

# 臺灣二〇〇八年國際科學展覽會

科 別：物理與太空科學

作 品 名 稱：視覺中的光學現象

學校 / 作者：國立臺南第一高級中學

李岳穎

## 作者簡介



李岳穎

就讀台南一中，高中以前並未接觸科展相關事務，入學後才知道有科展的專題課程，覺得很新鮮，加上從小喜歡動手操作，因此做起科展特別投入。假日熱衷運動，羽球、田徑尤甚。以前對物理不甚喜愛，總是單純理論與計算，讓我興趣缺缺。但進行科展過程中，實驗理論相輔相成，能更快、更精楚的了解理論，燃起了我對物理實驗的興趣。

## 摘要

人眼所見點光源四週的光芒（我們稱爲"星星長角"），夜間眯眼時所見向上下方向射的特別長的光芒（我們稱之爲"炫光萬丈"），這二種視覺中的光學現象無法用相機拍攝，但眼睛卻能夠看見。書上及網路上均無法找到合理的解釋。因此，我們設計了數個實驗來研究這些光學現象的成因。

我們發現了星星長角的成因是由光對眼睛表面刮痕的繞射和光對眼睫毛的繞射雙重原因所產生。而炫光萬丈的成因則是光線經過眼球表面淚膜層的部分反射及部分折射所造成。

## Abstract

The purpose of the research is to verify possible reasons of some optical phenomenon in human vision, including the star shape of a dot light source and glare upward or downward when one narrowing his/her eyes. These optical phenomenon can be seen by naked eyes but can not be taken photos with a camera. We find no detailed explains which can explain the cause of glare upward or downward on the internet or in books. So we designed several experiments trying to find out the cause of these optical phenomenon .

In experiments, we figured out that diffractions by notches on the surface of eyes and eyelashes are both responsible for the star shape of a dot light source.

The cause of glare when narrowing eyes is that partial reflection and partial refraction of light take place between boundary of air and tear film and boundary of tear film and cornea. The appearance of glare is closely related to the thickness of the tear film . When we narrow our eyes , the tear film is thicker. The thicker the tear film is ; the longer the glare is .Also, bended extent influence the length of glare. We figured out that the more bended the tear film is ; the longer the glare is.

## 壹、研究動機

人眼眼球爲一種構造精巧的光學儀器，光線經過表面淚膜層→角膜→角膜與水晶體間的液體→水晶體→玻璃體最後成像在視網膜上。吾人觀看遠處微弱光源時，例如：星星，理論上應該看見的是圓球狀星星的本體，但我們所看見的還包含了所謂的”星星長角”，即所謂的星星長角。在[觀念物理](Paul G. Hewitt)一書中認爲”星星長角”的成因緣自於眼睛表面角膜上細小的傷痕所致，Masanori KAKIMOTO(SIGGRAPH 2005)與[科學月刊](1972.11廖榮隆)認爲是光對眼睫毛產生繞射所產生。我們設計一系列實驗來研究其成因等等。

研究的第二部份是研究”炫光萬丈”的成因。在夜間吾人眯眼時，可看見路燈或車燈出現向上射或向下射的特別長的光芒(我們稱之爲炫光萬丈)，並且進到應該是被眼皮擋住黑暗的部分，對此現象相當好奇，所以同時研究。

## 貳、研究目的

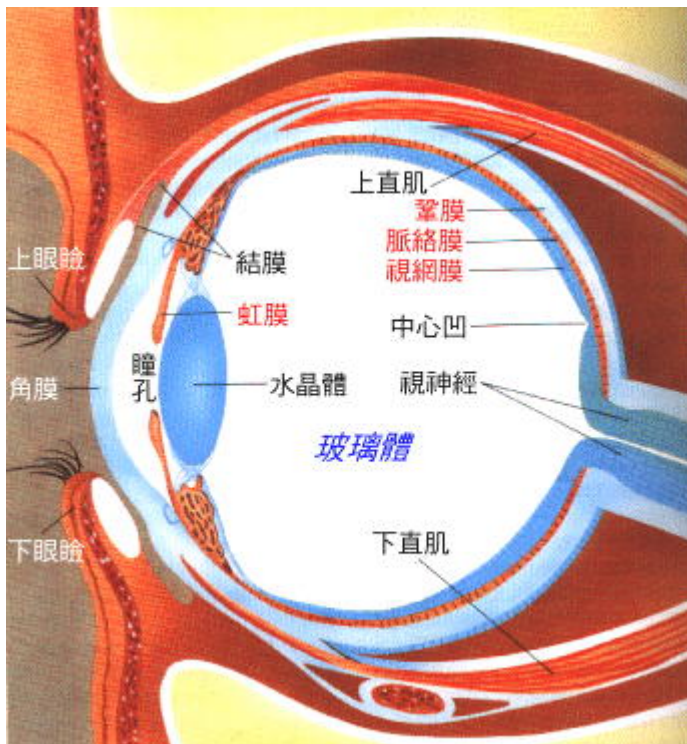
- 一、觀察”星星長角”的現象，並研究其成因
- 二、觀察炫光的成因，並研究其成因

## 參、研究設備及器材

- |           |                        |
|-----------|------------------------|
| 一、數位相機    | 六、壓克力半球                |
| 二、假睫毛     | 七、電腦                   |
| 三、納光燈源    | 八、軟體 gsp               |
| 四、各式透鏡    | 九、軟體 matlab            |
| 五、雷射光、雷射筆 | 十、軟體 crocodile physucs |

## 肆、理論探討

- 一、理論與相關資料
- (一)眼睛的構造及介紹



- 1、眼瞼：遮蓋在眼球前方，分為上下眼瞼。在其外部有皮膚，內側有黏膜。它的功能為保護眼睛、將淚膜平均分佈在眼前，以及預防眼睛乾燥。
- 2、眼裂：上下眼瞼之間的開口稱為眼裂。當眼睛睜開時，可看見黑白眼球的部分。
- 3、睫毛：睫毛是在眼瞼邊緣上的短毛，可預防灰塵或異物進入眼睛。
- 4、結膜：是覆蓋在鞏膜上一層薄薄的黏膜，範圍由角膜和鞏膜的邊界處，一直伸展到眼瞼的內表面；包括了球結膜和瞼結膜，兩者的接合區稱為 fornix。
- 5、淚膜：覆蓋並流動在眼睛前表面，由油脂層、淚水層和黏液層所組成，並含有養份。
- 6、角膜：是透明而無血管的結構，它是組成眼睛光學系統的主要部份，佔眼睛總屈光力的 75%。角膜可分為五層：上皮層、鮑曼氏膜、基質層、緻密層、內表皮層、上皮層：厚度大約為 50 毫米( $\mu\text{m}$ )，佔角膜厚度的十分之一，約含有五至六層細胞。功能為預防電離子流失，保持角膜細胞水份平衡。上皮有很好的修復能力，若受傷可在 24~48 小時內恢復。
- 7、鞏膜：為保護眼睛的外膜，構成平常我們所看到”眼白”的部分。他的功能在於結合眼壓以維持眼球的形狀並形成眼睛的外牆。供應眼睛內部養分的神經和血管，也會穿過鞏膜。
- 8、外眼肌肉：外眼肌是連接在鞏膜上，可讓眼睛移動。這些肌肉互相配合共同合作，讓眼睛可以看上下左右及轉動

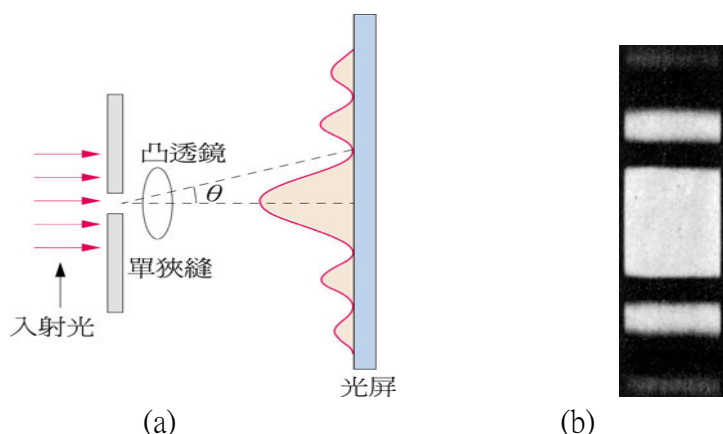
而光線進入眼睛在視網膜成像前，期所經過的路徑為表面淚膜層→角膜→角膜與水晶體間的液體→水晶體→玻璃體→視網膜，所經過的這些路徑可能會造成一些特殊的光學現象。經查詢醫學期刊，晶狀體折射率為 1.334，角膜折射率為 1.376，淚膜折射率為 1.338。



## (二) 夫朗和斐繞射原理

光通過單狹縫的繞射情況中，如果照射狹縫的光源是平行光，且從狹縫透出後，沿任一方向射抵光屏的光線皆可視為彼此平行（即相當於將光屏置於離狹縫無窮遠處），則因所涉及的波前可視為平面波，故可用簡單的數學來分析。在這種情況下的繞射，稱為夫朗和斐繞射（Fraunhofer diffraction）；如果使用點光源，且光源和光屏距離狹縫不遠，則稱為夫瑞奈繞射（Fresnel diffraction）。

圖所示為單狹縫繞射實驗的裝置，凸透鏡的功用是使繞射光會聚在光屏上，其作用相當於將光屏置放於無窮遠處，以符合上述理論分析的要求。圖上的曲線代表在光屏上不同位置的光強。圖(b)為在光屏上所見的繞射圖樣。中央部分為較狹縫寬得多的亮帶，其兩側為相間的亮帶和暗帶。



入射的單色平行光經單狹縫透出時，形成線光源，可視為由許多同相的點波源所形成。假設光屏置放於離狹縫無窮遠處，則從這些點波源沿同一方向平行射出的光，理論上將交會於光屏上某一處。狹縫的寬度為  $a$ ， $\theta$  為光線射出方向和狹縫中垂線之間的夾角，若  $\frac{a}{2} \sin \theta = \frac{\lambda}{2}$ ，式中  $\lambda$  為入射光的波長，則每一對光線彼此反相抵消，在光屏上形成暗帶（稱為第一暗帶）。若  $\frac{a}{2} \sin \theta = \lambda$ ，則可將狹縫分割成四等份，其中上半部的兩等份所發出的光線，如前所述，彼此成對產生完全相消干涉；下半部也一樣，所以在光屏上仍然形成暗帶（稱為第二暗帶）。若  $\frac{a}{2} \sin \theta = \frac{3\lambda}{2}$ ，則可將狹縫分成六等份，如上推理，仍為暗帶（稱為第三暗帶）；其餘類推。因此在光屏上產生完全相消干涉的條件為

$$a \sin \theta = m \lambda \quad (m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$$

注意在上式中沒有包含  $m = 0$ 。當  $\theta = 0$  時，各光線之間的光程差為零，交會於光屏上時，產生完全相長干涉，形成中央亮帶。

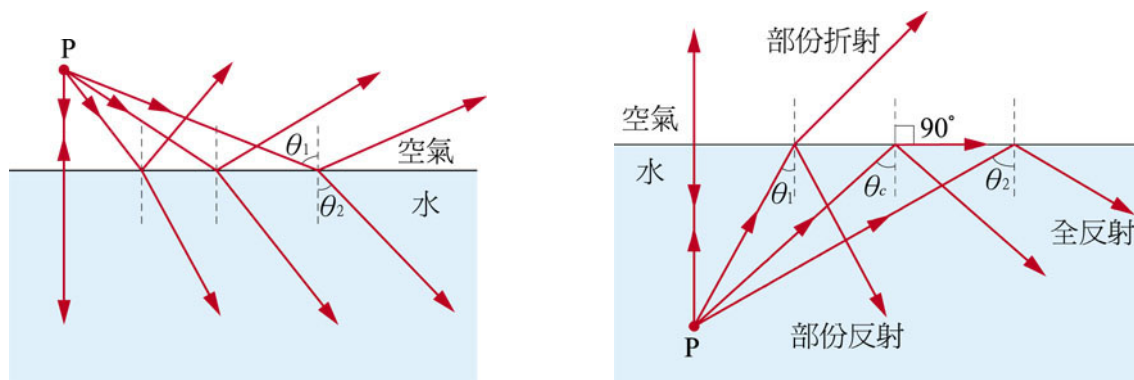
設光屏和狹縫之間的距離為  $L$ ，且  $L \gg a$ ，則中央亮帶的寬度  $W$  可計算如下：

$$W = 2 y_1 = 2 L \tan \theta \approx 2 L \sin \theta = \left( \frac{2L}{a} \right) \lambda$$

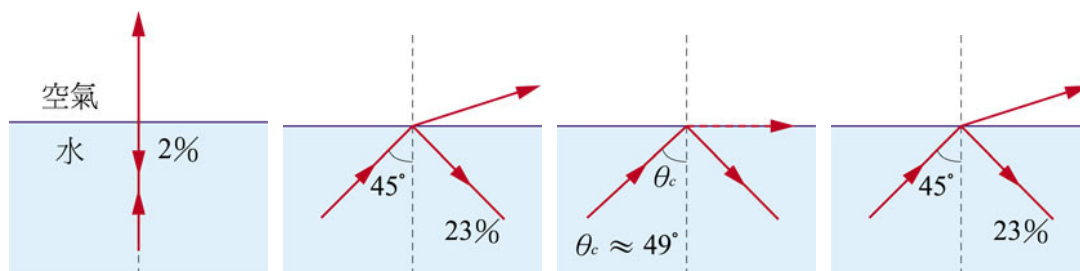
由上式可知中央亮帶的寬度和照射單狹縫的光波波長成正比。

### (三) 部分反射、部分折射

光從光疏介質進入光密介質時，折射角  $\theta_2$  較入射角  $\theta_1$  小，折射線偏向法線。反過來說，光從水中進入空氣時，如圖 16-14 所示，折射角較入射角大，折射線偏離法線。若入射角恰等於  $48.8^\circ$ ，則折射角成為  $90^\circ$ ，即折射光線沿水面傳播。當入射角大於  $48.8^\circ$  時，光線無法進入空氣中，這時光線將依照反射定律全部反射回水中，此現象稱為全反射 (total internal reflection)。



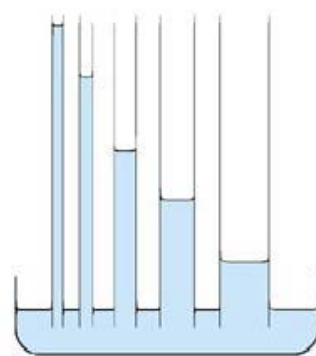
當光線在兩介質的界面處發生部份反射和部份折射時，反射光的強度較原入射光小，但發生全反射時，則反射光的強度和入射光相等。以光從水中射向空氣為例來說明，如圖所示，若光垂直入射時，則反射光的強度約為原來的 2%；若入射角增加，則反射光的強度隨之逐漸增強；若光以等於或大於臨界角入射時，則入射光全部反射回水中。



### (四) 毛細現象 (capillarity)

把管徑很細的玻璃管插入水槽中，可見到管內上升的水柱高度超出槽中的水平面，如圖所示，稱為毛細現象。管徑愈小，毛細現象就愈明顯。這種管徑細小的玻璃管也因之稱為毛細管。如果把毛細管改放在水銀槽中，則管中的水銀柱不見上升，反而下降。同樣地，若管徑愈細，則管中水銀柱下降的高度就愈大。

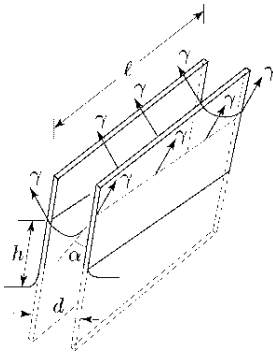
毛細現象實際上就是表面張力作用的結果。由於液體的內聚力小於液體和玻璃管壁之間附著力，所以液面呈現周邊向上彎曲的弧面。就管中的液柱而言，液體表面張力所產生的作用力沿著液面的切線方向，作用於液體—器壁的交界線。因此它的反作用力  $F$  即為提升管內液柱的力源。當管內的液柱處於平衡狀態時，液柱高度為  $h$ ，液體的密度為  $d$ ，內管直徑為  $2r$ ，液面和管壁的交界處的周長為  $2\pi r$ ，由靜力平衡的條件可得



$$F \cos \theta = mg$$

$$(\gamma \times 2\pi r) \cos \theta = d (\pi r^2 h) g$$

$$h = \frac{2\gamma \cos \theta}{dgr}$$



由上式可知，玻璃管內液柱的上升高度和管徑成反比。

同理，如圖將相距  $d$  之兩平行板插入一表面張力  $\gamma$ ，密度  $\rho$  之液體中，若接觸角為  $\alpha$ ，如同毛細管現象，在此兩板間液體上昇高度  $h = \frac{2\gamma \cos \theta}{dgd}$ 。

## 伍、研究方法

### 一、“星星長角”的研究

- (一) 列出各種“星星長角”可能成因
- (二) 對各種可能成因進行實驗，檢驗是否產生“星星長角”的現象
- (三) 在實驗室用各種光學儀器，重現人眼所看見之“星星長角”的現象

### 二、“炫光萬丈”的研究

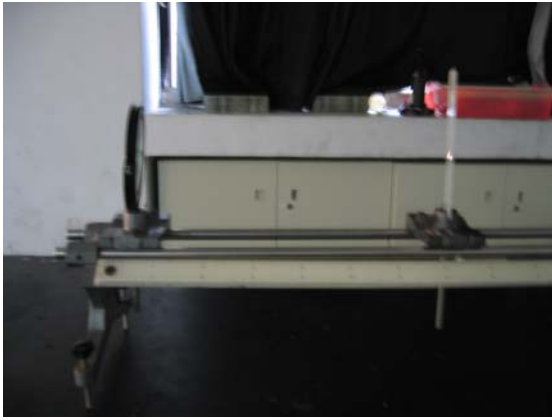
- (一) 探討“炫光萬丈”可能成因
- (二) 逐一進行實驗檢驗“炫光萬丈”的產生原因
- (三) 利用光學儀器重現“炫光萬丈”並拍攝

## 陸、研究過程與結果

### 一、“星星長角”的研究

- (一) 討論可能的成因
  - 1、透鏡表面刮痕
  - 2、人的睫毛所造成的繞射重疊
- (二) 對“星星長角”可能原因進行實驗
  - 1、透鏡表面刮痕實驗方法
    - (1) 將未刻上刮痕的相同焦距透鏡放在鈉光光源前，調整螢幕使其清楚成像
    - (2) 先在凸透鏡表面刻上單向刮痕，將透鏡更換成刻上刮痕的透鏡，觀察成像周遭是否有“星星長角”的現象
    - (3) 改變刻痕的方向，重複第(2)步驟
    - (4) 將光源更換成雷射，並重覆上述(1)~(3)實驗步驟
- (三) 實驗結果





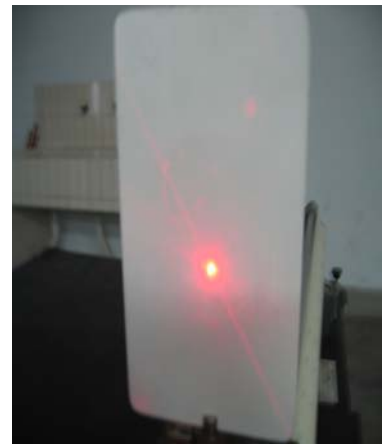
(1)透鏡實驗組



(2.1)橫向刻痕透鏡



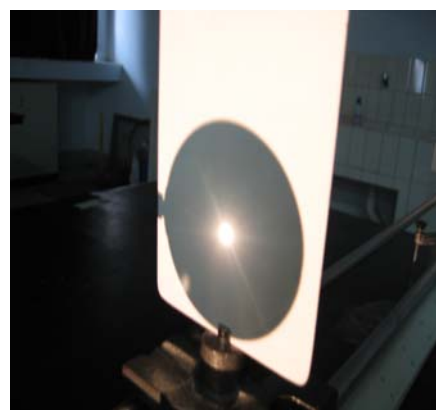
(2.2)鈉燈光源在橫向刻痕透鏡後成像顯示”星星長角”的產生<>



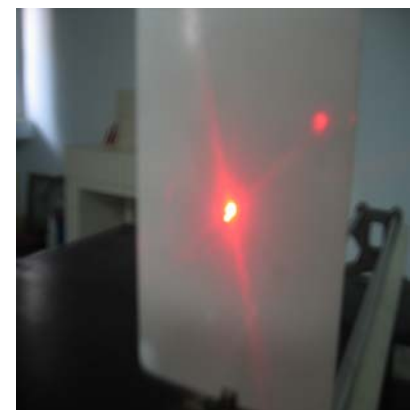
(2.3)雷射光源在橫向刻痕透鏡後成像顯示”星星長角”的產生



(3.1)直向刻痕透鏡



(3.2)鈉燈光源在直向刻痕透鏡後成像顯示”星星長角”的產生

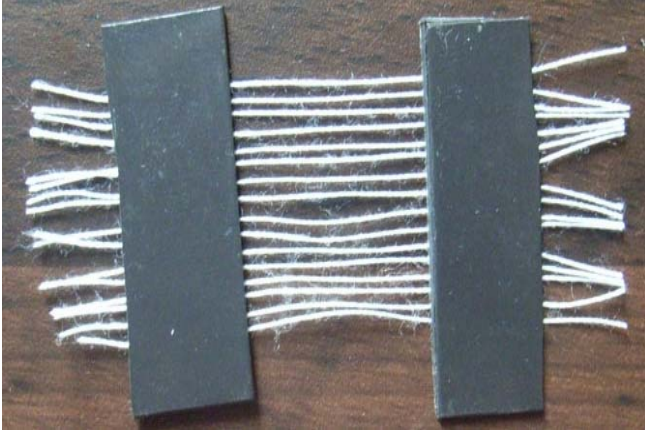


(3.3)雷射光源在直向刻痕透鏡後成像顯示”星星長角”的產生

結果：實驗中，不論是單向刻痕的直向或橫向以及雙向的刻痕，都會讓屏幕上的光源成像出現”星星長角”的現象，據此我推測眼球表面的微小刮痕是”星星長角”的成因之一。

## 2、 睫毛造成的影響

- (1) 先以細線排成單向的模擬光柵
- (2) 將模擬光柵放置於鈉光燈源前
- (3) 觀察其所成之像是否產生”星星長角” 的現象
- (4) 改變模擬光柵的方向並觀察成像的改變
- (5) 將非單向的假睫毛貼於像機鏡頭前進行拍攝，並確認照片是否有光芒產生



(4)模擬光柵



(5.1)觀察成像<光柵水平>



(5.2)觀察成像<光柵鉛直>



(6)相機鏡頭前貼睫毛

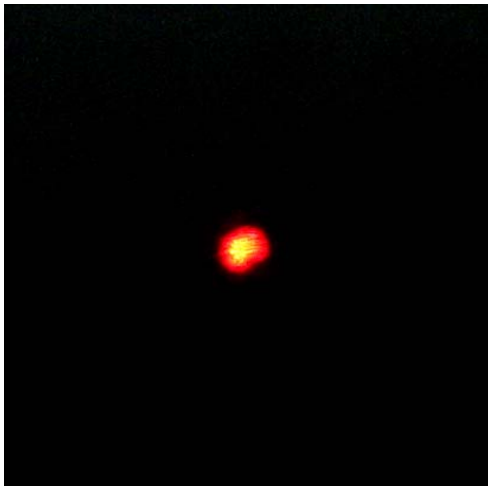


(7.1)未貼假睫毛



(7.2)貼上假睫毛

相機前貼假睫毛  
拍攝路燈



(8.1)未貼假睫毛



(8.2)貼上假睫毛

相機前貼假睫毛  
拍攝雷射光

結果：用線作的模擬單向睫毛不論橫放或直放，皆會產生”星星長角”的現象，而在相機鏡頭前貼上市面上販售的假睫毛進行拍攝，拍攝出確實有”星星長角”的現象出現，因此我推測睫毛亦是一個光芒的成因。

## 二、“炫光萬丈”的研究

### (一)討論可能成因

- 1、可能原因之一：科學月刊的解釋：睫毛、睫毛根部眼皮濕潤部份的反射造成多個成像的疊合
- 2、可能原因之二：旋轉凸透鏡時，主軸與光線有一夾角而非平行，使點光源成像由”一點”而成為”點光源噴出”的情況(見圖(13)(14))

### (二)對”炫光萬丈”可能原因進行實驗

- 1、可能原因一的驗證：睫毛、睫毛根部眼皮濕潤部份的反射造成多個成像的疊合
  - (1)架設一組透鏡實驗組使其清楚成像
  - (2)在透鏡前架設平面鏡模擬睫毛根部眼皮濕潤部份，並調整各種角度

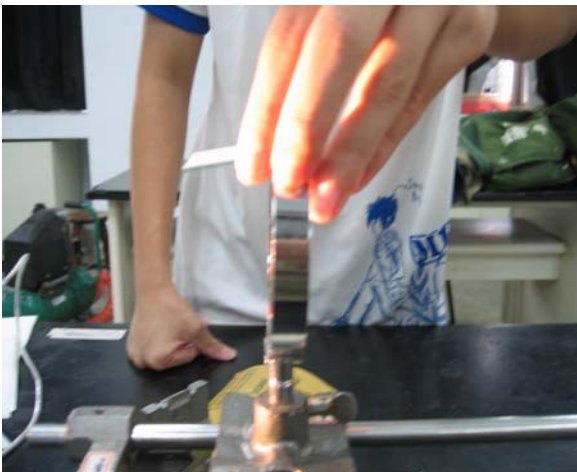
- (3)調整平面鏡反射所成的像與原先的像連接  
(4)觀察連接後成的像是否與人眼所見相同



(9.1)在凸透鏡前下方架上一面平面鏡



(9.2)調整平面鏡反射的像與原先的像連接



(10.1)在凸透鏡前上方架上一面平面鏡



(10.2)調整平面鏡反射的像與原先的像連接



(11.1)在凸透鏡前上、下方同時架設平面鏡



(11.2)調整平面鏡反射的像與原先的像連接

結果：架設平面鏡在透鏡前方，不論是只有上方或下方或是上下同時架設，所產生的只是另外一個像，而不是向上延伸與光源成像寬度相同的炫光。



2、可能原因二的驗證：光線在透鏡內部發生部份反射，部份折射，使點光源成像由"一點"而成為"點光源噴出"的情況

(1)手持透鏡調整位置讓物可以清楚成像

(2)轉動透鏡並進行拍攝

(3)改變旋轉方向



(12)光源在透鏡主軸上，光線垂直射入，並使其成像



(13) 光線不沿透鏡主軸入射，由透鏡主軸下方射入，及其所成的像（向上噴出）



(14) 光線不沿透鏡主軸入射，由透鏡主軸上方射入，及其所成的像（向下噴出）

結果：當凸透鏡旋轉時，入射光與主軸有極大角度時使點光源成像由"一點"而成爲"點光源噴出"的情況，產生類似眼睛所見的"炫光萬丈"的景象。

三、"炫光萬丈"的再研究：我們以(一)簡易眼球模型與(二)電腦模擬來解釋凸透鏡旋轉時的"點光源噴出"與眼睛所見"炫光萬丈"之間的關連。

#### 1、凸透鏡旋轉時"點光源噴出"的原因

在上一實驗中，不用鈉光當燈源而改用雷射光時，旋轉透鏡後，仍可見"點光源噴出"的現象。我們發現到在透鏡上有多個雷射光反射點（紅點），這可證明了這種現象的成因，來自於進入透鏡的雷射會在前後二個玻璃與空氣的介面，產生部分折射部分反射的情形。請參照下圖。

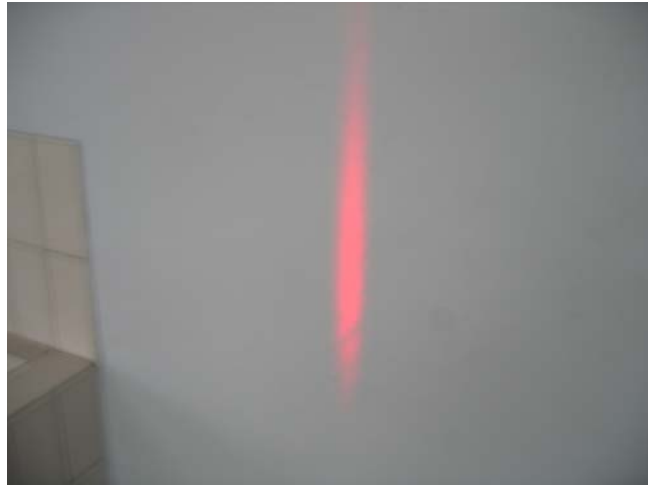


(15)以雷射光垂直入射透鏡時，正面及側面圖



(16)旋轉透鏡，使雷射光不沿主軸入射，與主軸夾較大角度，正面及側面圖，可見雷射光在透鏡內有多個反射點，發生部份透射，部分反射的現象





(17)旋轉後結果

此外我們還用不同焦距的透鏡進行旋轉，我們發現到焦距越小(即其曲度越大)的話，其旋轉後炫光最大長度會越長。

## 2、以凸透鏡旋轉，來模擬”車燈街景”，而車燈產生”炫光萬丈”的現象

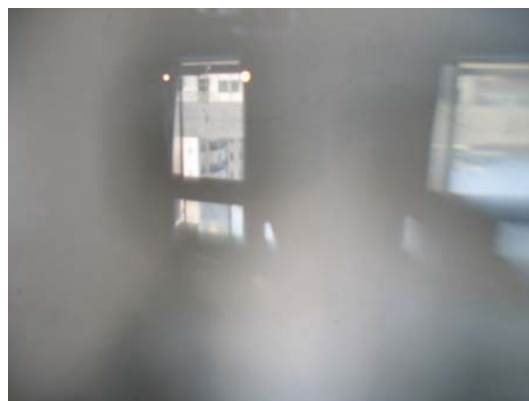
(1)以實驗室窗外景色及兩個鈉光源模擬汽車車燈較



(18)窗外實際景物與鈉光源



(19.1)透鏡未旋轉



(19.2)窗外景物經透鏡在牆壁上的成像結果(未旋轉時，成像仍為點光源)



(20.1)透鏡向下旋轉



(20.2)牆壁上的成像：景物模糊，點光源向上噴出



(21.1)透鏡向上旋轉



(21.2)牆壁上的成像：景物模糊，點光源下噴出

經過了上述的驗證後，我們認定”炫光萬丈”的產生來自光線不斷的經過部分折射部分反射所造成。我們通常正視光源，眼球內的晶狀體(功能等同於凸透鏡)必定會與光線夾近乎直角，而非上方照片中旋轉甚多的角度。由於”炫光萬丈”的特性，對照眼睛之解剖圖，我們推測最有可能發生部份透射，部分反射的部位在於空氣與淚膜層、淚膜層與角膜之二界面。故製作簡易眼睛模型來模擬眼球表面淚膜層，模擬”炫光萬丈”的產生

## 2、模型探討之 1：

- (1)使用凹凸透鏡並調整透鏡位置使其清楚成像
- (2)在凹凸透鏡的凹面加水，觀察像的改變情形
- (3)調整光源位置，使其不在透鏡主軸上
- (4)觀察其所成的像與未加水的像的差異



(22.1)光線垂直射入透鏡



(22.2)調整光源位置後斜射入



(23)透鏡上加水

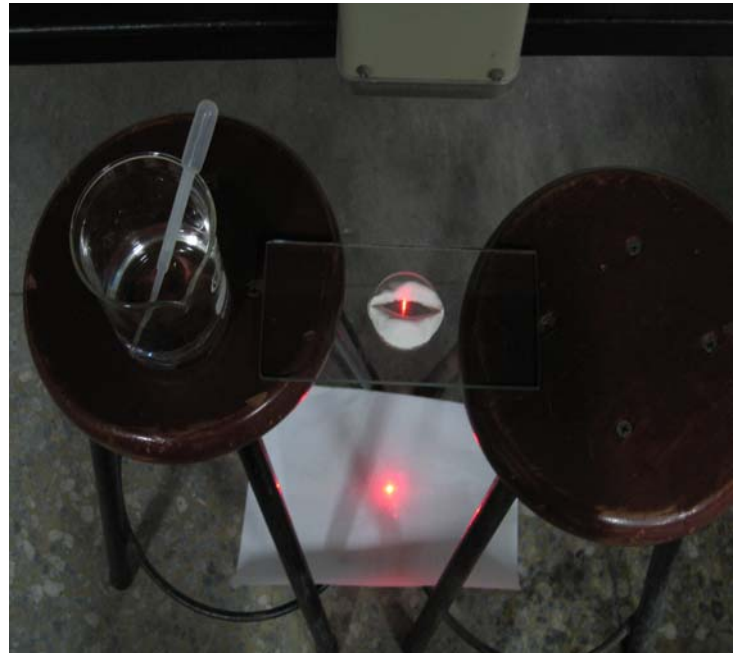
在模型探討之 1 中，我們在凹凸透鏡的凹面滴上幾滴水，在光源與透鏡主軸垂直時，並沒有特別的偏折，但是光源和透鏡主軸 有一夾角時，"炫光萬丈"現象會比沒水時更加明顯，因此我們推測在眼睛表面的淚液具有相同放大"炫光萬丈"現象的效果。但是滴了水之後透鏡就無法旋轉，所以只好調整光源位置。但是如此一來，與旋轉透鏡相同而無法驗證是否為淚膜層造成"炫光萬丈"。為了確立淚膜層的理論，我們以模型探討 2 來檢視。

### 3、模型探討之 2：淚膜層厚度對"炫光萬丈"的影響

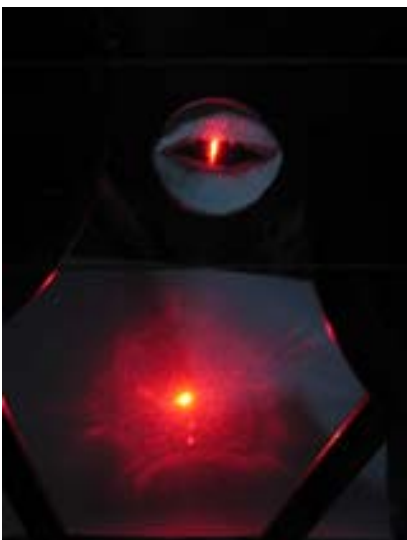
- (1)以凸透鏡及紙黏土做出簡易眼睛模型
- (2)以雷射射入模型，並固定其入射位置
- (3)逐漸增加在模型中的水量，並觀察"炫光萬丈"的改變



(24.1)簡易眼睛模型



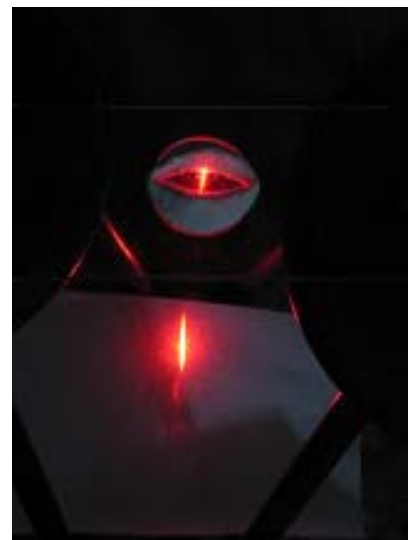
(24.2)實驗裝置圖



(25.1)模型未加水情形



(25.2)模型加少許水



(25.3)模型加滿水

模型探討之 2 的方法則是使用雷射當光源(因雷射能量較集中效果較明顯)先固定雷射射入模型的位置，然後在中央部份滴入不同量的水進行觀察。此實驗指出了淚液層厚度明顯影響了”炫光萬丈”的效果。淚滴層越厚，”炫光萬丈”效果越明顯。另一直接證據就是，當我們點眼藥水時，可以看到更明顯的”炫光萬丈”現象。此外在架設實驗裝置過程中，我們發現到當模型中水量相同的時候，雷射由邊緣射入模型比由接近中央射入模型”炫光萬丈”效果來的明顯。為解釋此現象我們進行了模型探討 3。

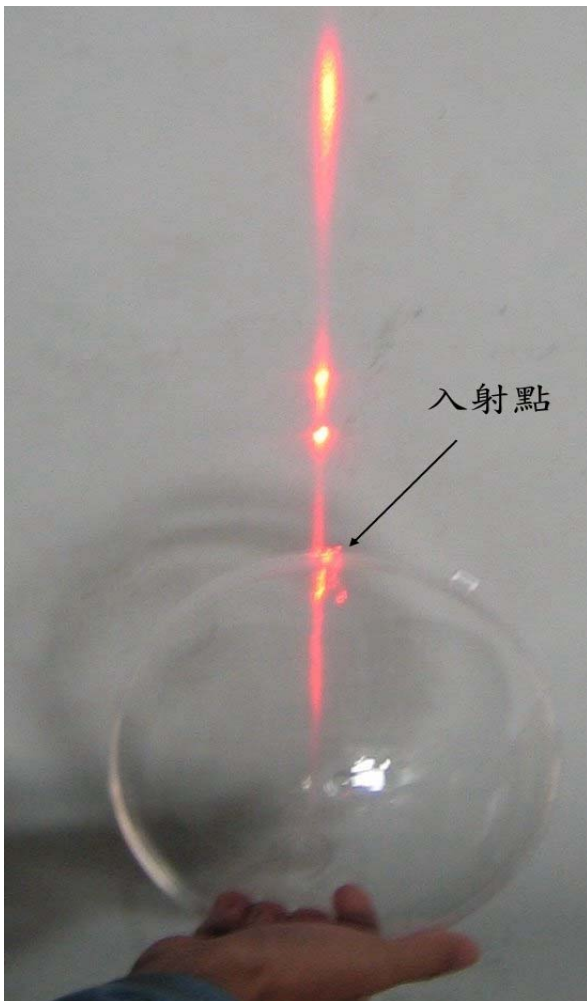
4、模型探討之 3：光線入射點其曲度對”炫光萬丈”效果的影響

(1)以透明的壓克力半球作為淚膜層

(2)雷射以不同的入射點射入壓克力半球，並觀察”炫光萬丈”的改變



在模型探討 3 中，我們發現到當雷射的入射點越接近邊緣時，其所造成的”炫光萬丈”效果越明顯。而半球越靠近邊緣的部份，該部分的曲度越大，這驗證了模型探討 2 中為何由邊緣射入所產生的”炫光萬丈”現象會較明顯了。

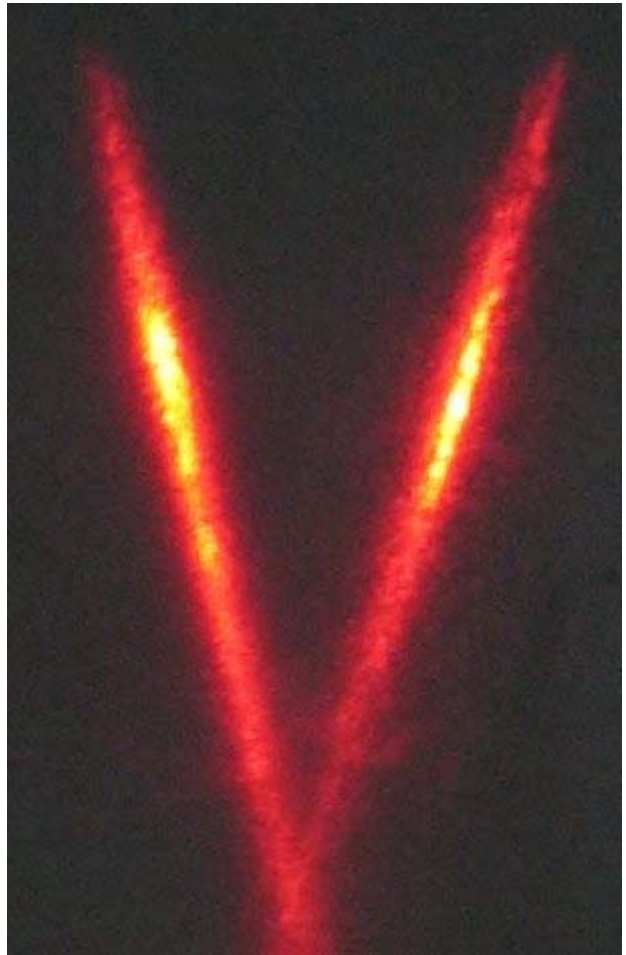


(26.1)左圖雷射打在半球上方產生向上炫光 (26.2)右圖雷射打在半球下方產生向下炫光

在下頁照片中，我們以一個壓克力半球當成淚膜層，另外以兩台氦氖雷射做為點光源發出的光線，以不同的入射點射入半球，但兩條光線維持平行，可看出在其產生的”炫光萬丈”現象有不同方向的分量，且距離越遠這兩條炫光間的距離越大。



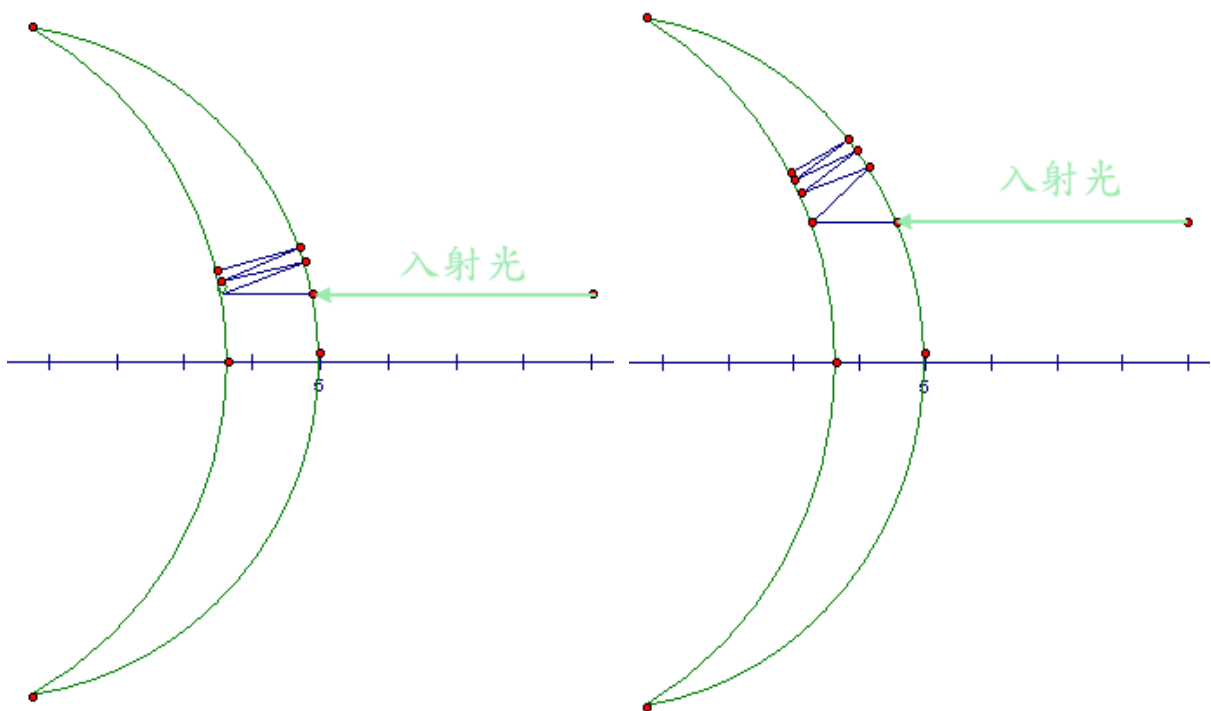
(27.1)入射情形



(27.2)入射結果

##### 5、電腦模擬：

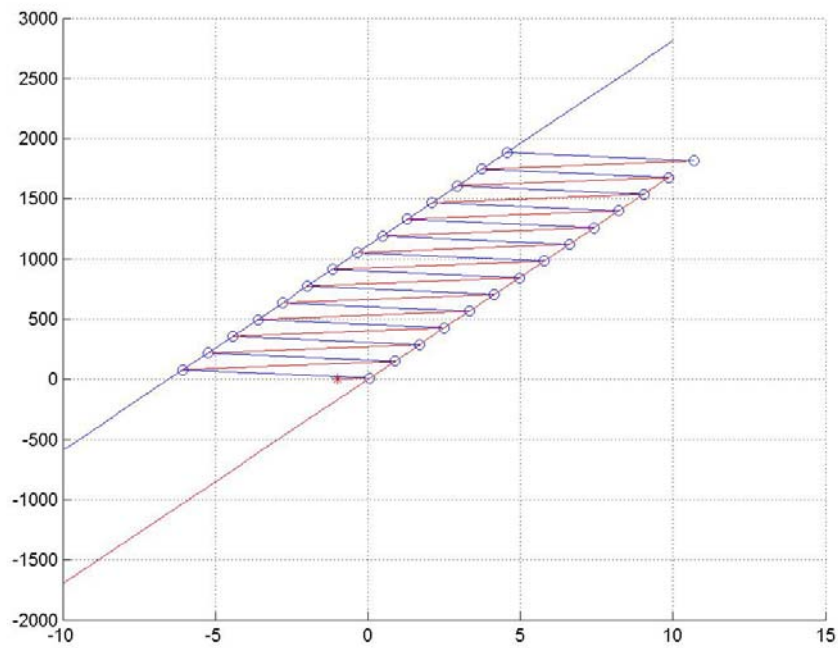
然而為什麼由曲度大的位置入射會有較明顯的”炫光萬丈”現象呢？我們以 gsp、matlab 與 crocodile physics 程式進行模擬，結果指出高曲度點能造成較長的炫光。



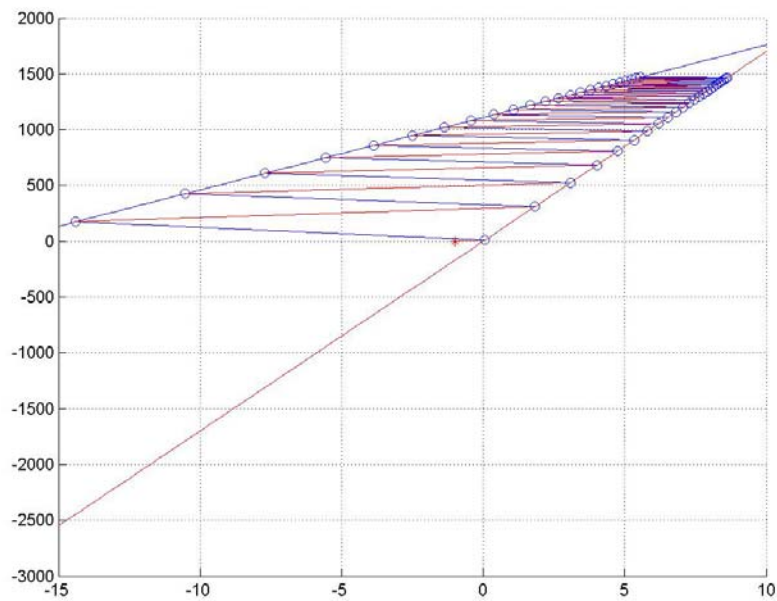


(28.1)由較低曲度點入射，達最遠反射  
次數極限 4 次

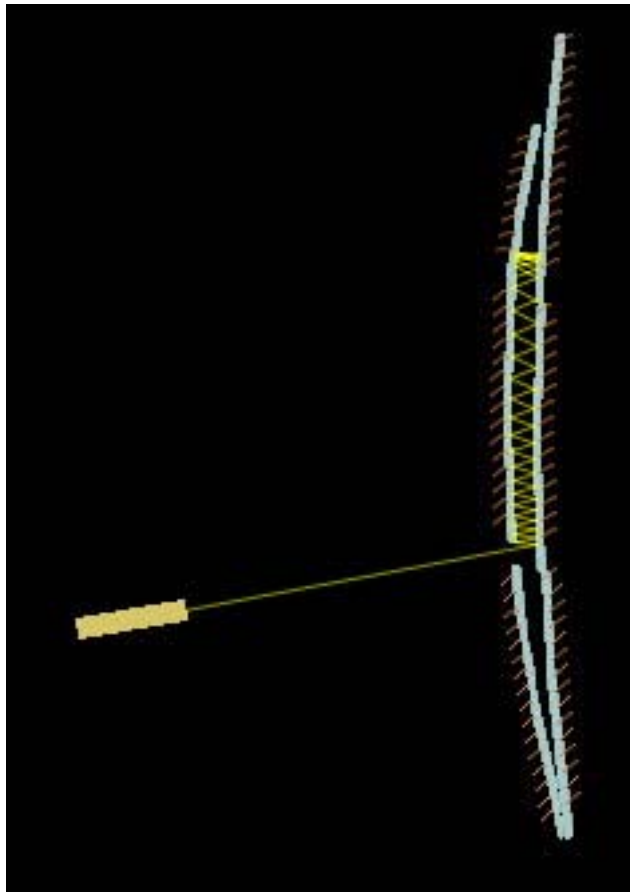
(28.2)由較高曲度點入射，達最遠反射  
次數極限 6 次



(28.3)matlab 的模擬



(28.4)matlab 的模擬



(28.5crocodile physics 模擬結果)

## 柒、討論

### 第一部分、星星長角的解釋

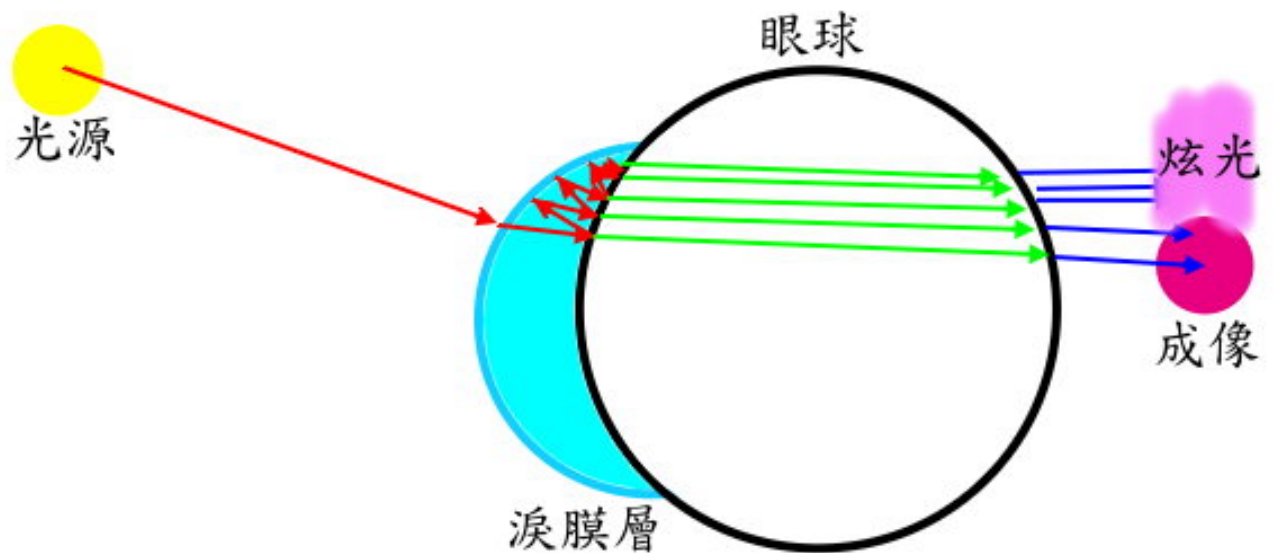
星星長角為日常習見的景觀，我們的實驗顯示有兩種原因

- 一、為眼珠上有許多細小刮痕造成了光線的折射因而成像
- 二、因為光芒就是某種繞射圖樣透過睫毛本身(效果等同於狹縫)而造成。

這兩種原因皆會造成”星星長角”的產生，但是產生的情形有些不同的地方，在眼珠表面的刮痕所造成的光芒，它的型態主要是比較明顯的尖角狀光芒，而在睫毛所產生的光芒型態上，主要是在光源本體周圍所圍繞的而非明顯的放射狀，但是我們所見之”星星長角”中為兩種型態的混合。

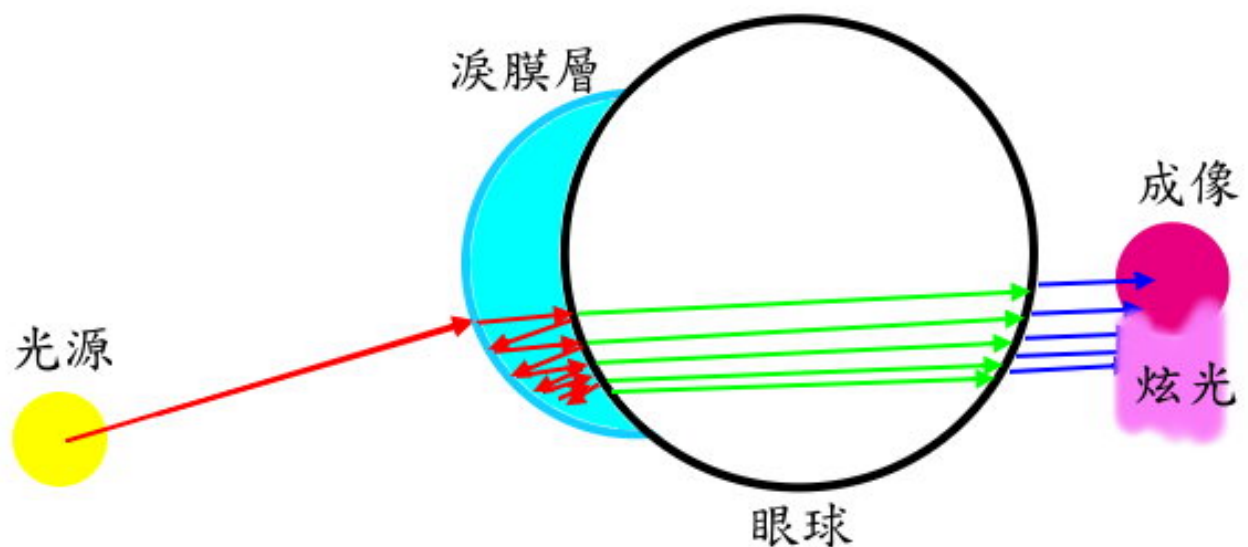
### 第二部份、”炫光萬丈”的特性與解釋

現象(1)偏上方的光源，炫光向上射；偏下方的光源，炫光向下射。沒有向左或向右射之炫光產生



(29) ”炫光萬丈” 成因示意圖

光源於主軸上方(如路燈)在淚液層多次部份法反射部份折射後，產生向下炫光，但是因為在視網膜上所成的像為倒立實像，而會經過一些步驟轉為我們所見的正立實物，所以我們看見的是往上的炫光。(如圖 29)



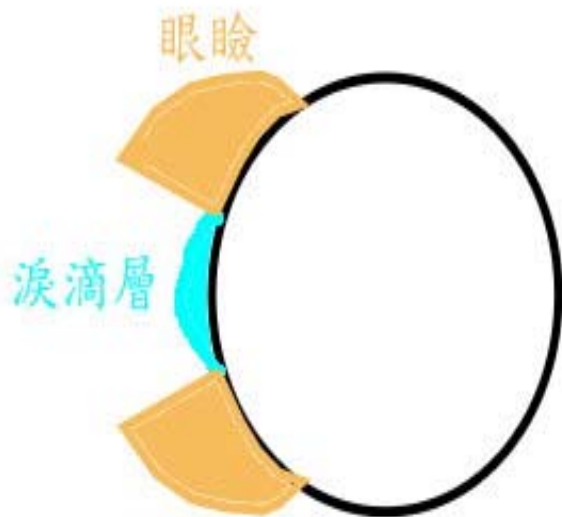
(30) ”炫光萬丈” 成因示意圖

光源於主軸下方(如汽車頭燈)在淚液層多次部份法反射部份折射後，產生向上炫光，但是我們所見的為向下炫光(原因同上)。(如圖 30)

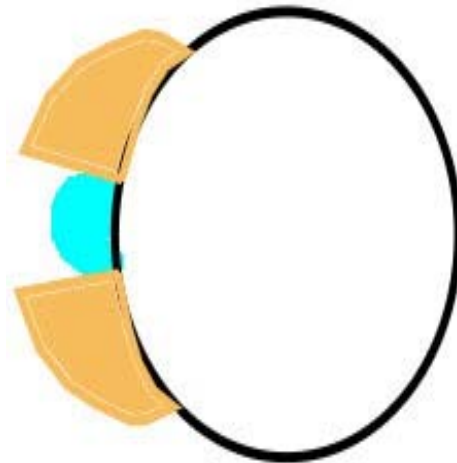
眼裂於上下方向距離較小，因表面張力，所以淚膜層曲度較大。而在水平方向上(即左右方向)淚液層與眼球表面幾乎是緊貼狀態，所以其曲度並不大，所以在水平方向上”炫光萬丈”現象較無法觀測到。

現象(2) 眼愈眯時，即上下眼瞼愈接近時，炫光長度增長

在現象(1)的解釋中我們提到淚液層的曲度越大時”炫光萬丈”現象越明顯，在眯眼的時候，上眼瞼逐漸逼近下眼瞼，因表面張力將淚液層擠壓為較凸的情況。因其曲度增大，故”炫光萬丈”現象較明顯。

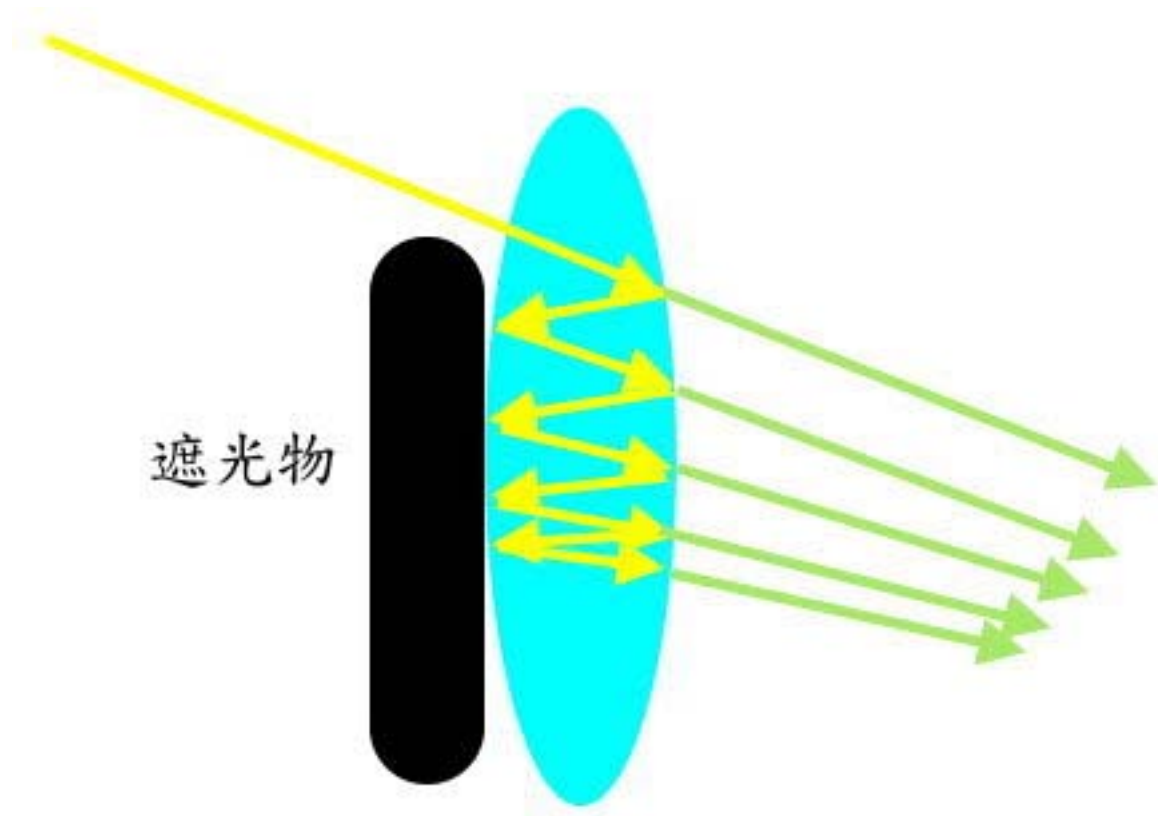


(31.1)未眨眼時，淚膜情況



(31.2)眨眼後，淚膜情況

現象(3)炫光可以射入眼皮內側，應該是被眼皮擋住黑暗的部分

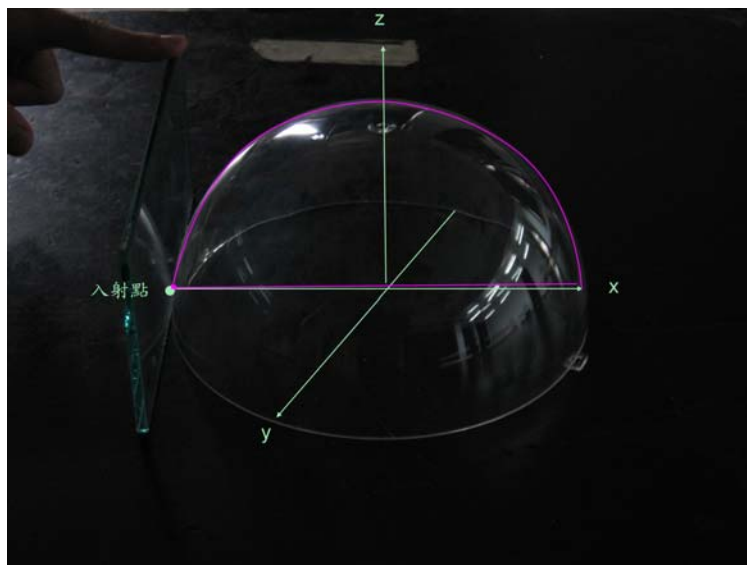


(32)光線的部份透射部分反射

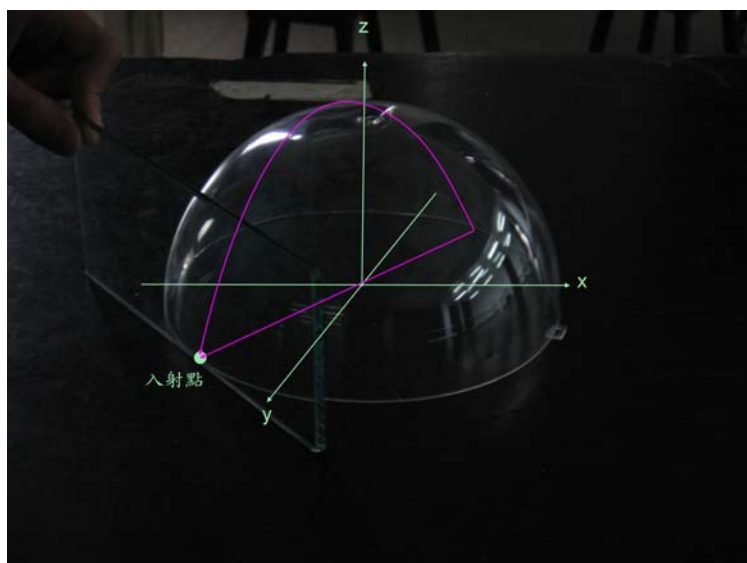
由上圖中可明顯看到一束光線射入介質中，在其間經過部分反射部分折射後，可以進入到原先被擋住光線無法進入的地方。因此”炫光萬丈”現象可以射入被眼皮擋住的黑暗部份。

現象(4) 炫光愈遠離光源的部分愈寬，且有分叉的現象

由模型探討之 3 可知，入射光於透明半球殼之不同位置入射，偏右側入射的光線，所造成之”炫光萬丈”方向偏右上方；偏左側入射的光線，所造成之”炫光萬丈”方向偏左上方。



(33)光沿  $xz$  平面入射，反射線沿  $xz$  平面傳遞(入射點切平面法向量全部都在  $xz$  平面上)



(34)光入射點若不在  $xz$  平面上，且偏向  $y$  軸正向稍許，入射點法向量將有  $y$  軸正向之分量，則沿  $xz$  平面之入射線，入射後將偏向  $y$  軸負向，離開  $xz$  平面

## 捌、結論與未來展望

### 一、結論

1. 星星長角的光芒現象為角膜刮傷與眼睫毛的雙重因素造成
2. 人眼所見的向上或向下炫光為光線進入淚膜層產生部分反射部分折射所造成
3. 部分反射部分折射有其所能到達距離極限，故炫光長度有極限

4. 瞋眼時，淚膜層越厚，曲度愈大，能造成越長的炫光

## 二、未來展望

1. 光芒研究中，驗證了眼睫毛繞射圖形造成光芒，並無進一步的研究。未來研究睫毛所形成的狹縫的寬度、方向對光芒的定量關係。
2. 在研究造成旋轉透鏡會使光源成像由一點變為噴出的原因中，雖有雷射的紅點作為證據，卻無法確定光線行進路徑，未來將以廷得爾效應來確立光線的路徑。
3. 炫光的模型探討中，皆為部份眼睛構造的模型，並無製作整體的模型進行驗證。未來以製作接近真實眼睛的模型為主軸。

## 玖、參考資料及其它

1. [http://content.edu.tw/primary/nature/ph\\_hs/phnature/addon/physical/mirror.htm](http://content.edu.tw/primary/nature/ph_hs/phnature/addon/physical/mirror.htm)
2. [http://ezphysics.nchu.edu.tw/physiweb/down/html/laser\\_2.htm](http://ezphysics.nchu.edu.tw/physiweb/down/html/laser_2.htm)
3. <http://www.nobelgroup.com.tw/lasikeye/lookbook/24.htm>
4. Shizuka Koh MD, Naoyuki Maeda MD<sup>\*</sup>, Teruhito Kuroda MD, Yuichi Hori MD, Hitoshi Watanabe MD, Takashi Fujikado MD, Yasuo Tano MD, Yoko Hirohara BS and Toshifumi Mihashi, BE, **Effect of tear film break-up on higher-order aberrations measured with wavefront sensor**
5. Yoshiki Ohashi, Murat Dogru and Kazuo Tsubota, **Laboratory findings in tear fluid analysis**
6. PhD, FCOptom, FAAOSudi Pate, BSc (Hons) MCOptomKaren E. Boyd and BSc(Hons), MCOptomJanet Burns, **Age, stability of the precorneal tear film and the refractive index of tears**
7. Masanori KAKIMOTO, **Glare Simulation and Its Application to Evaluation of Bright Lights with Spectral Power Distributions**, SIGGRAPH 2005
8. Paul G·Hewitt 著，陳可崗譯，觀念物理，天下文化出版
9. 廖榮隆著，科學月刊(1972 年 11 月)，科學月刊雜誌社出版



## 評語

實驗相當有趣，但推論有點問題。