問題的學生人數也不少，這些學生認為理論和實驗的衝突處，需要其他理論或證據檢視。

表 4-9 當理論和實驗結果衝突時之學生回答範例及作答分布

類別	範例	歷史概念組 (n=80)	概念歷史組 (n=86)
質疑理論	「修改理論」、「提出新理論」	33 (41.3%)	44 (51.2%)
質疑實驗	「重作實驗」、「檢查實驗」	15 (18.8%)	36 (41.9%)
新角度	「換一個理論」、「換實驗做」	30 (37.5%)	23 (26.7%)
尋求協助	「找其他人協助」	6 (7.5%)	11 (12.8%)
找出矛盾	「看看哪裡出問題」	11 (13.8%)	7 (8.1%)

三、學生對光本質的看法。

本項分析主要依據第二份問卷之問題三：「科學家用什麼角度理解『光』這個現象？」的作答。本題目的是讓學生回想科學史教學過程中，科學家用了微粒、波動兩種角度理解光這個現象。結果顯示，半數以上學生能了解科學家以波動和微粒理解光，歷史概念組 40 人(54.8%)，概念歷史組 59 人(78.7%)，概念歷史組比例明顯較歷史概念組多，因為概念歷史組已經上過光電效應概念，能了解波粒二象性；第二多的是認為科學家只用波動理解光，歷史概念組有 17 人(23.3%)，概念歷史組有 10 人(13.3%)，而幾乎沒有人選微粒，歷史概念組只有 1 人，概念歷史組則無人選擇，顯示學生至少能了解光的波動性質，接下來才漸漸接受波粒二象性。

四、學生對於實驗、假說和理論間關係的看法

本題分析第二份問卷之問題四：「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？」在課程當中所介紹的光電效應發展史，大致上是從「實驗發現光電效應現象→提出假說→實驗驗證→漸漸為人接受」，所以研究者預期學生回答「實驗→假說→實驗→理論」這樣的歷程，但觀察學生回答情形發現，學生大部分憑藉著自己對於「實驗」、「假說」、「理論」三者的了解作答，故研究者以三個角度分析——「實驗的功能」、「假說的產生」及「理論的產生」，分述如後：

實驗的功能：在研究者所呈現的課程中，實驗的功能主要有兩種功能，一個為產生問題，另一個為驗證問題，所以研究者分析學生作答中是否包含這些功能，類別分為「驗證」功能、「產生問題」功能、以及「兩者兼具」。結果發現，6 成以上學生均提到實驗的驗證功能，歷史概念組 48 人(65.8%)，概念歷史組 49 人(65.3%)，這結果符合預期，一般對實驗的認識也多在驗證問題功能上；只選擇產生問題的比例相當少，歷史概念組只有 3 人(4.1%)，概念歷史組有 6 人(8.0%)，選擇兩者兼具的比例也不多，歷史概念組 5 人(6.8%)，概念歷史組 10 人(13.3%)，所以察覺實驗擁有產生問題功能的學生人數(產生問題人數加上兩者兼具人數)，在歷史概念組有 8 人(10.9%)，概念歷史組有 15 人(21.3%)，概念歷史組人數較多，顯示先行了解科學概念，使學生較能察覺實驗的功能不僅止於驗

證問題，還有產生問題功能。

假說的產生：在課程中主要是兩種來源，觸發假說源自於實驗，光量子假說源自於理論推導，故研究者就「理論來源」、「實驗來源」及「兩者兼具」作為分析。遺憾的是，大部分學生並未著墨在假說的產生上，在有作答的學生中，多數集中在「實驗來源」上，歷史概念組 7 人(9.6%)，概念歷史組 11 人(14.7%)，寫下「理論來源」兩組均只有 2 人，寫下「兩者兼具」的人數兩組均只有 3 人，顯示學生較容易發現「實驗來源」而較少察覺「理論來源」。

理論的產生：學生的反應主要分成 4 類，「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」；若學生回答「假說→實驗→理論」，及代表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「實驗→理論」或「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，6 成以上學生均選擇「實驗驗證」，歷史概念組有 47 人(64.4%)，概念歷史組 50 人(66.7%)，這些學生認為假說必須經過實驗驗證才能成為理論；選擇人數第二多的則是「假說接受」，歷史概念組 5 人(6.8%)，概念歷史組 8 人(10.7%)，其他組別人數非常少，不予討論。

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，這些回答傾向於實驗主義(傳統)的觀點。另有學生認為假說、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。

第五部分 學生對於科學家的客觀性的看法

本題分析第二份問卷問題五：「課堂中老師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，為什麼？科學家在從事科學研究時都是客觀的嗎？」本題預設學生回答「為什麼密立坎驗證了光電方程式卻不認同光量子假說？」此問句，但有部分學生也回答了「科學家都是客觀的嗎？」，故研究者分別分析此兩項問題，分述如下：

在第一個關於密立坎觀點的問題中，研究者將從「傳統衝突」、「個性尊嚴」、「公式理論」、「證據不足」四個類別作為分析。由於本題中學生回答不一定只符合一個類別，所以分析時學生只要提到不同類別，均計算在內，歷史概念組有效樣本 78 次，概念歷史組有效樣本 82 次。學生作答分佈見表 4-10，結果顯示，兩組學生絕大多數選擇「傳統衝突」，歷史概念組 65 次(83.3%)，概念歷史組 55 次(67.1%)，這些學生認為光量子假說無法說明干涉、繞射現象，或密立坎堅信波動理論，才導致密立坎無法接受光量子假說，且課程中較多次提及科學家認為光量子假說無法解釋干涉、繞射現象，所以多數學生注意此項；選擇人數第二多的是「個性尊嚴」，歷史概念組中 5 次(6.4%)，概念歷史組 15 次(18.3%)，這些學生認為密立坎原先為了否證光量子假說，但驗結果卻證實了光電效應方程式，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」，歷史概念組 2 人(2.6%)，概念歷史組 6 人(7.3%)，這些學生認為當時光支持量子假說的證據不足，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質驗的出現，最終科學界普遍接受波粒二象性」；最少學生選擇「公式理論」，歷史概念組 1 人(1.3%)，概念歷史組 3 人(3.7%)，這些學生認為證明了光電效應方程式並不代表證明了光量子假說，顯示他們了解公式和理論是不相同的。

值得注意的是，兩組學生除了「傳統衝突」之外的選擇次數，概念歷史組比歷史概念組多很多，歷史概念組只有 7 次(10.3%)，而概念歷史組有 24 次(29.3%)，代表概念歷史組的學生注意到較多研究者課堂強調之外的內容，概念歷史組的學生思考較深層，顯示先行教導科學概念課程能幫助學生理解歷史事件，進而改變學生科學認識觀。

表 4-10 學生認定密立坎不接受光量子假說的理由及分佈

項目	範例	歷史概念組 (n=75)	概念歷史組 (n=82)
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	因為光量子假說的證據不夠	2 (2.6%)	6 (7.3%)

第二個子題——科學家是否都是客觀？本題分成三個項目作為分析，當學生認為科學家會先入為主，認為先習得的理論是正確的而無法接受新理論，或認為科學家的意見中一定包含自己的意見，導致不完全客觀，這一類的回答屬於「主觀意見」；當學生說到科學學界有派系之別，不同派系間彼此對立，導致科學家無法客觀，此類屬於「派系對立」；當學生說到科學家會受到社會、金錢、地位的影響時，此類屬於「社會影響」。遺憾的是，本題約有一半學生未回答。本題有效樣本兩組皆為 75 次，結果顯示，多數學生選擇「主觀意見」，歷史概念組有 13 次(17.3%)，概念歷史組 31 次(41.3%)，認為科學家主觀的意見是無法避免的；「派系對立」及「社會影響」此兩類選擇雖不多，但合起來分析，歷史概念組 11 次(14.7%)，概念歷史組 11 次(14.7%)，表示這些學生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。值得一提的是，有 3 位學生認為科學家就是客觀的，不容質疑，且提到「才能經由每一次實驗出的真相——拓展出堅定的學說」；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 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」，學生在此所指可能是伽利略(G. Galilei, 1564-1642)和教會間的衝突，一般認為伽利略因為支持哥白尼(N. Copernicus, 1437-1543)的地動說而觸怒了教會，但學生忽略了當時地動說的證據可能不足、社會大眾的支持日心說的理由等，並非只因「科學」和「宗教」兩者的差異所導致，Wilson (1999)認為，如果要以歷史角度了解伽利略事件，必須先拋棄由「科學」與「宗教」兩個字所產生的限制。故教師如果想討論科學與宗教的關係，科學史將是最佳的主題，可以解此消彌學生對兩者關係的誤解。

學習單的整體而言，概念歷史組表現得比歷史概念組稍好一些，支持了研究者的假設—概念歷史組在學習單上表現較好，且呼應了科學認識觀問卷上概念歷史組表現也較好且擁有顯著進步，原因可能是在光電效應對學生來說是相當困難的單元，若需在短時間內教授科學史，當學生先行學習了概念課程，可能降低了學生認知負荷，因此能產生較深層的學習。但在詢問學生對於雷納的觸發假說和愛因斯坦的光量子假說的接受時，概念歷史組的作答情形較歷史概念組差，數據顯示在該題中，概念歷史組有很大一部分學生選擇的理由是依據是否容易理解，屬於較差的過渡性認識階段。研究者推測原因是因為概念歷史組在科學概念課堂先學習了光量子假說內容，所以在作答時光量子假說對他們來說較熟悉，而觸發假說則較不熟悉，故學生選擇對他們來說容易理解的光量子假說。所以當提供對立的兩派說法請學生選擇時，若兩派說法難易度有明顯落差時，可能會迫使學生優先選擇容易理解的說法，而不是仔細從情境中做出判斷。

第四節 學生學習動機及學生對科學史課程的看法

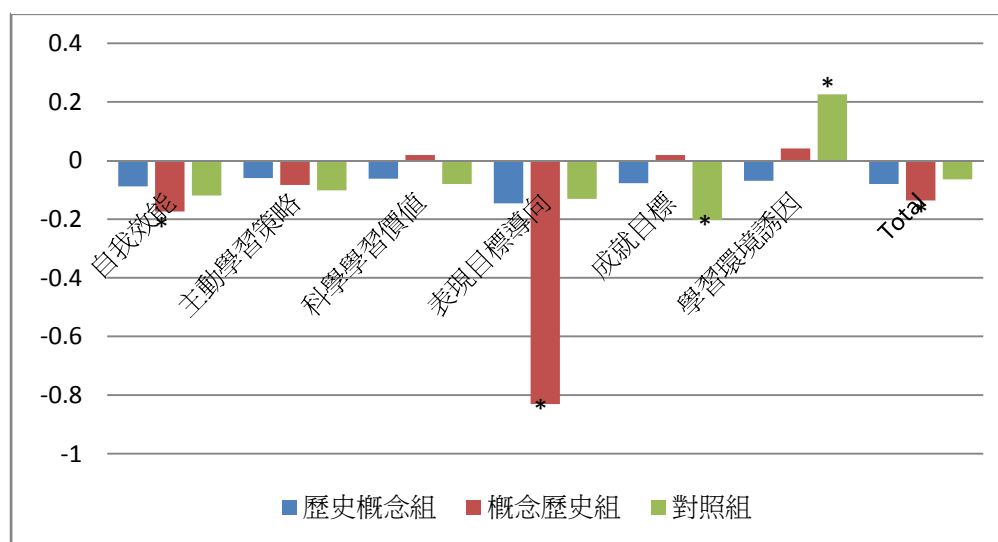
學習動機問卷主要分為六個項目評分，分為「自我效能」、「主動學習策略」、「科學學習價值」、「表現目標導向」、「成就目標」、「學習環境誘因」，學生各項回答結果取平均後，將前後測結果進行相依樣本 t 考驗，檢視學生學習動機改變情形。

相依樣本 t 檢定結果見表 4-11，圖 4-2 則為學生學習動機問卷的進步分數(後測分數減前測分數)長條圖，可以發現不論是歷史概念組、概念歷史組或對照組，多數項目都呈現下降的情況，歷史概念組每個項目均下降，但均未達統計顯著水準，顯示整體而言，歷史概念組學生學習動機在前後測並未有顯著改變；概念歷史組中，「自我效能」($t=-2.855$ ， $p=.006$)、「表現目標導向」($t=-6.620$ 、 $p=.000$)均達顯著水準，且前測成績比後測成績高，學生的「自我效能」以及「表現目標導向」兩個項目顯著降低，顯示學生對物理的信心下降，且表現導向的情形上升，不過概念歷史組在前測時自我效能分數也較高，可能前測前受其他變因影響，而科學史教學無法繼續維持學生的學習動機，且可能因學生為小考後施測，導致學生「表現目標導向」表現下降；在對照組的學生中，「成就目標」($t=-2.286$ 、 $p=.026$)、及「學習環境誘因」($t=2.307$ 、 $p=.024$)兩個項目達統計顯著水準，「成就目標」顯著降低，「學習環境誘因」顯著上升，顯示學生的成就感下降但認為物理課程誘因變強，「學習環境誘因」上升可能因合作教師在後來的課程(物質波單元)撥放影片，對照組學生因教學方式改變而產生短暫的學習動機上升現象。

表 4-11 「學習動機問卷」相依樣本 t 檢定結果

分組	人數	向度	前測 平均	後測 平均	前測 標準差	後測 標準差	平均 進步 (後測-前測)	平均 進步 標準差	t 值	p 值
歷史 概念 組	65	自我效能	3.30	3.21	0.75	0.84	-0.088	0.647	-1.095	.278
		主動學習策略	3.91	3.85	0.69	0.55	-0.060	0.647	-0.743	.460
		科學學習價值	3.72	3.66	0.69	0.71	-0.062	0.714	-0.695	.490
		表現目標導向	3.29	3.14	0.95	0.87	-0.146	0.808	-1.459	.149
		成就目標	3.82	3.74	0.72	0.66	-0.077	0.619	-1.002	.320
		學習環境誘因	3.09	3.02	0.65	0.58	-0.069	0.780	-0.716	.477
		Total	3.54	3.46	0.43	0.44	-0.080	0.376	-1.704	.093
概念 歷史 組	74	自我效能	3.56	3.39	0.65	0.70	-0.174	0.524	-2.855	*.006
		主動學習策略	4.04	3.96	0.52	0.55	-0.083	0.437	-1.631	.107
		科學學習價值	3.63	3.65	0.67	0.67	0.019	0.508	0.321	.749
		表現目標導向	3.64	2.81	0.78	0.89	-0.831	1.080	-6.620	*.000
		成就目標	3.65	3.67	0.69	0.55	0.019	0.705	0.231	.818
		學習環境誘因	3.07	3.11	0.67	0.58	0.041	0.703	0.496	.621
		Total	3.62	3.48	0.38	0.30	-0.136	0.309	-3.793	*.000
對照 組	65	自我效能	3.43	3.31	0.88	0.64	-0.119	0.702	-1.362	.178
		主動學習策略	3.88	3.78	0.64	0.56	-0.102	0.588	-1.399	.167
		科學學習價值	3.65	3.57	0.71	0.68	-0.080	0.671	-0.962	.340
		表現目標導向	3.38	3.25	0.80	0.76	-0.131	0.772	-1.366	.177
		成就目標	3.59	3.39	0.72	0.67	-0.203	0.716	-2.286	*.026
		學習環境誘因	2.82	3.04	0.76	0.68	0.226	0.789	2.307	*.024
		Total	3.48	3.41	0.48	0.38	-0.064	0.401	-1.281	.205

圖 4-2 「學習動機問卷」相依樣本 t 檢定結果



註 圖中表示學生平均進步分數

將學生學習動機問卷結果，以前測當共變數，進行 MANCOVA，比較學生在後測時學習動機的差異。經 BOX 變異數同質性檢定 F 值=2.335， $p=.000$ ，違反同質性假設，代表此三類別資料離散情形具有明顯區別。

MANCOVA 結果發現，教學類別的 F 值=3.037， $p=0.000$ ，達顯著水準，代表不同教學類別顯著影響學生後測表現。進一步檢視教學類別對後測的影響，結果見表 4-12，發現教學類別對「表現目標導向」和「成就目標」影響達顯著水準(表現目標導向 $F=10.723$ 、 $p=.000$ ；成就目標 $F=5.392$ 、 $p=.005$)，代表不同教學方式主要在「表現目標導向」和「成就目標」有顯著差異。

表 4-12 「學習動機問卷」之 MANCOVA 分析結果

學習動機項目	教學組別	平均數	調整後 平均數	F	p 值	Partial η^2
自我效能	歷史概念組	3.209	3.302	0.002	.998	.000
	概念歷史組	3.388	3.308			
	對照組	3.308	3.306			
主動學習策略	歷史概念組	3.852	3.860	1.379	.254	.014
	概念歷史組	3.958	3.932			
	對照組	3.779	3.801			
科學學習價值	歷史概念組	3.658	3.665	0.498	.609	.005
	概念歷史組	3.646	3.639			
	對照組	3.569	3.570			
表現目標導向	歷史概念組	3.142	3.206	10.723	*.000	.099
	概念歷史組	2.807	2.723			
	對照組	3.250	3.282			
成就目標	歷史概念組	3.745	3.700	5.392	*.005	.052
	概念歷史組	3.673	3.688			
	對照組	3.388	3.415			
學習環境誘因	歷史概念組	3.018	2.988	.658	.519	.007
	概念歷史組	3.106	3.081			
	對照組	3.044	3.101			

在各組的成對比較，見表 4-13，在「自我效能」、「主動學習策略」、「科學學習價值」、「學習環境誘因」這四個類別中，各組表現均無顯著差異。在「表現目標導向」中，歷史概念組顯著優於概念歷史組($p=.000$)，且對照組也顯著優於概念歷史組($p=.000$)，概念歷史組和對照組則無顯著差異($p=.573>0.5$)；在「成就目標」中，歷史概念組和概念歷史組無顯著差異($p=.898$)，而概念歷史組優於對照組($p=.005$)，且歷史概念組也優於對照組($p=.004$)，以上資料顯示概念歷史組在表現目標導向上表現最差，但成就目標上對照組表現則最差，對概念歷史組來說，成就目標導向表現低於對照組代表著這些學生急於表現自己且希望能得到好成績，但在成就表現導向上表現又較對照組好，所以並非這些學生學習動機較弱，而是這些學生可能在期末考將近時希望獲得較佳的成績，故在表現目標導向上得分較低，非因科學史教學所致。而對照組在成就目標導向上表現最差，對

照相異樣本 t 檢定結果之對照組「成就目標」顯著下降，顯示傳統教學法可能擁有降低學生的成就感的疑慮。

表 4-13 「學習動機問卷」成對比較

項目	組別	平均差異	p 值
自我效能	歷史概念組 vs. 概念歷史組	-.007	.945
	概念歷史組 vs. 對照組	.003	.977
	對照組 vs. 歷史概念組	.004	.968
主動學習策略	歷史概念組 vs. 概念歷史組	-.072	.365
	概念歷史組 vs. 對照組	.131	.099
	對照組 vs. 歷史概念組	-.059	.467
科學學習價值	歷史概念組 vs. 概念歷史組	.026	.788
	概念歷史組 vs. 對照組	.069	.476
	對照組 vs. 歷史概念組	-.095	.337
表現目標導向	歷史概念組 vs. 概念歷史組	.484	*.000
	概念歷史組 vs. 對照組	-.560	*.000
	對照組 vs. 歷史概念組	.076	.573
成就目標	歷史概念組 vs. 概念歷史組	.012	.898
	概念歷史組 vs. 對照組	.273	*.005
	對照組 vs. 歷史概念組	-.285	*.004
學習環境誘因	歷史概念組 vs. 概念歷史組	-.093	.371
	概念歷史組 vs. 對照組	-.020	.844
	對照組 vs. 歷史概念組	.113	.284

在後測問卷的最後兩個問題，詢問學生對於「光電效應」單元教學的看法，第一題詢問學生喜不喜歡「光電效應」單元以及原因，第二題詢問學生認為「光電效應」單元的上課方式是否有幫助以及原因，實驗數據採取 ANOVA 變異數分析，比較各組學生作答情形。

結果顯示，當詢問到喜不喜歡「光電效應」單元的上課方式，歷史概念組學生平均 2.35，概念歷史組學生平均 3.38，對照組學生平均 3.17，當詢問到「光電效應」上課方式是否有幫助時，歷史概念組平均 2.48，概念歷史組平均 3.55，對照組平均 3.29，歷史概念組學生平均均低於三分，顯示多數學生並不喜愛科學史教學的上課方式。ANOVA

結果顯示，問題一的 $F(2,201)=22.922, p=.000$ ，達統計顯著水準，問題二的 $F(2,201)=23.871, p=0.000$ 達統計水準，代表不同組別的學生認為「光電效應」單元上課方式的喜愛程度和是否有用具有顯著性差異，進行 Scheffe 法的事後比較發現，兩個問題學生呈現了類似的分布，概念歷史組分數顯著高於歷史概念組(問題一：平均差異=1.025、 $p=.000$ ；問題二：平均差異=1.077、 $p=.000$)，對照組分數也顯著高於歷史概念組(問題一：平均差異=0.815、 $p=.000$ ；問題二：平均差異=0.815、 $p=.000$)，概念歷史組雖高於對照組，但統計未達顯著(問題一：平均差異=0.209、 $p=.417$ ；問題二：平均差異=0.262、 $p=.268$)。對照至科學學習動機問卷結果，由於概念歷史組中對光電效應單元看法得分最高，又學習動機中概念歷史組在表現目標導向乙項中得分最低，支持研究者對概念歷史組之學習動機之詮釋，概念歷史組的學習動機並非降低，但因為其他外在變因(小考、段考、班風)的緣故，導致表現目標導向此項目有顯著降低的趨勢；在歷史概念組中，雖然對光電效應單元看法上分數低於平均，並且顯著低於其他兩組，但科學學習動機問卷結果顯示，科學史教學並未降低歷史概念組學生之學習動機；至於對照組中，雖然對光電效應單元看法分數高於平均，但在科學學習動機中，成就目標乙項顯著低於另外兩組，除了顯示學生習慣傳統教學方式外，更顯示了傳統教學可能會損害學生的成就目標相關之學習動機。

結果顯示，歷史概念組學生普遍不喜歡光電效應課程，且認為此上課方式沒幫助，例如學生提到「不喜歡，我的光電效應毀了，PPT 放得很快來不及抄，加上又要寫學習單，沒時間吸收啦！」，以上呼應課室觀察結果，學生習慣傳統授課方式，不習慣科學史教學上課方式，也顯示學生需要更充裕時間消化上課內容；但也有部分學生提到「由歷史的科學演進，不但使我文理相通，更加深觀念印象」，顯示有少部分學生還是肯定科學史教學的功能。而概念歷史組卻相當喜歡光電效應課程，同時認為此種上課方式有用，例如學生提到「先用板書了解了基礎，再用投影片方式(科學史)講解內容，很不錯的方式」、「先認認名詞，這樣在看投影片(科學史)時就能比較快上手」、「補充許多課本沒有的歷史，也提出許多不同科學家的觀點，除了教會光電效應外，還提出有關實驗精神的問題來讓大家思考」，顯然學生能從中受益。而對照組的結果顯示，學生普遍習慣

傳統上課方式，且由影片中發現，合作教師喜歡使用許多類比、擬人化方式教導學生，學生普遍喜歡如此上課方式，但也有部分不喜歡，如一位學生提到「不應一味強調應用公式，只不過是拼命代數字，應極力探究其根本原理，啟發學生的思考空間，勿只注重最後的結果，導致學生知其然而不知其所以然」。在學生作答中可發現，時間對於科學史教學是相當大的變因，若是時間足夠的情形下，研究者相信歷史概念組的學生對光電效應單元教學的評價將和概念歷史組相當，而以上結果顯示，先行教授科學概念再進行科學史教學是比較有效的做法，學生能明顯從中受益。

第五節 學生的小考和段考成績

學生小考考卷共有 10 題，每題十分，將學生成績進行 ANOVA 分析不同組別學生作答情形。歷史概念組平均 61.23 分，概念歷史組平均 66.76 分，對照組平均 60.92 分，概念歷史組平均分數最高，對照組平均分數最低，經 ANOVA 分析顯示 $F(2,201)=1.108$ ， $p=.332$ ，未達顯著水準，顯示各組在光電效應小考的成績無顯著差異。

段考成績的部分，研究者將光電效應題目抽出，並計算學生答對率後乘以 100，作為學生光電效應概念分數。歷史概念組平均 76.92 分，概念歷史組平均 79.28 分，對照組平均 73.27 分，概念歷史組平均分數最高，對照組平均分數最低。經 ANVOVA 顯示 $F(2,201)=1.403$ 、 $p=.248$ ，未達顯著水準，顯示各組在段考中的光電效應部分成績無顯著差異。以上結果均顯示，不論先教科學史在講述概念，或先講述概念後再教科學史，或是傳統上課方式，學生的成績均沒有顯著差異，顯示科學史教學不會對學生的學習成就產生不利影響。

那麼是什麼因素導致三組學生成績無顯著差異呢？賴淑婷(2007)分析了 34 篇科學史教學的文獻，發現科學史教學對學生學習成就有正向影響，但屬低效果量，故本研究的結果是可接受的。在教學理論上，預設科學史教學能幫助學生概念學習是源於三種說法：(1)科學史可以預測迷思概念；(2)學生概念發展平行於科學史；(3)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。第一種說法中，本單元最主要的概念之一即是光的波粒二象性，學生主要的迷思概念也源自於光的本質，

但波粒二象性這一項性質對一般人成人來說是很難以想像的，更何況是高一學生，所以在此即使預測了迷思概念，對學生來說光電效應的相關概念還是相當不容易理解的。關於第二種說法，同第一項說法的解釋，即使學生概念平行於科學史，光電效應對學生來說還是相當困難的單元，故不容易顯著幫助學生學習。關於第三種說法，本研究中學生的概念改變歷程是從光的波動性轉變為光的波粒二象性，而光電效應單元的測驗目標則是測驗對光電效應現象的了解，兩者間並沒有強烈的因果關係，所以導致各組間無顯著差異的實驗結果。

第五章 結論

本章分為三小節，第一節就資料分析結果回答研究問題，第二節就研究結果進行進一步討論，第三節提出教學上和未來研究上建議

第一節 研究結論

關於科學史教學以及科學概念與科學史的教學順序是否會影響學生的科學認識觀，由科學認識觀問卷分析得知，歷史概念組的科學認識觀未有顯著改變，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」兩向上有顯著退步，且科學認識觀問卷之總平均也顯著下降，故實驗結果指出學生先行科學概念後再進行科學史教學，將可以有效地改變學生科學認識觀，傳統教學反而可能強化不恰當之科學認識觀。在各組的成對比較中可發現概念歷史組表現最好，對照組表現最差，呼應上述之各組科學認識觀改變結果，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進行科學史教學促進學生科學認識觀改變的效果最顯著。

關於科學概念與科學史的教學順序是否會影響學生在學習單的表現，由學習單的分析結果得知，概念歷史組在學習單的表現優於歷史概念組，顯示歷史概念組在科學史教學上有較好的理解與表現，故科學概念的學習能幫助學生理解歷史事件。可能原因為概念歷史組中，先行學習的科學概念，在之後的科學史教學課堂上扮演了鷹架的角色，學生先行學習科學概念，導致在後來的科學史教學中，因對科學概念的了解而降低了認知負荷，故在學習單上表現較佳。但分析學生認識階段可發現，學生作答會依照題目的難易程度而有所變化，若學生能全盤了解題目內容，則將以最佳之認識階段回答；若題目太難，將使用稍差之認識階段回答；但若對題目一知半解，則會使用最差之認識階段作答。

關於科學史教學以及科學概念與科學史的教學順序是否會影響學生的學習動機，從學習動機問卷分析得知，所有組別科學學習動機均有所退步，但對照組在「學習環境誘

因」乙項中有顯著進步，推測是因為合作教師在後測前的課程給予學生觀看影片，導致「學習環境誘因」有短暫提升之現象。在學習動機問卷之成對比較結果顯示，概念歷史組在「表現目標導向」中表現最差，對照組在「成就目標」中表現最差，又學生對光電效應課程教學方式看法的分析中發現，概念歷史組和對照組間無顯著差異，但均顯著高於歷史概念組，且概念歷史組學生的回饋多數是正向的，歷史概念組則反面居多，以上顯示科學史教學對學習動機的影響有限，更多影響來自於教師的上課策略、考試壓力或班風，導致學生學習動機表現有個別上的差異。在學生對光電效應課程上課方式的回饋可得知：1.學生習慣於傳統上課方式，使用科學史教學可能會遭遇部分阻力，例如在課堂上會詢問「哪些是重點？」或「那些段考會考？」，又學生表示「人名太多記不住」，這些均是傳統考試導向教學上學生擁有的反應；2.在時間有限的情形下，科學史教學可能因內容過於豐富而增加學生認知負荷；3.在科學史教學前先行教導科學概念，能提供學生科學史學習的先備知識，促進學生學習。

關於科學史教學以及科學概念與科學史的教學順序是否會影響學生的考試表現，由小考、段考分析結果得知，不論是歷史概念組、概念歷史組、或是對照組的光電效應小考或段考中光電效應題目，學生答對率均無顯著差異，表示在光電效應單元中，改變科學史教學和概念學習的教學順序對學生學習科學概念無顯著影響，且學習科學史對學生學習科學概念也無顯著影響。賴淑婷(2007)分析了 34 篇科學史教學的文獻，發現科學史教學對學生學習成就有正向影響，但屬低效果量，由於效果量低，故本研究的結果是可接受的，並呼應了文獻中有許多無顯著成效的研究(如：Kim & Irving, 2010; Irwin, 1998; 林陳涌，鄭榮輝、張永達，2009；李明昆、劉靜怡、洪振方，2001；董美津，2004)。

另一個可能原因為，由於預設科學史教學能幫助學生概念學習是基於概念改變理論、科學史可預測迷思概念、學生概念發展平行於科學史此三種說法，但由於光電效應單元對學生來說難度高，而科學史教學在此不足以成為學生學習概念的鷹架，故實驗組和對照組間無顯著差異。且在本研究中，學生的概念改變歷程是從光的波動性轉變為光的波粒二象性，而光電效應單元的測驗目標則是測驗對光電效應現象的了解，兩者間並沒有強烈的因果關係，所以導致各組間無顯著差異的實驗結果。

第二節 討論

本研究預設進行科學史教學的兩組同學在學習動機、對光電效應課程看法中，能顯著優於對照組，但實驗結果顯示，概念歷史組對光電效應課程看法和對照組無顯著差異，而歷史概念組對光電效應課程看法則顯著較對照組差，違背了實驗假設。概念歷史組和對照組對光電效應課程看法無顯著差異可能和科學史教學之課程設計方式有關，本研究呈現方式主要是融入互動式科學小故事的方式，並在各小段落提問學生。而賴淑婷(2007)分析了科學史教學文獻中各研究的「對科學態度」效果差別，發現將問題融入的科學史教學課堂其提升學生對科學態度的效果量有限，而未將問題融入的科學史教學課堂則能顯著提升學生對科學態度，又本研究所發展之科學史教材，一部分即強調學生思考教師的提問，故在此呼應了本研究實驗結果——概念歷史組和對照組的對光電效應看法無顯著差異。而該研究認為問題融入教學無法顯著提升學生「對科學態度」之可能原因為學生的惰性——不喜歡主動思考，呼應了本研究對課室的觀察，當教師發放學習單發時，學生第一個反應是認為這些問題很難，綜上所述，也就不難理解概念歷史組和對照組在對光電效應課程看法無顯著差異的結果。

研究也發現歷史概念組在對光電效應課程看法顯著較對照組低，根據學生回答對光電效應課程看法的問卷中所回答的理由可以發現，學生反映時間不足、人名太難記等，故研究者推斷歷史概念組對光電效應課程看法低落的原因可從認知負荷理論(cognitive load theory)找尋。根據認知負荷理論，該理論認為人的工作記憶(working memory)有限，故在學習上將產生認知上的負荷，認知負荷可分為三種種類，第一類為內在認知負荷(intrinsic cognitive load)，此類型認知負荷與教材的元素互動性(element interactivity)有關，若教材的元素互動性多，學生需要連結較多資訊，雖能產生較成熟的學習，但學生認知負荷較大，此類型認知負荷主要和教材內容的難度有關，是無法避免的；第二類為外在認知負荷(extraneous cognitive)，此類型和教師呈現教材方式相關，由於內在認知負荷和外在認知負荷具累加性，故當內在認知負荷大時，外在認知負荷就相當重要，當內在認知負荷低時，外在認知負荷的效果就不明顯，例如教材內容難度低時，老師的教學方式影響就不大；第三類為增生認知負荷(germane cognitive)，當教師額外提供資訊或提供恰

當學習情境時，看似增加認知負荷但實際上加強學習。當以上三種認知負荷未超出學生學習負荷時，學習才有意義。那麼如何增進學生學習？認知負荷理論認為須建立學生的基模和自動化，基模包含許多低階的互動元素，儲存於長期記憶之中，有別於有意識的使用工作記憶，基模的提取常是無意識且自動化的，故其認知負荷非常小，故教學上提倡建立學生相關基模並促使自動化(Paas, Renkl, & Sweller, 2003)。

由學生對光電效應課程的看法中得知，歷史概念組所感受到的認知負荷較概念歷史組和歷史概念組大，相較於科學概念課程，科學史課程對學生認知負荷較大，這違背了研究者的預期。研究者預期科學史課程能扮演鷹架的角色，幫助學生學習，效果不如預期之可能原因為：相較於概念課程，科學史課程中的元素間互動性較多，例如介紹到光電效應的發現歷程時，教師要求學生比對兩個科學家實驗結果後分析光電效應的特性；介紹湯姆生實驗時，要求學生回憶在電與磁單元所學；介紹觸發假說和光量子假說時，學生必須回想光電效應的特性等，而在概念學習課堂中，學生學習是直線性的，直接接受光電效應的特性、學習光電方程式，很少要求學生回憶或比較，所以科學史教學的內在認知負荷較概念學習課堂高。光電效應單元對學生來說一直都相當困難，其困難處可能源於學生將在此單元接觸到許多未接觸過的概念，例如光子的概念、束縛能(功函數)的概念、截止電壓的概念等，均是學生尚未聽過的名詞，而研究者預期歷史概念組學生在進行科學史教學時，已具有恰當的基模以供學習，例如能量、動能、電壓、電與磁的特性等，但這些基模似乎並非進行光電效應單元的科學史教學的必要基模，相較於先行進行過概念學習的概念歷史組，在概念課堂中所習得的光子的概念、功函數的概念、截止電壓的概念等，似乎才是科學史教學的必要基模，所以歷史概念組在沒有恰當的先備知識之下，學生整體認知負荷加重，導致學習情形不甚理想，而概念歷史組中學生已學習科學概念再進行科學史教學，學生雖未精熟科學概念，但科學概念儼然成為科學史學習的先備知識，成為增生認知負荷，強化學習。研究者曾將本研究之教學內容請經驗豐富的教師指教，他們認為本研究所發展之光電效應科學史教學課程對高中一年級學生來說不容易，學生可能難以吸收、眼花撩亂，導致學生學習時認知負荷增加，符合研究者的推測。

光電效應單元對學生來說相當困難，那麼為什麼在本研究中，學生似乎較容易接受概念課程而不是科學史課程？如同 Höttecke 和 Silva(2010)所提到的科學史挑戰中的物理教學文化有關，在台灣的物理課程，常是教師講述解題，學生不斷練習題目，學生只是被動的接受者，再加上教師在困難的物理概念上使用了擬人化的教學策略，學生普遍能接受如此的教學模式，所以概念歷史組和對照組中學生對光電效應課程學習感到滿意，若馬上改成需要學生主動思考的科學史教學課堂，學生難免有所不習慣，導致歷史概念組學生對光電效應課程的學習不適應。

在本研究中，為了配合合作教師的上課需求，時間是相當重要的先決條件，賴淑婷(2007)分析科學史教學的文獻，發現科學史融入教學對學生的學習成效(科學成就、科學態度、對科學態度、科學本質觀之整體表現)有中低度的提升效果，且教學時間越久，效果越好。但若要讓科學史教學為教師在教學現場所使用，科學史教學所花費的時間就不能太長，在課堂時間有限的情況之下，本研究顯示科學史教學是可行的，但必須注意學生的先備知識是否足夠，若是一個學生非常陌生的單元，則可以先行教授科學概念，再進行科學史教學，如此能融合兩種教學的優點，學生不僅學習了科學概念，也能藉由科學史而促進學生科學認識觀，強化學習。

不同的課程編排方式可能也會影響研究結果，課程編排方式可分為整合式課程以及附加式課程，整合式課程是將科學概念融入科學史中，附加式課程則是學習完科學概念後再補充科學史，整體而言本研究的課程設計方式屬於附加式課堂和整合式課堂的融合——在科學概念學習課堂之外附加整合式的科學史教學課堂，那麼附加式、整合式的課程編排效果哪個好呢？賴淑婷(2007)的研究分析結果顯示，科學史教學的整體效果量(科學概念成就、科學態度、對科學態度、科學本質四項的整體效果量)是附加式效果較佳，而整合式的效果較差，可能是因為附加式的課程編排能兼顧教科書和科學史的優點，故其效果量最佳，符合本研究結果。而本研究進一步指出，使用附加式編排課程內容時，科學史和科學概念間存在一個較佳的順序，學生照此順序學習，才能同時利用科學史和科學概念的優點。

第三節 建議

本研究指出先行學習科學概念將有助於之後的科學史教學，故本研究建議教科書的編排上，科學史的呈現之前，可先行進行科學概念的編排，再進行科學史的篇幅，如此能充分利用科學概念和科學史教學的優點，促進科學本質的學習並提升學生學習興趣。

本研究建議科學史教學的科學概念部分可以先行學習，再進行科學史教學，而本研究發展之科學史教學課程所使用節數為三節，合作教師預計傳統教學中光電效應單元的教學時間是兩到三節，考慮到科學史教學能提升學生的科學本質觀、學習興趣，且不會降低學生學業成就，故相較於傳統講述方式，科學史教學是相當具有可行性和競爭力。

本研究所研究的光電效應單元，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介紹電子的發現、X射線、物質波等，故除了本實驗所使用之光電效應單元外，尚有許多近代物理領域的課程可供科學史教學研究，未來可將其他近代物理領域納入科學史教學研究中。

學生的學習成就高低可能會影響實驗的結果，林煥祥、蕭碧茹、林建志、黃瑞方和鄭秀如(1996)的研究中發現，科學史教學對低成就學生的提升效果較高成就學生好(引自賴淑婷，2007)。由於本研究對象是一群學業高成就的學生，相當習慣傳統上課方式，本研究若是換成一群低成就的學生，這些學生可能不習慣傳統上課方式，學習上也困難重重，可能展現另一種不同的實驗結果，故未來的科學史教學研究可比較科學史教學對不同學習成就學生的影響。

在科學史教學文獻中，部分研究之科學史教學顯著正向影響學習成就(如：楊惠如，2009；許峻豪，2008；林格朱，2004)，另有部分研究無顯著成效(如：Kim & Irving, 2010; Irwin, 1998; 林陳涌，鄭榮輝、張永達，2009；李明昆、劉靜怡、洪振方，2001；董美津，2004)，而本研究中，實驗組和對照組學生的光電效應概念表現無顯著差異，可能因為光電效應單元本身的難度，由於光電效應單元對學生來說是相當困難的單元，再加上科學史教學對學生學習成就屬於低效果量(賴淑婷，2007)，所以無法達到顯著水準。那麼是否科學史教學中科學概念的難度是影響研究的重要因素呢？不同難度的科學史

教學中科學概念是否是影響學生概念學習有無顯著的重要變因呢？均有待未來的研究解答。

本研究中發現在對照組的學生中，其科學認識觀的作答情形有顯著退步的傾向，但若傳統教學的方式會強化學生不恰當的科學認識觀，則學生在高中時的科學認識觀得分應該偏低，但對照組學生前測各項分數均高於3分，顯示學生對科學認識觀有一定水準，似乎在此有所矛盾。Chandler et al. (2002)發現不論是什麼時期測驗學生科學認識觀，常常都是從二元論(認為知識只有對與錯)所開始，似乎也違反直覺，以上對科學認識觀的矛盾，Hofer(2001)認為科學認識觀可能有遞迴關係或不同情境下有不同認識觀表現，所以需要長期的研究，建立科學認識觀的長期變化狀態，故未來研究上可研究學生長時間的科學認識觀變化情形。

參考文獻

英文文獻

- 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, 417-436.
- 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.
- Baxter Magolda, M. B. (2004). Evolution of a constructivist conceptualization of epistemological reflection. *Educational Psychologist*, 39(1), 31-42.
- Brush, S. G. (1974). Should the history of science be rated X? *Science Education*, 183, 1164-1172.
- Clough, M. P. (2010). The story behind the science: Bringing science and scientists to life in post-secondary science education. *Science Education*, 20, 701-717.
- 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.
- Dedes, C. (2005). The mechanism of vision: Conceptual similarities between historical models and children's representations. *Science Education*, 14(7-8), 699-712.
- 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.
- Eshach, H. (2009). The nobel prize in the physics class: Science, history, and glamour. *Science & Education*, 18(10), 1377-1393.
- Hartman, H., & Sternberg, R. J. (1993). A broad BACEIS for improving thinking. *Instructional Science*, 21, 401-425.
- Hofer, B. K. (2001). Personal epistemology research: Implications for learning and teaching. *Journal of Educational Psychology Review*, 13(4), 353-383.

- 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.
- Höttecke, D., & Silva, C. C. (2010). Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: An analysis of obstacles. *Science Education*, 20, 293-316.
- Irwin, A. R. (1998). Historical case studies: Teaching the nature of science in context. *John Wiley & Sons, Inc*, 5-26.
- Justi, R. (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.
- 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.
- Klassen, S. (2010). The relation of story structure to a model of conceptual change in science learning. *Science & Education*, 19(3), 305-317.
- 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.
- 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.
- Lin, H., Hung, J., & Hung, S. (2002). Using the history of science to promote students' problem-solving ability. *International Journal of Science Education*, 24(5), 453-464.
- 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.
- Matthews, M. R. (1994). Science teaching: The role of history and philosophy of science. *New York:Routledge*.

- Matthews, M. R. (1989). A role for history and philosophy in science teaching. *Interchange*, 20(2), 3-15.
- Matthews, M. R. (2009). Teaching the philosophical and worldview components of science. *Science Education*, 18(6-7), 697-728.
- McComas, W. F. (1996). Ten myths of science: Reexamining what we think we know. *School Science and Mathematics*, 96, 1-10.
- McComas, W. F. (1998). The principal element of the nature of science: Dispelling the myths. *The Nature of Science in Science Education*, 53(70), 1-19.
- 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, 405-412.
- 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.
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1-4.
- Phillips, D. C., & Soltis, J. F. (2004). Perspectives on learning. *New York: Teachers College*.
- 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.
- Roach, L. E., & Wandersee, J. H. (1995). Putting people back into science: Using historical vignettes. *School Science and Mathematics*, 95(7), 365-370.
- 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.
- 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.

Tuan, H. L., Chin, C. C., & Shieh, S. H. (2005). The development of a questionnaire to measure students' motivation towards science learning. *International Journal of Science Education*, 27(6), 639-654.

Wandersee, J. H. (1985). Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions? *Journal of Research in Science Teaching*, 23(7), 581-597.

Wilson, D. B. (1999). Galileo's religion versus the church's science? Rethinking the history of science and religion. *Physics in Perspective*, 1(1999), 65-84.

中文文獻

呂治平 (2004)。科學史的學習對國中學生歷史的科學本質觀影響之探討。國立彰化師範大學物理學系碩士論文。

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。

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。

林兆聖 (2003)。以原子發現科學史融入教學對學生科學本質觀影響之研究。國立高雄師範大學化學系碩士論文。

林格朱 (2004)。融入科學史教學對國一學生生物學習成效影響之研究—以「細胞與個體」單元為例。國立高雄師範大學生物科學研究所碩士論文。

林淑榜、劉聖忠、黃茂在、陳素芬、張文華 (2008)。運用科學史傳達科學本質之教學實務探討—以簡單機械單元為例。科學教育月刊，315，2—18。

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。

郭奕玲、沈慧君 (1996)。物理通史。台北：凡異。

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。

段曉林、靳知勤、謝祥宏 (2001)。科學學習動機問卷的效化研究。中華民國第十七屆科學教育學術研討會。

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。

許峻豪 (2009)。科學史融入九年級自然與科技教學之探討—「以動能、位能與能量」單元為例。國立臺灣師範大學科學教育學系碩士論文。

黃耀萱 (2011)。資訊支援科學史融入生物教學對七年級學生學習成效影響之協同行動研究。國立彰化師範大學科學教育研究所碩士論文。

傅大為 (2001)。X Rated 物理教育？。物理雙月刊。23 (1)。

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。

- 靳知勤（2007）。科學教育應如何提升學生科學素養——台灣學術菁英的看法。科學教育學刊，15（6），627—646。
- 董美津（2004）。光合作用科學史融入國中生物教學對學生學習成效影響之研究。國立高雄師範大學生物科學研究所碩士論文。
- 楊惠如（2009）。融入科學史與實驗教學對國二學生理化學習成效影響之研究——以「空氣的成分與性質」單元為例。國立臺灣師範大學化學系在職班碩士論文。
- 劉源俊（2009）。論高中的物理教育。物理雙月刊。
- 蔡執仲、段曉林、靳知勤（2007）。巢狀探究教學模式對國二學生理化學習動機影響之探討。科學教育學刊，15（2），119—144。
- 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。
- 賴淑婷（2007）。科學史融入教學對學生科學學習成效影響之統合分析。中原大學教育研究所碩士論文。

科學史教學 —光電效應

關於光的本質—兩派說法 (17世紀)

微粒說

光是**微粒**所組成，
微粒直線前進。

代表人物：牛頓
(Isaac Newton)



波動說

光是在乙太中傳遞的**波動**。

代表人物：惠更斯
(Christiaan Huygens)



兩派不能解釋

微粒說

光的干涉
光的繞射
水中光速較空氣中慢

波動說

介質(乙太)的存在

光的本質

兩派能解釋：

微粒說

光直線前進
影子的產生
顏色的形成
光的反射
光的折射

波動說

光直線前進
光的反射
光的折射
光的繞射
水中光速較空氣中慢

想想看(學習單)

1. 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？
2. 依你的看法，接受一個學說(理論)需要什麼條件？哪個條件最重要？

奇怪的現象

統合光、電、磁—馬克斯威

1865年，馬克士威(J. C. Maxwell)提出馬克士威方程組，內容能描述所有電磁現象，並預測**電磁波**的存在。

光就是電磁波！



經過赫茲的實驗證明了電磁波存在，科學界已普遍認為**光是電磁波**的一種。

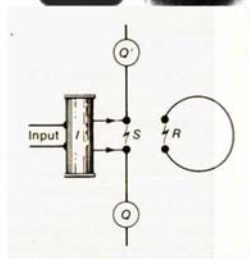
赫茲—驗證電磁波的實驗

赫茲(H. R. Hertz)為了驗證電磁波的存在，製作了如右的裝置，一邊是訊號端，一邊是接收端。

頻率就是以我的名字命名的。



當電磁波接觸到接收端，接收端R處將產生火花，即可證明有電磁波的存在。

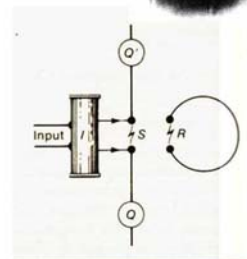


赫茲—驗證電磁波的實驗

赫茲在S、R間放置不同物體探討電磁波的特性，發現當R處照射紫外線時，**放電狀況變明顯**。



→紫外線對放電有影響



進一步的研究

- 赫茲的論文《紫外線對放電的影響》發表後，引起廣泛回響。
- 在1888年德國霍爾瓦克斯(W. Hallwachs)、義大利里奇(A. Richi)、俄國斯托列托夫(A. Stoletov)進行了進一步的研究。

霍爾瓦克斯的發現

霍爾瓦克斯發現，當用紫外線照射帶負電的鋅版時，**帶電狀況會減少**；用紫外光照射帶正電的鋅版時，則沒有這樣的狀況。



斯托列托夫的實驗

斯托列托夫的實驗裝置如下：

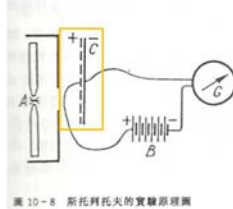


圖 10-8 斯托列托夫的實驗原理圖

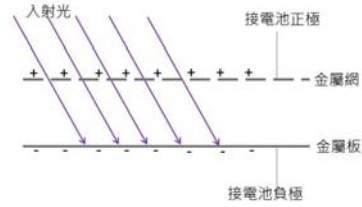
霍爾瓦克斯發現：紫外線照射到帶**負電**的鋅版，帶電量**減少**。
紫外線照射到帶**正電**的鋅版，帶電量**不變**。

斯托列托夫發現：紫外線照射到**負極**，電路為**通路**。
紫外線照射到**正極**，電路為**斷路**。

Q：這兩個實驗代表了什麼含意？

此時電路呈現通路：

若電池反接，則為斷路



湯姆生測荷質比

為了確定光擊出了什麼微粒，
湯姆生(J. J. Thomson)進行實驗。



我發現了電子。

實驗如右圖，光照射金屬板後，
外加磁場使微粒做圓周運動，
即可計算出**荷質比**，可以
經由荷質比找出是
哪一種粒子。

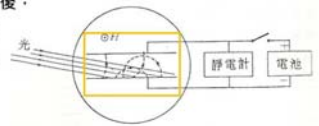
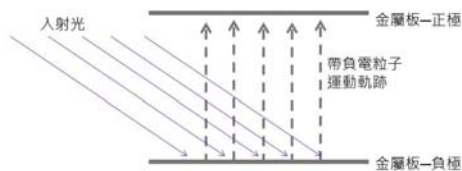


圖 10-9 湯姆生測光電流荷質比

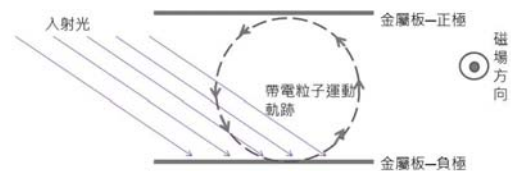
測量帶電粒子荷值比

沒有外加磁場



沒有外加磁場，負電粒子會從負極移動到正極

測量帶電粒子荷值比



➢ 光照射到金屬上，使原子中的**電子**離開原子外的現象
—稱為光電效應。

雷納的實驗

雷納(P. Lenard)為了研究從離開金屬板之電子(後稱為**光電子**)特性，設計了如下的實驗儀器。

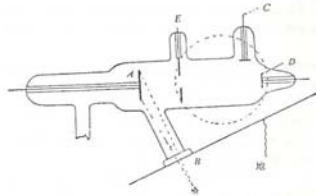
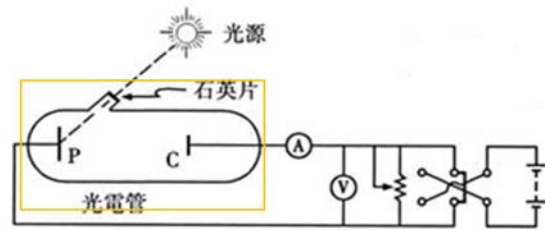
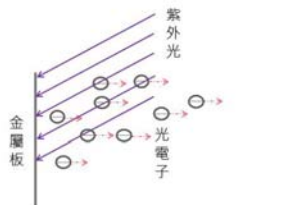


圖 10-10 勒納研究光電效應的實驗裝置



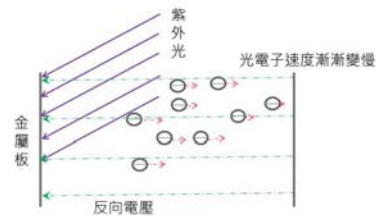
雷納使用**反向電壓**測定光電子的**動能**大小。

簡圖



金屬板照光，光電子從一端到另一端

簡圖



加上**剛好**阻止光電子運動的反向電壓(截止電壓)，可由**截止電壓**計算出**光電子最大動能**。

截止電壓 $\propto$ 光電子最大動能

雷納的實驗

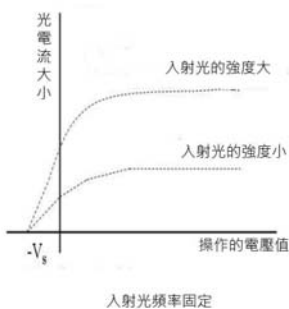
實驗圖表如右圖：

研究發現：

影響截止電壓：
入射光頻率、金屬材料。

不影響截止電壓：
入射光強度。

Q圖中電流為零的點代表著什麼含意？



總結：光電效應的特性

1. 光的頻率若**低於某個臨界值**(後稱**底限頻率**)，不論光有多強，都不會發生光電效應。
2. 若光頻率**高於底限頻率**，不論光強度多微弱，均可立即產生光電效應。
3. 光強度大小只和打出電子形成的**電流大小**有關。
4. 截止電壓大小只和光頻率大小、材料有關，**和光強度無關**。

當代波動理論怎麼說？

- 當時普遍認為光是電磁波，是一種波動，故當時科學家以波動說嘗試解釋光電效應。

波動說預測：

1. 強度大代表波動能量大，也就越可能產生光電效應。
2. 能量累積是需要時間的，故照射光後須過一段時間才會發生光電效應。

想想看(學習單)

3. 霍爾瓦克斯、斯托列托夫、湯姆生、雷納這四位科學家所做的實驗，有什麼樣的作用？和閱讀短文中的三個實驗，性質上有什麼不同？
4. 如果你是科學家，當理論和實驗結果衝突時，你會怎麼做？

光電效應的解釋

光到底是不是波動？

波動說認為...

光電效應卻是...

- | | |
|--|-------------------------------|
| 1. 能量和強度有關，強度越大代表此光能量越大。所以強度大越是能擊出高動能的光電子。 | 1. 擊出電子動能和強度無關。而是和頻率有關。 |
| 2. 能量是可以累積的，時間越久能量累積越高，就越有機會擊出光電子。 | 2. 光頻率未高於底限頻率，不論照射多久都不能擊出光電子。 |

今天課程結束，下課啦！

於1905年，針對光電效應的解釋，有兩派說法，分別來自於得諾貝爾獎的物理學家以及專利局職員。

假說一

由實驗結果得知，光電子最大動能和光強度無關，所以光電效應並沒有能量傳遞，也就是說光並沒有把能量傳遞給電子。



得諾貝爾獎的物理學家

假說一

所以我認為，當照射光頻率和電子運動頻率相同時，光就會觸發電子，如同打開閘門一般，電子保持在原子內的速率離開原子。



得諾貝爾獎的物理學家

假說一的批評

如果電子是維持原來速率跑出原子外，那麼當溫度高的時候，原子裡的電子速率較快，此時的光電效應光電子動能也就應該較大。

但實驗沒發現光電效應和溫度是有關的。



假說二

根據統計理論的計算，我認為輻射的行為和粒子有相似的地方，且光又是輻射的一種。



專利局職員

假說二

假說二

所以在光電效應中，光的能量傳播是一個一個的，稱為光量子，每顆光量子把能量傳給原子裡的電子，導致電子離開原子。



專利局職員

假說二的批評

如果又把光當成粒子，不就違反了電磁學波動理論嗎？

而且當光是粒子，要怎麼解釋光的干涉現象？



猜看看(學習單)

1. 以上兩位科學家，有一位是愛因斯坦，猜看看是哪一位？你判斷的依據是？

謎底揭曉

得諾貝爾獎的科學家是：

專利局職員是：



雷納



愛因斯坦

想一想(學習單)

2. 雷納的觸發假說以及愛因斯坦的光量子假說，哪一派假說對你來說比較有說服力？為什麼？

科學學界的接受程度

- 雷納基於**實驗結果**，1902年提出的觸發假說，一直到1911年，都是科學家學習光電效應的基礎。
- 愛因斯坦的光量子假說，受到普朗克量子論的啟發，使用**理論推導**，於1905年提出，但即使是精通數學的物理學家，也至少有**15年**未重視光量子假說。

量子論創始者的評論

- 量子論的創始人—普朗克，於1900年提出電磁波和物質交互作用時，能量的傳遞是量子化的。**啟發了愛因斯坦的光量子假說。**
- 他高度評價愛因斯坦的工作，但他說(1913)：

「有時，他(愛因斯坦)可能在他的思索中失去了目標，例如他的**光量子假說**，但別太苛求，因為要引進一個新的想法，是需要冒險的」



想想看

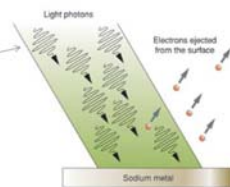
- 為什麼科學家們容易接受雷納的觸發假說而不容易接受愛因斯坦的光量子假說？

廣告時間：愛因斯坦的光量子假說

光是由一顆顆量子所組成，稱為
光子，每顆量子均帶有 $h\nu$ 的能量

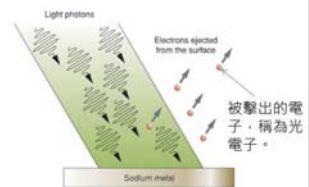


光子，
每顆含有
 $h\nu$ 的能量



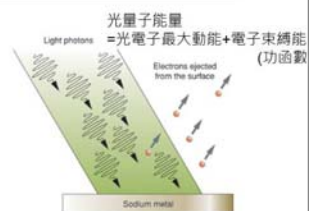
愛因斯坦的光量子假說

光子將能量傳遞給原子中的電子，
電子將能量整個吸收後離開原子，
這些電子稱為**光電子**，形成電流稱為**光電流**。



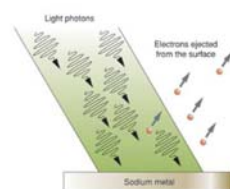
愛因斯坦的光量子假說

所以光子能量
= 光電子最大動能 + 電子束縛能(功函數)
 $h\nu = K + W$



愛因斯坦的光量子假說

- 光頻率 $\propto$ 光子能量 $\rightarrow$ 影響光電子最大動能。
- 光強度 $\propto$ 光子數量 $\rightarrow$ 影響擊出光電子多寡。
- 產不產生光電效應和光頻率有關，和強度無關。



注意事項

- 愛因斯坦的光子和牛頓的微粒是**完全不同的**概念。
- 光同時擁有粒子性以及波動性，稱為**波粒二象性**。

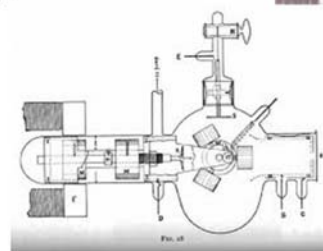
對光子假說的驗證

密立坎(R. A. Millikan)

為了證明光子假說是**錯的**，進行一連串的實驗。



就是我
測出電
子的電
量。



要怎麼證明呢？

因為愛因斯坦提出一個光電方程式 $h\nu = K + W$ 實驗上只要把實驗數據畫到座標圖上檢查就可以了。



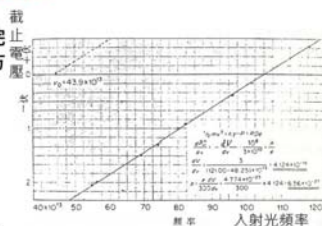
對光量子假說的驗證

實驗圖表如右圖，數據完全符合愛因斯坦的光電方程式。

$$h\nu = K + W$$

$$\text{移項後：} K = h\nu - W$$

結果越實驗，越是證明愛因斯坦的光電方程式是正確的。



Q：圖形中的斜率是？

因為密立坎精密的實驗結果，完全驗證了光電方程式的正確性，從此愛因斯坦的光量子假說就被接受了。

.....等等，真的是這樣嗎？

實驗結果證明了光量子假說？

密立坎的實驗歷經十年，於1916年發表結果，證明光電方程式的正確性，但僅止於此，他說

愛因斯坦的光量子假說不只大膽，更是魯莽，因為它不但違反了電磁理論，還無法解釋干涉現象。



實驗結果證明了光量子假說？

密立坎的實驗歷經十年，於1916年發表結果，證明光電方程式的正確性，但僅止於此，他說

所以光量子假說只是提供了一種光電效應在數據上的解釋。

我認為光電效應只是提醒古典理論需要修改，不論如何，光量子假說還尚未被古典理論所支持。

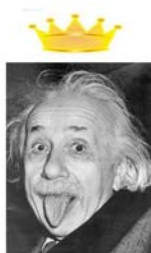


普朗克不承認光量子假說，沒想到驗證光電方程式的密立坎也不承認，

但別忘了，光量子假說可是得獎的理論呢。

愛因斯坦獲諾貝爾獎

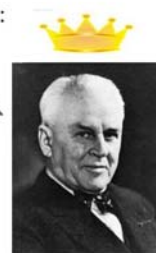
- 愛因斯坦因為廣義相對論，於1919年成為家喻戶曉的人物。
- 愛因斯坦於1921年因為光量子假說獲頒諾貝爾物理學獎。
- 這樣就代表科學界都接受了光量子假說嗎？



密立坎獲諾貝爾獎

在1924年密立坎因為測量基本電量以及普朗克常數獲頒諾貝爾獎，他說：

光量子理論完整建立還很遠，除非未來它能夠解釋干涉以及其他對立的現象，也許近期的實驗能證明，但目前路還很長。



- 不只是密立坎於1924年時還持保留態度，1925年湯姆生也只是勉強接受光量子理論。
- 最終1923年的實驗證實光的粒子性質，以及1927年電子的繞射現象的發現，證實了不只是光，**粒子也擁有波粒二象性**，科學界漸漸接受光量子理論。



想一想(學習單)

3. 科學家用什麼角度理解「光」這個現象？
4. 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？
5. 課堂中老師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，為什麼？科學家在從事科學研究時都是客觀的嗎？

附錄二 科學認識觀問卷和學習動機問卷

班級：_____ 座號：_____ 姓名：_____ 性別：_____
各位同學大家好： 本問卷是用來瞭解你對科學的觀點以及對物理科學的看法，請同學看完每一題後，依據你的同意程度，把最適合的答案圈起來，問卷沒有標準答案，請同學認真作答。你的認真分享將對未來物理老師的教學改進有很大的幫助!!

第一部分：對科學的觀點

題目	同意程度				
	非常同意	同意	沒意見	不同意	非常不同意
1. 科學家們所說的，每個人都要相信。	5	4	3	2	1
2. 你必須要相信自然課本中對於科學所提到的相關內容。	5	4	3	2	1
3. 在上自然課時，老師所說的一切都是對的。	5	4	3	2	1
4. 如果你在自然課本中讀到一些科學相關的內容，你可以確定的是這些內容是對的。	5	4	3	2	1
5. 在科學中，只有科學家們知道如何確定什麼是對的？	5	4	3	2	1
6. 科學上的所有問題都有一個正確的答案。	5	4	3	2	1
7. 從事科學研究最重要的就是要想出那一個唯一正確的答案。	5	4	3	2	1
8. 關於科學的一切，科學家們已經瞭解得非常多了；並沒有很多是需要他們再去瞭解的。	5	4	3	2	1
9. 科學知識總是對的。	5	4	3	2	1
10. 一旦科學家們從實驗中得到一個結果，這個結果應該是唯一的解答。	5	4	3	2	1
11. 對於科學中已經被認為是對的部分，科學家們總是會同意。	5	4	3	2	1
12. 在科學中，有一些現在的科學想法跟過去科學家們所想的不一樣。	5	4	3	2	1
13. 科學課本中的想法有時候會改變。	5	4	3	2	1
14. 有一些科學上的問題甚至連科學家們都沒有辦法回答。	5	4	3	2	1
15. 科學上的想法有時候會改變。	5	4	3	2	1
16. 新的科學發現可能會改變科學家們認為是對的事物。	5	4	3	2	1

題目	同意程度				
	非常同意	同意	沒意見	不同意	非常不同意
17. 有時候科學家們會改變他們原來認為是對的想法。	5	4	3	2	1
18. 如何從事科學實驗的想法，通常來自於科學家們的好奇以及思考自然中事務是如何運作的。	5	4	3	2	1
19. 科學家們可能不只只有一種方式可以測試他們的想法。	5	4	3	2	1
20. 從科學實驗中想出一些新的想法來解釋自然中事物是如何運作的，是科學中很重要的一個部分。	5	4	3	2	1
21. 最好可以重複同樣的科學實驗以確定實驗結果是不是正確的。	5	4	3	2	1
22. 科學中一些很好的想法可能來自於每一個人，而不只是來自科學家們而已。	5	4	3	2	1
23. 做實驗是確定一個科學想法對不對的好方法。	5	4	3	2	1
24. 對於科學的問題而言，一個好的答案通常是根據許多不同科學實驗所得到的證據而來的。	5	4	3	2	1
25. 在科學中，好的想法可以是來自於我們自己所提出的問題和自己做的實驗。	5	4	3	2	1
26. 我認為最好在開始做科學實驗前先有一個自己的想法。	5	4	3	2	1

第二部分：對物理學習的看法

題目	同意程度				
	非常 同意	同意	沒意見	不同意	非常 不同意
1. 不論物理內容簡單或困難，我都有把握能學會。	5	4	3	2	1
2. 我對較難的物理觀念沒有把握學會。	5	4	3	2	1
3. 我有信心在物理科的考試中取得好的成績。	5	4	3	2	1
4. 不管我多努力也沒有把握學好物理。	5	4	3	2	1
5. 物理課中所進行的活動(或寫作業)有點難時，我不是放棄就是只做簡單的部分。	5	4	3	2	1
6. 在進行物理活動(或寫作業)時，我喜歡直接問別人而不是自己想出答案。	5	4	3	2	1
7. 對於較難的物理內容，我會跳過不碰它。	5	4	3	2	1
8. 我在學習物理新知識時，會企圖理解它。	5	4	3	2	1
9. 我在學習物理新知識時，會試著與以前的經驗作連結。	5	4	3	2	1
10. 當有一些物理觀念不懂時，我會找相關資料來幫助理解。	5	4	3	2	1
11. 當有一些物理觀念不懂時，我會找人(老師或同學)討論來幫助理解。	5	4	3	2	1
12. 在學習過程中，我會企圖瞭解所學的知識之間的關聯性。	5	4	3	2	1
13. 當我寫錯物理答案時，我會努力瞭解寫錯的原因。	5	4	3	2	1
14. 當我有一些物理觀念不懂時，我會再去弄懂此觀念。	5	4	3	2	1
15. 當物理課中所學的觀念，與我以前所瞭解的觀念有差別時，我會試著弄懂兩者的差異。	5	4	3	2	1
16. 我認為學物理很重要因為在日常生活中可用到。	5	4	3	2	1
17. 我認為學物理很重要因為可以刺激我的思考。	5	4	3	2	1
18. 我認為在物理課中學習解決問題的方法是很重要的。	5	4	3	2	1
19. 我認為物理課中參與科學探究活動是很重要的。	5	4	3	2	1

題目	同意程度				
	非常 同意	同意	沒意見	不同意	非常 不同意
20. 我認為學物理滿足自己的好奇心是很重要的。	5	4	3	2	1
21. 我參與物理課的活動主要是為了得到好成績。	5	4	3	2	1
22. 我參與物理課的活動主要是為了表現比同學好。	5	4	3	2	1
23. 我參與物理課的活動是為了能讓同學認為我很聰明。	5	4	3	2	1
24. 我參與物理課的活動是希望老師重視我。	5	4	3	2	1
25. 在學習物理時，我覺得最有成就感的時候是，當我考得很好。	5	4	3	2	1
26. 在學習物理時，我覺得最有成就感的時候是，當我對物理的課程或題目練習越做越有自信。	5	4	3	2	1
27. 在學習物理時，我覺得最有成就感的時候是，當我解決一個難題時。	5	4	3	2	1
28. 在學習物理時，我覺得最有成就感的時候是，當我的想法被老師接受。	5	4	3	2	1
29. 在學習物理時，我覺得最有成就感的時候是，當我的想法被同學認可。	5	4	3	2	1
30. 我願意參與物理課，因為物理(課本)內容生動。	5	4	3	2	1
31. 我願意參與物理課，因為老師教學有變化。	5	4	3	2	1
32. 我願意參與物理課，因為老師沒有給我壓力。	5	4	3	2	1
33. 我願意參與物理課，因為老師重視我。	5	4	3	2	1
34. 我願意參與物理課，因為課程挑戰性高。	5	4	3	2	1
35. 我願意參與物理課，因為同學能互相討論。	5	4	3	2	1
36. 我喜歡「光電效應」單元的上課方式。	5	4	3	2	1
為什麼？					
37. 「光電效應」單元的上課方式能幫助我學習。	5	4	3	2	1
為什麼？					

「光電效應」學習單 (一)

班級：_____ 姓名：_____ 座號：_____

閱讀資料：十九世紀的三個實驗

十九世紀有三個很著名且和光本質有關的實驗，第一個是楊氏(T. Young)的雙狹縫干涉實驗。實驗中呈現了光的波動性，楊氏提出了干涉原理解釋這個現象，當時因為微粒說當道，楊氏受到權威學者的圍攻，一二十年間，竟沒有人理解楊氏的工作，楊氏的論文無處出版，最後只能印成小冊子，據說小冊子出版後只賣出一本。

第二個是帕松亮點(Poisson spot, 圓盤繞射)。在 1818 年，法國科學院舉辦一個競賽徵文活動，目的是為了鼓勵科學家使用微粒說的觀點解釋繞射現象。法國工程師菲涅耳(A. J. Fresnel)參與這個活動，但他反而使用波動理論解釋了偏振現象，並且計算出圓孔、圓盤等形狀器材的繞射圖案。審查委員之一的科學家帕松(S. D. Poisson)利用菲涅耳的公式，計算出在圓盤的繞射圖案中心將產生一個亮點，他覺得荒謬至極，但後來科學家阿拉果(F. J. D. Arago)以實驗驗證了圓盤繞射圖案中心的亮點，後人戲稱此亮點為帕松亮點，此實驗結果也是呈現了光的波動性。

第三個實驗是科學家傅柯(J. B. L. Foucault)測定了水中光速，以實驗證明了水中光速較空氣中光速慢。(註解：微粒說預測水中光速較空氣中快，波動說預測水中光速較空氣中慢)

聽完老師講解，並閱讀以上的短文後，請回答下列問題：

- 106

「光電效應」學習單 (二)

班級：_____ 姓名：_____ 座號：_____

閱讀資料—光電效應的解釋：

假說一：

由光電效應實驗結果得知，光強度大小並不影響光電子的最大動能，因為光是電磁波。根據波動理論，波動的能量大小和強度有關，所以就光電效應的結果來看，光並沒有將能量傳遞給電子。所以當光照射到電子，光頻率和電子震動頻率相同時，光會觸發電子，就如同打開閘門一樣，電子將保持原來的速率離開原子。

反駁：

溫度越高，電子振動頻率應該越高，那麼照射光後打出來的電子最大動能應該也越大，但實驗結果發現溫度和光電效應並沒有這樣的關係。

假說二：

根據理論推演，我認為輻射的行為和粒子的行為有相似的地方，而且光又是輻射的一種。因此在光電效應中，光的能量傳播是透過一個一個的光量子，每個光量子將能量傳給原子裡的電子，導致電子離開原子。

反駁：

將光當成粒子，這明顯違反了電磁學波動理論，而且將光當成粒子反而不能解釋干涉現象了。

聽完老師講解，並閱讀以上的短文後，請回答下列問題：

1. 提出光電效應解釋的兩位科學家，其中一位是愛因斯坦，猜看看哪一位是愛因斯坦？
你判斷的依據是？

2. 假說一和假說二，哪一個對你來說比較有說服力？為什麼？

3. 科學家用什麼角度理解「光」這個現象？

4. 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？

5. 課堂中老師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，為什麼？科學家在從事科學研究時都是客觀的嗎？

附錄四 光電效應概念測驗卷

光電效應小考：

班級：_____ 座號：_____ 姓名：_____

單選題：

- 下列有關「光電效應」的敘述，**錯誤**的是？
(A) 光電子的最大動能與入射光頻率關係圖為一直線 (B) 要使某一金屬表面發射光電子而形成光電流，入射光頻率必須要超過其底限頻率 (C) 入射光之頻率高於底限頻率時，縱然光強度微小亦可以產生光電子而形成光電流 (D) 光電子的最大動能與入射光的強度成正比 (E) 入射光波長越短，光電子的最大動能越大。
- 光電效應中，與光電子動能**無關**的是：
(A) 底限頻率 (B) 入射光之強度 (C) 入射光之波長 (D) 入射光之頻率 (E) 金屬的功函數。
- 選出**正確**的選項：
(A) 截止電壓與照射光的頻率有關 (B) 底限頻率與照射光的頻率有關 (C) 照射光強度越強，產生光電子動能越大 (D) 照射光強度太弱時，將無法產生光電子 (E) 照射光強度太弱，照射金屬久一些，依然可以產生光電子。
- 在光電效應中，照射光越強：
(A) 放出電子的動能越大 (B) 放出電子時間越短 (C) 放出電子的波長越短 (D) 放出電子的數目越多 (E) 放出電子的速率越大。
- 下列有關光電效應的敘述，何者**正確**？
(A) 產生之光電子數目與入射光之強度無關 (B) 光電子之最大動能與入射光強度有關 (C) 光電子之最大動能隨入射光之頻率呈線性減少 (D) 光電子之最大動能與產生光電子之金屬種類有關 (E) 光照射到金屬表面道開始產生光電子，相隔時間通常在 10 秒以上。

填充題：

- 使用功率為 P 的黃光照射光電管時，可產生 2×10^{-7} 安培的光電流，現將此黃光功率提高至 $1.5P$ 照射光電管，可產生_____安培的光電流。
- 承上題，若功率為 P 的黃光照射光電管時，光電子最大動能為 3eV ，當此黃光功率提高至 $1.5P$ 照射光電管，可產生_____eV 最大動能的光電子。

8. 以頻率為 ν 的光照射某金屬表面，所放出的光電子最大動能為 T 。若改用頻率 3ν 的光照射，則所放出的光電子最大動能為 $5T$ ，則 T 為何？(使用普朗克常數 h 以及頻率 ν 表示)
9. 一個波長 700 奈米的紅光光子與一個波長 600 奈米的黃光光子比較，紅光光子比黃光光子的能量比為？
10. 已知 A、B 兩種金屬功函數如右：

金屬	功函數
A	2eV
B	3eV

現使用光子能量為 6eV 的單色光照射 A、B 兩金屬，則兩金屬所產生光電子最大動能比 $K_a:K_b$ 為？