

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

科學史融入高中物理
熱學與光學之教學研究

A Research on Integrating History of Science into
Thermal and Optical Units in Physics Curriculum of
Senior High School Education

研究生：張 永 昌

中華民國 102 年 7 月

科學史融入高中物理熱學與光學之教學研究

中文摘要

面對十二年國教即將實施，培養學生具備足夠的科學素養，成為高中物理教學的重要目標。本研究針對高三物理熱學與光學兩個章節，透過準實驗研究的方式，將研究者任教的兩個班級分別採用科學史教學(43 人)與一般教學(38 人)的形式，探討不同教學模式對於學生在科學本質觀點及學習成就的影響。

透過研究工具「了解科學本質量表」進行相依樣本 t 考驗分析得知，相較於一般教學，學生的科學本質觀點在科學史教學後，有顯著的提升($t = 3.081, p < .05$)，且原持有科學本質觀點較接近傳統觀的學生，提升的程度最為明顯；透過 ANCOVA 分析學生在傳統期中考試題的表現得知，成績原本較差的科學史教學組學生在科學史教學後與一般教學組學生的成績差距逐漸拉近，因此，長時間的科學史教學對於學生學習是有助益的；經科學史教學後，學生在 PISA 類型試題的表現優於傳統期中考試題，此結果可做為後續相關研究選擇學習評量工具的參考。

雖然大多數(92.3%)學生對於將科學史融入高中物理教學抱持正面與肯定的態度，但是，部分(20.5%)學生認為回答科學史教學活動所安排的科學本質問題是有困難的，此外，超過一半 (61.5%)的學生，在即將面對升學考試的壓力下，認為科學史教學比較適合安排在高一課程，上述學生對科學史教學的反應，以及研究者最後依據研究結論提出幾項建議，可做為後續教學與相關研究參考。

關鍵字：科學本質、科學史教學、物理

A research on integrating history of science into thermal and optical units in Physics curriculum of senior high school education

Abstract

In order to adapt to the twelve-year compulsory education to be implemented, to equip students with sufficient science literacy has become one of the important goals in physics education of high school. This research used quasi-experimental design to explore the impacts of adopting two different pedagogical approaches on two classes respectively. By means of teaching physics along with science history (N=43) or with normal lecture teaching (N=38) in two classes, the influence of these two methods on students' views of nature of science and their academic achievement was investigated within thermal and optical units in high school physics curriculum.

The t-test analysis was conducted to analyze the data from the research tool "Understanding the Nature of Science Scale", the results showed that the students ($t = 3.081$; $p < .05$), who received the method of science history teaching, significantly improved their views on the nature of science. In addition, the positive effect was most significant among the students who initially hold traditional views on the nature of science. By comparing with students' performance on traditional midterm examination, the one-way ANCOVA analysis showed that the score difference between two classes gradually decreased. This result indicates that science history teaching, with sufficient time, is helpful to students' learning. The students, who received the method of science history teaching, get better performance in the PISA test than that in traditional midterm test. This result can be used as reference to select assessment tools for follow-up studies.

Although most of the students (92.3%) hold optimistic and positive attitudes toward the integration of history of science into physics instruction in high school, some of the students (20.5%) considered that answering the open-ended questions about the nature of science in worksheets was difficult. Furthermore, under the pressure of entrance exam, over half (61.5%) students considered that it is more suitable to arrange the history of science teaching in the 10th-grade physics curriculum. These responses and some recommendations can be used for future research.

Keywords : nature of science; teaching history of science; physics

目錄

第一章 緒論.....	01
第一節 研究背景與動機.....	01
第二節 研究目的與研究問題.....	04
第三節 研究範圍與限制.....	05
第四節 名詞解釋.....	06
第二章 文獻探討.....	09
第一節 科學本質與科學本質教學.....	09
第二節 科學史教材編輯的相關研究.....	18
第三節 科學史融入高中教學的相關研究.....	21
第三章 研究方法.....	25
第一節 研究設計與研究流程.....	25
第二節 研究樣本.....	28
第三節 研究工具.....	29
第四節 教材與教學設計.....	35
第五節 資料分析.....	45
第四章 結果與討論.....	47
第一節 科學史融入教學對學生科學本質的影響.....	47
第二節 科學史融入教學對學生學習成就的影響.....	60
第三節 學生對於科學史融入教學的學習感受.....	69
第四節 學生在科學史教學學習單的表現.....	74
第五章 結論與建議.....	83
第一節 結論.....	83
第二節 建議.....	88

參考文獻.....	91
附錄一 科學史教學活動學習單.....	95
附錄二 PISA 類型學習評量試題.....	111
附錄三 學習感受問卷.....	127
附錄四 科學史教學上課用 PPT.....	129

表目錄

表 2-1 科學本質在傳統觀點與現代觀點的異同比較.....	12
表 2-2 九年一貫課程綱要內與科學本質有關的分段能力指標.....	13
表 2-3 與科學本質有關的高中物理學科能力.....	14
表 2-4 各階段應教導學生之科學本質的教學目標.....	16
表 2-5 各階段科學教材中適合放入的科學史教材內容.....	20
表 3-1 一般教學組與科學史教學組班級學生基本資料.....	28
表 3-2 UNOS 各分量表評測目標與正反向陳述試題範例.....	29
表 3-3 傳統期中考學習成就評量及科學史教學安排活動簡介.....	31
表 3-4 本研究自行設計 PISA 類型試題相關內容簡介.....	32
表 3-5 科學史教學學習感受問卷例題.....	34
表 3-6 科學史教材所採用的科學史素材相關簡介.....	37
表 3-7 科學史教材中所提出的科學本質思考問題相關簡介.....	38
表 3-8 光的本質探索活動教材相關簡介.....	40
表 4-1 一般教學組與科學史教學組前測總分及各分量表分數差異顯著性 考驗.....	48
表 4-2 一般教學組與科學史教學組後測總分及各分量表分數差異顯著性 考驗.....	49
表 4-3 兩組學生前、後測表現在總分及各分量表分數差異顯著性考驗.....	50
表 4-4 不同程度科學本質觀的實驗組學生在 UNOS 前後測分數差異顯著 性考驗.....	54
表 4-5 不同性別的實驗組學生在 UNOS 總分及各分量表分數敘述性統計 資料.....	56
表 4-6 不同性別學生組內迴歸係數同質性檢定.....	57
表 4-7 實驗組學生的性別對於調整後 UNOS 總分差異顯著性考驗.....	58
表 4-8 不同性別的實驗組學生經調整後在 UNOS 的總分平均分數.....	58
表 4-9 不同性別的實驗組學生在 UNOS 三個分量表調整後的分數資料....	59
表 4-10 實驗組學生性別對於調整後 UNOS 各量表分數差異顯著性考驗....	59
表 4-11 實驗組、對照組及全體學生在傳統類型學習成就前後測敘述性統 計資料.....	60
表 4-12 實驗組、對照組及全體學生單因子共變數分析組內回歸係數同質 性檢定.....	61

表 4-13 實驗組、對照組及全體學生單因子共變數分析變異數同質性考驗.....	62
表 4-14 實驗組、對照組及全體自然組學生經調整後在兩次後測的平均分數.....	62
表 4-15 以前測分數為共變數，經調整後各組學生在第一階段後測的平均分數比較.....	63
表 4-16 以前測分數為共變數，經調整後各組學生在第二階段後測的平均分數比較.....	63
表 4-17 實驗組與對照組學生在 PISA 試題學習成就差異顯著性考驗.....	66
表 4-18 實驗組與對照組學生在 PISA 試題學習成就各試題得分表現.....	67
表 4-19 實驗組學生對於科學史融入教學學習感受問卷第一部分整理資料.....	69
表 4-20 實驗組學生對於第一階段科學史教學問題討論活動喜好統計資料	71

圖目錄

圖 3-1 研究架構與實驗設計圖.....	26
圖 3-2 研究流程示意圖.....	27
圖 3-3 第一階段教學流程示意圖.....	42
圖 3-4 科學史教材 06 教學活動流程示意圖.....	43
圖 3-5 第二階段教學流程示意圖.....	45
圖 4-1 一般教學組與科學史教學組在 UNOS 總分的前後測表現.....	49
圖 4-2 一般教學組與科學史教學組在三個分量表前後測的平均得分情形.....	51
圖 4-3 不同科學本質觀點實驗組學生在 UNOS 前後測的平均得分情形....	55
圖 4-4 不同科學本質觀點實驗組學生在三個分量表前後測的平均得分情形.....	55
圖 4-5 不同性別的實驗組學生在 UNOS 前後測的平均得分情形.....	57
圖 4-6 實驗組、對照組及全體學生在三次傳統類型學習成就評量的表現.....	61
圖 4-7 以前測分數為共變數，實驗組、對照組及全體學生在兩階段後測的表現.....	63

第一章 緒論

第一節 研究背景與動機

對於多數高中自然組學生而言，物理往往是他們學習成就最低落的科目，由歷年大學指定考試成績來看，亦是如此。近 10 年物理均標分數大半低於 30 分，甚至在 91 學年度時，物理的全國均標分數只有 17 分為近年來最低的分數，在升學主義導向的社會氛圍下，這麼低的投資報酬率，對高三自然組學生而言，物理常常成為學生最早選擇放棄的科目，也因為如此，部分學生對於物理課總是抱持著不積極、被動的學習態度。此外，由於過度重視考試的成績，教學現場的物理教師也逐漸地習慣在課堂上只教學生科學知識的內容、公式，忽略科學知識的發展過程，並且將大量的教學時間運用在訓練學生記憶科學知識內容與熟悉解題所需的計算能力(杜鴻模，2002)。這種形式的物理教學僅僅是在訓練學生如何在物理考試中獲得分數，並不能讓學生透過教學活動對於科學擁有一個較完整、全面性的認識。

隨著社會環境的變遷，為了培養新世代的公民，教育改革的浪潮不僅使得國中、國小的教育制度與教學環境發生了巨大的變革，為了讓這批完成國民基礎教育的學生，在未來升大學的基礎上，能夠順利獲得銜接，教育部藉由民國 90 年修訂的 95 暫綱以及 94 年修訂的 99 課綱，對於高中的教育制度進行了一系列的調整。在教育部規畫下，學校本位課程的重要性以及教師的專業自主能力，成為 99 課綱強調的重點，學校與教師所扮演的角色，由從前的被動轉換為主動(教育部，2003)。身處在追求改革與不斷變遷的教育環境中，高中教師該如何應對？如何藉由自身的專業能力設計出一套適合學生的課程？在設計課程時，應該加入哪些不同的新元素？在最近數年間，這些從來不曾遇到過的問題，不斷地出現在研究者的腦海中，許多在教學現場的高中教師，也亟欲尋找出這些問題的解答。

近幾年大學錄取率逼近 100%，考上大學已經不是一件困難的事，存在已久的升學壓力獲得稍微的舒緩；在升學考試部分，最近兩年的大學指定考試由於選擇題部分不再採用答錯倒扣的計分方式，物理科試題的難度也有明顯降低，因而使得 100、101 學年度的物理指定考試，全國的平均分數有了顯著的提高(100 學年度：53 分、101 學年度：59 分)。就升學的角度來看，物理似乎不再是個低投資報酬率的科目，可以吸引學生投注更多的心力於物理的學習。教師在物理課堂上不再需要將大部分的教學時間分配在複雜概念的講解或計算繁複的試題演練上。

由於升學制度的多元化以及指考試題難易度的調整改變，高中物理教師的教學壓力已稍稍獲得舒緩，隨著國內教育改革的影响逐漸進入高中，高中物理教學似乎可以開始做些改變。然而，新課綱所規劃的教學時數仍然不夠充裕，要挪出大量的時間，在既有的課程內容中加入大量的新教材或大幅度地更動教學方法，對高中物理教師而言，依舊是一項不易達成的目標。

對研究者而言，在考量人力、教學時間以及學生即將面對學測考試壓力的教學現場條件之後，在原有的教學中，融入一個能夠對學生有所助益的新元素，而且不會占用大量的教學時間，也不會造成學生額外學習壓力，就成了研究者在尋找研究主題與設計研究方法時的重要原則。

隨著社會、文化的變遷，科學課程設計的理念，由原先的菁英教育，逐漸地轉變成為全民科學素養的培養，如何將學生培養為具有科學素養的公民，成為國內外科學教育學者們的重要課題(鄭湧涇，2005)。因此，許多國家已經將科學本質列入科學教育重要項目之一(McComas & Olsen, 1998)；美國科學促進會(AAAS,1993)及美國國家科學教師協會(NSTA,1982) 更將對於科學本質認知觀點視為具有科學素養公民的重要指標。此外，英國的國定課程(national curriculum)也明定將科學史哲融入課程中，以幫助學生學習科學本質(引自王靜如，2006)。

在國內，早期雖然沒有明確的將科學本質列入課程綱要中，但是，在九年一貫課程暫行綱要（教育部，2000）以及定案的九年一貫課程綱要（教育部，2003），均正式將科學本質列為自然與生活科技的重要能力指標之一，由此可知，正確的科學本質觀是讓學生具備科學素養的重要因素之一。

在高中課綱中，尚未將科學本質明確的列入，然而，我們或許可預期完成九年一貫教育的學生，應具備一些科學本質的基本認識，在進入高中後應該繼續延伸科學本質的相關學習。因此，在高中階段提供學生合適的科學本質教學，成為研究者期望能在高中物理課程原有架構裡加入的新元素。

另外，在目前高中物理的學習成就評量試題的設計上，多數的物理試題為了考量計算的便利性，題目所陳述的情況，都是在實際環境裡不容易遇到的現象，學生很少有機會可以將所學的科學知識，應用在現實的生活中。目前在國中教育圈討論的PISA試題，在評量的設計上，透過提供實際生活可能會遇到的問題情境，讓學生利用自身的相關素養，藉由統整性思考找出問題解決的方法。而科學本質為科學素養的一部份，透過PISA情境式試題亦能評量學生的科學素養。因此，研究者希望在研究中能夠設計出這類型的試題，透過這類型的試題，一方面評量學生的科學素養，另一方面給予學生更多應用科學知識解決日常生活問題的機會。

在研究者將近十年的高中物理教學生涯中，將許多的心力、精神花費在提升學生的物理學習成就與維持學生的學習樂趣這兩個方向上，因此，諸如：物理現象的電腦動畫模擬、課程相關的趣味小實驗、電腦錄影解題…等，都是研究者曾經嘗試放入教學活動的新元素，然而，既然科學本質是目前科學教育中被大眾所公認不可或缺的重要項目，研究者應該透過什麼方法，才能提升學生對於科學本質的認識呢？

在師大科教所進修的過程中，科學史與科學本質的相關課程對研究者產生極

大的震撼，許多從來沒聽說過的科學史故事內容，不但讓研究者重新燃起對閱讀科學故事的興趣外，更讓研究者對於科學與科學家的認知產生了跟從前完全不同的看法：「課本上的科學理論並不是永遠正確的」、「要推翻原有的科學理論不是憑藉著實驗數據就能證明，還要能夠說服其他的科學家」、「科學家並不是完全客觀理性的，跟平常人一樣是會耍心機的」...等。這些對於科學本質的重新領會，是研究者在進修的過程中所獲得最深刻的收穫。也因為如此，研究者在思索研究題目時，科學史融入教學就成為研究的主要方向，期待能透過本研究編輯合適的科學史教材，融入物理課程中，並設計出明確的科學本質相關問題，提供學生進行思考，希望透過這樣的活動，一方面能提升學生的學習動機與成就，另一方面也讓學生對於科學本質有更深入的認識與瞭解。

因此，本研究規劃在高三物理原有的教學活動中，藉由科學史融入教學的模式，引入合適的科學史小故事與相關教學活動，在教學活動後，透過前後測獲得的資訊與採用一般教學的學生相互比較、分析，探討學生對於科學學習的動機、學習成就以及對科學本質的認識，是否因教學模式不同而有所改變，依據研究所獲得的結果，做為規畫後續相關教學活動時的參考依據，藉此豐富的教學內容及活化教學知能，達成教師專業成長的自我期許。

第二節 研究目的與研究問題

一、研究目的：

基於研究者所處的教學環境與研究動機，本研究計畫在高三物理教學中，設計出一套不需要占用太多教學時間，對學生科學本質亦具有提升效果的科學史教材，教師透過明示的教學策略，讓學生閱讀數則與課程相關的科學史小故事並針對科學本質問題進行思考後，寫下自己觀點與看法。

研究者期待透過上述的科學史教學活動，能使學生對於科學發展的過程有更

深入的體會，而不是僅僅著重於課堂中的科學知識內容與試題的計算，並因此提升學生的科學本質概念，進而提高學生對於科學學習的興趣與動機。

培育學生可以帶得走的基本能力，而不是沉重的知識教材，是近幾年教育政策的重點之一。然而，透過傳統的學習成就測驗，多半只能評量學生是否能夠有效地記憶科學知識內容與熟悉解題過程所需的計算，這類型的測驗並不能夠有效地評量出學生所具備的科學素養，是否因教學而改變。透過科學史教學，學生有更多的機會，可以體會從前的科學家如何應用知識及研究工具，對觀察的現象提出合理解釋並解答問題，這樣的過程，與學生在 PISA 試題所提供的問題情境中，活用自身在閱讀、數學、科學的相關素養尋找出問題的解答方案，是類似的。因此，研究者試圖透過 PISA 類型試題的評量，瞭解科學史教學對於學生利用統整式思考尋求問題解決能力的影響程度。

二、研究問題

基於上述研究目的，本研究擬討論的問題如下：

- (一) 融入科學史小故事與科學本質相關問題的閱讀與思考後，學生在科學本質上的改變與一般教學的學生，是否有所差異？
- (二) 融入科學史小故事與科學本質相關問題的閱讀與思考後，學生在科學學習成就上的改變與一般教學的學生，是否有所差異？
- (三) 融入科學史小故事與科學本質相關問題的閱讀與思考後，學生在 PISA 情境式試題的表現與一般教學的學生，是否有所差異？

第三節 研究範圍與限制

一、研究範圍：

(一) 研究對象與研究時間：

本研究以新北市某公立高中三年級兩班自然組學生為研究對象，實驗

組一班，學生人數為 43 人，對照組一班，學生人數為 38 人，於 101 學年度上學期實施。

(二) 研究教材：

以高三上學期物理課程中『熱學』、『物理光學』兩章節為研究課程實施範圍。

二、研究限制：

本研究因受限於人力因素，無法遍及全臺各公私立高中，為方便研究，僅選取新北市某公立高中研究者所任教三年級兩個班級學生，做為研究對象，並選擇高三上學期課程中兩個較適合安排科學史融入的章節進行教學研究。如欲將研究的結果向外推論，需考慮各高中的入學成績、城鄉差距、教師授課風格、學生年紀、授課單元...等因素。

第四節 名詞解釋

一、科學本質：

許多科教學者指出，就像是科學知識並不是恆久不變的真理，科學本質的觀點也是具有動態性的，近年來，科學本質的觀點已經由傳統認同的邏輯實證主義轉變為目前主流的建構主義，而且未來仍然有再次改變的可能(Lederman,1996; Matthews,1996)。本研究對科學本質所使用的定義，採用美國科學促進會 AAAS 於 1989 年在「2061 計畫：美國科學全民化」一書中，對於科學本質所做的定義，共分為三個領域(引用自翁秀玉和段曉林，1997)：

(一) 科學的世界觀(Science world view)

自然界是可以被理解的；雖然科學知識是可以被改變的，但是要推翻原有的科學知識並不容易的；科學並非萬能的，不能解決所有的問題。

(二) 科學的探究活動(Scientific inquiry)

證據對科學是重要的；科學是邏輯和想像的合成體；科學知識不但能解

釋自然界的現象，也具有預測的功能；科學家會試著驗證理論並盡量避免發生誤差；既定的科學知識並不具有永恆的權威地位，常態科學會影響科學的研究方向，但是必要時仍會產生科學革命。

(三) 科學的事業(Science enterprise)

科學是不同學科領域的集合；科學事業是由許多機構來進行，例如：大學、工業界、政府；各種不同領域的科學家在世界各地從事科學活動；從事科學活動必須考慮倫理的原則；科學家兼具科學專業及公民的身分；科學家利用科學思考的特性來處理公共事務。

二、了解科學本質問卷(Understanding of the Nature Of Science scale, UNOS)：

為了瞭解學生在研究前後，對於科學本質的觀點是否有發生變化，在問卷施測部分，研究者選擇使用林陳涌(1996)所設計的「了解科學本質量表 UNOS」，於研究前後進行施測。

依據該量表對於科學本質所做的三個向度分類，在「科學方法的本質」方面，本研究期盼能藉由科學史教學讓學生體驗科學知識的建構過程，進而體會從科學方法所獲得的科學知識是會受到研究者本身認知與理念所影響，並不是絕對客觀的。透過 UNOS 瞭解學生對科學方法的非單一性、非固定性、實證性、理論蘊含及非絕對客觀性的認知狀況。

在「科學知識的本質」方面，藉由熱與光本質的相關科學知識演進過程，讓學生體會科學知識具有可重覆驗證的性質，卻不是恆久不變的，透過公開發表以及科學社群的討論，舊的科學知識可能會被新知識所取代。透過 UNOS 瞭解學生對於科學知識的累積性、暫時性、可複製性、公開性及創造性，是否與現代觀點相符。

在「科學事業的本質」方面，透過相關科學史討論活動讓學生理解科學、科技、社會三者之間是彼此互相影響的，以及科學家所做的一切都會受到科學專業、

科學社群、倫理道德的規範。並藉由 UNOS 瞭解學生對於科學事業的倫理與道德、科學與科技、科學與社會、科學家的身分、科學社群...等的觀點。

三、科學史融入教學：

在教學活動中加入設計過的科學史教材與相關教學活動，藉此讓學生瞭解科學家建構科學知識的過程，並體會科學與社會、文化、經濟間的關聯，進而增強學生對科學的認識。科學史融入教學的授課方式有許多類型：角色扮演、故事講述、科學家個案研究、互動式歷史小品...等，教師可考量課程時數、教學目標、學生興趣與程度、師生互動狀態...等因素後，選擇合宜的使用模式。本研究所指的「科學史融入教學」，並未使用特定的科學史融入教學授課模式，而是教師將科學本質視為教學目標，有計畫性的將科學史素材、科學本質相關問題融入教學活動中，期盼學生能因此對科學有更深刻的認識。

四、PISA 類型試題：

國際評量計畫(the Programme for International Student Assessment)簡稱為 PISA，是由經濟合作既發展組織(Organisation for Economic Co-operation and Development)簡稱 OECD 所委託的評量計畫，PISA 測驗主要評量的是即將完成基礎教育的 15 歲學童，是否在閱讀、數學以及科學等領域方面，已具備良好的素養。與大多數的學習成就測驗不同之處，在於鑑別學生是否有效地記憶學科知識的內容並不是 PISA 測驗的主要內涵，PISA 測驗主要是評量學生是否能夠從不同的角度分析問題，有效地利用學科知識尋找出問題的解決方法（張惠博、林陳涌等，2009）。研究者透過自行閱讀「PISA 科學素養評量成果手冊」與相關研習活動資料，在對於 PISA 測驗命題有了基本的認識之後，針對本次研究的教學範圍進行 PISA 測驗試題的設計，共有 4 個題組，該份試題在專家審查後經過修改，成為本研究在探討科學史教學對於學生學習成就影響時，除了傳統的期中考成績外，另一種不同類型的學習成就測驗工具。

第二章 文獻探討

為解答本研究的研究問題，藉由收集科學本質的文獻資料與科學史融入教學的相關教學研究結果，做為研究者進行科學史教材設計、科學史教學活動規劃及後續資料分析的參考依據。

本章主要分為三節，第一節為科學本質與科學本質教學的相關研究文獻；第二節為科學史融入教學的相關文獻；第三節為科學史融入高中教學的相關研究。

第一節 科學本質與科學本質教學

一、科學本質

從文藝復興時期開始，科學企圖脫離哲學，成為一個獨立的研究領域，科學家們藉由對自然的觀察、實證的方法，試著對自然現象找出最合理的解釋。累積了數百年人們對於科學所做的努力，新的科學知識不斷地被創造出來，原有的科學知識也可能因為反例的出現與研究工具的改良，而必須修改原有科學知識的內容甚至是被淘汰。同樣地，人們對於科學本質的定義，也會隨著社會、文化、哲學理論..等時空背景因素而有所調整。

科學的本質是什麼？許多科教學者指出，這個問題並沒有固定的答案，就如同科學知識並不是恆久不變的真理，科學本質的觀點也具有動態性的特質(Lederman,1996; Matthews,1996; 引自翁秀玉、段曉林，1997)，對於科學本質的範疇與內涵，科教學者們各自抱持著不同的觀點與見解。美國科學促進協會(AAAS,1989)所出版的 Project 2061 研究報告對於科學本質的相關說明，經常被科學本質教學相關研究所引用，該研究報告將科學本質區分為三個不同領域進行說明：

- (一) 在科學的世界觀(Science world view)部分，強調科學不是萬能的，無法解決所有問題；科學知識是人類對於自然現象理解後的產物，可以被改變，

但是要推翻原有的科學知識並不容易。

- (二) 在科學的探究活動(Scientific inquiry)部分，強調證據對於科學的重要性，科學家會試著驗證理論並盡量避免讓科學知識與自然現象出現不一致的情形；科學知識不但能解釋自然界的現象，也具有預測的功能；既定的科學知識並不具有永恆的權威地位，常態科學會影響科學的研究方向，但是必要時仍會出現科學革命改變常態科學的型態。
- (三) 在科學的事業(Science enterprise)部分，強調不同領域的科學家在世界各地從事科學活動，且必須考慮倫理的原則；科學是不同學科領域的集合；科學事業是由許多機構來進行。

許多研究均指出教師所抱持的科學本質觀點會影響其教學行為與教學評量的方式，進而影響學生對科學的看法與學習科學的態度 (Brickhouse,1990; Aikhenhead &Duffee, 1992；引自吳美瑩，2004)。許國忠與王靜如(2003)指出學生的科學本質觀會影響其科學學習的方式，與科學學習成就有正相關的關聯，強調科學本質對於科學教學的重要性。

近年來 PISA 逐漸受到國內教育學者的重視，其中 PISA2006 是 OECD 第一次以科學為主所做的評量，與其它傳統科學評量的最大差異在於該評量並不侷限測量學生科學概念的精熟程度。在 PISA2006 所定義的科學素養為(張惠博、林陳涌，2012)：

- (一) 面臨科學相關議題時，能夠使用科學知識去發現問題、形成新知識、解釋現象並得到有事實根據的結論。
- (二) 能夠明瞭科學是人類經由探究所形成的知識。
- (三) 能夠察覺科學和技學深深的影響我們周遭物質的、符號的、文化的環境。
- (四) 願意以公民身分參與和科學相關的社會議題或科學想法。

PISA 根據四個相互關聯的向度對上述的科學素養加以定義，其中的一個向

度為「科學知識的素養」，在該向度中包含科學內容知識與科學本質兩個項目。對於科學本質又細分為科學的探究與科學的解釋兩個部分。由上述 PISA2006 對於科學素養的相關定義可知道科學本質在目前國際科學教育評量中的重要性。

對於學生所抱持的科學本質觀，有許多相關的研究：林陳涌(1996)調查台北地區 1670 位高中學生的科學本質觀點，認為學生對於科學本質的觀點，主要受到邏輯實證主義的影響，在 UNOS 表現上自然組學生明顯優於社會組學生，因而認為學生對科學本質的理解與修習科學學科的課程量有關。許良榮與蕭培玉(2007)也在整理近年來許多相關研究後指出多數的學生抱持著不恰當的科學本質觀。然而，近幾年來隨著教育改革的影响，學生對於科學本質的觀點似乎也有些改變，林于湘(2006)透過 Tsai & Liu(2005)所研發之「多向度科學認識觀問卷」，將對科學知識的看法分為建構主義和實徵主義兩端，調查 583 位高二以上自然組學生的科學認識觀，發現高中自然組學生的科學認識觀頗為一致，男女生並無顯著差異且傾向建構觀點。

劉錫忠和段曉林(2002)參考科學本質的相關文獻，包含：林陳涌(1996)、翁秀玉和段曉林(1997)、AAAS(1989)、McComas, Clough & Almazroa(1998)、Benchmark for science literacy(1993)，將上述文獻中關於科學本質的看法，由三個不同的面向，比較「傳統科學本質觀」與「現今科學本質觀」的異同，其分析的結果整理為表 2-1。

藉由表 2-1 對於科學本質傳統觀點與現代觀點的比較，可做為在設計科學史教材時的參考依據，針對新舊觀點的不同之處，透過相關的科學史料與科學史教學活動，讓學生對於科學本質的現代觀點有更深刻的體會，提升科學本質教學的效益。

林陳涌(1996)在其設計的「了解科學本質問卷」中，將科學本質分為「科學方法的本質」、「科學知識的本質」、「科學事業的本質」三個向度。在本研究中，將採用相同的向度分類，對於學生的科學本質進行前後測的分析比較，探討科學

史融入教學對於即將面臨升學考試的高三自然組學生，在這三個與科學本質有關向度的影響程度。

表 2-1 科學本質在傳統觀點與現代觀點的異同比較(劉錫忠和段曉林，2002，P2~P3)

	科學本質的傳統觀點	科學本質的現今觀點
科學知識的本質	相同處 均認同科學知識具有持續性、精確性以及可確認性	
	相異處 1. 視科學知識為絕對客觀的真理 2. 科學知識的真理可以不斷地累積。 3. 以科學歸納法做為區分科學與非科學的準則。	1. 科學知識是經由人想像或推論而產生的，因此並無絕對真理的存在。 2. 由於新的工具或反例出現，科學知識有可能因此進行修正或是被推翻，理論的修正是為了更接近事實。科學知識是暫時性、不能累加的知識。 3. 科學理論的發展，需要經由科學社群的考驗。
科學事業的本質	相同處 皆認同科學家的工作，是為了瞭解真實世界的奧秘，並且應該誠實地公開研究的成果。	
	相異處 科學知識都是來自於真實世界中原本就存在的真理，因此，科學工作並不受社會、文化、科學信念或科學社群所影響，科學家是絕對客觀的。	科學家的工作是創作、發明，會受到社會文化、科學社群等因素所影響，不可能絕對的客觀；同一派典的科學家們所發展的假設、理論，需經由科學社群討論或辯論之後，方能形成其價值。
科學探究的本質	相同處 需透過觀察現象、資料蒐集與分析、建立假說、邏輯的論證...等方法，方能建構出新的科學知識	
	相異處 1. 對於現象進行中立且客觀的觀察，是所有科學知識的起源。 2. 探究的模式，需依照固定的步驟：「觀察現象→歸納事實→提出假說→檢驗假說→形成理論或定律」這樣的模式被視為唯一的科學方法。	1. 科學觀察並非完全中立、客觀，會受到科學家本身的信念、社會、文化...等因素影響。 2. 面對科學問題時，科學家所採用的科學方法會因為研究環境、科學信念、文化素養...等條件，而有所不同。科學方法並沒有固定的模式與步驟，科學家的研究蘊含創造力的成分。

二、國內教育課程綱要中與科學本質相關的討論

教育部於 2003 年所制定的九年一貫課程綱要將「對科學本質之認識」列為重要的科學素養之一。由於分段能力指標的前言說明部分太過冗長，於 2008 年

再次重新撰寫時，改採用條列式的方式呈現，將自然與生活科技學習領域中，國民科學與技術的重要基本能力，重新編排為八個要項。而「3.科學與技術的本質：科學是可驗證的、技術是可操作的」，這項強調學生對科學與科技本質之認識的基本能力，仍然被條列在第三個要項，該項目的分段能力指標整理如下表 2-2：

表 2-2 九年一貫課程綱要內與科學本質有關的分段能力指標(教育部，2003)

主項目	階段	基本能力說明
科學與技術的本質	國小	3-1-0-1 能依照自己所觀察到的現象說出來。
	一～二年級	3-1-0-2 相信每個人只要能仔細觀察，常可有新奇的發現。
	國小	3-2-0-1 知道可用驗證或試驗的方法來查核想法。
	三～四年級	3-2-0-2 察覺只要實驗的情況相同，產生的結果會很相近。
		3-2-0-3 相信現象的變化，都是由某些變因的改變所促成的。
	國小	3-3-0-1 能由科學性的探究活動中，瞭解科學知識是經過考驗的。
	五～六年級	3-3-0-2 知道有些事件(如飛碟)因採證困難，無法做科學性實驗。
		3-3-0-3 發現運用科學知識來作推論，可推測一些事並獲得證實。
		3-3-0-4 察覺在「以新觀點看舊資料」或「以新資料檢視舊理論」時，常可發現出新問題。
		3-3-0-5 察覺有時實驗情況雖然相同，也可能因存在著未能控制的因素之影響，使得產生的結果有差異。
	國中	3-4-0-1 體會「科學」是經由探究、驗證獲得的知識。
	七～九年級	3-4-0-2 能判別什麼是觀察的現象，什麼是科學理論。
		3-4-0-3 察覺有些理論彼此之間邏輯上不相關連，甚至相互矛盾，表示尚不完備。好的理論應是有邏輯的、協調一致、且經過考驗的知識體系。
		3-4-0-4 察覺科學的產生過程雖然嚴謹，但是卻可能因為新的現象被發現或新的觀察角度改變而有不同的詮釋。
		3-4-0-5 察覺依據科學理論做推測，常可獲得證實。
		3-4-0-6 相信宇宙的演變，有一共同的運作規律。
		3-4-0-7 察覺科學探究的活動並不一定要遵循固定的程序，但其中通常包括蒐集相關證據、邏輯推論及運用想像來構思假說和解釋數據。
		3-4-0-8 認識作精確信實的紀錄、開放的心胸與可重做實驗來證實等，是維持「科學知識」可信賴性的基礎。

數十年來，由於受到升大學考試的影響，高中的科學課程，在課程目標、課

程理念及教學方面，都是以升學準備為導向，以學習升學所需的基本知能為主要目標，相較於國中小課程的激烈改變，高中科學課程並未有顯著的改變(鄭湧涇，2005)。然而，由於大學的普及化，考上大學已經不是件困難的事，隨著高中教科書的編輯制度由統編改為審定，高中科學課程也逐漸地發生了變化。為了讓接受九年一貫課程教育的國中生進入高中時，能夠順利銜接，高中科學課程的目標、理念，甚至是教師的教學，都需要有所改變。

九年一貫課程著重於國中小課程的綜向連貫與橫向統整，並強調以學生為教育主體的精神與導引學生適性發展，為了將這樣的理念延續至後期中等學校，教育部於民國 95 年制訂「中小學一貫課程體系參考指引」，做為發展中小學課程綱要的依據，以建構中小學一貫的體系。為了能夠培育學生成為世界公民，提升國民素質與國家競爭力，教育部在「中小學一貫課程體系參考指引」中，列舉出國小、國中、中等後期學校(高中、職業學校)學生的基本能力(教育部，2006)。

基本能力可分為一般能力與學科(跨領域)能力，並依照不同年齡的發展階段，劃分為12歲(國小)、15歲(國中)、18歲(高中、職業學校)三個階段。在「中小學一貫課程體系參考指引」中，對18歲的高中學生所設定的四項物理學科能力，其中兩項是與科學本質有關連的，相關敘述如表2-3。

表2-3 與科學本質有關的高中物理學科能力(教育部，2006)

物理學科能力敘述內容	相關的科學本質
3.能具有近代物理、現代科技的發展及宇宙演化的基本知識，並了解其與社會、文化及日常生活的關係。	科學事業的本質(科學與社會)
4.能了解物理學的目的是尋求對物理現象的合理解釋，在過程中能持有不同的理論觀點。並能尊重別人的觀點及分辨觀點的正誤，以及能與他人合作，有計畫的進行科學探究活動。	科學知識的本質(暫時性) 科學事業的本質(科學社群) 科學方法的本質(實證性)

由此可知，高中物理教師在設定教學目標時，除了課綱所設定的學科知識之

外，科學本質也是應當設定於教學活動過程中需要重視的教學目標。如此才能與從前以培養科學菁英為目標的教育目標有所區別，才能符合當今的教育潮流－培養學生成為具有科學素養的公民。

三、科學本質教學的相關研究

許國忠、王靜如(2003)提出，許多學者認為，近年來科學教育界開始重視科學本質教學的原因在於：邏輯實證取向的學生，傾向採用機械式的背誦記憶學習科學；而建構主義取向的學生，比較能夠做有意義的學習。既然科學本質對於學生的科學學習具有如此重要的影響，那麼科學教師在進行科學本質教學時，應該設定哪些教學目標、融入哪些科學史內容？

許良榮與蕭培玉(2007)依據林陳涌(1996)對於科學本質內涵所做的三個向度分類，透過大慧(Delphi)調查法，諮詢國內 20 名科學史哲、科學教育學者，歸納出在國小、國中、高中各階段應教導學生之科學本質的教學目標，結果整理在表 2-4。由表 2-4 得知，相較於國小、國中學生，對於高中階段的學生可將更豐富的科學本質內涵設定為科學本質教學的教學目標，透過科學史素材適當地融入課程中，並引導學生對於相關科學本質概念進行思考，增進高中學生對於現代科學本質觀點的認識。

隨著科學哲學的觀點由從前的邏輯實證主義轉向當代的建構主義，科學本質的內涵也同樣地發生了改變。但是許多實徵性的研究指出，學生、科學教師以及教科書並未同步地跟上轉換的步調。翁秀玉與段曉林(1997)認為必須透過課程、教師、學生進行全方位的改善，才能提升學生對科學本質的瞭解，並針對「教師在課室教學中應該如何提升學生科學本質」提出數點建議：

(一) 對學生而言從科學活動中主動思考科學本質的內涵是不容易的。因此，

建議教師必須主動地協助學生連結課程內容與相關的科學本質內涵。

(二) 透過科學史可協助學生瞭解科學知識形成的過程，對科學有更完整的認

識。建議教師可在教材中融入合宜的科學史素材。

(三) 建議教師營造類似科學家在探究問題時的學習情境。

(四) 教師必須要將科學本質融入教學信念中，惟有重視科學本質的重要性，才可能在課室教學中充分的表現。

表 2-4 各階段應教導學生之科學本質的教學目標(許良榮、蕭培玉，2007，P9)

科學本質教學的目標		國小	國中	高中
科學方法的 本質	讓學生瞭解「做科學或科學探究」並非只有單一的方法。	✓	✓	✓
	讓學生瞭解科學研究中「觀察是經由理論引導或詮釋」。		✓	✓
	讓學生瞭解科學家在實驗前通常會預設結果，而當結果與預測不同時，科學家通常不會察覺理論出了問題。			✓
	讓學生瞭解研究的過程應包含問問題和解決問題的過程。	✓	✓	✓
	讓學生瞭解「數學」在科學探究中的重要性。		✓	✓
	讓學生瞭解科學方法的主觀性（例如：科學信念）。			✓
	讓學生瞭解科學方法的客觀性（例如：科學方法的可檢驗性）。		✓	✓
	讓學生瞭解科學家常使用的科學方法（例如：歸納法、演繹法）。		✓	✓
	讓學生瞭解科學方法的侷限性。		✓	✓
科學知識的 本質	讓學生瞭解科學知識具有暫時性，並非恆久不變。		✓	✓
	讓學生瞭解科學知識或理論的產生，並非完全依據觀察。		✓	✓
	讓學生瞭解科學的目標之一，是對自然現象提出解釋。	✓	✓	✓
	讓學生瞭解「定律」和「理論」在科學中扮演不同的角色。			✓
	讓學生瞭解新的科學知識應該經由公開、清楚的發表，並接受檢驗。	✓	✓	✓
	讓學生瞭解科學知識的產生與發展，有賴於人類的想像力和創造力。	✓	✓	✓
	讓學生瞭解科學具有「逐漸演化」和「革命替代」的特徵。			✓
	讓學生瞭解科學知識是被發明的，不是被發現的。			✓
	讓學生瞭解科學知識的「可複製性」。		✓	✓
科學事業的 本質	讓學生瞭解科學知識的「可驗證性」。	✓	✓	✓
	讓學生瞭解科學知識的「可實驗性」。	✓	✓	✓
	讓學生瞭解科學是社會傳統與人類文化的一部分。		✓	✓
	讓學生瞭解科學、社會、科技會相互影響。		✓	✓
	讓學生瞭解不同文化背景與行業的人們，對於科學都有貢獻。	✓	✓	✓
	讓學生瞭解科學家需要正確的保存記錄，並讓同儕檢驗。	✓	✓	✓
	讓學生瞭解科學家的想法受到社會環境和文化背景的影響。		✓	✓
	讓學生瞭解科學家選擇研究主題和方法時，會受到社會價值和科學社群的影響			✓
	讓學生瞭解有關科學的爭議需要透過科學家們共同討論與溝通，來獲得解決		✓	✓
科學事業的 本質	讓學生瞭解社會上有關科學或科技的決策問題，可以經由社會大眾共同決定。		✓	✓

由於當前教育的重心逐漸地由從前「培養科學專長的菁英分子」轉變為「培養具有科學素養的公民」。而科學本質是科學素養的重要項目之一，因此，近十多年來，許多科教研究者開始致力於提升科學本質教學的相關研究。謝甫宜與洪振方（2010）認為近年來科學本質教學的相關研究大致可以分為三類型：「隱喻式教學方法」、「歷史取向教學」、「明示性的科學本質教學」。

（一）隱喻式科學本質教學：

將科學過程技能(Science process-skill)融入教學與科學探究活動中，提供學生實做的經驗，讓學生如同科學家一般的進行實驗與探究活動。這類型的教學模式稱為做科學(doing science)的課程，期望學生能在實際體驗科學探究的過程中，增進對科學本質的認識。

（二）歷史取向教學：

透過將科學史融入教學活動中，增進學生對科學本質的認識。洪振方(1998)認為科學史融入教學能夠讓學生體會科學家在面對科學問題時的思考歷程，有助於學生學習解決問題的方法、瞭解科學知識、增進對科學本質的認識，並指出不論是以科學發展史或科學概念做為科學史融入教學的主軸，有兩個重點是必須要強調的：一個是科學家問題解決的歷程，另一個是概念理解、問題辯證的過程。

（三）明示的科學本質教學：

Lederman & Lederman (2004)認為如果在科學概念教學後，能採用明示(explicit)的教學方法介紹科學本質，較能提升學生對於科學本質的認識。Rudge & Howe (2009)也指出藉由明示性教學以及反思性活動的方式，將科學史融入教學中，可以加深學生對於科學的認識。謝甫宜與洪振方(2010)指出，在科學本質教學中，若能明確地指出科學本質，藉由反思探究活動，並將科學本質視為教學目標，是最能夠增進學生科學本質的教學方法。

為了能夠有效地透過科學史教學活動讓學生對於科學本質現代的觀點有更深刻的體會，本研究將科學史教學活動安排在相關科學概念教學之後，安排相關科學史小故事讓學生閱讀，透過引導學生對於科學本質相關問題進行思考，並在課程的規劃上將科學本質視為教學目標之一，期盼能透過上述科學史教學活動的安排，使學生對於科學本質有更深刻的認識。

第二節 科學史教材編輯的相關研究

在科學教育研究文獻中，有許多學者認為在教學中融入科學史哲，對於學生學習科學是有幫助的(許良榮、李田英，1995；林陳涌、鄭榮輝、張永達，2009；Hodson，2008)。Hodson(2008)綜合許多學者的研究及相關論點，認為將科學史融入科學教學具有三項優點：(引自陳婉姁，2012，P37~P38)

- (一) 透過科學史，可以讓學生瞭解課堂上所談論的科學理論、科學概念，都是由一群研究者在當時的時空背景下，基於個人的喜好或是需求，為了解釋特定的現象、回答特定的問題，而發展出來的知識。在課程中可強調研究的動機、企圖、研究過程發生的錯誤、面對新的理論時，科學家內心的掙扎…等，透過上述科學史內容可以讓學生體會科學不再是冷冰冰、理所當然的知識，而是由人所創造出來的知識。
- (二) 透過科學史融入教學，可以讓國家的公民擁有基本的科學素養、科學知識、科學技能，讓大多數並非從事科學相關工作的公民，在面臨社會問題時，例如：環境、能源、核四…等，能夠因而做出適合的判斷。
- (三) 透過科學史融入教學，可以讓學生知道科學家其實跟一般人一樣，幫助學生打破科學神話與萬能的想法。藉此，讓學生更瞭解科學的本質與培養探究的精神。

科學史在科學教育中扮演了多重的功能與角色，能在學生學習科學的過程中，提供許多正面的影響。Oldroyd(1977)認為利用科學史進行科學教學，能夠讓學生

體會科學家面對問題時的思考模式或實驗探究的歷程，建立解決問題的方法；透過科學理論的發展史，學生能夠瞭解科學理論是不停地持續在改變，現有的科學理論也許在未來會被發現是錯誤的，從而接受自己在科學學習過程中的錯誤；透過合適的科學史案例，學生能夠從中體會科學家創造理論、解釋現象的過程；讓學生瞭解科學並不只是單純的科學，科學、科技、社會是會互相影響的，藉此拉近科學與人文間的距離。(引自許良榮、李田英，1995，P15)

雖然，上述許多學者皆認為藉由科學史融入教學可以提升學生的科學學習以及對科學本質的認識，然而 Abd-El-Khalick & Lederman(2000)主張，除非採取明示的教學策略，否則採用科學史或科學史哲的課程，不容易對於學生在科學本質與科學探究的瞭解產生明顯提升的結果。

鄭湧涇(1982)認為科學教材是學生學習與思考的重要依據，科學知識本身的學習應屬於次要的，最重要的應該是人們追求知識與創造知識的過程，透過科學史能夠幫助學生達成這個目標。因此，在編輯科學教材時，科學史是不可或缺的重要成份，如果一份科學教材資料，只呈現科學現象、科學家提出的假說與理論、科學公式...，讓學生依循著一定的步驟，尋找出試題的正確解答，這樣的教學活動，只能算是科學「訓練」不足以被稱為科學「教育」。

美國「國家科學教育標準(National Science Education,1996)」中的「科學史與科學本質標準」對於不同學習階段的科學教育，該如何在教學活動中使用科學史與科學本質，有著不同的建議：(引自羅豪章，2004，P4)

- (一) 幼稚園～四年級：應著重於人類對科學的相關努力
- (二) 五年級～八年級：可在課程中加入科學本質與科學史
- (三) 九年級～十二年級：再加入科學知識的本質和歷史的觀點

Brush(1992)指出科學史融入教學是需要規劃的。許多國內的教師都有意願在教學中嘗試融入科學史，但卻往往不知道如何選擇合適的科學史教材，也不清楚

如何將科學史料有效地運用在教學過程中，使得許多教師以為科學史只是個讓課程比較沒那麼無聊的故事，誤認為所謂的科學史融入教學，就只是朗讀課文旁的科學小故事、介紹科學家的生平與相關研究而已，如此一來，自然無法發揮科學史融入教學的效用。

既然將科學史融入教學是需要事前規畫的，那麼在設計教學活動時，除了需事先考量課程內容、教學時間、學生程度...等因素外，在各階段的科學教學中，教師應該在科學史教學中放入哪些內容呢？許良榮與蕭培玉(2007)透過大慧調查法，諮詢國內 20 名科學史哲、科學教育學者，歸納出在國小、國中、高中各階段設計教材時可放入教材中的科學史教學內容，結果整理如下：

表 2-5 各階段科學教材中適合放入的科學史教材內容(許良榮、蕭培玉，2007，P9)

科學史教學內容說明	國小	國中	高中
科學家的生平事蹟。		✓	✓
科學家如何推理或說明現象。		✓	✓
科學家如何歸納整理實驗或現象資料。		✓	✓
科學家的研究或實驗記錄手稿。			✓
科學家之間的爭論或辯論。			✓
教材中呈現科學家所使用的儀器、實驗器材等圖片。			✓
說明新舊理論（如地心說、日心說）之間的差異性。			✓
描述「科學」與「宗教」之間曾經發生過的衝突。			✓
描述「科學時代背景」與「科學發展快慢和方向」的關係。			✓
介紹科學發明或發現的過程。		✓	✓
科學家的人格特質與思考。		✓	✓
對科學革命有重要貢獻之科學家的認識論和方法論思想。			✓

從上表的資料可知，相較於國中階段，高中教師能夠在科學史教學中，提供更多樣化的素材，透過呈現科學家之間在新舊理論的衝突、科學知識的逐漸演化或革命替代、社會文化對於科學知識發展的影響...等，讓已具備基礎科學能力的高中生，對於科學本質產生更深刻的體會。

科學史融入教學內容的教材設計有兩種方式(Matthews,1994，引自陳婉姁，2012)：「附加式」(add-on approach)是以教科書為主體，先進行教科書概念的教

學，再另闢單元以補充教材的方式介紹科學史的內容，這種教材設計的方式是將教科書與科學史各自獨立、分開的；「整合式」(integrated approach)，是以科學史歷史的發展順序對科學概念的影響做為主體，教師同時進行科學史與科學概念的教學，這種教材設計的方式是將教科書與科學史相互結合。

賴淑婷(2007) 利用統合分析技術，分析國內共 34 篇科學史融入教學的研究報告，其結果顯示科學史融入教學對於學生的科學成就有低程度的提升效果；對學生的科學本質觀有中低程度的提升效果，而科學史教材的類型(附加式、整合式、混和式)為影響成效的中介項。

第三節 科學史融入高中教學的相關研究

早期的科學教育，經常只著重於觀念的講解、公式的推導以及問題的解題技巧，學生總是被要求著不停的演練試題，背誦著老師精心整理過的重要觀念與公式，其他跟科學相關的因素，例如：科學家的人性、科學與社會間的關聯、科學概念的發展過程…等，因為考試不考，所以幾乎都不受到重視。在這樣「純」的、「體操式」的科學教育之下，學生對於歷史上有名的科學家，總是懷抱著偉人式的崇拜態度，似乎這些科學家們都是不食人間煙火，所做的任何事，都是科學的、無私心的(傅大為，2001)。

即使到了現在，仍然有許多科學教師認為，使用內容精要、缺乏詳細描述的講義或自編教材，將科學研究的最終結果，以精要、有條理的方式，正確地描述給學生，是最有效率的教學方式。在這種濃縮式的食譜教育方式下，程度好的學生也許只要上課聽懂老師的上課內容，再利用課餘時間多做演練，即可達成教師預期的教學目的；然而，隨著十二年國教的實施，學生程度差異越來越大，反應沒有那麼快的學生，沒辦法同步聽懂老師的授課內容，這些學生很難藉由重新閱讀這些只有綱要的教材，靠自己學會課程內容。

許多學生對物理的印象常常是公式一大堆、題目看不懂，杜鴻模(2002)認為學生對於物理會有這些印象的原因在於，物理教師經常在教學時間壓力下，為了提升教學的效率，將描述內容詳盡的教科書閒置在一旁，提供學生不合適、內容較精簡的講義教材。此外，物理的概念是人們藉著思索的過程，經由科學社群的努力所建構出來的產品，學習物理的目的並不是背誦重點、記憶公式，定律與公式僅僅是思索過程的最終結果。在學習物理的過程中，伴隨著相關的科學史，能讓學生對於物理概念的思索過程有更深刻的體會，公式與定律自然而然地就成為幫助學生對於相關物理概念與思考過程，做總結的最佳工具。

本研究所採用林陳涌(1996)所發展的「了解科學本質量表」對於學生的科學本質觀點進行前後測的比較，該量表的作者建議高中教師如果想要提升學生對於科學本質的認識，可依據年級與選修類組的不同，著重於不同的地方，其建議為：可在高一的基礎理化、生物、地科教學中增添科學史的介紹，或是對於高二、三的第一類組學生進行 STS 科學課程教學；除此之外，林陳涌(1996)也指出透過 STS 或科學史教學在學生學習科學的程序性知識時，能提供有效的幫助，然而，這類型的教學活動不易在現行教科書文化及高升學壓力下執行，也許是因為上述兩個原因，在提升學生科學本質認識的教學策略上，針對高二、三自然組的學生並沒有提出任何相關的建議。

近年來，許多將科學史融入高中教學的相關研究其對象大都是在升學壓力較小的高一學生。陳淑媛、洪振方(1998)以行動研究的方式，將學生分為實驗組與對照組，透過歷史個案研究、互動式歷史小品兩個模式，進行高一基礎物理光學、熱學兩個單元的教材編寫與教學，根據其研究結果指出，持續地進行科學史融入教學的確能幫助學生更加瞭解科學本質。Galili & Hazan (2001)將早期科學家們建立光的認識、想法、觀點、概念..等融入課程內容中，並提出經科學史融入教學後，學生在學科知識上的表現獲得提升效果的結論，並指出透過接觸科學各個面向的教材，能正面地影響學生對於科學的觀點，並提升學生的興趣與學習

動機，這樣的課程才是物理教育，而不是物理訓練。

在科學史教學的課程安排上，關於科學史素材與教科書內容的教學順序，邱奕華(2012) 在科學史融入高一基礎物理課程的研究中，探討科學史與概念學習的順序對於學生學習的影響，並指出恰當的科學史教學順序對於學生的學習是有助益的，不恰當的科學史教學順序容易增加學生在學習過程中的認知負荷，因此建議在科學史融入教學前，可先進行相關科學概念的教學。Dagenais (2010)藉由自述回顧的方式，說明自己如何利用一連串的故事，進行中學物理的教學活動，並於文中提出在科學史課程設計時，應根據科學史是否具有社會與經濟影響後果概念以及能體會當代科技技術發展概念的原則，做為融入科學史課程的篩選條件。

相較於上述在高一階段進行的科學史教學研究，將科學史融入高二、高三自然科課程的國內相關研究數量較少，姜志忠、張惠博、林淑榕、鄭一亭(2006) 根據 Monk 和 Osborne(1997)所建議的模式，將物理史融入高二及高三的物理教學課程，讓學生討論歷史情節，並於課後提供詳細的歷史資料與反省作業，協助學生學習現代的科學認識觀點，經由長達兩年的教學活動，其結果顯示假若教學時間足夠，物理史融入教學的學生，其科學認識觀將會更符合現代的觀點，尤其是原先保持著傳統科學認識觀的學生，進步更明顯。

在科學史教材的設計上，國內多數的相關研究都是以教科書內容為主體，在完成教科書的科學概念教學之後，再將科學史素材以附加補充教材的方式進行教學。林陳涌、鄭榮輝、張永達(2009)則是針對高三分子生物學的單元，將原有教科書的內容與科學史素材整合，編輯為一份完整的科學史教學教材，其教材內容分為五個主軸，藉由呈現科學活動、科學知識與科學社群的動態交互作用，設計相關的科學史課程，歷時約 60 年，包含將近 20 則科學史事件，該研究指出經過科學史教學後，實驗組學生在科學本質觀以及對科學態度的表現上，顯著優於對

照組學生。

從上述國內科學史融入高中教學的相關研究得知，大多數的研究皆認同藉由科學史融入教學的模式，能夠對學生的科學本質觀點產生影響，而且能夠因此更加接近現代的科學本質觀點。另外，許多現職教師往往擔心學生的學習成就表現會因為原有課程的教學時間減少而受到影響，對於科學史教學恐怕會影響學生學習成就的疑慮，上述相關的科學史教學研究多數認同在教學活動後學生的學習成就表現，並不會因此而明顯的表現不佳，即使是將面對升學考試的高三學生，也得到相同的研究結果。

經由文獻探討的過程，研究者對於近幾年國內科學史融入高中教學的相關研究有了基本的認識後，開始進行相關科學史素材的收集，並進行相關課程、教學活動的規劃，期待藉由安排合適的科學史教學活動，能夠對學生的科學本質觀點產生影響，並且使其更接近現代觀點。在國內科學史融入教學的研究中，大多數都是透過傳統試題評量學生的學習成就，然而此類型試題並不能測量學生的科學素養，而科學本質正是科學素養的其中一部分，因此本研究將透過傳統試題以及自行設計的 PISA 試題對於學生的學習成就進行評量，比較在科學史教學之後，學生的表現是否有所差異。

第三章 研究方法

在傳統升學主義環境接受師培教育的教師，如何在長時間重視科學知識記憶與試題計算演練的高中物理教學裡，藉由編寫合適的科學史教材、設計蘊含科學本質的思考問題並且將科學史融入教學活動，提升學生對於科學本質的認識，透過分析學生在教學活動前後對於科學本質觀點與學習成就是否有所改變，並依據學生的學習感受適時地進行課程的調整，依據結果做為研究者後續相關教學的參考。

本章主要可分為五節，第一節為研究架構設計與研究流程；第二節為研究樣本；第三節為研究工具；第四節為教材與教學設計；第五節為資料蒐集。

第一節 研究設計與研究流程

本研究採用準實驗研究的設計，教師即為研究者，在確定研究問題的範圍及閱讀相關文獻之後，根據設定的研究教學範圍設計科學史教材，並將研究者任教的班級分為「科學史教學」、「一般教學」兩種教學活動模式，透過觀察「科學史教學」、「一般教學」兩種教學活動模式下學生的表現，並比較不同教學活動模式實施前後學生表現的差異，探討兩種教學模式對於學生的影響。

研究者期望能透過本研究瞭解，在融入科學史教學與問題討論、思考等活動的教學之後，學生在科學概念學習與對於科學本質認識的影響程度與一般教學模式的學生是否有所差異？並藉此回答研究問題：

- (一)融入科學史小故事與科學本質相關問題的閱讀與思考後，學生在科學本質上的改變與一般教學的學生，是否有所差異？
- (二)融入科學史小故事與科學本質相關問題的閱讀與思考後，學生在科學學習成就上的改變與一般教學的學生，是否有所差異？

此外，許多科學史融入教學的相關研究，在探討學生的科學學習成就時，多半採用傳統的學習成就測驗，此類型的學習成就測驗，往往著重於鑑別學生是否有效記憶學科知識的內容與熟練試題解決的計算過程；本研究藉由設計 PISA 類型的學習成就測驗，透過情境式的試題，評量學生是否能夠有效地利用學科知識，尋找出合理的問題解決方法。藉由探討、分析 PISA 試題的評量結果，進而回答另一個研究問題：

(三)融入科學史小故事與科學本質相關問題的閱讀與思考後，學生在 PISA 情境式試題的表現與一般教學的學生，是否有所差異？

研究者根據前述的研究動機、研究目的、研究問題以及相關文獻分析，提出下列圖 3-1 說明研究架構與實驗設計：

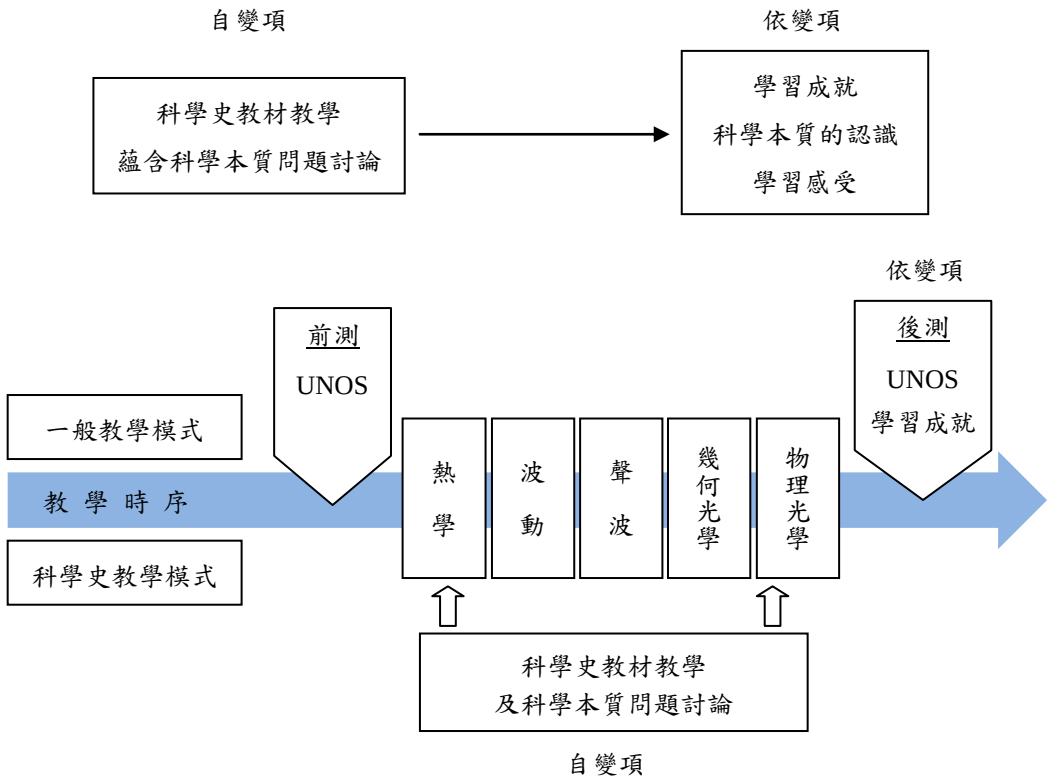


圖 3-1 研究架構與實驗設計圖

基於本研究的架構、實驗設計，本研究整體實施流程如圖 3-2 所示：

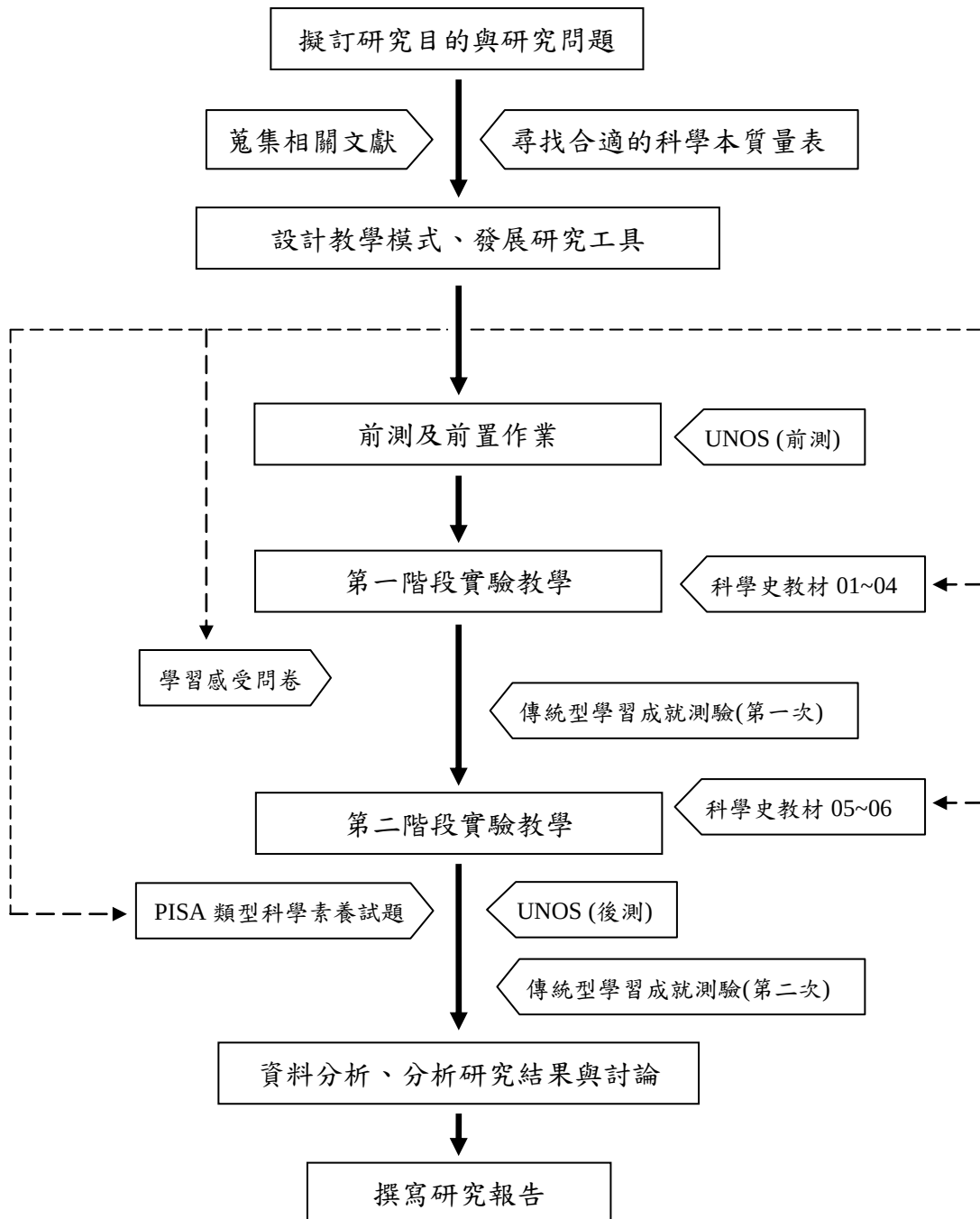


圖 3-2 研究流程示意圖

第二節 研究樣本

研究者任教於新北市立某高級中學(原為國立，後改制為新北市立)，本研究以研究者任教高三班級學生為研究對象，該校學生家庭背景來自於社會各階層，入學時多數學生基測成績介於 PR88~80 之間，該校校風開放，在班級體育競賽、社團活動、班級合唱比賽...等，均給予學生充分自由的表現空間，至於物理課程平時的教學情境，多半採用講義做為主要授課教材，課堂教學模式大半以講授教學、互動問答為主，輔以科學小實驗、資訊融入教學做為提升學生學習興趣的活動。

由於研究者所任教的三個班級均為高三學生，經溝通後其中一個班級因考量即將面對升學考試，無意願參與研究教學活動，因此研究者將兩個願意協助參與研究的班級分別採用不同的教學模式，觀察兩種教學模式對學生的影響。「一般教學」組為二類組班級、「科學史教學」組為三類組班級，兩個班級物理上課的時數相同，一周均有五堂物理課，兩個班級均與研究者互動良好，該校於高二時依據學生所選類組重新分班時，均依據高一學業成績進行 S 形分班模式。然而，由於類組不同，選修的科目有所差異，兩個班級在物理的學習成就表現也有些許不同，對照組班級自高一下學期開始在定期考試的成績表現一直保持在自然組前兩名，定期考試分數多半會略高於自然組總體平均；而採用科學史教學的實驗組，在定期考試的表現上屬於自然組中間稍微偏後的班級。

由於兩個參與實驗教學的班級屬於不同的類組，在學生人數及男女生的比例都有些許差異，參與本研究實驗教學的兩個班級，學生基本資料如下表 3-1：

表 3-1 一般教學組與科學史教學組班級學生基本資料

組 別	升學類組	每週物理課堂數		性別		總人數
一般教學組	第二類組	選修物理	5	女生	6	38
		輔導課	0	男生	32	
科學史教學組	第三類組	選修物理	4	女生	17	43
		輔導課	1	男生	26	

第三節 研究工具

本研究為解答研究問題，使用的研究工具包括：「了解科學本質量表(林陳涌，1996)」、「科學史學習活動單」、「學習成就測驗」、「學習感受問卷」等四種，用以協助實驗教學流程的進行並蒐集所需資料，現將研究工具介紹如下：

一、了解科學本質量表：

為瞭解在高中物理教學活動的過程中，藉由科學史教材的閱讀以及科學本質相關問題的思考，學生對於科學本質的認識，是否會有所改變。考量本研究的研究樣本為高三自然組學生，本研究採用林陳涌於 1996 年針對高中學生所發展的「了解科學本質量表」，量表包含 72 題與科學本質相關的陳述，正、負向的陳述各占一半。受測者的反應為「非常同意」、「同意」、「不同意」、「非常不同意」四種不同類型，正向陳述的題目分別給予 4、3、2、1 分；負向陳述的題目分別給予 1、2、3、4 分。

本量表依據林陳涌(1996)對於科學本質所做的向度分類：「科學方法的本質」、「科學知識的本質」，「科學事業的本質」，共分為三個分量表，每個分量表有 24 個題目，正、負向的陳述亦各占一半。三個分量表的簡介如表 3-2：

表 3-2 UNOS 各分量表評測目標與正反向陳述試題範例(林陳涌，1996)

科學方法	評測目標	評測高中學生對於科學方法本質的瞭解，著重於科學方法的獨特性與適用性、科學方法的客觀性、科學方法的理性層面	
	例 正向題	42.實驗結果的意義，需視所採用的科學學說而定。	
	題 負向題	10.科學觀察報告是對整個事件過程及結果不經詮釋的報導。	
科學知識	評測目標	評測高中學生對於科學知識本質的瞭解，著重於科學知識的種類與角色、科學知識的本體地位、科學知識的知識地位層面	
	例 正向題	39.現在的科學知識是暫時性的，未來可能被修改。	
	題 負向題	14.現今的科學知識已久被證實，其正確性無庸置疑。	
科學事業	評測目標	評測高中學生對於科學事業本質的瞭解，著重於科學的基本假設、定義及目的、科學家、科學社群與社會關係層面	
	例 正向題	07.科學家不一定比其他人更為客觀。	
	題 負向題	06.科學研究是專業的，毋須理會社會大眾的認可。	

UNOS 及三個分量表的信度是以 Cronbach α 係數來表示，UNOS 總量表的 α 係數達到 0.90，三個分量表的 α 係數分別為 0.74、0.79、0.77，具有良好的信度(林陳涌，1996)。

二、科學史學習活動單：

科學本質的教學有許多的模式，本研究採用科學史融入教學的方式，在熱學、物理光學的相關科學史範圍內，挑選合適科學史小故事，並設計蘊含科學本質的問題，提供學生進行科學史小故事的閱讀、科學本質問題的思考、個人想法的記錄...等活動。

科學史活動單中包含：科學史小故事內容、相關科學概念說明、科學家與實驗器材圖片、蘊含科學本質的思考問題，期望藉由上述內容，強化學生在科學史教學活動過程的參與度，並預留足夠空間提供學生記錄自己在問題思考後的想法。

三、學習成就測驗：

探討「科學史融入教學活動，對於學生在科學學習的成就是否與一般教學的學生有所差異？」是本研究的研究問題之一。在科學學習成就評量部分，本研究使用兩種不同類型的學習成就測驗，進行學生在科學概念學習成就的評量：一種是傳統的期中考學習成就評量，另一種是採用 PISA 類型的學習成就測驗。

由於本研究的實驗教學時間與教學範圍，橫跨不同月考的考試範圍，因此，藉由學生在兩階段科學史教學活動後，該範圍的傳統期中考學習成就評量表現，探討科學史融入教學對於學生在科學學習成就表現的影響。傳統期中考測驗所使用的試題，均經由任教同年級的三位物理教師共同審核、修正後，方能成為正式的測驗試題，以下為兩次傳統期中考學習成就評量的簡介：

表 3-3 傳統期中考學習成就評量及科學史教學安排活動簡介

	高三上第一次傳統期中考學習成就評量	高三上第三次傳統期中考學習成就評量
評量範圍	高中選修物理(上) 翰林版 第一章 熱學 1-1 熱容量與比熱 1-2 物質三態與潛熱 1-3 焦耳實驗與熱功當量 1-4 熱膨脹 1-5 壓力與大氣壓力 1-6 理想氣體方程式 1-7 氣體動力論 第二章 波動 2-1 波的傳播 2-2 振動與周期波 2-3 繩波的反射與透射、 2-4 波的疊加原理 2-5 駐波	高中選修物理(上) 翰林版 第四章 幾何光學 4-5 薄透鏡 第五章 物理光學 5-1 光波動說的發展 5-2 光的干涉現象 5-3 光的單狹縫繞射 第六章 靜電學 6-1 庫倫定律 6-2 電場與電力線 6-3 電位能 6-4 電位與電位差
	主要針對第一章熱學的課程進行科學史融入教學活動，共進行了四次的科學史教學活動，分別為： 1. 溫度與熱(布爾哈夫疑難) 2. 熱質說與熱能說 3. 科學典範轉移 4. 溫度計、熱學、蒸汽機、工業革命	主要針對「光的粒子性與波動性」進行科學史融入教學活動，共進行了兩次的科學史教學活動，分別為： 1. 伽利略的望遠鏡 2. 光的本質(波動? or 粒子?)
題型	單選題 11 題 (55 分)、複選題 10 題 (50 分)	單選題 15 題 (75 分)、複選題 5 題 (25 分)

本研究以高一下學期期末考的物理成績做為前測分數，透過收集兩階段科學史教學活動後，學生在該教學範圍內的傳統期中考學習成就成績，做為後測分數，並進行前後測分數的分析、比較，探討在科學史融入教學後，學生在傳統評量方式下的科學學習成就表現是否有所改變。

傳統型的學習成就測驗，多半是評量學生對於科學知識概念內容的記憶與解題計算過程的熟練度；本研究為瞭解經由科學史融入教學後，學生在問題情境下是否能夠有效地利用學科知識，尋找出合適的問題解決方式。因此，著重於評量學生在科學、數學與閱讀的素養，並且能設計出以科學史做為情境試題的 PISA 類型科學素養試題，成為本研究需要的研究工具；PISA 試題在試題的設計上，原本是為了評量完成國民基礎教育的 15 歲學生能否靈活使用習得的知識技能，

面對真實世界的問題挑戰，因此，試題的科學知識內容以國中的學科範圍為主。

本研究的研究對象均為高三自然組學生，在研究過程中所學習的科學知識與多數 PISA 試題學科範圍不同，因此研究者必須自行設計以高三學生的物理學科內容為範圍的 PISA 類型科學素養試題。研究者藉由收集與閱讀 PISA 科學素養評量的相關資料：科學樣本試題與評分標準(國立台南大學，2011)、「PISA 科學素養評量成果手冊」(張惠博、林陳涌，2012)，在對於 PISA 類型的試題命題具備基本認識後，設計了一份 PISA 類型的學習成就評量，經由專家審查後，進行修改，成為本研究所使用的研究工具。

PISA 類型試題在命題時，相關物理學科知識所設定的範圍為融入科學史的兩個章節：熱學、物理光學。試題共分為四個題組，每個題組均有一個物理知識的主軸，題組內各有數題試題；試題均透過一段文字或圖片提供問題情境的描述，同一題組內的試題均圍繞著相同的物理知識主軸，本研究試著觀察學生在科學史教學活動後，在非傳統評量方式下的科學學習成就表現是否有所改變，並對學生在 PISA 類型試題的作答表現，進行深入的分析與討論。表 3-4 為本研究自行設計的 PISA 類型試題的簡介：

表 3-4 本研究自行設計 PISA 類型試題相關內容簡介

題 組	題 組 類 型	試 題 說 明
題組一 熱 學	1.四選一單選題	兩段關於溫度與熱關係的不同論述，要求學生在閱讀後，對兩段論述的正確性進行判斷。
	2.開放式問答題	提供一段關於冷熱水混合的實驗步驟與數據，要求學生思考 (1) 在理想的狀態下，達成熱平衡時的溫度
	3.開放式問答題	(2) 考慮周圍環境溫度時，環境溫度對熱平衡實驗結果的影響
	4.開放性問答題	藉由一段文字內容描述：科學家對於熱的觀點，從熱是「物質」到熱是「能量」的轉換以及熱與功之間轉換的相關資訊，再透過另一段文字敘述「焦耳的蜜月旅行」提供問題情境，要求學生判斷自瀑布頂端落下的水，溫度會有多大的變化。
	5.態度試題	提供四則關於熱學知識學習態度的正、負向陳述，讓學生依據「非常同意」、「同意」、「不同意」、「非常不同意」四個不同回答，以反應學生對於熱學知識學習態度的看法。

續表 3-4 本研究自行設計 PISA 類型試題相關內容簡介

題組二 大氣壓力	1.四選一單選題	提供一段文字內容描述早期歐洲礦業在抽除坑道內積水所遇到的問題。要求學生判斷如何才能將地底管線的自來水送達高樓頂層的水塔內。
	2.四選一單選題	提供一則帕斯卡測量高山氣壓的科學史故事以及相關實驗數據，做為學生判斷海拔高度與氣壓變化的資訊。提供一個容易在高海拔山上觀察到的密封食物袋膨脹現象，要求學生判斷該現象發生的原因。
	3.四選一單選題	藉由將玻璃瓶倒置水中，觀察瓶內、外水面的高度差，判斷高海拔山頂與平地大氣壓力的差異。
	4.開放式問答題	藉由一開始帕斯卡測量高山氣壓的故事中，海拔高度與氣壓變化的資訊，計算山頂可能的高度。
	5.態度試題	提供兩則關於大氣壓力學習態度的正向陳述，讓學生依據「非常同意」、「同意」、「不同意」、「非常不同意」四個不同回答，以反應學生對於大氣壓力相關知識的學習態度。
題組三 光的折射	1.態度試題	提供三則關於光的折射現象學習態度的正向陳述，讓學生依據「非常同意」、「同意」、「不同意」、「非常不同意」四個不同回答，以反應學生對於光線折射相關知識的學習態度。
	2.四選一單選題	提供一張由於光線折射而產生特殊現象的圖片及相關說明，並要求學生判斷哪一個對此現象提出的解釋何者正確。
	3.開放式問答題	提供光的折射現象、全反射現象的相關資訊，判斷光速快慢與光纖材料的關係並能夠提出利用光纖傳送訊號的優點。
	4.開放式問答題	
題組四 光的干涉 與繞射	1.開放式問答題	測量光的波長一直是從前科學家們努力想要達成的目標，而薄膜干涉是平時很容易見到的光學干涉現象。提供測量薄膜厚度的實驗步驟及相關數據，要求學生利用題目情境提供的資料，判斷並計算水面上的油膜厚度。
	2.開放式問答題	光的雙狹縫干涉實驗是光波動說擊敗光粒子說的重要關鍵實驗；然而，許多高中生在學習此處時，只重視干涉圖形特徵部位的計算，對於光的干涉圖形卻沒有具體的認識，透過此題組的試題說明，要求學生能判斷出影響干涉圖形的因素有哪些？以及這些因素對於干涉圖形的影響為何？
	3.四選一單選題	
	4.開放式問答題	繞射是波動的特徵，且當波長與狹縫或障礙物大小相近時，繞射的現象才會明顯。由於可見光的波長遠小於日常生活中的物體尺寸，因此從前的科學家不容易觀察到光的繞射現象。

※ 題組三引用自 PISA 科學素養評量手冊(張惠博、林陳涌, 2012)，由 PISA 種子教師所設計的題目 S14 水中的吸管(丁健峻、何興中、郭富添等)

PISA 類型科學素養試題的施測時間是在高三上學期所有課程均完成後，利用「科學史教學組」與「一般教學組」共同的第八節自習課時間，同時進行施測。

評分部分由同校的自然科教師依據閱卷建議進行評分，PISA 測驗的給分標準主要分為四級，包含「滿分」、「部分得分」、「零分」、「沒有作答」，依序給予 2、1、0、0 的分數，累加所有試題得到的總分，做為在本次研究的教學範圍內，學生在 PISA 情境式試題的表現。

四、學習感受問卷：

在科學史融入教學後，為瞭解學生對科學史融入教學的觀感，以及此類型教學對學生的影響，於第一階段科學史融入教學(熱學部分)活動結束之後，研究者參考吳美瑩(2004)及許峻豪(2008)科學史融入教學的相關研究內容進行問卷的設計，調查學生對於科學史融入教學的感受。問卷內容可分為兩部分，第一部份採用李克氏量表，共有 12 個與學習感受相關的正、反向陳述句，讓學生依據個人對於陳述句的感受，以「非常同意」、「同意」、「不同意」、「非常不同意」四個不同的選項予以回應，部分陳述句內容簡介如下：

表 3-5 科學史教學學習感受問卷例題

學習感受問卷陳述句內容	
正向題	03. 在概念介紹的過程中，讓我知道從前科學家有過哪些錯誤的想法，對我的學習是有幫助的。 12. 我喜歡這樣的上課模式。
反向題	01. 我覺得將非制式課程的資訊放進教學中，會造成學習上更多的負擔。 05. 老師所提供的討論問題，對我來說，回答這些問題是枯燥乏味的。

以學生在「學習感受問卷」第一部份回應的統計結果，做為學生對於科學史融入高三物理熱學課程的學習感受。

「學習感受問卷」的第二部份設計兩個開放式問題，分別為：「在第一章熱學大約 12 堂課的時間中，老師一共進行了四次動動腦想一想活動，哪一次討論的問題讓你印象深刻？為什麼？」以及「老師在課程中加入一些從前的科學家對於熱的想法，以及一些需要深思才能回答的問題，你是否喜歡這樣的內容？請給老師一些建議。」研究者希望藉由此問卷瞭解實驗組學生對於本實驗教學之感受。

第四節 教材與教學設計

本研究以翰林版高中選修物理(上)的第一章熱學與第五章物理光學做為實驗教學的範圍。「一般教學組」採用翰林版高中選修物理(上)教科書做為科學概念教學的教材，此外，採用吳永和老師所編輯的講義做為課堂上例題講解與課後練習用的教材。「科學史教學組」除使用上述兩份教材外，在相關科學概念教學結束後，使用研究者自行編寫的「科學史教材」進行科學史教學。

由於本學年度高三期末考時間較往年提早一、兩週，為了控制教學進度，減少板書的書寫時間，「一般教學組」與「科學史教學組」上課所使用的教材內容均製做為 PPT 檔案，以單槍將教材內容投影在螢幕上，輔以教師的解說、師生間的互動與問答，藉由上述的方式進行課室教學。

一、科學史教材編寫

科學史融入教學內容的教材設計有「附加式」與「整合式」兩種不同的方式(Matthews,1994)，其中，「附加式」(add-on approach)是以教科書為主體，先進行教科書概念的教學，再另闢單元以補充教材的方式介紹科學史的內容。邱奕華(2011)指出恰當的科學史教學順序對於學生的學習能產生正向的助益，並建議先進行相關科學概念的教學後，再進行科學史的教學。因此，本研究在科學史教材設計上採用附加式的方式，與教科書獨立分開，並將科學史教學活動安排在相關的科學概念教學完成之後。

高中選修物理上冊共有六章的內容，分別為：第一章 熱學、第二章 波動、第三章 聲波、第四章 幾何光學、第五章 物理光學、第六章 靜電學。在人力、時間有限的前提以及並非每個章節均可挑選出合適的科學史用以融入教學的兩個考量條件下，應挑選那些章節進行科學史融入教學與編寫科學史教材，成為首要的問題。

張宗婷(2007)建議進行科學本質教學教材的編寫時，挑選科學史小故事的選擇準則為：

- (一) 選定能彰顯在科學史中科學概念發展過程的內容，讓學生瞭解科學家研究的過程、遭遇的困難與科學家間想法的差異性。
- (二) 內容需含有現今教科書所學內容未呈現的面向，讓學生認識科學概念改變的歷程、科學理論或模式的改革。
- (三) 展現科學知識的特性，例如：假設性、暫時性、侷限性。
- (四) 科學研究需仰賴科學社群的合作、努力及評價。在理論發展過程中，不同的科學家或研究團隊亦會遭遇想法分歧的情形。

此外，林陳涌、鄭榮輝與張永達(2009)在科學史融入高三生物教學的研究裡，也對於高中科學史教材的編輯，提出寶貴建議：

- (一) 在科學概念理解上，呈現科學知識的多元並強調科學知識的暫時性。
- (二) 在科學過程理解上，呈現科學實驗裡科學家思考、探究、推論及做結論的過程。
- (三) 在科學情境理解上，呈現影響科學發展的外在因素，如心理、社會、文化...等因素。

基於上述原則，研究者在選擇熱學與物理光學做為研究教學單元，原因在於：在科學知識的發展過程中，從前的科學家們對於熱的本質與光的本質都曾經具有不同的觀點、看法；持有不同科學觀點的科學社群甚至因此而相互辯論與衝突。在以往教科書內容中鮮少提及到這些部分，然而，透過這些科學史小故事能讓學生對於科學的本質有更深刻的認識，因此，研究者在本次研究中，將熱學與物理光學做為研究教學的單元，並搜尋合適的科學史小故事，做為科學史融入教學的教材。表 3-6 為本研究所設計的科學史教材中採用的科學史素材相關簡介，及研究者選擇做為教材內容的原因：

表 3-6 科學史教材所採用的科學史素材相關簡介

科學史小故事相關簡介	挑選原因
科學史教材 01 早期的科學家認為「溫度高低＝物體含熱量的多寡」導致無法解釋「布爾哈夫疑難」。後續的科學家布萊克雖採用熱質說的論點，卻對於「溫度」與「熱」的差異，提出了說明。並利用比熱與熱容量的概念，說明有哪些因素是影響熱平衡的變因。	現今教科書極少呈現的面向 科學知識的暫時性 科學家所遭遇到的困難
科學史教材 02 簡介熱質說的內容，並說明倫福特、戴維與焦耳等科學家們試圖藉由實驗與推論，試圖將科學家們對於熱本質的信念由原先的「熱質」轉變為「熱能」的過程。最後並利用英國皇家學會拒絕發表焦耳的熱功當量研究以及科學社群最初對於焦耳研究內容的忽視，做為讓學生思考科學本質問題的情境鋪陳。	科學知識的暫時性 科學社群想法的差異性 科學知識仰賴科學社群評價
科學史教材 03 先利用倫福特、戴維與焦耳等科學家們對於「熱能說」的努力，說明要改變科學社群原有的科學信念是困難的。後續說明經過漫長的時間，以及許多科學家的努力，導致科學家們由原先的「自然界厭惡真空」到「承認真空是存在」這個有關於「真空」概念的演變。	科學知識的暫時性 科學社群想法的差異性 科學研究所遭遇的困難 科學知識仰賴科學社群評價
科學史教材 04 由於抽拉玻璃技術的成熟，伽利略才能利用玻璃細管做出人類的第一支溫度計；也因為能夠對物體冷熱程度進行量化的測量，科學家們才能對熱現象進行更深入的討論與研究；隨著熱學相關知識的累積，人類才能改良蒸氣機，進而引發工業革命，對人類的社會與經濟活動產生了巨大的影響。	科學、科技與社會間的關聯
科學史教材 05 首先以 2009 世界天文年紀念伽利略觀測天空做為開場，並簡介伽利略當時所處的時代環境—學者深信亞里斯多德的理論以及教廷對於地心說的堅持立場。雖然，伽利略透過望遠鏡所觀察到的現象，能夠成為推翻地心說的證據，但是當時的學者卻不願意相信望遠鏡中所看到的現象。教材的後半段提供了一則關於「微中子速度超越光速」的新聞報導，做為提供學生思考：不同的科學研究團隊對於實驗結果違背當代科學理論時，科學家會有何反應？	現今教科書極少呈現的面向 科學知識的暫時性 科學研究所遭遇的困難 科學知識仰賴科學社群評價

在本研究所設計的科學史教材中，大部分教材是藉由科學史小故事的閱讀與科學本質問題的思考向學生傳遞科學本質的內涵。此外，由科學知識的發展史可以得知：科學、科技、社會這三個項目是相互影響、難以切割的，因此，在設計科學史教材時，科學史教材 04 就是提供學生閱讀一篇有關於熱學知識發展的過程中，科學知識、技術、社會與經濟活動之間相互影響的文章，期盼學生在閱讀該教材內容後，對於科學與經濟、社會之間的關聯，能夠有更深刻的認識與體

會，該教材安排於第一章熱學的課程結束後實施，做為第一階段科學史融入熱學教學活動的結尾。

此外，在上述五份科學史教材中均提出蘊含科學本質的問題，以供學生對於科學本質的內涵進行思考，並要求學生閱讀完科學史教材及相關問題之後，記錄下自己的想法。本研究在科學史教材中，提供學生對於科學本質進行思考的問題陳述於表 3-7：

表 3-7 科學史教材中所提出的科學本質思考問題相關簡介

	科學史教材所提供的問題	相關的科學本質面向
科學史教材 01	早期的科學家，認為『溫度就代表物體所包含的熱量多寡』，而且這樣的想法維持了數十年甚至上百年之久，科學家所提出的原理一定是正確的嗎？你認為要怎麼樣才能確認科學原理的正確性？	科學知識的本質
科學史教材 02	人們對於熱的本質，經過漫長的時間，由「熱是一種物質(熱質)」轉變為「熱是一種能量」。你認為從前的理論還有繼續討論的價值嗎？為什麼？ 科學研究需要經過科學社群審核，確認其正確性；透過科學社群認同其正確性後，才能獲得科學家們的重視。讀完這段故事後，你覺得科學家是用怎麼樣的判斷準則，來評估一篇科學研究報告的正確性？判斷都是科學的嗎？	科學知識的本質 科學事業的本質
科學史教材 03	對 18 世紀的多數科學家而言，倫福特、戴維甚至是焦耳的實驗，似乎都不能讓科學家腦袋裡原本所具有「熱是一種物質」的概念，在短時間之內，轉變成為「熱是一種能量」。難道這些實驗所呈現出來的結果，無法說服科學家們改變自己原有的想法嗎？你覺得需要哪些條件，才能夠讓整個科學界改變原本認同的概念(典範轉移)？ 受到希臘文化的影響，亞里斯多德「自然界厭惡真空」的概念，一直是早期科學家們深信不疑的想法，時間長達十多個世紀。然而到了 17 世紀，在托里切利、帕斯卡、蓋里克與波以耳等科學家一系列的實驗之下，科學家們開始相信「真空是存在的」。 回想一下你所聽過的科學故事，還有沒有類似這樣「科學典範轉移」的案例呢？也試著描述是因為發生了哪些事情，才會造成典範轉移。	科學知識的本質 科學事業的本質 科學知識的本質 科學事業的本質

續表 3-7 科學史教材中所提出的科學本質思考問題相關簡介

科學史教材 04

由於抽拉玻璃技術的成熟，伽利略才能利用玻璃細管做出人類的第一支溫度計；也因為能夠對物體冷熱程度進行量化的測量，科學家們才能對熱現象進行更深入的討論與研究；隨著熱學相關知識的累積，人類才能改良蒸氣機，進而引發工業革命，對人類的社會與經濟活動產生了巨大的影響。

科學事業的本質

由上面敘述的內容中，你覺得科學與科技有何關係？科學與科技是相同的嗎？科學與科技與人類社會，彼此之間有連貫嗎？請寫下你的想法。

科學史教材 05

在伽利略那個時代，許多科學家都深信著亞里斯多德的理論可以解釋周遭所有的事物，然而伽利略透過望遠鏡，發現許多與理論相違背的現象。

這些現象都是可以直接透過望遠鏡觀察到的現象，當時的科學家們不相信這些觀察得到的結論，甚至認為望遠鏡所看到的畫面並不是真實的。

科學知識的本質
科學方法的本質

你認為科學家們是怎麼樣看待一個能夠推翻自己原有信念的實驗結果？

愛因斯坦的相對論是目前許多科學家深信不疑的理論，許多理論也是建立在這個基礎上，因此這個微中子比光速快的發現，才會引發許多科學家們的注目。ICARUS 實驗研究團隊透過微中子數的能量光譜並沒有如預期的減少，而認定 OPERA 實驗室所做的實驗有問題。看完這則新聞，你有什麼感想呢？請試著寫下你的想法。

科學知識的本質
科學方法的本質

在本研究選擇的兩個教學單元中，對於科學現象的本質，都曾有新、舊理論觀點的更迭。熱的本質由「熱是一種物質」演變為「熱是一種能量」；光的本質則出現「光粒子說」與「光波動說」的相互競爭，而且兩個不同的光本質觀點，都曾經做為某一時期科學社群所認同的主流觀點。甚至到了現代，對於光的本質到底是什麼？已經不是單純的「光粒子說」或「光波動說」二選一的選擇題，目前大多數科學們所認同的光本質觀是「波動與粒子兼具的二象性」。在科學概念發展的過程中，由於光的本質觀點具有多樣性與暫時性的特徵，因此，第二階段科學史融入物理光學教學這部分的科學史教材，研究者做了以下的安排：

(一) 在開始物理光學的教學之前，由於前一個教學單元為光的薄透鏡成像，

因此「科學史教學組」先進行與該課程內容教有連貫的科學史教材 05

「伽利略的望遠鏡」的教學活動，此份教材的內容已於本節的前段內容中

稍做描述；「一般教學組」直接進入第五章物理光學的課堂教學。

- (二) 在翰林版高中選修物理(上)教科書中，第五章物理光學第一節的內容主要在於簡介光粒子說以及光波動說的發展過程。在 5-1 單元的課程教材，研究者將部分教科書中未提及的相關科學史資料加入教材中，例如：柏拉圖認為光線是由人的眼睛發射出來的，所以人才看的見物體、德謨克利特的光粒子說...等，希望藉由這些資料能更增添教材的豐富度，並讓學生體會關於光本質問題的思考，不僅僅發生在牛頓、海更士所處的 17、18 世紀，而是一段從希臘時期延續到近代的漫長科學知識發展史。在 5-1 光波動說的發展單元除了在原有教材內容中，增添了部分科學史資料外，另外設計了一個科學史教材 06「光的本質探索活動」做為「科學史教學組」所使用的教材，該活動所使用教材的簡介陳述於表 3-8：

表 3-8 光的本質探索活動教材相關簡介

科學史教材 06	科學史小故事相關簡介	挑選原因
	本次活動分為兩部分：首先將學生分為兩組，讓學生分別由『光粒子說』與『光波動說』兩個不同光本質觀的角度，對於 17、18 世紀所能觀察到的光學現象：反射、折射、部分反射部分折射、色散、光線直進...等現象，試著提出合理解釋。第一部分活動結束後，讓持有兩個不同光本質觀的學生兩兩一組，討論這些對於光學現象的解釋是否合理，並且試著以 17、18 世紀科學家的角色判斷，哪一種光本質觀所提出的解釋比較容易獲得當時科學家認同。	讓學生試著以 17、18 世紀科學家的角度，判斷光粒子說與光波動說對於光學現象所做解釋的優劣，藉此體會科學知識需依賴科學社群討論、認同的性質。

- (三) 在 5-2、5-3 兩個單元主要的內容是光的干涉、繞射的現象，在這部分研究者以教科書的內容做為「一般教學組」的教材；至於「科學史教學組」除教科書原有內容外，另外也增添部分科學史資料，增加教材的豐富度。

- (四) 在翰林版高中選修物理(上)教科書第五章物理光學的內容中，原本只有三個小節的內容，分別是 5-1 光波動說的發展、5-2 光的干涉現象、5-3 光的單狹縫繞射。然而，對於光本質的科學知識發展，由希臘時代一直延續到近代，是一段非常漫長的科學史。研究者一方面希望能夠呈現科學知識

發展過程的完整性，另一方面，也因為學生即將面對學測，而「光電效應」與「光的波粒二象性」是許多學生反應在高一基礎物理部分比較不瞭解的單元，在這兩個因素的考慮下，研究者在第五章物理光學原本只有三個單元的內容中，額外增加了 5-4 光電效應與 5-5 光的波粒二象性兩個單元。

在第二階段科學史課程的設計上，除安排科學史料閱讀與科學本質問題思考之外，根據學生在學習感受問卷的建議，對於光粒子說與光波動說兩個不同科學理論間的爭論，透過分組討論與合作的方式，進行「光的本質探索活動」單元，並且調整課程內容完整地呈現光本質相關科學知識的發展過程，本研究設計的科學史教材所引用的科學史資料乃依據：

1. 吳國盛(2010)。《科學的歷程》。台北市：科技圖書。
2. 張光熙、宋佳麗(2002)。《科學的故事》。台中市：好讀。
3. 山田大隆(2004)。《從故事看科學》（王蘊潔譯）。新北市：世潮。
4. 姚珩、張嘉泓、施華強、李重賢、鍾彩霞、陳東閔(2012)。《選修物理上冊》。

台南市：翰林

上述書籍均可做為一般社會大眾輕鬆閱讀的科普讀物，在科學史小故事內容的呈現上，也對於當時的社會背景、科學知識與科學家在研究過程中的心境，提供足夠的資訊。此外，研究者選用的教科書，相較於其他版本，提供的科學史故事，除了數量較多、內容較豐富外，多半是從前的教科書中未呈現的科學史故事。基於上述原因，研究者從這些書籍資料中，選擇較容易引發學生興趣的故事，並依據故事的內容所蘊含的科學本質，設計適合學生討論的科學本質問題，做為科學史教學活動的教材。

二、教學設計

在考量熱學與物理光學的課程性質與教學時間壓力等因素，本研究選擇採用兩種不同科學史融入教學的模式，進行兩階段科學史實驗教學。

在第一階段熱學的部分，主要是在相關科學概念教學過後，提供學生科學史教材，透過教師帶著學生一起閱讀科學史素材，對於科學本質問題進行討論、思考，並記錄下個人的想法，將科學史以附加式的方式，融入原有的教學課程中，期待學生能透過這樣的科學本質教學模式，能夠在科學本質的觀點方面有所改變。在第一階段熱學的課程教學時間規劃上，「科學史教學組」及「一般教學組」均規劃三週、12 堂課的教學時間，在「科學史教學組」部分共進行 4 次的科學史融入教學，每次約佔 10 分鐘左右的教學時間；在例題的演練部分「一般教學組」會比「科學史教學組」給予學生多一些思考的時間，如此方能控制兩個班級的教學進度維持一致，圖 3-3 為第一階段教學流程示意圖，如下方所示。

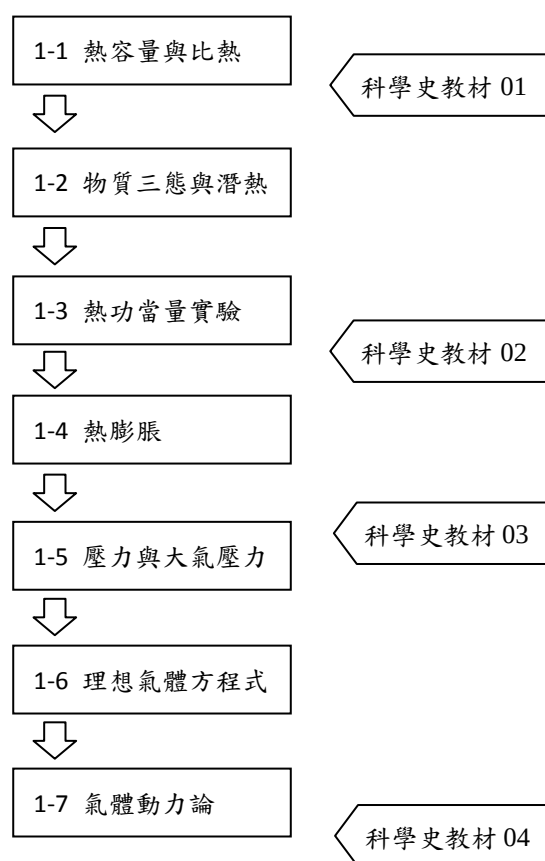


圖 3-3 第一階段教學流程示意圖

在第二階段物理光學的部分，教學時間與第一階段相同，也是大約三週、12 堂課的教學時間。第二階段物理光學的教學規劃，首先在前一個教學單元 4-5 薄透鏡成像結束後，於「科學史教學組」進行科學史教材 05「伽利略的望遠鏡」的相關教學活動，利用 10~15 分鐘的時間，教師帶著學生一同進行科學史素材的閱讀、要求學生對於科學本質的問題進行思考，並將個人的想法記錄在學習單。

光的本質到底是什麼？17、18 世紀與牛頓、海更士同時期的科學家們會依據哪些科學證據、會依據哪些不科學的因素來判斷光究竟是粒子抑或是波動？為了讓學生對於這些科學知識產生的過程能夠擁有更深刻的體會，在 5-1 光波動說的發展單元中，研究者先在課堂中進行部分光本質概念的教學，讓「科學史教學組」的學生對於光波動說與光粒子說的內容有基本概念之後，再開始進行科學史教材 06 的教學活動，以下為科學史教材 06 教學實施流程示意圖，如圖 3-4 所示：

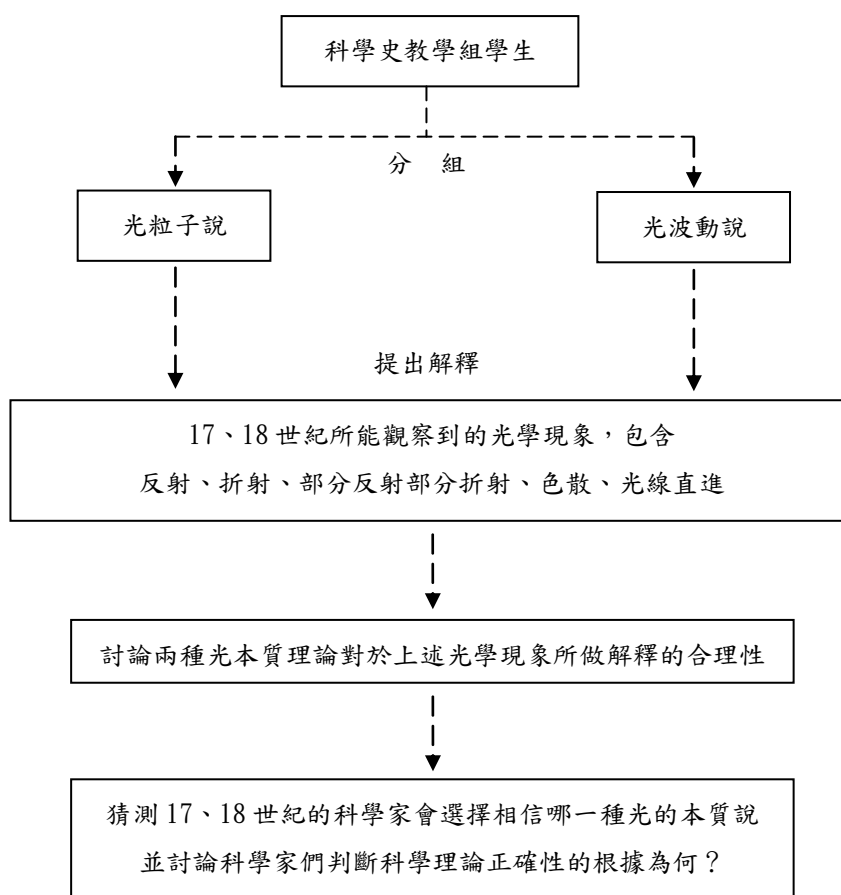


圖 3-4 科學史教材 06 教學活動流程示意圖

在科學史教材 06「光的本質探索活動」結束後，研究者接續著進行 5-1 單元的課程內容教學，使「科學史教學組」學生能夠將討論的結果與教科書內容對照、比較。「一般教學組」在 5-1 單元的教學中，依照教科書所安排的內容，逐一介紹「光波動說」及「光粒子說」對於各種光學現象所做的解釋。

接下來的兩個單元 5-2 光的干涉與 5-3 光的單狹縫繞射，由於這兩個單元需要帶領學生對於干涉、繞射圖樣進行相關公式推導，原本就屬於需要比較複雜的計算，因而僅在「科學史教學組」上課所用的教材中，增加部分科學史小故事，例如：楊格在進行雙狹縫干涉實驗前，對於牛頓所提出的質疑：「儘管我仰慕牛頓的大名，但我並不因此非得認為他是萬無一失的。我很遺憾地看到他也會弄錯。而他的權威也許有時甚至阻礙了科學的進步。」...等，希望藉此能讓學生對於科學家的個性以及科學發展的歷程有更加深刻的體會。

此外，在第二階段物理光學教學內容安排的部分，兩組學生均增加 5-4 光電效應以及 5-5 光的波粒二象性兩個單元，額外加入這兩個單元的原因有二：一是為了讓學生能夠完整地認識光的本質觀知識的發展過程；另外，由於學生即將面臨大學學力測驗，增加的兩個單元可帶著學生複習高一基礎物理中較不熟悉的單元。本研究的研究者即為「科學史教學組」與「一般教學組」授課教師，在研究的過程中，藉由教師與學生的溝通、互動，瞭解學生的學習情況，時時省思並調整教學，因此，在考量學生複習學測的需求與提供學生科學知識發展過程的完整性兩個因素下，第二階段的教學設計，才會額外增加 5-4 光電效應以及 5-5 光的波粒二象性兩個單元。以下為第二階段教學流程示意圖，如圖 3-5 所示：

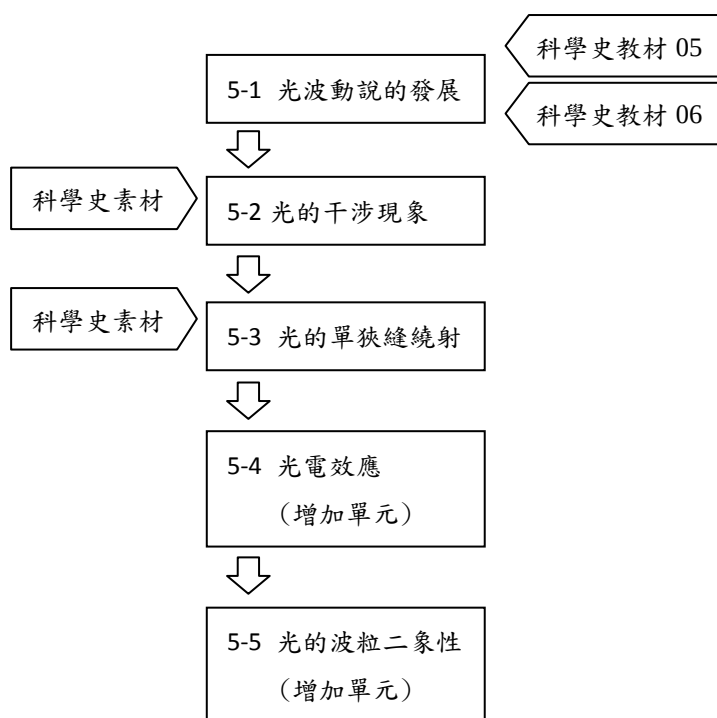


圖 3-5 第二階段教學流程示意圖

第五節 資料分析

本研究的資料收集包括「了解科學本質量表 UNOS」前後測、「傳統型學習成就測驗」、「PISA 類型科學素養試題」、「學習感受問卷」、「科學史學習活動單」...等。上述資料的資料處理方式，採用量化分析與質化分析兩種，相關說明如下：

一、量的分析：

(一) 在「科學史教學組」與「一般教學組」之間

以 SPSS 20 套裝統計軟體，分析兩組在各方面表現的數據：

1. 在「了解科學本質量表 UNOS」部分以前、後測數據進行獨立樣本 T 檢定，前測若有顯著差異，則以前測數據做為共變數，比較科學史教學組與一般教學組在後測部分的表現。

2. 「PISA 類型科學素養試題」的表現進行獨立樣本 T 檢定，比較兩組在問題情境下，運用習得的知識尋求問題解決的能力是否有所差異。
3. 以「高一下學期期末考物理成績」當作共變數，比較科學史教學組與一般教學組在兩次「傳統型學習成就測驗」部分的表現。

(二) 在「科學史教學組」組內

1. 將科學史教學組學生依照「性別」分為男、女兩組，以「了解科學本質量表」前測做為共變數，比較不同「性別」學生在科學本質觀點上後測部分的表現是否有所不同。
2. 將科學史教學組學生依照「了解科學本質量表 UNOS」的前測表現，分為科學本質高分組、科學本質中間組、科學本質低分分組，依據具備不同科學本質觀點的學生在經歷科學史教學活動之後，在了解科學本質量表前後測表現的情形，進行獨立樣本 T 檢定，比較本研究所提供的科學史教學，對於不同科學本質觀點學生的影響程度。

二、質的分析：

根據學生「科學史學習活動單」之內容以及「學習感受問卷」之回饋，加以解釋分析。「科學史教學組」學生資料的編碼，以 S 代表「科學史學習活動單」，L 代表「學習感受問卷」，數字代表班級座號，例如：編號 S31701，即代表三年十七班座號 1 號學生在科學史學習活動單的作答情形。

第四章 結果與討論

本研究透過科學史融入教學的模式，探討科學史教學組學生與一般教學組學生在科學本質的認識是否有所差異，並分析學生在傳統試題與 PISA 類型試題的表現，是否因科學史教材的使用而有所不同；最後透過科學史活動學習單與學習感受問卷的回饋意見，進行量化與質性的分析，藉由質與量兩方面分析所得的資訊，進行解釋及討論，驗證科學史融入教學的效果。

本研究的結果分析分為四個部分，前三個部分呈現三個量化工具所蒐集數據的比較，分別對照科學教學組與一般教學組在科學本質量表、傳統型學習成就測驗、PISA 類型科學素養試題的前後測表現，第四部分則藉由學習感受問卷、科學史教學學習單的學生回饋資料，報導學生對於科學本質的觀點與看法。

第一節 科學史融入教學對學生科學本質的影響

探討科學史教材融入教學對於學生在了解科學本質之影響程度，是本研究的研究問題之一。為瞭解學生在科學史融入教學後，對於科學本質的認識是否與一般教學的學生有所差異，本研究選擇使用林陳涌(1996)針對高中學生所發展的「了解科學本質量表」，並在研究教學活動前、後，同時對兩組學生進行施測，藉由學生在 UNOS 量表前、後測的表現，做為分析比較之用。扣除施測當日缺席只有前測或後測數據的學生，在前、後測部分共回收 76 份數據，其中科學史教學組學生占 40 人，其中男生 25 人、女生 15 人；一般教學組學生占 36 人，其中男生 31 人，女生 5 人；以 Cronbach's α 值做為本研究施測工具的信度檢驗，經由 SPSS 20 統計軟體分析，前測 α 信度為 0.878，後測 α 信度為 0.895。

一、兩組學生在科學本質量表的表現情形：

首先，比較科學史教學組與一般教學組在 UNOS 的前測表現，若兩組學生

在前測的表現就有顯著差異，在進行後測結果分析時，就以前測分數做為共變數，進行後測的單因子共變數分析。表 4-1 為研究教學前兩組學生在 UNOS 量表的前測表現：

表 4-1 一般教學組與科學史教學組前測總分及各分量表分數差異顯著性考驗

前測	一般教學組(N=36)		科學史教學組(N=40)		t 值	顯著性
	平均數	標準差	平均數	標準差		
總分	228.33	12.14	232.53	14.91	1.335	0.186
科學方法	75.19	5.20	76.93	6.04	1.332	0.187
科學知識	77.28	5.58	78.33	6.05	0.781	0.437
科學事業	75.86	4.70	77.28	5.21	1.236	0.220

* $P < 0.05$

由表 4-1 得知，教學前兩組學生在科學本質的前測部分，不論是總體得分或是科學方法、科學知識、科學事業等分量表的表現，經 t 考驗檢定，均無顯著的差異($P > .05$)。因此，在實驗教學之後，可就學生的後測表現，直接進行差異檢定比較。

兩組學生在 UNOS 前測的表現，讓研究者感到驚訝，相較於其它使用同一份科學本質量表的前測結果，不論是在總體或是各分量表的平均得分，均明顯高於其他研究的施測結果(林陳涌，1996；陳淑媛、洪振方，1998；吳美瑩，2004)。本研究藉由 UNOS 的得分情形做為學生對於科學本質認識的分析依據，此量表共 72 題，總分為 288 分，吳美瑩(2004)指出就 Likert 氏四點量表而言，得分超過中間值 180 分即代表對科學本質已有適當的瞭解。因此，由兩組學生在前測部分的高得分表現，代表學生對於科學本質已具備相當程度認識，不易透過短時間的科學史教學，對其科學本質的認識再更進一步的提升。

表 4-2 為科學本質的後測結果，由於兩組學生在前測的表現均無顯著差異性，因此，藉由比較兩組學生在後測的表現是否具有顯著差異，即可推論科學史融入教學後，學生在科學本質的表現是否與一般教學的學生有所不同。

表 4-2 一般教學組與科學史教學組後測總分及各分量表分數差異顯著性考驗

前測	一般教學組(N=36)		科學史教學組(N=40)		t 值	顯著性
	平均數	標準差	平均數	標準差		
總分	229.56	17.46	240.40	15.67	2.854	0.006*
科學方法	74.94	5.38	80.05	6.55	3.689	0.000*
科學知識	79.00	7.60	80.38	5.25	0.908	0.367
科學事業	75.61	6.22	79.98	5.99	3.113	0.003*

* $P < 0.05$

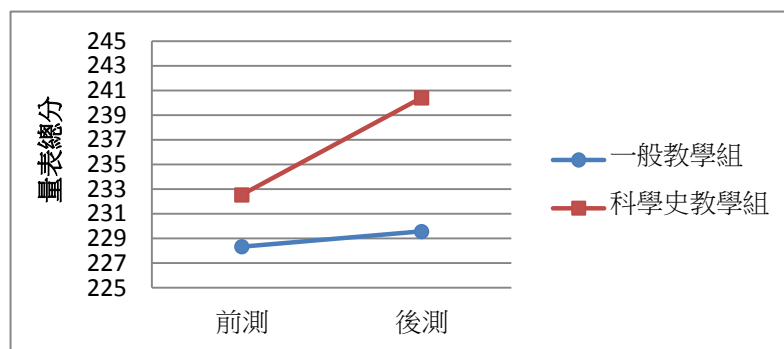


圖 4-1 一般教學組與科學史教學組在 UNOS 總分的前後測表現

由表 4-2 以及圖 4-1 得知，經由科學史融入教學之後，科學史教學組學生在 UNOS 整體得分的表現，與前測相比增加 7.87 分，並且與一般教學組的後測總得分有顯著差異 ($P < .05$)，表示經由科學史融入教學，學生對於科學本質的瞭解，有顯著提升的效果。林陳涌、鄭榮輝、張永達(2009)於研究中指出，經歷科學史融入教學的高中學生，在科學本質觀或是對科學的態度均顯著的優於對照組；姜志忠、張惠博、林淑榜、鄭一亭(2006)也指出將物理史融入高中教學中，倘若有足夠的教學時間，學生的科學認識觀將能更符合現代觀點。

本研究的研究對象與上述相關研究同為高中生，在兩個階段 24 堂課的教學活動中，共進行 6 次的科學史教學活動，並在第二階段物理光學進行課程調整，讓學生對於光本質的知識發展過程能有更完整的認識，在科學史教材的設計上，將科學本質視為教學的目標之一，經由分析、比較兩組學生在 UNOS 的前後測總得分表現，可推論：相較於一般教學，透過科學史融入教學，可使學生對於科學本質的認識更符合建構主義觀點，此研究結果與文獻探討資料及上述兩相關研

究的結果相同。

二、兩組學生在科學本質三個不同面向的表現情形：

依據林陳涌(1996)發展「了解科學本質量表」時對於科學本質所做的向度分類，接下來將依據學生在科學方法的本質、科學知識的本質、科學事業的本質，三個分量表前、後測的得分情形，分析學生對於科學本質的認識在不同向度的表現，是否因為科學史融入教學而有所不同。

比較表 4-1 與表 4-2 得知，科學史教學組在三個分量表前測的表現並無顯著優於一般教學組，進行科學史教學之後，科學史教學組在「科學方法的本質」、「科學事業的本質」兩個分量表後測的得分顯著高於一般教學組；在「科學知識的本質」分量表的後測分數，雖然高於一般教學組，但未達顯著水準。

然而，本研究的教學單元為熱學與物理光學，課程安排的教學內容中，熱學的部分有熱質說與熱能說，物理光學的部分有光粒子說、光波動說與光的波粒二象性，這些課程內容都涉及科學知識的本質，能讓學生體會科學知識不是恆久不變的，透過公開發表以及科學社群的討論，舊的科學知識可被新知識所取代。因此，科學史教學組學生在「科學知識」分量表的後測表現與一般教學組學生無顯著差異，這個在「科學知識」分量表所呈現的結果，對於研究者而言，似乎還需要再做更進一步的分析處理，為此，分別將科學史教學組與一般教學組學生的前、後測分數，進行成對樣本 t 考驗，表 4-3 為兩組學生在了解科學本質量表的前、後測表現：

表 4-3 兩組學生前、後測表現在總分及各分量表分數差異顯著性考驗

一般教學組 (N=36)	前測		後測		t 值	顯著性
	平均數	標準差	平均數	標準差		
總分	228.33	12.14	229.56	17.46	0.608	0.547
科學方法	75.19	5.20	74.94	5.38	-0.320	0.751
科學知識	77.28	5.58	79.00	7.60	1.811	0.079
科學事業	75.86	4.70	75.61	6.22	-0.261	0.796

續表 4-3 兩組學生前、後測表現在總分及各分量表分數差異顯著性考驗

科學史教學組 (N=40)	前測		後測		t 值	顯著性
	平均數	標準差	平均數	標準差		
總分	232.53	14.91	240.40	15.67	3.081	0.004*
科學方法	76.93	6.04	80.05	6.55	3.264	0.002*
科學知識	78.33	6.05	80.38	5.25	1.972	0.056
科學事業	77.28	5.21	79.98	5.99	2.712	0.010*

* $P < 0.05$

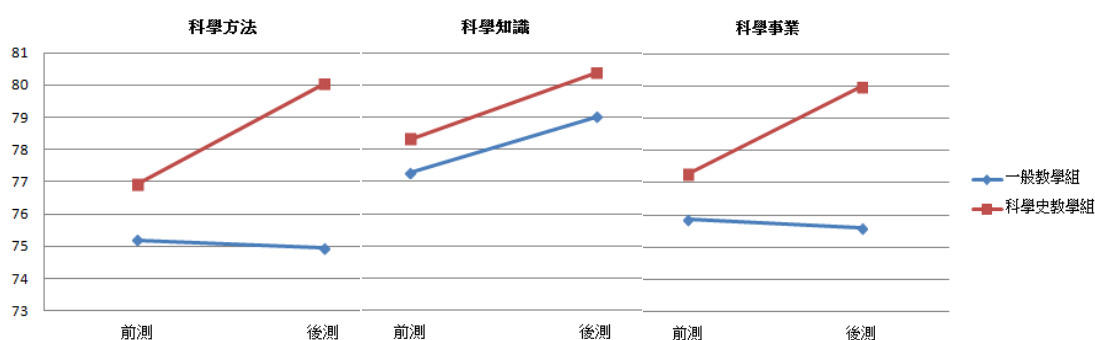


圖 4-2 一般教學組與科學史教學組在三個分量表前後測的平均得分情形

由表 4-3 與圖 4-2 得知，一般教學組學生在「科學方法」、「科學事業」兩個分量表前後測的表現幾乎沒有差異；在「科學知識」分量表的前後測表現，分數由 77.28 分上升到 79.00 分，雖未達顯著水準($P > .05$)，但是與另外兩個分量表相較之下，已屬較大幅度的分數增加。

另外，科學史教學組學生在三個分量表的後測分數均較前測分數提升，在「科學方法」、「科學事業」兩個分量表後測分數有達到顯著($P < .05$)，科學史教學組學生在「科學知識」分量表的得分，由 78.33 分上升到 80.38 分，雖未達到顯著水準($P = .056 > .05$)，但是增加的分數已經很接近顯著水準。

在李明昆、劉靜怡與洪振方(2011)對於高雄地區入學分數需達 PR96 以上的高中一年級女生所做的科學史教學研究中，依據學生在 UNOS 的前測分數，將學生分為高分群與低分群，其中高分群在科學知識分量表的得分由 79.13 分上升到 80.27 分，該研究指出，高分組學生在後測分數並未顯著增加的原因，在於學

生持有的科學本質觀偏向現代認識觀點，不易受到科學史融入教學的影響，而有顯著提升的情形。

研究者認為由科學史教學組學生在「科學知識的本質」分量表的前測分數 78.33 分與後測分數 80.38 分，已代表多數學生已具備相當程度的認識，學生可能因為「天花板效應」，在實驗教學活動之後，分量表分數增加的空間有限，導致後測分數難以顯著上升。因此，造成科學史教學組學生在實驗教學後，各分量表的後測分數均有所增加，但是「科學知識」分量表前、後測的表現並無顯著差異。

此外，在高三上學期選修物理的課程安排中，熱學與物理光學的課程內容牽涉到熱的本質以及光的本質在科學知識的發展過程，而研究者在進行第二階段物理光學的教學時，基於想讓學生完整認識光本質知識的完整發展過程，以及學生期望能在學測前複習高一基礎物理「光電效應」與「光的波粒二象性」兩個較不熟悉的單元，因此，在第二階段的課程安排上，不論是科學史融入教學組或是一般教學組，均增加兩個單元，使得兩組學生均能在第二階段物理光學的課程中，對於光本質的知識發展過程，有了更完整更全面的認識。研究者認為這就是造成一般教學組學生於教學前後，在科學方法與科學事業這兩個分量表的表現沒有顯著差異，而在科學知識分量表的得分有大幅度增加但未達顯著的原因。

由上述的討論，研究者推論，在「科學知識」分量表的表現上，科學史教學組學生因為天花板效應使得後測分數難以顯著提升，而一般教學組學生由於課程內容的安排，能夠對於科學知識的本質擁有更接近現代觀點的認識，導致科學史教學組學生在「科學知識」分量表的後測表現與一般教學組學生無顯著差異。研究者認為這個在「科學知識」分量表所呈現的結果，並不代表科學史融入教學，對於學生在科學知識的本質觀點沒有產生任何效果。

基於兩組學生在 UNOS 三個分量表前後測的表現，本研究所得到的研究結果彙整如下：

(一) 在「科學方法的本質」與「科學事業的本質」分量表：

1. 比較科學史融入教學前後，科學史教學組學生在科學方法與科學事業兩個分量表的表現，後測的分數顯著高於前測($P < .05$)。
2. 在高三上學期選修物理的範圍內，一般教學組學生，於教學前後在科學方法與科學事業兩個分量表科學本質的面向上，並無顯著差異。
3. 在後測的得分表現上，科學史教學組學生與一般教學組有顯著差異。

(二) 在「科學知識的本質」分量表：

1. 比較科學史融入教學前後，科學史教學組學生在科學知識分量表的表現，後測的分數高於前測，但未達顯著水準($P > .05$)，由該組學生在科學知識分量表前後測的高得分表現，研究者推測可能是因為天花板效應，導致分數可增加的空間不足，因此導致在科學知識分量表的表現上，前後測分數無法達到顯著差異。
2. 在高三上學期選修物理的範圍內，採用一般教學方式的學生因為課程安排的內容能讓學生對於科學知識的發展過程有所認識，因此，在科學知識分量表的得分表現上，能夠有提升的效果，但未達顯著水準。
3. 在科學知識分量表的後測表現，科學史教學組學生後測分數高於一般教學組，但是未達顯著水準。

藉由前述的討論，可得知在本研究中，透過科學史融入教學，使得科學史教學組學生在科學本質量表總得分以及三個科學本質分量表的後測表現高於一般教學組的學生，另外，在量表總體得分以及科學方法、科學事業兩個分量表的表現，更是達到顯著水準，僅在科學知識分量表的表現未達顯著，研究者推測可能是因為天花板效應(科學史教學組)及第二階段課程內容的安排(一般教學組學生)，導致兩組學生在科學知識分量表的後測表現呈現出與其他分量表不同的結果。

三、不同程度科學本質觀的實驗組學生在科學本質量表的表現情形：

為了瞭解經歷本研究所設計的科學史教學活動後，具備不同程度科學本質觀點的學生，對於科學本質觀點的改變有何不同，研究者將實驗組學生(40 人)依據 UNOS 的前測總分表現進行分組，分別為 UNOS 低分組 (前測總分<225 分，12 人)、UNOS 高分組 (前測總分>239 分，13 人)以及 UNOS 中間組 (前測總分介於 225~239 分，15 人)，依據三組學生在 UNOS 總得分及各分量表的前後測表現，進行成對樣本 t 檢定，表 4-4 為具備不同程度科學本質觀點的實驗組學生在了解科學本質量表的前、後測表現：

表 4-4 不同程度科學本質觀的實驗組學生在 UNOS 前後測分數差異顯著性考驗

UNOS 低分組 (N=12)	前測		後測		t 值	顯著性
	平均數	標準差	平均數	標準差		
總分	215.08	4.38	233.42	16.14	3.508	0.005*
科學方法	70.33	2.31	75.67	7.41	2.530	0.028*
科學知識	72.17	3.10	78.92	4.72	4.446	0.001*
科學事業	72.58	2.75	78.83	5.83	2.936	0.014*
UNOS 中間組 (N=15)	前測		後測		t 值	顯著性
	平均數	標準差	平均數	標準差		
總分	232.27	5.61	240.00	15.64	2.108	0.054
科學方法	76.27	2.91	80.93	5.61	3.256	0.006*
科學知識	78.07	2.71	79.73	5.36	1.103	0.289
科學事業	77.93	5.36	79.33	6.59	0.974	0.346
UNOS 高分組 (N=13)	前測		後測		t 值	顯著性
	平均數	標準差	平均數	標準差		
總分	248.92	8.50	247.31	13.16	-0.565	0.583
科學方法	83.77	2.98	83.08	4.70	-0.762	0.461
科學知識	84.31	4.97	82.46	5.30	-1.102	0.292
科學事業	80.85	4.85	81.77	5.45	0.669	0.516

* $P < 0.05$

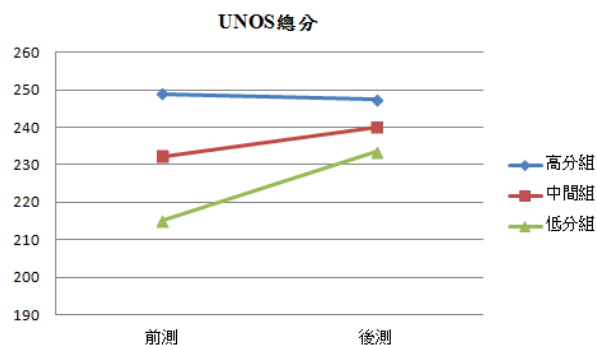


圖 4-3 不同科學本質觀點實驗組學生在 UNOS 前後測的平均得分情形

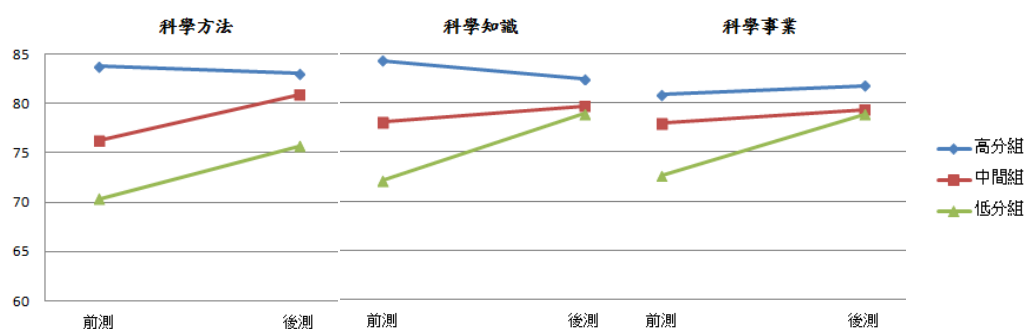


圖 4-4 不同科學本質觀點實驗組學生在三個分量表前後測的平均得分情形

由表 4-4 及圖 4-3、圖 4-4 得知，對於科學本質具備較接近現代觀點的高分組學生，不論是在量表總得分或是三個分量表的得分情形，在科學史融入教學活動後，都沒有顯著的變化；而對於科學本質具備的觀點與現代觀點差異較大的低分組學生，在科學史融入教學活動後，在三個分量表的表現均有顯著進步，且量表總分的平均分數上升 18.34 分，達到顯著水準($P < .05$)。在科學史融入教學活動前，具備科學本質觀點介於高分與低分兩組之間的中間組學生，在教學活動結束後，三個分量表的表現均有提升，但是分數提升程度，僅在科學方法分量表達到顯著水準，量表的平均總分上升 7.73 分，未達顯著水準($P = .054 > .05$)。

由實驗組學生在 UNOS 前、後測表現的比較，本研究所進行的科學史教學活動，對於科學本質高分組學生並無顯著的影響；對於科學本質中間組學生，具有未達顯著的提升效果；對於科學本質低分組的學生，不論是整體得分或三個分量表，本研究所設計的科學史教學活動，均具有顯著提升的效果。

姜志忠、張惠博、林淑榜、鄭一亭(2006)在將物理史融入教學的研究中，依據 UNOS 的前測分數將學生分為現代觀點群、混合觀點群與傳統觀點群，經由長時間的物理史融入教學活動後，對於學生的前後測分數進行分析比較，在該部分的討論指出科學史教學的活動中，學生對於科學本質觀點的變化仍會受到原有科學認識觀的影響，原有觀點較接近現代觀點的學生，科學認識觀的進步較少；因此，該研究的結果指出，具備傳統科學認識觀的學生，經由科學史教學活動後，在科學本質觀點變化的程度，大於具備現代科學認識觀的學生。

本研究經由分析持不同科學本質觀點的實驗組學生在 UNOS 量表的前後測表現，在表 4-4 所呈現的結果與姜志忠等(2006)研究結果相似。根據前述討論得知，參與本研究科學史教學活動的實驗組學生，會因其原持有的科學本質觀點而導致科學本質觀點變化程度的不同，原先對於科學本質觀點較接近傳統觀的學生，在科學史教學活動後，科學本質觀點的變化程度較大。

四、不同性別的實驗組學生在科學本質量表的表現情形：

為了瞭解經歷本研究所設計的科學史教學活動後，不同性別的實驗組學生，對於科學本質觀點的改變情形，研究者依據學生性別，將實驗組學生分為女生組(15 人)、男生組(25 人)，並且比較不同性別的實驗組學生，在 UNOS 總得分與三個分量表得分的前後測表現，現將整理所得到的資料，呈現於表 4-5 以做為後續討論的資訊：

表 4-5 不同性別的實驗組學生在 UNOS 總分及各分量表分數敘述性統計資料

	女生 (N=15)				男生 (N=25)			
	前測		後測		前測		後測	
	平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差
總分	227.13	11.92	237.53	13.86	235.76	16.31	242.12	16.72
科學方法	74.67	4.85	79.47	6.24	78.28	6.16	80.40	6.91
科學知識	77.00	5.04	79.27	4.79	79.12	6.70	81.04	5.69
科學事業	75.47	4.04	78.80	5.16	78.36	6.09	80.68	6.22

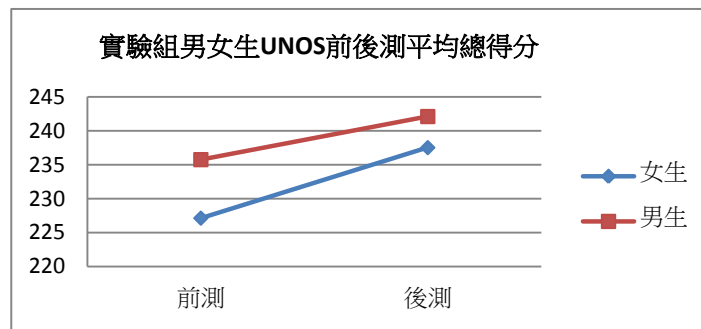


圖 4-5 不同性別的實驗組學生在 UNOS 前後測的平均得分情形

由表 4-5 及圖 4-5 得知，在實驗組的學生中若以性別進行分組，女生對於科學本質認識的前測平均分數為 227.13 分，男生的前測平均分數為 235.76 分，後測的平均分數女生為 237.56 分，男生為 242.12 分。大致來說，在本研究中，實驗組的女生在 UNOS 前後測的總分以及三個分量表的平均分數皆略低於男生組的表現。

由於男生組與女生組在 UNOS 前後測平均總分的表現上均有差異，為瞭解不同性別的男女學生在經歷本研究的科學史教學活動後，在科學本質觀點的變化是否有所差異，接下來以男生組、女生組在 UNOS 的前測分數做為共變數，進行後測的單因子共變數分析。

首先需進行組內迴歸係數同質性檢定，檢定結果 F 值 = 0.952, $P = 0.336 > 0.05$ ，未達顯著水準，兩組迴歸線的斜率相同，前測分數與後測分數的關係不會因為性別差異而不同，符合共變數組內迴歸係數同質性假設，可繼續共變數分析，表 4-6 為變異數同質性考驗結果。

表4-6 不同性別學生組內迴歸係數同質性檢定(依變數: 後測總分)

F檢定	df1	df2	顯著性
0.222	1	38	0.640

檢定各組別中依變數誤差變異量的虛無假設是 相等的。

由表 4-6 得知，變異數同質性考驗 F 值=0.222， $P=0.640 > 0.05$ 接受虛無假設，表示男生組、女生組在依變項(後測總分)的誤差變異數相同，具有同質性。以下為共變數分析結果以及調整後男、女生組的後測分數：

表 4-7 實驗組學生的性別對於調整後 UNOS 總分差異顯著性考驗

來源	平方和	df	平均平方和	F	顯著性
對比	3.42	1	3.42	0.016	0.899
誤差	7704.17	37	208.22		

F 檢定 性別 的效果。這個檢定是根據所估計邊緣平均數的線性獨立成對比較而定。

表 4-8 不同性別的實驗組學生經調整後在 UNOS 的總分平均分數

	平均分數	標準差	※ 以前測總分做為共變數
女生組	240.01	3.83	※ 使用前測總分 235.53 估計去除共變數影響之後的後測總分
男生組	240.64	2.93	

由表 4-7、4-8 得知，去除前測分數差異的影響，男女學生經歷本研究的科學史教學活動之後，在 UNOS 量表的總分皆有所提升，且調整後的後測分數不因性別的差異而有顯著差異($P=0.899 > 0.05$)，男生組與女生組在後測總分提升的程度相同。因此，依據前述討論內容可知，本研究所設計的科學史教學活動，對於實驗組學生所持有科學本質觀點的改變程度，並不因為性別而有顯著差異。

為了更進一步瞭解實驗組學生經歷科學史教學活動後，在 UNOS 三個分量表分數的變化，是否會因為性別的不同而有差異，分別以男女生組學生在科學方法、科學知識、科學事業三個分量表的前測分數做為共變數，進行後測分數的單因子共變數分析。首先，分別對三個分量表進行組內迴歸係數同質性檢定以及變異數同質性檢定，在通過上述兩個同質性檢定後，實驗組男女學生在本研究中經過科學史教學活動之後，去除各分量表前測分數的影響，在 UNOS 三個分量表的後測分數調整結果陳列於表 4-9：

表 4-9 不同性別的實驗組學生在 UNOS 三個分量表調整後的分數資料

科學方法	組 別	平均分數	標準差	※ 以科學方法前測分數做為共變數 ※ 使用前測分數 76.93 估計去除共變數影響之後的後測分數
	女生組	80.86	1.50	
	男生組	79.57	1.15	
科學知識	組 別	平均分數	標準差	※ 以科學知識前測分數做為共變數 ※ 使用前測分數 78.33 估計去除共變數影響之後的後測分數
	女生組	79.62	1.32	
	男生組	80.83	1.02	
科學事業	組 別	平均分數	標準差	※ 以科學事業前測分數做為共變數 ※ 使用前測分數 77.28 估計去除共變數影響之後的後測分數
	女生組	79.55	1.51	
	男生組	80.23	1.16	

表 4-10 實驗組學生性別對於調整後 UNOS 各量表分數差異顯著性考驗

科學方法	來源	平方和	df	平均平方和	F	顯著性
	對比	14.30	1	14.30	0.452	0.506
	誤差	1171.38	37	31.66		
科學知識	來源	平方和	df	平均平方和	F	顯著性
	對比	13.19	1	13.19	0.517	0.477
	誤差	944.02	37	25.51		
科學事業	來源	平方和	df	平均平方和	F	顯著性
	對比	4.04	1	4.04	0.125	0.726
	誤差	1199.66	37	32.42		

F 檢定 性別 的效果。這個檢定是根據所估計邊緣平均數的線性獨立成對比較而定。

由表 4-9、4-10 得知，去除前測分數差異的影響之後，男生組與女生組學生經歷科學史教學活動之後，在三個分量表的後測分數均有提升效果，且調整後的分量表後測分數並不因性別的不同而有顯著差異($P>0.05$)。

由上述討論可知，去除前測的影響，實驗組學生在科學史教學活動之後，男生組、女生組的學生在 UNOS 總分以及科學方法、科學知識、科學事業三個分量表的後測分數均有提升，且兩組學生在科學本質各面向的改變程度，並沒有受到性別的影響，不論是男生或是女生並無顯著差異。

第二節 科學史融入教學對學生學習成就的影響

在傳統的物理教學中並不將科學本質視為教學的目標，多數人認為若把科學本質視為教學目標並將科學史教學活動融入原有課程，可能會因為佔去部分上課時間，而對物理學習造成負面影響。本節主要探討問題就是科學史融入教學對學生學習成就的影響程度。

本研究在學習成就測驗部分採用兩種不同類型的測驗進行評量，一種是傳統型學習成就測驗，另一種則為研究者自行設計的 PISA 類型科學素養試題，以下討論將藉由實驗組、對照組學生在兩種不同類型學習成就評量的表現，探討科學史融入教學對於學生學習成就的影響。

一、學生在傳統型學習成就評量的學習成就表現：

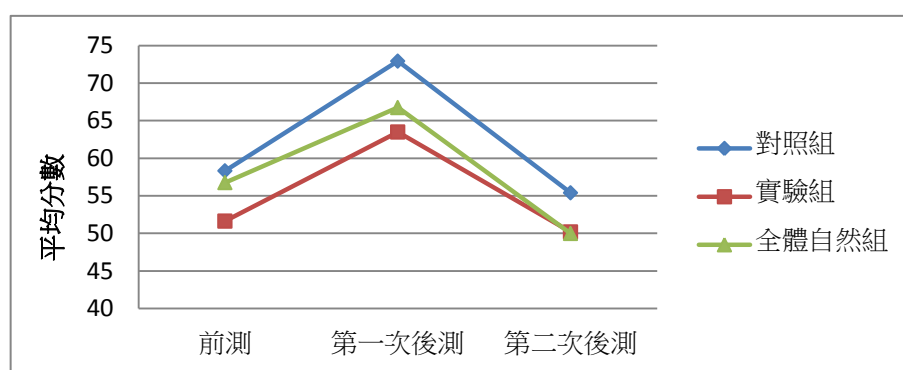
依據實驗組與對照組在科學史教學活動前後的期中考試成績做為學生傳統型學習成就測驗的分數，本研究所進行的科學史教學活動由 101 學年度上學期開始，研究樣本均為研究者所任教班級的高三自然組學生，於研究前收集研究樣本高二下學期的物理期末考分數做為前測分數，並分別收集兩階段科學史教學活動後的期中考分數做為後測分數，表 4-11 為實驗組、對照組以及全體自然組學生在傳統類型學習成就評量分數的統計資料：

表 4-11 實驗組、對照組及全體學生在傳統類型學習成就前後測敘述性統計資料

傳統型 學習成就評量	一般教學組 (N=38)		科學史教學組 (N=43)		全體自然組學生 (N = 345)	
	平均分數	標準差	平均分數	標準差	平均分數	標準差
高二下學期 期末考	58.32	15.42	51.63	18.84	56.76	18.43
高三上學期 第一次期中考	72.92	14.37	63.49	15.56	66.74	17.25
高三上學期 期末考	55.39	16.81	50.19	14.31	49.98	16.97

實驗組與對照組均為研究者所任教的班級，採用一般教學的對照組，自高二開始在定期考試的成績表現一直保持在自然組前兩名，定期考試分數多半會略高於自然組總體平均；而採用科學史教學的實驗組，在定期考試的表現上屬於自然組中間偏後段的班級。圖 4-6 為實驗組、對照組以及全體自然組學生在三次定期考試物理平均分數的分布圖。

圖 4-6 實驗組、對照組及全體學生在三次傳統類型學習成就評量的表現



由圖 4-6 得知，在傳統類型學習成就表現的部分，在第一階段熱學科學史教學活動後，實驗組的學習成就表現與前測表現相似，平均分數略低於全體自然組平均，但是分數的差距略為減少，在第二階段物理光學科學史教學活動後，實驗組的平均分數略高於全體自然組平均。

由於實驗組與對照組於研究教學活動前在定期考試的表現上已經有差異，為瞭解科學史教學對於學生學習成就表現的影響程度，接下來將以實驗組、對照組與全體學生的前測分數做為共變數，分別對第一次後測分數、第二次後測分數做單因子共變數分析。由於高二升高三時有部分學生轉組，刪除轉組學生資料後，進行組內回歸係數同質性檢定，表 4-12 為組內回歸係數同質性檢定結果：

表 4-12 實驗組、對照組及全體學生單因子共變數分析組內回歸係數同質性檢定

共變數	依變數	來源	F	顯著性
前測分數	第一次後測分數	組別*前測	0.354	0.702
	第二次後測分數		0.315	0.730

由表 4-12 得知，以前測分數為共變數，分別以兩次後測分數為依變數時，實驗組、對照組及全體學生的迴歸線斜率均無顯著差異($P>0.05$)，前測分數與後測分數的關係不會因為班級而不同，符合共變數組內迴歸係數同質性假設，可繼續共變數分析，表 4-13 為變異數同質性考驗結果。

表 4-13 實驗組、對照組及全體學生單因子共變數分析變異數同質性考驗

共變數	依變數	F	df1	df2	顯著性
前測分數	第一次後測分數	0.786	2	423	0.456
	第二次後測分數	1.163	2	423	0.314

由表 4-13 得知，若以前測分數為共變數，分別以兩次後測分數進行單因子共變數分析，經變異數同質性考驗後， P 值均大於 0.05，接受虛無假設，表示實驗組、對照組及全體學生在依變項(兩次的後測分數)的誤差變異數相同，具有同質性。在通過組內迴歸係數同質性檢定及變異數同質性考驗後，以學生的前測分數做為共變數，分別以兩次後測分數做為依變數，進行單因子共變數分析，表 4-14 為調整後各組學生的兩次後測分數：

表 4-14 實驗組、對照組及全體自然組學生經調整後在兩次後測的平均分數

	第一次後測		第二次後測		※ ※ 以前測分數做為共變數 使用前測分數 56.38 估計 去除共變數影響之後的 後測分數
	平均分數	標準差	平均分數	標準差	
實驗組	66.099	2.076	52.519	2.162	
對照組	71.856	2.202	54.443	2.293	
全體自然組	66.531	0.731	49.797	0.761	

為方便觀察表 4-14 所呈現的數據，將表 4-14 的數據繪製為折線圖 4-7，並對於各組以前測分數為共變數調整後的兩次後測分數，進行各組之間的相互比較，藉由上述的數據處理，進一步分析去除前測分數的影響後，科學史教學與一般教學對於學生在傳統期中考測驗表現的影響程度。

圖 4-7 以前測分數為共變數，實驗組、對照組及全體學生在兩階段後測的表現

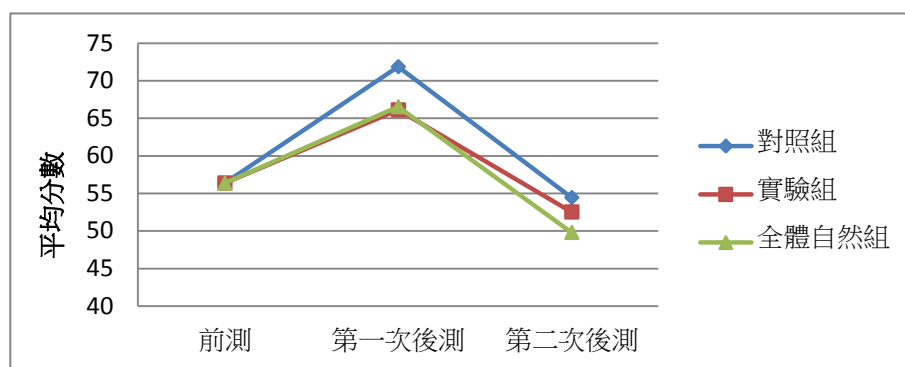


表 4-15 以前測分數為共變數，經調整後各組學生在第一階段後測的平均分數比較

	實驗組學生			對照組學生		
	平均差異	標準差	顯著性	平均差異	標準差	顯著性
全體自然組學生	-0.432	2.202	0.845	5.325*	2.320	0.022
對照組學生	-5.757	3.031	0.058			
實驗組學生						

P<.05

表 4-16 以前測分數為共變數，經調整後各組學生在第二階段後測的平均分數比較

	實驗組學生			對照組學生		
	平均差異	標準差	顯著性	平均差異	標準差	顯著性
全體自然組學生	2.723	2.293	0.236	4.646	2.415	0.055
對照組學生	-1.924	3.156	0.542			
實驗組學生						

由圖 4-7、表 4-15 及表 4-16 所呈現的資訊得知，在去除前測分數的影響後，採用科學史教學的實驗組學生，在第一階段科學史課程結束之後的傳統型期中考表現，雖然略低於該校全體自然組學生的平均分數但幾乎無顯著差異，可見科學史融入教學後，對學生學業成績並未有不利的影響；到了第二階段科學史課程結束之後，採用科學史教學的實驗組學生在傳統型期中考的表現，由原本略低於全體自然組學生平均，轉變為略高於全體自然組學生平均，雖然未到達顯著水準，但是透過實驗組學生與全體自然組學生在傳統型期中考成績表現的比較，研究者

認為透過長時間的科學史教學，對於學生在傳統類型學習成就的表現，具有提升的效果。

姜志忠等(2006)在科學史融入高中教學的相關研究指出，長時間將科學史融入教學的實驗組，無論是在校的學期成績，甚至是全國指定科目考試的成績都優於控制組且達到中度的實驗效果。本研究實驗組學生於科學史教學活動開始之前，在傳統類型學習成就測驗的表現略低於該校全體自然組平均，經過兩階段共六次科學史教學活動後，實驗組學生在傳統類型學習成就測驗的表現轉變為略高於全體自然組平均。藉由比較實驗組與全體自然組學生在傳統類型學習成就測驗的表現情形，研究者認為透過長時間的科學史教學，能夠提升學生在學習成就的表現，本研究與姜志忠等(2006)的相關研究有同樣的研究結果。

另外，由圖 4-6、表 4-11 得知，採用一般教學方式的對照組學生在傳統類型期中考試的表現，不論是前測或是兩階段的後測分數均高於全體自然組學生，即使以前測分數為共變數，分別以兩次後測分數為依變數進行單因子共變數分析之後，由圖 4-7、表 4-15 及表 4-16 可知，調整過後的兩次後測分數也都高於全體自然組學生的平均，甚至第一階段的後測分數差異達到顯著水準。

對於採用一般教學的對照組學生在第一階段後測分數的進步表現，研究者認為可能是因為在研究過程中，為了統一兩個不同教學模式班級的教學進度，在對照組講解例題時，給予學生較多一些時間，思考解題的方法；另外，根據研究者的觀察，在高二升高三的暑期輔導期間，對照組班級的讀書風氣變得更加積極，學生在課後練習習題的作業繳交情形也是研究者任課班級中表現最好的班級。因此，研究者猜測可能是基於上述的兩個因素，導致採用一般教學方式的對照組在傳統型學習成就測驗呈現出成績進步的表現。

對於許多教學現場的老師而言，將科學史融入教學的最大困難之處在於科學史教學會占用部分的教學時間，因而擔心學生的學習成就會被影響，邱奕華(2012)

在科學史融入高一物理教學的相關研究中指出，科學史融入教學並不會對學生學習成就的表現產生不利的影響。雖然實驗組的學生在學習成就的表現上，一直都不如對照組學生，但是經過兩階段科學史教學活動後，採用科學史教學的實驗組學生在傳統類型學習成就測驗的分數，逐漸趨近原本在學習成就表現較好的對照組學生，因此，研究者認為在原有的課程中若能妥善規畫安排合適的科學史教學活動，長時間的科學史融入教學對於學生的學習成就表現是有助益的。

在本研究中，以前測分數為共變數，進行單因子共變數分析，透過比較不同教學方式學生的學習成就，所得到的研究結果為：採用科學史融入教學的實驗組學生，在學業成就的表現並不會因為教學時間減少而產生不利的影響；透過長時間的科學史教學，對於學生在學習成就表現有正面的影響效果。

二、學生在 PISA 情境式試題的表現：

許多將科學史融入教學的相關研究，科學史融入教學對促進學生的科學本質與對科學的態度均有顯著成效；然而，在學習成就的表現上實驗組與對照組並無顯著差異，林陳涌等(2009)指出當學生所學習到的是一個大範圍架構的概念時，透過著重於評測知識內容的記憶或是較零散概念的選擇題進行學習成就的評量，並不容易評測出學生的學習狀況。因此在本研究中，除了藉由分析學生在傳統類型學習成就測驗的表現，探討科學史融入教學對於學生學習成就的影響，另外，還透過自行設計的 PISA 類型科學素養試題，比較實驗組與對照組學生在問題提供的情境裡，是否能夠有效地利用所學知識，進行問題解決。對於 PISA 類型試題的資料收集，扣除施測當日缺席、遲到的學生，共回收 72 份有效樣本，其中實驗組 39 份，對照組 33 份。

在回收學生的答案後，研究者委託同校的自然科教師協助進行試卷的閱卷，研究者與該名教師對於閱卷指引取得共識後，便委由該位教師依據閱卷指引進行問卷的閱卷工作，PISA 測驗的給分標準主要分為四級，包含：「滿分」、「部分得

分」、「零分」以及「沒有作答」，在本研究中分別依序給予 2 分、1 分、0 分、0 分，依據學生所獲得的分數，進行量化統計分析。透過 PISA 類型科學素養試題評量學生在熱學、大氣壓力、幾何光學以及物理光學的學習成就，實驗組與對照組學生的表現結果如表 4-17：

表 4-17 實驗組與對照組學生在 PISA 試題學習成就表現差異顯著性考驗

PISA 類型 科學素養試題	實驗組(N=39)		對照組(N=33)		t 值	顯著性
	平均數	標準差	平均數	標準差		
總分(滿分 36 分)	21.46	4.38	22.88	2.96	-1.580	0.119
依 題 型 區 分	單一選擇題 (平均/題數)	8.05 (1.34)	8.48 (1.41)	1.79	-0.920	0.361
	開放性問答 (平均/題數)	10.31 (1.15)	11.24 (1.25)	2.12	-1.490	0.141
	態度試題 (平均/題數)	3.10 (1.03)	3.15 (1.05)	0.97	-0.177	0.860

由表 4-17 得知，實驗組與對照組在經由科學史融入教學活動後，在 PISA 類型科學素養試題的學習成就表現上，無論是總分或各種不同的試題類型，實驗組平均分數皆略低於對照組，但兩組平均分數的差距並未達到顯著水準。從表 4-17 所呈現的結果研究者認為實驗組與對照組在 PISA 類型試題的學習成就表現，並無顯著差異。

然而，若將兩組學生在 PISA 類型試題的得分表現與平時在傳統類型期中考試的表現相比，實驗組學生在 PISA 類型試題與對照組學生平均得分的差距明顯減少，因此，研究者認為相較於一般教學，透過科學史教學，學生對於科學家如何對於科學現象提出合理解試的過程，有更多接觸的機會，也許是因為這樣的原因，使得學生在 PISA 類型試題的表現優於在傳統試題的表現，所以，科學史融入教學對於學生在 PISA 類型試題的評量表現是有幫助的。此外，研究者認為著重於評量學生科學素養的 PISA 類型試題，可更全面性的呈現出科學史融入教學對於學生學習狀況的影響，而非僅僅在科學知識層面熟悉度的評量，此結果可做為後續相關研究可以嘗試深入探討的方向。

在本研究中，兩組學生在 PISA 類型試題中各種不同題型試題的作答情形，不論題型是選擇題、開放式問答題或是態度試題，實驗組與對照組均無顯著差異，且兩組學生在最熟悉的選擇題型試題的得分均高於另外兩種題型。為更進一步的瞭解學生在 PISA 類型試題的作答表現，研究者將兩組學生在每一題 PISA 類型試題的平均得分整理為表 4-18。

表 4-18 實驗組與對照組學生在 PISA 試題學習成就各試題得分表現

題組	試題內容簡述	題型	對照組 平均分數	實驗組 平均分數
熱學	01. 要求學生對兩段熱學論述的正確性進行判斷	單選題	1.03	1.10
	02. 理想狀態的冷熱水混合問題（計算）	開放題	1.94	1.74
	03. 要求學生判斷環境溫度對實驗的影響程度（說明）	開放題	0.27	0.28
	04. 「焦耳的蜜月旅行」位能轉換為熱能的計算（計算）	開放題	0.94	0.77
	05. 態度試題	態度題	1.36	1.46
大氣壓力	06. 自來水如何送達樓頂水塔？	單選題	0.85	0.82
	07. 高山上的密封食物袋為何會膨脹？	單選題	1.94	2.00
	08. 玻璃瓶中高山空氣的氣壓測量	單選題	1.39	1.44
	09. 氣壓與海拔高度的計算（計算）	開放題	1.61	1.46
	10. 態度試題	態度題	1.03	0.87
幾何光學	11. 態度試題	態度題	0.76	0.77
	12. 光折射現象的解釋	單選題	1.70	1.49
	13. 全反射與折設現象（說明）	開放題	1.55	1.46
	14. 光纖原理的應用（說明）	開放題	1.45	1.50
物理光學	15. 油膜厚度的計算（計算）	開放題	1.06	0.95
	16. 雙狹縫方向與干涉圖案的關連（畫圖）	開放題	1.70	1.64
	17. 影響干涉圖案的因素	選擇題	1.58	1.18
	18. 聲音與可見光繞射的差異（說明）	開放題	0.73	0.51

分析表 4-18 兩組學生在各題的得分情形，可看出對於需要寫下一段文字內容用以說明自己在科學論點上主張的開放式說明題(試題 03、試題 18)，不論是實驗組或對照組學生，在整份試卷中這一類型試題的表現都是比較不理想的，研究者認為這可能是因為試題給予學生的線索不夠充足所造成的結果，在學生作答情況較差的這兩個開放式說明題的題目敘述中都只有給予學生問題的情境，在題目的敘述中並沒有辦法找到問題的答案，學生需要自行應用課堂上所學習到的學

科知識，才能找出問題的答案，例如：試題 03 僅暗示學生要考慮環境溫度高低對於冷熱水混合後溫度會造成影響；試題 18 僅提供學生隔著障礙物看不見物體卻聽得見聲音的日常現象，卻沒有告知學生波長與障礙物大小的比例對於繞射現象的影響程度。相較之下，同樣都是開放式說明題型的試題 13、試題 14，由於題目中的敘述內容較完整，學生可以經由閱讀從文章中找出答題的關鍵概念，因而學生在試題 13、試題 14 的平均得分，明顯高於提供資訊較不充足的試題 03、試題 18。

對於學生在開放式說明題的作答情形，研究者認為後續在進行 PISA 類型試題的設計時，可在試題說明的部分給予學生更充分的資訊以及充分的作答時間，透過這樣的調整或許能夠更有效地評量出學生在問題情境中尋求問題解答的能力，提升 PISA 類型試題裡開放式說明題的鑑別度。

林于湘(2006)曾比較具備不同科學認識觀點的學生在以文字、靜態圖表呈現的傳統試題與以電腦模擬呈現、可供操作的非傳統試題的學習成就評量表現，該研究的結果指出，由於作答時間的限制以及試題的設計上無法讓建構組學生展現其需要討論、反思、獲得回饋後的激發反應...等學習特性，因而使得該研究所設計出的試題對於不同科學認識觀的學生的評量效果，並沒有任何不同。在本研究中透過傳統試題及 PISA 類型試題，評量學生在科學史教學或一般教學之後的學習成效，比較兩組學生在傳統試題及 PISA 類型試題的表現後，雖然平時成績表現較佳的對照組學生在兩種試卷的表現均優於實驗組學生，然而，採用科學史教學的實驗組學生在 PISA 類型試題的得分並不亞於採用一般教學的對照組，因此，研究者認為科學史教學對於學生在 PISA 類型試題的學習成就表現應該是有幫助的。後續如果要透過 PISA 類性試題來評量科學史教學對於學生學習成就的影響，研究者認為在試題設計上還有許多可以在改善的空間，關於這一部分的討論，留待後續章節探討。

第三節 學生對於科學史融入教學的學習感受

為瞭解學生對於科學史融入教學課程的感受，研究者透過自行設計的學習感受問卷，在第一階段熱學部分的科學史教學活動結束後進行施測。此問卷分為兩部分，第一部分為 12 題學習感受相關的正反向陳述句，學生根據自己的感受，以「非常同意」、「同意」、「不同意」、「非常不同意」四個不同的選項予以回應，藉由觀察學生的作答情形，分析學生對於科學史教學的學習感受，表 4-19 為學生在 12 題學習感受問卷問題的作答情形。

表 4-19 實驗組學生對於科學史融入教學學習感受問卷第一部分整理資料

	學習感受問卷敘述內容	非常同意	同意	不同意	非常不同意
01	我覺得將非制式課程的資訊放進教學中，會造成學習上更多的負擔。	2	4	20	13
02	在課堂中進行非制式課程內容的討論，讓我獲益良多。	14	25	0	0
03	在概念介紹的過程中，讓我知道從前科學家有過哪些錯誤的想法，對我的學習是有幫助的。	15	23	1	0
04	老師所提供的討論問題，對我來說，回答這些問題是很困難的。	0	8	26	5
05	老師所提供的討論問題，對我來說，回答這些問題是枯燥乏味的。	0	5	21	13
06	我希望能課程中多增加一些相關科學家的故事。	14	22	3	0
07	我希望老師能多提供一些這類型的問題讓我們思考。	8	23	8	0
08	透過這樣的課程，讓我對於科學家的認識有了很大的轉變。	8	25	5	1
09	透過這樣的課程，讓我對於科學理論的發展，有了更完整的認識。	12	26	1	0
10	我覺得這樣的課程應該放在升學壓力較小的高一階段比較適合。	7	17	12	3
11	我覺得增加這些課外內容，可以讓學習更加有趣。	16	22	0	1
12	我喜歡這樣的上課模式。	14	25	0	0

由表 4-19 所呈現的學生作答情形與學習感受量化的資料，可得知在第一階段熱學部分的科學史教學活動結束時，學生對於科學史融入教學的學習感受多半呈

現正向、肯定的態度。其中，對於「02.非制式課程的討論，使我獲益良多」、「03.讓我知道從前科學家有哪些錯誤的想法，對我的學習是有幫助的」、「06.希望在以後的課程中多增加一些科學家的故事」、「09.課程可以讓我對科學理論的發展有更完整的認識」、「11.可以讓學習更有趣」、「12.喜歡這樣的上課模式」這幾個學習感受陳述，幾乎所有的學生(92.3%以上)都抱持著正向、肯定的態度。

雖然，大多數的實驗組學生對於將科學史融入高中物理教學的活動抱持著肯定的學習感受，然而，在表 4-19 中有幾個學習感受問題所呈現出來的結果，仍然值得注意。在學習感受問卷「04.老師所提供的討論問題，對我來說，回答這些問題是困難的」這個問題，有 8 位(20.5%)學生選擇了「同意」的反應選項；此外，在學習感受問卷「07. 我希望老師能多提供一些這類型的問題讓我們思考」這個問題，也有 8 位學生選擇了「不同意」的選項。在這部分的作答反應，代表有部分的學生對於科學史教學活動所提供的問題討論，在學生的學習感受上是感覺有困擾、有學習負擔的。

鄭瑞樺(2005)在國小五年級為期一個學期的教學活動中，加入了八個互動式科學小故事，在故事教學過後，學生對於科學家具備較正確的意象，也較能接受科學理論、想法是可能會發生改變的，同時也較能表達科學發展對於社會影響的看法。在該研究中指出學生因為擔心無法勝任在問題討論時教師所安排的活動，因而不喜歡甚至排斥在故事中加入討論問題。在本研究中，雖然大部分學生表示科學本質問題的討論活動，並沒有增加學習的負荷，但是，仍然有部分學生認為在科學史小故事後加入的討論問題，完成這些教學活動是有些困難的。

另外，在學習感受問卷「10. 我覺得這樣的課程應該放在升學壓力較小的高一階段比較適合。」對於這個問題，有 24 個(61.5%)學生持認同的態度，甚至有 7 名學生選擇了「非常同意」的選項，在這一個學習感受問題裡，學生的回答似乎呈現「對於即將面對升學考試的高三學生而言，科學史融入教學的課程是有壓

力的，因此建議在高一課程中實施，對學生較無學習壓力」的現象，研究者在事後與數名在本題中選擇「非常同意」的學生晤談後，學生多半表示會做這樣的選擇是因為不習慣這類型的教學模式，而且撰寫學習單需要花費時間，因此才會認同高一學生比高三學生適合科學史融入教學的活動。

林陳涌、鄭榮輝與張永達(2009)在分子遺傳史融入高中生物教學的研究中，認為由於教學實驗安排在高二升高三的暑假，學生多半將心力花費在學測的準備上，因而使得在科學史融入教學後，並未促進學生在學習成就方面的表現。

本研究的學生亦為高三學生，而教學實驗安排的時間為高三上學期，甚至在透過 PISA 類型試題與傳統試題進行學習成就表現的評量時，距離學測時間僅剩不到一個月。雖然在學習感受問卷第 11、12 兩題，實驗組全部的學生均認同「這樣的教學是有趣的」、「喜歡這樣的上課模式」，然而，在學習感受問卷中，呈現出高三學生在升學的壓力下，過半數(61.5%)的實驗組學生認為科學史融入高中物理教學所安排的相關教學活動，比較適合安排在升學壓力較低的高一課程。

在學習感受問卷的第二部分，安排兩個對於第一階段科學史融入教學的開放性學習感受問答題，藉由收集學生的回答瞭解實驗組學生對於本實驗教學的感受。對於第一個問題：「在第一章熱學大約 12 堂課的時間中，老師一共進行了四次『動動腦想一想』活動，哪一次討論的問題讓你印象深刻？為什麼？」實驗組學生的回答情形如下：

表 4-20 實驗組學生對於第一階段科學史教學問題討論活動喜好統計資料

科學本質問題討論內容簡介	喜歡的學生人數
01. 布爾哈夫疑難：「溫度就代表物體所包含的熱量多寡」。科學家提出的理論一定是正確的嗎？	1
02. 熱質說→熱能說。焦耳的熱能說報告不受到當時科學社群重視，科學家是如何判斷一篇科學研究報告的重要性？	20
03. 科學、科技與社會彼此之間有何關聯？請寫下你的想法	13
04. 需要哪些條件，才能夠讓整個科學界改變原本認同的概念？回想一下有哪些類似的故事呢？	7

由 4-20 表得知，對於第一階段科學史融入熱學課程所安排的四次科學史小故事閱讀與科學本質問題反思活動，在實驗組中共有 20 位(47.6%)學生表示對於科學史教學活動 02 印象最深刻，其內容簡介如下：

「英國皇家學會早期拒絕發表焦耳兩篇有關於熱功當量測定的兩篇論文以及在皇家促進協會上焦耳的熱能說報告最初不受到重視，直到克爾文給予高度評價後，才引起在場的科學家們對熱能說的興趣。科學研究需經由科學社群的審查確認其正確性；透過科學社群認同其正確性後，才能獲得其他科學家們的重視。」

在文章的最後一部分，提出科學本質問題讓學生進行思考：「你覺得科學家是用怎麼樣的判斷準則，來評估一篇科學研究的正確性？判斷都是正確的嗎？」部分學生認為這個活動印象最深刻的原因如下：

“因為沒想到大部分的科學家可以這麼的不客觀”(L31719)

“一般都認為科學家是理性的，但其實不是！這個事實讓我很驚訝，原來科學家的判斷並不一定是科學的”(L31704)

“以前以為科學家都很理性，對於別人的理論都會當做是新的知識去採納吸收，結果並不是這麼回事”(L31711)

“我原本認為科學家較一般人理性而且熱愛科學，所以對於科學有新的研究出現時，都會想去了解或證實，但其實他們就和一般人是一樣的...”(L31716)

由上述學生的回答可知，部分曾經認為科學家應該是理性的、客觀的學生，透過科學史教學活動改變了他們對於科學家的既有印象。此外，也有部分學生認為科學史教學活動 02 印象最深刻的原因在教師進行課程講授時，對「熱質說」的內容印象深刻，學生的敘述如下：

“如果我們不是早已經知道熱功轉換，老師在講熱質說那段時，真的就被自然而然的教成熟是一種物質了，我當時一度真的就被洗腦了，直到老師又提出鑽大砲這個問題，我才想到：對耶，怪怪的！”(L31730)

“在老師講解熱質說時，這些內容其實很容易讓人相信，因為當時也不具備足夠的論點來扳倒它，也讓朦朧的我漸漸的也開始相信了，直到老師提到以功來生熱時，終於解開了對此的疑惑”(L31724)

“以前只是把現在對的理論學起來，但卻忽略了它的足跡，也許以前的理論並非完全正確，

但它必然是經過了一定的驗證才得以被接受，也使我們有更多的角度去探索這個理論，更何況現在的認知也未必是真理...” (L31740)

過去在講授到高三熱學課程時，研究者往往因為進度壓力，對於熱質說僅能簡短地帶過，對於接受這樣教學方式的學生而言，現在課本上的科學知識彷彿就是真理、是絕對不會錯誤的；透過科學史教學一方面可以讓學生瞭解科學家曾經有過的想法，另一方面也可以讓學生對於科學知識的暫時性以及科學知識產生的過程有更深刻的體會，進而對於科學本質的認識能夠更加接近現代的觀點。

另外，在學習感受問卷的第二部分還有第二個問題：「老師在課程中加入一些從前的科學家對於熱的想法，以及一些需要深思才能回答的問題，你是否喜歡這樣的內容？請給老師一些建議」，對於此問題共有 39 個學生回答喜歡，2 個學生回答不喜歡，喜歡的學生原因如下：

“嗯，感覺還不賴，因為這樣上課就不是只是在「上物理」了，而是涉及到許多方面的思想” (L31723)

“我覺得加入科學家的想法，和我本身還沒學之前的想法有時會很相似，有時會很不同，這些都可以讓我當做參考，有時還能讓我瞭解更深...”(L31706)

“可以更清楚的瞭解公式、想法的由來，有時候自己一開始的想法跟被推翻的觀念雷同，藉由此活動可以使自己更明白為什麼” (L31718)

“因為有這些想法，讓我覺得以前的科學家能想到的思考方向跟現代的我們差不多，不然一開始我以為科學家怎麼那麼厲害，馬上就可以想出來了，還以為他們特別聰明天才呢” (L31730)

“因為某些在現代人眼裡是理所當然的事，但對古人而言卻是完全不同的想法，還蠻好玩的...”(L31708)

“在物理的學習上，我個人還蠻喜歡這種學習方式的，從熱質說不斷的被推翻和改正再到熱是一種能量，讓我可以清楚的瞭解熱的整個演變過程...”(L31701)

表示喜歡科學史融入教學的學生中，有許多人的原因是科學史小故事可以讓課程變得更豐富、更有趣一些，另外，也有部分學生的原因在於融入科學史之後，

學生發現自己原有的想法竟然跟從前的科學理論雷同，並進一步的隨著課程中對於熱學知識發展過程的介紹，而逐漸地修改自己原有的想法，對於熱的認識有了更深刻的印象。

此外，也有少數幾位學生認為在科學史小故事後增加的科學本質問題並不容易回答，對於科學史教學活動抱持著比較負面的態度，這些學生的看法也可以做為後續進行科學史教學時的建議：

“其實我覺得很難回答(?)感覺這些問題有蠻多破綻的，可是又不知道確實有疑問的點在哪，都只能很大略的回答...”(L31713)

“因為有了前三次的討論，真的可以比較瞭解所要探討的問題，而不是像以前一樣無知，連自己寫什麼都會感到困惑”(L31726)

從學生在學習感受問卷的回應可知，大多數學生對於科學史融入教學的活動抱持著肯定、支持的態度，由部分學生的回答中亦可看出學生於科學史教學後，在科學本質部分面向的改變。部分學生也對於科學史教學活動提出建議，包含：加入相關的小實驗、科學家之間對話的動畫以及增加問題討論的時間讓同學們能夠互相交流彼此之間的想法，讓腦袋中模糊的想法能夠更加的具體。

第四節 學生在科學史教學學習單的表現

本研究在每次科學史教學活動中，都會安排一份科學史教學學習單做為學生的輔助教材，學習單中除了科學史小故事的內容、科學家相片或實驗示意圖之外，也提供學生數則與科學本質相關的問題，藉由學生思考之後所產生的回應，可瞭解學生對於科學本質的觀點與想法。接下來的討論，將依照教學順序，簡介科學史教學的內容，並將學生對於反思性問題所做的回應，以及研究者在設計教學活動與問題時，期待能傳遞給學生的科學本質觀點，進行討論。

一、科學史教學活動：布爾哈夫疑難

在第一次科學史教學活動中，所安排的科學史小故事為布爾哈夫疑難，這問題主要是來自於十八世紀中葉以前，科學家們認為「熱」與「溫度」並沒有不同，在當時還沒有比熱或熱容量的概念，因此對於部分熱平衡的問題，出現了無法解釋的狀況，在科學小故事之後所提供的問題，學生回答的大致狀況為：

(一) 幾乎全部的學生都同意科學家所提出的理論並不一定是正確的；

(二) 對於如何判斷科學知識的正確性，學生多半認為要藉由實驗驗證以及對於自然現象的解釋是否合理，兩方面判斷科學理論是否適用，是否需要修正。以下為部分學生的回答：

“必須對種種自然現象有各方面的驗證，且有嚴謹的推論，數據實驗證明才可以更加加深他的正確性，而不是用多少人說這個理論是正確的而來決定這篇論文的正確性” (S31716)

“我覺得科學原理無所謂的絕對性，只有不斷提出質疑和不斷的修正才有可能離真相更接近，因為我相信在這大自然或宇宙中是不能用幾個簡單的方程式所表現出來的。”

(S31729)

“當然不可能，一個原理可能直到最後都不確定是真的，萬物隨時都在改變，科技也一直在進步，還有很多東西可能尚未發現，不過現今的原理是由目前所能見識的事物，經過多次的研究及時代的考驗所建立的，我們仍能相信。雖然我們的科學都建立於這些原則中，但我們可以在心中保持一絲的懷疑之心，我認為這才是科學的態度。” (S31745)

也有部分學生認為即使從前的科學理論就現在看來是有錯誤的，但是仍然不能否定這些科學家們曾經做過的努力，因為學生表示，自己在學習時對於科學知識的想法也跟從前的科學家雷同，瞭解從前科學家的想法是很重要的。此外，也有學生在回答中，將科技對於科學知識發展的影響納入問題思考的要素之一。

“科學家也是人，只是專門在研究，提出的原理也是歷經千辛萬苦才發表，但也不一定是正確的，因為仍有許多現象無法解釋，雖然如此，卻不能完全否認他們的努力，因為學生的我們在學習時也會有和他們一樣的問題，了解他們是怎麼想的也非常重要。要經過繁多的實驗來驗證吧，而且有些現象根本是無法解釋的，就算是現在的科學理論也無法真正確定是正確的。” (S31712)

“因時代不同，科技發達程度相對也不同，很多實驗上的用品在當代也許無法做出來，以致於實驗的結果，原理有待商榷。以多種實驗的結果，來做推論會比單看一個實驗的正確性還高，也可能只能先提出初步的看法，正確的理论要等後代才能正確提出，不同時代會有不同的思考方式，對和錯其實很難下定論，可能我們現在學的東西在未來會被推翻也說不定。”(S31101)

“科學原理對我來說沒有永遠的正確，隨著科技不斷的進步，科學原理也會有新的發現，現在認為正確的也許會改變，因此要確認科學原理的正確性就是不斷追求、實驗”
(S31706)

由上述學生對於科學知識的正確性所做的回應，許多學生已具備科學知識並非絕對不變的態度，也認為透過實驗驗證以及該理論對於自然現象解釋的合理性，可做為判斷科學知識正確性的方式，透過一次次的修正與調整，科學理論才能對於自然現象提供更合適的解釋，即使到了現代，教科書上的科學知識仍然有修正甚至被推翻的可能。研究者認為透過科學史教材「布爾哈夫的疑難」以及相關科學本質問題的反思活動，學生能夠體會到科學知識並不具有永恆的權威地位，也能夠對於科學知識的累積性與暫時性有更深刻的認識。

二、科學史教學活動：熱質說與熱能說

在本科學史教學活動中，先讓學生瞭解當時科學社群對於熱的本質所抱持的觀點—熱質說，對於熱的自然現象有哪些論點，接著介紹倫伏特、戴維、焦耳等科學家對於熱質說所提出的質疑以及對於建立熱能說過程所進行的相關實驗與論述，最後再以焦耳的熱功當量轉換研究在英國皇家學會報告時，所遭受到的冷淡對待，強調當時科學社群對於新舊科學理論的態度。在活動最後，給予學生思考的問題為：「科學家是用怎麼樣的標準來評估一份科學研究報告的重要性？」。

部分學生對於這個問題的回答，不再將科學家視為客觀的、理性的象徵，而是將科學家視為與一般人相同，對於科學理論的判斷，會受到個人價值觀、原有科學信念所影響。

“能擠身「科學家界」要有很豐富的專業知識，而且多少要有點知名度，所以會有點驕傲。焦耳當時只是個業餘科學家，其他科學家當然不把它放在眼裡，更不會認為他提出的科學研究報告有任何可看處。因為他們認為他們可是學問非常豐富的人，提出「熱是物質」的推論一定沒有人可以反駁，何況只是一個業餘的科學家” (S31719)

“我想科學家們並不是完全的客觀，多多少少都會參雜一些自己的觀點，尤其當自己所認定的事，被業餘者給推翻，大多都難以置信吧” (S31712)

“科學家有時會因深信原有理論或輕視或忌妒，甚至宗教、政治、國家等人性想法，而否定新理論。但真正的科學家應秉持其專業，由他人的實驗結果去改變想法，甚至可以進而推論新的假說來補充。” (S31735)

此外，令研究者訝異的是，有兩個學生的回答是藉由舉出其它類似的例子，說明自己對於這個問題的看法：

“就好比希格斯粒子，當時希格斯博士早在十年前就推出的理論。但卻不被大家接受，霍金，稱的上是第二個愛因斯坦的天才，物理學界有十足份量的一個人，在當時也極力否認有希格斯粒子的存在，他的否定，使大家對於此理論的正確性，有了更大的疑問。認為希格斯博士的理論是不可能的。甚至還跟支持他理論的人打賭...，賭金也只是數期的雜誌，可見是多不在意的論點。直到強力粒子對撞機，成功的撞出了希格斯粒子，也還了希格斯博士的清白，越是有份量的科學家，似乎度量越是狹小（大部...），因為他們是那塊領域的權威，帶頭的人都錯了，哪還有面子呢？也蓄勢自尊和自信，一種對於自己能力的自信，驅使他們來判斷新理論的對 or 錯（個人淺見）” (S31744)

“像焦耳類似的事件多不勝數，孟德爾就是一人，就因為他不是生物學家，只是一個植物學家，而提出的遺傳學不被馬上接受，科學家大都認為不是專家，提出的基本上不正確，而不想聽的成見。” (S31727)

研究者在設計此教學活動時，期待能藉由熱質說→熱能說的科學知識發展過程，讓學生體會新舊科學知識的轉換過程、科學知識的暫時性以及科學社群對於科學知識發展的影響。並藉由焦耳在英國皇家學會報告的小故事，讓學生重新思考科學家在做判斷時，是否完全的客觀、理性。由學生在本活動的回答情形，似乎達到研究者在設計課程時期待的教學目標。

三、科學史教學活動：科學典範轉移

透過「熱質說→熱能說」以及「自然界厭惡真空→承認真空存在」這兩個科學典範轉移的例子，說明要讓科學社群改變原本深信的科學理論、知識結構與研究方法，是相當不容易的事情。在學生的回答中，多數學生認為光靠少數幾個與原本科學理論截然不同的實驗結果，在短時間之內改變科學家們原有的科學信念是不可能的，需要透過更多實驗進行重覆的驗證或是獲得有地位的科學家認同，才能夠逐漸地讓科學家們捨棄舊的科學信念，接受新的科學知識架構或是研究方法。以下為部分學生的回答：

“概念的正確與否是需要受時間來考驗的，在眾人的想法都一致時，突然發表出另一種群眾不能理解卻又無法否定這理論的真實性，這時才會有人開始懷疑原本所堅信的論點是否合乎常理，隨著時間流逝，更多更多的實驗結果都符合新的理論，漸漸的，這種新的概念才會讓人普遍接受，所以典範轉移絕對不是短時間內就會發生，必須能補足舊理論的不足甚至汰換，再以大量的實驗證明理論，才能讓科學界改變原本認同的概念” (S31701)

“其實大部分的人都是盲從的，有些科學家根本就沒有自己的想法，只要是大部分的人遵從的道理，他們將無條件接受，所以要改變舊有的科學典範並不容易，需要有完善的科學數據，且此理論要廣泛流傳，並經得起時間的考驗，不被推翻，最重要的是，要得到比較有地位的科學家認同，才可能取代舊有的典範為新的科學典範” (S31725)

“首先，要有一套完整的理論，再由多方驗證皆可證明其正確性，接著就是得等時間的推移。愛迪生曾說過：「專家不過是訓練有素的狗。」指的就是科學典範吧！因為既定的觀念太根深蒂固了！所以突然有一天改變了或許會難以接受，就像是有人有一天告訴你，你爸不是你爸一樣的錯愕！” (S31716)

在學生的回答中，也有人提到教會、宗教信仰...等非科學的因素對於科學知識發展的影響；

“其實我覺得”科學典範”對於科學家就像是宗教一樣，他們的所作所為或所了解的都建立於這些典範上。改變就等於要他們放棄他們的信仰” (S31745)

“因為人是一旦接受一種觀念之後，會很難改變這類的思想，就如中世紀篤信基督教的人們來說，他們相信世上所有的物質都是上帝創造的，結果卻是阻礙科學的發展，把許多新發現並公佈的科學家作為異教徒處以極刑，當然此時就是科學家的黑暗時期。” (S31724)

此外，部分學生針對科學史教學活動的問題，提出他們心目中符合科學典範轉移的例子—「地心說→日心說」及理由：

“古時人們總認為太陽是繞著地球轉的「地心說」，這是由亞里斯多德與托勒密的天文基礎加上基督教神學結合而成的，一千多年來皆視其為真理，直到 16 世紀，才被哥白尼「太陽中心論」推翻，但是未被大多數人接受，後來克卜勒從其發現中歸納攻勢，提出三大定律，伽利略透過觀察發現與哥白尼的理論吻合，又有牛頓的大機械宇宙觀，「日心說」才取代地心說成為科學典範。有一個開始懷疑的人，後人因為他又研究、探討，證明或推翻，人們透過理性了解，長時間下就可能形成典範的轉移。” (S31727)

“我覺得最重要的典範轉移是「地心說」(以太陽來說，因為宇宙太大，也還很神秘，但我舉這個是因為有很重要的想法)→「日心說」(不正確)以前的人就是因為一出生就處在地球上，天空繞著他們轉動，在哥白尼及伽利略的努力下，人們才終於相信以太陽為中心。這是多麼大的改變，人們能不以自己的觀點看待這世界，以客觀的想法，探索這個世界的原理。如果沒有發現這個「日心說」搞不好，現在的科學可能會落後很多。” (S31745)

在這部分科學史教學活動中，許多學生在回答時多半是圍繞著科學知識的轉變，做為討論的主軸，研究者認為應該是在科學史教材中所引用的科學史素材以及教學過程中偏重於科學理論轉變的思維有關，如果能引入更合適的科學史素材，讓學生瞭解所謂的科學典範除了原有科學社群深信的科學理論、架構外，其實也包括了研究的方法、對於實驗結果的解讀...等，相信能夠對於學生的科學本質觀點產生更廣泛的影響。

四、科學史教學活動：科學、科技與社會

為了讓學生能夠體會科學的發展是會受到社會、科技等因素的影響，研究者藉由熱學發展過程中，科學、科技與社會彼此間相互影響的事例，給予學生重新思考科學、科技的定義與區別以及科學、科技與社會三者之間的關聯。對於科學與科技的關係，多數學生認為兩者是息息相關的：

“科學並非等於科技，而是相輔而成的，科學是將現象學術化，而科技是對於現象的應用與變化，所以有可能因科學發展了科技，也有可能因科技造就成科學的演進” (S31742)

“科學是人類經實驗所得出的科學理論。科技是將這些理論實際的應用在生活中。但是有些科技的發展是經由經驗法則的累積，最後才得出能與之相輔的理論。如果沒有科學和科技的發展，現在的我們應該還停留在原始人的狀態，每件我們所需要所使用的東西，都和它們脫離不了關係” (S31713)

“我覺得科學與科技的關聯是雙向的，任何一方都可領導另一方。而科學是理論，科技是實物。其中又以社會直接影響主流，偏重科學或科技。但又互相限制，一起進步。不會有剛學會生火的原始人，圍著營火大談相對論，也不會有一群一無所知的人造出太空梭” (S31721)

“科學與科技，就如同魚幫水，水幫魚的那種互利的關係吧！沒有先進的科技，有些科學實驗就做不出來。而有時，科學的需要會促成科技的進步。我認為以廣義來看，大家都會覺得本質沒有太大的差別吧！若是細分來看，那麼就有差別，科學比較偏重思考，而科技比較偏向實務” (S31714)

雖然大多數的同學認為科學與科技是相互影響的，但是仍然有部分學生的回答，呈現出該學生認為科學與科技間只有科學提升科技的單方向關聯；

“我認為科學似乎比較重要，也不能這樣說，應該說好像是累積而成的吧！科學是知識，由過往的知識，甚至是好奇，所堆積而成的。我們說需要為科學之母，但是何謂需要？應該是了解到社會上的不足而形成的，那如何滿足需要？累積經驗→引出知識→變成科學→形成科技吧=.=！” (S31738)

“我認為科學是科技的基礎，沒有科學科技的發展就會很難發展，但在日常生活中除了考試之外，大部分的科技跟我們的生活比較有關聯，也就是說科技是一種把科學更精緻化，更和我們生活息息相關的東西。結論：「科學為科技之母」” (S31729)

由上述對於科學與科技之間關係的敘述可知，即使大多數同學認同科技與科學之間是彼此互相影響的，仍然有少部分學生依舊抱持著科學影響科技的單方向論點，研究者認為如果能夠多利用一些時間，讓學生相互討論、分享彼此的想法，也許可以讓更多的學生改變原有的想法。

對於科學、科技、社會三者之間的關係，大多數學生的回答都聚焦在科學與科技間相互影響的關係、科技影響生活、人類生活需求促使科技的發展...三個項目上，這些都是在科學史素材以及日常生活中可以體會到的，以下為部分學生對

於 STS 之間關係的看法

“科技使科學進步，科學使科技發展，兩者互相影響、並行。科學是理論，科技則是實際的應用，不是相同的。三者間有關聯，科學理論影響科技的發展而科技則影響人類社會的生活。” (S31704)

“科學是理論，科技是理論的實踐，而科學需要科技的進步才能發展下去，人類社會中，生活上的需求由於科技的進步，使得生活更加方便。科學的研究也會因社會的需求而進行也可能因法律而有所限制，所以彼此有關聯。” (S31707)

“科學是一種理論和事實，科技是一種方法和技術，一樣科學的發現就會有一種科技的誕生，一樣科技的發展就會有一樣科學的探索，兩者雖不盡相同，但卻是相輔相成的。隨著兩者的進步，人們開始追求生活上的方便，使用新的科技發明了機械，減輕人們的負擔，但也破壞了生態，使用了新的科學發展了全新更強更有威力的武器，雖然可以保衛人身安全，但也犧牲了更多人的生命。進步與繁榮導致人們貪婪的心，不顧其他人的利益與安全，剝奪了許多人的權利。但也不容忽視兩者帶來的便利” (S31724)

在學生的回答中，對於科學與社會間關係的論述較少，研究者認為可能的原因為在日常生活中學生較少接觸到這方面的題材，而且在本次科學史教學的教材裡，也未呈現出科學與社會間的關係，由本次科學史教學活動中，學生在科學、科技、社會三者間關係的論述所呈現的情形，可供研究者做為日後設計科學史教材時的參考。

五、科學史教學活動：伽利略的望遠鏡

在伽利略那個時代，許多科學家都深信著亞里斯多德的理論與天主教教義可以解釋周遭所有的事物，然而伽利略透過望遠鏡，發現許多與理論相違背的現象。這些現象都是可以直接透過望遠鏡觀察到的，然而，當時的科學家們不相信這些觀察得到的結論，甚至認為望遠鏡所看到的畫面並不是真實的。對於這些科學家拒絕承認伽利略所觀察到的現象，以下為學生在問題討論活動中所提出的看法：

“絕大部分的科學家，都會執著於自己所信仰的，因為他們都是那個領域的權威，所以當然不容許有任何可以推翻自己的實驗結果，而一開始都先抱持著反對的心態，也許是為反

對而反對，也許是有自己的想法，直到強而有力的鐵証出現才會信服。曹丕說文人自古皆相輕，開玩笑的說，也許科學家也是吧？光是要改變一群有同樣信仰的科學家，就是一件巨大的工程了，更何況是動搖整個物理界的驚人結果” (S31743)

“他們堅持抱著自己的信仰是對的，因此即使這個實驗是正確的，也不去承認，除此之外，一方面也是為了自保，因為當時宗教的權威是很大的，故我覺得科學家們在看這實驗結果也抱持著自身的利益” (S31706)

“將違反自己信念的實驗結果是為謬論，就算事實是如此，也要用盡各種方法反駁，不過這就是人的本性，當自己的觀念被認為有錯誤時，難以欣然接受，而是反過來批評別人的學說” (S31704)

“當然不相信，一個自己原本堅信已久的理念哪能這麼容易被推翻” (S31719)

從學生的回答中可看出學生已經不再將科學家視為客觀的、理性的職業。即使實驗的觀測結果很明顯地證明原本的理論是錯誤的，科學家仍然會依據個人價值觀選擇否定這個研究，甚至會為了個人利益反過來質疑伽利略的實驗結果。在收集、整理五次科學史教學活動後，學生對於科學本質問題思考後所做的回答，研究者認為，不論是科學知識、科學方法、科學事業，在三個不同的科學本質面向上，多數學生的回答已經接近現代的觀點。

第五章 結論與建議

本研究在高三上學期物理課程中規劃了兩階段的科學史教學活動，透過了解科學本質量表、傳統型學習成就測驗、類 PISA 學習成就測驗、學習感受問卷以及學習活動單所收集得到的資料，進行分析、討論並呈現研究結果，根據研究結果提出建議，以作為將科學史融入物理教學及後續相關研究的參考。

第一節 結論

本研究採用準實驗研究的方式，探討科學史教學與一般教學對於學生的科學本質觀點以及學習成就表現的影響程度，並從學生在學習感受態度問卷與科學史活動學習單提供的回饋訊息，經由量化分析與質性的報導，探討學生對於科學史融入教學課程的學習感受以及對於科學本質的看法，本研究的結果歸納如下：

一、在科學本質觀點部分：

- (一) 科學史融入教學能夠對於學生的科學本質觀點產生顯著影響，使學生所抱持的科學本質觀能夠更符合現代觀點。

比較實驗組與對照組學生在了解科學本質量表的前後測表現，採用科學史教學的實驗組學生在後測的總得分有顯著進步的表現；採用一般教學的對照組學生在前後測的總分表現並無顯著改變。田炯良(2004)在為期一學期的科學史融入教學行動研究中指出，若能在教學活動中適當融入科學史並引導學生進行科學思考，可有效提升學生的科學本質觀。在本研究中，實驗組學生所抱持的科學本質觀在經歷兩階段長時間科學史教學活動之後更接近現代觀點，與林陳涌、鄭榮輝、張永達(2009)以及姜志忠、張惠博、林淑榕、鄭一亭(2006)同樣將科學史融入高中教學的相關研究有相同的研究結果。

(二) 透過科學史融入教學能夠讓學生對於科學方法、科學知識以及科學事業的科學本質觀點產生影響；若能在一般教學的課程，安排學生認識科學知識發展過程，亦能讓學生對科學知識本質的認識更加接近現代觀點。

實驗組學生於兩階段的科學史教學活動之後，在科學方法、科學知識及科學事業三個科學本質面向的表現皆有所提升，且在科學方法及科學事業兩個面向上，達到顯著提升的效果；此外，對照組學生於一般教學活動之後，在科學方法、科學事業兩個分量表的表現與前測並無顯著不同，相較之下，對照組學生在科學知識分量表的後測分數有較大幅度的提升，研究者認為這是因為教科書安排的原有課程內容，亦能讓學生體會到科學知識的發展過程，因此使得採用一般教學的對照組學生，對於科學知識本質的認識更接近現代觀點。

(三) 對於科學本質所具備觀點與現代觀點差異較大的學生，在科學史融入教學活動後，對於科學本質的觀點不論是總得分或是在三個科學本質的分量表，均有顯著進步的表現。

本研究中已具備接近現代科學本質觀點的學生於科學史教學前後並無顯著影響，而原本抱持的科學本質觀點與現代觀點差異較大的學生，經由科學史教學活動實施之後，不論是在量表總分或是三個科學本質的分量表均有顯著進步的表現，參與科學史教學活動的實驗組學生，會因其原持有的科學本質觀點而導致科學本質觀點變化程度有所不同。姜志忠等(2006)將科學史融入高中物理教學的相關研究中指出，學生對於科學本質觀點的變化會受到原有科學認識觀的影響，經由長時間的科學史教學活動之後，原有觀點較接近現代觀點的學生，科學認識觀的進步較少；具備傳統科學認識觀的學生在科學史教學活動後，產生的變化會大於現代科學認識觀的學生。陳淑媛、洪振方(1998) 透過歷史個案研究、互動式歷史小品兩個模式，進行高一基礎物理光學、熱學兩個單元的教

材編寫與教學，並指出假若教學時間足夠，物理史融入教學的學生，其科學認識觀將會更符合現代的觀點，尤其是原先保持著傳統科學認識觀的學生，進步更明顯。對於學生原有科學本質觀點與科學史教學對學生科學本質的影響程度之間的關係，本研究與上述兩個相關研究有相似的結果。

(四) 科學史融入教學對於學生科學本質觀點的影響程度與性別無關。

以 UNOS 前測分數為共變數，利用單因子共變數分析得知，實驗組學生在 UNOS 總分以及科學方法、科學知識、科學事業三個分量表的得分，經由科學史教學活動之後均有所提升，且學生在科學本質各面向的改變程度並未因性別的不同而有顯著差異。因此，研究者認為科學史融入教學對於學生科學本質觀點的影響程度不會因為性別不同而有差異。

二、在學生學習成就部分：

(一) 科學史融入教學不會因為占用部分教學時間而對學生的學習表現產生不利的影響，在長時間科學史融入教學之後，學生在傳統期中考的學習成就表現有進步的趨勢。

本研究以高一下學期期末考物理成績做為共變數，進行單因子共變數分析後，發現採用科學史教學的學生在傳統期中考試的表現，由原本略低於全體自然組平均轉變為略高於全體自然組平均；與原本學業成績表現較佳的對照組相比，實驗組與對照組程機的差距，在長時間的科學史教學後，有逐漸減少的趨勢。賴淑婷(2007)利用統合分析技術，分析國內共 34 篇科學史融入教學的研究報告，其結果顯示科學史融入教學對於學生的科學學習成就有低程度的提升效果；吳美瑩(2004) 以歷史個案研究科學史教材與分組討論式的合作學習方法將粒子發展史融入國二自然教學，其研究結果顯示粒子發展史融入教學模式能促進學生之學習成

就。本研究的結果顯示長時間的科學史教學活動，對於學生學習成就的表現是有幫助的，與上述兩研究的結果相同。

- (二) 透過科學史教學活動中的科學史素材閱讀及科學本質問題思考寫作，對於學生在 PISA 情境式試題的評量表現是有幫助的。

在本研究中透過科學史融入教學的方式，將科學本質視為教學的目標之一，透過教材與教學活動，除了讓學生對於科學本質有更深刻的認識之外，更能讓學生對於科學家如何利用科學知識、研究工具，合理地解釋觀察現象，並對科學之事的發展過程有更深刻的體會。因此，透過生活化與情境化的 PISA 試題，評量學生於科學史教學後在科學舉證、科學現象解釋、形成科學議題等科學素養能力是否與一般教學學生有所不同，成為主要的研究問題之一。本研究透過自行設計的 PISA 試題進行評量，在比較科學史教學與一般教學的學生在 PISA 試題作答的表現後，研究者認為相較於兩組學生在傳統型期中考的表現，雖然平時學業成績較佳的對照組學生在 PISA 試題的表現依然優於實驗組學生，但是由分數差異縮小的結果，研究者認為經由科學史教學活動之後，學生在 PISA 類型學習成就評量的表現是有進步的。林陳涌等(2009)指出當學生所學習到的是一個大範圍架構的概念時，透過選擇題類型的傳統試題，並不容易評測出學生的學習狀況，本研究嘗試透過 PISA 試題探討科學史教學與一般教學對於學生學習成就影響的程度，雖然僅獲得初步的研究結果，但是透過多元、非傳統試題的評量方式，探討科學本質教學對於學生學習狀況的影響，似乎是後續研究值得嘗試的方向。

三、在學生學習感受部分：

- (一) 學生對於科學史融入教學的教學活動，幾乎所有的學生都抱持著正向、肯定的態度。

透過學生在學習感受問卷的量化結果得知，92.3%以上的實驗組學生對於科學史融入教學的學習感受均抱持著正面、肯定的態度，學生認為科學史融入教學使他們對科學理論的發展有更完整的認識，並且希望在日後的課程可以多增加些科學史素材，此外，大多數學生認同科學史融入教材可以讓幫助學習、使得學習更有趣，喜歡這樣的上課模式。許多將科學史融入教學的相關研究均指出，學生對於科學史教學的學習感受都是正面、肯定的(許峻豪，2008；林天陽，2008；楊惠如，2008；吳美瑩，2004；呂治平，2003)，由此可知，在課程中適當地引入科學史，除了可促進學生對於科學本質的認識外，亦具有提升學習興趣的效果。

(二) 對於部分學生而言，回答科學史教學活動所安排的科學本質問題，是感覺困擾、有學習負擔的。另外，過半數的學生認為這類型的課程更適合安排在升學壓力較小的高一階段。

雖然，大多數學生對於科學史融入教學的學習感受是正面、肯定的，然而部分學生(20.5%)因為擔心無法勝任科學史教學中科學本質問題的思考活動，而不期待在科學史教學活動中提供科學本質的思考問題。鄭瑞樺(2005)在國小五年級為期一個學期的科學史融入教學相關研究中發現，學生因為擔心無法勝任在問題討論時教師所安排的活動，因而不喜歡甚至排斥在故事中加入討論問題，長期以來，學生已經習慣了老師在課堂裡單方面的講授課程內容，並不習慣分組互相討論的方式，即使是經歷過完整的九年一貫課程學生，對於在課堂中採用分組討論的教學模式依舊感到不安。

此外，本研究的研究對象均為即將面對升學考試的高三學生，雖然實驗組學生認為科學史教學是有趣的、喜歡這樣的上課模式，然而，過半數(61.5%)的學生在問卷中表示將科學史融入高中教學的課程安排在升學壓力較低的高一階段是比較合適的。林陳涌等(2009) 在高二升高三

的暑假期間，安排分子遺傳史融入高中生物的研究教學，但是由於學生多半將心力花費在學測的準備，因而在科學史融入教學後，學生在學習成就方面的表現並未有顯著的改變。對於過半數高三學生在學習感受問卷中認為科學史教學比較適合安排在高一課程的反應，研究者認為應該也是因為學生希望能將較多的心力花費在學測的準備，才會呈現如此的結果。對於上述學生在學習感受問卷的回應，均可做為研究者在日後規劃科學史教學活動時的參考意見。

第二節 建議

透過準實驗研究的方式，研究者在制訂研究主題並收集相關資訊之後，透過自行設計的科學史教材與教學活動，分別在高三物理課程中熱學及物理光學兩個單元，進行了兩階段的科學史融入教學活動，並依據學生在第一階段科學史融入熱學課程結束後的反應，進行第二階段課程的調整與規劃。透過科學史教學的方式，實驗組學生的科學本質觀點更加接近現代觀點；學習成就的表現上，不論是透過傳統試題或是 PISA 類型試題進行評量，在科學史教學活動後學生的成績都有進步的跡象。本節依據本研究所獲得的結果與結論提出建議，做為日後規劃科學史教學活動的參考，及對於未來研究上的看法與建議。

一、對於科學史教學的建議：

- (一) 由學生在科學史活動學習單的回答以及學習感受問卷的意見，研究者建議教師在引導學生進行科學本質問題思考時，應提供學生更充足的時間互相討論、交換想法，透過小組合作提高效率。
- (二) Abd-El-Khalick & Lederman(2000)主張除非伴隨明示的教學策略，否則科學史或科學史哲的課程，不容易對於學生的科學本質觀點產生明顯提升

的效果；謝甫宜與洪振方(2010)也提出在科學本質教學中，若能明確地指出科學本質，是最能夠增進學生科學本質的教學方法。因此，研究者日後在進行科學史教學活動時，不論是科學史教材的編輯或是學生在思考科學本質問題的引導，可以將科學本質更明確的凸顯出來，並視為教學的目標之一，這樣就能更有效地促進學生對於科學本質的認識。

- (三) 隨著科技的進步，教師在教學現場能夠提供學生更多元化的資訊，透過電腦的協助教師也能更及時地獲得學生的回饋訊息，了解學生的學習狀況，若能透過互動式軟體模擬從前科學家的研究、科學史小動畫呈現科學家生存時代的時空背景...這些都是紙本形式的學習單不容易做到的。因此，研究者建議教師在設計科學史教材時，能夠多利用多媒體工具，提供學生更豐富的科學素材，讓學生對於科學家在創造科學知識時的過程，能夠有更深刻的體會與認識。
- (四) 許多在教學現場的科學教師都期待能透過改變自己的教學，進而提升教學專業能力及豐富教學的內容，卻往往因為擔心學生的成績受到影響而猶豫不決。從本研究所獲得的研究結果可減少教師對於使用科學史教學的疑慮，若能更進一步，鼓勵其它有興趣的教師共同參與，透過教師社群的合作，應該能夠更有效地促進教師教學專業的成長。

二、對於後續研究的建議：

- (一) 近年來，多元評量的重要性逐漸受到重視，為了配合十二年國教的實施，教育部要求全國高中教師在「差異化教學、多元評量、有效教學」等方面參與 14 小時的實體研習，此外，由 102 學年度開始（9 月），新北市教育局建議各校段考試題暫定融入 20% 仿多元評量試題，全面啟動多元評量融入新北市課堂學習與評量。由此可知，隨著十二年國教的實施，對於學生學習情況的評量，不論是評量的形式、工具或內容都會逐漸的多元化。因此，日後在科學史融入教學的相關研究中，如果想要探討科

學史教學對於學生學習成就的影響，評量的方式也不再侷限於傳統類型的試題，透過多元評量的方式探討科學史教學對於學生學習狀況的影響，似乎可以做為後續研究的方向。

- (二) 目前高中物理課程規劃中，高二社會組學生也安排一學期每周兩堂課的物理課，對於學生科學素養的培養並沒有自然組與社會組的分別，如何在時間更緊迫的課程規劃中，透過科學本質教學相關活動提升學生對於科學本質的認識，讓這些學生在未來踏入社會後，能夠透過合適的態度與方法面對科學議題，研究者認為是後續可以嘗試進行科學本質教學相關研究的方向。

參考文獻

一、中文部分：

- 王靜如 (2006)。傳達科學本質之理論與教學實例。台北市：秀威資訊科技。
- 田炯良 (2003)。融入科學本質之教學對八年級學生科學本質觀及學習動機之影響。國立彰化師範大學科學教育研究所，未出版，彰化市。
- 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。
- 吳美瑩 (2004)。粒子發展史輸入自然與生活科技教學對國中學生學習成就及科學本質觀影響之研究。國立臺灣師範大學化學研究所，未出版，台北市。
- 呂治平 (2003)。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研究所。未出版，彰化。
- 林陳涌 (1996)。「了解科學本質量表」之發展與效化。科學教育學刊，4 (1)，31-58。
- 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。
- 林淑榕、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。
- 邱明富、高慧蓮 (2006)。科學史融入教學對國小學童科學本質觀影響之探究。科學教育學刊，14 (2)，163-187。
- 邱奕華 (2012)。科學史與科學概念教學順序對學生科學認識觀與學習動機之影響。國立臺灣師範大學科學教育研究所，未出版，台北市。
- 林天陽 (2008)。以科學史電腦多媒體素材應用於國中「原子結構」輔助教學之成效研究。國立臺灣師範大學化學研究所，未出版，台北市。
- 林于湘 (2007)。電腦模擬用於評量可能導致的差異—從高中生的科學認識觀與性別來探討。國立臺灣師範大學物理研究所，未出版，台北市。
- 姜志忠、張惠博、林淑榕、鄭一亭 (2006)。物理史融入教學對提升學生科學認識論瞭解及其學習成效之研究。科學教育學刊，14 (6)，637-661。
- 洪振方 (1998)。在科學教學的另類選擇：融入科學史教學。屏師科學教育月刊，7，2-10。
- 翁秀玉、段曉林 (1997)。科學本質在科學教育上的啟示與做法。科學教育月刊，201，2-16。
- 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。
- 許良榮、李田英 (1995)。科學史在科學教學的角色與功能。科學教育月刊，179，15-27。
- 許良榮、蕭培玉 (2007)。中小學之科學本質與科學史的教學需求之研究。科學教育學刊，15 (1)，1-23。

- 許國忠、王靜如 (2003)。科學本質教學初探。科學教育研究與發展季刊，33，15-29。
- 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研究所，未出版，台北市。
- 陳婉妤 (2012)。由概念改變探討科學史建模教學對學生熱傳播概念與建模能力之影響。國立臺灣師範大學科學教育研究所，未出版，台北市。
- 陳淑媛、洪振方 (1998)。科學史融入基礎理化教學之行動研究。Chinese Physics，2(1)，15-44。
- 張宗婷 (2008)。以互動式歷史小故事與科學寫作活動促進學生理解科學概念與發展科學本質觀。國立臺灣師範大學生命科學研究所，未出版，台北市。
- 傅大為 (2001)。X Rated 物理教育？。物理雙月刊。23 (1)。7-9。
- 黃邱瑞 (2003)。以科學史教材協助高中教師瞭解克卜勒定律概念發展之效益研究。國立臺灣師範大學科學教育研究所，未出版，台北市。
- 楊惠如 (2008)。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研究所，未出版，台北市。
- 臺灣 PISA 國家研究中心 (2012)。PISA 科學素養評量手冊。取自 http://pisa.nutn.edu.tw/download/sample_papers/other/Taiwan2011SciencePDF.zip
- 鄭湧涇 (2005)。我國科學教育改革的回顧與展望。科學教育月刊，284，2-22。
- 鄭瑞樺 (2005)。利用互動式科學小故事促進國小五年級學童科學意象之行動研究。國立新竹教育大學，未出版，新竹市。
- 劉錫忠、段曉林 (2002)。提升國中生對當代科學本質觀理解之研究。中華民國第十八屆科學教育學術研討會，彰化市。
- 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，未出版，中壢市。
- 謝甫宜、洪振方 (2010)。不同教學方法增進學生科學本質學習成效之比較與分析。屏東教育大學學報—教育類，35，1-32。
- 羅豪章 (2004)。國小資優資源班科學課程之個案研究—故事架構式的課程設計。科學教育研究與發展季刊，37，51-66。

二、英文部分：

- 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.
- Aikenhead, G. S., & Duffee, L. (1992). Curriculum change, student evaluation, and teacher practical knowledge. *Science Education*, 76(5), 439-506.
- American Association for the Advancement of Science, W., DC. (1993). *Benchmarks for science literacy*: ERIC Clearinghouse.
- American Association for the Advancement of Science. (1989). *Project 2061: Science for All Americans*. Washington, DC: author.
- Brickhouse, N. W. (1990). Teachers beliefs about the nature of science and their relationship to classroom practice. *Journal of Teacher Education*, 41(3), 53-62.
- Brush, S. G. (1992). A letter to the editor of science and education. *Teaching the History*, 1(4), 331-332.
- Dagenais, A. (2010). Teaching high school physics with a story-line. *Interchange*, 41(4), 335-345.
- Galili, I., & Hazan, A. (2001). The effect of a history-based course in optics on students' views about science. *Science & education*, 10(1-2), 7-32.
- Hodson, D. (2008). Towards scientific literacy: A teachers' guide to the history, philosophy and sociology of science. Rotterdam: Sense. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science* (pp. 52 - 84). Philadelphia: Open University Press.
- Lederman, N. G. (1996). *The nature of science: instructional implication for a process more tentative than its products*. Paper presented at the meeting of the National Association for Research in Science Teaching, St. Louis, MO.
- Lederman, N. G., & Lederman, J. S. (2004). Revising instruction to teach nature of science. *The Science Teacher*, 71(9): 36-39.
- Matthews, M. R. (1994). *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge.
- Matthews, M.R. (1996). What should be the goal in teaching about the nature of science? . Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching : St. Louis, MO.
- McComas, W.F., & Olson, J. (1998). The nature of science in international science education standards documents. In W.F. McComas (Ed.), *The Nature of science in science education: Rationales and strategies*, 41-52. Boston: Kluwer Academic

Publishers.

McComas, W.F., Clough, M.P., & Almazroa, H. (1998). The Role and Character of the Nature of Science in Science Education. *Science & Education*, 7(6), 511-532.

Monk, M., & Osborne, J. (1997). Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for the development of pedagogy. *Science Education*, 81(4), 405-424.

National Science Teachers Association (NSTA). (1982). *Science-technology-society: Science education of 1980's* (a National Science Teachers Association Position Statement). Washington, DC: NSTA

National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.

Oldroyd, D. R.(1977). Teaching the history of chemistry in New South Wales secondary schools. *The Australian Science Teachers Journal*, 23(2),9-22.

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.

Tsai, C.C., & Liu, S.Y. (2005). Developing a multi-dimensional instrument for assessing students' epistemological views toward science. *International Journal of Science Education*, 27(13), 1621–1638.

附錄一 科學史教學活動學習單

活動一 布爾哈夫疑難

熱是什麼東西?!

仔細的觀察生活周遭，隨時隨地都可以看到熱的現象。電磁爐加熱時，鍋子裡的水溫會逐漸升高；當水沸騰時水溫雖然不再上升，但是許多的水轉變成了水蒸氣。

熱的現象處處可見，熱的本質又是什麼？人類對熱的認識與理解在歷史上有一段極有趣的過程。

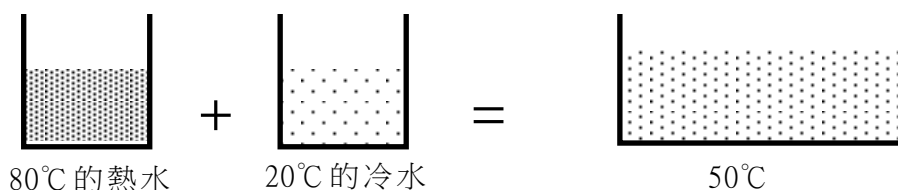
關於熱是什麼這個問題，荷蘭萊頓大學教授布爾哈夫(Herman Boerhaave, 1668 - 1738) 提出「熱」是一種不占空間、不具質量且會流動的物質，稱為熱質 Caloric，吸收或釋放熱質的多寡稱為熱量。



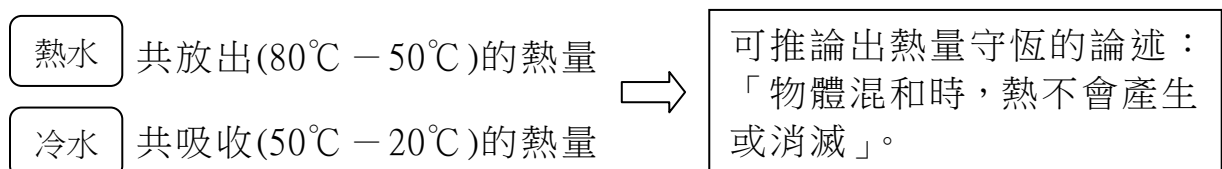
布爾哈夫疑難

在十八世紀中葉以前，科學家們的觀念裡，「溫度」與「熱」並沒有什麼不同，他們認為溫度高低即代表物體含熱的多寡，溫度不同的兩物體接觸時，熱會從高溫物體流向低溫物體，直到兩物體溫度相同。

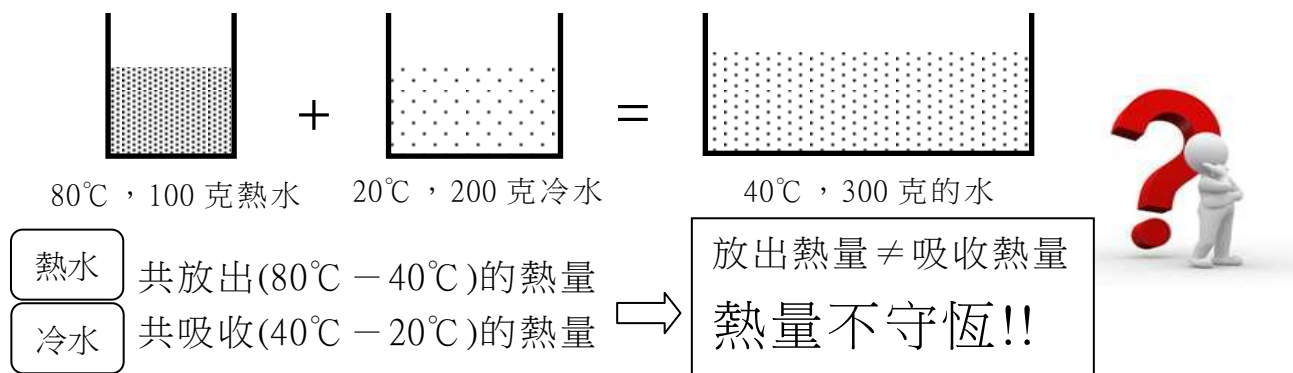
若將等質量 80°C 與 40°C 的水，混合在一起，得到 50°C 的水。



從「溫度代表物體含熱量的多寡」這樣的概念，得知在混和過程中：

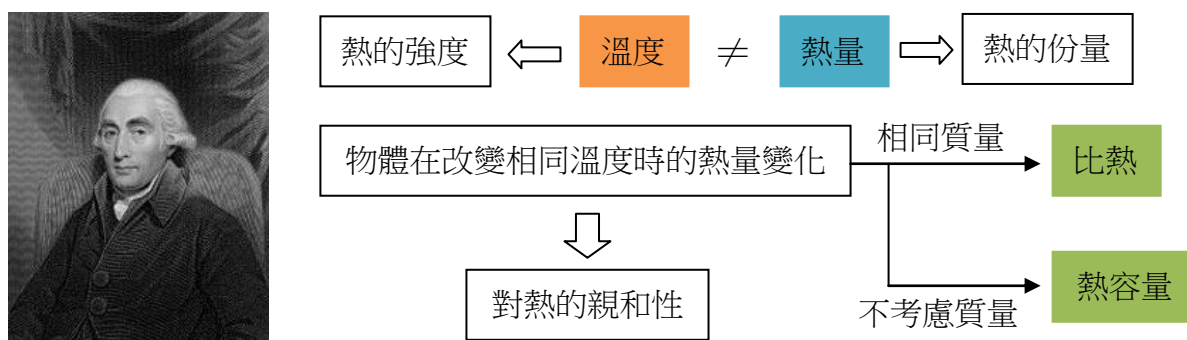


但是，這樣的論述遇到了不同質量的冷熱水混和，就不成立了…



上述的問題，對於當時相信「**溫度高低即代表物體所含熱量多寡**」的科學家們而言，是無法清楚解釋的，因此，被稱為「布爾哈夫疑難」。

在熱學早期的研究發展中，蘇格蘭化學家布萊克(Joseph Black, 1728-1799)，是最早指出「溫度」與「熱量」差異的科學家，布萊克認為：溫度不能代表含熱的多寡，溫度代表物體熱的強度，熱量代表物體所含有熱的分量。



布萊克採用熱質說的看法，認為「物體因為溫度變化而轉移的熱量與溫度變化成正比」，這樣的看法加上比熱或熱容量的概念後，衍生出大家熟悉的熱平衡方程式。

$$\text{進出熱量} = \text{熱容量} \times \text{溫度變化} = \text{質量} \times \text{比熱} \times \text{溫度變化}$$

透過上述的方程式，人們可以順利地處理不同質量、不同材料間的冷熱混合問題，布萊克甚至更進一步地發現：物體在相變過程時，溫度並不會變化。也因此將這種未對溫度變化有所貢獻的熱，稱為「潛熱」。

動動腦，想一想!?

早期的科學家，認為『**溫度就代表物體所包含的熱量多寡**』，而且這樣的想法維持了數十年甚至上百年之久，科學家所提出的原理一定是正確的嗎？你認為要怎麼樣才能確認科學原理的正確性？

活動二 熱質說與熱能說

由於不斷地對熱現象進行研究，人們很自然地想要找出一個可以說明熱本質的理論。18 世紀初期，有些科學家提出熱是一種無色、無味且沒有質量的流質，稱之為熱質。

熱質說

確實可以解釋許多當時所觀察到的熱現象。如右圖，將鐵塊放置於冷水中，透過熱質的擴散流動，經過一段時間之後，鐵塊與冷水達成熱平衡。

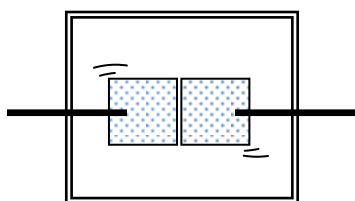
熱質說除了能成功解釋熱量守恆定律之外，它還能夠對於與比熱、潛熱概念相關的實驗結果，提供良好的解釋。因此，熱質說成了 18 世紀熱學領域的主流理論。

但是，熱質這種不具質量的性質，對一些科學家而言，是不可思議的，他們藉由觀察與實驗，試圖替熱的本質找出另一種說法。

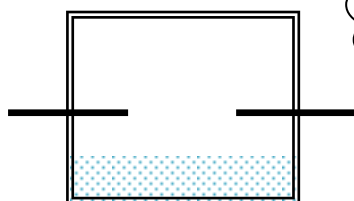


1798 年，英國科學家倫福特 (Count Rumford, 1753 – 1814) 在慕尼黑一間兵工廠監督大砲鑄孔的工作，他觀察到黃銅砲管與鑽頭摩擦後溫度會大幅度的上升，利用冷卻水沸騰氣化所吸收的熱量計算，這些熱量甚至可以使得砲管融化，很明顯地這些熱量不應該來自於砲管內部。而且只要不停的鑽，熱量似乎就可以源源不絕的流出來，這個現象是熱質說無法解釋的，也促使他產生了熱是一種運動的想法。

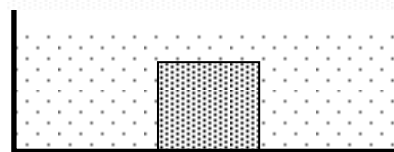
倫福特發表的文章引起了另一個科學家戴維 (Humphry Davy, 1778-1829) 的興趣，1799 年，他設計了一個絕熱的容器，並讓放置於內的兩塊冰塊互相摩擦，結果兩塊冰都融化了。



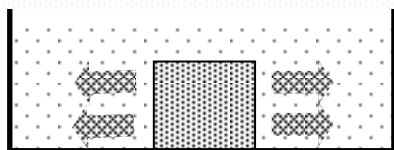
絕熱容器（不會有熱量進出） 兩個冰塊互相摩擦後，融化成水



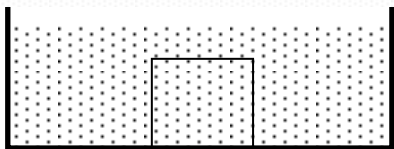
明明沒有熱質流入
冰塊怎ㄟ可能會融化



鐵塊溫度高，熱質濃度大
冷水溫度低，熱質濃度小



熱質由濃度高的區域擴散
到濃度低的區域



熱質濃度相等，達成熱平衡
此時溫度也相等

這兩位科學家的實驗都只是指出了熱質說無法說明的困難處，並沒有更進一步地提出新的學說來取代熱質說，去解釋那些原本熱質說可以圓滿說明的那些熱學現象。因此，熱質說仍然在科學界維持了一段時間。

直到 19 世紀中葉，經營啤酒廠的英國業餘科學家焦耳 (James Prescott Joule, 1818-1889) 先於 1840 年測量了電流通過電阻後所產生的熱量，得出了焦耳定律。1843 年，焦耳更進一步地利用手搖式發電機發電，並將通電線圈放入水中，測量水所吸收的熱量，這個實驗顯示了透過機械做功轉換為電能，再轉換為熱能的過程。



為了能更精準的測出熱功當量，焦耳進行了一系列關於熱量和機械功的測定工作，其中，最著名的，便是在 1847 年所進行的實驗，實驗裝置如右

物體下落時重力所做的功

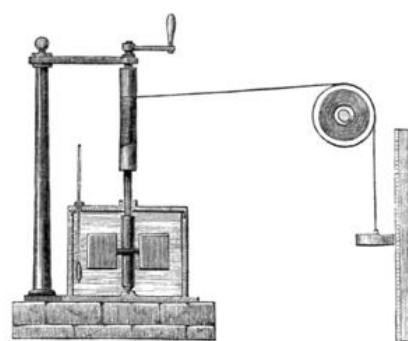
$$W = m \times g \times \Delta H$$

= 熱功當量

絕熱容器內水溫上升所吸收的熱量

$$H = M \times S \times \Delta T$$

當時測出的實驗結果為 4.18 Joul/cal。



焦耳經由實驗認定熱是能量的其中一種形式，並對熱重新加以定義：

『物體間因溫度差、或相變而產生的能量轉移，稱為熱』

動動腦，想一想!?

人們對於熱的本質，經過漫長的時間，由「**熱是一種物質(熱質)**」轉變為「**熱是一種能量**」。你認為從前的理論還有繼續討論的價值嗎？為什麼？

科學研究需要經過科學社群審核，確認其正確性；透過科學社群認同其正確性後，才能獲得科學家們的重視。讀完這段故事後，你覺得科學家是用怎麼樣的判斷準則，來評估一篇科學研究是否重要？科學家的判斷都是科學的嗎？

動動腦，想一想!?

也許是因為業餘實驗愛好者的身分，焦耳的研究工作並沒有立刻引起科學家們的注意，英國皇家學會甚至拒絕發表焦耳有關於熱功當量測定的兩篇較早期論文。1847年，在英國科學促進會年會上，主席僅允許焦耳作簡短的口頭描述，在報告完後，有一個青年人站了起來，對報告內容給予了高度的評價，並以他優越的口才，引起了與會者對焦耳報告的重視與興趣，而這位年輕人，就是日後著名的英國科學家克爾文。



克爾文 Lord Kelvin
(William Thomson, 1824-1907)

科學研究需要經過科學社群審核，確認其正確性；透過科學社群認同其正確性後，才能獲得科學家們的重視。讀完這段故事後，你覺得科學家是用怎樣的判斷準則，來評估一篇科學研究報告是否重要？科學家的判斷都是科學的嗎？



活動三 科學典範轉移

科學典範

透過彼此互相討論，科學家們對於某個概念有著普遍認同的解釋，並且依據這個被科學界所認同的理論，對於其他類似的現象，進行解釋或是設計實驗，這樣的理論或概念通常是某個時期科學家們所信奉的主臬，我們稱之為

18 世紀的熱質說，就是一個科學典範的例子。由於利用熱質說的概念，可以對於當時觀察到的許多熱現象，做出圓滿的解釋。因此，那個時期的科學家，只要是處理熱學的相關問題、設計跟熱有關的實驗、解釋觀察到的熱學現象，幾乎都是以熱質說做為理論的主要依據。

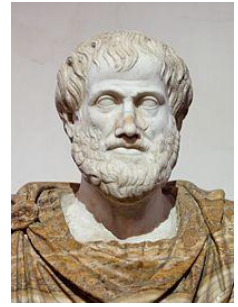
從倫福特對於研磨砲管的觀察、戴維摩擦冰塊使冰塊融化的實驗，一直到焦耳設計熱功當量轉換實驗，花費了許多時間，以及許許多多的實驗，才讓原本信仰熱質說的科學家們，開始轉而相信熱是一種能量。由此可知，在科學社群中建立典範並不容易，要用新的典範推翻舊的典範更是一件艱難的事情。

動動腦，想一想!?

對 18 世紀的多數科學家而言，倫福特、戴維甚至是焦耳的實驗，似乎都不能讓科學家腦袋裡原本所具有「熱是一種物質」的概念，在短時間之內，轉變成為「熱是一種能量」。難道這些實驗所呈現出來的結果，無法說服科學家們改變自己原有的想法嗎？你覺得需要哪些條件，才能夠讓整個科學界改變原本認同的概念(典範轉移)？

人類對於『**真空**』的概念，也有著類似的情形。

希臘哲學家亞理斯多德（Aristotle，西元前 384-322 年）認為，「真空」也就是沒有任何物質存在的空間，是不可思議的，因此，「自然界厭惡真空」的說法，從西元前 4 世紀開始，一直都是科學家們深信不疑的想法。



17 世紀左右，歐洲的採礦業蓬勃發展，為了迅速抽乾礦坑內的積水，水泵開始應用在礦坑的抽水工作上，但是很快的人們便發現，即使使用最好的抽水幫浦，都沒有辦法將水抽到離水面 34 英呎(約 10.3 公尺)以上的高度，伽利略當時聽到這件事後非常的驚訝，但是他並沒有很具體的找出這個問題的答案，直到去世之後，將這個問題留給了他的學生-托里切利(Evangelista Torricelli, 1608-1647)。



大約在 1643 年，托里切利與伽利略的另一個學生維維安尼，在弗羅倫斯利用玻璃管與水銀，一同進行了大家都熟悉的托里切利實驗，托里切利從實驗中意識到從前人們所認為排斥真空的力量，其實就是空氣的重量，由於空氣的重量是有限的，因此能支撐水銀柱的高度也是有限的，由於沒有空氣進入玻璃管，因此水銀上方的空間就是完全的真空，這是第一次做出的人為真空狀態，因而被稱為「托里切利真空」。

托里切利實驗的消息傳到法國之後，引起學術界的熱烈討論，當時年輕的科學家帕斯卡(Blaise Pascal, 1623-1662) 認為：「在自然界中真空不是不可能的，自然界不是像許多人的想像那樣以極巨大的厭惡來排斥真空」，為了驗證托里切利的實驗，他使用密度比水銀小的紅酒與 46 英呎長的玻璃管來進行實驗，也因此得到了一段真空。



他進一步的想到如果水銀柱真的是被空氣重量所擠壓而上升，那麼在高海拔的地方空氣重量較小，水銀柱的高度應該會有所變化。由於帕斯卡的身體健康太差，他請他的兄長帶著水銀實驗裝置，登上當地的多姆山做試驗，果然，在爬上一英里的高度後，水銀柱下降了三英寸，這個實驗結果進一步支持了托里切利關於大氣壓力的觀點。

真空這個現象，慢慢地被科學界所接受，德國馬德堡市的市長蓋里克(Otto von Guericke, 1602-1686) 除了在 1654 年進行大家熟悉的馬德堡半球實驗外，他改良抽氣機後發現，在真空中



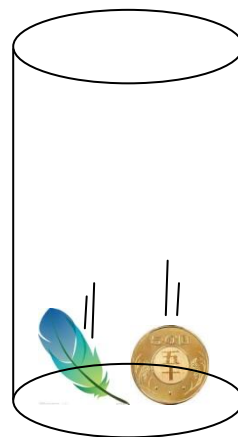
火焰會熄滅、小動物不能存活、水果可以長久保鮮等現象。

在英國的波以耳知道了蓋里克的實驗消息後，他與助手虎克進行抽氣機的改良，獲得更好的真空狀態，並且首次證明了伽利略關於自由落體的描述：「在真空的透明圓筒內，羽毛與鉛塊是同時著地的」。此外，他還證實聲音在真空中不能傳播，靜電力可以穿透真空作用。

動動腦，想一想!?

受到希臘文化的影響，亞理斯多德「自然界厭惡真空」的概念，一直是早期科學家們深信不疑的想法，時間長達十多個世紀。然而到了 17 世紀，在托里切利、帕斯卡、蓋里克與波以耳等科學家一系列的實驗之下，科學家們開始相信「真空是存在的」。

回想一下你所聽過的科學故事，還有沒有類似這樣「科學典範轉移」的案例呢？也試著描述是因為發生了哪些事情，才會造成典範轉移。



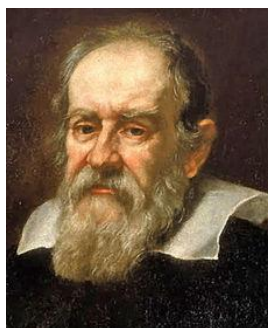
在真空中，兩者同時著地

活動四 科學、科技與社會

熱學

是一門與人類生活息息相關的科學，由於無法對物體的冷熱程度進行定量的測量，因此早期對於熱的研究，並沒有顯著的進展

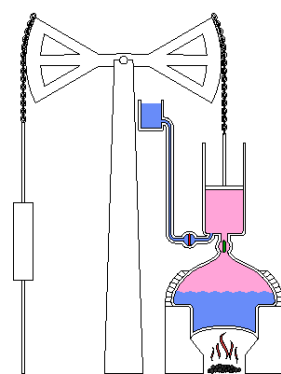
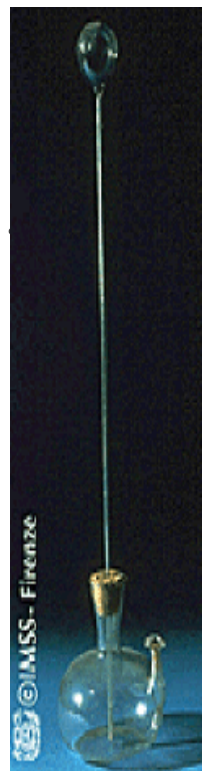
17 世紀初期，由於抽拉玻璃的技術越發進步與純熟，伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642)利用一支細玻璃管，裡面注滿了水，玻璃瓶內空氣的熱脹冷縮，導致的細管內水位會隨著氣溫改變而上升下降，藉由觀察細管內水位的高低，就可以對冷熱程度進行量化，這就是溫度計的原型。



後續的科學家們發現，在固定壓力下，純物質的熔點與沸點均有不變的特性，因此，各式各樣依據不同基準設定的溫標，不斷地在科學界中出現，由於便利性與較符合人類生活習慣的原因，目前在教科書中，比較廣泛應用的是利用水的凝固點與沸點為基準的攝氏溫標，以及研究理想氣體性質時比較方便的絕對溫標。

有了溫度計，就能對熱的相關研究，進行量化的測量，18 世紀人類開始對熱的本質進行一系列的研究與討論，熱質說曾經是科學家們所認同的理論，直到 19 世紀時焦耳的熱功當量實驗，證明了熱其實是一種能量，科學家對於熱的本質也從熱是物質轉變成為熱是一種能量。

隨著人類對於熱的相關知識越來越豐富，蒸氣機效率也逐漸提升，紡織工廠裡的機械取代了紡織工人；蒸氣動力船取代了人力划槳的船，人類經濟的動力逐漸地由人力密集轉換為機械力密集(工業革命)，人類的生活因為科學發展、科技進步出現了極大的變化。



早期的蒸汽機
(托馬斯·紐科門蒸汽機)

動動腦，想一想!?

由於抽拉玻璃技術的成熟，伽利略才能利用玻璃細管做出人類的第一支溫度計；也因為能夠對物體冷熱程度進行量化的測量，科學家們才能對熱現象進行更深入的討論與研究；隨著熱學相關知識的累積，人類才能改良蒸氣機，進而引發工業革命，對人類的社會與經濟活動產生了巨大的影響。由上面敘述的內容中，你覺得科學與科技有何關係？科學與科技是相同的嗎？科學與科技與人類社會，彼此之間有關連嗎？請寫下你的想法。

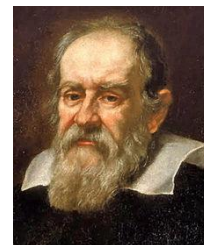
活動五 伽利略的望遠鏡



國際天文聯合會（IAU）與聯合國教科文組織（UNESCO）已共同提出，將 2009 年定為「全球天文年」的決議，這項決議是由伽利略的故鄉義大利所提出，並經第 62 屆聯合國大會正式確定，這一決定主要是為了紀念 1609 年伽利略首次用望遠鏡進行天文觀測 400 週年。「2009 全球天文年」的

主題則訂為「我的宇宙，我來探索！」，這將會是一個重要的全球性活動，它的目的在於傳達科學發現的欣喜，同時使一般大眾都能分享知識提升的喜悅。

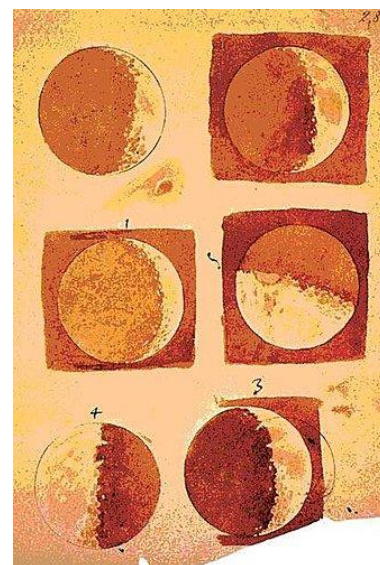
伽利略（Galileo Galilei, 1564-1642）出生於義大利，17 歲時進入比薩大學就讀，當時的學者是由一群『士林哲學』的學者握有權勢，他們主張將天主教教義結合柏拉圖與亞里斯多德的哲學，所以任何事情一律強行套用亞里斯多德的理論來解釋。



伽利略除了大家熟悉的單擺等時性、製作第一支溫度計與自由落體實驗外，在天文學上，他也有著劃時代的重要成就。在 1608 年，伽利略聽說荷蘭的眼鏡商人里帕席能夠利用凸透鏡和凹透鏡放大看見遠處的物體，伽利略取得透鏡後裝在圓筒上做成了人類最早的望遠鏡。由於受到威尼斯市議會的認同，伽利略成為帕多瓦大學的終身教授，這是一個讓許多科學家羨慕的工作。

一開始，望遠鏡僅能放大約 7 倍，經過不斷改良，最後製作出可放大 20 倍的望遠鏡，觀測星體的面積可放大至 400 倍，讓他看見許多意外的天文景象。

那個時候，人們依照亞里斯多德的學說及聖經的教義，認為天上的世界是完美無缺的，月球的表面應該是完全光滑的銀白色。1906 年，伽利略透過改良的望遠鏡，發現月亮和地球一樣，有高山也有深谷，既不平滑，也不光潔。



之後，伽利略又用望遠鏡透過投影的方法去觀測太陽，這是從來沒有人做過的怪事。更奇怪的是他居然看見太陽的表面有黑點，而且這些黑點不停的在移動、在改變，漸漸的又消失了。從伽利略的觀測可看出，太陽及月球都並非當時權威的教廷所說的「完美的球形天體」，因此這些結果都令教廷難以接受。

在伽利略用望遠鏡指向天空的一百年前，哥白尼便曾指出：假如肉眼銳利的話，可以看得見金星也跟月亮一樣有盈虧，伽利略證實了哥白尼的見解是正確的——顯然金星是繞著太陽轉的，而不是繞著地球轉的。他又把望遠鏡指向木星，發現木星有四個衛星，就像是地球的衛星——月亮一樣。這些觀測結果證明並非所有的天體都繞著地球轉，駁斥了教廷宣揚的「地心說」，進而支持了哥白尼的「日心說」。

這一連串的發現，並沒有贏得其他學者們的認同，他們不願意去看伽利略製成的望遠鏡，總以為那根管子裏頭，一定藏有「魔術」。總而言之只要是和亞里斯多德的學說不同，便是斜門歪道。

動動腦，想一想!?

在伽利略那個時代，許多科學家都深信著亞里斯多德的理論可以解釋周遭所有的事物，然而伽利略透過望遠鏡，發現許多與理論相違背的現象。

這些現象都是可以直接透過望遠鏡觀察到的現象，當時的科學家們不相信這些觀察得到的結論，甚至認為望遠鏡所看到的畫面並不是真實的。

你認為科學家們是怎麼樣看待一個能夠推翻自己原有信念的實驗結果？

奇摩新聞 2011/11/21 (路透日內瓦 20 日電)

來自羅馬南方格蘭沙索 (Gran Sasso) 實驗室 OPERA 實驗的科學家發現，微中子的速度似乎比光速更快，他們記錄了來自瑞士歐洲核子研究組織 (CERN) 傳送的微中子束，抵達時間比光速快了 60 奈秒。

這項微中子比光速快的發現在 9 月公布，並於上週獲新實驗支持，引發科學界騷動，因為它似乎指出，愛因斯坦的相對論，以及大部份現代物理的概念都建立在錯誤前提上。

但本週末另外 1 國際科學家團隊 ICARUS 表示，他們認為依據 2 位美國頂尖物理學家最近公開的研究，微中子從日內瓦附近的歐洲核子研究組織傳送到 OPERA 實驗室，倘若微中子的速度真的比光速快一點點，抵達時應該會失去大部分能量。

但 ICARUS 科學家說，他們儀器實際檢測微中子束的能量光譜，與粒子以光速傳輸後應有的能量完全一致，並沒有如預期的會損失大部分能量，因而否決了這項驚人發現

動動腦，想一想!?

愛因斯坦的相對論是目前許多科學家深信不疑的理論，許多理論也是建立在這個基礎上，因此這個微中子比光速快的發現，才會引發許多科學家們的注目。ICARUS 實驗研究團隊透過微中子數的能量光譜並沒有如預期的減少，而認定 OPERA 實驗室所做的實驗有問題。看完這則新聞，你有什麼敢想呢？請試著寫下你的想法。

活動六 光的本質探索活動

粒子說 與 波動說

透過靈魂之窗-眼睛，我們能夠觀察周遭許多美好的事物，『為什麼我們能看見四周的景物?』以及『光到底是什麼?』這一類的問題，從 2000 多年前開始，就一直是讓科學家們苦思的問題。



牛頓 Isaac Newton
(1643–1727) 英



惠更斯 Christiaan Huygens
(1629–1695) 荷

在 17 世紀時，科學家們對於光的相關性質，已經做了一系列的研究，也對於光的本質有兩種不同的論述『粒子說』與『波動說』。請依據你所分配到的組別，試著對當時所觀察到的光學現象，提出合理的解釋。



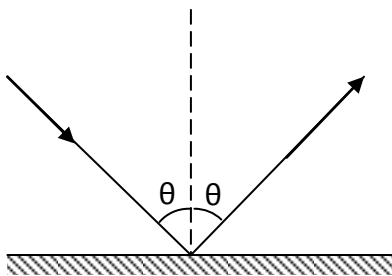
我認為光是

座號: _____

姓名: _____

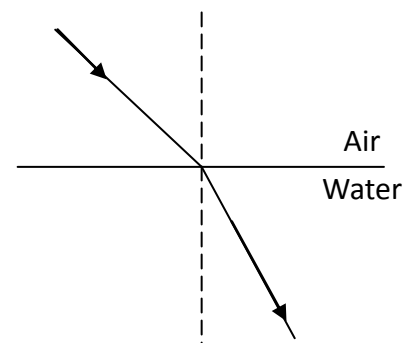
現象 01

光遇到光滑平面，會反射。且入射角=反射角 (反射)



現象 02

光從空氣進入水中，行進方向會改變，偏向法線 (折射)



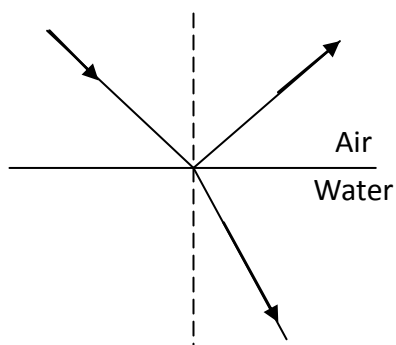


依據你上面解釋的理由，請你預測

光在空氣中的速度 _____ 光在水中的速度 (大於、小於或等於)

現象 03

光線進入不同的透明介質時，會發生部分反射，部分折射的現象



現象 04

透過三稜鏡的折射，白光可分為紅、橙、黃、綠....紫等七彩的顏色 (色散現象)



現象 05

在同一介質中，光線延直線前進。(直進現象)

現象 06

在真空中，聲音不能傳遞；但是光線可以傳遞。

微粒說與波動說的戰爭

座號：_____ 姓名：_____

座號：_____ 姓名：_____

活動一

『微粒說』與『波動說』對於光學現象所做解釋的合理性

在前一次的活動中，我們已經請各位同學試著利用『微粒說』與『波動說』，對於 17 世紀科學家們所觀察到的光學現象提出解釋。

請與同組的同學互相討論一下，你認為這些解釋合理嗎？如果合理的話請在該項格子中打✓，如果不合理請打 X，並試著寫下你的論點。

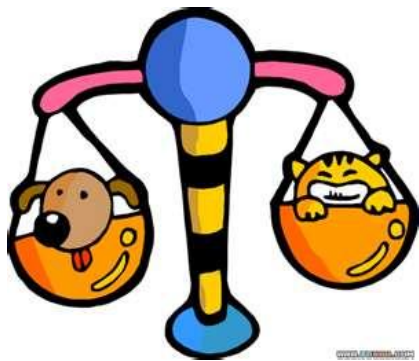
微粒說	光的現象	波動說
	光有不同的顏色	
	光可以穿越真空	
	光的直進現象	
	光的反射定律	
	光的折射定律	
	光的干涉現象	
	光的繞射現象	



我覺得不合理的地方在....

活動二

如果你是 17 世紀的科學家，你會相信哪個論點？



猜猜看 當時的科學家比較相信
光的波動理論 還是 光的粒子理論

科學家是藉由哪些觀點來判斷那個理論
是正確的？請試著將你的想法寫在下面。



光到底是什麼？



光是波動!!



光是粒子!!

附錄二 PISA 類型學習成就評量

題組 01：熱學

試題

閱讀完下列文章後，回答後續相關問題：

為了測量某一金屬的比熱，小明與小華進行了以下的實驗：

將冷水 100g 倒入熱容量為 80cal/°C 的量熱器中，測得平衡時溫度為 20°C。再將一質量為 200g 溫度為 80°C 的熱金屬塊置入量熱器中，再次達成熱平衡時，整個系統的溫度為 35°C。在計算金屬比熱時，小明與小華有著不同的主張：

小明認為：物體在溫度變化時，熱量會有所變化，其熱量變化量

$$\Delta H = \text{熱容量 } C \times \text{溫度變化 } \Delta T$$

由於熱平衡前後，系統並無熱量損失。因此，可將上述實驗數據列式為

$$100 \times 1 \times (35 - 20) + 80 \times (35 - 20) + 200 \times S \times (35 - 80) = 0$$

$$\text{可計算出此金屬的比熱 } S = \frac{100 \times 15 + 80 \times 15}{200 \times 45} = \frac{2700}{9000} = 0.3 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

小華認為：物體溫度越高，所含熱量越多。在溫度為 T 時，物體所擁有的熱量 H 可表示為 $H = \text{熱容量 } C \times \text{物體溫度 } T$

因此，熱平衡前系統總熱量 $100 \times 1 \times 20 + 80 \times 20 + 200 \times S \times 80$

熱平衡後系統總熱量 $100 \times 1 \times 35 + 80 \times 35 + 200 \times S \times 35$

熱平衡前後並無熱量損失，因此可列式為

$$100 \times 1 \times 20 + 80 \times 20 + 200 \times S \times 80 = 100 \times 1 \times 35 + 80 \times 35 + 200 \times S \times 35$$

$$\text{可計算出此金屬的比熱 } S = \frac{100 \times 15 + 80 \times 15}{200 \times 45} = \frac{2700}{9000} = 0.3 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

問題 01：溫度與熱量的關係

兩人對於溫度與熱的關係，有著不一樣的主張，但是依據他們各自論述的理論，進行實驗數據的計算，卻得到相同的金屬比熱結果。對於這兩個不同的論述，你認為哪一個是正確的？

- (A) 小明 (B) 小華 (C) 兩者均正確 (D) 兩者均不正確

問題 02、03：實際生活中的冷熱水混合問題

試題

閱讀完下列文章後，回答後續相關問題：

在學會熱平衡的相關知識後，小輝打算自己進行冷熱水混合實驗，以下為實驗的步驟：

Step01. 首先測量空玻璃杯的質量 $M = 320\text{g}$

Step02. 再將 60°C 的熱水倒入玻璃杯中，並測量總質量為 $M_1 = 400\text{g}$

Step03. 接著再倒入 10°C 的冷水，攪拌後測得水溫為 $T^{\circ}\text{C}$

Step04. 測得整個實驗裝置的總質量為 720g

問題 02：實際生活中的冷熱水混合問題

如果只考慮冷熱水的熱平衡，在不考慮其它因素的影響下，則冷水與熱水達成熱平衡時，溫度應為多少 $^{\circ}\text{C}$ ？

問題 03：實際生活中的冷熱水混合問題

若考慮當時實驗環境的溫度對於實驗所造成的影響，請估計一下，冷熱水攪拌之後所測得的水溫 T ，與 20°C 相比，偏高？偏低？或是等於 20°C ？

請簡單描述你作答的理由。

問題 04~05：力學能與熱能轉換問題

試題

閱讀完下列文章後，回答後續相關問題：

科學家曾經利用「熱是一種物質」的概念，來解釋熱學現象，但是這樣的理論並不能對所有的熱學現象提供合理的解釋，因此，在 18、19 世紀許多科學家的努力之下，「熱是一種能量」的概念，成為了科學家們在處理熱學問題時的新科學典範。在說服科學家們由「熱是一種物質」轉換為「熱是一種能量」的過程中，最令大家耳熟能詳的實驗，就是焦耳的熱功當量實驗。經由實驗，焦耳得知 1 卡的熱能相當於 4.2 焦耳的功。

有一個與焦耳有關的科學小故事：在蜜月旅行的路途中，曾經過法國阿爾卑斯接近夏綠地的一個有名瀑布，瀑布高度為 120m，約 40 層樓高。焦耳嘗試利用從瀑布落下的水來證明力學能與熱能可相互轉換的觀念，因此，帶了一隻大型的溫度計去測量瀑布上方與下方水潭的水溫差。

問題 04：力學能與熱能轉換問題

請你估計一下，焦耳利用溫度計測量瀑布上下兩處的水溫後，兩次測量結果的水溫差大約為多少？請列式說明



對於下列陳述，你同意的程度有多少？請針對每一段敘述，勾選最符合你感受的一個選項。

	非常 同意	同意	不同意	非常 不同意
1. 對於熱質說與熱能說的內容，以及科學家如何利用實驗說服其他人相信熱是一種能量的科學故事，我覺得很有趣，並願意花時間去閱讀相關的資訊。				
2. 將課本上所學到的熱學知識應用在實際生活，是一件有趣的事。				
3. 我能應用熱學的相關知識，來解釋生活周遭發生的熱學現象。				
4. 利用理論所計算出的結果，經常與生活遇到的實際情形不符合。因此，科學知識對於實際生活並沒有明顯的幫助。				

題組 02：大氣壓力

試題

閱讀完下列文章後，回答後續相關問題：

17 世紀左右，歐洲的採礦業蓬勃發展，為了迅速抽乾礦坑內的積水，水泵開始應用在礦坑的抽水工作上，但是很快的人們便發現，即使使用最好的抽水幫浦，都沒有辦法將水抽到離水面 34 英尺(約 10.3 公尺)以上的高度。

經過伽利略、托里切利、帕斯卡等人的研究後，我們了解大氣壓力來自於大氣層的重量，大小約與 76cm 水銀柱所造成的壓力相等。

問題 01：大氣壓力

為了能夠讓每一樓層的住戶都能使用自來水，高樓大廈的水塔多數是設置在大樓的最頂層。

由於自來水公司的供水管線通常是埋在地底，導致位於大樓最頂層的水塔與供水管水源之間，往往有著五層樓(約 15 公尺)甚至更大的高度差。

對於如何將地底管線的自來水送到樓頂的水塔，下列四個學生有著不同的見解。你覺得下列哪一個說法最合理？

水塔：
我在這裡!!!

自來水：
我在這裡!!!



- (A) 小甲：「在水塔處設置抽水幫浦，藉用大氣壓力的協助，就可將下方的水抽至位於高處的水塔。」
- (B) 小乙：「在地下室設置水泵，將水加壓後，即可將下方的水推至高處的水塔」
- (C) 小丙：「利用虹吸管的原理，就可以將下方的水送至高處的水塔」
- (D) 小丁：「只要將自來水廠設置在夠高的地方，例如水壩壩頂，利用連通管原理，即可將水送至大樓各樓層，水塔只是事先蓄水，防止臨時停水」

閱讀完下列文章後，回答後續相關問題：

帕斯卡認為如果水銀柱真的是被空氣重量所擠壓而上升，在高海拔的地方空氣重量較小，水銀柱的高度應該會有所變化。因此，請他的兄長帶著水銀實驗裝置，登上約一英里高度的高山後，發現水銀柱下降了三英寸。這個實驗結果進一步驗證了「大氣壓力來自於大氣層重量」的觀點。

〔備註：1 英里約為 1.61 公里；1 英寸約為 2.54 公分〕

問題 02：大氣壓力

某天阿呆爬上某座高山山頂，在山頂休息時，因肚子餓想吃些點心來補充體力，拿出在山下便利商店所購買的點心時，卻發現點心包裝的外觀似乎有膨脹的現象(如右圖)。

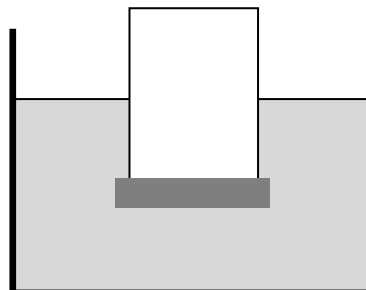
同行的夥伴們看到後，紛紛提出解釋，下列關於此現象解釋的說法，何者最合理？



-
- (A) 胖胖：「這是因為食物發生腐敗，產生氣體使得包裝膨脹。」
- (B) 喜姆：「這是因為在包裝過程中，填充氮氣時，填入了過量的氮氣，才會看來比平常的還要膨脹。」
- (C) 波妞：「因為在高山上氣壓較低，原本包裝內氮氣的氣壓大於高山氣壓，為了跟外界壓力達成平衡，才會導致包裝膨脹。」
- (D) 丁丁：「平常買的包裝就是這個樣子，不需要大驚小怪！」

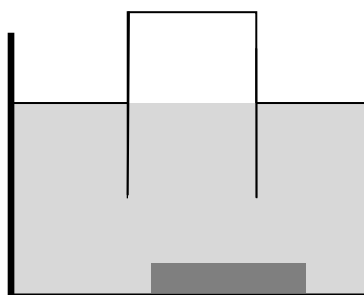
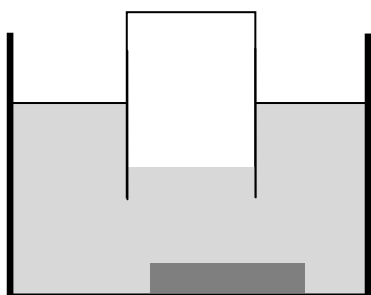
當阿呆到達高山的山頂時，想利用玻璃瓶將山上的空氣帶回平地。若他先在高山山頂打開瓶蓋，放置一段時間後，再緊緊地將瓶蓋鎖緊，放入背包中循原路回到山下。

當阿呆回到平地拿出玻璃瓶後，將玻璃瓶倒置入水槽中，如右圖，在水中將瓶蓋鬆開，此時應該會觀察到的現象為



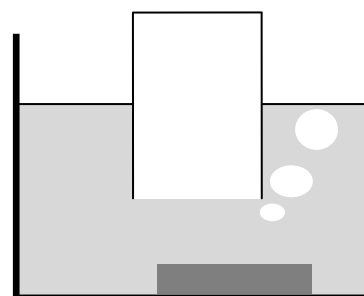
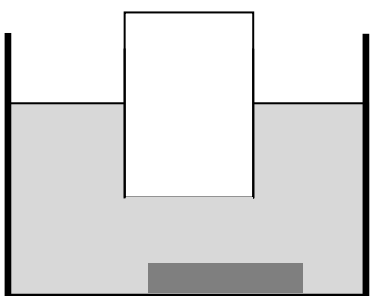
(A) 瓶內水面上升（低於外界水面）

(B) 瓶內水面上升（與外水面等高）



(C) 瓶內水面保持不變

(D) 瓶內空氣形成泡泡，溢出瓶外



問題 04：大氣壓力

試題

由帕斯卡的實驗得知，登上約一英里高度的高山，水銀柱下降約三英寸的高度。〔備註：1 英里約為 1.61 公里；1 英吋約為 2.54 公分〕

阿呆藉由實驗計算後，發現從高山山頂帶回的玻璃瓶，瓶內氣壓約為 71cm-Hg，而當時平地氣壓約為 76 cm-Hg。

利用上述資訊，請評估一下，阿呆所登高山山頂的高度約為多少公尺？

問題 05：大氣壓力

對於下列陳述，你同意的程度有多少？請針對每一段敘述，勾選最符合你感受的一個選項。

	非常 同意	同意	不同意	非常 不同意
1. 我有興趣了解並嘗試解釋，在日常生活中與大氣壓力有關的現象。				
2. 我能舉出其他的例子說明，大氣壓力在生活中應用的實例。				

題組 03：水中的吸管

試題

閱讀完下列文章後，回答後續相關問題：

折射是生活中常見的現象，水中的吸管像似被折斷似的彎曲、游泳池的深度看起來總是覺得比較淺、雨後天空中彩虹的形成...等，都是光線折射所形成的現象。

小明利用吸管、燒杯及水進行實驗，探究光的折射現象，他在燒杯內倒入七分滿的水後，將吸管放入水中，觀察吸管在水中的變化情形，並拍照進行分析。下列各圖為小明所拍攝到吸管在水中的變化情形。

(A)



(B)



(C)



(D)



(E)



問題 01：水中的吸管

對於下列陳述，你同意的程度有多少？請在每一行內只勾選一個方格。

	非常 同意	同意	不同意	非常 不同意
1. 對於筷子在水中呈現不同的成像變化，我願意更深入的探究其原因。				
2. 我有興趣了解並嘗試解釋水中筷子折斷現象和彩虹形成的原因。				
3. 我能舉證其他例子說明光線的折射現象。				

問題 02：水中的吸管

試題

小明將拍攝到的相片分享給同學看，同學對於其中一張水面下吸管消失不見的照片（如右圖），特別感興趣，紛紛提出解釋，下列關於同學的說法，何者最合理？



- (A) 小丁：「吸管本身不發光，沒有光線進入眼睛，故無法看見吸管」。
- (B) 小丙：「吸管並沒有插入水面下，不會有反射光線射出，故無法看見水面下的吸管」。
- (C) 小乙：「水中吸管反射出的光線並沒有穿透玻璃杯，故無法拍攝到影像」。
- (D) 小甲：「相機所在位置，無法捕捉到水中吸管反射出的光線，故無法拍攝到影像」。

閱讀完下列文章後，回答後續相關問題：

小明查閱資料發現光在傳播時，若經兩個不同「介質」的界面，由於介質傳遞光的速率不同，會在界面產生「折射」，導致光線前進方向發生改變，就如同插入水中的筷子好像折斷一般。當光從傳播速度慢的密介質進入傳播速度快的疏介質時，會有一部分折射，一部分反射(圖A)，當入射的光線和法線的夾角超過某一角度時，光線會全部反射而沒有折射(圖B)，此時稱之為「全反射」。反之，如果光從傳播速度快的疏介質進入傳播速度慢的密介質，則不會發生全反射的現象。

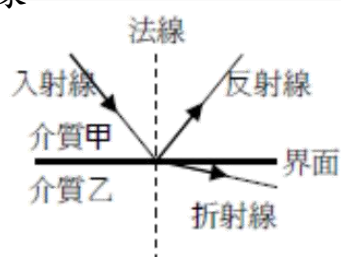


圖 A 光進入不同介質產生
部分反射、部分折射

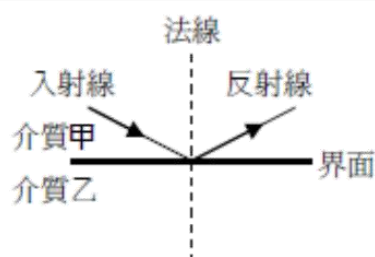


圖 B 光進入不同介質
產生全反射

現代的光纖通訊是用光訊號的強弱變化，代表不同的訊息。將帶有訊息的光束入射光纖的一端，光纖便會引導光束傳播到另一端的接收器，再經由轉換器將光訊號還原，便可得回原本的訊息。所謂「光纖」便是使用兩種不同介質的同軸纜線(圖C)，讓光利用「全反射」的原理進行傳遞(圖D)，如此一來光訊號就不會外洩，訊息可傳播很長的距離而不需設中途轉駁站。

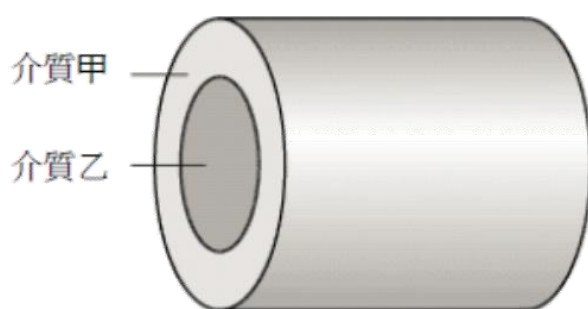


圖 C 光纖的切面

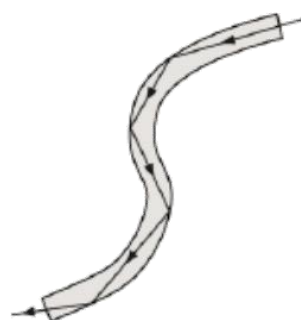


圖 D 光在光纖中的傳播情形

問題 03：水中的吸管

試題

請問，從文中敘述判斷，光在圖 C 介質甲和介質乙中傳播速率的快慢為何？
為何內外的介質要做如此安排？

問題 04：水中的吸管

請問，利用光纖來傳播光訊號有什麼優點？

題組 04：光的干涉與繞射

試題

閱讀完下列文章後，回答後續相關問題：

由於可見光的波長極短，為了要測量可見光波長，從前的科學家們花費了許多努力，藉由光干涉、繞射的現象，才成功地測量出不同色光的波長。

薄膜干涉是一種很常見的光干涉現象，17 世紀時，英國的科學家虎克就曾經觀察到這個現象，但是因為不知道如何才能估算出薄膜的厚度，導致無法更進一步地測量光的波長。

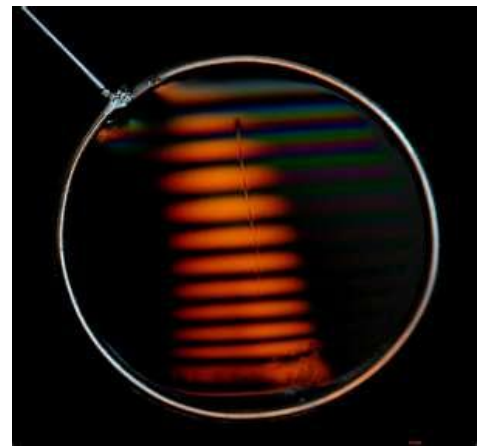
問題 01：光的干涉與繞射

小皓希望透過下列實驗步驟，進行薄膜厚度的測量：

Step01. 將 50cc 的油裝入滴管中，讓油一滴一滴的落下，統計滴管內的油滴完後，總共落下的油滴數量為 103 滴。

Step02. 取出一盛有八分滿水的燒杯，其杯口可視為一直徑為 10cm 的圓，自滴管滴入 1 滴油後，可立即發現在水面上有一層薄薄的油膜。

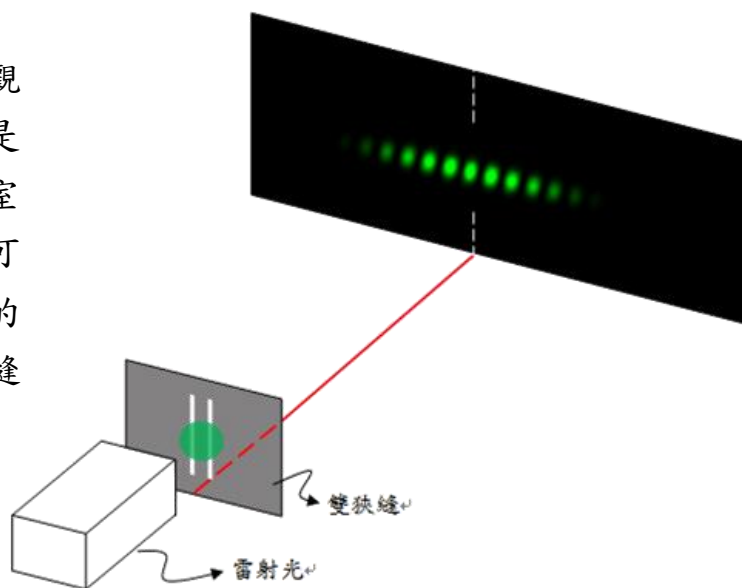
Step03. 觀察油膜上方反射光線後的顏色，可以清楚看見油膜上方的彩色干涉圖案。



肥皂泡膜上的干涉圖案

藉由上述的實驗資訊，請問當時在水面上的油膜厚度約為多少？

由於科技的進步，現在要觀察光的干涉、繞射現象已經不是一件很困難的事情，利用實驗室中的雷射光源以及狹縫片，便可在任何環境中產生單色同調光的干涉、繞射現象，右方為雙狹縫干涉實驗的示意圖。



問題 02：光的干涉與繞射

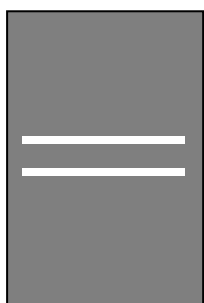
小皓利用原字筆在白紙上記錄了屏幕上的干涉圖樣，如下圖所示。如果小皓將狹縫片的狹縫方向旋轉 90° ，屏幕上的干涉圖案應該會有何變化？請試著用文字描述或是用圖畫表示，旋轉狹縫後干涉圖樣的變化



原本狹縫的放置方向（垂直地面）



原本屏幕上的干涉圖樣

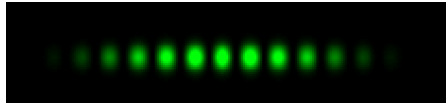


後來狹縫的放置方向（平行地面）

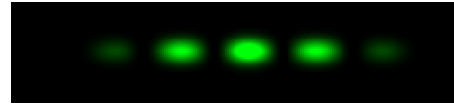


後來屏幕上的干涉圖樣

糊塗的小皓在實驗過程中，改變了一個變因，使得在屏幕上的觀測圖案由



原本屏幕上的干涉圖樣

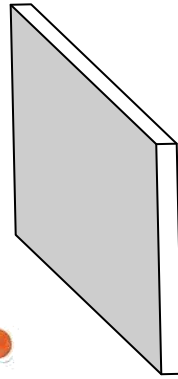
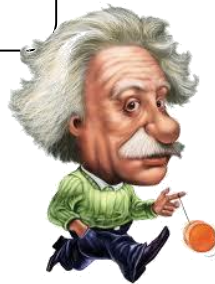


後來屏幕上的干涉圖樣

請問小皓可能是做了什麼改變，才會導致干涉圖樣的變化？（多選題）

- (A) 增加雷射光的波長
- (B) 增加屏幕與狹縫片的距離
- (C) 減少兩狹縫之間的間距
- (D) 減少狹縫的寬度
- (E) 減少雷射光的亮度

我聽得見胖丁的聲音!!
可是卻看不見胖丁~
到底發生什麼事情?!?



反射、折射、干涉與繞射是波動的現象，也常常被視為波動的特徵。

在生活經驗中，我們常常會發現就算隔著一面牆壁，仍然可以清楚聽見別人的聲音，但是，卻看不見發出聲音的人。關於這類的生活經驗，你覺得形成這種現象的原因為何？

附錄三 學習感受問卷

科學史與科學本質相關問題 融入高中熱學課程 問卷

問卷說明

在第一章熱學的課程中，老師試著將一些非制式課程的內容，包括從前的科學家對於熱的想法，以及一些比較需要深思才能回答的問題，放入教學內容中，不知道各位同學喜歡這樣的教學模式嗎？

為了讓老師能夠更了解你們對於這種上課方式的想法，接下來的問題請依據你在課堂上的感受，選擇最符合你的感受的選項。

本問卷並無正確答案，因此只要依據你在課堂中，對於這樣上課方式的感覺選答即可。

問 卷 開 始 囉

01. 我覺得將非制式課程的資訊放進教學中，會造成學習上更多的負擔。	非常同意	同 意	不 同 意	非常不同意
02. 在課堂中進行非制式課程內容的討論，讓我獲益良多。	非常同意	同 意	不 同 意	非常不同意
03. 在概念介紹的過程中，讓我知道從前科學家有過哪些錯誤的想法，對我的學習是有幫助的。	非常同意	同 意	不 同 意	非常不同意
04. 老師所提供的討論問題，對我來說，回答這些問題是很困難的。	非常同意	同 意	不 同 意	非常不同意
05. 老師所提供的討論問題，對我來說，回答這些問題是枯燥乏味的。	非常同意	同 意	不 同 意	非常不同意
06. 我希望能在課程中多增加一些相關科學家的故事。	非常同意	同 意	不 同 意	非常不同意
07. 我希望老師能多提供一些這類型的問題讓我們思考。	非常同意	同 意	不 同 意	非常不同意
08. 透過這樣的課程，讓我對於科學家的認識有了很大的轉變。	非常同意	同 意	不 同 意	非常不同意
09. 透過這樣的課程，讓我對於科學理論的發展，有了更完整的認識。	非常同意	同 意	不 同 意	非常不同意
10. 我覺得這樣的課程應該放在升學壓力較小的高一階段比較適合。	非常同意	同 意	不 同 意	非常不同意
11. 我覺得增加這些課外內容，可以讓學習更加有趣。	非常同意	同 意	不 同 意	非常不同意
12. 我喜歡這樣的上課模式。	非常同意	同 意	不 同 意	非常不同意

[問題 01]

在第一章熱學大約 12 堂課的時間中，老師一共進行了四次『動動腦想一想』活動，哪一次討論的問題讓你印象深刻？為什麼？

[問題 02]

老師在課程中加入一些從前的科學家對於熱的想法，以及一些需要深思才能回答的問題，你是否喜歡這樣的內容？請給老師一些建議。

附錄四 科學史教學 PPT

活動一 布爾哈夫疑難

1-1 熱容量與比熱

重點二 什麼是 **熱** ?



布爾哈夫 (Herman Boerhaave, 1668-1738)

關於熱是什麼這個問題，荷蘭萊頓大學教授布爾哈夫，提出「熱」是一種不占空間、不具質量且會流動的物質，稱為熱質 Caloric，吸收或釋放熱質的多寡稱為熱量。

熱是一種物質

1-1 熱容量與比熱

重點二 什麼是 **熱** ?

等一等!!

國中老師說：熱是一種能量，不是物質，老師你教錯了吧!!



關於熱是什麼這個問題，荷蘭萊頓大學教授布爾哈夫，提出「熱」是一種不占空間、不具質量且會流動的物質，稱為熱質 Caloric，吸收或釋放熱質的多寡稱為熱量。

熱是一種物質

第1章 熱學

熱是一種物質

1-1 熱容量與比熱

1-2 物質的三態變化與潛熱

1-3 焦耳實驗與熱功當量

1-4 熱膨脹

1-5 壓力與大氣壓力

1-6 理想氣體方程式

1-7 氣體動力論

熱是一種能量

焦耳 (James Prescott Joule, 1818-1889)

1-1 熱容量與比熱

重點二 什麼是 **熱** ?

在十八世紀中葉以前，科學家認為「溫度」與「熱」並沒有什麼不同

溫度高低即代表物體含熱的多寡

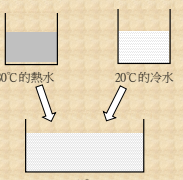
這樣的觀念，解釋某些現象時，是沒問題的

1-1 熱容量與比熱

溫度高低代表物體含熱的多寡

重點二 什麼是 **熱** ?

等質量的冷熱水混合時...



80°C 的熱水

20°C 的冷水

50°C

熱水：共放出(80°C - 50°C)的熱量

冷水：共吸收(50°C - 20°C)的熱量

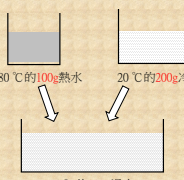
可推論出熱量守恆的論述：「物體混和時，熱不會產生或消滅」。

1-1 熱容量與比熱

溫度高低代表物體含熱的多寡

重點二 什麼是 **熱** ?

當質量不相等的冷熱水混合時...



80°C 的100g熱水

20°C 的200g冷水

40°C 的300g溫水

熱水：共放出(80°C - 40°C)的熱量

冷水：共吸收(40°C - 20°C)的熱量

放出熱量 ≠ 吸收熱量，熱量不守恆!!

1-1 熱容量與比熱

重點二 什麼是 **熱** ?

當質量不相等的冷熱水混合時...



80°C 的100g熱水

20°C 的200g冷水

40°C 的300g溫水

熱水：共放出(80°C - 40°C)的熱量

冷水：共吸收(40°C - 20°C)的熱量

放出熱量 ≠ 吸收熱量，熱量不守恆!!

這樣的問題，顯示了溫度高低代表物體含熱多寡的概念是有問題的，因此被稱為『布爾哈夫疑難』

活動二 熱質說與熱能說

1-3 焦耳實驗與熱功當量

1. 熱質說：

由於不斷地對熱現象進行研究，人們很自然地想要找出一個可以說明熱本質的理論。

18世紀初期，有些科學家提出熱是一種無色無味、不佔體積且沒有質量的流質，稱之為熱質。



熱是一種物質

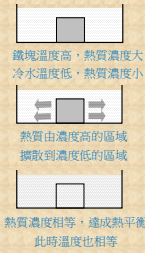
01

1-3 焦耳實驗與熱功當量

1. 熱質說：

熱質說確實可以解釋許多當時所觀察到的熱現象。如右圖，將鐵塊放置於冷水中，透過熱質的擴散流動，經過一段時間之後，鐵塊與冷水達成熱平衡。

熱質說除了能成功解釋熱量守恆定律之外，它還能夠對於與比熱、潛熱概念相關的實驗結果，提供良好的解釋。因此，熱質說成了18世紀熱學領域的主流理論。



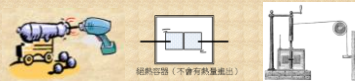
02

1-3 焦耳實驗與熱功當量

2. 對熱質說的質疑：

熱質不具質量的性質，對一些科學家而言，是不可思議的，他們藉由觀察與實驗，試圖替熱的本質找出另一種說法。

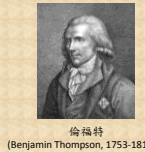
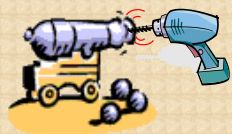
在這些質疑熱質說的觀察與實驗中，最有名的是倫福特、戴維與焦耳所進行的實驗。



03

1-3 焦耳實驗與熱功當量

2-1. 倫福特 (Count Rumford)：



而且只要不停的鑽，熱量似乎就可以源源不絕的流出來 → 砲管內的熱質是無窮無盡的

04

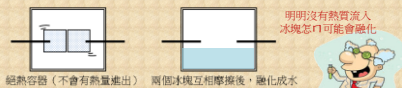
1-3 焦耳實驗與熱功當量

2-2. 戴維：

倫福特發表的文章引起了另一個科學家戴維的興趣，1799年，他設計了一個絕熱的容器，並讓放置於內的兩塊冰塊互相摩擦，結果兩塊冰都融化了。



戴維 (Humphry Davy, 1778-1829)



05

1-3 焦耳實驗與熱功當量

這兩位科學家的實驗都只是指出了熱質說無法說明的困難處，並沒有更進一步地提出新的學說來取代熱質說，去解釋那些原本熱質說可以圓滿說明的那些熱學現象。因此，熱質說仍然在科學界維持了一段時間。



06

1-3 焦耳實驗與熱功當量

2-3. 焦耳：

直到19世紀中葉，經營啤酒廠的英國業餘科學家焦耳

在1840年測量了電流通過電阻後所產生的熱量，得出了焦耳定律。

$$\text{電阻熱功率 } P = \frac{\text{電阻兩端電壓 } V^2}{\text{電阻 } R}$$



焦耳 (James Prescott Joule, 1818-1889)

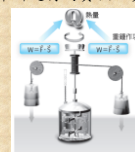
1843年，焦耳更進一步地利用手搖式發電機發電，並將通電線圈放入水中，測量水所吸收的熱量，這個實驗顯示了透過機械做功轉換為電能，再轉換為熱能的過程。

07

1-3 焦耳實驗與熱功當量

2-3. 焦耳：

為了能更精準的測出熱功當量，焦耳進行了一系列關於熱量和機械功的測定工作，其中，最著名的，便是在1847年所進行的實驗，實驗裝置如下



焦耳 (James Prescott Joule, 1818-1889)

08

1-3 焦耳實驗與熱功當量

2-4. 焦耳熱功當量實驗：

焦耳在1850年發表熱功當量

$$\frac{\text{功 (焦耳)}}{\text{熱 (卡)}} = 4.18 \text{ (公認值)}$$



焦耳 (James Prescott Joule, 1818-1889)

熱功當量表示熱與功之間是可以轉換的。

系統吸收1cal的熱量，相當於外界對系統作4.18J的功。

焦耳經由實驗認定熱是能量的其中一種形式，並對熱重新加以定義：

『物體間因溫度差、或相變而產生的能量轉移，稱為熱』

09

1-3 焦耳實驗與熱功當量

動動腦，想一想！?

人們對於熱的本質，經過漫長的時間，由「熱是一種物質(熱質)」轉變為「熱是一種能量」。你認為從前的理論還有繼續討論的價值嗎？為什麼？



10

1-3 焦耳實驗與熱功當量

動動腦，想一想!?

也許是因為業餘實驗愛好者的身分，焦耳的研究工作並沒有立刻引起科學家們的注意，英國皇家學會甚至拒絕發表焦耳有關於熱功當量測定的兩篇較早期論文。

1847年，在英國科學促進會年會上主席僅允許焦耳作簡短的口頭描述，在報告完後，有一個青年人站了起來，對報告內容給予了高度的評價，並以其優越的口才，引起了與會者對焦耳報告的重視與興趣，而這位年輕人，就是日後著名的英國科學家克爾文。



(Lord Kelvin, 1824-1907)

11

1-3 焦耳實驗與熱功當量

動動腦，想一想!?

科學研究需要經過科學社群審核，確認其正確性透過科學社群認同其正確性後，才能獲得科學家們的重視。讀完這段故事後，你覺得科學家是用怎麼樣的判斷準則，來評估一篇科學研究報告的正確性？科學家的判斷都是科學的嗎？

12

活動三 科學典範轉移

動動腦，想一想

透過彼此互相討論，科學家們對於某個概念有著**普遍認同的解釋**，並且依據這個被**科學界所認同的理論**，對於其他類似的現象，進行解釋或是設計實驗，這樣的理論或概念通常是某個時期科學家們所信奉的主張，我們稱之為

科學典範

01

動動腦，想一想

18世紀的**熱質說**，就是一個科學典範的例子。由於利用熱質說的概念，可以對於當時觀察到的許多熱現象，做出圓滿的解釋。因此，那個時期的科學家，只要是處理熱學的相關問題，設計跟熱有關的實驗、解釋觀察到的熱學現象，幾乎都是以熱質說做為理論的主要依據。

科學典範

02

動動腦，想一想

從倫福特對於研磨砲管的觀察、戴維摩擦冰塊使冰塊融化的實驗，一直到焦耳設計熱功當量轉換實驗，花費了許多時間，以及許許多多的實驗，才讓原本**信仰熱質說**的科學家們，開始轉而相信**熱是一種能量**。由此可知，在科學社群中建立典範並不容易，要用新的典範推翻舊的典範更是一件艱難的事情。

科學典範

03

動動腦，想一想

對18世紀的多數科學家而言，倫福特、戴維甚至是焦耳的實驗，似乎都不能讓科學家腦袋裡原本所具有「**熱是一種物質**」的概念，在短時間之內，轉變成為「**熱是一種能量**」。難道這些實驗所呈現出來的結果，無法說服科學家們改變自己原有的想法嗎？你覺得需要哪些條件，才能夠讓整個科學界改變原本認同的概念(典範轉移)？

科學典範

04

1-5 壓力與大氣壓力

2. 大氣壓力:

希臘哲學家亞里斯多德認為「真空」也就是沒有任何物質存在的空間，是不可思議的，因此「**自然界厭惡真空**」的說法，從西元前4世紀開始，一直都是科學家們深信不疑的想法。



亞里斯多德 (Aristotle, 西元前384-322年)

05

1-5 壓力與大氣壓力

2. 大氣壓力:

17世紀左右，歐洲的採礦業蓬勃發展，為了迅速抽乾礦坑內的積水，水泵開始應用在礦坑的抽水工作上，但是很快的人們便發現，即使使用最好的抽水幫浦，都沒有辦法將水抽到離水面**34英尺(約10.3公尺)**以上的高度。



06

1-5 壓力與大氣壓力

2. 大氣壓力:

伽利略當時聽到這件事後非常的驚訝，但是他並沒有很具體的找出這個問題的答案，直到去世之後，將這個問題留給了他的學生托里切利(Evangelista Torricelli, 1608-1647)。



伽利略



托里切利

07

1-5 壓力與大氣壓力

2. 大氣壓力:

大約在1643年，托里切利與伽利略的另一個學生維維安尼，在弗羅倫斯利用玻璃管與水銀，一同進行了大家都熟悉的托里切利實驗。



08

1-5 壓力與大氣壓力

2. 大氣壓力:

托里切利從實驗中意識到從前人們所認為排斥真空的力量，其實就是空氣的重量，由於空氣的重量是有限的，因此能支撐水銀柱的高度也是有限的，由於沒有空氣進入玻璃管，因此水銀上方的空間就是完全的真空，這是第一次做出的人為真空狀態，因而被稱為「托里切利真空」。



09

1-5 壓力與大氣壓力

2. 大氣壓力:

托里切利從實驗中意識到從前人們所認為排斥真空的力量，其實就是空氣的重量，由於空氣的重量是有限的，因此能支撐水銀柱的高度也是有限的，由於沒有空氣進入玻璃管，因此水銀上方的空間就是完全的真空，這是第一次做出的人為真空狀態，因而被稱為「托里切利真空」。

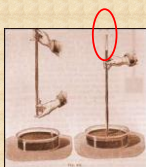


10

1-5 壓力與大氣壓力

2. 大氣壓力:

托里切利從實驗中意識到從前人們所認為排斥真空的力量，其實就是空氣的重量，由於空氣的重量是有限的，因此能支撐水銀柱的高度也是有限的，由於沒有空氣進入玻璃管，因此水銀上方的空間就是完全的真空，這是第一次做出的人為真空狀態，因而被稱為「托里切利真空」。



11

1-5 壓力與大氣壓力

2. 大氣壓力:

托里切利實驗的消息傳到法國之後，引起學術界的熱烈討論，當時年輕的科學家帕斯卡認為：「在自然界中真空不是不可能的，自然界不是像許多人的想像那樣以極巨大的厭惡來排斥真空」，為了驗證托里切利的實驗，他使用密度比水銀小的紅酒與46英吋長的玻璃管來進行實驗，也因此得到了一段真空。



帕斯卡
(Blaise Pascal, 1623-1662)

12

1-5 壓力與大氣壓力

2. 大氣壓力:

帕斯卡他進一步的想到如果水銀柱真的是被空氣重量所擠壓而上升，那麼在海拔高的地方空氣重量較小，水銀柱的高度應該會有所變化。



帕斯卡
(Blaise Pascal, 1623-1662)

13

1-5 壓力與大氣壓力

2. 大氣壓力:

由於帕斯卡的身體健康太差，他請他的兄長帶著水銀實驗裝置，登上當地的多姆山做試驗，果然，在爬上一英里的高度後，水銀柱下降了三英寸，這個實驗結果進一步支持了托里切利關於大氣壓力的觀點。



帕斯卡
(Blaise Pascal, 1623-1662)

14

1-5 壓力與大氣壓力

2. 大氣壓力:

真空這個現象，慢慢地被科學界所接受，德國馬德堡的市長蓋里克除了在1654年進行大家熟悉的馬德堡半球實驗外，他改良抽氣機後發現，在真空中火焰會熄滅、小動物不能存活、水果可以長久保鮮等現象。



蓋里克
(Otto von Guericke, 1602-1686)

15

1-5 壓力與大氣壓力

2. 大氣壓力:

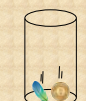


16

1-5 壓力與大氣壓力

2. 大氣壓力:

在英國的波以耳知道了蓋里克的實驗消息後，他與助手虎克進行抽氣機的改良，獲得更好的真空狀態，並且首次證明了伽利略關於自由落體的描述：「在真空的透明圓筒內，羽毛與鉛塊是同時著地的」此外，他還證實聲音在真空中不能傳播，靜電力可以穿透真空作用。



在真空中，兩者同時著地。

17

動動腦，想一想!?

受到希臘文化的影響，亞里斯多德「自然界厭惡真空」的概念，一直是早期科學家們深信不疑的想法，時間長達十多個世紀。然而到了17世紀，在托里切利、帕斯卡、蓋里克與波以耳等科學家一系列的實驗之下，科學家們開始相信「真空是存在的」。

回想一下你所聽過的科學故事，還有沒有類似這樣「科學典範轉移」的案例呢？也試著描述是因為發生了哪些事情，才會造成典範轉移。

18

活動四 科學、社會與科技

熱學

是一門與人類生活息息相關的科學，由於無法對物體的冷熱程度進行定量的測量，因此早期對於熱的研究，並沒有顯著的進展。



01

17世紀初期，由於抽拉玻璃的技術越發進步與純熟，伽利略利用一支細玻璃管，裡面注滿了水，玻璃瓶內空氣的熱脹冷縮，導致的細管內水位會隨著氣溫改變而上升下降，藉由觀察細管內水位的高低，就可以對冷熱程度進行量化，這就是溫度計的原型。

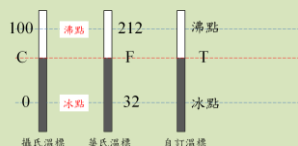


伽利略
(Galileo Galilei, 1564 – 1642)



02

後續的科學家們發現，在固定壓力下，純物質的熔點與沸點均有不變的特性，因此，各式各樣依據不同基準設定的溫標，不斷地在科學界中出現，由於便利性與較符合人類生活習慣的原因，目前在教科書中，比較廣泛應用的是利用水的凝固點與沸點為基準的攝氏溫標，以及研究理想氣體性質時比較方便的絕對溫標。



03

有了溫度計，就能對熱的相關研究，進行量化的測量，18世紀人類開始對熱的本質進行一系列的研究與討論。

熱質說曾經是科學家們所認同的理論，直到19世紀時焦耳的熱功當量實驗，證明了熱其實是一種能量，科學家對於熱的本質也從熱是物質轉變

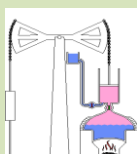
成為**熱是一種能量**



04

隨著人類對於熱的相關知識越來越豐富，蒸氣機效率也逐漸提升，紡織工廠裡的機械取代了紡織工人；蒸氣動力船取代了人力划槳的船，人類經濟的動力逐漸地由人力密集轉換為機械力密集(工業革命)，人類的生活因為科學發展、科技進步出現了極大的變化。

科學
社會 科技



05

動動腦，想一想!?

由於抽拉玻璃技術的成熟，伽利略才能利用玻璃細管做出人類的第一支溫度計；也因為能夠對物體冷熱程度進行量化的測量，科學家們才能對熱現象進行更深入的討論與研究；隨著熱學相關知識的累積，人類才能改良蒸氣機，進而引發工業革命，對人類的社會與經濟活動產生了巨大的影響。

由上面敘述的內容中，你覺得科學與科技有何關係？科學與科技是相同的嗎？**科學與科技**與人類**社會**，彼此之間有連貫嗎？請寫下你的想法。

06

活動五 伽利略的望遠鏡

 2009年「全球天文年」

國際天文聯合會 (IAU)
聯合國教科文組織 (UNESCO)

紀念1609年 伽利略
首次用望遠鏡進行天文觀測400週年



01

 伽利略 (Galileo Galilei, 1564-1642) 出生於義大利

除了大家熟悉的

單擺等時性
製作第一支溫度計
自由落體實驗

在天文學上，他也有著劃時代的重要成就。

02

在1608年...

伽利略聽說荷蘭的眼鏡商人里帕席能夠利用凸透鏡和凹透鏡放大看見遠處的物體，伽利略取得透鏡後裝在圓筒上做成了人類最早的望遠鏡。

一開始，望遠鏡僅能放大約7倍，經過不斷改良，最後製作出可放大20倍的望遠鏡，觀測星體的面積可放大至400倍，讓他看見許多意外的天文景象。



03

在中世紀的歐洲，當時是由一群『士林哲學』的學者握有權勢，他們主張

將 天主教教義 與 柏拉圖與亞里斯多德的哲學 結合

任何事情一律強行套用亞里斯多德的理論來解釋。

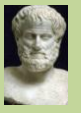
 柏拉圖
Plato
(西元前427~347)

 亞里斯多德
Aristotle
(西元前384~322)

04

亞里斯多德：
天上的一切都是完美的。因此...

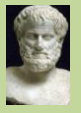
1.月亮的表面應該是完全光滑的銀白色
2.太陽是個完美無瑕的發光球體

05

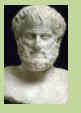
亞里斯多德：
天上的一切都是完美的。因此...

1.月亮的表面應該是完全光滑的銀白色
2.太陽是個完美無瑕的發光球體

06

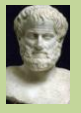
亞里斯多德：
地球是宇宙中心，所有星體均繞著地球運轉

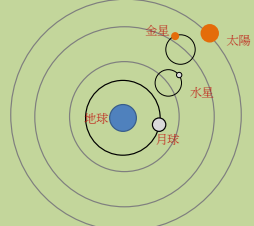
 托勒密 Claudius Ptolemy
(西元100年~168年)

 《天文學大成》

07

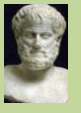
亞里斯多德：
地球是宇宙中心，所有星體均繞著地球運轉

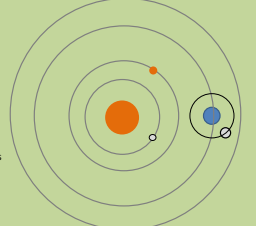
 托勒密 Claudius Ptolemy
(西元100年~168年)



08

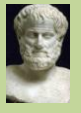
亞里斯多德：
地球是宇宙中心，所有星體均繞著地球運轉

 哥白尼 Nicolaus Copernicus
(西元1473年~1543年)



09

亞里斯多德：
地球是宇宙中心，所有星體均繞著地球運轉

 金星 也跟月亮一樣有盈虧，伽利略證實了哥白尼的見解是正確的——顯然金星是繞著太陽轉的，而不是繞著地球轉的。

發現 木星 有四個衛星，就像是地球的衛星——月亮一樣。這些觀測結果證明並非所有的天體都繞著地球轉，駁斥了教廷宣揚的「地心說」，進而支持了哥白尼的「日心說」。

10

 但是...

這一連串的發現，並沒有贏得其他學者們的認同，他們不願意去看伽利略製成的望遠鏡，總以為那根管子裏頭，一定藏有「魔術」。

總而言之只要是和亞里斯多德的學說不同，便是邪門歪道。

11

動動腦，想一想!?

在伽利略那個時代，許多科學家都深信著亞里斯多德的理論可以解釋周遭所有的事物，然而伽利略透過望遠鏡，發現許多與理論相違背的現象。

這些現象都是可以直接透過望遠鏡觀察到的現象，當時的科學家們不相信這些觀察得到的結論，甚至認為望遠鏡所看到的畫面並不是真實的。

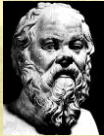
你認為科學家們是怎樣看待一個能夠推翻自己原有信念的實驗結果?

12

活動六 光的本質探索活動

人類會什麼可以看見四周的景物?

光線是從眼睛發射出來的，碰到物體時，物體才為人所看見。

 柏拉圖 Plato (427-347 BC)



01

對於光是什麼這個問題，其實早期的科學家們就有不同的見解了...

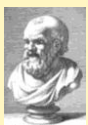
視覺的產生是從物體發射出微小粒子，進入人的眼睛所引起的。

[光微粒說Corpuscular]

 恩配多克斯 Empedocles (490-430 BC)

光是一種擾動，在介質中傳遞的現象

[光波動說wave theory]

 德謨克利特 Democritus (460-370 BC)

02

到了17世紀...

人們才開始對光的本質進行深入且有系統的探討

當時的人類已經知道了光的一些特性，例如：

- ※ 光有不同的顏色
- ※ 光可以穿越真空
- ※ 光在同一介質中沿著直線前進
- ※ 光可以進行反射和折射，這些過程都由「反射定律」和「折射定律」來描述



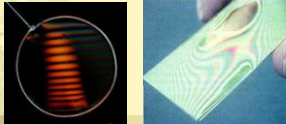
03

到了17世紀...

人們才開始對光的本質進行深入且有系統的探討

觀察到肥皂泡膜或在兩片玻璃板間放置液體薄膜，會出現特別的顏色，顏色與薄膜厚度有關。

 虎克 Robert Hooke (1635-1703) 英



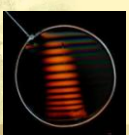
04

到了17世紀...

人們才開始對光的本質進行深入且有系統的探討

曾定性地以薄膜上下方反射的干涉來解釋，可是他無法進一步分析，也無法確認薄膜的厚度。

 虎克 Robert Hooke (1635-1703) 英



相長干涉

入射光線

空氣

油

水

05

到了17世紀...

人們才開始對光的本質進行深入且有系統的探討

在1690年出版《論光》一書，他認為

光是一種波動，有如聲音是由物體振動使介質產生擾動而傳播的現象

光波也是縱波，傳播光波的介質是以以太

提出惠更斯原理，用來解釋

光的直進、光波的獨立性、光的反射、光的折射

光的干涉和繞射(當時未觀察到)

 惠更斯 Christiaan Huygens (1629-1695) 荷

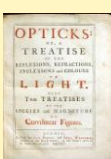
06

到了17世紀...

人們才開始對光的本質進行深入且有系統的探討

在1704年提出《光學》一書詳述了光的粒子理論，並引入了鍊金術中粒子相吸互斥思想的神秘力量來解釋，替換了先前假設以太存在的看法。

 牛頓 Isaac Newton (1643-1727) 英



07

粒子說與波動說 討論小活動

請依據你所分配到的組別，試著對當時所觀察到的光學現象，提出合理解釋。



反射

折射

部分反射、部分折射

色散

光線直進的現象

08

粒子說對於光直進現象的解釋

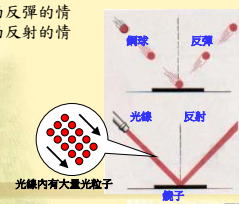
把球凌空拋擲，由於地心引力的緣故，球會以曲線路徑活動。

但是隨著擲球的速度上升，其活動路徑的弧度會下降。所以，當數以億計質量極小的細小光粒子以高速前進時，其路徑基本上成直線。

09

粒子說對於光反射定律的解釋

銅球從平滑表面反彈的情況與光線從鏡子表面反射的情況相似。

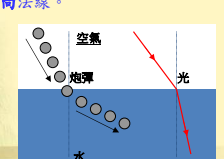


光線內有大量光粒子

10

粒子說對於光折射定律的解釋

當炮彈抵達水面時，會受到與水面成直角的「折阻力」影響，因而減慢速度，並偏離法線。光線表現則剛好相反。要解釋這個觀察現象，牛頓假設光在水中的前進速度較快，所以會偏向法線。



11

粒子說對於光色散現象的解釋

對於光折射時發生的色散現象，牛頓認為那是因為不同顏色的光粒子都擁有不同的質量。紅光粒子的質量較紫光粒子大。



12

利用粒子說解釋光的本質時遇到的最大困擾

粒子說可以成功的解釋當時觀察到的許多現象，但是對於

- 兩光束交會前後互不干擾
- 光進入不同介質時，部分反射部分折射的現象

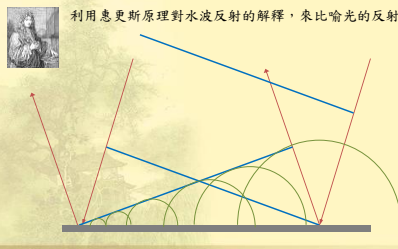
微粒說均無法合理的解釋。



13

波動說對於光反射定律的解釋

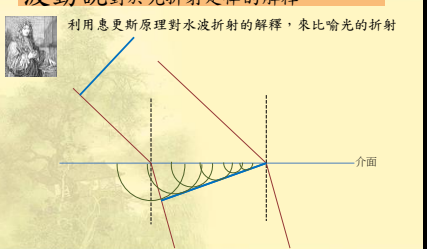
利用惠更斯原理對水波反射的解釋，來比喻光的反射



14

波動說對於光折射定律的解釋

利用惠更斯原理對水波折射的解釋，來比喻光的折射



15

利用波動說解釋光的本質時遇到的最大困擾

波動說可以成功的解釋當時觀察到的許多現象，但是

- 無法找到傳遞光波動所需要的介質「以太」存在的證據
- 無法透過實驗證明光具有干涉、繞射這種波動必備的特徵

波動說均無法合理的解釋。



16

微粒說與波動說的戰爭

微粒說	光的現象	波動說
	光有不同的顏色	
	光可以穿越真空	
	光的直進現象	
	光的反射定律	
	光的折射定律	
	光的干涉現象	
	光的繞射現象	

17

如果你是17世紀的科學家，會選擇相信哪一個理論呢？



光是波動！



光是粒子！



18

如果你是17世紀的科學家，會選擇相信哪一個理論呢？



你做的決定是什麼??
為什麼你會做出這樣的決定!

猜猜看 當時的科學家比較相信
光的波動理論 還是 光的粒子理論



19

粒子說 vs 波動說 的戰爭



17世紀的科學家，大多選擇相信牛頓的光粒子說。導致牛頓的光粒子說主宰了18世紀的光學

你覺得牛頓的光粒子說能獲得勝利的主要原因在於??

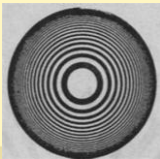
牛頓 Isaac Newton
(1643—1727) 英

20

其實，牛頓也曾做出光具有波動性的實驗



牛頓做出了牛頓環的光學現象，但卻忽略了這個實驗結果，執著於利用微粒說來解釋光的本質。你認同這樣的行為嗎?為什麼?



牛頓 Isaac Newton
(1643—1727) 英

21