

# 科學探究的學習實例？光的折射

施 惠<sup>1</sup> 張麗芬<sup>2</sup> 陳京材<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 國立新竹師院自然科學系

<sup>2</sup> 新竹縣立大肚國民小學

<sup>3</sup> 國立新竹師院數理所

摘要：光的折射是科學課程中可以進行多層次探究的一個概念。若由生活上的一個事件引入，則以「自水面看魚，判斷位置」的情境最為簡易。本文是職前和在職教師們在竹師學習國小課程以硬幣代替魚，觀察「水入錢出」時，主動探究自己想要探究的問題，從生活經驗至觀測、驗證，再將實驗數據加以整理，由參與教師共同建構出科學的理解。特將此探究內容與心智發展的歷程以創造性探究模式（CIM）的「探索」、「解釋」、「交流」、「評價」等四個核心成份作為分析的架構，分析與綜合後提供同好參考。

## 壹、科學探究實例

### 一、探索

#### （一）形成問題與假設

**情境**：在小盒中放入一枚硬幣，一人退到恰巧看不見硬幣時，由他人加水入盒中，請此觀察者描述看到的現象，答案是「我看到硬幣自盒底浮起來了」（38/45人）。

**問題**：看起來好像是硬幣漸漸浮起，事實上硬幣仍在水底（是硬幣的像漸漸浮起），那麼我們看到的「像」，位置在哪裡，可以作圖表示嗎？

**假設**：沿用國小教科書（南一版）上的觀測方法，以水族箱代替塑膠小盒，配置適當的材料進行觀察和測量。但是須以兩條視線作圖，才能形成交點，找出水中物體相對觀察者所形成像的位置。

#### （二）設計研究和產生數據

##### 第一階段

**設計**：

##### 1. 追求觀測精準度的討論：

原來國民小學教科書上使用雷射光由水中珍珠板上的魚眼（大頭針）出發，進入觀測管，再由觀測管照到水中的魚眼，這樣的實驗需多加練習，否則不易控制雷射光的行進方向。同時，由水箱前方隔水觀察，也會使觀測數據產生誤差。

2.針對上述問題，將操作技巧再加改進：

用很薄(厚度 0.2cm)的珍珠板插入水中，將之固定在水箱內壁。

操作時由觀測管看到水中魚眼，由觀測管在珍珠板上畫出視線，並將之延伸畫入水中。

拿雷射光筆的手靠在水箱上緣，操作光的行徑(此時已去掉觀測管)。

在珍珠板背面的水箱外側將透視到的水面、觀測視線和魚眼位置畫在水箱壁上。

因光徑有可逆性，當光沿珍珠板上的視線照入水中，或使光再沿原路退出水面，都可以看到光的折射點在水面和觀測視線的交叉點上(如圖 1)。據此可說明水中物的光(或反光)如何行進，以使觀測者看到該物。

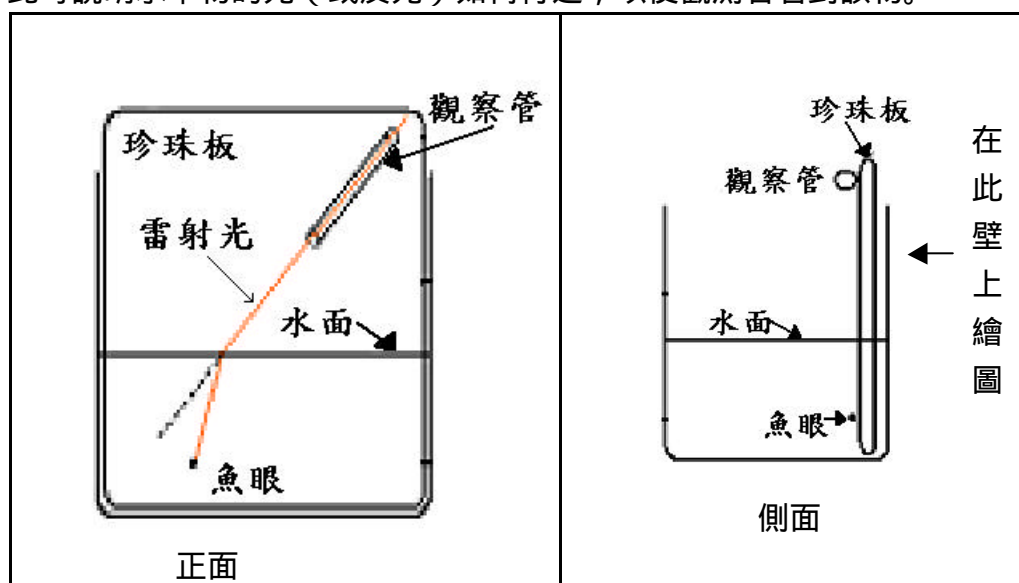


圖 1 觀測光的折射現象

**實驗結果**：依上述方法實際觀測的結果，發現由斜上方看，水中物的虛像位置是在該物上方，並向觀測者方向靠近(如圖 2)。是指出描繪讓雷射光都經過 a 點的兩道光束(a d e 與 a b c，然後再找出交點 f)

## 二、解釋

**詮釋與論證**：

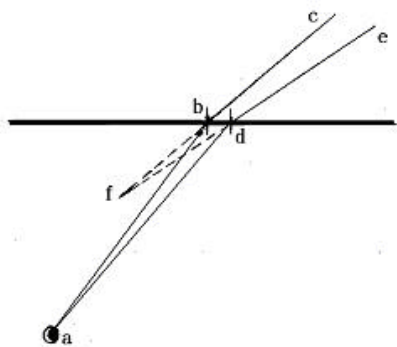


圖 2

左圖水中物之位置為 a

從物反射出的兩道光束分別為 abc  
與 ade

abc 的光束：

入射角=35 度 折射角=49 度

ade 的光束：

入射角=39 度 折射角=56 度

f 為觀察者從 abc 和 ade 二條光束延伸後，以為成像的位置

各班（93 年度竹師自然系、數學系三年級）各組觀測數據如表 1，誤差都在小數點第二位。

表 1 各班依自己的實際觀測所得數據

入射角（度）	折射角（度）	折射率	折射定理公式
64	42	1.343	$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ 空氣的折射率為 1 水的標準折射率為 1.333
60	40	1.340	
58	40	1.328	
52	40	1.300	
48.5	35	1.305	
49	35	1.315	
62	42.5	1.306	
51.5	37	1.326	
49	35	1.316	
56	39	1.317	

原來折射率可以由自己的觀測和計算求出來！查書（郭奕玲、沈慧君，1994；馬文蔚，1995）得知司乃耳 Snell(1621)也是由實測數據找出規則的。

### 三、探索

#### 第二階段

大學部學生的研究很有意思，但是操作方法似乎可以再簡化及更精確，於是邀數研二張麗芬和數研三的陳京材一起來繼續探究，探究報告如下：

#### 設計與實驗

第一週報告：(93.09.23)

我們致力於實驗設計是否可以再精確一些，發現可以改進的是：

直接在珍珠板上作圖。水面和觀測線可先畫記，待板自水中抽出時，再畫出直線來，因為由珍珠板背面水箱外壁作圖仍有透視誤差。

觀測管改為細的、壓扁的吸管，其斷面成狀，可使觀測物落入視線的位置和觀測管在珍珠板上畫線的位置更為精準。

（註：自然系三年級張介佳同學等亦提出類似的意見）

第二週報告：(93.09.30)

在珍珠板的底端水平位置插入兩個大頭針，代表「水入錢出」實驗中水底硬幣的前後兩個端點(相距 3 公分)，分別測量由斜上方看到像的位置，並繪圖紀錄。結果顯示兩點所觀察到水中像的位置都在實物的上方，並且都更接近觀測者，硬幣的前端(距觀測者較遠的一端)上升的距離比後端上升的距離為大(如圖 3)。

將珍珠板上畫好的觀測圖再描繪到透明紙上，或影印到白紙上，就可以在紙上加入法線，以便測量入射角和反射角。

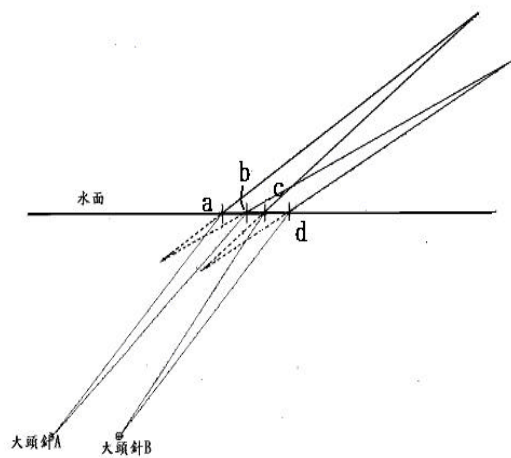


圖 3 實測繪圖：由斜上方看水中的物，虛線交點是像的位置。

由 a、b、c、d 各折射點分別加繪法線，其入射角、折射角的數據如下：

a 點：入射角 53.5 度，折射角 37.0 度

**折射率 1.335**

b 點：入射角 61.0 度，折射角 41.0 度

**折射率 1.333**

c 點：入射角 48.5 度，折射角 34.0 度

**折射率 1.329**

d 點：入射角 56.0 度，折射角 38.5 度

**折射率 1.332**

#### 四、解釋

##### (一) 詮釋數據

###### 1. 處理和分析數據

以上觀測法是否精確，再用雷射光和標準折射率加以檢核，均認為精確度的檢核可以通過，(大學部數學系魏增翔同學依水的折射率作圖，結果和此實測圖相似)。並且用此法經多人多次實測，呈現之「水的折射」數值穩定。

###### 2. 辨識不同的思考型態

由斜上方看水中物，它的虛像位置在哪裡？由雙眼看到的和實測繪圖的結果不同。

由雙眼看到的情形是此虛像在實物正上方，並向比實物距觀測者更遠的一端浮起。

由實際觀測的數據是此虛像在實物正上方，並向比實物距觀測者更近的一端浮起。

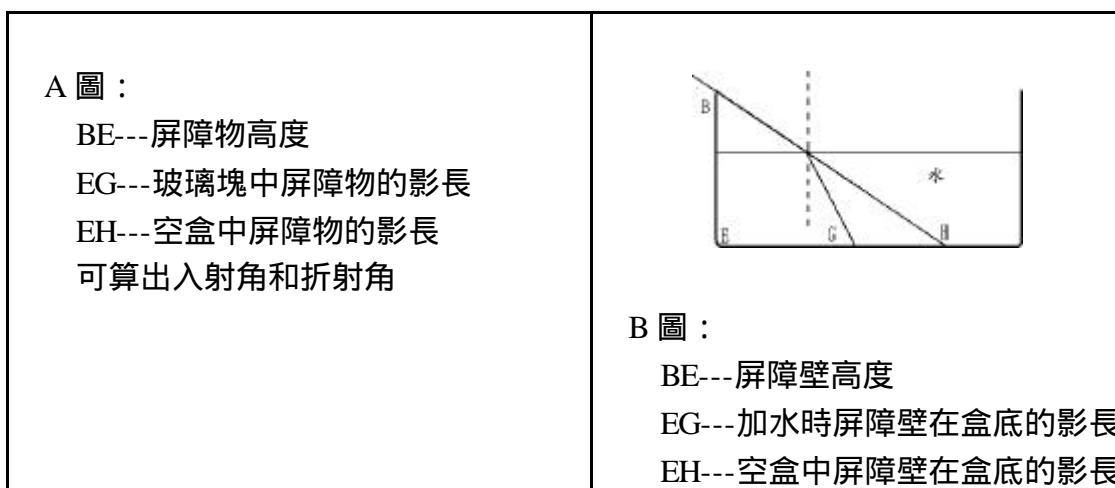
##### (二) 建立論證

###### (1) 查詢相關資料

①有兩本物理的科學史籍(郭奕玲、沈慧君, 1994; 馬文蔚, 1995), 上面介紹了古希臘人托勒密(Ptolmaeus, 90-168), 以「水入錢出」的實驗來推理光有折射現象。而另一位科學家開普勒(Kepler, 1611), 做了一個光照入玻璃方塊的折射實驗, 用見到的「光與影」長度的變化來計算入射角和折射角。

②竹師美術系學生(郭慶霖)提出一個實驗和開普勒的實驗很相似(施惠, 2000)

- (2) 實作郭慶霖提出的「水盒中之光與影」的實驗。
- (3) 由上述兩種光與影的實驗（見圖 4），推論「由斜上方看水中物的虛像位置」（93.10.07）如圖 5。



光與影的實驗：A 圖 開普勒的實驗 B 圖 水盒中的光與影

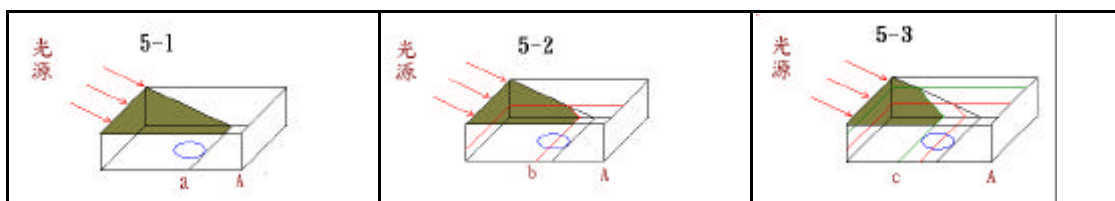


圖 5 光影變化加入硬幣的推理圖

圖 5-1

光斜斜地照入小盒中，盒子靠近光源的直立壁會擋光，使盒中出現光與影，其明暗分界十分清楚。眼睛與光源同側，眼睛看到水底 A 到 a 的範圍，所以眼睛看不到水底的錢幣。

圖 5-2, 5-3

水不斷的加入，硬幣受光部分增加，其反射光經過折射就不斷地照入觀測者的眼中，眼睛以盒子近光側的頂邊為基準線，就感覺硬幣漸漸遠離這個基準線，以為它向遠端浮出了。

## 五、探索

### 設計與實驗

以實驗來驗證上述想法：

改用大一點的盒子，由斜上方照光入盒中，未加水時在盒底將一物體（例如光碟片）的前緣緊靠明暗分界線貼好，並使它完全在不受光的暗處。此時觀察者與光源同側，並退至恰好看不到該物時站好。由他人慢慢加水入盒中，看到盒中物體出現範圍的多少與該物出現在受光處的面積相同。同時也能看到側面盒壁上光的折射現象。

## 六、解釋

### 建立論證

做新的預測形成通則：

當人由斜上方看見一個水中物時，想用一支長棍向水中刺它，該如何操作才能刺中呢？

生 1：對著看到的水中物向離自己遠一點的方向，再深一點，刺過去！

生 2：對著看到的水中物向離自己近一點的方向，再深一點，刺過去！

生 1：依我們的實測研究，水中物的虛像比實物靠近我們，所以要刺中實物，就應刺向目視物更遠更深的方向！

生 2：我也依實測研究來說明，並且我要拿著自己畫的圖來解說。你們看，依視線用長棍指到水中物的虛像，我該將長棍向哪方向修正（如圖 6 ① 或 ② ？），才能刺中水中的實物呢？正確的答案是將長棍對準虛像之後，再移向靠自己近一點的這邊刺下去！（如圖 6 之中標號 ② 者）

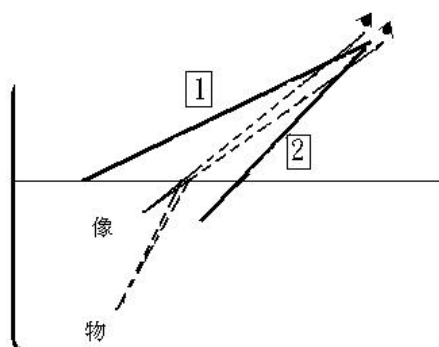


圖 6 用長棍刺向水中物的圖示

（各組實作）

眾人：果真如此。原來將空間概念用模型演示比較容易想通呢！

（實作之後，證實了圖 6 中標號 ② 的長棍刺入方向正確。）

所以，水中物點光源之虛像位置如圖 6 所示者可以成立。

## 七、交流

(一)說服：本研究可說服同儕社群接受探究發現的校度及重要性，說明如下：

- 1.用雷射光探究的方法可實測入射角和折射角的數據，據此計算出水的折射率，各組誤差值均在小數點第二位之後。
- 2.由多人、多種方法實測，均可指出由斜上方看水中物之虛像位置，在該物正上方且偏觀測者。

(二)辯護：用批判的方法作判斷，經由比較來評價以及為知識主張做辯護：

- 1.雖然有些教科書的相關圖示，將由斜上方觀測的水中物之虛像位置畫在該物正上方(或正上方偏離觀測者之處)，與本研究的結果不同。但是為此問題多位學者(教師)已用數學式和圖示加以探討(蔡尚芳，1999；徐世昌，1999；徐國誠，2004)，更有以動畫方式在網站上加以說明(黃福坤，台灣師大物理系網站，java 物理動畫模擬)，彼等之圖文內容，均與本研究之科學概念一致。
- 2.本研究係以實作為主，測出入射角與折射角之後計算折射率為輔。前者可以看到實作之光的折射路徑及由兩條折射光繪出之視線交叉點(成像位置)，後者則用以檢核觀測數據之誤差大小。
- 3.本研究在物理知識方面，曾承陳文典、黃福坤、周進洋、巫俊明等教授指導，在科學探究模式方面承洪振方教授允許，依其建立的「創造性探究模式」(CIM)為鷹架，省思探究工作，特申謝悃。

## 八、評價

(一)時時評價、探索、解釋及交流等工作及計畫之可行性。

(二)回顧與評估在探索、解釋及交流等工作中學到什麼以及如何習得。

以科學本質和科學素養來反思探究工作的學習內容。

- 1.由觀察「池水的視深淺於實深」和「水入錢出」的現象開始探究，探究水中物之虛像位置究竟在哪裡？

這是科學的經驗性和質疑性

- 2.推理

用雷射光操作水中光源的行徑，並可再循此路徑畫出看此光源之視線。

由水中某光源之兩條光線，經折射後之實測圖，可畫出該光源之虛像位置。

這是科學本質中「觀察是理論蘊含的」特性，  
也是邏輯推理的表現，並提出科學的可預測性。

### 3.設計

- (1)設計多人、多組實測，再加以精進的觀測方法，並且容易操作，容易畫圖紀錄，容易看圖解讀。例如，以白色珍珠板為觀測面，以大頭針為水中物（光源點），以壓扁的吸管為由斜上方觀測之觀測管，在珍珠板同一面上觀測、紀錄和繪圖。
- (2)設計將圖版插入水中，以雷射光再次檢視觀測圖上光的行徑是否正確，又設計以數學計算檢核觀測圖上的入射角、折射角和折射率。

### 4.驗證

驗證時重複實測，並接受同儕的審視，再查相關文獻及邀請學者專家審查。由觀察斜上方看水中物，提出問題、形成假設、設計驗證，得知科學知識：光在水中的折射，入射角變大，折射角也相對變大。將實測結果繪圖，如圖二。觀測位置在大頭針右側，水中物之虛像會在大頭針上方且移向右側，不會超過大頭針的垂直線而到左側。水越深，水中物之虛像上浮得越高。視線與水面所夾的角度越小，成像越靠近水面。光以直角進新介質不偏折光線垂直入射時不偏折，以斜交角進新介質會偏折。

以上的設計驗證，具有科學的可重複性、創造性、多元性、實證性、公開性、經驗性，以及科學知識的累積性和可信賴性。

### 5.解釋

用水位高低、視線和水面夾角 等變因分別測量，所測得水的折射率均相同。光由空氣到水中產生折射現象，是因光在不同介質中的行進速率不同而產生的，可運用球從平整的水泥地滾向沙地的現象來解釋。註：此類比推理是依科學史笛卡爾的報告來實作的。由斜上方看水中物，它似乎會上浮，是由光的折射現象所產生的。

以上是邏輯推論性，以及敘述時的簡明性和通則性。



## 6.推廣發展

- (1) 原來只憑視覺以為水中物的虛像位置是由實物向上向遠端浮起。但是實測和以數學方式作圖確定了此虛像位置在實物上方並偏向觀測者方向。

這是科學知識的暫時性，當有新的證據時，科學知識會改變。

那麼為什麼我們的視覺會將水中物的虛像位置看錯了呢？

由科學史的查詢進行推論：

在不同介質中光與影的折射變化所產生的現象。

這是科學的質疑性和科學的預測性

再以類似科學史的實驗實作得到證實

這是科學的實證性。也用到了觀察是理論蘊含的，用已有的知識（光折射）信念和理論（光折射之通則性），選擇盒中加硬幣，看盒中光影分界線在空氣中和水中的變化實驗，以解釋水中物虛像位置的問題。

- (2) 在探究工作似乎完成後再追加了應用性的評鑑工作：

看到水中物，若要刺中它該向哪個方向以長棍刺入水中？

討論與實作發現：

要刺中水中物，用觀察圖來思考，比較容易判斷長棍運作方向，因為涉及立體空間的概念，僅憑空思考，可能出現錯誤的詮釋。

這是以實證性、多元思考，以增強科學知識的實例，並且它可經由眾人共同研討，得出共識，這就是科學本質的社群性。

察覺每日生活活動中運用到許多相關的科學概念，例如：池水總是被看淺了，原來是光的折射問題。所以，戲水的安全問題，需由科學的認知來思量。而涉溪時，先用柺杖試水深，別只憑據眼睛直覺來判斷。

這是由生活中去學習科學，再由科學去學習如何生活。

## 貳、結語

若教師兼為行動者與探究者，則教師專業成長須自己經歷探究學習的歷程，才可用類似的方式去教導自己的學生；由自己主動探究問題，建構新知識的經驗去引導學生主動學習；以創造性探究模式（CIM）的內容來逐項省思自己的探究過程，才能有助於掌控學生的學習重點。所以經過這樣的探究工作，可以使職前和在職教師更有能力、更有自信地去引導學生進行科學探究。

探究光的折射，教師們在實作、探索、解釋、交流和反思的探究歷程中，學到了如何以發散思考來創思探究的設計，如何以批判思考來澄清研究的結果，建構出正確的科學概念，指出「觀察者所看到的水中光源之位置」。同時，可體會科學探究的學習，教師在引導探究活動時該如何佈局，在問題思索中如何佈題，在解決問題時如何精練思考智能，在研究結果中如何論證。師資培育課程若用這樣的學習方式，應有助於台灣目前課程改革的需求。

## 參考文獻

- 杜秉琪（1995）活用物理：台灣珠海公司出版
- 洪振方（1997）科學史融入科學教育之探討，高師大學報第八期，p.41-54
- 洪振方（2001）建立符合科學本質的教育理論模式。國科會專案研究報告。
- 洪振方（2004）探究式教學的歷史回顧與創造性探究模式之初探，科學課程論述（ ），（2004年11月20日，研討會資料）教育部主辦，p147 - 167。
- 施惠（2000），國教九年一貫課程中的師資培育問題，國教世紀 189 期，p.5-14
- 徐世昌（2000）視深研究，科學教育月刊，台灣師大科教中心出版，232 期 p30 - 34。
- 徐國誠（2004）視深，科學教育月刊，台灣師大科教中心出版，267 期 p17 - 26。
- 馬文蔚等編輯（1995）：物理發展史上的里程碑，凡異出版社。
- 陳文典（1999）：基礎物理，大同資訊公司出版。
- 郭奕玲、沈慧君（1994）：物理通史，凡異出版社。
- 黃福坤（2004）台灣師大物理系網站，java 物理動畫模擬。
- 黃台珠等譯（2002）：促進理解之科學教學，台北心理出版社。
- 蔡尚芳（2000），觀察者所看到的水中光源的位置，科學教育月刊，台灣師大科教中心出版，228 期 p16 - 21。