

2023 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

大專/社會組 科學文章表單

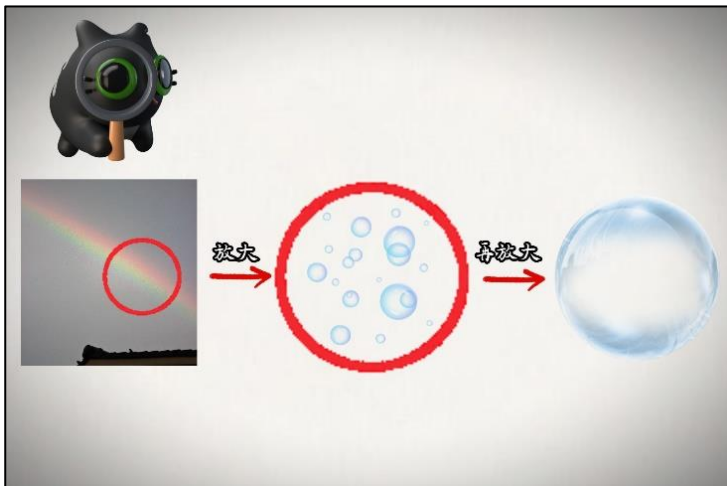
文章題目： 你所不知道的彩虹

摘要：彩虹是大家從小便熟知的大自然美麗現象，也許國中理化曾提到彩虹現象與雨滴中太陽光的折、反射和散射有關，但你是否曾經想過彩虹為何是圓弧形的？為何有時候會出現兩道彩虹？等等諸如此類令人好奇的問題，這篇科普文章將搭配許多圖片並用淺顯易懂的講解方式為大家解開有關彩虹的秘密。

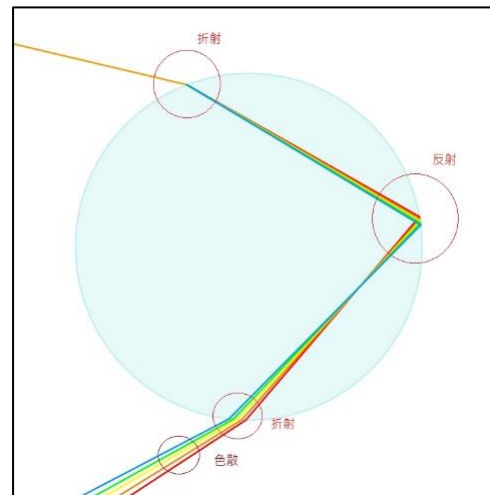
文章內容：（限 500 字~1,500 字）

一、想深入了解彩虹必須知道的三種光學現象

彩虹的產生與太陽光在小水滴內部產生的折射、反射與色散現象有密切的關係。將彩虹內部放大來看，會發現它是由許多近似圓形的小水珠組成，當陽光照射到這顆小水珠時內部將產生折射、反射與色散現象。



圖一 彩虹放大示意圖



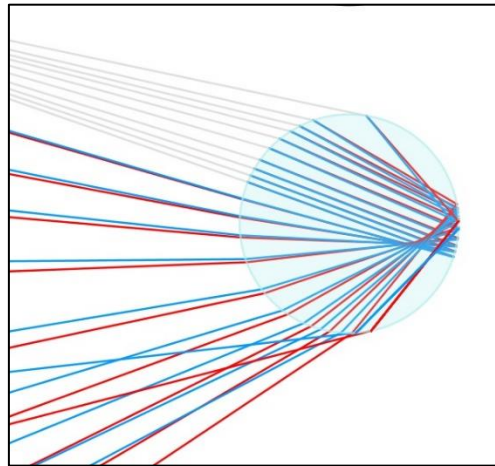
圖二 單顆小水滴內的光學現象

二、虹、霓如何形成的？



圖三 虹(低處較亮圓弧)、霓(高處較暗淡圓弧)示意圖

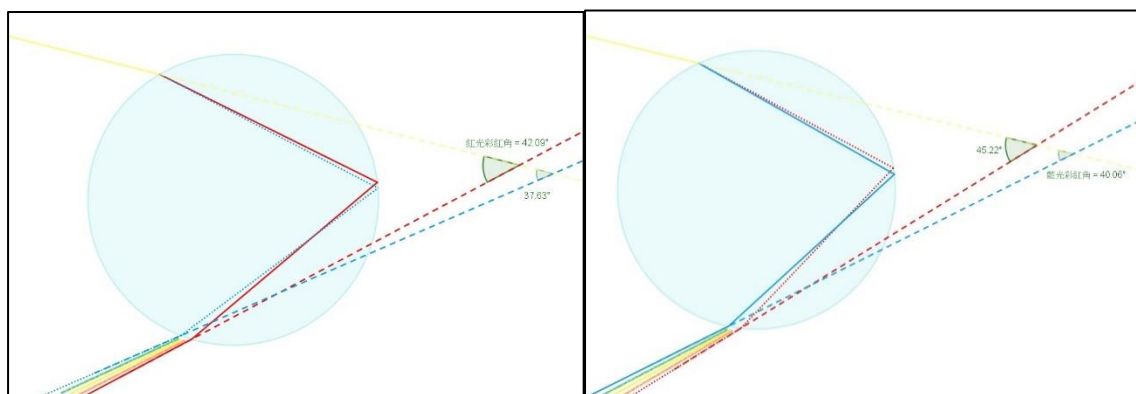
(一)虹(Primary rainbow):虹為陽光在小水珠內歷經一次反射和兩次折射(圖四)且符合特殊角度而被人眼所見的七彩色光，圖中可以發現陽光從不同角度射入小水滴中而形成不同角度的出射光，而其中有一些非常特別的角度，會使最終色散出來的顏色最強烈，我們姑且稱這個特別的角度為彩虹角。



圖四 不同角度光線照射在小水珠表面形成之光路

註:光線通過相異介質的介面都會發生反射與折射，圖中著重於入、出射與介質中的光，其餘介面表面實際上有反射與折射的部位省略未畫出。

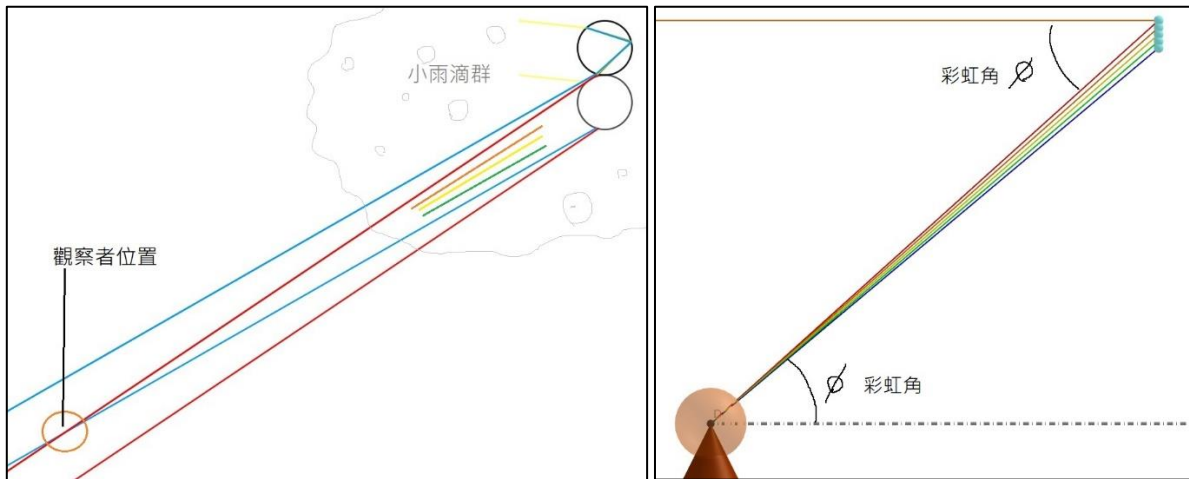
圖五中，彩虹角為離開小水珠光線、進入小水珠光線兩者夾角中，能使出射色光強度最大的夾角，能使出射紅光最強烈的彩虹角約 42° 、藍光約為 40° ，其餘色光則有能使各自色光最強烈的彩虹角，他們分布於 $42^\circ \sim 40^\circ$ 之間，各色光在其各自的彩虹角附近形成亮度極大值，他們便是組成虹七彩顏色的源頭。



圖五 紅光、藍光彩虹角示意圖(其餘色光有各自的彩虹角，省略不畫)

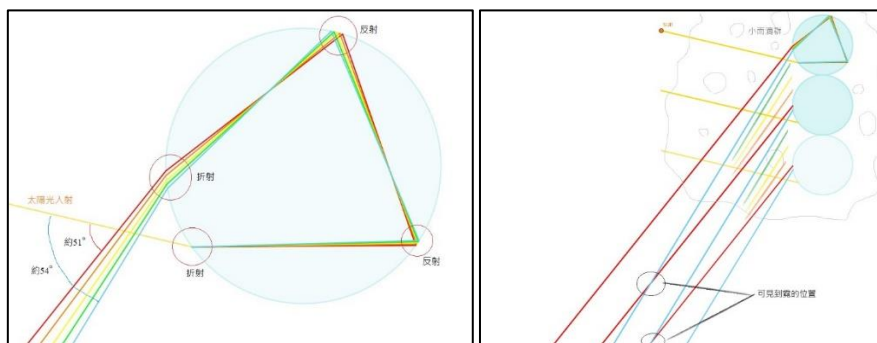
波長越長的光在小水珠中傳遞速率越快，偏折角度越小，因而在圖五中可發現偏折角度由小~大依序為色光由紅~藍，再來看到圖六，在下雨過後的天空中含有非常多的小水珠，而在這些小水珠中只要符合各色彩虹角便會出射該色光，若觀察者正好位於這些符合各色色彩虹角的小水珠出射方向上，便會看到虹！

而注意看圖六中左圖小水珠的排列，由於波長越長的光偏折角度越小，因此波長最長的紅光其實是由較高處的小水珠所形成(彩虹角最大)，而藍光由較低處小水珠形成，中間小水珠由高到低分別為橙、黃、綠，這就是為何虹的顏色由上到下是由紅~藍排列！

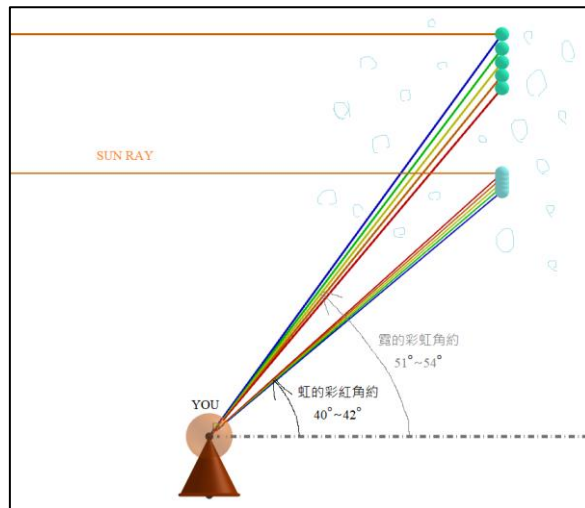


圖六 虹的形成(注意:天空中到處都是小水珠，此處指畫出符合彩虹角的其中幾顆小水珠作示意圖)

(二)霓(Secondary rainbow):看到圖七，霓的光線在水珠內比虹多反射了一次，因此能量多損耗一次，光線較暗淡，多一次的反射造成了霓的小水珠彩虹角較大，約為 51° (紅光)~ 54° (藍光)之間，因此生於比虹更高的位置，也造成了紅光的出射角度大於藍光，與虹相反，因此色彩的排列也與虹相反(霓由上而下為藍~紅)。



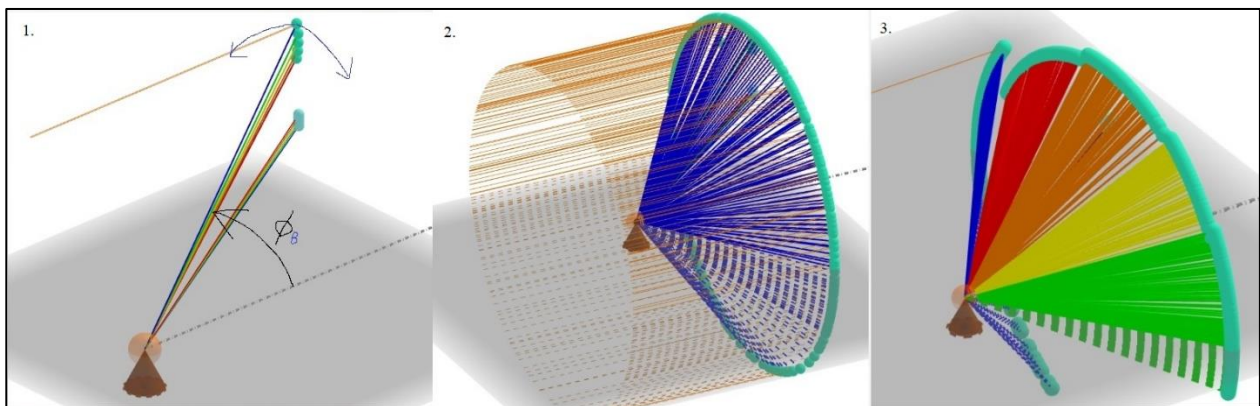
圖七 形成霓的小水珠(左)、天空中符合彩虹角的霓小水珠(右)



圖八 二維平面上其中幾顆符合彩虹角的虹、霓小水珠

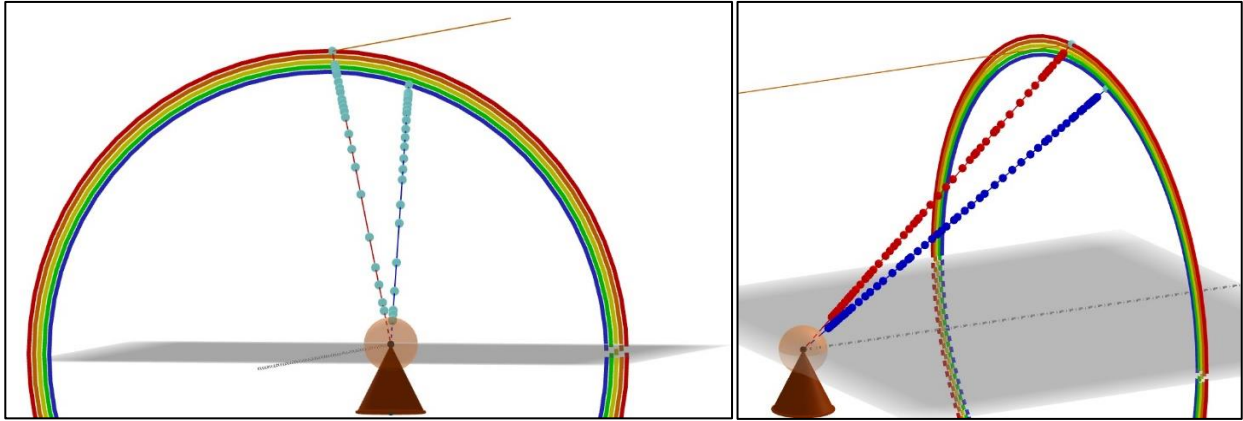
三、為何彩虹是個半圓形？

任何符合虹、霓各色光彩虹角的小水珠都會形成如圖八的出射角度，看見彩虹與否只在於你是否剛好幸運的位於圖八中”YOU”的位置，使彩虹光進入人眼中，但雨後的空氣中充滿了小水珠，符合彩虹角的小水珠當然不可能只有圖中少少的那幾顆，我們把圖像由二維空間轉移到三維空間思考。



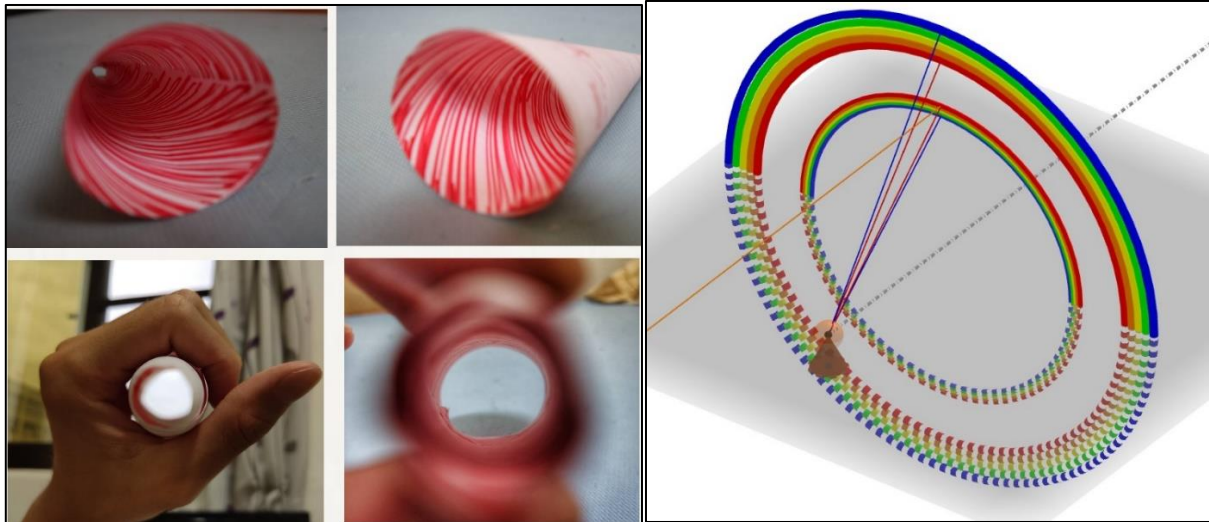
圖九 三維空間中的虹、霓

圖九中先以霓中藍光為例，以其中一顆符合彩虹角之藍光小水珠以觀察者為軸心並以藍光彩虹角固定，往兩側旋轉便會畫出一完整，以灰色虛線為軸的圓錐面，而其他色光重複上述作法便會看見不同角度色光形成的圓錐面(圖中 3.只畫出各色光部分圓錐面，實際上各色都是完整的圓錐面)，而任何落於圓錐面上的小水珠其實都符合該圓錐面色光之彩虹角，例如圖十中圓錐面上任位置若存在小水珠，這些小水珠在人眼看來都會呈現其色光，這些小水珠離觀察者近至幾公尺，遠可以達到數十公里。



圖十 藍、紅光圓錐面上的小水珠

那如果說彩虹其實是由多個色光的圓錐面組成，為何在人眼中看起來卻像是 2D 的圓弧？其實這個問題只需要一張白紙就可以解答，圖十一四中把一張 A4 紙捲成圓錐狀，而假設圓錐內部表面上布滿符合彩虹角的小水珠，現實中觀察者視角位於圓錐的尖端，若從圓錐尖端的小洞往內窺看，就會發現內圓錐表面原本大範圍的顏色變成一圈如甜甜圈的部分圓，而不同顏色的帶狀圓型色彩則由不同角度之圓錐組成，因此彩虹結構其實是由三維的各色光圓錐所組成，只是因為空間關係讓觀察者對分布在圓錐面各部位的小水珠失去距離感，因而在觀察者視角看起來便是人們熟悉的平面圓弧形彩虹(圖十二)。



圖十一 從圓錐尖端朝內所看到的色帶符合彩虹幾何外觀

圖十二 三維空間中完整的虹、霓

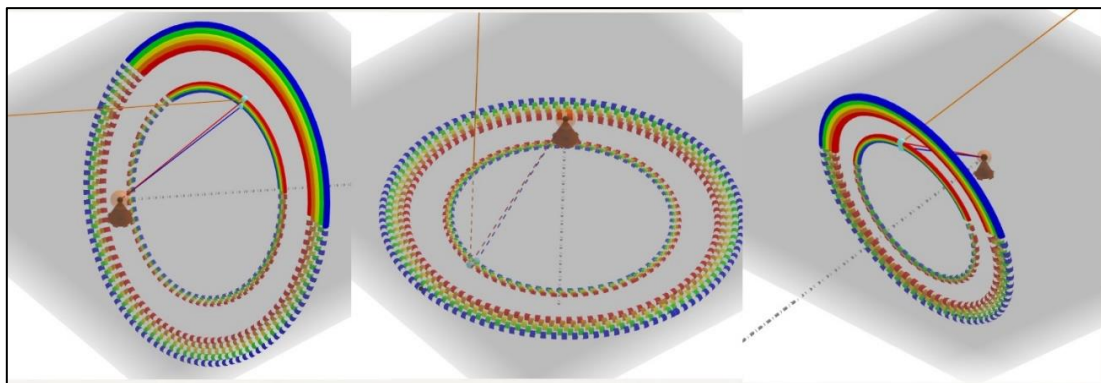
四、怎樣才能看見彩虹?(形成條件)

想看見美麗的彩虹還真不容易，必須滿足三個條件

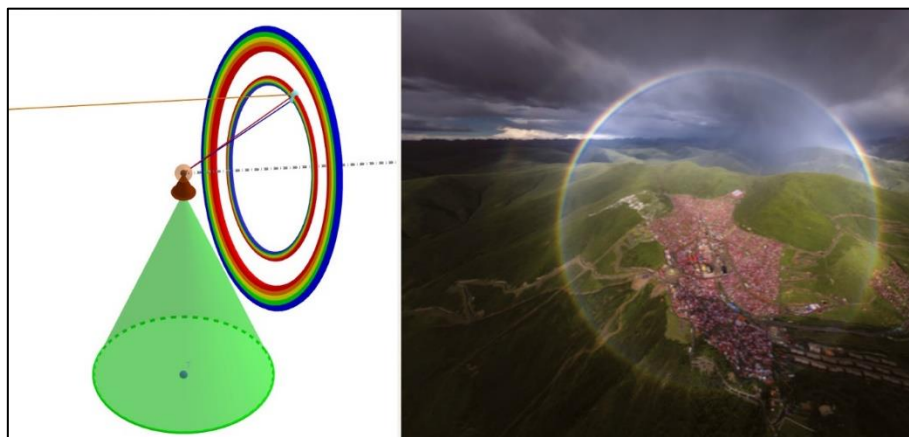
(一)天時:空氣中充滿小水珠且太陽光線與地面夾角不可過大(因此在平地彩虹通常出現在雨後的早上或下午)，有個例外是當觀察者位於高山或空中，是可以見到完整的圓型彩虹的(圖十四)。

(二)地利:陽光與小水珠之間沒有障礙物(地形不能阻擋到陽光、小水珠、觀察者三者間的光線路徑)

(三)人和:觀察者需剛好位於各色光集中的區域，也就是上述圓錐的中心，也因此嚴格來說每個人所觀察到的彩虹都是獨一無二的彩虹(不同位置的彩虹其組成之小水珠並不相同)，人們也永遠追不到彩虹!



圖十三 由左至右為早上、中午和下午的太陽入射光線



圖十四 觀察者位於山上或空中可見全圓彩虹

參考資料

1. <https://atoptics.co.uk/bows.htm>
2. <https://edu.cwb.gov.tw/PopularScience/index.php/weather/356-%E5%85%89%E8%B1%A1%E2%80%94%E8%99%B9%E3%80%81%E9%9C%93%E3%80%81%E6%9A%88%E3%80%81%E8%8F%AF>

3. Harris Benson, University Physics, Second Revised Edition.

4. <https://www.zhihu.com/question/19698861>

5. 圖片資料

圖十四(右) 資料來源: http://gd.ifeng.com/a/20200528/14236356_0.shtml

圖三 資料來源: <https://pixelmob.co/>

其餘皆作者自行製作

註：

1. 未使用本競賽官網提供「科學文章表單」格式投稿，將不予審查。

2. 字數沒按照本競賽官網規定之限 500 字~1,500 字，將不予審查。

PS.摘要、參考資料與圖表說明文字不計入。

3. 建議格式如下：

- 中文字型：微軟正黑體；英文、阿拉伯數字字型：Times New Roman
- 字體：12pt 為原則，若有需要，圖、表及附錄內的文字、數字得略小於 12pt，不得低於 10pt
- 字體行距，以固定行高 20 點為原則
- 表標題的排列方式為向表上方置中、對齊該表。圖標題的排列方式為向圖下方置中、對齊該圖