

# 當今科學概念發展研究賦予 科學學習的新意義

\*許榮富\*\*黃芳裕

\*國立臺灣師範大學科學教育研究所

\*\*國立臺灣師範大學化學系

## 壹、前言

科學概念的發展，在皮亞傑學派的「發生認識論 (Genetic Epistemology) 理念引導下，形成1970年代以來，科學教育的重要成就之一。

本研究企圖統整這些研究發現，以建立科學學習的新意義。在科學概念發展的研究發現上，將相關文獻依其理論架構的特性區分成下列四個方向：1.人種誌 (ethnographic) 的研究架構。2.迷思概念 (misconception) 的研究架構。3.社會認知的研究架構。4.心智表徵 (mental representation) 的研究架構，進行理論結構上的特性、基本主張以及研究發現對「學生科學學習」的可能新意義。

經由相關文獻的分析，在研究者的研究經驗與我國學生的表現特性中，配合現今的哲學理念，提出適合我國學生特性、教育環境等之科學學習模型之芻議，以為有興趣於我國科學教育的各界人士之參考。

## 貳、科學概念成長的相關文獻評析

國科會科教處全力支持我國中小學科學教育上「科學概念」之研究，使我國在1970年代以來即和風行全球的研究方向，進行同步探討。在此一背景下，分析學生科學概念成長的相關文獻，頗具有獨特的意義及重要性。

科學概念的成長研究，經由Driver (1973) 開始做有系統的分析以來，逐漸發展出各種不同類型之研究，像迷思概念 (misconception)、前置概念 (pre-conception)、替代架構 (alternative framework) 以及其他相關名詞，成為全世界有關科學教育的重要方向之一。

不同的學者，在相同的科學概念中，像浮力、莫耳等是以不同的理論結構進行研究，產生各種研究發現而具有不同的詮釋，如West et al. (1983) 是以進化 (evolutionary) 和Kuhn (1970) 的革命 (revolutionary) 做科學概念成長的機制，Gilbert

和Watts (1983) 是從批判社會學的結構理論說明整個科學概念的成長，Driver 和Easley (1978) 是從結構論的名詞符號改變或理念改變做分類基礎。國內科學教育的科學概念成長之相關文獻，也有同樣的百家爭鳴之分歧和百花齊放的盛況。

這些不同的理論架構，經由嚴格的評析後，發現彼此之間有著交互纏錯的不可區分狀況，而且彼此之間有著相互補強的能力，因此以「哲學理念」為分析的基礎，計可區分成下列四個方向：

### 一、人種誌的研究架構

皮亞傑 (1929) 經由「人種誌」的研究設計，記錄學童有關月亮移動的科學理念，使人種誌的研究架構成為探討學生科學概念成長的重要方法之一。

在社會學上，人種誌的研究設計，係假定觀察者在一種毫無偏見的價值中立下，忠誠的記錄所觀察到的各種現象，以呈現出被觀察者行為表現的特殊性質。

科學概念成長研究，大部分之人種誌設計係以Leboutet-Barrell (1976) 的基本假設為基礎，認為可以「經由面對面的交談，配合晤談的技巧，形成相關的問題，讓學生理解到在整個晤談裡可以自由的表達而不受干擾，進而釐清出學生的思想」。

Barnes 和Todd (1977) 提出晤談過程中，晤談者與學生間的「源自社會機制的平等關係」而對「自由的表達」提出質疑。Osborne 和Gilbert (1979) 對此一質疑提出因應策略，認為整個研究的結果僅是在「某個情境下」的反應，不能過份的普適化。

Pope 和Keen (1981) 以建構論的理念，在Kelly (1955) 的「個人建構理論 (personal construct theory)」下，發現科學概念的成長與皮亞傑的早期「結構論 (structurism)」不符合，學生是經由理論導向在回答問題，形成「回答問題的空間」之選擇而產生「替代架構」的研究方向，Engel (1982) 在Driver 的指導下，開啓了此方向的探討。

在教學實務的使用上，此理論架構的轉換產物，係以Hewson 和Hewson (1983) 與Posner et al. (1982) 的概念改變為成功的範例，Driver 和Oldham (1986) 配合行動研究開發出CLISP (Children's Learning in Science Project) 的具體教育範例。

### 二、迷思概念的研究架構

迷思概念的研究架構，是指在一個特別的科學概念組織下，不同的學生在語言表徵上產生的迷思，以明白學生對學校課程中的「科學概念」在理解過程中的困難，並進行

有效的教學 (Viennot, 1979)。

Minstrell (1982) 把迷思概念的研究, 從學童的表現延伸到教室中的教學活動, 發現到「教師」與迷思概念有關。Wells (1984) 與Karrqvist (1984) 的研究發現「迷思概念」的研究架構, 不能單純的從學童呈現之語言加以分析, 因為學童賦予這些語言的「意義」相當含糊, 有時甚至是誤解。

Strauss (1983) 對迷思概念的研究發現之應用提出質疑, 因為經由迷思概念的技巧, 使學生能夠依照規則進行「算術」, 但不會轉移到應用題的情境。Caillot (1984) 與 Joshua (1984) 以電路為單元, 也有類似問題。這些研究對「迷思概念」認為只要明白學生犯錯的方式即能產生有效的指導等理念形成極大的挑戰。

### 三、社會認知的研究架構

社會認知的研究架構, 與前面兩種架構有著極大的差異, 其主要的特性是:

1. 科學不是價值中立, 學生的科學概念是反映出學生在社會這個大環境下, 所形成的理念。
2. 科學的概念不全然是理性。學生的科學概念理念, 不是像科學家的單一專業社群, 反而像「與日常生活相關」的生活社群, 因此文化與科學概念的成長有關。

Nussbaum和Novak (1976) 進行不同國家學童對地球之理解, 即呈現出這種現象。Sneider 和 Pulos (1983) 則深入到不同的日常生活情境, 像社區文化等也影響到科學概念的成長。

Halliday (1978) 分析學生的「科學術語」表現, 呈現出與人種誌或迷思概念的理性、客觀等基本假設之不同發現, 認為生活文化支配到學生的科學概念成長, 並不是從如何推論的思考能力, 而從該感受到什麼的理念方向去影響學生的學習, 也就是學生的差異不在於思維能力的表現, 而是思想的本身。

Redeker (1980) 以Husserl 的現象學為理論基礎, 發現學生對科學的詮釋是源自日常生活的世界 (Life-world), 因而引入理性社會現象學的「自然態度」(Schutz & Luckmann, (1973)。Lin (1983) 與Solomon (1983, 1984) 發現理性社會現象學的單一、自然之共識實體不能解釋學生的表現, 因為學生對「科學語言」並不具共識。Solomon (1993, 1994) 更直指對「語言」的基本假設, 須從Chomsky (1965) 的理性語言結構延伸到無關理性的語言結構。

在此方向的發展, 國內研究者許榮富等 (許榮富, 1993 a-d ; 許榮富等 1994a,b; 1993; 1992 a-c) 與Solomon的主張有許多雷同之處。

#### 四、心智表徵的研究架構

心智表徵或心智模型 (mental models) 的基本架構，與前三者的研究架構不同，主要的差異在於下列特性：

1. 科學概念的成長，並不是單純的語意符號而已，應該有非語意的心智活動，也就是認為科學概念的本身不是價值中立，不僅是與個人建構有關，如Kelly (1955) 的個人建構理論之主張，而且是與外在的世界或社會環境有關。
2. 外在世界與個人的關係，可以經由心智表徵的運作加以分析，也就是研究的重心並不是在於學童如何給予科學符號意義，必須深入到學童如何看外在世界和如何建構外在世界的意義。

在前面敘述的兩個特色下，心智表徵的研究架構與傳統的科學哲學主張有下列不同之處：

1. 科學知識的成長與個人的認識論 (Epistemology) 有關。也就是個人對科學本體 (ontology) 主張會支配到個人的科學知識成長。較重要的本體主張有：(甲)科學的真理 (truth)。(乙)科學的實體 (reality)。(丙)科學的語言 (linguistic) (趙金祁等，1994，1993，1992)。
2. 科學知識的組織或表徵與情境有關。不是自然的存在 (natural) 而是個人依其目的論 (teleology) 的期待 (desire) 而創立 (invented) (趙金祁，1993)。

心智模型的研究者 Johnson-Laird (1983) 對科學思維是「經由不斷修正以形成較完整的知識」提出挑戰，直指內省法 (introspection) 僅能呈現出單一線性思考，而忽視了整個過程間的動態關係。

Bliss (1993) 經由心智表徵之研究，指出皮亞傑 (1978) 早期的發生認識論中的結構論 (structuralism) 把知識區分成「知道什麼 (what) 和知道為什麼 (how)」存在問題，因為科學知識本身並不全是語言的形式命題之思想 (propositional formal thought)。Greene (1994) 則經由主張個人認識論介入知識的建構，認為 Halliday (1978) 的主張「學生知識表徵的分歧，不是思維能力或形式的不同，應是個人的思想意識不同」，值得重視，強調後現代哲學理念上的 Derrida、Foucault 等學派主張，認為思想的意識形態 (ideology) 在科學知識的結構上有其空間。

國內的研究，在此方面也有類似的突破，許榮富 (1993 b) 在心智表徵上以「力的概念」發現 Gree (1994) 的主張，稱為「心智表徵的精緻結構」。許榮富等 (

1994 a.b ) 延伸科學知識認識論的主張 ( 許榮富 1993 a ) 發現 Solomon ( 1994 ) 在科學語言上的主張, 認為語言 ( linguistic ) 在科學教育理念上, 應該可以延伸 Chomsky ( 1965 ) 的理性主張到後結構論 ( post-structuralism ) 的領域, 恰巧和 Greene ( 1994 ) 的理念一致。

## 參、科學概念發展研究賦予科學學習的新意義

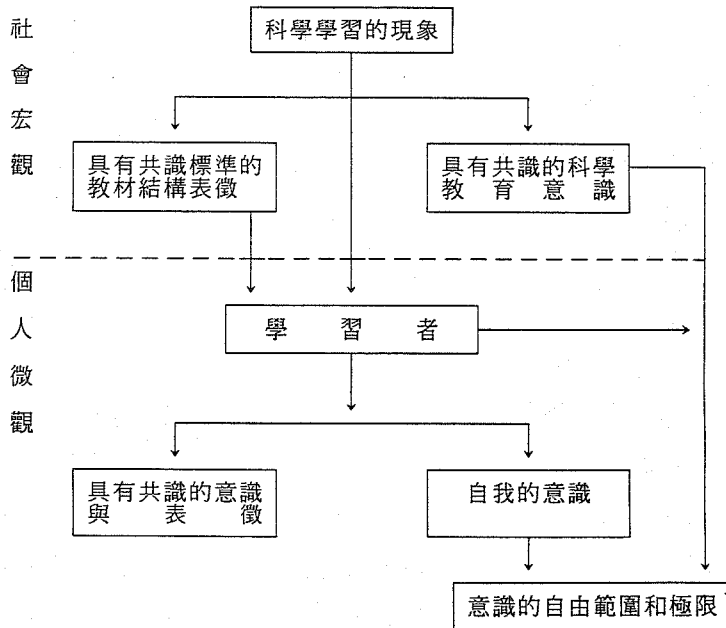
經由二十多年來, 各國在科學概念發展研究之相關文獻分析, 形成人種誌、迷思概念、社會認知和心智表徵等四個較明顯的可區分之相互補強之方向。現配合我國相關的研究發現以及科學哲學理念, 統整出適合於我國學生科學學習的新意義。

### 一、科學學習的新內涵

人種誌的研究架構, 係將個人的主義因素加以排除, 認為每個人皆能以理性的自我, 去取得存在於個人之外的客觀之自然世界而能有共同的見解。這種主張與傳統的科學哲學主張一致, 認為要明白科學須有三個獨立的方向: 第一是調查的理論架構, 第二是調查的方法學結構, 第三是調查的方向。這些主張在 Leboutet-Barrell ( 1976 ) 的單一共識之實體下和每個人都完全平等的狀況下, 是可以遵行的架構。但是研究結果發現外在世界與個人的認識論有關 ( 許榮富, 1993; Greene, 1994 ), 因此在使用科學符號與個人的意識 ( consciousness ) 是同時存在。這個發現說明在科學學習的過程裡, 同時有兩個方向, 一個方向是共同使用的表徵, 這些表徵有科學的符號、概念、技術、活動等, 可以直接從外顯性行為加以區分。假若科學的表徵是一種自然的、共識的常識 ( commonsense ), 那麼另一個隱藏於內在心智的意識是沒有存在的必要, 科學學習的內涵將是一系列的程序 ( process ) 而已, 迷思概念的研究架構, 發現單純的程序不能形成概念的轉換使用 ( Caillot, 1984; Joshua, 1984 ), 因此真正的理解是隱藏於內在心智意識的創新, 此時科學學習的內涵已從程序進入到生產 ( product ), 是一種更新的運作。

社會認知的研究架構, 發現學童的科學學習與學童的認識論有關 ( Halliday, 1978 )。因此隱藏於內在的心智意識, 可以區分成兩種, 一種是個人意識到 ( awareness ) 在科學學習中受到外在社會的意識限制, 而社會意識的存在並不是單一的形式 ( Soldomon, 1994 ), 如何配合情境或環境的期待, 形成合適的表徵是一種選擇, 如趙金祁等 ( 1994 ) 以「能」詮釋精誠金石為之所開, 但不將「能」窄化成科學的物質化之「原子能」, 更不能因滿足理性、實用的法則, 故意忽視「能」與「原子能」的差異, 以建立

起虛偽的共識實體而謊稱為「自然態度」的生活世界。這種選擇使學生呈現出的科學知識表徵，除表現的形式外，還有學生掌握社會意識的理解狀況。科學概念的成長在科學學習的教育過程裡，我們將前面的討論加以整理，應有下列模型（圖一）的系統結構。



圖一 科學學習的內涵

## 二、科學學習的新意義

模型內的各種活動與活動間的相互關係，在科學學習的詮釋如下：

社會認知的研究架構，不僅發現文化與科學學習有關，而且也發現到生活社群亦是一個重要因素，因此在科學學習的過程裡，除過去 Ausubel (1963) 強調以學生能理解為起點的有意義學習外，尚且須重視學生在不同生活社群中的差異；同時心智表徵的研究架構，不僅發現意識 (consciousness) 有個人與社會的不同表現，而且也發現到學生的認識論介入科學知識的建構，其中有不同的「意識到 (awareness)」之表現。因此，每個不同的科學知識表徵，不能只是視成源自不同技術的結構表現，Halliday (1978) 認為這是源自不同的社會意識。這些研究發現，使科學學習在社會宏觀面上提供科學學習者之環境必須同時兼顧到科學教育的意識、科學教育的表徵和科學教育的方法，為一完整型系統。這個完整型系統有下列特色：

(一) 在課程的設計方向，傳統的科學化分析模式（如泰勒模型等）所忽視的科學教

育意識，必須加以重視。也就是科學和其他的學科一樣，不能獨立於社會之外而成為自然存在的狀況。科學教育的系統有其多元性的狀況，如何重視社會意識、生活社群等值得探討。

- (二) 在教師的教學活動上，傳統的科學化學習方式（如：行為目標）僅重視個體是否能有期待的表徵，值得檢討。我們認為在此方向教師有兩種方向的新意義。第一個方向是具有共識標準的教材結構表徵，是由教師傳授給學生。由於教師個人認識論會進入到整個教學活動中，傳授的訊息並不是單純的「媒介（mediate）」，即教師不是像複印機般的忠誠反映共識結構，教學活動也不是單純的過程而已，教師必須經由科學教育意識，產生社會對教師所期待之結果。因此，教師的角色有重新探討的空間，如何經由教育機制建立勝任教師角色之評估與培育也是另一個重要的問題。

第二個方向是科學教育意識賦予教師的權力。在社會宏觀面上，科學教育意識勢必由目前的單一意識進入到多元化結構，學校將面對意識多元化之「自由空間（freedom space）」，如何配合社區文化、教育政策等會使學校的結構在自主性上，產生權力結構的調整。教師除須理解社會宏觀的意識外，更須理解學校社群的意識。這將使社會對教師角色所期待的能力、功能等產生調整。此方向值得重視。

- (三) 在學生的學習上，心智表徵的研究架構呈現出學習者在科學學習過程裡有兩種不同的表現。第一個方向是迷思概念研究架構所重視的學生使用什麼科學術語、呈現出什麼科學知識表徵與人種誌的學生意識到那些意識，或學生與所謂的生活世界之常識有那些不同，進而如何要求學生擁有這些共識的常識。假若科學知識就是真實世界的反映，也就是科學的意識是獨立於人、社會和時間而為「自然存在」，那麼第二個方向是不存在的。然而近代的科學意識已擺脫「自然存在」（如：Kuhn, 1970; Laudan, 1984），因此第二個方向成為必須重視之領域。

第二個方向是源自學生個人認識論「意識到」的自我意識。人種誌的研究架構發現「意識到」與個人和社會有關，迷思概念研究則發現與教師有關，社會認知的研究架構則發現「意識到」在科學領域裡，幾乎是被忽略的領域，因為大多數的學生不理解科學意識有其極限。心智表徵研究發現「意識到」的運作，必須從個人的認識論產生「異質化」才能存在（Greene, 1994），因此在很

強的實證權威限制下，大多數學生在科學意識上，係以單一的霸權狀況去接受科學典範，形成「意識行為但未意識到（consciousness but unawareness）」（許榮富等 1994a）。如何使科學學習能深入到學生理解自我意識與科學意識間的差異性，進而明白在學習過程裡的「意識自由空間和極限」，讓學生能夠正確使用科學知識，能夠配合不同的社會環境，做出正確的調整，使科學的益處充分發揮造福人群且不致產生因「誤用」而禍及全人類之負面產物，確是科學教育的時代任務。

## 肆、結語

科學概念發展的研究，從早期的客觀、理性、自然之哲學理念，採用實證經驗、價值中立、理性邏輯的方向進行每個基本單元或概念名詞的分析，逐漸的進入到目前的個人認識論之介入，無關理性的典範意識、個人與社會交互作用的「意識到」運作，使方法學的重心從學生使用那些符號，那些知識結構等，延伸到學生如何選擇意識和知識系統，把研究的本體從科學意識是一系的訊息組成以及每個訊息可從符號經由定義等形成知識的經驗內涵，延伸到科學意識是一種理念並且是與個人、社會及時間相關的本體，組成當今科學認識論之內涵（許榮富，1993a）。這些改變使得科學的學習有新的意義（如：許榮富等，1994；Greene, 1994；Solomon, 1994），頗值我們重視。

## 參考文獻

- 許榮富（1993a）科學知識認識論的新詮釋及其對科學教育研究的衝擊。中華民國第九屆科學教育學術研討會論文集編。
- 許榮富（1993b）科學知識之推論理解的精緻結構化心智模型。1993 年國際科學教育詮釋性研究研討會。
- 許榮富（1993c）科學知識心智模型與科學態度潛在特質之 Rasch 模型分析研究。國立臺灣師範大學學報，38 期，pp.111-155。
- 許榮富（1993d）科學知識理解與推論機制的基本資料之建立（Ⅱ）：科學知識之推論理解的心智模型。國科會研究報告，NSC-82-0-111-S-003-041。
- 許榮富（1992a）科學教育的科學與認知科學。中華民國第八屆科學教育學術研討會論文集編。
- 許榮富（1992b）科學知識理解與推論機制的基本資料之建立（Ⅰ）：科學知識

- 理解的表徵研究。國科會研究報告，NSC-81-0111-S-003-501。
- 許榮富、邱莉華（1993a）學生對平面之運動獨立性之推論理解。物理教育年會論文彙刊。
- 許榮富、黃芳裕（1994a）以後現代哲學理念探討學童認識科學現象的符意與形成知識的心智表徵。中華民國第十屆科學教育學術研討會。
- 許榮富、黃芳裕（1994b）從科學知識組織建構之理念詮釋學生力概念的心智表徵。中華民國第十屆科學教育學術研討會。
- 許榮富、黃芳裕（1992a）學生使用科學知識的省察力發展之分析。1992。中華民國物理教育學術研討會論文彙編，pp.163-197。
- 許榮富、黃芳裕（1992d）職前科學教師科學知識省察力發展分析。中華民國第八屆科學教學學術研討會論文彙編。
- 許榮富、古智雄（1992c）二元編碼理論在國中生凸透鏡成像心智表徵上的研究。中華民國物理教育智會論文彙刊。
- 趙金祁（1993）三維人文科技通識架構芻議。科教月刊，160期，pp.10-17。
- 趙金祁、許榮富、黃芳裕（1994）當今通識教育理念賦予科學教育的新功能。科教月刊，171期，pp.2-11。
- 趙金祁、許榮富、黃芳裕（1993）科學哲學對科學知識組成之主張及其演變。科教月刊，161期，pp.4-17。
- 趙金祁、許榮富、黃芳裕（1992）科學哲學對科學知識主體主張之演變。科教月刊，154期，pp.2-18。
- Ausubel, D.(1963). The psychlogy of meaningful verbal learning. Greene & Stratton, New York.
- Barnes, D. and Todd, F.(1977). Communication in small groups. routledge & Kegan Pul, London.
- Bliss, J.(1993) the relevance of Piaget to research into children's conceptios. in Black, P.J. & Lucas, A.M.(ods) Childre's informal ideas in acience. Routledge, London, PP.20-44.
- Bourdieu, P.(1977) Outline of a theory fo practice. Cambridge University Press, Cambridge.

- Caillot, M.(1984) "Problem representation and problem solving procedres in electricity. In Duit, R., Jung, W. and Rhoneck, c.(eds) Aspects of understanding electricity. IPN, Kiel, pp.139-52.
- Chomsky, N.(1965) Aspects of the theory of syntax. MA: MIT press, Cambridge.
- Driver, R.(1973) "The representation of conceptual frameworks in young adolescent science students.' PhD thesis, University of Illinois, Urbana, Illinois.
- Driver, R. and Easley, J.(1978) 'Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students." Studies in Science Education, 5: 61-84.
- Driver, R. and Oldham, V.(1986) 'A constuuctivist approach to curriculum development in science.' Studies in Science Education, 13:10 5-22.
- Engel, E.(1982) "An exploration of pupils' understanding of heat, pressure and evolution.' PhD thesis, University of Leeds.
- Gilbert, J. and Watts, M.(1983). ' Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in science education." Studiew in Science Education, 10:61-98.
- Greene, M.(1994) 'Epistemology and educational research: The influence of recent approach to knowledge.' Review of Research in Education, 20:423-464.
- Halliday, M.(1978) Language as social semiotic. Edward Arnold, London.
- Hewson, M. and Hewson, P.(1983) 'Effects of instruction using students' prior knowledge and conceptual change strategies on science learning.' Joutnal of research in Science Teaching, 20(8): 731-43.
- Johnson-Laird, P.(1983) Mental models. Cambridge University Press, cambridge.

- Joshua, S.(1984) 'Students' interpretations of simple electrical circuit diagrams.' *European Journal of Science Education*, 6:271-5.
- Karrqvist, C.(1984) 'The development of concepts by means of dialogues centred on experiments.' In Duit, R., Jung, W. and Rhoneck, c.(eds) *Aspects of under-standing electricity*. IPN, Kiel, pp.215-26.
- Kelly, G.(1955) *The psychology of personal constructs*. W.W. Norton, New York.
- Kuhn, T.S.(1970) *The structure of scientific revolutions*. Cambridge University, Cambridge.
- Laudan, L.(1984) *Science and value*. University of California, Berkeley.
- Leboutet-barrell, L.(1976) 'Concepts of mechanics among young people.' *Physics Education*, 11:462-5.
- Lin, H.(1983) 'A cultural look at physics students and physics classroomms: an example of anthropological work in science education.' In Helm, N. and Novak, J.(eds) *Proceedings of the international seminar on misconceptions in science and mathematics*. Cornell University, Ithaca, NY.
- Minstrell, J.(1982) 'Explaining the "at rest" condition of an object.' *the physics Teacher*, 20:12-14.
- Nussbaum, J. and Novak, J.D.(1976) 'An assessment of children's concepts of the earth utilising structured interviews.' *Science Edcation*, 60:535-50.
- Osborne, R. and Gilbert, J.(1979) *An approach to student understanding of basic concepts in science*. Occasional paper. University of Surrey, Guildfor.
- Piaget, J.(1978) *Success and understanding*. Routledge & Kegan Paul, London.
- Piaget, J.(1929) *The child's conception of the world*. Paladin Press, London.

- Pope, M. and Keen, T.(1981) Personal construct psychology and education. Academic Press, London.
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P. and Gertzog, W.(1982) 'Accommodation of a scientific concept: towards a theory of conceptual change.' Science Education, 66:211-27.
- Redeker, B.(1980) 'The difference between the life-world of children and the world of physics: a basic problem for teaching and learning mechanics.' Lecture given at the Universitat-GH-Pderborn.
- Schutz, A. and Luckmann, T.(1973) Structures of the life-world. Heinemann, London.
- Sneider, M. and Pulos, P.(1983) 'children's cosmographies: understanding the earth's shape and gravity.' Science Education, 67:205-21.
- Solomon, J.(1994) 'The rise and fall constructivism.' Studies in Science Education, 21, 1-20.
- Solomon, J.(1993) 'Four frames for a field.' In black, P.J. & Lucas, A. M.(eds) 'children's informal ideas in science.' Routledge, London, pp.1-19.
- Solomon, J.(1984) 'Prompts, cues and discrimination: the utilization of two separate domains of knowledge.' European Journal of Science Education, 6:277-84.
- Solomon, J.(1983) 'Learning about energy.' PhD thesis, Chelsea college, University of London.
- Strauss, S.(1983) 'Engaging children's intuitive physics concepts via curriculum units: the cast of heat and temperature.' In Helm, H. and Novak, J.(eds) Proceedings of the international seminar on misconceptions in science and mathematics. Cornell Univesity, Ithaca, NY, pp.292-303.
- Viennot, L. 1979. 'Spontaneous reasoning in elementary dynamics.' European Journal of Science Education, 1:203-21.
- West, L., Pines, L. and Sutton, C.(1983) 'In-depth investigation of learner's understandings of scientific concepts and theories.' Occasional paper, University of Leicester.