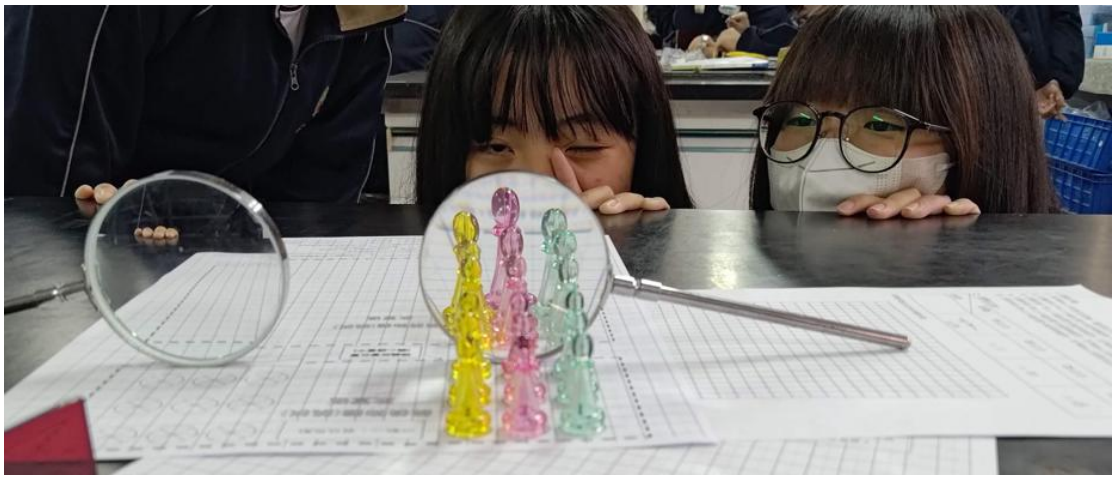
看見焦點：光線直進與折射光徑的實體化活動



註：排出折射光徑

廖酉鎮

雲林縣立麥寮高中自然科教師

光的反射與折射構成了許多光學現象，但學生難以直觀觀察光如何從物體出發、行進並形成影像。傳統教學常使用雷射筆輔助觀察光徑，然而這種方式缺乏物體與成像間的直觀視覺感受。本文提出一種將光徑視覺化的創新方法，可應用於面鏡、透鏡的光徑展示，以及焦點與成像位置的探索等多種光學概念教學。

課程目標

本教學活動旨在達成以下目標：

1. 將光的傳播路徑以觀察者視覺直觀方式具體化
2. 利用具體化的光徑呈現反射光徑與反射定律
3. 利用具體化的光徑呈現折射光徑與凹透鏡、凸透鏡焦點
4. 利用具體化的光徑呈現折射光徑與成像位置
5. 引導學生以 CER（主張/claim--證據/evidence--推理/reasoning）論證方式完成論證問題

根據上述目標，課程設計分為下列四個活動，各活動可同步進行或獨立操作。教學所需材料如下：

1. 方格紙（可用跳棋棋盤紙或附錄的活動用紙替代）
2. 平面鏡或半透明壓克力片
3. 凸透鏡、凹透鏡
4. 跳棋（最好有不同顏色）
5. 筆、30 公分直尺

活動流程與觀察紀錄

活動一、跳棋排排站：排出直進光徑

本活動利用光的直進性，讓學生通過排列跳棋直觀感受光的直進特性，操作時間約 10 分鐘。步驟如下：

1. 將三個不同顏色的跳棋排列在附錄的活動用紙（圖 1）標記位置 1、2、3 的一條直線上
2. 沿著排列的直線（圖 2）與側邊觀察這些在一直線上的跳棋，體驗光的直進性
3. 完成表 1 的 CER 論證問題（已附上論述供參）

圖 1
活動 1、活動 2 用紙

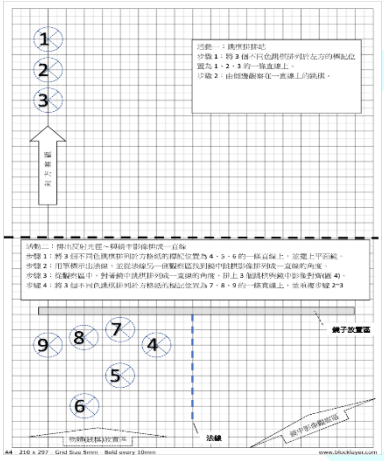


圖 2
利用跳棋排出直線驗證直進性

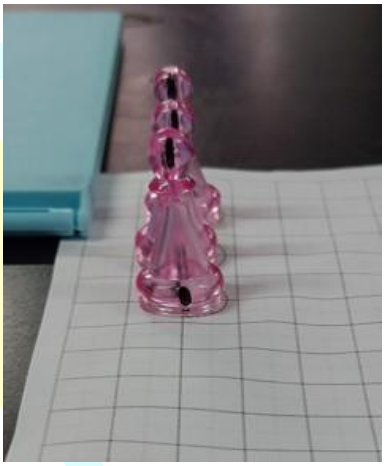


表 1
活動一的 CER 論證範例

問題：當跳棋排成一直線時，為什麼只能從某些角度看到所有跳棋？	
主張（C）	因為光沿直線傳播，我們只能看到光線能直接到達眼睛的物體。
證據（E）	在實驗中，三個跳棋排成一直線時，沿著排列的直線，只能看到第一個跳棋；側邊觀察才能同時看到三個跳棋。
推理（R）	光從物體沿直線傳播到我們的眼睛。跳棋排成一直線時，後面跳棋的光若被前面的跳棋擋住，就會看不見；只有從側邊看，三個跳棋的光才能分別進入眼睛。這也證明了光的直進性。

活動二、與鏡中虛像排排隊：排出反射光徑

本活動利用跳棋與鏡中影像排列出反射光徑，操作時間約 15 分鐘。步驟如下：

1. 將三個不同顏色的跳棋排列在附錄的活動用紙標記位置 4、5、6 的一條直線上，並擺上平面鏡
2. 用筆標示出法線，從法線另一側找到鏡中跳棋排列成一直線的角度
3. 對著鏡中跳棋排列成一直線的角度，排上 3 個跳棋與鏡中影像直線對齊（圖 3）
4. 將另 3 個不同顏色的跳棋排列在標記位置 7、8、9 的直線上，重複步驟 2-3
5. 完成表 2 的 CER 論證問題（已附上論述供參）

圖 3

利用硬幣或跳棋，對著鏡中影像，排出反射光徑

表 2

活動二的 CER 論證範例

問題：為什麼我們排出的跳棋與鏡中的影像可以在特定角度看起來連成一直線？	
主張（C）	光的反射遵循反射定律：入射角等於反射角。
證據（E）	當我們在鏡子一側排列跳棋，從特定角度觀察並在法線另一側排列跳棋時，兩組跳棋與鏡面形成相等的角度，且兩組跳棋與法線夾角相同。
推理（R）	光會從原跳棋射向鏡子，反射後進入我們的眼睛。一開始擺成一直線的三個跳棋可以視為入射光光徑。當找到能看到鏡子裡 3 個跳棋排成一直線的角度，再沿著鏡中的 3 個跳棋的直線排上 3 個跳棋，就是排出了反射光的路徑。這兩組跳棋與法線形成相等的角度，直觀地證明了反射定律。

活動三、看見焦點：排出折射光徑

本活動將折射前後的光線直觀且具體地呈現出來，並找出折射光線的匯聚焦點，操作時間約 30 分鐘。步驟如下：

1. 將三個紅色跳棋排列在附錄的活動用紙（圖 4）標記位置 A、B、C 的一條直線上，將凸透鏡置於標記處中央
2. 從透鏡另一側找到透鏡中跳棋排列成一直線的角度
3. 對著透鏡中跳棋排列成一直線的角度，在凸透鏡另一側黑框內排上 3 個紅色跳棋與透鏡中影像對齊
4. 將 3 個綠色跳棋排列在標記位置 D、E、F 的一條直線上，重複步驟 2~3
5. 將 3 個黃色跳棋排列在另一組標記位置的一條直線上，重複步驟 2~3
6. 用直尺將 3 組跳棋排出的直線延長，在 3 條直線的交會處即可找到凸透鏡焦點（圖 5）
7. 可使用雷射筆或 LED 線性光源進一步驗證
8. 將透鏡換成凹透鏡，重複實驗，結果如圖 6
9. 完成表 3 的 CER 論證問題（已附上論述供參）

圖 4

活動三、四使用的學習單

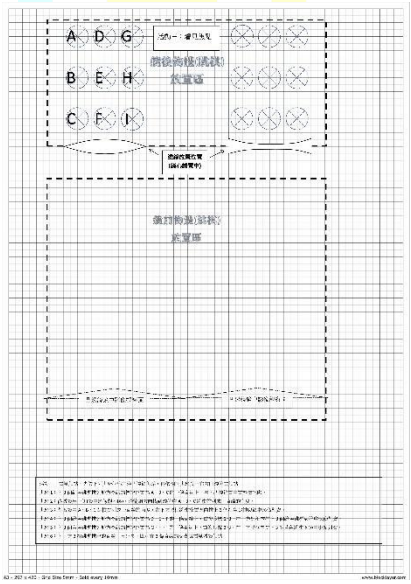


圖 5

學生對著鏡中影像排出凹透鏡折射光徑（左）、完成後上視圖（中）與學生端視角（右）

圖 6

學生對著鏡中影像排出凹透鏡折射光徑（左）、完成後上視圖（中）與學生端視角（右）

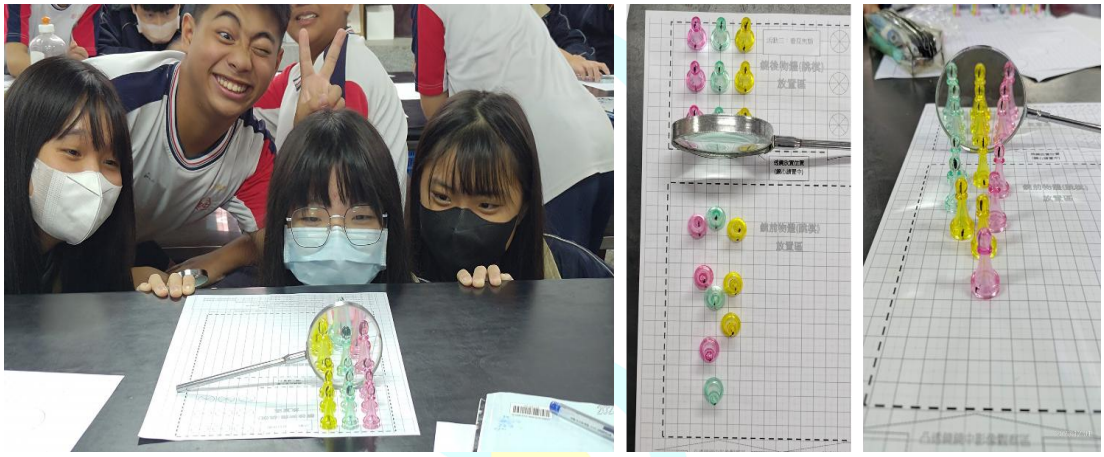


表 3

活動三的 CER 論證範例

問題：凸透鏡使光線如何折射？	
主張 (C)	凸透鏡具有會聚作用，能將平行光線折射聚集於焦點。
證據 (E)	在實驗中，我們透過凸透鏡觀察並排列三組平行排列的跳棋，並根據透鏡中的影像排列跳棋，使跳棋與凸透鏡鏡中的跳棋影像排成一直線，用直尺延長這三組排列的直線，發現它們交於同一點。
推理 (R)	我們排列的三組跳棋模擬了從不同位置射向透鏡的平行光線，透過凸透鏡後，光路的延長線交於一個點，這直觀地展示了凸透鏡的會聚特性和焦點的形成原理。

活動四、看見成像光徑

本活動延續活動三，難度較高，適合針對已知焦距的透鏡進行深入探究，目的是呈現物體在特定物距所發出的光線路徑，並找出成像位置，操作時間約 20 分鐘。步驟如下：

1. 將凸透鏡置於方格紙中央標記處，標示出焦點與兩倍焦距位置，在焦點到 2 倍焦距之間垂直距離主軸 2cm 處放上一個跳棋作為光源
2. 在平行主軸直線上放置兩個綠色跳棋，在通過鏡心直線上放置兩個紅色跳棋
3. 在透鏡另一側，分別對著透鏡中綠色與紅色跳棋組排列成一直線的角度，排上對應顏色的跳棋與透鏡中影像對齊
4. 將兩組跳棋排出的直線用直尺延長，在交會處即可看見光線匯聚位置，此處為實像成像位置（圖 7）
5. 可調整代表光源的跳棋位置，重複操作觀察不同物距的成像情況
6. 完成表 4 的 CER 論證問題（已附上論述供參）

圖 7

排出成像光徑（凸透鏡）

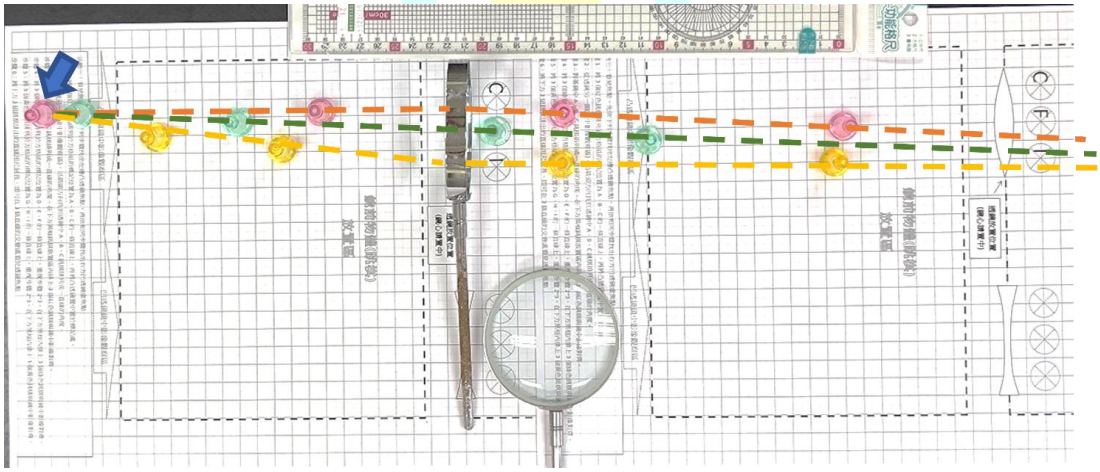


表 4

活動四的 CER 論證範例

問題：當物體位於凸透鏡的焦點外時，為什麼能夠投射出實像？	
主張（C）	物體位於凸透鏡的焦點外時，能形成倒立放大的實像。
證據（E）	在實驗中，我們把跳棋作為「光源」放在焦點與 2 倍焦距之間，排列出 3 條特殊光路（平行主軸、通過鏡心的、通過焦點的），他們折射後，會分別通過焦點、不偏轉、平行主軸，大概在相同位置交會。
推理（R）	光線經過透鏡後會折射，但通過鏡心的不偏轉，之後會交會在另一側的某一點，也因此能夠在紙屏上投射出清晰的影像。

結語

透過實際以眼睛所見排出光徑的方式，本教學活動使抽象的光學概念變得直觀可感。學生在動手操作中能親眼看見光的傳播路徑，解決了傳統教學中難以連結理論與實際視覺感受的問題，並可進一步利用光束輔助與驗證（圖 8），讓學生印證理論。

圖 8

用 LED 光源輔助描繪折射光徑（凸透鏡）

結合簡化的 CER（主張--證據--推理）論證架構，學生可以結構性地建立光學概念與實際現象間的連結。在活動中，學生先觀察現象，提出簡單的主張，列出直觀的證據，再用基本的光學原理進行推理。推理的過程選擇與結合自己認為合適的證據，說明這些證據如何支持自己的主張（簡志祥，2019），來訓練學生的推理論證能力。例

如，在活動三的看見透鏡焦點活動中，學生能直接觀察到三組跳棋光徑的延長線交於一點，從而理解凸透鏡的會聚特性。

這種結合直觀實驗與簡化論證的方法特別適合初學者。教師可先示範簡單的 CER 論證，幫助學生建立基本的論證思維。重點不在於論證的複雜度，而在於幫助學生養成連結觀察與理論的習慣，論證的重點是在於有系統的思考方式（簡志祥，2020）。學生不需要寫出冗長的解釋，只需用簡單的語言表達他們的發現和理解。

將實驗教學與簡化的科學論證相結合，讓光學概念變得可見、可觸摸、可思辨。學生在親手操作中感受光的行為，在簡單論證中建立概念連結，真正實現了「看見焦點」的教學目標，為後續更深入的光學學習打下更好的基礎。

參考文獻

簡志祥（2019）。**科學論證與批判性思考的教學運用**。
http://a-chien.blogspot.com/2019/04/blog-post.html

簡志祥（2020）。**論證在教學、探究與閱讀的應用**。「科學論證的教學應用」演講紀錄。
http://a-chien.blogspot.com/2020/06/blog-post.html

附註

1. 活動一、二用紙下載連結：
https://drive.google.com/file/d/1R_hw44_C6Ql7SQQ0KYV2qG168NWrzw2s/view?usp=sharing
2. 活動三、四用紙下載連結：
https://drive.google.com/file/d/1bc87sgpcep0pFjaO2eUx7lAaPk_u6u1U/view?usp=sharing