

# 臺灣二〇〇三年國際科學展覽會

科 別：物理科

作品名稱：雷射光的研究

學 校：臺北市立介壽國民中學

作 者：孫承憲、鄭百傑

## 雷射光的研究

這份報告的主題是藉由實驗，來探討雷射光的性質及它的應用，並實際製作利用雷射光原理的小器具。

1.證明雷射光是否為單色光：先將雷射光射入不同顏色的玻璃紙，利用光無法穿透不同顏色玻璃紙的性質，以及將雷射光照射三稜鏡，觀察其反射的光線，藉此來證明雷射光是否為單色光。

2.雷射光的直進性質：利用彎管或其他不透光物品將光線阻擋，觀察其是否能穿透物品，並且用不透光物質，使我們能夠看出雷射光的軌跡，來證明雷射光的直進性質。

3.雷射光的折射與反射：將雷射光射入不同的物質中，觀察其折射角度，來得知雷射光在不同介質中的傳播速率不同，也觀察其是否有反射的現象。

4.雷射光的應用：研究運用雷射光製成的物品，如雷射印表機、光碟機等等，並了解其製作原理。

5.自行研製雷射小器具：利用雷射光的原理，來製作簡單而獨特、有效率的小器具。

## Abstract

# ***The research of laser***

The topic of this report is to study the quality and applications of laser by experiments, and actually make a tool by using the principles of laser.

1. Prove if laser is a one-color light: By lasing laser through a triangular prism, observe the light it reflected to prove that laser is a one-color light.

2. The quality of in-line approach: By using tubes or other lightproof items to block out the light to observe if it can penetrate things, and also let us see the trace of laser to proof the quality of in-line approach.

3. The refraction and reflection of laser: Study the differences of refracting angles by lasing laser into different items, to know the speed of laser in different mediums, and also observe if it will have any reflections.

4. The applications of laser: Understand how laser products are made by studying them, like laser printers and CD players.

5. DIY laser tools: Make simple but unique and efficient tools by using the principles of laser.

# 雷射光的研究

## 壹、研究動機：

光在現代生活中是非常重要的，沒有了光，我們就必須回到原始的生活。尤其是雷射光，跟現代科技息息相關，舉凡 CD、眼睛手術、焊接、切割等都和雷射有關。在此研究雷射光的種種性質，加深我們對雷射光的了解。不過，雷射光並不是非常容易取得的一種東西，而且雷射光還分為許多的種類，因此我們這次所有的實驗皆使用老師教學時常用的雷射光筆作為雷射光源。

## 貳、研究內容：

- (一) 證明雷射光是否為單色光
- (二) 雷射光的直進性質
- (三) 雷射光的折射與反射
- (四) 雷射光的應用
- (五) 自製雷射小器具

## 參、研究過程

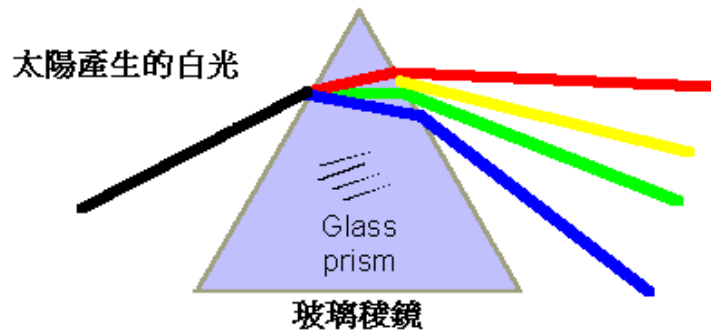
### (一) 證明雷射光是否為單色光

我們都知道，一般的光是由光的三原色，也就是紅、藍、綠三種光線所構成的，而雷射光則是單色光，利用雷射光筆發出光線，穿過三稜鏡，觀察其射出的光線，結果並沒有如太陽光，會折射成七個顏色，而是直接穿過，可見雷射光是單色光，並不是像太陽光一般由多種顏色混合而成。

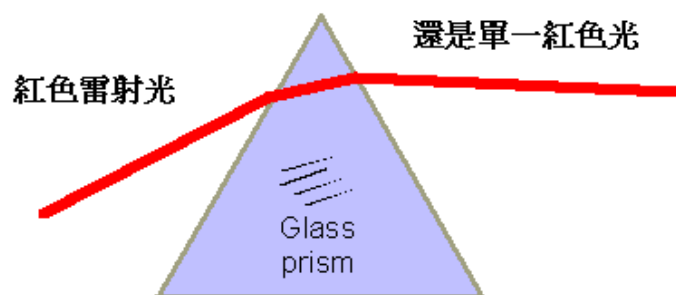
在這個部分我們原先的構想是使用一般非常容易取得的玻璃紙來進行實驗。根據我們在國中二年級的理化課本上所學到的，色光是無法穿透與之不同顏色的透明物的。白光是由各種顏色的光所組成的，所以它應該可以穿透各種不同顏色的玻璃紙；而雷射光是紅色的，所以它應該只能穿過紅色的玻璃紙而已。

不過，我們在實驗的時候發現這麼做並沒有辦法非常的確定雷射光是單色光，因為雷射光似乎是因為能量集中的關係，仍然隱隱約約的穿過了玻璃紙。所以，我們便使用了另外一項最常被使用在證明白光是多色光的用具，也就是三稜鏡，來進行實驗。

其結果因為怕照相時的閃光燈會使結果不清楚，所以便以下圖表示。



圖（一）



圖（二）

由上面的兩副圖，我們不難看出當白光通過三稜鏡的時候，白光會分成許多顏色

## （二）雷射光的直進性質

用不透光的物質將光線阻擋，我們使用了粉塵、彎管、紙板，試驗其是否能穿透及行進軌跡。

1. 粉塵：因其不透光，所以可顯出雷射光的軌跡為一直線。
2. 彎管：雷射光不能穿透，表示雷射光為直線。
3. 紙板：雷射光無法穿透，只在其上形成一光點，表示其行進方向為直線。



圖（三）

### （三）雷射光的折射與反射

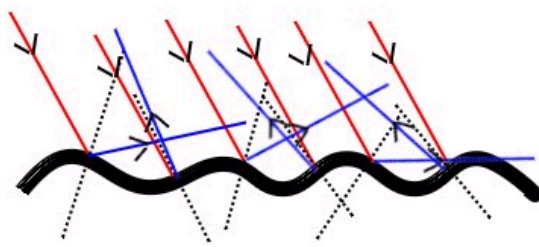
#### 1. 雷射光的反射

雷射光在遇到障礙物（不同介質）時，會產生反射的現象，而這些障礙物反射出來的光進入我們的眼睛，也因此我們才能看到這些物體。

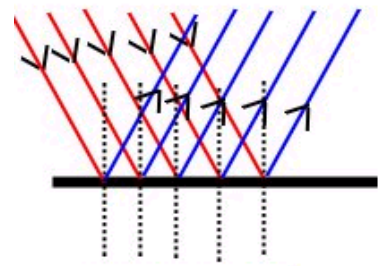
光在射到兩種不同介質的交界面時，會有部分光線射回原介質中，稱為光的反射。

利用不透光的紙板，將雷射光照射其上，並不會感到明顯的反射，是因其表面粗糙不平，如圖（四）。

但有些物質可將光完整的反射出來，是因其表面較平坦，如圖（五）。



圖（四）



圖（五）

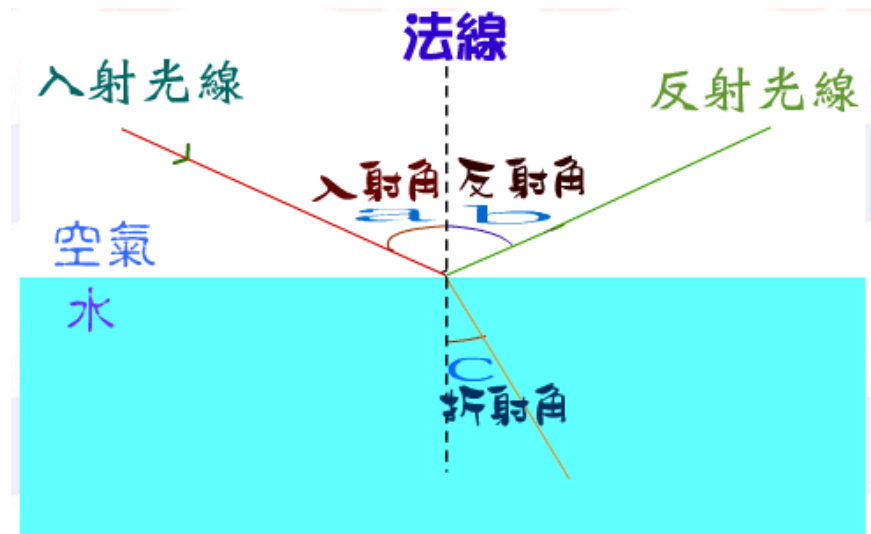
#### 2. 雷射光的折射

當光由一物質進入另一物質時，由於在不同介質中傳播速度不一樣，因此產生光的折射。

（1）光由疏介質進入密介質，傳播速率變慢，光行進方向偏向法線。

（2）光由密介質進入空氣中疏介質，傳播速率變快，光行進方向

偏離法線。



圖（六）

#### （四）雷射光的應用

##### 1. 聚焦

雷射可以縮成非常細小的範圍，而且能夠前進很長距離卻不會太過發散。

（一般手電筒光線很快就散開，強度也就變弱了！）

##### 2. 能量

雷射光可在很小的範圍內卻含有相當多的能量 - 強度甚至能夠穿透很厚的金屬。小功率（較少能量）的雷射可被用作為手術刀。

##### 3. 資訊

低功率雷射系統也可以用來傳輸或接收資訊。例如，超市中結帳時所用來掃描物品代號的掃描裝置，包含雷射、透鏡、轉動的鏡片和電腦組合讀出物品的代碼。在 CD 雷射光碟機中微小的雷射，藉由光碟片上如摩斯密碼般的凹凸條紋讀取記錄的音樂資訊。

##### 4. 通訊

雷射光可以藉由一種特殊材料（光纖）將資訊傳送至遠方。同一條光纖內可同時用雷射傳送數千個電話通訊消息。

##### 5. 立體攝影術

雷射光可以用來儲存與顯示 3 度空間立體的影像圖案，稱為立體攝影術。

##### 6. 雷射印表機

雷射印表機列印時，印表機接收電腦傳送的資料用雷射光照射到滾筒，被照到的地方會帶靜電，靜電接著吸引碳粉，再由滾筒壓印碳粉至紙張，經熱處理固定，即完成列印的動作。由於碳粉的顆粒，遠比點矩陣印表機的針頭，和噴墨印表機的墨點來的細小，所以解析度可以隨機種的設計而提高，列印品質優良。

#### (五) 自製雷射小器具

1. 電鈴：一般電鈴會響的原理是接收電流，當電流通過時，就會發出聲音，但此鈴卻可接收雷射光來發聲。我們的構想是：當按下電鈴時，一端會射出雷射光，由另一端的接收器接收，而發出聲音。使用雷射光的原因，是因其速度在空氣中每秒可達三十萬公里，比電流快上許多。
2. 警報器：這個警報器在緊急狀況時，內部會發出雷射光，當接收器收到雷射光以後，便會發出聲響，以提醒人們應付緊急狀況，使用雷射光的原因，是因其速度在空氣中每秒達三十萬公里。

#### 肆、討論

這次做雷射光的實驗，由於器材有些不足，所以也限制了可做的實驗種類。這次實驗主要是觀察雷射光穿過透鏡或遇到面鏡的折射或反射路徑。但在實驗過程中，並不是很順利，一開始原本想直接觀察雷射光的路徑，也利用了一些不透光物質，試其是否能顯出雷射光的路徑，但結果均告失敗。於是我們改變方向，利用雷射光筆的光源穿過透鏡，找尋其投射的光點，再以照相機照下。但照出來的結果，卻完全看不到光點，連器具都還有些模糊，分析其原因，可能是照相機距離太近，或是雷射光筆亮度不夠所導致的。因此我們借了一支較亮的雷射光筆，且在較遠的距離照相，結果終於清楚了許多，但始終無法照出雷射光筆的路徑。我們以後將試著做關於雷射光在不同透鏡中偏折角度的不同及研究各種不同的雷射光，來彌補這次的缺失。

#### 伍、結論

在此次的實驗中，我們得到了幾點結論：

- (一) 雷射光與白光不同，是單色光
- (二) 雷射光是直線前進
- (三) 雷射光的折射與反射與普通光相同

由以上幾點我們可以發現，其實雷射光和白光都是光的一種，也因此兩者都遵循著有關光的定理及性質，例如光的反射定理、折射定理、光的直線前進性質等。不過雷射光是單色光，能量集中且不易分散，而普通的白光則是由許多顏色的光所形成的，容易分散罷了。

- (四) 雷射光的應用非常廣泛，在軍事及非軍事上都有非常廣泛的實用。它可以是殺人的死光，抑或是救人的良光。不過雖然雷射可以應用在軍事上，用在武器上來殺人，但是非常幸運的，雷射在和平方面的用途遠比在軍事上的用途來的廣。

- (五) 雷射光在不同的透鏡、面鏡中的反射及折射角度可以再做更深入的研究。

#### 陸、附錄（一）

1. 雷射的歷史

Maiman 於 1960 年發明第一束雷射光(紅寶石雷射)。

## 2. 雷射的原理與特性

雷射的簡單原理

(1) 雷射(LASER)是「Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation」的縮寫。

(2) 吸收與自放射

(3) 受激發射(stimulated emission)

## 3. 雷射的命名

(1) 不同的雷射介質就會產生不同波長的雷射光

(2) 雷射常以活性介質來命名：

固體(紅寶石雷射、釹鈮鋁石榴石雷射)

液體(染料雷射)

氣體(二氧化碳雷射、氦氖雷射、氫離子雷射、準分子雷射)

其他(化學雷射，半導體雷射，自由電子雷射等)

## 4. 雷射的特性

(1) 它是單色的(單色性)

(2) 它是筆直，不易散開的(低發散性)

(3) 它是很強(很亮)的(高強度)

(4) 它是同調的，步伐整齊一致(高相干性)。

## 5. 雷射的用途

用光來切割或熔接及鑽孔：雷射加工、雷射醫療切割組織，氣化腫瘤消除不要的刺青，胎記，痣等改變角膜表面的曲度，以治療近視鑄接血管或神經，但是還在嘗試階段。

## 6. 雷射鑽孔

## 7. 用光來做為武器：軍事應用，癌症之光動力療法。

(1) 不用刀的開刀，不流血的手術

適合操作空間非常狹窄的深部手術：

應用雷射就像是玩星際大戰的電動遊戲一樣，將紅點瞄準要破壞的腫瘤，然後踏下開關，腫瘤組織就一點一滴的被氣化掉，化成氣體不見了。

(2) 稱為雷射刀不如稱為雷射槍來的適切

切割時可以同時閉合血管，減少手術中出血，甚至達到不出血的手術。

## 8. 雷射在神經外科手術的應用

(1) 二氧化碳雷射

切割及蒸發的效果較好，可用於切割或挖空腦瘤

可以連接至手術顯微鏡，更精準地燒灼腫瘤

腦幹、顱底、或脊髓病變是使用雷射手術的適應症

(2) 釹-雅克雷射

止血效果較好，用於血管豐富的腦瘤及動靜脈畸形手術

雷射切除椎間盤突出症

配合內視鏡進行腦室內手術

靜脈竇旁邊的腦膜瘤

### 1. 量子理論

1917年愛因斯坦提出物質與輻射的作用有三個基本的過程，即激發吸收，自發放射和激發放射三種。激發吸收即一般的收過程，當輻射光含有  $h\nu = E_2 - E_1$  之光子入射處於低能階(基態)為  $E_1$ ，而其任一高能階能量為  $E_2$  物質時，的光子能量將使該原子自  $E_1$  躍遷至  $E_2$ 。當原子自躍遷至激發態後，有兩個過程使它重返至基態，其一為自發放射，即不須外界的干擾，過一段時間後，它自行自  $E_2$  之能階降至  $E_1$  之能階，並釋放出  $h\nu$  的光能量，此自發放射的方向、相位等是任意的。另一過程為激發放射即處於激發態之原子，由於受到外來光子之撞擊，而由高階向低能階躍遷。此時，所產生的光子與外來的光子有相同特徵，即它們的頻率、相偏極方向和傳播方向均為一致。由於光子的數目反而增加，故光波有放大的作用。

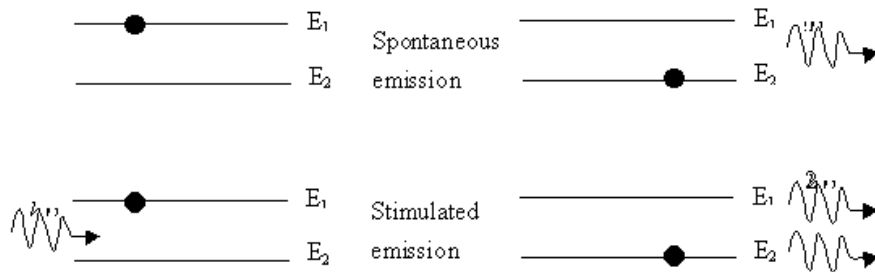
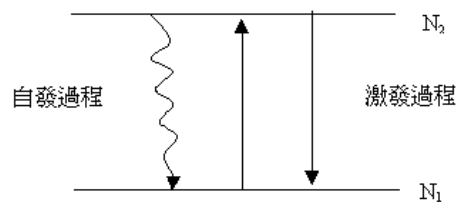
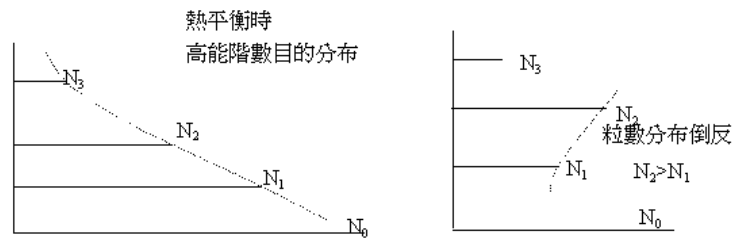


圖 1

假設物質由一堆總數為  $N$  的原子所組成，我們將原子的能階簡化成含高能階  $E_2$  和低能兩者，則上述的過程使得在  $E_1$  和  $E_2$  能階的原子數目隨  $E_1$  時間而變，針對  $E_2$  能階而言。



#### (1) 粒數分布倒反



當光與物質相互作用時，(1)節敘述的三種過程總是同時出現，現在我們要問：在什麼條件下，光波經過物質時會有放大的作用？前面已提，在熱平衡狀態下，其原子處於高低階能量的數目分布為波茲曼分布，當光經過此物質時，光的吸收過程總是遠大於光的放射過程(因為  $N_1 \gg N_2$ )，所以在此情況下，我觀察不到光的放大現象，只能觀察到光的吸收現象。如果在外來能量激發下，使物質中處於高能階數大於低能階的數目，則此時光的受激放射過程將壓倒激發吸收過程，而使激發放射占主導地位(自發放射程可暫略)，使此時在高低能階的數目分布稱粒數分布倒反，它是產生雷射必備之條件。

## (2) 雷射的三要素

任何介質欲產生雷射，必須具備下列三要素，即雷射介質、激發裝置和光學腔。雷射介質所謂雷射介質是指介質受激發後能生粒數分布倒反的現象。它們均有下列同特點：即激發至高雷射能階的機會相當，停留在該能階的時間長和低雷射能階的生命期短等。這些雷射包含氣態(如 He-Ne、Ar、CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、金屬蒸氣、準分子等雷射)、固態(如 Nd:YAG)、液態(如化學雷射)和半導體等。不同的雷射，其能階躍遷的種類和對應能階值不同，故其輸出光的波長亦不同。

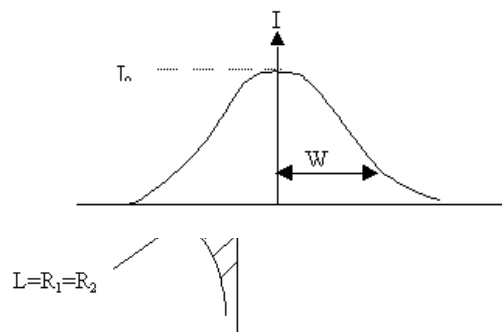
激發裝置:激發裝置是指將某種型式之能量加入雷射介質，使其激發至高能階的數目大增，並產生粒數分布倒反的裝置。通常激發有：

- (i) 放電激發法：如一般的氣體雷射。
- (ii) 光激發法（閃光燈另一雷射光源）：如一般的固態染料雷射。
- (iii) 電流激發法：如半導體雷射。
- (iv) 化學激發和其他激發法：如化學雷射、自由電子雷射法等。

## (3) 光學腔

在雷射光產生過程中，其原始光的信號來自自發放射，而自發放射是雜亂無章的，如何在其中選取一定傳播方向和頻率的光信號，使和方向

性的雷射光呢？最簡單的方式，即在介質兩端和加同光軸的反射鏡，稱為光學腔，其中一為全反射鏡，另一片為部分穿透鏡，當光子在光軸方向往返穿梭不斷撞擊激發原子，不斷放大，以致於激發輻射光遠大於自發輻射光。當激發至某一程度時，光子放大的因素大於撰失的因素(如部分穿透損失、鏡片吸收、繞射損失、介質散射損失等)，此時方有雷射輸出。光學腔的長度和鏡片之曲率半徑大小決定電磁波在雷射光學腔內的形式以及在腔內傳播時的損耗情形。 $0 < g_1 \cdot g_2 \leq 1$  其中  $g_1 = 1 - L/R_1$ ， $g_2 = 1 - L/R_2$ ， $R_1$  ( $R_2$ ) 為鏡片 1(2) 之曲率半徑， $L$  為光學腔，方可得到穩定之光學腔(見圖 4)。而存在光學腔內有許多光波的形式，通稱為 TEM 波型，若我們能抑制高階型僅讓最基本的波型的增益大於光學腔的損耗，則稱此時之雷射輸出波型為 TEM<sub>00</sub> 波型或高斯波型;在許多雷射的應用中，其波型的分布是很重要的，例如雷射切割應用等。



綜合言之，整個產生雷射的過程如圖 6 之說明：

- 未激發前，介質的能量分布為波茲曼分布，即大部分原子處於基態。
- 受激發裝置激發，處於激發態的原子大增，而有較多的自發放射。
- 自發放射出的光子撞擊激發態原子而產生激發放射。
- (e) 沿光軸之激發放射經光學腔反射，而有快速之成長。
- 當光的增益(gain)克服光行進時的損耗時，此時會有雷射光輸出。

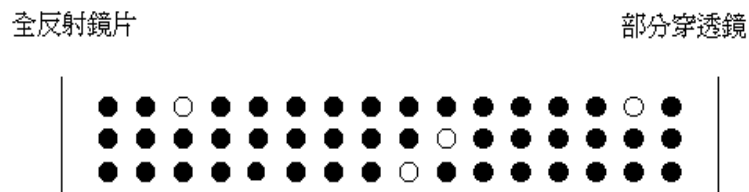


圖 6-a

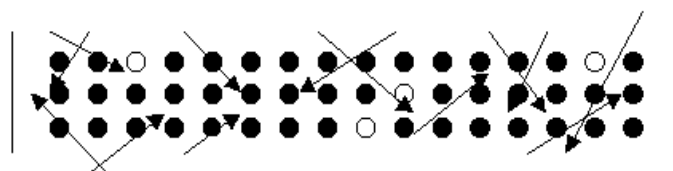


圖 6-b

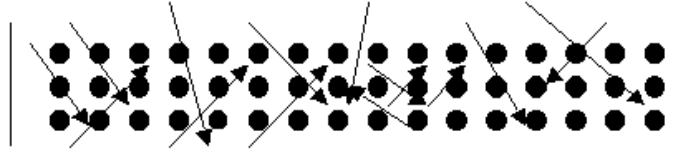


圖 6-c

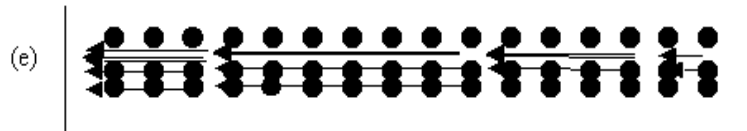


圖 6-d

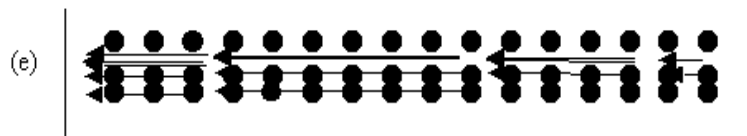


圖 6-e

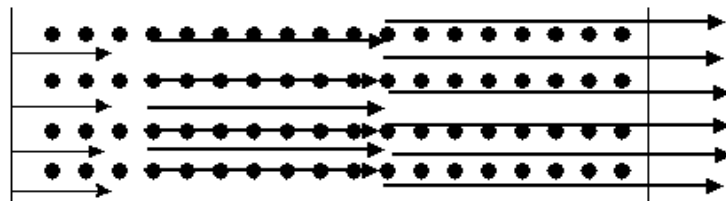


圖 6-f

## 2. 雷射光的特性

### (1) 方向性

自任何光源射出光束在傳播時，均會有擴散的現象，通常以擴散角來表示光束擴的程度。對於一個普通的燈泡產生的光是向 360 傳播，但一般雷射之擴散角僅在 1 毫徑左右。若在光學腔內光波為高斯型分布，稱為高斯光束其束腰為  $w_0$ ，由繞射理論可得知。

(2) 亮度的定義

光源在某一方向的亮度可定義為此光源在單位面積上，向該方向的單位立體角射的光功率，即

$$B = \frac{P}{A\Omega}$$

其中， B：亮度 P：光源之功率 A：光源之截面積

$\Omega$ ：擴散之立體角

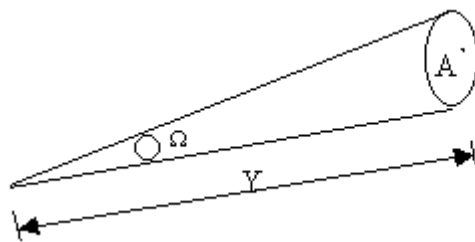


圖 7

普通光源亮度不強，而即使是 1mW 雷射光源亮度的雷射其比太陽光的亮度要高數百倍，故對雷射光均不可正視，以免受傷害。除了氫彈外，至今尚未有其他裝置能像雷射這樣高度的集中能量。當然，雷射的總能量是不大的，但雷射把能量在空間和時間上高度地集中起來，因此就有很大的威力。利用這些特性，雷射可以從事遠距離的測量，如測地球與月球間的距離和雷達、通訊應用。另外，會聚適當功率之雷射光，在焦點附近能產生幾千度以及幾萬度的高溫，容易熔化或氣化各種材料，因此目前在工業上已成功地用雷射進行精密焊接，打孔和切割等。甚至作核融熔等反應的光源。

捌、參考資料

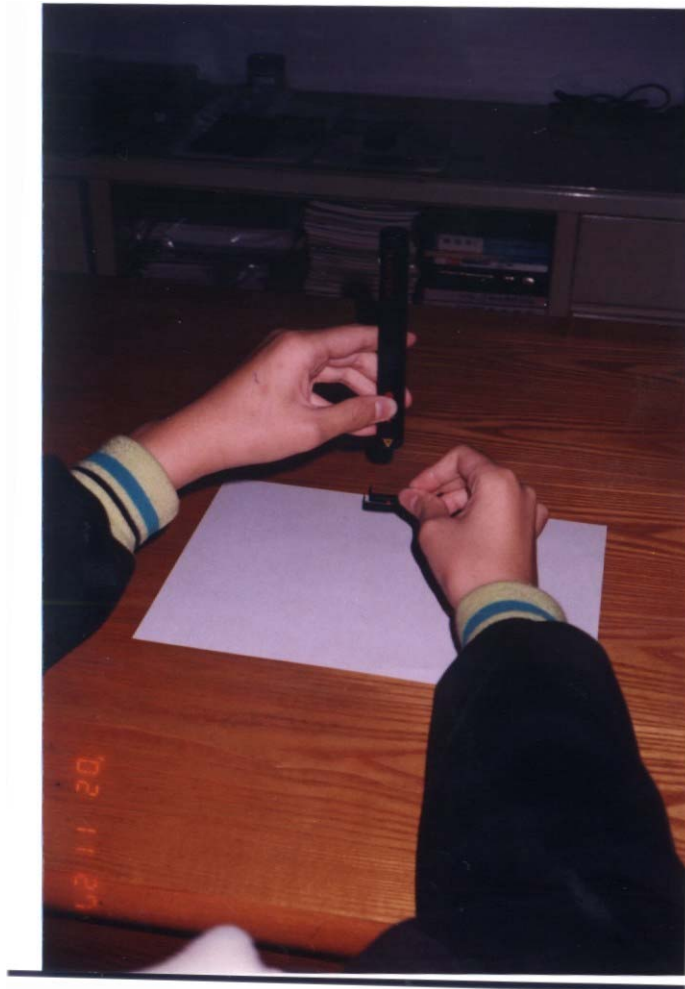
- (一) 網站：OPTICS FOR KIDS！
- (二) 網站：雷射光特性之認識
- (三) 網站：雷射在外科學之應用
- (四) 網站：影線輸出：各式印表機簡介
- (五) 網站：雷射簡介
- 〈六〉國立編譯館 國民中學理化教科書第一冊 再版二刷 89-116 頁



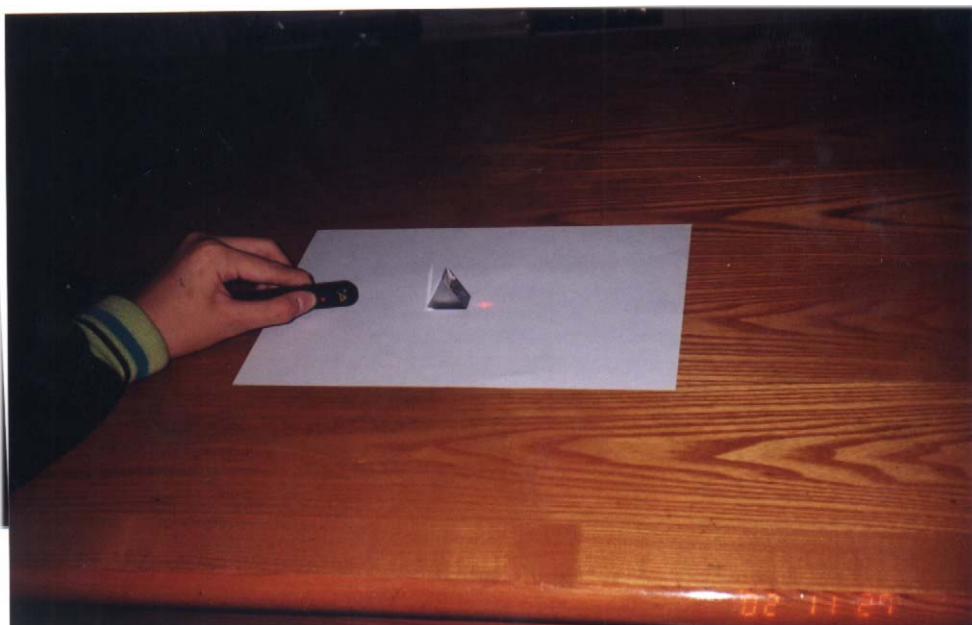
實驗器材-雷射筆



雷射光可穿過紅色玻璃紙



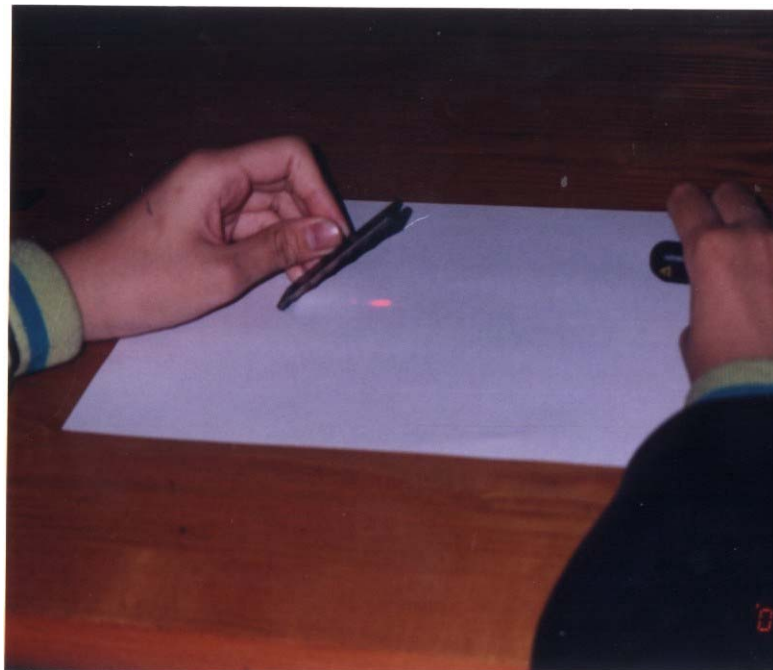
雷射光無法穿過綠色玻璃紙



雷射光穿過三稜鏡的折射現象



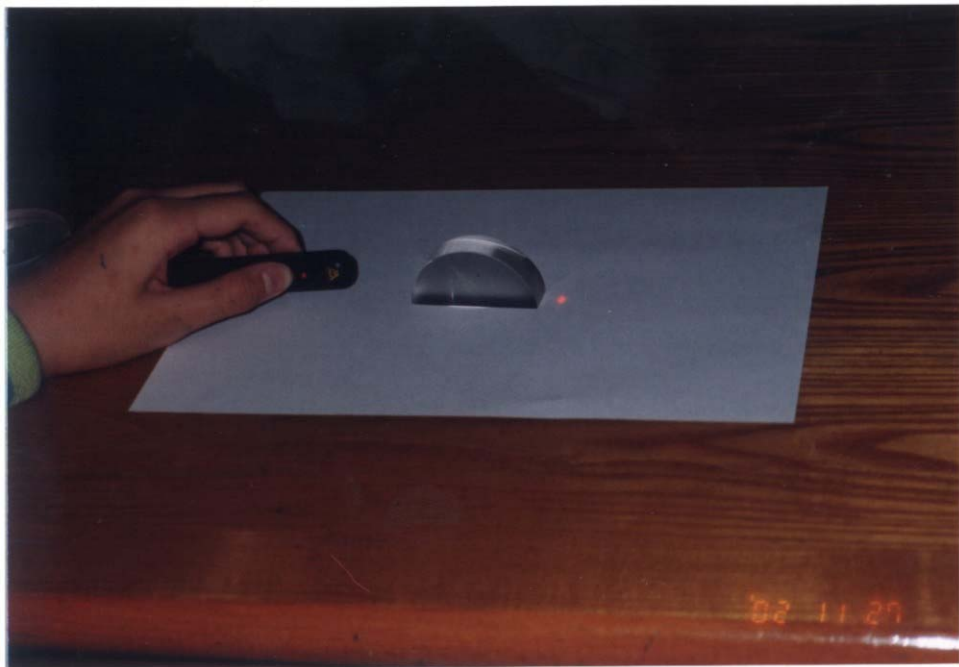
雷射光穿過凸透鏡的成像



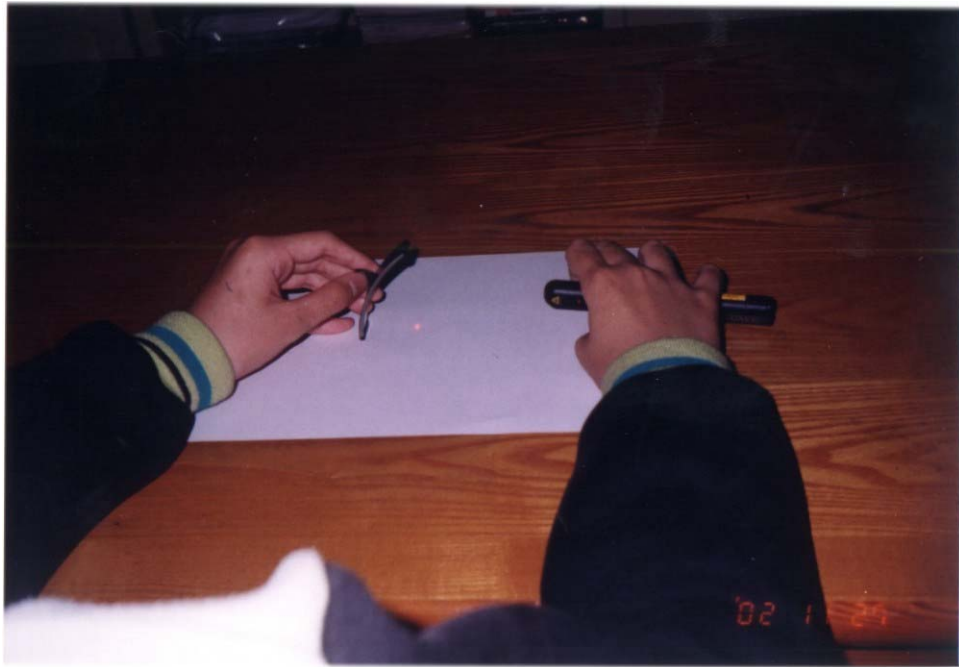
雷射光對波浪鏡的反射情形



雷射光穿過圓形透鏡的成像



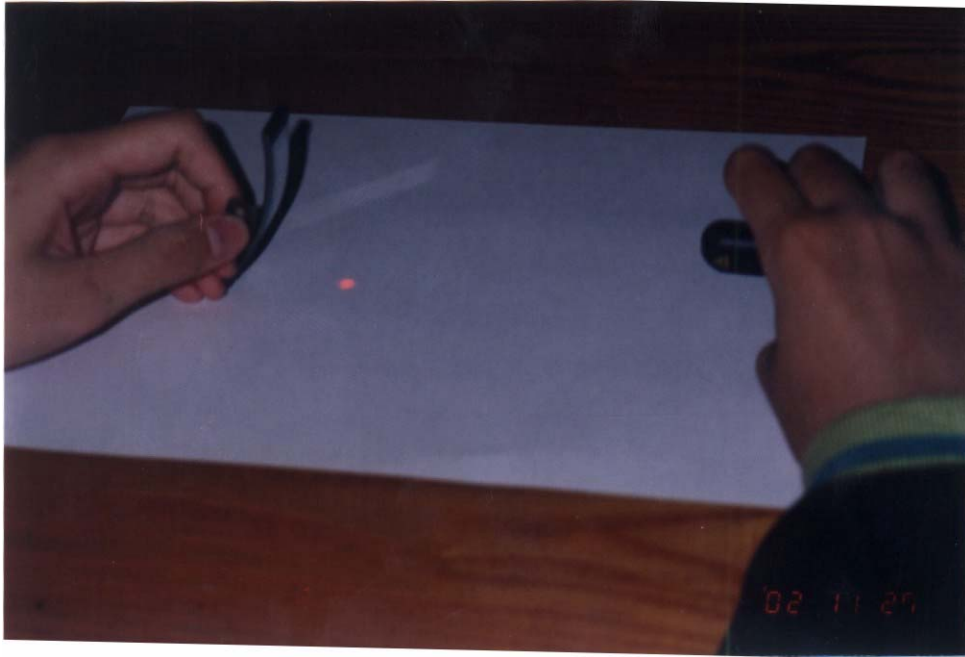
雷射光穿過半圓透鏡的成像



雷射光對凹面鏡的反射情形



雷射光對平面鏡的反射情形



雷射光對凸面鏡的反射情形