

第貳章 文獻探討

本章旨在探討與本研究相關的文獻，先整理學生在本研究單元——「光的折射」的迷思概念與成因，再分別探討實驗教學與電腦模擬兩種教學策略對概念成就的影響，以期能改變學生「光的折射」的迷思概念。全章共分三節：第一節為「光學概念」；第二節為「實驗教學對概念成就的影響」；第三節「電腦模擬對概念成就的影響」。

第一節 光學概念

一、光學的迷思概念

科學理論往往需要經歷許多科學革命才能建立，在科學史中曾經被認為的典範，往往在新的證據出現後，被另一個新的典範取代，光學發展史就是一個典型的例子。而 Thagard (1992) 認為學生在學習科學概念時所經歷的概念改變與科學史上概念革命有類似的情形（引自邱美虹，2000）。即學生的科學概念再重建與科學革命是相類似的。所以若要欲幫助學生產生概念改變必須先了解學生有哪些迷思概念。以下從光學概念中針對與本研究有關的三個單元「光的直線傳播」、「平面鏡成像的概念」與「光的折射的概念」來討論。表為 2-1-1 在光學特定單元中學生的迷思概念與科學的概念之比較。

表2-1-1 在光學特定單元中學生的迷思概念與科學的概念之比較

光學單元	學生的迷思概念	科學的概念
光的直線傳播		
影子的本質	學生將影子具體化，認為影子是能移動的實體，而且是實體複製的結果。	影子是光經過物體之後，光被物體所阻擋，而沒有光照射到我們的眼睛裡，所以看起來是黑色的。
影子的形成	學生會使用「反射物」或「反射」等術語來描述影子的形成。	影子的形成是光經過物體之後，光被物體所阻擋，而在物體的背後會形成一個沒有光照射的陰影。
針孔成像的形成	符合概念： 學生以孔徑的大小來描繪所形成的像。 擠壓概念： 學生所畫的成像圖猶如漏斗，影像的形成是擠壓至小孔後而形成的。	少數光線透過針孔在屏幕上所形成倒立的實像。
平面鏡成像		
	平面鏡會產生實像，因為平面鏡具有複製影像的效果，在沒有光的情形下也會有像的形成。	平面鏡所形成的像是與物體大小相等、左右相反、正立的虛像。若是沒有光的情形下，平面鏡將無法反射光，所以不會有像的形成。
	平面鏡所形成的像是屬於實像平面鏡所形成的像是在平面鏡鏡面上。	平面鏡所形成的像是屬於虛像，平面鏡所形成的像是在平面鏡後方。
光的折射		
	以反射觀點解釋桶中加水的後成像。 <u>迷思 (1)</u>	桶中加水所成的像是光在水中的折射現象。
	無法分辨光在不同介質的偏折方向。 <u>迷思 (2)</u>	光從密介質至疏介質，折射線比原路徑偏向法線。

學生對「鉛筆在水中的折斷現象」的解釋是水或容器形狀造成的。 <u>迷思 (3)</u>	「鉛筆在水中的折斷現象」是因為光在水中產生折射現象。
--	----------------------------

學生不會分辨凸透鏡和凹透鏡，認為凡是透鏡皆會增加光的能量 <u>迷思 (4)</u>	凸透鏡具有聚光的效果，而凹透鏡則有散光的效果。
---	-------------------------

成像位置是多變的。 <u>迷思 (5)</u>	成像位置是唯一的。
-------------------------	-----------

放大鏡只能產生正立的像，且成像必定比原物大。 <u>迷思 (7)</u>	放大鏡的成像有正立也有倒立的像，有放大的縮小的像。
--------------------------------------	---------------------------

物體所發出的光線都必須通過焦點。 <u>迷思 (8)</u>	平行主軸的光線必會通過焦點。
--------------------------------	----------------

將屏幕移近或移遠透鏡時，成像會跟著變大或變小，但仍然清晰。 <u>迷思 (9)</u>	屏幕只有在成像位置上才能看見最清晰、面積最小的成像。
---	----------------------------

光經過透鏡所成的實像若將紙屏移走則眼睛無法看到像。 <u>迷思 (10)</u>	光經過透鏡所成的實像眼睛可以看見。
---	-------------------

在透鏡成像中，學生認為當整個透鏡組移走時仍會成像，此像是由物體直接投影在屏幕上。 <u>迷思 (11)</u>	光線是透過透鏡折射，故沒有透鏡則沒有成像。
--	-----------------------

透鏡成像中需要整個透鏡組，才能看見完整的像形成。 <u>迷思 (12)</u> 以為此實像會以完整的影像從燈泡透過透鏡。 <u>迷思 (6)</u>	光是由光源向四面八方進行故遮去透鏡的上半部也可形成完整的像。
---	--------------------------------

(一) 光的直線傳播

光傳播方式為直線傳播，可以「影子的形成」為例，以直線前進的光被不透明的物體阻擋，而沒有光照射到我們的眼睛，所以影子是黑色的。但學生往往會

認為影子是能夠移動的實體，將影子具體化認為影子是實體複製的結果（Bendall et al., 1993；Feher & Meyer, 1992；Feher & Rice, 1988；Galili & Hazan, 2000；引自劉俊庚，2002）。有些學生會使用「反射」或「反射物」等名詞來解釋影子的形成（Galili & Hazan, 2000）也有學生認為在沒有光的地方也會有影子，或是認為影子形成的原因是光對物體起作用（Feher & Rice, 1988）。國內也有研究發現學生認為影子的產生是因為光照射在物體上，再經由物體發出影像於屏幕上（黃湘武與黃寶鈿，1989）。

直線傳播的另一個例證為「針孔成像」，但學生所形成的迷思概念有兩種類型，一為符合（fit）概念，另一為擠壓（squeeze）概念。符合概念就是以孔徑的大小來描繪所形成的像，因為學童認為光經過針孔成像時，光是以平行的方式通過孔洞，因此生成的像會與原物相同（Goldberg & McDermott, 1986）；擠壓概念就是成像圖猶如漏斗，影像的形成是擠壓至小孔後而形成的（Rice & Feher, 1987）。王晉基與郭重吉（1992）則是發現國內二、三年級的學生會以「反射」或「折射」的概念來解釋針孔成像。

（二）平面鏡成像

平面鏡所形成的像是與物體大小相等、左右相反且正立的虛像。若是在沒有光的地方則鏡子將無法反射光，所以不會有像的形成。但是有些學生以為所謂「實像」就是肉眼可見的像，所以平面鏡所成的像為實像。且會憑著生活中的經驗誤以為像的位置在平面鏡鏡面上，而不可能是在鏡後，因為鏡子後面是牆壁（邱韻如，1998）。有些學生則是認為平面鏡具有複製影像的效果，所以即使在沒有光的環境下也會有像的形成（Bendall et al., 1993；Galili & Hazan, 2000；引自唐明，2001）。

（三）光的折射

本研究的「透鏡成像實驗」屬於「光的折射」概念，所以以下綜合國內外學者對於學生「光的折射」的迷思概念文獻，整理十二種迷思概念：

1. 迷思 (1):

學生常將「反射」與「折射」的概念相互混淆，如有些學生會以反射觀點解釋光的折射現象，認為桶中加水後的成像是光的反射現象(Andersson & Kärrqvist, 1983；唐明，2001；引自李采衷，2003)；或有些學生以為凸透鏡成像與針孔成像的原理相同(William, 1994；引自竇一龍，2002)。

2. 迷思 (2):

當光由一介質通過另一介質時，學生常不能確定光的行進方向，甚至有學生認為因為光是直線前進的，故不會偏向(王晉基與郭重吉，1992)。

3. 迷思 (3):

Shapiro (1994) 研究發現學生對於「鉛筆在水中的折斷現象」有下列解釋：水使鉛筆看起來好像是折斷的；水把光線彎曲；折斷現象是杯子的形狀造成的；水和杯子使鉛筆看起來更大，水和杯子扮演放大鏡角色；水扮演放大鏡角色；折射現象是光線和杯子共同造成的；此現象是光的作用造成的(引自李采衷，2003)。國內學生也同樣認為折射現象是由水或容器形狀造成的(唐明，2001)。王晉基(1992)也曾有類似的發現，有些國中生認為水缸圓弧狀會影響魚成像的大小；水杯中的水具有放大功能使筆變粗。

4. 迷思 (4):

十三、十四歲的學童對於放大鏡的作用有兩種迷思概念，一為放大鏡會使光量變多，另一為放大鏡會使光線聚集在一起。而有些學生不太會分辨凸透鏡和凹透鏡，認為凡是透鏡皆會增加光的能量(Andersson & Kärrqvist, 1983；唐明，2001；陳均伊、張惠博、郭重吉，2004)。

5. 迷思 (5):

教師在教授透鏡成像單元時常會教學生畫透鏡成像圖，但學生可能因此產生迷思概念。有些學生以為光線經過凸透鏡時必須先會聚於凸透鏡上一點，然後再發散成像(Galili, 1996；Galili & Hazan, 2000；Goldberg et al., 1991；引用陳均伊等人，2004)；學生常以「一點發出一條光線」的概念來畫透鏡成像圖。堅持此

種觀點的學生會認為像的位置不唯一（Rice & Feher, 1987；古智雄，1992；陳忠志，1989）；也有學生因為學會畫透鏡成像圖，誤以為物體射向凸透鏡的光線均與凸透鏡的主軸平行（William, 1994；引自竇一龍，2002）。Galili 等人（1993）的研究中也發現學生不知道要形成一個點必須有兩條線相互交錯。如果學生能正確使用光線作圖法，會以兩條光線決定成像的位置與像的性質。

6. 迷思（6）：

學生利用畫圖的方式來表示成像，所以常會以「整體的影像」去思考，舉例來說，學生在解釋凸透鏡形成的倒立實像時，學生通常會認為此完整的影像會從燈泡透過透鏡，甚至是大學生也有此迷思概念（Galili et al., 1993；McDermott, 1986, 1987；引自竇一龍，2002）。此迷思概念類似於前述針孔成像的符合概念。

7. 迷思（7）：

學生若有使用放大鏡的經驗可能會以為凸透鏡只能產生正立的像，或以為以放大鏡呈的像必定比原物大（陳均伊等人，2004）。有些學生則是因在透鏡成像實驗時在紙屏上所看見的像皆是倒立的，誤以為凸透鏡只會產生倒立的像，而沒有正立的成像（Galili & Hazan, 2000）。

8. 迷思（8）：

學生較難理解「焦點」的意義，常誤以為「焦點」是一個特殊的點，以為物體所發出的光線都必須通過焦點；或是認為物體成像的位置就是焦點，即屏幕所在的位置就是焦點（William, 1994；Alistair Kwan, 1998；引自竇一龍，2002）。

9. 迷思（9）：

在透鏡成像的實驗中，有些學生認為改變凸透鏡與屏幕之間的距離，不影響屏幕上成像的清晰程度（William, 1994；引自竇一龍，2002）；而有些學生則會認為如果將屏幕移近或移遠透鏡時，成像會跟著變大或變小，但仍然清晰（Galili & Hazan, 2000）；也有學生認為若將屏幕逐漸移遠透鏡，而屏幕上的成像會慢慢縮小直到成為一個點。反之，若將屏幕慢慢移向凸透鏡時，屏幕上的成像會慢慢變的模糊，但是像的大小不會改變（William, 1994；引自竇一龍，2002）。

10. 迷思 (10):

對於實像的觀察，有些學生認為若將紙屏移走，像可能會成像於透鏡上、透鏡內、透鏡與光源之間或透鏡與眼睛之間等，故眼睛將無法看見光經過透鏡所成的實像 (Goldberg & McDermott, 1983, 1986)。有些學生則認為因為屏幕會帶著像前進，若沒有屏幕會使成像消失 (陳忠志，1989)。

11. 迷思 (11):

在透鏡成像中，學生認為當整個透鏡組移走時仍會成像，因為此像是由物體直接投影在屏幕上 (Fetherstonhaugh & Treagust, 1987, 1990; Galili & Hazan, 2000; 引自竇一龍，2002)。

12. 迷思 (12):

光源是向四面八方進行，故凸透鏡所成的實像為無線多條光線交會。學生沒有此概念會誤以為將凸透鏡遮住一半時將無法成像；或認為需要完整的凸透鏡才能生成完整的像 (Fetherstonhaugh & Treagust, 1987, 1990; Galili & Hazan, 2000; 引自竇一龍，2002)，且像的大小與透光區的面積有關，故若將凸透鏡遮住一半則只能產生一半的像，因為有一半的像被擋住，但亮度會相同 (王晉基與郭重吉，1992)；也有學生認為物體的大小必須與凸透鏡的孔徑相似，否則，一部份的影像會消失，更有學生認為當一透鏡因被遮蔽會形成兩個或兩個以上不相連接的透光區時，每一個透光區各自獨立成像 (竇一龍，2002)。

依據以上光的折射的迷思概念的文獻與教科書的教學目標，整理出十種類型的概念 (如表 2-1-2) 作為本研究評量學生透鏡成像概念的依據。其中概念 6 與概念 9 不是從文獻中的迷思概念產生，概念 6 的來源為南一版教科書自然第三冊第三章第四節「光學儀器」其中之照相機功能，本研究中的實驗將會操作照相機。概念 10 則為透鏡成像的應用——「變焦」，不是來自於文獻的迷思概念，教科書也沒有此內容，本研究中的課程也不會提及，是為了測驗學生較高層次的概念。

表2-1-2 透鏡成像概念類型對應相關迷思概念

概念類型	對應相關迷思概念
概念 1.像與物的靜態相對位置	迷思（5）、迷思（6）
概念 2.像與物的動態相對位置	迷思（9）
概念 3.像與物圖形的對稱關係	迷思（6）
概念 4.透鏡成像結果的歸納	迷思（7）
概念 5.實像與虛像的成像觀察	迷思（9）、迷思（10）
概念 6.照相機的特性	文獻未提及相關迷思概念
概念 7.由像的性質推測物體的位置	迷思（7）
概念 8.成像為無限多條光線的交會點	迷思（6）、迷思（12）
概念 9.改變凸透鏡的焦距後成像性質的變化	文獻未提及相關迷思概念
概念 10.光在凸透鏡中的反射現象	迷思（1）

二、產生光學迷思概念的成因

根據相關文獻將光學迷思概念的成因分為下列三個因素來說明：

（一）以直觀解釋生活中的體驗

個人的經驗是透過與生活環境的互動而形成的，人們常以此作為知識建構的基礎。但學生往往對其日常生活現象並未深入的觀察，僅經由個人的觀感與想像就對賦予此現象意義，反而造成迷思概念的產生。所以學生學習前錯誤的直覺或歸納，可能來自於學生的生活經驗（Garnett et al., 1995；Lewis & Linn, 1994；王美芬與熊召弟，1996；陳啟明，1991；引自陳均伊等人，2004）。舉例來說，學生平時照鏡子是為可以看清楚自己的臉，所以認為平面鏡能將物體放大，當回憶個人生活體驗時會受個人印象所影響，主觀的認為現象應與潛藏的想法相符，故學生會認為照鏡子所看到的像會大於物體。此外，學生誤以為實像定義為能夠用肉眼看到的像，因為平時可看見鏡子中的自己，故認為平面鏡所形成的像

是屬於實像，且認為所形成的像是在平面鏡鏡面上不可能在鏡後，因為鏡後是牆壁（邱韻如，1998）。

學生通常僅對常見的現象有較深刻的體認，所以容易以偏蓋全將局部的體驗類推到整體，認為所有的情況皆會相似。舉例來說，學生曾有使用放大鏡將物體放大的經驗，即將此局部的體驗加以延伸，認為放大鏡的成像必定大於物體（陳均伊等人，2004）。

科學概念常與學生原有的概念不相符合，而學生在學習過科學概念之後，還是可以發現學生仍然保留舊有的迷思概念，學生可同時存有兩種概念，一為進行科學測驗時所使用的科學概念，很容易遺忘，另一為用以解釋周遭世界的既有概念用，較不易被改變（吳政勳，2002）。

（二）以不當的推理解釋未知的現象

許多學生在理化課中對於他們正在學習的某些現象都有一套自己的解釋，尤其是在他們學習時沒有得到有系統的說明。學生帶著對某些現象的獨特解釋來到理化課教室，這些觀念甚至是從沒系統的教學而來的。如前段所述，學生的這些觀念是由他們的生活經驗所造成的。

於是當學生學習時若遇到概念衝突，可能會進行不當的連結與推理，用既有的概念解釋未知的現象。建構主義者認為在學習的過程中，學生原有的知識扮演極重要的角色，學生在面對未知的現象時，會以其既有概念為基礎來建構新的概念。Galili 與 Hazan（2000）及 Watson 等人（1997）皆曾指出學生會應用邏輯推論，來解釋不同的現象，進而產生與科學概念不一致的另有概念（引自陳均伊等人，2004）。

舉例來說，學生解釋平面鏡成像時，會用影子形成的概念進行不當的推理，以平面鏡視為光源，以影子的形成與平面鏡成像相對應，以致產生另有概念。又如學生對「鉛筆在水中的折斷現象」的解釋是水扮演放大鏡的角色（Shapiro, 1989；王晉基與郭重吉，1992），學生認為會形成筷子放大的像一定是由放大鏡

造成，於是扮演放大鏡者應該是唯一的物體——水。甚至有學生認為是容器的形狀所導致（唐明，2001）。

有些學生則是認為科學概念的學習是不重要的，甚至認為是無用的，以致於對相關概念的學習只是屬於片面的記憶，而完全沒有經過邏輯思考（吳政勳，2002）。不論是以錯誤的既有概念經過邏輯思考產生的概念，或是缺乏邏輯性思考的接受新概念，皆會導致光學的迷思概念。

（三）光學專有名詞的誤用

學習自然學科要先了解科學專有名詞的定義，但是許多科學名詞或是物理量的定義可能是直譯為中文，讓學生難了解其定義甚至造成誤解。然而，學生對科學用語不瞭解或是不適當的文字聯想也會造成概念混淆與衝突（Head, 1986；Hashweh, 1986；Sutton & West, 1982；Blosse, 1987；陳啟明，1991）。

學生通常會運用自己內在的語言解釋科學現象，如光線行進至平面鏡時會發生反射的現象，然而，學生卻認為光線遇平面鏡後會「折返」回來，所以將此現象視為「光的折射」，因而誤解折射定律的意涵。光的「反射」與「折射」僅有一字之差，學生易將兩者混淆使用，難以明確區分反射與折射概念間的差異（引自陳均伊，2004）。故有些學生以反射觀點解釋桶中加水後的成像（Andersson & Kärqvist, 1983；唐明，2001；引自李采衷，2003）。

同時，也會受到語意的影響，以致應用字面的意義來詮釋科學現象。事實上，文化和語言的因素常使得學生易以採用直覺的判斷與字面的意義，詮釋科學現象或理解科學概念。如有些學生認為「實像」即是肉眼可看見的像，所以他們認為平面鏡所即是實像；或是經由教師介紹分辨實像與虛像的方法，即使用紙屏尋找成像，能在紙屏上成像的為「實像」，不能在紙屏上成像的即為「虛像」。有些學生以為實像只有在紙屏上才能成像，肉眼看不見。於是學生以為若將紙屏移走則眼睛無法看到實像（Goldberg & McDermott, 1983, 1986；引自唐明，2001）。

學生的迷思概念會妨礙學習新的科學概念，因為有一些迷思概念受到生活經

驗支持，雖然是錯誤的卻難以改變的。或是會以不當的推理解釋未知的現象，或誤用光學的專有名詞。為了改變學生這些另有概念，有效的教學是必要的。

根據皮亞傑的理論，知識的獲得是個體利用已存在的認知結構去同化環境中的訊息，若無同化，個體就會產生不平衡的認知現象，因而導致調適，此時個體便會調整現存的認知結構或產生新的認知結構去同化新的訊息，以達到平衡（張靜儀，民 91）。學生通常拒絕改變所擁有的概念，除非他們對他們現在所接受的概念感到不滿意。為了促進學生進行概念改變，應讓學生面對與已存在概念相互衝突的現象或是概念（引自劉俊庚，2002）。這即是皮亞傑所謂的不平衡或是概念衝突，教師應引導學生在解決衝突時能夠反思已有的概念，進而改變舊有的概念或想法。許多研究指出傳統教學法不易改變學生的另有概念，新興的建構教學取向教學方式較能引發學生的認知衝突，進而改變學生的另有概念（張川木，1995，1996；鄭麗玉，1998）。

在概念改變教學與建構教學相關文獻裡，有些教學策略已被其他研究證明是有效的，如學習環（learning cycle）、類比教學（analogy teaching）、概念衝突（concept conflict）、小組討論（group discussion）、電腦模擬（computer simulation）、搭橋類比法（bridging analogy）、異例法（discrepant event or anomaly）、蘇格拉底式對話法（socratic dialogue）、實驗教學（experimental teaching）等（張川木，1996；張靜儀，2002；劉俊庚，2002）。有許多研究文獻則是採用結合兩種以上的教學策略，並且評估其整體的效益（Arold & Millar, 1987；Dentici et al., 1984；Hynd et al., 1994；Johsua & Dupin, 1987；Rogan, 1988）。如 Arold 與 Millar（1987）利用概念衝突、討論和演示的教學策略，而來促進學生對於電學概念的理解；Johsua 與 Dupin（1987）則是結合學生之間的討論、實驗教學和教師的類比，而來促進學生在電學概念的學習（引自劉俊庚，2002）。

本研究將針對實驗教學與電腦模擬兩種教學策略來改變學生在光學透鏡成像中的迷思概念，本章下兩節分別論述實驗教學與電腦模擬對於概念改變的影響。

第二節 實驗教學對概念成就的影響

一、實驗教學的意義與重要性

實驗活動更是科學教學和研究上重要的一環，因為實驗是獲得科學知識的基本工具和最佳途徑，從科學發展史中可以發現科學知識大部分來自於自然觀察和科學實驗，尤其是許多科學理論的演進皆取決於實驗結果之證實與啟示。經由教師對實驗的安排，學生能藉此獲得科學知識或檢驗科學知識。因為科學理論或知識是經由累積大量的經驗證據（empirical evidence）自然可得，經驗證據即實驗或感官觀察的結果，而科學理論或知識的驗證基本上就是檢驗科學理論和經驗證據是否吻合。所以經驗證據對科學理論擁有最高且最後的判決權，經驗證據決定了科學理論的地位。同樣地，若將這樣的觀點轉移到自然科教學上，則實驗課在自然科教學上會有重要的功能及地位（林陳涌，1995）。

一般而言，自然科教師皆認為實驗課在自然科教學上是不可或缺的。Tamir（1976）指出「實驗活動可幫助學生培養正確的科學態度及科學過程技能」。實驗室提供學生進行彰顯、演示與驗證他們已知概念與定律的場所，所以優良的實驗活動可以提供學生進行知識建構的機會（Tobin, 1990）。Clement（1985）曾提出有些學生對於物理現象的圖形解釋較為困難，而實驗可使人產生新的想法，在具體運思期思考力承受物理操弄所影響，必須由經驗資料推論而產生解釋（吳幸宜譯，2000）。

Tamir（1976）提出四個支持實驗教學的理由如下（引自林秀蓁，1995）：

1. 科學包括高度抽象及複雜的主題，未達形式操作的學生，在沒有操作事物機會時，無法瞭解科學。
2. 實驗室的工作可以提供學生鑑賞科學之方法及精神的機會。
3. 實際之經驗增進了技能的發展，有廣泛的類化效應。
4. 學生一旦喜歡實驗活動，將更有興趣於科學的學習。

呈上述所表示，實驗教學可以提升學生的過程技能也可以培養正確的科學態度（Tamir, 1989），也能使學生瞭解其理論意義（Millar, 1989）。Tobin 和 Capie（1980）認為實驗的功能不僅是在科學過程技能上的培養，更能幫助學生在不同的科學領域提升相關解決問題的能力（引自羅慶璋，2003）。林陳涌（1995）也肯定實驗教學對概念學習上的影響，認為實驗教學除了可提供學生進行知識建構的機會，更能給學生具體的學習經驗，使科學的理論和概念與實際觀察所得發生連結。

Simpson 與 Anderson（1981）曾將實驗教學之功能綜合歸納如下（引自洪姮娥，1984）：

1. 教導認識科學和技術的本質—幫助學生了解科學與技術之不同及其唇齒相關之特性，以及科學內涵與本質。
2. 學習解決問題的技巧—藉由學生對物質的處理，培養其解決問題及思考技術等能力。
3. 學習操作技巧—藉由實驗活動接觸真實材料的機會，正可訓練操作技巧。
4. 學習主要觀念和原理—幫助學生組織事實及現象，且經過實驗室踏實的訓練和經驗，使學生較能掌握觀念、原理及原則之關係。
5. 發展興趣、態度和價值觀—在實驗室充滿刺激與挑戰的環境中，可使學生發展科學興趣，以及處理科學與人生的科學態度和人生觀。

我國亦對實驗教學在科學教育中相當重視，教育部於 92 年 1 月 1 日公佈的九年一貫課程修訂綱要中明白提出，國中小學生學習科學應學會如何進行探究活動，如觀察、詢問、規劃、實驗、歸納、研判，也培養出批判、創造等各種能力。其中特別是應以實驗或實地觀察的方式去進行學習，讓學生獲得處理實際事務的機會，並培養解決問題的能力。自然科學的學習常分理論與實驗兩部分，理論支持實驗，實驗驗證理論，兩者相輔相成，缺一不可。

以下為實驗教學的重要性及目標（許榮富與趙金祁，1987；張鳳琴，1995；Pella, 1961；引自楊文金與許榮富，1987）：

1. 學習科學概念。
2. 發展認知能力。
3. 學習科學過程技能。
4. 理解科學本質。
5. 培養正面的科學態度。
6. 發展良好社會態度。
7. 引起對科學的興趣。
8. 學習如何應用科學原理。
9. 發展對科學的鑑賞能力。

二、實驗教學對概念改變的效益

在科學教育的研究中，實驗教學對於科學教育的功能與重要性已獲得肯定，對於學生在科學上的學習是有幫助的。實驗的功能表現在過程技能與科學精神上，有些研究顯示實驗對概念成就也有顯著效益。實驗的單元涵蓋所有自然科的科目，如物理、化學，研究對象任何階層都有成效，甚至是大學生。

Cross 與 Pitekethly (1998) 曾針對國小力學的「速度」的概念探討利用動手的做實驗在概念改變的影響，學生經過實驗教學後概念測驗明顯進步。同樣地，在國中的課程中 Rogan (1988) 曾針對「熱與溫度」的概念，發現學生經過實驗教學與小組討論後，高推理能力學生較低推理能力學生更能夠放棄熱質理論，可見高推理能力的學生經過教學後會產生明顯地概念改變。

但也有研究顯示實驗教學對於中低成就的學生概念成效最為顯著，Dentici et al. (1984) 針對國中力學的「浮力概念」發現大部分學生經由小組實驗透過協商而重新組織他們的概念結構，特別對於低分或中間成就的學生。學生在小組討論明顯地促進在學習過程裡的不平衡與重新平衡，瞭解重量與體積並不是決定物體沈或浮主要因素。

在高中的化學課程中實驗教學也相當重要，Ebenezer 與 Gaskell (1995) 針

對「溶解」的概念進行實驗教學，原來 13 位學生中有 10 位具有迷思概念「物質溶於水是從固態轉變成液態的過程」，經過實驗教學後只有 2 位學生還有此迷思概念，且較多比例的同學能用化學結構來解釋溶解過程。而 Driel 等人（1988）是針對「化學反應」的概念探討學生在面對巨觀與微粒形態時的推理形式，進而研究實驗教學策略是否能促進學生概念改變。研究結果發現利用化學實驗能夠使學生在化學反應的概念促成其感到不滿足，進而使用「用以解釋異例的解釋模式」來解釋動態的平衡概念。

而在簡單電路概念中，不論是針對國中生或是大學生皆有顯著成效。Johsua 與 Dupin（1987）讓國中學生進行小組討論、實驗教學與教師類比模式。教學前學生有四種電流模式的表現：接觸、單一導線、撞擊、消耗，而其中以撞擊模式的比列最多。學生在經過實驗教學之後，大多數的學生仍持有「撞擊」模式，並且擁有電流「消耗」模式的學生人數有增加的趨勢。Saxena（1992）則是發現大學學生實驗教學能移除學生在「簡單電路」的迷思概念。

三、實驗教學的困難與建議

自然科學實驗教學通常會使用分組教學，透過小組合作讓每位同學參與學習，可以讓實驗教學的功用更為彰顯。但也有些教師認為實驗教學效果不彰，帶學生進實驗室的意願低落（黃寶鈿與劉靄，1993）。江武雄（1997）對 874 位教師進行問卷調查，認為造成實驗教學困難的最重要因素是學生沒有預習準備，其次是學生的學習動機低落。教師和學生對於實驗的意願低落的原因，是因為實驗的學習成效不如預期。Lunetta（2004）花了二十年的時間研究科學實驗在科學學習的影響，希望科學實驗能增進概念學習。以下根據相關文獻整理四項實驗教學中常遇到的困難：

（一）實驗設計不良

教師可能未在實驗前介紹原理，讓學生在進行實驗時因不清楚原理導致行為

和認知不一致，即實驗操作與概念未做連結（Lunetta, 2004）。然而，若實驗教學未經設計只要求學生按照教科書上的實驗步驟進行實驗，學生在進行實驗時著重於操作，而鮮少產生概念上衝突，影響學習成效，實驗步驟如食譜般只需按順序操作，此目的將提不起學生的學習興趣，因不具挑戰性沒有成就感。Linn（1995）在評論有關實驗室對科學學習的角色定位時指出，當學生依照食譜式的實驗過程，因而無法獲得像科學家創造科學知識之樂趣，且可能會阻礙學生思考無法自行擬定實驗方向。此外，實驗過程缺乏評量的方法無法了解學生學習狀況，也會讓學生以為實驗不是學習的一部分而不積極參與。甚至教師提供給學生的學習評量單與實驗教學目標不一致。以上的缺失，都將會影響學生的科學概念學習。

（二）硬體設備的限制

有些學校因為器材設備不足，或是實驗桌數有限，又因班級人數太多，導致每組人數過多，如六到七人，這樣的人數一起使用一組實驗器材，會使得每人參與實驗機會不均，有些學生甚至沒有機會操作實驗。有些學校則是專人管理支援不夠，使得實驗無法順利進行（黃寶鈿與劉靄雯，1993）。

（三）實驗時間的限制

現行國中課程一堂課為 45 分鐘，將學生帶到實驗室實驗不論實驗簡單或困難，一定要以一節為單位。因為實驗教室的座位編排方式和普通教室不一樣，學生的座位面向組內而不是面向黑板，所以實驗結束後即使有剩下的時間也很難在實驗教室中上課。所以較容易的實驗也要設計一整節課，較困難的實驗則需要設計完整二節課。但是許多教師因為課程進度的關係，不願意多花一堂課在實驗課上，因為認為實驗的概念成效不如在教室進行教學。

（四）班級經營管理

進行實驗時通常以小組為單位，期望學生發揮小組合作精神，所以鼓勵學生進行互動討論，相對的，在實驗教室中的秩序管理比在普通教室上課不易。此外，實驗室中有許多潛在的危險，如四周有強酸、強鹼、酒精燈，要格外注意同學們

的安全，有些教師擔心學生安全問題而進行示範實驗。

針對以上為實驗教學的困難，提出以下四項建議以期發揮實驗教學的功能：
(Hofstein & Lunetta, 1982；林秀蓁，1995；林陳涌，1995；蔡佩穎與張文華，1999)

1. 實驗教學的設計及進行應顧及學生的現有概念，尊重並提供機會讓學生表現其現存知識的機會，並鼓勵學生自行或共同設計實驗活動。
2. 實驗技能學習的進行不能獨立於學科知識及情境之外，實驗活動必須和教學目標一致，才能顯現出實驗教學的成效。且學生在科學實驗中的認知與行為深受教師期望與評量練習的影響，所以教師設計實驗步驟及學習單也應與學習目標相符。
3. 安排合適的探究式的教學策略，並鼓勵學生組內合作，進行小組討論，組間良性競爭，以引起學習動機。
4. 實驗教學活動的目的不是為了獲得經驗證據的，而是要學生進行討論及協商建構經驗證據的意義，來精緻化自己的現有概念。勿企圖以歸納法來使學生發現科學知識或企圖以經驗證據來證實或完全否證學生現存知識。應鼓勵同學以科學證據為基礎大膽主張，且引用科學方法和科學態度時積極並謹慎。

為了讓實驗教學對科學學習是有正向助益必須建立在多方面的考量下，若配合適當的教學策略勢必也能夠彰顯實驗教學。近年來資訊融入科學教育已是不能抵抗的潮流，電腦模擬實驗室可以提供主動、獨立且更多的科學探索機會。近年來國內也有模擬學習方面的相關研究，顯示模擬在提升學習動機及學習成效上的效果頗為顯著（Gutwill et al., 1999；Zietsman & Hewson, 1986；White, 1984；Hameed et al., 1993；吳昌家，2002；李秀貞，2002；林傳傑，2003；邱俊宏，2004；高德義，2003；曾靖華，2003；黃竹坤，2001；林合彥，2003）。模擬實驗室是否能夠克服實驗教學遇到的困難，將為本研究的研究重點之一。

第三節 電腦模擬對概念成就的影響

資訊融入科學教育是現今重要的教育議題，因為電腦輔助學習除了可以提高學習興趣之外，學生與教材的互動性提高且能對學生進行個別化的指導，或是能解決實際生活中的問題，此外資訊課程通常可以重複的使用，能維持一致性，更可以提供未精熟的學習者補救教材來延續課堂教學（洪榮昭，1992）。

美國國家科學教育標準（NSES）認為使用電腦模擬來輔助學習者學習科學時，可以選擇適當的科學內容，並設計教材來符合學生的學習需求，如依照學習者的興趣、知識、理解、能力和經驗。目前利用電腦輔助學習，在課程的運用上有以下五種策略，個別指導式（tutorial）、反覆練習式（drill and practice）或測驗式（testing）、問題解決式（problem-solving）或稱之為啟發式（discovery）、模擬狀況式（simulation 或 modeling）、遊戲式（gaming 或 instructional games）（黃竹坤，2001）。本研究的目的之一為探討電腦模擬（Computer Simulation）對概念學習的效益，故以下僅針對與本研究有關的模擬式電腦輔助教學說明。

一、電腦模擬的意義與重要性

模擬式電腦輔助教學，是藉由學習理論與電腦學習技術的結合，以達成輔助學習的目的，允許使用者控制輸入參數與觀察輸出結果，並提供學生探索的學習環境，讓學習者經過由「做中學」的模擬實驗形成具體的概念，達成學習目標（Thomas & Neilson, 1995）。將學習者安置在一個由真實場景所模擬出來的虛擬世界、或是利用模型來模擬實務或事實，讓學習這在此場景中學習如何應對或是綜合各種狀況做出決策，但是卻沒有真實世界中的可能高風險、高成本。此種教學方式適用於自然科學及商業管理等需要複雜決策的場合（黃竹坤，2001）。

張霄亭（1993）認為模擬式的電腦輔助學習是最具創造性的電腦軟體，可將學習者不易觀察到的實體或現象等，以電腦模擬的方式，達成與實際情境相同的教學目的（顏晴榮，1998）。提供學習者一個擬真的學習環境，使其有親臨其境

的感受，可引發高度的學習動機，同時藉由與電腦的互動，學生可獲得與真實情況相似的學習經驗，使不易接觸到的環境或情況，也能藉由電腦學習（陳志中，1990）。Dembo（1994）認為電腦模擬有助於學生學習，試圖以模擬真實經驗來提供學生經驗，以學習特殊的技能或增進決策與問題解決過程，例如電腦模擬有助於學習飛行、經商、價值判斷。可使人們無需考慮現實生活中可能因危險、花費、或時間等限制因素而無法嘗試的情境，用以透過電腦的途徑來親身體驗與瞭解此情境的真實發生情況（黃竹坤，2001）。

然而，電腦模擬應用於教學的目的應是為了配合教學的需要，可說是一種教學技巧或是專業訓練的手段。主要用於學習實際事物和知識，或是用於瞭解實際情境中錯綜複雜關係，或研究過程的啟發式教學設計。電腦模擬教學可連結學生的感官收錄，將無法觀察的現象以具象的方式呈現，或以類推（reason by analogy）的方式表達，協助學生動態思考，當學生概念正確建立之後，而電腦模擬的角色也就功成身退（引自林秀美，1998）。

電腦模擬是一種學習環境，主要在呈現擬真的物體、系統或現象或其特性。Hargrave 和 Kenton（2000）提到通常科學教育上採用模擬的原因是因為符合三原則，一為個別化學習－適應個別差異及精熟學習；其次是「主動學習」－符合建構教學的理論基礎，從做中學；第三是「適時回饋」－在學生發生錯誤時，給予回饋及校正，以修正學生的學習（引自羅慶璋，2003）。

模擬在複雜的理論教學中的學習效果和重要性已被國內外學者認同，一般而言，不同的科目使用電腦模擬的目的不同，以下分為三種需要電腦模擬的目的。第一為用於較高層次的抽象概念學習，如物理中電子電路、電磁學、動力學、波動學、光學及近代物理及化學中電化學；第二為危險的實驗，如高腐蝕性實驗（強酸極強鹼）、高熱、高毒性及高污染等相關實驗生物－動物解剖、異地觀察、生態變化及生化反應（如植物從泥土中吸收養分）；第三需要巨大空間及漫長時間才可觀察及紀錄到的實驗現象，如地球科學中的天文、海洋、地質及氣象等。因這些科目在教學上無法在視覺中產生立即學習效果，即使學生親自動手操過後仍

不容易得到正確的觀念，於是透過模擬的操作，透過預先設計觀念正確和步驟精準的模擬教學軟體，使得學生在學習上更有效率（引自羅慶璋，2003）。

由上述討論得之，在教學上選擇電腦模擬實驗的單元應該是較為抽象較難理解的單元；日常生活情境中接觸不多；實驗具危險性或不易取得；不適合讓學生親自操作的單元；容易發揮網路多媒體電腦特性的概念或單元。本研究選定對於國中理化當中較抽象的「光學」單元，進行其中的「透鏡成像」實驗，進而探討電腦模擬實驗在透鏡成像中的成效。

電腦模擬也常使用在模擬科學實驗室，Linn（1995）認為電腦化模擬可以解決在實驗室中關於發現式學習及建構論觀點兩道難題的一種新的機會，使得實驗室學習的更為便利，學習者審慎的使用模擬之後，將可以提升在科學方法學習上的進展。實驗室電腦輔助軟體應該力求與實驗室情境相近（引自羅慶璋，2003）。

由以上文獻整理電腦模擬實驗室在科學教育上的功能為下列三項：

1. 可使用於當實驗的任務太複雜；對學生而言危險性高；實驗的時間太長或不容易觀察時，都可藉由電腦模擬來達成或加速。
2. 能即時連結具體與抽象且有意義的情境，可以整合多重表徵並有強化作用，故能降低乏味的實驗室工作。
3. 電腦模擬本身有著經濟、安全、節省時間空間，以及可隨意重複操弄時間的特性（Stephen & Stanley, 2000；引自羅慶璋，2003）。參數可以隨時調整，且能立即給予回饋，可以及時顯示易懂的圖表，所以能節省完成圖表的時間與精力。

本研究所使用的電腦模擬是 Wolfgang Christian 和 Mario Belloni 在 2004 年共同設計完成的 Physlet Physics 軟體。「Physics applets」是一系列以 Java 程式顯示物理實驗結果的模擬，是互動電腦模擬結合教育學的設計，其目的在於提供科技教學的資源，增進學生投入學習與互動的方法（Anne et al.,2003）。當 Physlet Physics 軟體發展漸完備時，研究者也開始將其使用在教學中，並持續研究其具有的價值。大部分教育科技的發展是源於科技軟體，沒有教育意涵，但

Physlets 是源自「概念」發展。Anne 與 Melissa (2003) 指出 Physlets 模擬可以將抽象概念視覺化；傾向解決真實世界的問題；具有互動性，學生可自行輸入參數並觀看模擬；可模擬非現實的物理情境並具有多重表徵；可以幫助學生將抽象事物視覺化，連結具體與抽象理論，並發展問題解決的概念模式 (Anne et al., 2003；引自黃雅鈴，2004)。

Physlets 軟體設計中的「光學桌」可以讓學生實際在此面板中取得所有的實驗器材，如透鏡、物體、光束等，只要點選該項目即可出現，又可以利用滑鼠調整位置，換言之，這個面板與在實驗教室的光學桌設備相當，故可以讓學生在電腦面前進行虛擬實驗，除了可以模擬實際成像結果，還可以清楚看見光線與像，且位置的讀取也很明確，不需要使用屏幕尋找成像。因為 Physlets 可視教學者需求而改編，使用方式上具有彈性，因此本研究利用 Physlets 將內容改編成適合八年級學生學習「透鏡成像」的概念。本研究所使用的三個軟體皆來自「Demolab 物理示範實驗教室」網站 (<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/>)。

二、電腦模擬對概念改變的效益

電腦模擬除了可以幫助學生在科學知識與日常生活現象之間做聯結，更有許多研究指出利用電腦模擬可以促進概念改變，其中包括物理課程中的抽象概念 (Gutwill et al, 1999；Weller, 1995；Zietsman & Hewson, 1986)。White (1984) 利用電腦遊戲來幫助高中學生學習「牛頓力學」，研究結果發現受過電腦模擬教學的學生在回答力與運動的問題時較未受過電腦模擬教學的學生要佳，顯示電腦模擬可以增進學生的物理解釋能力。曾靖華 (2003) 針對國中生選用直線運動相關概念，使用電腦輔助教學軟體 Interactive Physics，發現經過電腦輔助教學後學生在直線運動的迷思概念有明顯改善。高德義 (2003) 針對國小學童以電腦模擬學習電路概念進行研究，發現經過電腦輔助學習的學童在使用電流推動模式分析問題的表現較以現有教材學習的學童表現佳。

而在化學的課程中，常使用電腦媒體來模擬微觀世界，如離子的流動情形、

分子模型等。Wu、Krajcik 與 Soloway (2001) 利用視覺動態表徵 eChem 軟體來模擬 3D 的分子模型。研究對象為 71 位 11 年級學生，授課六週後化學表徵的理解達顯著，研究也發現高成就的學生在互動討論中會涉及視覺和表徵方面的概念較多，故可加深他們對表徵的理解。Sanger 與 Greenbowe (2000) 發現電腦模擬對於可「看見」的概念問題部份具有明顯地效益，如實驗前有 55% 的學生認為溶液中具有電子，14% 的學生認為鹽橋內具有電子。經過教學後，比例分別只剩 9% 和 2% 而已。吳昌家 (2002) 設計電腦動畫輔助教學媒體來作為理化科「粒子觀點」單元輔助教學之用，研究顯示利用電腦動畫教學媒體教學較傳統式教學更能幫助學生建立粒子概念。且問卷結果顯示，學生與教學皆對此教學多持肯定正面的態度，希望往後能多運用在課堂上。楊純珠 (1998) 整合概念改變模式、粒子模型，及動畫、影片之運用，發展出「溶液」多媒體 CAL (computer-assisted learning) 系統，讓學生上機學習，結果顯示學生在教學後在後測成績明顯進步。

也有許多研究將電腦模擬使用在物理的光學概念上。黃竹坤 (2001) 在進行「光的反射與平面鏡」與「光的折射與透鏡」兩單元，先經傳統講述教學後再佐以模擬動畫媒體作為輔助教學。結果顯示對高分群與低分群學生之學習成效皆有提升並有助於提升國中理化學習興趣和理化學業成績。黃志清 (2001) 進行研究的單元與本研究相近，為「面鏡和透鏡成像的過程」，藉由電腦動畫來呈現抽象概念使國中生較容易理解，結果顯示理化實驗課堂輔以模擬動畫教學，對於實驗相關概念的學習成效有顯著成效。而林合彥 (2003) 所使用的電腦模擬軟體與本研究相同，為 Physlet Physics 軟體，比較教學支援下的網路化電腦模擬學習與傳統實驗室的活動在學習成效上的差異。研究發現電腦模擬學習在科學概念學習成效較優於傳統實驗室，且多數學生均給予此類學習活動肯定的態度。

也有研究是將電腦模擬融入其他科目的學習中，林傳傑 (2003) 探討資訊融入教學與評量對國小五年級學童學習「地球運動」概念的影響，進行 10 節課的教學，由教師在教室中播放，結果顯示接受資訊融入教學法學童的學習成效顯著優於接受傳統教學法的學童。邱俊宏 (2004) 則是進行多模擬電腦輔助對國小學

童學習線對稱圖形成效之研究，由學生自行操作電腦，結果顯示電腦輔助教學組的成就後測得分高於一般教學組。

三、電腦模擬實驗的困難與建議

然而並非所有的文獻均認為模擬具有正向的學習效果，有些研究顯示模擬融入互動教室和單純使用傳統紙筆互動的學習方式作比較，學習成效並沒有明顯差異（Carlson & Andre，1992；de Jong et al., 1992；Rivers & Vockell, 1987；劉蓓蓓，1990；引自羅慶璋，2003）。其主要原因可能在於不當的教學支援、缺乏充足的模擬設計以及不適合的學習技巧。De Jong 和 van Joolingen（1998）將學習者在使用模擬支援發現式學習時，遭遇學習困難之原因是程式設計固定，學生能調整假設的彈性空間小；因為模擬實驗與傳統實驗教室的實驗仍有差異，所以如果沒有特別設計會無法發揮電腦模擬的功效（引自羅慶璋，2003）；有些模擬後的結果對學生而言是難以解釋的，如所得到的結果可能是用圖形解釋，對於本身不了解圖形意義的同學而言，無疑這樣的學習和概念連結是有困難的，所以有時只是單純的把結果記下來。

為了讓電腦模擬實驗室能夠發揮正向功效，教師應選擇需要的單元，如上述較為抽象、危險與不方便進行的實驗，進而自行設計或選擇適合此單元的電腦模擬，特別為此電腦模擬實驗設計符合教學目標的教學計畫，加入適當的教學策略以增加學習者的學習動機，教學設計也包含學習評量，評量方式可使用電腦完成立即回饋，或以紙筆測驗來檢驗學生的學習成效，也就是說，評量內容、教學目標和電腦模擬提供的學習環境三者要互相呼應。經過專家設計較完善之教學計畫，能促成學生產生較佳的學習遷移。此外，教師應在實驗進行前向學生說明該電腦介面的使用方法，並讓學生了解如何解釋實驗結果，使得學生藉由資訊的學習能更有效率。