

科學本質的理論回顧與課程設計的實例分享

高慧蓮¹ 蘇明洲²

¹ 國立屏東師範學院自然科學教育學系

² 大仁技術學院環境工程與科學系

摘要：長久以來「培養具有科學素養的國民」一直是科學教育的主要目標，而科學素養中一個很重要的內涵是「科學本質」。是故本文從以下四方面：(1) 科學本質哲學觀點的演進；(2) 科學本質的現代觀；(3) 科學本質的範疇與內涵；和(4) 科學本質的教學，回顧相關的理論與文獻，最後筆者再提出兩個融入科學本質的課程設計之實例。

壹、前言

回顧美國科教改革 2061 計畫，是以「培養具有科學素養的公民」被認為是當今科學教育努力目標(American Association for the Advancement of Science [AAAS], 1989)。而這股風潮有逐漸影響到世界各國的趨勢，如英國、加拿大、澳洲、日本等國家，皆陸續以此為科學教育改革的目標(林樹聲, 1999)。我國在民國九十年實施的九年一貫課程「自然與生活科技」學習領域也提及欲培養國民的科學素養(教育部, 2001)。

無庸置疑，科學教育的目標是在於提昇全民的科學素養。美國科學促進會(AAAS)在1993年於「科學素養的里程碑」(Benchmarks for Science Literacy)一書中直接指出學生正確的科學本質觀是成為具備科學素養的要件之一，並將科學本質列為該報告書的第一章。在國內，九年一貫課程「自然與生活科技」學習領域(教育部, 2001)中提到，自然科學學習所培養之國民科學素養，依其屬性和層次來分項，分成八項來陳述，而第3項即是「科學本質」。又眾多學者亦認為「對科學本質的瞭解」是具有科學素養公民的重要特徵(AAAS, 1989; Lederman & Zeidler, 1987)，由此可知「科學本質」是科學素養中的重要內涵之一。

九十學年度開始，全國各小學從一年級實施九年一貫課程，並預定於九十三學年度時，國中小各年級皆納入全面實施。面對急迫的實施時程，許多學校的教師充滿疑慮，沒有信心(范信賢, 2000)。然而學校教師卻是影響課程改革的重要因素，因此，本文希望透過以下四方面：(1) 科學本質哲學觀點的演進；(2) 科學本質的現代觀；(3) 科學本質的範疇與內涵；和(4) 科學本質的教學，回顧相關的理論與文獻，並提出兩個融入科學本質的課程設計之實例，冀能拋磚引玉，鼓勵科學教師接受新挑戰致力於科學本質課程的開發行列。

貳、科學本質的哲學觀點的演進

科學本質的哲學觀點從古至今一直隨著時代而改變，甚至在同一時代存在著多種不同的哲學觀（翁秀玉、段曉林，1997），然一般可歸納為經驗主義（empiricism）、實證主義（positivism）、邏輯經驗主義（logical empiricism）、理性主義（rationalism）、否證主義（falsificationism）和後實證主義（post-positivism）等（見圖 1）。根據科學哲學觀的歷史演進，經驗主義、實證主義、邏輯經驗主義和理性主義被視為「傳統」的觀點，後實證主義被視為「新」的哲學觀，而否證主義被視為介於以上兩種科學哲學間的「過渡」觀點（Abimbola, 1983）。

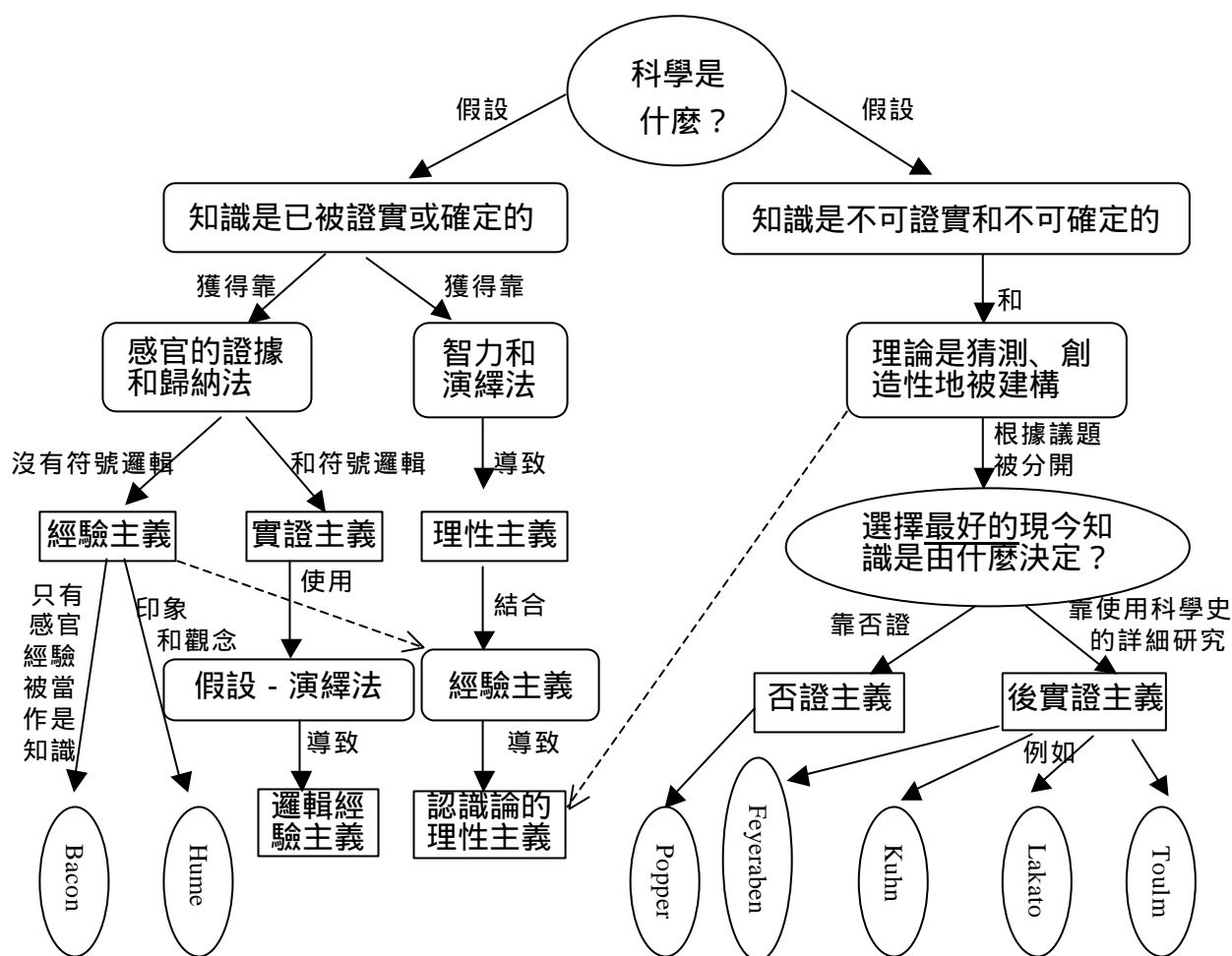


圖 1 不同的科學哲學學派的分類（高慧蓮、蘇明洲，2000；修改自 Nussbaum, 1989）

傳統的科學哲學觀假設知識是已被證實或確定的，然而「過渡」與「新」的科學哲學觀假設知識是不可證實和不可確定的，而是由人類大膽的猜測、創造性地建構出來的。茲將每一派學說的中心信條列舉如下：

一、經驗主義

經驗主義的基本信條為所有的知識都必定來自感官經驗，或者建立在感官經驗的基礎上，而這些知識是藉由超然客觀的觀察以及歸納法的科學方法所得到的（Fabricius, 1983; Harris, 1979; Nussbaum, 1989）。

二、激進的經驗主義

經驗論者認為真理是藉由感官經驗的鑑定而來的（Fabricius, 1983）。然而蘇格蘭哲學家休姆（D. Hume）是一位激進的經驗主義者，他堅持堅守經驗主義的基本信條，但認為知識不僅來自於感官經驗的印象（impressions），也來自於所有心智活動的觀念（ideas）（Hume, 1962）。當我們觀看或反省一件事物時的立即知覺就是印象，而除了感官知覺（perception）及內省（introspection）外，所有心智活動的察覺就是觀念；然印象可以說是意義、真理及真實的來源（Abimbola, 1983）。

三、實證主義

實證主義是由經驗主義結合數學符號邏輯（symbolic logic）而形成的。實證主義的主要學說為利用*數學原理*一書（*Principia Mathematica*）中的符號邏輯當作工具（Loving, 1997），宇宙的自然定律或原則就可從經驗或實驗的基礎上被確定的歸納出來（Bentley & Garrison, 1991）。

四、邏輯經驗主義

韓培爾（Hempel, 1966）辯稱以歸納法為前提的推測所得的結論不具確定性；然而以演繹法（deduction）為前提的推測所得的結論具有確定性。除了演繹法外，科學的探究過程中需要提出暫時的假說來給於研究一個方向；因此所謂的假設 - 演繹推理（hypothetico-deductive reasoning）的科學方法是需要被加入到科學的調查研究中。

五、理性主義

理性主義認為有關知識根源的假設是訴諸於心智或理性的（intellect 或 reason）（Nussbaum, 1989）。理性論者從自明的（self-evident）前提下，以演繹法推論這個世界。而且，理性論者經常以他們天生的觀念（innate idea）開始他們的想法，這些天生的觀念並不是依靠經驗而來的（Fabricius, 1983）。理性論者也辯稱人類的感官經驗並不可靠，而獲得知識的方式是經由邏輯的推理和分析。

六、認識論的理性主義 (epistemological rationalism)

康德 (I. Kant) (1965) 宣稱雖然所有的知識開始於經驗，但並不是全部興起於經驗。他認為有一些知識是與經驗無關，甚至與五官的所有印象無關。這種知識被命名為經驗之先的知識 (*a priori*)，而來自經驗的知識被稱為經驗之後的知識 (*a posteriori*)。康德結合了理性主義和經驗主義兩者，主張思想若無內容是空的 (他的理性主義面的特徵描述)，而感官知覺 (直覺) 若無概念是盲目的 (他的經驗主義面的特徵描述)，因此只有理性主義與經驗主義的合一，知識才會產生 (Fabricius, 1983)。

七、否證主義

巴柏 (K. Popper) 認為只要所提出的理論能對抗否證 (falsification - 顯示命題為假的過程)，它可以被認為是接近真理；但是，有可能下一次的經驗或實驗將否證它 (Gorman, 1986)。巴柏宣稱：

沒有理性的步驟,只有嘗試和錯誤(trial and error)的方法 - 即推測和駁倒;大膽地提出理論;盡我們最大的努力來顯示它們是錯誤的;和暫時地承認它們,如果我們的決定性努力不能成功時(Popper,1968,p.51)。

八、後實證主義

這一門科學哲學的中心基礎如下一根據在歷史及經驗上的事實，科學研究的邏輯和實務上有很大的差距存在著 (Terhart, 1988)。後實證主義利用對科學史的仔細研究為新的手段，取代了過去依靠形式邏輯為分析科學的主要工具 (Brown, 1977; Cleminson, 1990)。另外，後實證主義強調一個持續的研究計畫必須伴隨持續的批評，而不是強調把被接受的研究結果當成科學企業和科學發現的核心。後實證主義的學說涵蓋一系列歧異的觀點，例如包含如下哲學家的作品：Bronowski(1965, 1966)，Brown(1977)，Feyerabend(1970, 1978)，Hanson(1961/1958, 1977)，Kuhn(1970/1962)，Lakatos (1970)，Polanyi(1962)，和 Toulmin (1953, 1985)；然而這些作品卻擁有共同的主題，例如：經驗的理論蘊涵(theory-ladenness)(Bentley & Garrison, 1991; Garrison, 1986; Stone, 1992)、科學知識的暫時性(tentativeness)(Fleury & Bentley, 1991)、和在整個科學企業中人性所扮演的角色(Cleminson, 1990)：

1. 後實證論者相信觀察和所有的經驗至少部分是依賴我們所持有的理論概念結構(Bentley & Garrison, 1991; Fleury & Bentley, 1991; Hanson, 1961/1958)。這種觀念就是所謂的「經驗的理論蘊涵」。韓森主張「觀看」是理論蘊涵的工作，亦即 x 的觀察受到 x 的先前知識所影響。因此，一個人所有經驗和觀察的認知只有透過理論才變成有意義，而「客觀的」經驗和「(不能變的)嚴酷的」事實 ('hard' facts) 此種錯誤觀念或信念消失了。

2. 後實證主義的信念和觀念提供一個方式，來強調價值所扮演的角色和科學知識的暫時性。對後實證論者而言，理論與價值不是和嚴酷的事實完全分開的；因此，主觀的成分在所有客觀的敘述裡留存著(Bentley & Garrison, 1991; Fleury & Bentley, 1991; Garrison & Bentley, 1990)。
3. 土爾明(Toulmin)、雷克士斯(Lakatos)、和布朗諾司基(Bronowski)與後實證論者的手段一致，都強調人性在整個科學企業所扮演的角色。例如，土爾明(1985)主張以下的世界觀描述，已不再維持有效了：自然是一個自足(self-contained)、決定論(deterministic)裝置的機構，從這，人類的過程與力量是被排除或免除的。雷克士斯(1970)也主張科學的方向主要決定於人類的創造想像力，而非決定於環繞我們四周的宇宙事實。而布朗諾司基(1978)相信這個世界是全部連結在一起的：這就是說，在這個宇宙中，沒有任何一個事件不跟其他的全部事件聯繫在一起的。另外，他也相信我們對自然的分析是一種個人和高度想像的創造。

九、小結

科學本質的假定是複雜的，而且在科學哲學的社群裡，很多仍是未解決的。Loving(1997)認為在科學教育裡「平衡的科學哲學觀」是需要的。她表明當今科學本質的概念被有些極端提倡實證主義或後實證主義的學者過度簡單化。雖然實證主義受到嚴厲的批判，但是理性的思考在科學裡仍然是必不可少的。我們不需要放棄威信的理性思考或者收益多的預測價值。在另一方面，後實證主義也有它的功績，它呈現出科學的創造面、特質面、社會價值蘊涵面和暫時性面，使得科學的事業變成較少受約束和更人性化(Bombaugh, 1995)。因而科學教師和科學教育家應該知道科學本質的不同立場、觀點、和爭論點。

參、科學本質的現代觀

科學教育的現代改革，強調對科學本質發展出有適當認知的重要性(AAAS, 1993; NRC, 1996)。科學本質的現代觀並不代表一個單一的觀點，而是涵蓋一系列不同的觀點(Alters, 1997; Rutherford & Ahlgren, 1990)。雖然學者們不同意許多高程度的科學史與科學哲學的主題，但是他們對許多低程度的要點，有一個合理的一致看法(Matthews, 1994)。除此之外，Smith, Lederman, Bell, McComas, 和 Clough (1997) 指出：

...

基於成千的科學家、教師、科學教育家、哲學家、科學社會學家和其他人的共同努力，美國國家科學院 (U.S. National Academy of Science) 已經能夠提出一系列有關於 NOS (科學的本質) 一致的陳述，供包含在 國家科學標準 中 (National Science Education Standards) (NRC, 1996)。除此之外，仔細的考察許多國際標準文件，發現這些標準已顯示出對於主要的 NOS 原理，已有顯著程度的一致，而這些 NOS 原理，目前被大專以下的學生所信奉 (p. 1102)。

雖然並不是每一個學者，均同意在科學哲學上的論點，但是科學的本質顯然具有多樣的層面。例如，Chiappetta, Sethna, 和 Fillman (1993) 鑑定出四個科學本質面：(1) 科學是一種知識的本體；(2) 科學是一種調查研究的方法；(3) 科學是一種思考的方法；和 (4) 科學、科技、和社會的相互作用。基於最近的教育改革努力和有關的文獻，筆者在此指出三個科學本質的層面，這些是：(1) 科學知識的本質；(2) 科學探究的本質；和 (3) 科學事業的本質。

一、科學知識的本質

這個世界是可加以理解的，並且科學的知識具有兩個層面：它可以是暫時的、可被修正的，或者是經久的 (AAAS, 1989, 1993)。科學假設宇宙中的事物和事件存在於相當一致的方式，並且可以靠仔細和有系統的研究加以理解的 (Rutherford & Ahlgren, 1990)。此外，科學描述科學的知識和觀念是易受改變的，但同時也是穩定的。

在科學的社群裡，如下的敘述是廣泛地被承認的：科學的知識具有絕對權威基礎的主張，沒有被證明是正當的。當我們開發科學知識時，靠著考慮到新觀念的可行性，而這個新觀念是從我們嘗試讓新的和有問題的經驗有意義的過程中湧現出來的 (Milne & Taylor, 1995)。當我們知道愈多的訊息，採集愈多的資料時，我們可能必須改變我們對某事的觀念。科學的知識是暫時的，因此經常是開放被改進的。加州教育董事會對科學的主要特性描述如下：

科學絕不是獨斷的 (dogmatic)；它是講究實際的 (pragmatic) 也就是說，根據可信賴的新觀察 (像焦耳 [Joule] 的觀察) 或根據對自然界新的強有力的解釋 (像愛因斯坦 [Einstein] 和達爾文 [Darwin] 的解釋)，科學是經常易於被調整的。這就是科學的主要特性 (California State Board of Education, 1990, p.18)。

雖然科學絕不能被聲稱是絕對的真理，但是科學知識的主要本體是十分穩定的，因而科學是被緩慢改變地成長著。換句話說，大部分的科學知識是持久的。下面舉出若干科學知識本質的基本原則：

1. 科學家假定宇宙是一個巨大的單一系統，在這個宇宙中，基本的法則到處都是一樣的。這些法則可以分類成從非常簡單的到極度複雜的，然而科學家們相信，法則是可以靠仔細的、有系統的研究，被發現出來（AAAS, 1993, p. 8）；
2. 當新的資料挑戰當今盛行的理論時，以及當一個新的理論導致以一個新的方式看待舊的觀察時，科學的知識易受修改（AAAS, 1993, p. 7）；
3. 有些科學知識是非常老的，但是現今它仍然是適用的（AAAS, 1993, p. 7）。

二、科學探究的本質

科學探究是科學的基石，是科學家創造與發展科學知識所必經的過程。Palmeri（1995）認為「科學探究的本質」是非常的複雜的。Rutherford 和 Ahlgren（1990）認為從事科學探究需要用到許多的科學方法：包括特殊方式的觀察、思考、實驗及證實。

科學不只是一種知識的本體，也是一種發展知識的過程。Finley（1983）認為科學探究過程牽涉到觀察、分類、描述、傳達、測量、認識及應用空間的關係、下結論、下操作型定義、形成假說、控制變因、解釋資料及實驗。科學探究過程需依靠對自然現象做仔細的觀察，以及發明學說對所觀察的結果做合理的解釋；而科學的精華在於能被觀察所證實。科學探究過程引導我們增進對自然世界裡事情及事件如何運作，有較好的了解，並且增進科學家對自然現象做可靠的解釋及正確的預測的能力（AAAS, 1993）。

科學探究的過程需使用到科學方法，然而，Terhart（1988）認為以下的科學合理性的主張必須被拋棄：就真理與可靠性而言，科學的方法是唯一的保證。Petersen-Falshoft（1979）也認為我們對科學的方法所持有的概念是非常有爭議性的，因為它反映了科學知識是「絕對」的、是不容置疑的，只要我們用了適當的科學方法就可以得到「事實」（Miller & Driver, 1987）。事實上，Lederman（1983）及 Rutherford 和 Ahlgren（1990）指出沒有證據存在著支持「科學探究過程中只有一種科學方法」。Miller 和 Driver（1987）也表示，沒有證據存在著支持「有一種清楚可描述的科學方法，包含一組被證明的過程，是科學家從事科學探究過程中一直跟隨使用的」。而呈現在美國國家科學教育標準中的「探究」界定為是一種手段，而這種手段超越了「視科學是一種過程」的地步（NRC, 1994）。Palmeri（1995）認為科學探究也需依賴創造力及發明力的。

科學概念的建構，不是只有靠資料驅使的（Rutherford & Ahlgren, 1990）。取而代之，它是利用啟發式的技巧（heuristic techniques）：包含在其他領域的類推、深思熟慮的實驗等。科學知識的發展並不是只靠單一的科學過程及方式，事實上，科學探究過程中沒有一種單一的科學方法。科學及其過程是基於某種的假設，這些假設對於知識的發展是有暗示作用的，例如：知識是暫時的、是人類創造的產品的、主觀的等等。Palmeri（1995）認為科學是「邏輯」及「想像」的混合體，我們需要利用它們去詮釋及接近科學上重要的議題。類似地，Cleminson（1990）也認為新的科學知識是用「想像的創造行動」（creative acts of imagination）與「科學探究的方法」（the methods of scientific inquiry）發展出來的。

由上可知，科學探究牽涉到不只是「科學過程技能」而已，「想像力」、「創造力」等亦扮演重要的角色。以下是科學探究本質的一些基本原則：

1. 以一種簡單歸納論的方式，觀察單獨本身不能引起科學知識的產生（Cleminson, 1990, p. 437）；
2. 科學的探討是不容易從特殊調查的情靜脈絡中被分離出來描述的。完全沒有固定一系列的步驟為科學家們一直遵循的；完全沒有一種途徑可以引導科學家們正確地發展出科學知識（Rutherford & Ahlgren, 1990, p. 5）；
3. 邏輯的使用和證據的周密檢查，對科學的進展而言是必須的，但通常不是足夠的。科學的概念不會自動地從資料、或從任何分析的數值單獨發展出。發明假說或理論，來想像這個世界是如何運作，然後理解到它們是如何被用來測試事實，以上這種工作是創造的，就像寫詩、作曲、或設計摩天大樓一樣。有時候，科學的發現是不可預期的；甚至靠偶然的。但是知識和創造的洞察力，通常被要求去賞識意外事物的意義（Rutherford & Ahlgren, 1990, p. 7）；
4. 在科學上，有關什麼是調查研究和如何調查研究，有不同的傳統論點；但是他們對於證據、邏輯、和好的辯論的價值，都有共同確信的基本信念。並且，他們都同意所有領域的科學進展，依靠智力、結實的工作、想像力、和甚至運氣（AAAS, 1993, p. 13）。

三、科學事業的本質

基於所學的內容、所用的技巧、和所尋找的結果為何，科學被組織成不同的內容學科，但是不同的科學學科卻分享共同的目的和哲學，而且都是相同科學事業的一部份。科學當成是一個事業時，涵蓋有個人的、組織的、和社會的範圍（Rutherford & Ahlgren, 1990）。

科學牽涉到許多個人，包括所有年齡層和背景的男女，做許多不同種的工作。科學的工作是由不同的組織所引領；這些不同的組織，提供一個概念結構來組織知識，但是不同的學科本身沒有一個固定的界線。科學也是一個複雜的社會事業，能反映出當代的社會價值觀和看法。而且，在科學的引導中，一般有公認的倫理原則存在。當違背科學倫理傳統的事件被揭發時，會受到科學社群強烈地批評（AAAS, 1993）。

在社會事業範圍以內，另一個關心事是科學、科技、和社會的交互作用，包括科學對社會的影響或衝擊，以及科技如何幫助或阻礙人類（Chiappetta, Sethna, & Fillman, 1993）。科學、科技、和社會（STS）是高度互相關聯的。科學是透過科學過程搜尋知識。科技是科學的應用，可更改環境或人類的狀況。除此之外，科技提供工具給科學，並且也可以提供動機和方向給科學的研究（AAAS, 1989）。更進一步地，科學事業能夠影響社會的公共政策：科學家倚靠所帶來的信息、洞察力、和分析的技巧，在他們的專業領域之內，能夠設計公共政策，來支持公眾關心的事物。但是，在他們的專業領域之外，科學家不能享有特殊的可信度；因而，科學家以專家暨公民的身分，參與公共事務。以下是科學事業的本質的一些基本原則，這些原則闡明了科學、科技、和社會的複雜的關係：

1. 當一個調查研究會對社會造成危害時，大多數的科學家相信參與研究與否的決定，是個人道德規範的問題，而不是職業道德規範的問題（AAAS, 1993, p. 19）；
2. 為了維持一個調查者對其他科學家和社會的信用度，精確的紀錄保存、虛心坦懷、和可複製性是必須的（AAAS, 1993, p. 18）；
3. 科學與發明的進展，大量依靠在這個社會裡另外還發生什麼事情，而歷史經常依賴科學和科技的發展（AAAS, 1993, p. 19）；

肆、科學本質的範疇與內涵

眾多學者/組織對科學本質所提出的範疇與內涵各有不同的見解，筆者整理成下表 1。

表 1 各年代學者/組織所提出科學本質的範疇與內涵重要觀點整理表

學者/組織及年代	科學本質的範疇與內涵重要觀點
Rubba & Andersen (1978)	<p>科學知識本質模式以六個概念表示：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 非道德的 2. 創造性的 3. 發展的 4. 簡言的 5. 可測試的 6. 統整的
NAEP (1989)	<p>科學本質含有三個領域：</p> <p>(一)科學知識的本質</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.科學的知識是暫時性的 (tentative) 2.科學知識是公開性的 (public) 3.科學的知識是實驗性的 (empirical) 4.科學的知識是可複製性的 (replicable) 5.科學的知識是有歷史性的 (historic) <p>(二)科學事業的價值與原則</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.知識是有價值 2.質疑是必要的 3.資料是基礎 4.驗證是必要的 5.邏輯是重要的 <p>(三)科學的方法與過程</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.觀察、分類與推論 2.解釋資料 3.形成假設 4.設計實驗 5.引導探究
AAAS (1989)	<p>將科學本質分成三個領域：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 科學世界觀 2. 科學探究活動 3. 科學事業
Collett & Chiapetta (1994)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 科學是探究自然界的"思考"方式 2. 科學是一種"探究"的方式 3. 科學是知識的集合體
Lederman(1995) ; Abd-El-Khalick、 Bell & Lederman (1998)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 科學知識是暫時性的 (會改變) 2. 經驗基礎性的 (基於對自然世界的觀察) 3. 科學的創造性和主觀性 4. 科學社群與文化扮演的角色 5. 理論的建構 (從觀察到推論的過程) 6. 理論與定律的功能與關係。

NSES (NRC, 1996)	分 K-4、5-8、9-12 三個年級階段學生應具有的科學本質概念標準。
McComas, Clough & Almazroa(1998)	<p>摘自八個國際科學標準文件中有關科學本質目標的一致觀點：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 儘管科學的知識是經久的，但它有暫時性的特性。 2. 科學的知識強烈但不完全的依賴觀察、實驗的證據、合理的爭論及懷疑的態度。 3. 從事科學沒有固定一個方法存在。 4. 科學是企圖解釋自然現象。 5. 定律及學說供應科學中不同的角色，因此，學生應該注意到，即使有另外的證據存在，學說是不會變成定律的。 6. 來自所有文化的人們促成了科學。 7. 新的知識必須被清楚及不隱瞞地報告出來。 8. 科學家需要精確的持續記錄，同儕檢查及可複製性。 9. 觀察是理論蘊涵的（theory-laden）。 10. 科學家是有創造力的。 11. 科學史同時展現出進化的及革命性的特性。 12. 科學是社會及文化傳統的部分。 13. 科學及技學互相影響。 14. 科學的想法被社會和歷史環境所影響。
Smith & Scharmann (1999)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 科學研究的目的與過程：(1)經驗性（以直接或間接的觀察為基礎）；(2)可測試性（有事實根據的）；(3)重複性（可重複檢驗的）；(4)暫時性（新的證據可以推翻舊的理論）；(5)自我修正性（排除錯誤）。 2. 科學理論的價值判斷標準：(1)解釋力(the largest explanatory power)；(2)預測力(predictive power)；(3)創造力(fecundity)；(4)包容性(open-minded)；(5)簡明性(parsimony)；(6)邏輯一貫性(logical coherence)；(7)質疑性(skepticism)。
九年一貫課程（教育部，2001）	科學本質的能力指標分成國小中、低年段 5 條、高年段 5 條（見表 3）及國中階段 8 條合計 18 條條文。

綜合國內、外學者/組織所提出科學本質的範疇與內涵重要觀點，筆者將上述的看法分析綜合，並諮詢國小資深自然科教師與專家的意見，試圖建立國小教學科學本質範疇與內涵，並把每一個面向界定清楚，如表 2。

表 2 國小教學科學本質的範疇與內涵

科學知識的本質	累積性	科學的知識經由時間累積而來的。
	暫時性	科學知識是可以改變的。
	可重複性	在相同的條件下，科學知識可以被重複的驗證。
	創造性	科學的知識是人類智力的創造，它運用很多創造性的想像力，如同一位藝術家、一位詩人或是一位作曲家的工作。
	公開性	科學家必須正確地發表他們所觀察到的科學現象，科學知識必須公開的發表。
	可預測性	科學知識運用來作推論時，可推測一些事並獲得證實。
科學探究的本質	質疑性	科學探究的起使動機及延續的動力就是為了解決某些可能被質疑的部份，如此科學探究活動才能持續進行。
	經驗性	科學探究的過程是基於觀察的經驗基礎。
	實證性	形成假說的過程需要經過試驗驗證的階段。
	觀察是理論蘊涵的	不可能有「絕對客觀、毫無成見的觀察」，不同的觀察者即使在相同地點、觀察相同的現象，所得結果可能會不同，因為觀察者已有的智識、信念和理論會影響觀察的結果。
	科學方法的多元化	科學的方法與過程不具有獨特性，只要是解決研究問題的科學方法就是好的科學方法，並沒有所謂一成不變的科學方法。
	邏輯推論性	相信自然現象的變化，都是由某些變因的改變所促成的。
科學事業的本質	科學的限制	有些事件(如飛碟)因採證困難，無法做科學性實驗；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。
	倫理與道德原則	從事科學研究必須考慮到倫理與道德原則。
	科學家的身份	科學家兼具有科學專業及公民的身份，科學利用科學思考的特性來解決公眾事務，無論如何，科學家在其專業領域之外，並不具有專業上的可靠性。
	科學社群的重要性	科學研究受到科學社群的影響。
	STS	科學、技學與社會具有交互影響的關係。

筆者繼而分析九年一貫課程中《自然與生活科技》科學本質的能力指標與國小教學科學本質的範疇與內涵之相關性如下表 3。

表 3 科學本質的能力指標(國小部分)與國小教學科學本質的範疇與內涵之相關性

科學本質的能力指標 (國小部分)	國小學童科學本質的 範疇與內涵
第一階段 (一、二年級)	
3-1-0-1 能依照自己所觀察到的現象說出來。	經驗性
3-1-0-2 相信每個人只要能仔細觀察，常可有新奇的發現。	創造性
第二階段 (三、四年級)	
3-2-0-1 知道可用驗證或試驗的方法來查核想法	實證性
3-2-0-2 察覺只要實驗的情況相同，產生的結果會很相近	可重複性
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	邏輯推論性
第三階段 (五、六年級)	
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。	實證性
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	科學的限制
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	可預測性
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	暫時性
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元素之影響，使得產生的結果有差異	科學的限制
6-3-1-1 對他人的資訊或報告提出合理的求證和質疑	質疑性

在九年一貫課程中，國小學童的科學本質能力指標合計共有十條，內容是以觀察(3-1-0-1 及 3-1-0-2) 實驗及驗證想法(3-2-0-1、 3-2-0-2、 3-3-0-2 及 3-3-0-5) 科學探究(3-3-0-1)、和科學知識的可預測性(3-3-0-3) 及暫時性(3-3-0-4) 為主，很少提及科學事業的本質。相較於其他文獻發現，九年一貫課程中國小學童的科學本質能力指標的部份略顯不足。

伍、科學本質的教學

從許多研究中可以發現增進科學本質認識的教學策略一般可以歸納為內隱途徑和外顯途徑兩種(Abd-El-Khalick & Lederman, 1998)，研究者並把文獻中增進科學本質所用的策略繪製成圖 2。

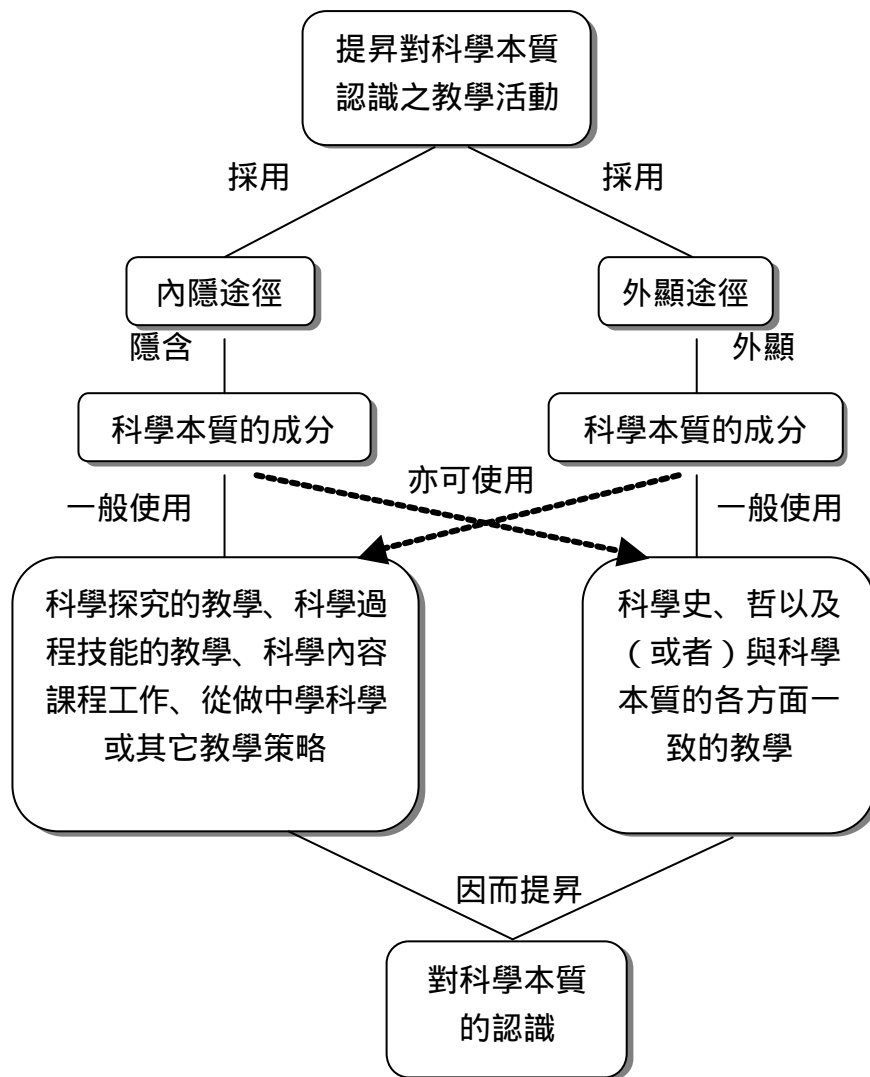


圖 2 文獻中增進科學本質認識的教學策略

一、內隱途徑的科學本質教學

內隱途徑一般是以科學探究的教學 (science inquiry instruction)、科學過程技能的教學 (science process skills instruction)、科學內容課程工作 (science content coursework)、從做中學科學 (doing science)、或其它的教學策略來促進對科學本質的瞭解。內隱途徑缺乏明白指出科學本質的成分，來增進學生對科學本質的了解。近年來以內隱途徑來進行科學本質教學的研究，研究者整理成下表 4：

二、外顯途徑的科學本質教學

外顯途徑是以科學史、哲以及 (或者) 與科學本質的各種方面一致的教學來增進對科學本質的認識 (Akerson, et al., 2000)。外顯途徑需明白指出科學本質的成分，來增進學童對科學本質的了解。Lederman (1992) 認為以科學史教學來增進學生對科學本質的認識，一直是被學者推崇。近年來以科學史來進行科學本質教學的研究，研究者整理成下表 5：

表 4 以內隱途徑來進行科學本質教學的文獻整理表

研究者及年代	研究樣本	研究方法 (工具)	研究結果
Lederman (1986)	18 位高中生物教師與學生	使用 Nature of Scientific Knowledge Scale (NSKS) 問卷及觀察班級教學質性分析方法	1. 教師採探究式教學，班級氣氛是愉悅的。 2. 師生互動頻繁，較能改變學生對科學本質概念。
Forawi (1996)	8 位中學教師及其班上共 320 位十年級學生	NSKS 問卷、Instructional Strategy Identification Form (ISIF) 問卷、訪談、教室觀察	1. 教師對科學本質的認識會影響其教學策略，認識程度越高的教師越傾向於使用探究式教學法。 2. 探究式教學法比傳統式教學法更容易提升學生學習科學本質之成效。
Lieu(1997)	8 位在職中學教師	Test on Understanding Science (TOUS) 問卷、Views on Science-Technology-Society (VOSTS) 問卷	採用 Science-Technology-Society (STS) 建構式情境的教學策略，對於學生瞭解科學本質並沒有顯著成效。
Bell, Blair, Crawford, & Lederman (2003)	10 位十、十一年級高能力學生	修正版的 the Views of Nature of Science, Form B 半結構性的晤談	學生參加 8 週的科學師徒制計畫 (Science Apprenticeship Program) 後，雖然學生獲得了對科學探究過程的知識，但是對於科學本質主要面向的概念仍然與最近的教育改革中所描述的科學本質不一致。
簡利真 (2003)	4 位國小五年級學童	自編的科學本質檢核表做為教室觀察輔助工具、問卷、晤談、教室觀察、文件分析	透過科學展覽活動中完整的科學探究過程，個案學童容易呈現科學探究歷程中的多樣面貌，並親身體驗科學家的研究過程。本研究結果發現個案學童的科學本質觀多傾向於現代觀點，唯有少部分的向度產生矛盾交錯的觀點。

表 5 以科學史來進行科學本質教學的文獻整理表

研究者及年代	研究樣本	研究方法 (工具)	研究結果
Solomon, Duveen, Scot, & McCarthy (1992)	英國 5 個班級 11-14 歲的中學生	問卷調查和訪談	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將科學史融入教學中，能增進學生對科學本質的瞭解。 2. 科學史的教學能使學生把焦點放在採納某一理論的理由，而非只是一昧地接受理論；使用科學史的資料並能產生較為持久的學習。
Dawkins & Vitale (1999)	8 位中學教師	問卷調查 (Nature of Science Questionnaire) 和小組訪談	<ol style="list-style-type: none"> 1. 利用歷史個案融入教學中的模式來教導中學生的科學本質概念是可行的。 2. 此教師專業發展計畫，對於中學生物教師發展必要的知識和技能，來實施歷史個案融入教學的模式是有效率的。 3. 此計畫能提昇老師對科學本質主要概念的認識。
Abd-El-Khalick & Lederman (2000)	166 名未畢業、已畢業的國中學生和 15 位職前科學國中教師	開放式問卷搭配個別晤談	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在最初的研究，幾乎所有研究對象都具有數個不適當的科學本質情況。 2. 在課程結束後，研究對象觀點有顯著改變的很少且有限。但一些研究對象之觀點有明顯的改變，特別是職前科學教師。在他們參與科學史課程後，他們科學本質的架構與現代科學本質的觀點稍微一致。 3. 此外，以外顯 (explicitly) 方式說明有關科學本質，描述相關的科學史課程能更有效率提昇研究對象科學本質的觀點。
林兆聖 (2003)	高一學生兩班及國二學生兩班	了解科學本質量表 (UNOS) 開放性問卷調查	<ol style="list-style-type: none"> 1. 實驗組班級學生之科學本質觀皆呈現正向改變之結果。 2. 本研究所發展之「原子發現科學史」教材有助於學生了解科學本質中部分特定的向度 3. 融入科學史的教學可以減低不同先備知識學生在科學本質觀之間的差異。
黃惠娥 (2004)	國小五年級學生	準實驗研究、「科學本質量表」	本研究運用單因子共變數進行統計分析，本研究發現科學史教學對國小五年級學生的科學本質觀具有正面的顯著影響

三、綜合討論

綜合文獻發現：增進科學本質認識的策略中主要途徑有內隱及外顯二個途徑，內隱的途徑是以科學探究的教學方式為主，外顯的途徑則是以融入科學史的教學方式為大宗，但並不一定要嚴格的加以區分（參見圖 2）。然而，從研究發現增進學生對科學本質的認識以外顯的途徑較有效，例如，Khishfe & Abd-El-Khalick (2002) 以 62 位國小六年級學生為研究對象，並將研究對象分為實驗組與控制組，實驗組之教學採用外顯途徑，學生參與探究式活動後反思討論科學本質的成分；控制組之教學採用內隱途徑僅進行探究式活動。研究結果發現：(1)控制組學生在教學後，對科學本質的觀點並沒有改變。(2)相對地，有更多實驗組的學生在教學後，對科學本質有更清楚的認識。

另外，研究者發現相關的研究工具，均是以教師、大學生或中學生為設計對象，鮮少以國小學童為設計對象的工具。再者，「科學的本質」本身具有多樣的層面 (multi-faceted) 而且是動態的。個體對科學本質的體認是複雜的，所以只用「問卷法」去探討學生或老師對科學本質了解的情形是不恰當的 (Lederman, 1992; Loving, 1997)。採用問卷調查往往可能得到過度簡化的結果，甚至有時候容易迫使受測者傾向於落入「經驗主義 - 實證主義」(empiricism-positivism) 或「後實證主義」(postpositivism) 兩個極端化的科學哲學觀的範疇裡。相反地，採用「晤談法」往往可以對受晤談者有關科學本質的想法，提供我們豐富的洞見。是故，在評量學生科學本質工具方面，可依據科學本質的面向，開發情境化之學生科學本質評量工具。

陸、科學本質的教學實例

科學本質的教學法有很多種，根據筆者從民國九十年迄今九十三年，連續四年所主持的國科會科學本質研究計畫的心得，提出以下兩種教學法：

一、科學探究式教學法

科學探究式教學法設計理念與原則如下：(1)科學教學與「科學探究」的本質一致；(2)科學探究的進展為從具體和熟悉的事件到抽象和不熟悉的事件；(3)鼓勵學生表達和辯護他們的意見，小組合作和解決問題，以達到一定程度的論點，並要求其它組彼此解釋或支持他們的主張。例如：讓學生觀察一個科學現象，並要求學生以小組討論的方式提出假設，並設計實驗和歸納結果、記錄和報告實驗的發現和觀念，組間則互相討論和批判，以達成一定程度的觀點。學生在進行科學探究的各個學習階段活動中，研究教師則在適當的時機拋出與活動相關的科學本質能力指標之內容問題與學生討論。

二、科學史融入式教學法

在「自然與生活科技」的學習領域中，若以「科學史」的觀點來進行教學活動，可以為學生布置出科學建構的真實環境，故設計教學與學習材料時，可融入科學發現過程中的史實資料，讓學生瞭解科學發現之過程，體會科學本質及科學探究的方法和精神，其設計理念與原則如下：(1)選出重要的科學概念；(2)整理它的歷史脈絡；(3)用學生能理解的方式解釋科學家的工作；(4)引用與學生有最直接關係的內容 可看到或體會到的。

科學史融入式教學法的主要方式有(1)歷史個案研究呈現：透過科學史中個案研究，讓學生了解科學的進展歷程，並在關鍵點以問題方式進行教學；(2)互動式歷史小故事 (interactive historical vignettes)：在學習活動中，透過互動的方式，安排短篇故事的討論，以歷史角度的想法，提供學童對主題的解釋與討論，讓學童對科學本質有深刻的領悟；(3)角色扮演：藉由學童閱讀或蒐集資料，來發現科學家的生平故事，以角色扮演的方式來呈現。經由親自積極參與整個故事發展的學習活動方式，讓學童以同理心的態度來體會感受故事中人物的心境。

三、課程設計實例

以下課程設計實例為筆者與筆者所主持的國科會科學本質研究計畫之研究群共同開發之「熱與物質」的國小高年級教師教學時所需的科學本質教學素材，與大家分享如下：

(1)教學活動設計一 - 點頭雞

1.設計理念：以「點頭雞」玩具讓兒童瞭解氣體熱漲冷縮的現象，並重複實驗以瞭解科學本質的可重複製性，及「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」。並以生活中「過橋發出碰碰聲響」的實例，瞭解熱漲冷縮應用於造橋的工程技術上，將科學、技學與社會相結合，作為課程結束。

2.教學器材：

單槍、NB、點頭雞影片

每組

- | | |
|-----------|----|
| 1. 冷凍過玻璃瓶 | 一瓶 |
| 2. 一元硬幣 | 一個 |
| 3. 雞的圖卡 | 一隻 |

3.學習情境：

藉由操作點頭雞玩具，培養學生認識氣體熱脹冷縮的性質，並討論如何設計實驗以證明熱漲冷縮。

4.本活動提昇科學本質之面向：

科學本質 能力指標	3-1-0-1 能依照自己所觀察到的現象說出來	
	3-2-0-2 察覺只要實驗的情況相同，產生的結果會很相近	
	3-3-0-1 能由科學性的探究活動中，瞭解科學知識是經過考驗的	
	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	
	3-3-0-5 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	
科學本質觀	科學知識本質	經驗性、公開性、複製性
	科學事業本質	STS

5.學習活動、流程與教學說明：

學習活動	流程	教學說明及 評量型式	科學本質 之面向
<p>(1) 小朋友，請看影片（一）的實驗裝置，並猜一猜可能會有什麼現象發生？</p> <p>(2) 請再繼續觀看影片（二）的實驗裝置，並與剛剛的想法互相對照一下是否一樣？並和同學討論一下為什麼會有這樣的現象產生？</p> <p>(3) 請各組輪流上台發表剛剛討論的結果，並接受其他組別的詢問與答辯。 * 發表後老師歸納：兒童發表中有符合氣體熱漲冷縮的想法給予正增強或鼓勵，不符合的以提問方式讓兒童自行察覺不符合的地方。</p> <p>(4) 現在請各組領取實驗器材，重新做一次影片（二）的實驗。並將實驗記錄下來。</p> <p>(5) 請各組發表實驗結果。 * 教師注意：實驗能夠作出來代表科學知識是可以一再重複的，而且經過考驗的。比較各組之間的差異，正代表可能存在著未能控制的因素使得實驗結果有差異。</p>	<p>引起動機 ↓ (2min)</p> <p>兒童討論 ↓ (5min)</p> <p>發表產生 想法、教師 歸納結果 ↓ (13min)</p> <p>進行實驗 並記錄 ↓ (5min)</p> <p>實驗結 果發表 ↓ (10min)</p>	<p>教師播放「點頭雞」玩具的操作影片（一），學生填寫討論記錄單。</p> <p>教師播放「點頭雞」玩具的操作影片（二），並要求學生就所看到的現象討論其原因。</p> <p>教師保持公正客觀的態度，以建立兒童發表的信心。</p> <p>依照影片示範，重新作實驗。</p>	<p>3-1-0-1 經驗性</p> <p>3-3-0-1 3-2-0-2 可重複性、 3-3-0-5</p>

<p>(6) 重點歸納：手的溫度使得玻璃瓶內的氣體溫度上升並膨脹，最後推擠硬幣使得硬幣掀開，而掀開後因膨脹的氣體得到舒緩，硬幣再次掉落如是一再重複，直到手的溫度不再使氣體膨脹為止。此為氣體的「熱漲冷縮」。再舉例「液體的熱漲冷縮（溫度計）固體的「熱漲冷縮」（夏天磁磚曝曬後因為膨脹而掀起）</p> <p>(7) 現在我們再做一次，不過請注意，點頭雞的次數要如何才能夠比剛才實驗的次數還要多，我們應該要注意到什麼？</p> <p>(8) 實際進行實驗。</p> <p>(9) 經過剛剛的討論與發表，你覺得這樣過程對於學習自然科學有沒有什麼意義？</p> <p>(10) 請各組輪流上台發表剛剛討論的結果。 * 教師歸納討論與發表可使科學知識得到澄清，交流彼此想法，達到公開科學知識的目的。</p> <p>(11) 利用「熱漲冷縮」的理論，你可以推論一些事嗎？這些事是否可以證實是對的？* 老師講一個這樣子的經驗：有一天我帶我兒子到高雄去，經過高屏大橋時，我兒子問我，為什麼過橋時都會有「碰、碰」的聲音。我回答「對啊！橋都會做成一段一段的，才會有這樣的聲音」我兒子又問「為什麼橋要做成一段一段的？」我再回答「這些做成一段一段是有作用的，如果不做成一段一段的話，在太陽曝曬下會很熱，然後就會」小朋友聽到這裡，心中有什麼啟示呢？</p>	<pre> graph TD A[重點歸納 (3min)] --> B[兒童討論 (3min)] B --> C[進行實驗 並記錄 (5min)] C --> D[兒童討論 (3min)] D --> E[發表產生 想法、教師 歸納結果 (13min)] E --> F[評鑑結果 (9min)] </pre>	<p>比較各組實驗結果的差異說明讓兒童討論應該注意的地方，以及改進的地方。</p> <p>澄清兒童討論與發表在教學上的意義</p> <p>教師保持公正客觀的態度，以建立兒童發表的信心。</p>	<p>3-3-0-1 3-2-0-2 可重複性、 3-3-0-5</p> <p>公開性</p> <p>3-3-0-3</p>
---	--	--	--

(12) 「熱漲冷縮」的科學知識運用於建造橋樑時必須注意到什麼事情？這件事情沒有注意到可能會造成社會什麼影響？	STS 應用 (9min)		STS
---	------------------	--	-----

6. 點頭雞討論記錄單

討論主題	科學本質之面向
討論一：為何錢幣會一直掀開又合上，造成雞頭一直點？	3-1-0-1、經驗性
答：	
討論二：你認為討論與發表對於學習自然科學有什麼意義？	公開性
答：	

(二) 教學活動設計二 - 拉瓦節與燃素說

- 設計理念：以角色扮演的的方式探討拉瓦節當初破除「燃素說」的整個流程。
讓兒童在角色扮演的過程中，透過分組競賽的方式，深刻瞭解科學理論被推翻的理由在於「以新觀點看舊資料」或「新資料檢視舊理論」的科學本質觀。

2. 教學器材：(每組)

劇本 1份

故事單 1份

3. 學習情境：

學習之前先將劇本與故事單發給兒童，以小組為單位分別演出「拉瓦節與燃素說」的故事劇本，並在課堂中以分組競賽、小組互評與師生討論的方式進行深刻的科學本質觀瞭解。

4. 本活動提昇科學本質之面向：

科學本質能力指標	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，常可發現出問題		
科學本質觀	科學知識本質	公開性	
		暫時性	

5. 學習活動、流程與教學說明：

學習活動	流程	教學說明及評量型式	科學本質之面向
(1) 教師事先(一週前)將故事單與劇本分給學生練習排演。並說明演出以小組同學共同演出，各組輪流，說明各組可修改劇本，以適合演戲，但不可	時間：3分鐘	故事演出評分 (見附錄三)	

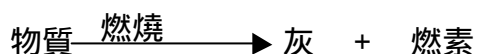
減少戲劇的量（可加油添醋）並事先將評分標準說明清楚。			
(2) 演出說明：各組抽籤輪流上台演出，時間各 10 分鐘（含各組互評、自評時間），共 60 分鐘。	時間：60 分鐘		
(3) 師生探討：	師生討論	故事單	3-3-0-4 公開性、 暫時性
1. 拉瓦節以什麼觀點來看待普利斯特列發現氧氣的過程？	6 分鐘		
2. 拉瓦節是如何破除燃素說的理論？	6 分鐘		
3. 你覺得一個理論可不可以永遠正確，為什麼？	5 分鐘		

6. 附錄一：「拉瓦節與燃素說」劇本

(1) 演員：史塔耳、普利斯特列、拉瓦節、三位科學家

(2) 第一幕

場景說明：布置一張實驗桌（以課桌椅代替、桌上放著打火機、二張 A4 紙張、A4 紙張下放著紙卡『木頭、布、燃素說、燃素說的公式』，旁邊直立置放一個磅秤圖卡），史塔耳（頭戴寫著史塔耳的圖卡、手上拿著燒杯與放大鏡）站在實驗桌後。三位科學家隱身幕後。燃素說的公式：



史塔耳：我是史塔耳，我是中世紀的大化學家，我喜歡做實驗（手拿燒杯舉高）和觀察自然現象（手拿放大鏡貼近眼睛）最近我就做了一個實驗（將燒杯與放大鏡放在桌上），請各位仔細看（將一張 A4 紙張柔一柔，放進燒杯中，將其點燃，燃燒完全後）這張紙經過燃燒後，只剩下灰。我們拿來秤秤看，看燃燒前與燃燒後重量有什麼不同。（秤未燃燒的紙，並報出重量 10 公克，再秤燃燒後的灰，並報出重量 5 公克，做動作就可以了。）我跟各位講，我不僅做了紙張的實驗，還做了木頭（手拿寫著木頭的紙卡）布（手拿寫著布的紙卡）還有很多。你們知道我發現了什麼嗎？（停頓一會兒，等待台下回答「什麼」）就是燃燒後的東西重量會變輕了，這是我實驗許多東西後的結果，所以我提出「燃素說」的理論（手舉高書寫燃素說的紙卡），請看（手舉高燃素說公式的紙卡）也就是說物質燃燒以後燃素會跑到空氣中，剩下灰，同時重量變輕了。（幕後三位科學家『頭戴書寫科學家的紙卡』跑到實

驗桌前稍微半蹲高舉右手大喊史塔耳、史塔耳、史塔耳，邊喊邊彈出右手臂)

幕落(音樂聲起，所有演員跑到實驗桌前來回交叉走以換幕)

(3)第二幕

場景說明：普里斯特列站在實驗桌後，桌上置放氧化汞的紙卡、燒杯、放大鏡、直立置放磅秤的圖卡、寫著火的紙卡，一位科學家手拿寫著「燃燒得更旺盛」隱身幕後，「無燃素氣體」紙卡、「燃素說」紙卡。

普里斯特列：我是普里斯特列(頭戴寫著普里斯特列的紙卡，找找看有無金色頭髮的假髮)，我是英國人，十八世紀的化學家，我最崇拜史塔耳了(史塔耳從幕後走到幕前向大家揮手致意)，我喜歡研究的是空氣(深呼吸，發出口的聲音)空氣中有多少東西，你知道嗎？(停頓一下，等待大家回答『知道』或『不知道』)先讓我做一個小實驗吧！我把氧化汞(手拿書寫氧化汞的紙卡)放在密閉的玻璃杯中，再加熱(以放大鏡聚焦太陽光加熱，一會兒將紅色的氧化汞紙卡換成白色的水銀紙卡)噢！紅色的氧化汞變成銀白色的水銀了。重量有什麼變化呢？拿來秤秤看。變輕了！我崇拜的史塔耳燃素說理論，再次證明了(手拿燃素說公式的紙卡)那我們來看看，這玻璃杯裡面有什麼變化呢？玻璃杯中的氣體好像有點不一樣，把火丟進去(手拿寫著火的紙卡，丟進燒杯中，一位科學家拿著寫有『火燒得更旺盛』紙卡，揭示在普里斯特列胸前)，噢！火燒得比較旺盛。好像怪怪的，燃燒後，燃素會跑到空氣中，這時候應該不會燒得更旺盛，那就把他叫做「無燃素氣體」(手拿寫有『無燃素氣體』)的紙卡舉高。不過沒關係，史塔耳說「燃燒後，物質重量會變輕(手拿燃素說的紙卡)，我得到證明了。我證明了！」(一副高興的樣子，雙手振臂歡呼！)

幕落(音樂聲起，所有演員跑到實驗桌前來回交叉走以換幕)

(4)第三幕

場景說明：普里斯特列：(高興的樣子)今天我要去法國拜訪出名的科學家「拉瓦節」，我要將我的新發現告訴他。

(5)第四幕

場景說明：實驗桌上置放「無燃素氣體」紙卡、

普里斯特列：拉瓦節，我跟你說，最近我在做實驗，發現一個有趣的現象。

拉瓦節：你說說看。

普里斯特列：我將氧化汞放在玻璃杯中，以放大鏡聚集陽光照在氧化汞上，可以得到一種氣體，這種氣體很奇怪，把燃燒中的紙張丟進去，會燒

得更旺盛，我把他叫做「無燃素氣體」。不過史塔耳說「燃燒後，物質重量會變輕」，也再次得到證明。

拉瓦節：是喔！那我倒是很有興趣這個實驗，你可以跟我說怎樣做嗎？

普利斯特列：可以啊！我跟你說（嘴巴湊到拉瓦節的耳邊，嘴巴動得很快，好像在說很多話），你知道了嗎？

拉瓦節：我知道了，謝謝你。

普利斯特列：那我回去了，下次再見！

拉瓦節：再見！

幕落（音樂聲起，所有演員跑到實驗桌前來回交叉走以換幕）

(6)第五幕

場景說明：

拉瓦節：普利斯特列說的這個實驗，我做過了，確實像他所說得一樣。但是我覺得怪怪的，產生的氣體，跟史塔耳說得不一樣，照理說燃素跑到空氣中，應該不會再燃燒了，可是「無燃素氣體」卻燒得更好。真奇怪！真奇怪！（邊走向後，邊搖頭，邊說『真奇怪』）

幕落（音樂聲起，所有演員跑到實驗桌前來回交叉走以換幕）

(7)第六幕

拉瓦節：我發現了！我發現了！（高興的樣子）我回去再重做普利斯特列的實驗，不過我將燒杯改成密閉的容器，發現原來實驗前後，密閉容器中的重量都沒有改變，原來史塔耳的「燃素說」並不對！不過，我要多做一些實驗來證明我的想法。

幕落（音樂聲起，所有演員跑到實驗桌前來回交叉走以換幕）

(8)第七幕

拉瓦節：我將史塔耳的實驗重做一次，原來只要把物質放在密閉容器中，物質燃燒前後包含密閉容器的總重量都不會改變，史塔耳的燃素說是不對的。實驗做到現在，我要向世人說「史塔耳的燃素說是不對的」（手舉著『史塔耳的燃素說是不對的』的紙卡）燃燒後物質的總重量，並沒有變輕，而且氧化汞加熱後產生的氣體也跟史塔耳所說得不一樣。根據我的實驗，物質燃燒應該是和空氣中的一部分相結合，而不是燃素跑掉了。從今天開始，我們要將「燃素說」拋棄（手拿著「燃素說」紙卡，作勢丟棄於地上），我成功了。（雙手半舉握拳）

三位科學家之一：拉瓦節發現了這麼偉大的事情，從今以後，我們要稱呼拉瓦節為「現代化學之父」（手持「現化學之父」紙卡）（幕後另二位科學家『頭戴書寫科學家的紙卡』跑到拉瓦節身邊向其道賀）

7. 附錄二：「拉瓦節與燃素說」故事單

人類用火，不知已歷經了幾萬年，對於燃燒現象，不知已觀察過多少世代，但是一向都是只知其然而不知其所以然。

中世紀的化學家看到物質燃燒後只剩下灰，而且重量變輕了，就有一位化學家史塔耳 (G.Stahl) 觀察燃燒現象，看見物質燃燒後的灰重量都變輕了，觀察很多實驗都是如此。於是他認為可燃物的成分都是灰份與「燃素」的組成，如同下面的式子：

$$\text{可燃物} = \text{灰份} + \text{燃素}$$

這就是中世紀的「燃素說」，「燃素說」影響了長久的觀念。十八世紀英國的普里斯特列 (L.Priestley 1733-1804) 對氣體進行研究，他發現了「氧氣」，但是在當時他堅信「燃素說」，他稱這種可以幫助物質燃燒的氣體為「無燃素氣體」。也因此使得他的偉大發現延後許久才被重新檢視而稱為「氧氣」。有一天他去拜訪當時出名的法國科學家拉瓦節 (A.L.Lavoisier)，他將這個發現告訴拉瓦節，拉瓦節得知後，認為這個「無燃素氣體」跟「燃素說」理論不太符合，因為「燃素」從物質中燃燒後跑到空氣中，應該無法再燃燒才對，可是這個「無燃素氣體」卻可以幫助燃燒，他覺得很奇怪，於是與不同於「燃素說」的新觀點重新檢查其他公開發表過的相關實驗，終於歸納出一個結果：「物體燃燒時會和空氣中的一部分相化合，這部分空氣的密度同普通空氣一樣，可能比一般空氣還要純淨。過幾年他把這部分的空氣改為「空氣中純粹的部分」、「可供呼吸的部分」，最後才改稱為「氧氣」。

由於拉瓦節以不同於「燃素說」的新觀點來檢查、歸納、整理前人的實驗，最後終於破除了「燃素說」的迷咒，也為他贏得「現代化學之父」的名稱。

讀完了上面的故事，請你想一想幾個問題：

討論主題	科學本質之面向
討論一：假如 <u>拉瓦節</u> 沒有以不同於以往的觀點檢查相關的實驗，他會有新的發現進而破除「燃素說」嗎？為什麼？	3-3-0-4
答：	
討論二：科學家的實驗結果如果不經過發表，有意義嗎？為什麼？	公開性
答：	
討論三：十八世紀的科學家堅信「燃素說」，連 <u>普里斯特列</u> 發現氧氣時都認為是「無燃素氣體」一直到 <u>拉瓦節</u> 才破除「燃素說」，「科學知識是一成不變的」這句話你同不同意？為什麼	暫時性

8. 附錄三：「拉瓦節與燃素說」故事演出評分表

大家看過各組的表演後，請將各組的表演分數依項分別記錄到下面表格中：

(1)自評部分：

請紀錄演出最精彩的地方、排演過程中印象最深刻的時候，以及演出後，我反省自己學習到什麼？（以小組來記錄）

最精彩的地方：

印象最深刻的時候：

學習到的地方：

(2)互評部分：

組別	故事內容 60%	演技 20%	道具 20%	其他加分題 10%	合計
第一組					
第二組					
第三組					
第四組					
第五組					
第六組					

四、課程實施成效之分析

為了考驗以上所開發的兩個教學活動之可行性，於教學活動進行前後，研究者以科學本質問卷（內部一致性信度為.71）對學童加以施測。在本次測驗中，有效樣本為 31 位，由評測結果比較表中之相關資料經由 t 考驗分析前後測之差異性，在九項科學本質面向中，前測與後測的差異上都達顯著水準（ $p < .01$ ），由表 6 中亦可得知後測成績都較前測成績有成長，整體科學本質觀平均值由 48.87 成長到 56.58，p 值為.000 達顯著水準，代表著學生的科學本質觀在本教學活動教學後有明顯的提昇。

表 6 科學本質觀前後測結果 t 檢定

科學本質面向		前測		後測		T	P
		平均值	標準差	平均值	標準差		
科學知識的本質	暫時性、3-3-0-4	4.71	1.75	6.32	1.33	6.180	.000**
	可重複性、3-2-0-2	4.81	1.68	6.19	1.14	3.973	.000**
	公開性	5.00	1.39	6.74	1.00	6.352	.000**
	可預測性、3-3-0-3	4.61	1.84	5.71	1.13	3.592	.001**
	合計	19.13	4.06	24.97	2.97	8.042	.000**
科學探究的本質	科學探究過程誤差的存在性、3-3-0-5	4.71	1.64	5.68	1.25	3.240	.003**
	經驗性、3-1-0-1	4.35	1.82	6.23	1.18	5.117	.000**
	實徵性、3-3-0-1	5.55	1.52	6.48	1.26	3.570	.001**
	合計	14.61	3.29	18.39	2.79	6.652	.000**

科學 事業的 本質	科學與技學	5.48	1.61	6.87	0.96	5.008	.000**
	科學與社會	4.65	1.52	6.35	0.95	5.204	.000**
	合計	10.13	2.26	13.23	1.54	7.359	.000**
總合計		48.87	7.36	56.58	6.09	10.555	.000**

**P<.01

致謝

本研究承蒙國科會專題研究計劃補助經費(NRC 92-2522-S-153-012-),『九年一貫「自然與生活科技」領域能力指標詮釋研究』總計劃主持人陳文典教授、林顯輝校長,與各子計劃研究群-李文德教授、施焜燿教授、莊嘉坤教授、洪文東等教授,以及所有的研究教師與助理大力協助,特此致謝。在此並感謝黃子瑜教授、楊明達老師、黃志賢老師、吳仲謀老師、邱明富老師、陳俊強老師、林裕仁同學參予討論設計,尤其特別感謝楊明達老師的實驗教學,使本文得以順利完成。

參考文獻

- 林兆聖 (2003)。以原子發現科學史融入教學對學生科學本質觀影響之研究。高雄市：國立高雄師範大學化學系碩士論文(未出版)。
- 林樹聲 (1999)。科學素養的省思。科學教育月刊, 222, 16-26。
- 范信賢 (2000): 無聲之聲：從教師的觀望與冷漠再思九年一貫課程改革的進路。國立屏東師院「當學校 - 教師遇上九年一貫課程改革」對談會。
- 高慧蓮、蘇明洲 (2000) 科學的本質與科學哲學觀的演進。屏師科學教育, 12, 3-13。
- 翁秀玉、段曉林 (1997)。科學本質在科學教育上的啟示與作法。科學教育月刊, 201, 2-15。
- 教育部 (2001) 國民中小學九年一貫課程暫行綱要。台北市:教育部。
- 黃惠娥 (2004)。科學史教學對國小五年級學生之科學本質、科學態度及科學興趣之影響。台中市：國立台中師範學院自然科學教育學系碩士論文(未出版)。
- 簡利真 (2003)。國小師生在科學展覽中科學本質表徵之研究。台北市：台北市立師範學院科學教育研究所碩士論文(未出版)。
- Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Lederman, N. G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. *Science Education*, 82, 417-436.
- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (1998, April). *Improving science teachers' conceptions of the nature of science: A critical review of the literature*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, San Diego, CA.

- 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.
- Abimbola, I. O. (1983). The relevance of the "new" philosophy of science for the science curriculum. *School Science and Mathematics*, 83(3), 181-193.
- Akerson, V. L., Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000). Influence of a reflective explicit activity-based approach on elementary teachers' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 295-317.
- Alters, B. (1997). Whose nature of science? *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 39-55.
- American Association for the Advancement of Science. (1989). *Project 2061: Science for all Americans*. Washington, DC: Author.
- American Association for the Advancement of Science. (1993). *Project 2061: Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.
- Bell, R. L., Blair, L. M., Crawford, B. A., & Lederman, N. G. (2003). Just do it? Impact of a science apprenticeship program on high school students' understandings of the nature of science and scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 487-509.
- Bentley, M. L., & Garrison, J. W. (1991). The role of philosophy of science in science teacher education. *Journal of Science Teacher Education*, 2 (3), 67-71.
- Bombaugh, R. (1995). *Peace Corps Fellows enter the urban classroom: Learning to teach by the authority of experience*. Doctoral Dissertation, University of Michigan.
- Bronowski, J. (1965). *Science and human values*. New York: Harper and Row Publishers.
- Bronowski, J. (1966). *The identity of man*. New York: The Natural History Press.
- Bronowski, J. (1978). *The origins of knowledge and imagination*. New Haven & London: Yale University Press.
- Brown, H. I. (1977). *Perception, theory and commitment: The new philosophy of science*. Chicago: University of Chicago Press.
- California State Board of Education. (1990). *Science frame work: For California public schools, kindergarten through grade twelve*. CA: California Department of Education.
- Chiappetta, E. L., Sethna, G. H., & Fillman, D. A. (1993). Do middle school life science textbooks provide a balance of scientific literacy themes? *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 787-797.

- Cleminson, A. (1990). Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and of how children learn science. *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (5), 429-445.
- Collette, A. T., & Chiappetta, E. L. (1994). *Science instruction in the middle and secondary schools* (3rd ed.). New York: Maxwell Macmillan.
- Dawkins, K. R., & Vitale, M. R. (1999). *Using historical cases to change teachers' understandings and practices related to the nature of science*. Paper presented to the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Boston, MA, April.
- Fabricius, W. V. (1983). Piaget theory of knowledge: Its philosophical context. *Human Development*, 26, 325-334.
- Feyerabend, P. (1970). Consolation for the specialists. In I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the growth of knowledge*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Feyerabend, P. (1978). *Against method: Outline of an anarchistic theory of knowledge*. London: Verso.
- Finley, F. N. (1983). Science processes. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 47-54.
- Fleury, S. C., & Bentley, M. L. (1991). Educating elementary science teachers: Alternative conceptions of the nature of science. *Teaching Education*, 3 (2), 57-66.
- Forawi, S. S. (1996). *The effects of the interaction of teachers' understanding of the nature of science, instructional strategy, and textbook on students' understanding of the nature of science [CD-ROM]*. Abstract from: ProQuest: Dissertation Abstracts Item: 9621877.
- Garrison, J. W. (1986). Some principles of postpositivistic philosophy of science. *Educational Researcher*, 15, 12-18.
- Garrison, J. W., & Bentley, M. L. (1990). Teaching scientific method: The logic of confirmation and falsification. *School Science and Mathematics*, 90 (3), 188-197.
- Gorman, M. E. (1986). Falsification in experimental and classroom simulations. *School Science and Mathematics*, 86 (4), 306-321.
- Hanson, N. R. (1961/1958). *Patterns of discovery* (2nd ed.). Cambridge: The University Press.
- Hanson, N. R. (1977). Is there a logic of scientific discovery? In B. A. Brody (Ed.), *Readings in the Philosophy of Science*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

- Harris, K. (1979). *Education and knowledge: The structured misrepresentation of reality*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Hempel, C. G. (1966). *Philosophy of natural science*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Hume, D. (1962). Of ideas, their origin, composition, connection, abstraction, etc. In D. G. C. Macnabb (Ed.), *A treatise of human nature*, Book One. London: Fontana/Collins.
- Kant, I. (1965). *Critique of pure reason* (translated by Norman Kemp Smith). New York: ST Martin Press.
- Khishfe, R., & Abd-El-Khalick, F. (2002). Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 551-578.
- Kuhn, T. S. (1970/1962). *The Structure of Scientific Revolutions* (2nd ed.). Chicago: University of Chicago Press.
- Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of science research programmes. In I. Lakatos, & A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the growth of knowledge*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Lederman, N. G. (1983). *Delineating classroom variables related to students' conceptions of the nature of science*. Unpublished doctoral dissertation, Syracuse University.
- Lederman, N. G. (1986). Students' and teachers' understanding of the nature of science: A reassessment. *School Science and Mathematics*, 86(2), 91-99.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*. 29(4), 331-359.
- Lederman, N. G. (1995). *Translation and transformation of teachers' understanding of the nature of science into classroom practice*. (ERIC Document Reproduction Service No: ED 382474).
- Lederman, N. G., & Zeidler, D. L. (1987). Science teachers' conceptions of the nature of science: Do they really influence teacher behavior? *Science Education*, 70(5), 721-734.
- Lieu, S. C.(1997). *Teacher understanding of the nature of science and its impact on student learning about the nature of science in STS / Constructivist classrooms*. Unpublished doctoral dissertation , University of Iowa.
- Loving, C. C. (1997). From the summit of truth to its slippery slopes: Science education journey through positivist-postmodern territory. *American Educational Research Journal*, 34 (3), 421-452.

- Matthews, M. R. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. New York: Routledge.
- McComas, W. F., Clough, M. P., & Almazroa, H. (1998). The role and character of nature of science in science education. *The Nature of Science in Science Education*, 3-39. Kluwer Academic Publishers.
- Miller, R., & Driver, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-42.
- Milne, C., & Taylor, P. C. (1995). Metaphors as global markers for teachers' beliefs about the nature of science. *Research in Science Education*, 25 (1), 39-49.
- National Assessment of Education Progress (NEAP). (1989). *National Assessment Science Objective-1990 Assessment*.
- National Research Council. (1994). *National science education standards: A draft*. Washington, DC: National Research Council.
- National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Nersessian, N. J. (1989). Conceptual change in science and in science education. *Synthese*, 80, 163-183.
- Nussbaum, J. (1989). Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, 11, 530-540.
- Palmeri, A. B. (1995). *The consistency between second-grade teachers' beliefs toward science and their science teaching practice*. Doctoral Dissertation: Indiana University.
- Petersen-Falshoft, G. (1979). *Philosophy of science and didactics* (Henn, Kastellaun). In German.
- Polanyi, M. (1962). *Personal knowledge: Toward a post-critical philosophy*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Popper, K. R. (1968). *Conjectures and refutations in the growth of scientific knowledge*. New York: Harper Torchbooks.
- Rubba, P. A., & Anderson, H. (1978). The development an instrument to assess school students' understanding of the nature of scientific knowledge. *Science Education*, 62(4), 449-458.
- Rutherford, F. J., & Ahlgren, A. (1990). *Science for all Americans*. New York: Oxford University Press.
- Smith, M. U., Lederman, N. G., Bell, R. L., McComas, W. F., & Clough, M. P. (1997). How great is the disagreement about the nature of science: A response to Alters. *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (10), 1101-1103.

- Smith, M. U., & Scharmann, L. C. (1999). Defining versus describing the nature of science: A pragmatic analysis for classroom teachers and science educators. *Science Education*, 83(4), 493-509.
- Solomon, J., Duveen, J., Scot, L., & McCarthy, S. (1992). Teaching about the nature of science through history: action research in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 409-421.
- Stone, L. (1992). *Postpositivist teaching; beyond the myth of prediction*. Paper presented at the 1992 JUSTEC conference. Tamagawa University, Tokyo.
- Terhart, E. (1988). *Philosophy of science and school science teaching*. *International Journal of Science Education*, 10 (1), 11-16.
- Toulmin, S. E. (1953). *The philosophy of science: An introduction*. London: Hutchinson & Company, Ltd.
- Toulmin, S. E. (1985). *Pluralism and responsibility in post-modern science*. *Science, Technology and human values*, 10 (1), 28-37.