

2025大學生創意物理競賽

光學應用—光學鎖

組員：徐煥瑜、林志穎、葉宣威、張智傑、秦正俠

指導老師：藍宇彬 教授

所屬：國立陽明交通大學光電學院



國立陽明交通大學

NATIONAL YANG MING CHIAO TUNG UNIVERSITY



實驗設計

光在日常生活中是不可或缺的一部份，當光線入射至兩個不同介質的界面時，有三種不同的現象。

1. 反射：光照到物體表面後被反射回原介質。
2. 折射：光穿透至不同折射率的介質時，光的路徑會產生偏折。
3. 全反射：光從高折射率介質射向低折射率介質，若入射角大於臨界角，光會完全被反射回原介質。

我們以三稜鏡為本實驗的核心元件，藉由三稜鏡呈現反射、折射與全反射等光學現象我們以此特性設計了光學鎖，為了增加實驗的操作性，我們的設計為只有當光線在三稜鏡中發生兩次全反射才能成功觸發解鎖。



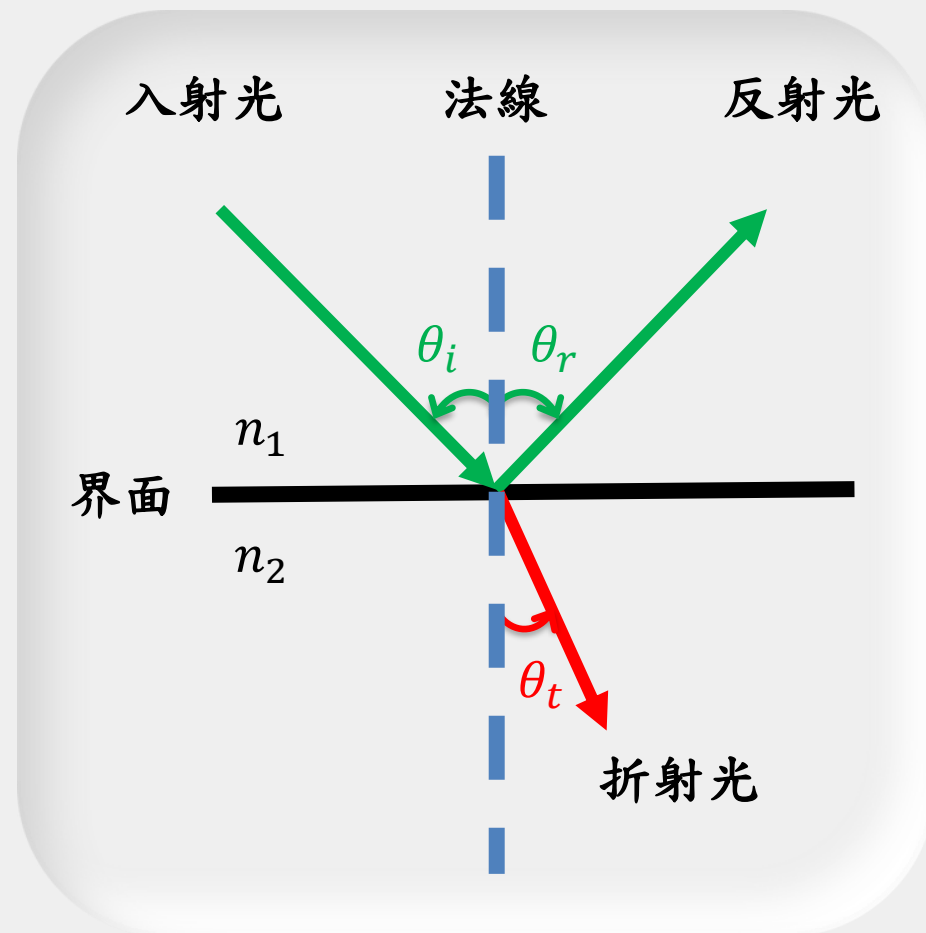
成品



原理說明

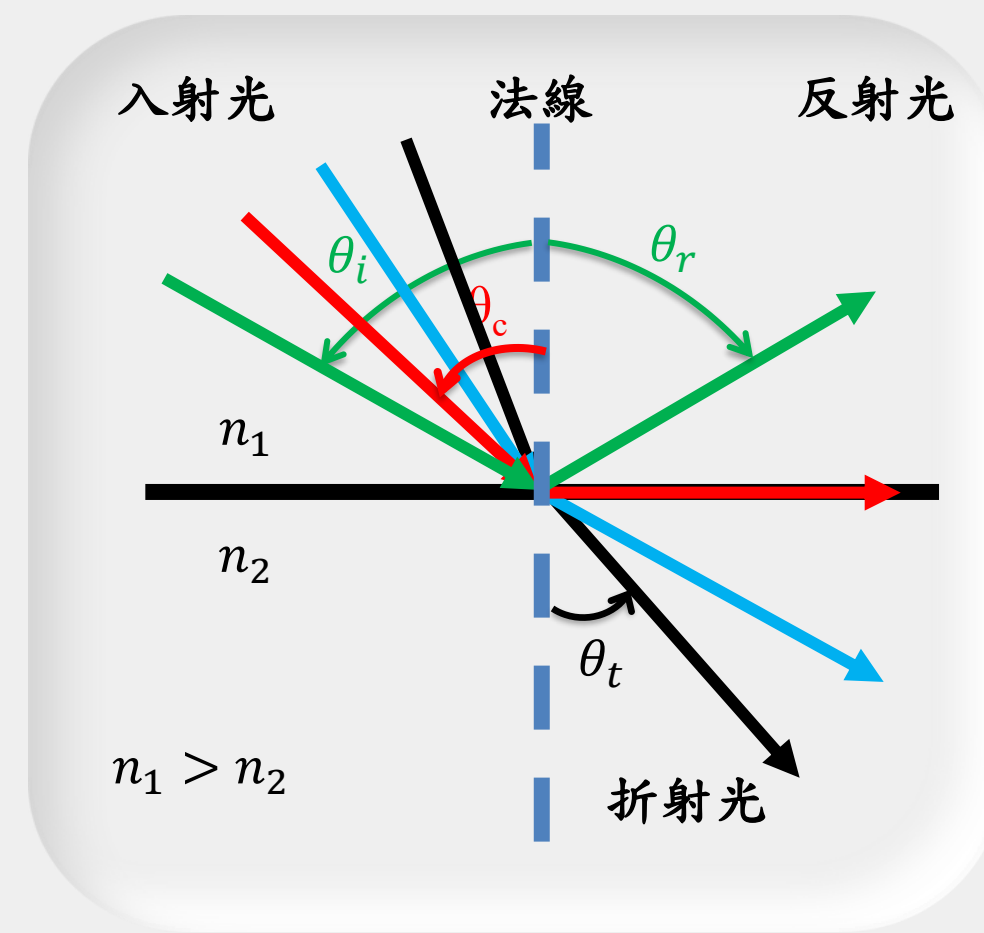
反射定律：反射角等於入射角 ($\theta_r = \theta_i$)

折射定律： $n_1\theta_i = n_2\theta_t$ (Snell's Law)



θ_i ：入射角
 θ_r ：反射角
 θ_t ：折射角
 n_1 ：介質1的折射率
 n_2 ：介質2的折射率

全反射：① 光從高折射率介質 \rightarrow 低折射率介質
② 入射角 $\theta_i >$ 臨界角 $\theta_c \rightarrow \theta_r = \theta_i @ n_1 > n_2$

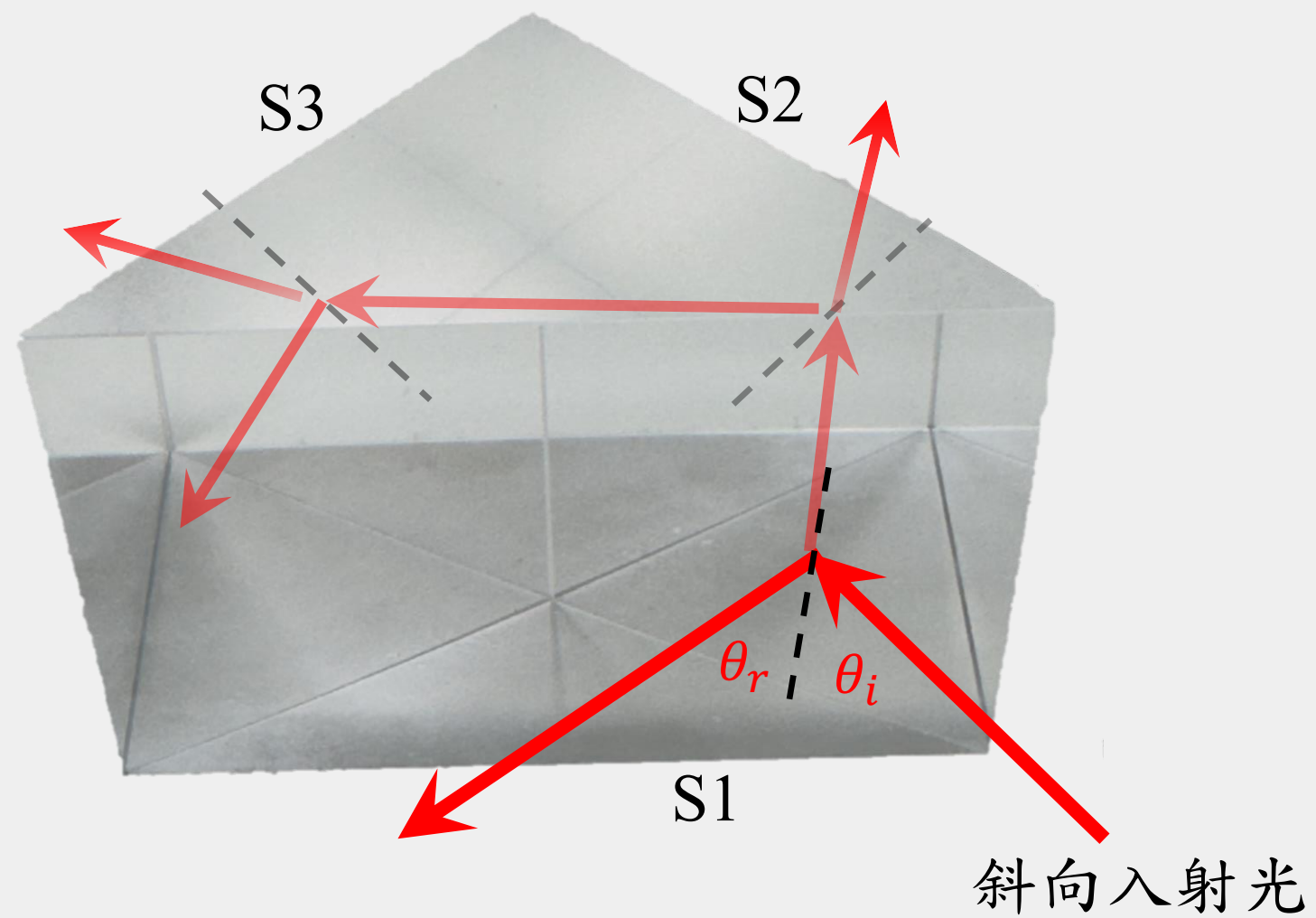


θ_i ：入射角
 θ_r ：反射角
 θ_t ：折射角
 θ_c ：全反射臨界角
 n_1 ：介質1的折射率
 n_2 ：介質2的折射率

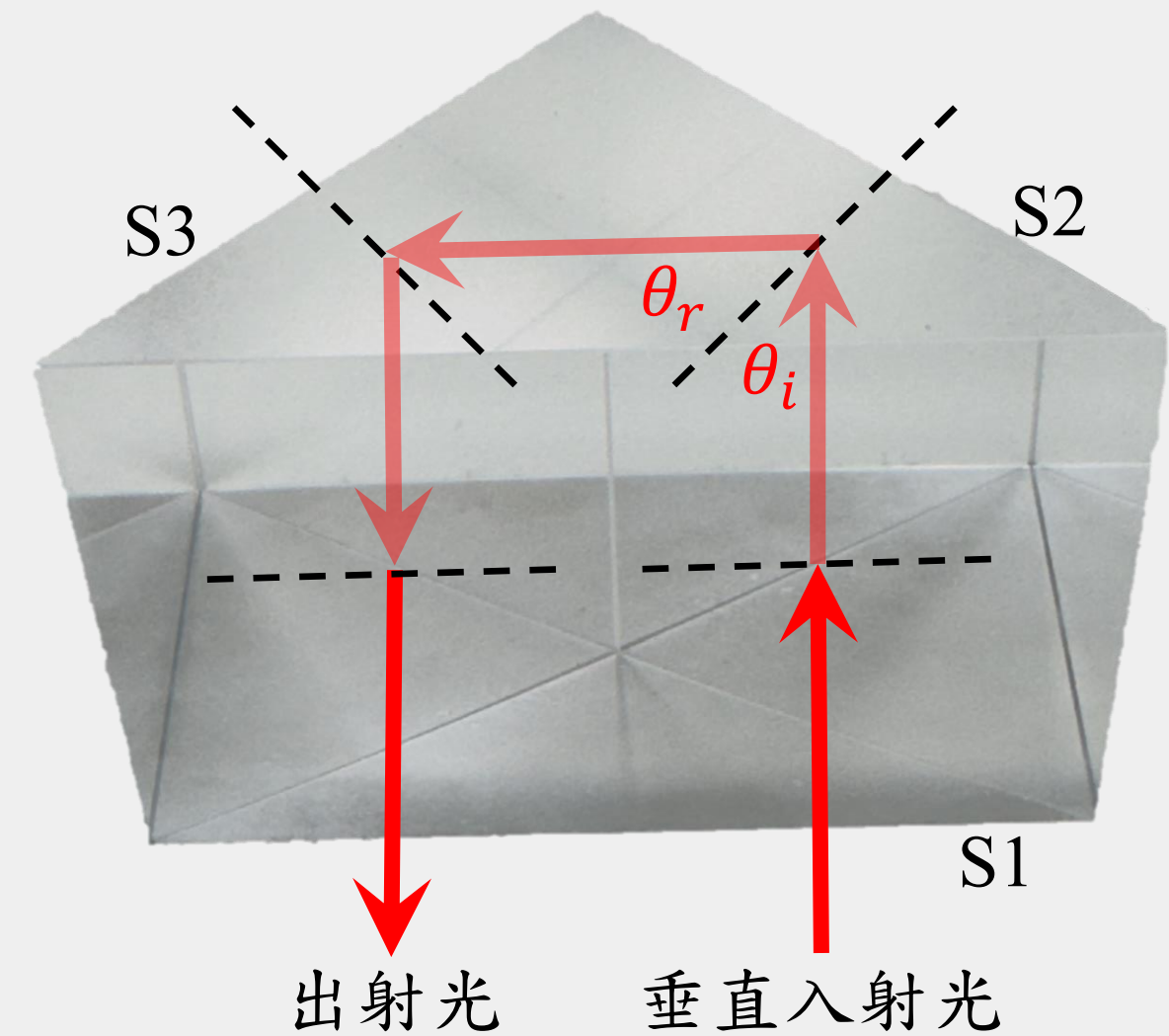


三稜鏡的光學特性

斜向入射：反射與折射



垂直入射：全反射





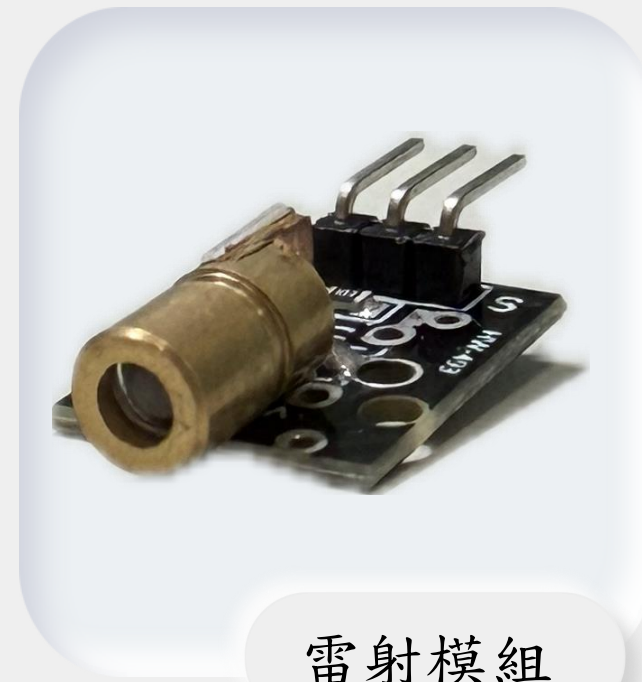
材料



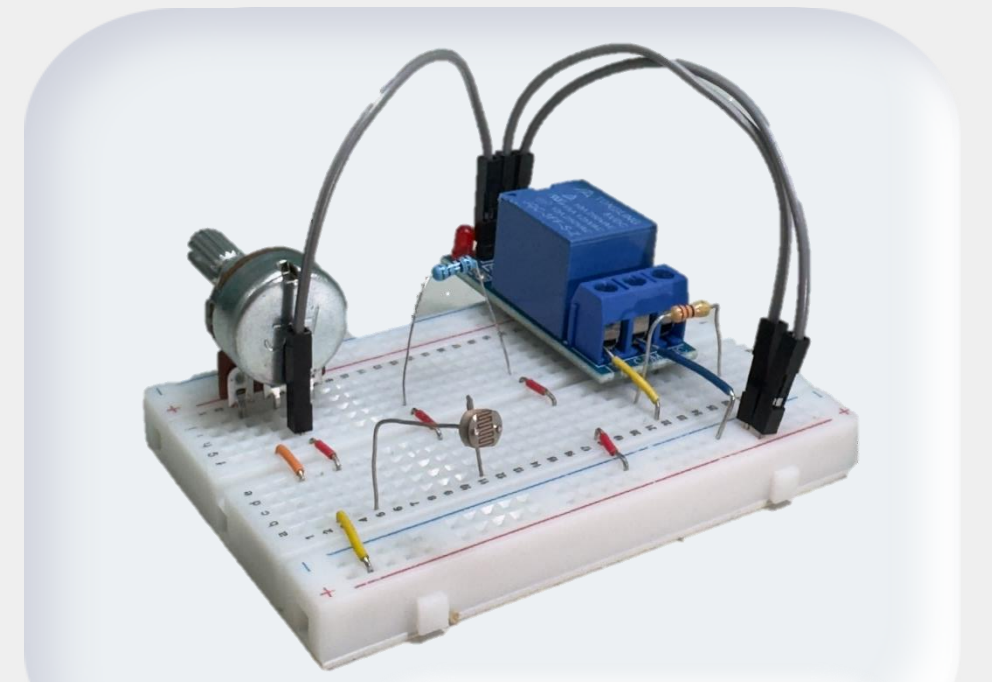
電池盒



磁鐵



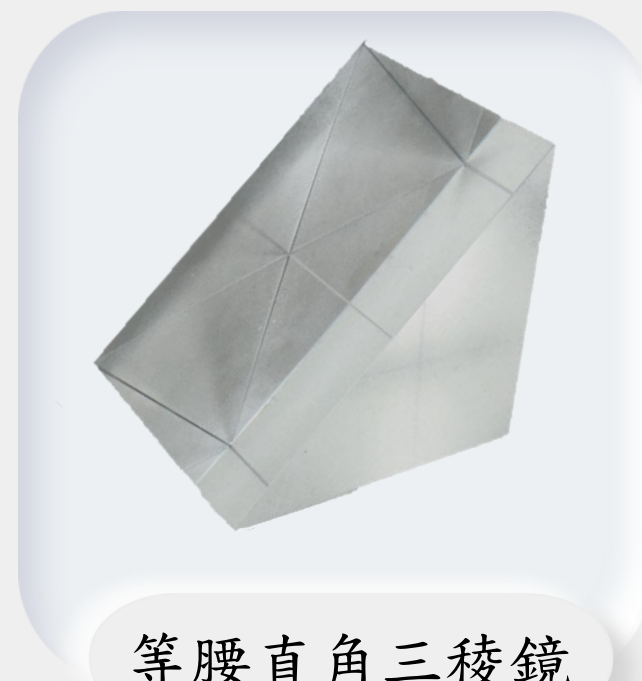
雷射模組



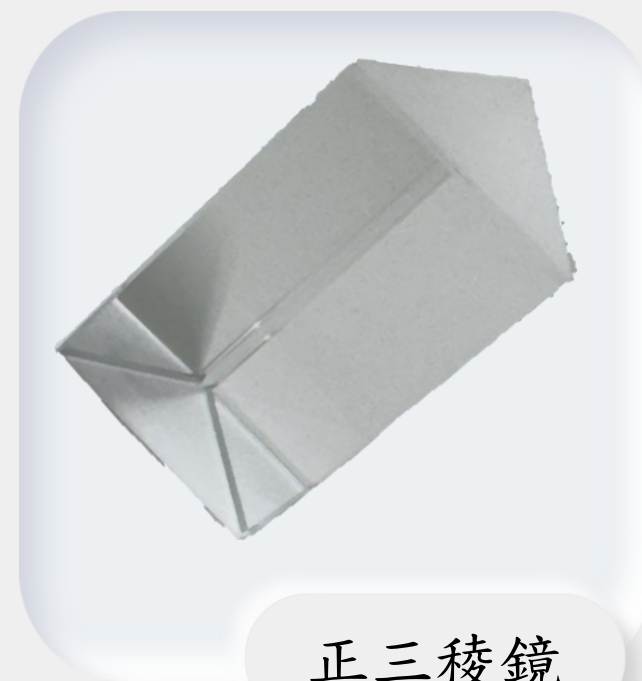
鑰匙鎖系統



燈條



等腰直角三稜鏡

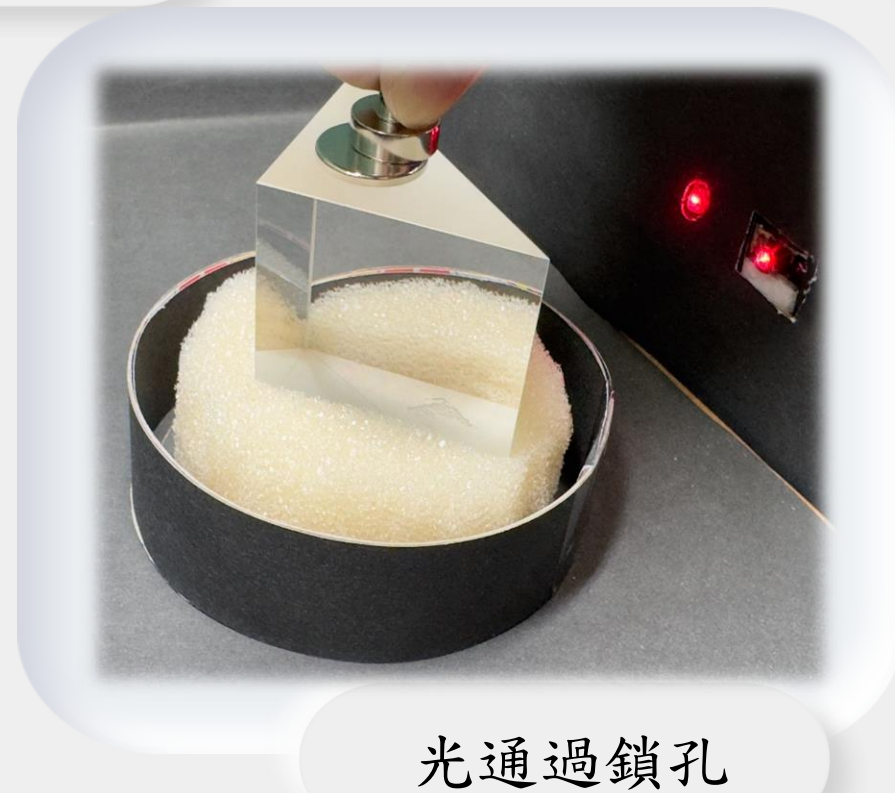


正三稜鏡

- 麵包板 *1
- 線材
- 繼電器模組 *1
- 可變電阻 *1
- 光敏電阻 *1
- 電阻 (1 k Ω) *1
- 電阻 (220 Ω) *1



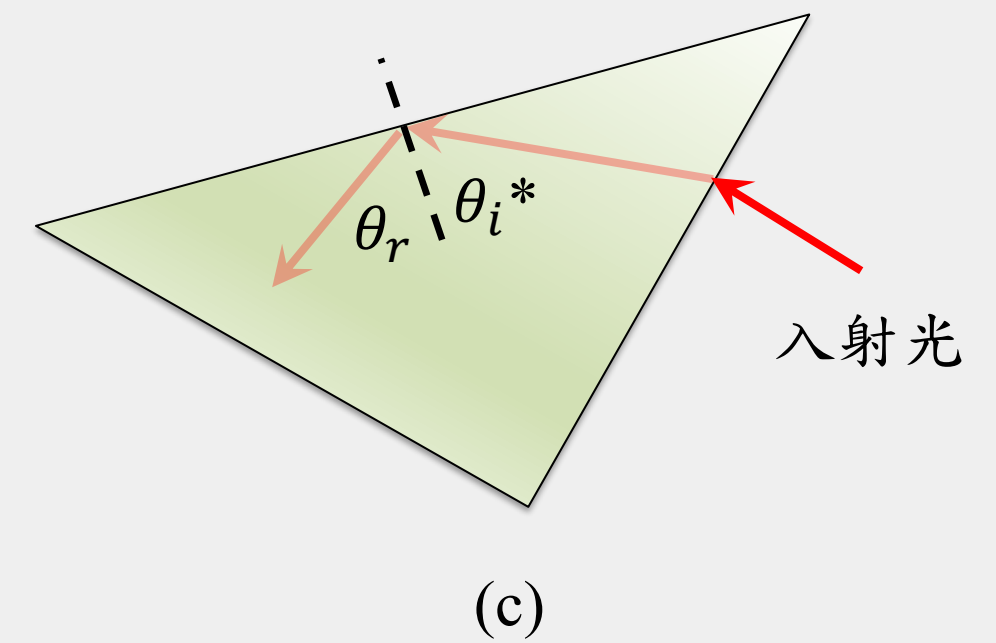
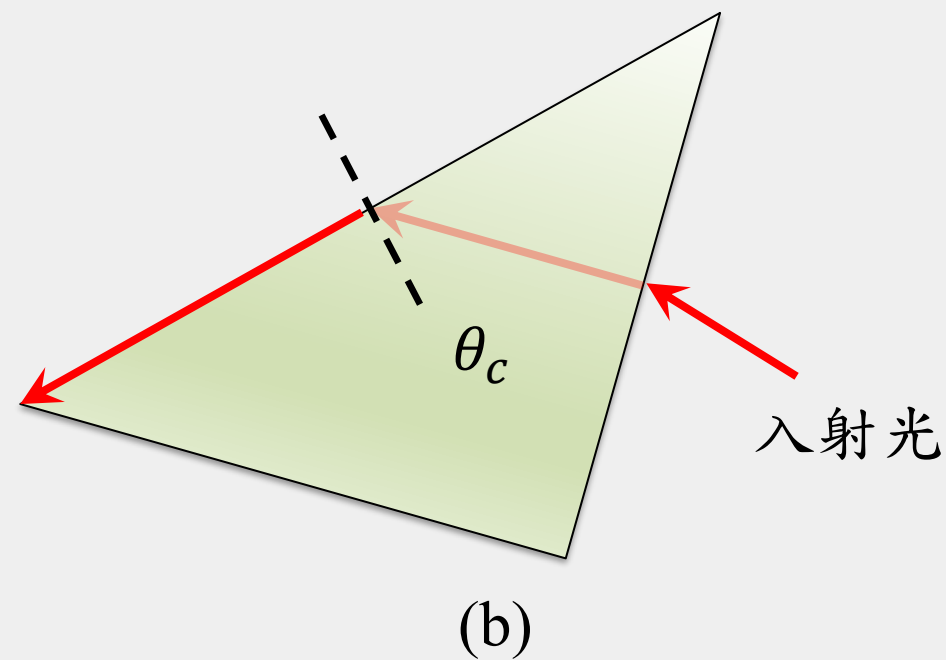
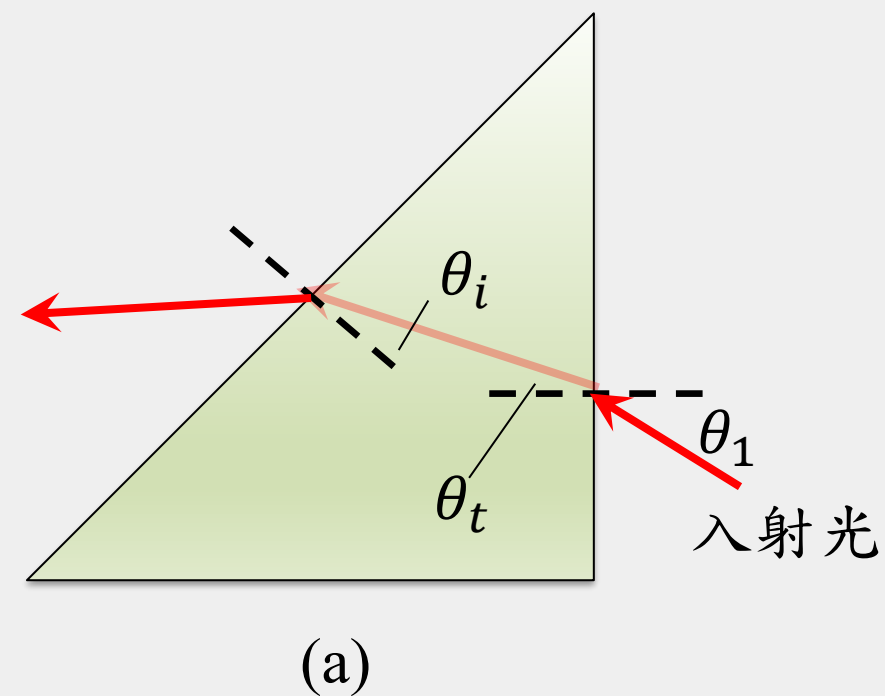
操作步驟





實驗步驟

1. 固定光源輸出，轉動三稜鏡改變入射光角度 θ_1 的折射光線 θ_t (光疏介質 \rightarrow 光密介質)，如圖(a)所示。
2. 再利用量角器量測並記錄此時的入射角 θ_i 。
3. 慢慢旋轉三稜鏡，觀察折射光點消失的一瞬間，如圖 (b)所示，此時入射光線與法線的夾角即為全反射臨界角 θ_c (光密介質 \rightarrow 光疏介質)，利用量角器量測並記錄。
4. 再次旋轉三稜鏡，找到全反射路徑，記錄 θ_i^* ，如(c)所示。
5. 找尋全反射發生2次且照到偵測器的光線為解鎖開關。
6. 最後利用 Snell's law，反推全反射臨界角的理論數值，並比較其實際量測之誤差。

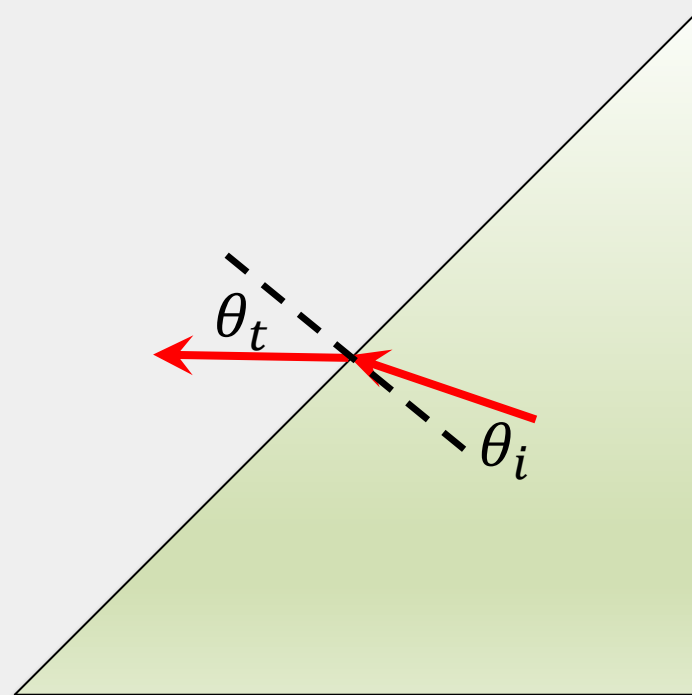




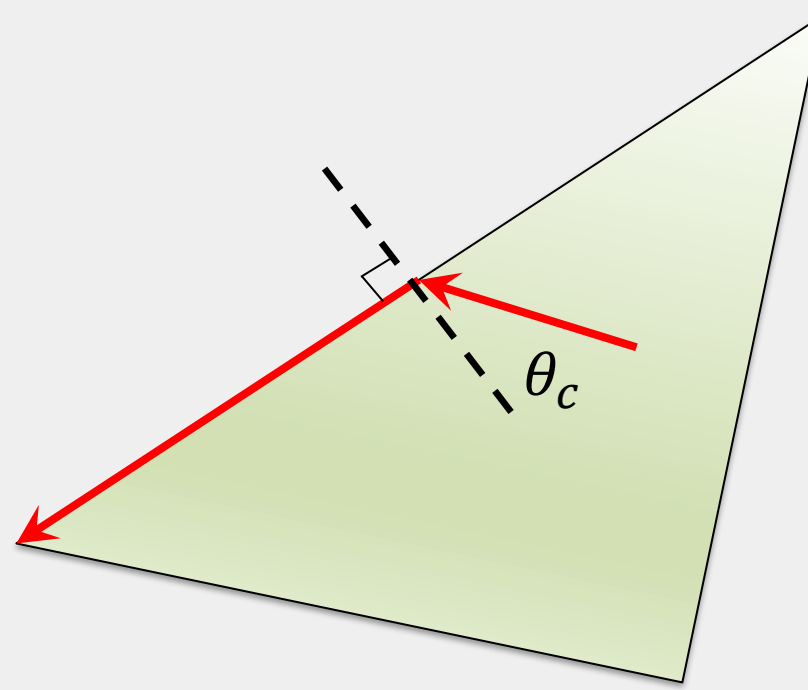
實驗結果與分析

等腰直角三稜鏡全反射

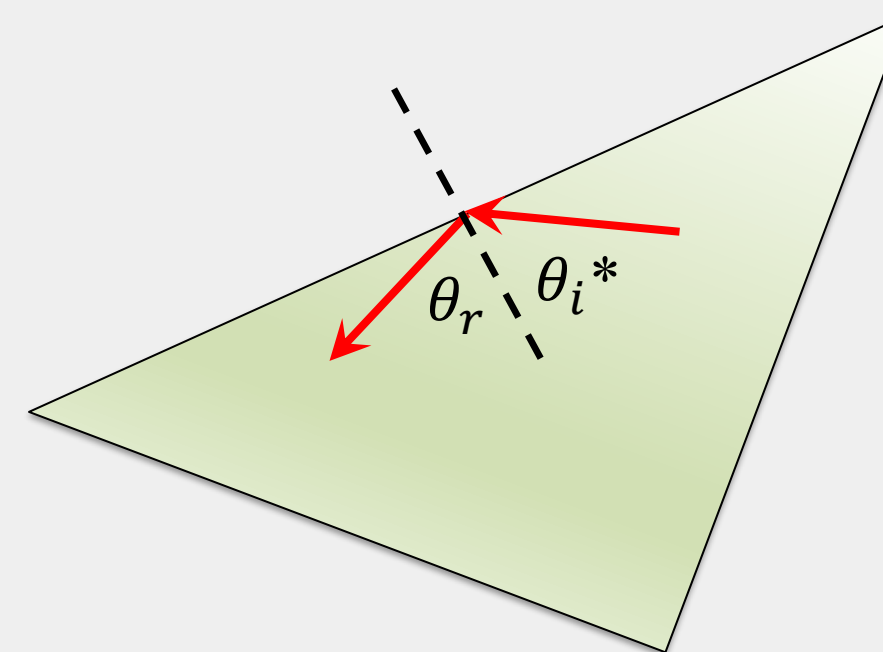
空氣 / K9玻璃折射率	入射角(θ_i)	入射角(θ_i^*)	實際臨界角(θ_c)	理論臨界角(θ_c)	誤差值
1 / 1.517	30°	50°	43°	41.24°	4.27%



入射角(θ_i) = 30°



入射角(θ_c) = 43°



入射角(θ_i^*) = 50°



實驗結果與分析

發生2次全反射的條件：

1. $\theta_i \geq 43^\circ$
2. $\theta_i^* \geq 43^\circ$

因為反射定律 $\theta_r = \theta_i$ ，

在S1平面發生全反射時， $\theta_r = \theta_i = 43^\circ$ ，

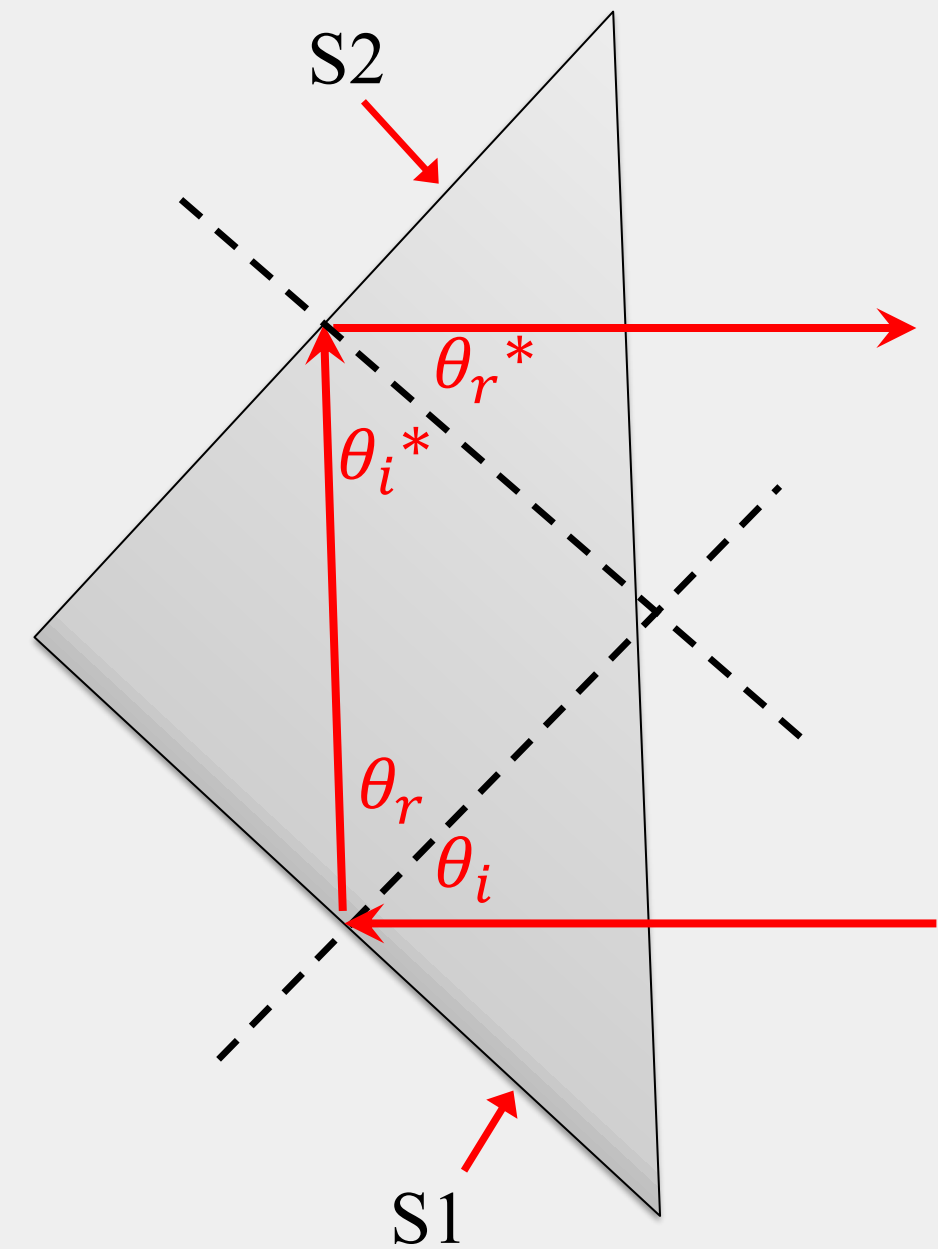
又因為餘角定理 $\theta_r + \theta_i = 90^\circ$ ，

可推得 $\theta_i + \theta_i^* = 90^\circ$ ，

若要發生兩次全反射，需同時滿足 $\theta_i + \theta_i^* = 90^\circ$ ，

且 $\theta_i \geq 43^\circ, \theta_i^* \geq 43^\circ$ ，

故可推得只有在 $47^\circ \geq \theta_i \geq 43^\circ$ 才能達成解鎖條件。





誤差來源

全反射臨界角：

由Snell's law: $\theta_c = \arcsin \frac{n_1}{n_2} = \arcsin \frac{1}{1.517} = 41.24^\circ$

$n_1 = 1$ (空氣折射率)

$n_2 = 1.517$ (三稜鏡折射率)

經實驗量測： $\theta_m = 43^\circ$

$$\text{誤差} = \frac{\theta_m - \theta_c}{\theta_c} * 100\% = \frac{43 - 41.24}{41.24} * 100\% = 4.27\%$$

誤差分析：

1. 材料折射率：材料折射率數值影響理論計算的結果，以至於理論計算與實驗量測上有差異。
2. 測量工具精度：量角器精度有限，通常 $\pm 1^\circ$ ，導致測量值偏離理論值。
3. 入射角判定：手動量測入射角時，光線與角度標記可能有微小偏差。



總研究發現

1. 不考慮材料的吸收與散射下光發生全反射時幾乎不損失能量，可作為光纖通信的核心原理。
2. 將光線轉換為電信號的過程，可啟發光電感測器、自動照明或機械手臂位置偵測等應用。
3. 實驗中光線對入射角、三稜鏡角度與位置高度敏感，說明在光學儀器、雷射光對準或光學測距系統中，元件的精準定位與角度控制是關鍵因素。



作品應用價值

1. 光學安全開關或防盜系統：結合反射、折射與全反射，設計出只有符合特定光路條件才會觸發的光學鎖。
2. 光學鑰匙的多樣性：不同形狀的三稜鏡（如正三角形與等腰直角三角形）對應不同的入射角需求，展示了光學鑰匙的多樣性與精確性。
3. 教育示範工具：本作品可作為光學原理（如反射、折射、全反射）的教學示範工具，幫助學生直觀理解光的行為。



未來改進方向

1. 改進鑰匙握把設計：將磁鐵握把增加矽膠或塑膠，提高握持舒適性與旋轉穩定性。
2. 區分光的行為：新增光偵測器來量測光功率，判斷光屬於反射光、折射光或全反射光，並搭配微控制器顯示，提高教學與互動價值。