

為什麼不見虹霓滿天掛？

蔡尚芳
國立臺灣大學 物理系

摘要

本文主要是介紹如何說明在陽光照射下，雨滴為何只會在特定的角度，才會形成人眼可察覺的虹與霓。本文的分析，除一般提及的陽光反射、折射與色散之外，另考慮發光強度、反射比與穿透比等因素，較常見之說法，更具實質。本文在建立各主要論點時，除以幾何作圖方式定性論述外，並佐以解析公式與數值計算結果，以便做為國、高中或大學物理課程之教學參考。

一般大學與國、高中的物理教科書，每每在介紹幾何光學時，都會提到虹(primary rainbow)與霓(secondary rainbow)，並以之作為包括反射、折射與色散現象的典型例子，而說如果陽光通過雨滴時，遭遇兩次折射與一次反射，將形成虹，而如果陽光遭遇兩次折射與兩次反射，則將形成霓。照這樣的簡單說法，虹與霓應該幾乎滿天都可看見，而不會只分別出現在仰角約 42° 與 50° 的天空。本文嘗試在大致與上述教科書相當的物理與數學水準下，以較完整的考量，來分析此一問題。

當白天太陽出現在天空中的高度角不大，又有局部地區發生陣雨時，如果地面上的觀察者，在降雨時或雨停後，背向著太陽朝降雨區望去，很有可能就可以看到在天空中有一道七彩的虹，偶而在虹的上方，還可能看到另一道較不明顯的彩色圓弧，也就是霓。與天空其他的部分比較起來，虹與霓之間的區域，一般會顯得較為黯淡，而且沒有任何彩色，稱為亞歷山大暗帶(Alexander's dark band) (註一)。圖 1 為虹、霓與暗帶的示意圖。在類似的情況下，瀰漫於噴泉、瀑布或噴水器附近的霧狀水氣，也可以出現虹與霓。

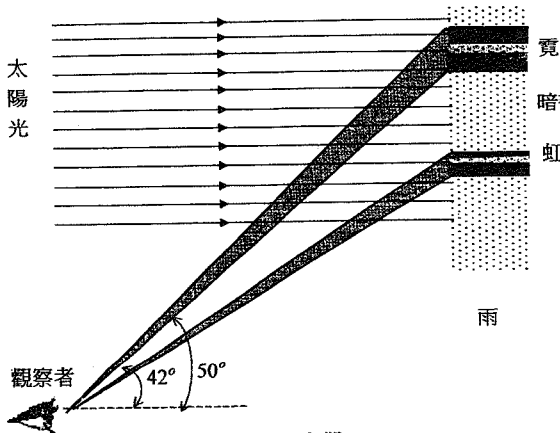


圖 1 虹、霓與暗帶

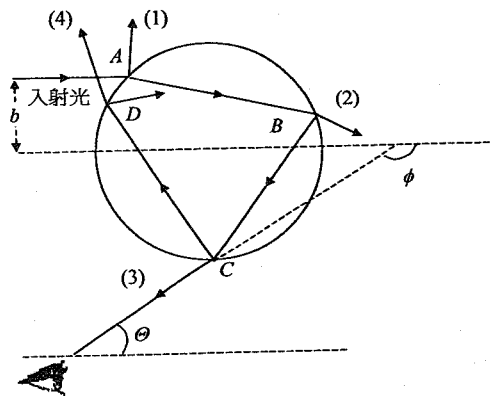


圖 2a 光由雨滴上半球入射

基本上，虹與霓是空中的小水滴，如雨滴，對陽光的反射、折射與色散所引起的。要了解虹與霓如何形成，首先需要分析雨滴對單色光的反射與折射。

(一) 雨滴對單色光的反射與折射—光線描跡法

圖 2a 與 2b 顯示空中的一球形小雨滴，對兩條入射光線的反射與折射過程。每條光線與雨滴中心線的距離 b ，稱為其撞擊參數 (impact parameter)，此兩圖所顯示的入射線，分居中心線的兩側，但具有相同的撞擊參數。

入射光到達 A 點後，有一部分被反射，另一部分則折射進入雨滴。光在雨滴內部行進，每次到達雨滴表面時，就會有一部分的光，因折射而離開雨滴，但另一部分的光，則被反射而仍留在雨滴內。圖 2a 中 C 點的折射線，亦即圖上標示為(3)類的出射光線，由最初入射到最後離開雨滴，總共發生兩次折射、一次內反射；而圖 2b 中 D 點的折射線，亦即圖上標示為(4)類的出射光線，在進出雨滴時總共發生兩次折射、兩次內反射。注意：圖 2a 與 2b 中之 θ 角，為光線偏向角 ϕ 之補角，在本文中稱之為仰角，實際即觀察者的視線與太陽光入射方向之夾角。綜合圖 2a 與 2b，可仿照圖 1 的表示方式，得到更詳細的光線軌跡圖，如圖 2c。

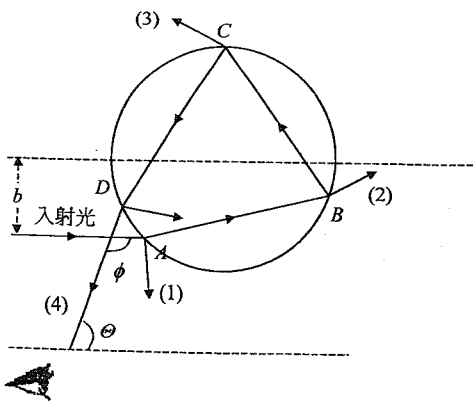


圖 2b 光由雨滴下半球入射

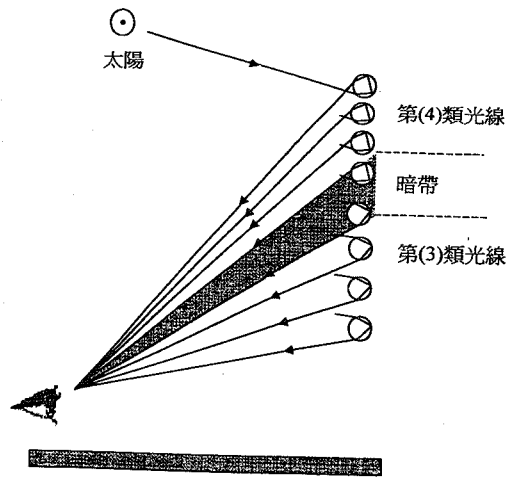


圖 2c 光線的分布

(二) 偏向角 ϕ 與撞擊參數 b 之間的函數關係

一光線之偏向角 ϕ ，會隨其撞擊參數 b 而變， ϕ 與 b 之間的函數關係，可利用光的折射與反射定律，依下述方式求得。

如圖 3a 或 3b 所示，雨滴之半徑為 R ，折射率為 n ，入射光之撞擊參數為 b 。考慮在入

射點 A 發生的折射，則依光之折射定律可得

$$\sin \theta = n \sin \psi = \frac{b}{R} \quad (1a)$$

即入射角 θ 與折射角 ψ 分別為

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{b}{R}\right), \quad \psi = \sin^{-1}\left(\frac{b}{nR}\right) \quad (1b)$$

注意：如圖 3a 與 3b 所示，光在球形雨滴中行進時，在界面發生內反射與折射，其入射角與反射角恆等於最初進入雨滴之折射角 ψ ，而折射角則恆等於最初之入射角 θ 。

如圖 3a，屬於第(3)類的光線（或稱虹光線），在雨滴界面發生兩次折射（在 A 、 C 點），一次內反射（在 B 點），其總偏向角 ϕ 為

$$\begin{aligned} \phi &= \alpha + \beta + \gamma \\ &= (\theta - \psi) + (\pi - 2\psi) + (\theta - \psi) \\ &= \pi + 2\theta - 4\psi \end{aligned} \quad (2a)$$

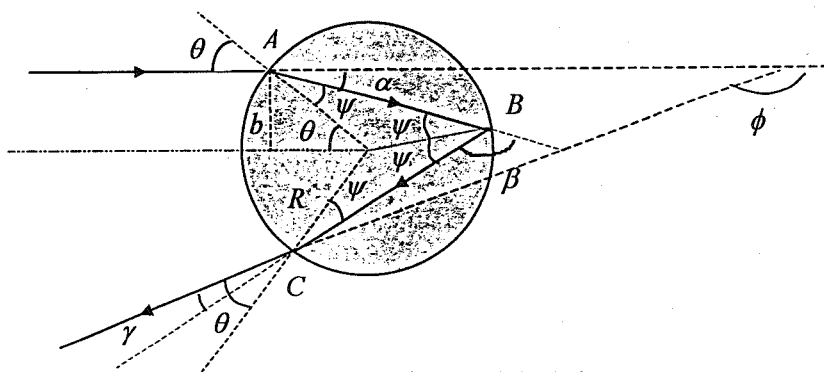


圖 3a 虹光線之偏向角

如圖 3b 所示，屬於第(4)類之光線（或稱霓光線），在雨滴界面發生兩次折射（在 A 、 D 點），兩次內反射（在 B 、 C 點），其總偏向角 ϕ 為

$$\begin{aligned} \phi &= \pi - \delta = \pi - (\alpha + 2\beta + \gamma - \pi) \\ &= \pi - \{(\theta - \psi) + 2(\pi - 2\psi) + (\theta - \psi) - \pi\} \\ &= - (2\theta - 6\psi) \end{aligned} \quad (2b)$$

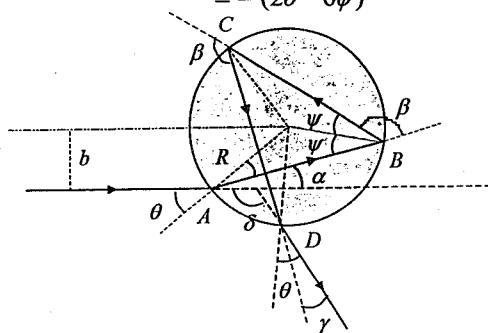


圖 3b 霓光線之偏向角

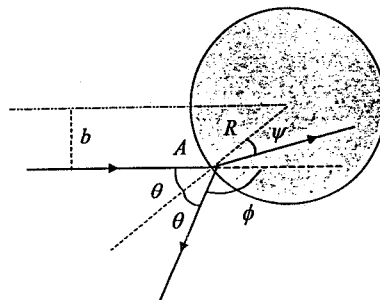


圖 3c 反射光線之偏向角

如圖 3c 所示，屬於第(1)類之光線，即雨滴直接反射的光線，在界面發生一次反射（在 A 點），其總偏向角 ϕ 為

$$\phi = \pi - 2\theta \quad (2c)$$

若依(1b)式，先求出對應於撞擊參數 b 之入射角 θ 與折射角 ψ ，再代入(2a)、(2b)與(2c)式，則可求得第(3)、(4)與(1)類光線之偏向角 ϕ 。如雨滴折射率 n 取為 1.3309，亦即水對波長為 700 nm 的紅色光的折射率，則得如圖 4 所示之偏向角對撞擊參數的曲線。此圖顯示在比值(b/R)接近於 1 時，第(3)與(4)類光線之偏向角，分別有一極小值（約 138° ）與極大值（約 130° ），而介於此二角度間之區域，即仰角在 42° 至 50° 之間時，並沒有出現任何經雨滴折射而偏向的光線，此區域即亞歷山大暗帶。圖 1 中標示之仰角值為 42° 與 50° ，即上述偏向角極值之補角，分別稱為虹角(rainbow angle)與霓角。

注意：在任何仰角，尚有其他的作用過程，如空氣散射或雨滴的反射（即第(1)類光線），也能將光線折向，而傳到觀察者的眼睛，因此，暗帶區不會全然無光而成為一片漆黑。

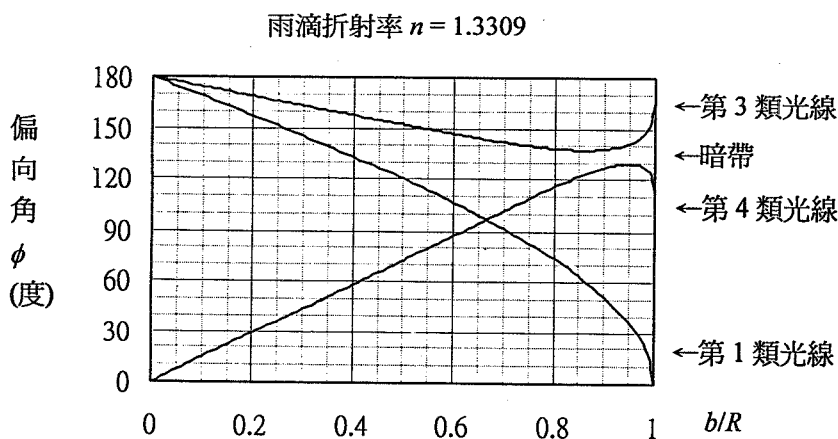


圖 4 偏向角 ϕ 對撞擊參數 b 的變化（雨滴半徑為 R ）

由圖 4 可以看出，第(3)類光線（或稱虹光線）的偏向角範圍約為 138° 至 180° ，亦即其仰角的範圍約為 0° 至 42° ，而第(4)類光線（或稱霓光線）的偏向角約在 0° 至 130° ，亦即其仰角的範圍約為 50° 至 180° 。

不過平常我們只有在特定的偏向角或仰角，亦即偏向角在極小值（虹）或極大值（霓）附近時，才能看得到虹與霓，在上述範圍內的其餘角度，則不會看到虹或霓出現，這是為什麼呢？以下先說明如何求出偏向角的極小值（虹）與極大值（霓）。

(三)偏向角的極小值（虹）與極大值（霓）

首先以光線描跡法做定性的說明。如圖 5 所示，虹與霓光線的偏向角 ϕ ，或對應之仰角 $\theta = 180^\circ - \phi$ ，會隨撞擊參數 b 而變，例如圖中的入射線 A 、 B 、 C 、 D ，其 b 值依順序逐漸增加，但第(3)類光線的偏向角 ϕ ，則依序遞減至 C_3 位置後，又逐漸增加，亦即 C_3 的偏向角 138° 為極小值，換言之，對地面的觀察者而言，其補角 42° 為仰角之極大值。

同理，圖中第(4)類光線的偏向角，以 D_4 的偏向角 130° 為極大值，而其補角 50° 則為仰角之極小值。

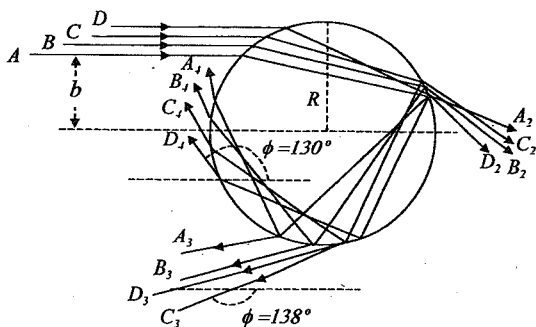


圖 5 接擊參數 b 與偏向角 ϕ

虹與霓偏向角 ϕ 之極值，也可根據折射與反射定律，求出其解析公式，再經由數值計算求得。如(1a)式，偏向角 ϕ 可由撞擊參數 b 對雨滴半徑 R 的比決定。將(1a)式對 b 微分後得

$$\cos\theta \frac{d\theta}{db} = n \cos\psi \frac{d\psi}{db} \quad (3a)$$

當偏向角 ϕ 的值為極小（虹）或極大（霓）時， ϕ 對 b 的微分 ($d\phi/db$) 須為零，故由(2a)與(2b)式得

$$\frac{d\theta}{db} - k \frac{d\psi}{db} = 0 \quad k=2 \text{ (虹)}, 3 \text{ (霓)} \quad (3b)$$

比較前兩式可得

$$k \cos\theta = n \cos\psi \quad (3c)$$

將上式平方後，再將餘弦轉換成正弦，並利用(1a)式，則得

$$k^2(1 - \sin^2\theta) = n^2(1 - \sin^2\psi) = n^2 - \sin^2\theta \quad (3d)$$

或移項整理後得

$$k^2 - n^2 = (k^2 - 1)\sin^2\theta \quad (4a)$$

取上式之平方根，並參考(1a)式，可得

$$\sin\theta = \sqrt{\frac{k^2 - n^2}{k^2 - 1}} = n \sin\psi = \frac{b}{R} \quad (4b)$$

由(2a)與(4b)兩式，可知虹之最小偏向角 ϕ_m 為

$$\phi_m = \pi + 2(\theta_m - 2\psi_m), \quad \theta_m = \sin^{-1}\left(\frac{b_m}{R}\right), \quad \psi_m = \sin^{-1}\left(\frac{b_m}{nR}\right), \quad \frac{b_m}{R} = \sqrt{\frac{4-n^2}{3}} \quad (5a)$$

而由(2b)與(4b)兩式，可知霓之最大偏向角 ϕ_m 為

$$\phi_m = -2(\theta_m - 3\psi_m), \quad \theta_m = \sin^{-1}\left(\frac{b_m}{R}\right), \quad \psi_m = \sin^{-1}\left(\frac{b_m}{nR}\right), \quad \frac{b_m}{R} = \sqrt{\frac{9-n^2}{8}} \quad (5b)$$

若令 $n = 1.3309$ ，則由(5a)與(5b)式，可得撞擊參數 $b_m/R = 0.86$ 時，虹具有最小偏向角 $\phi_m = 138^\circ$ ，或最大仰角 42° ；而當 $b_m/R = 0.95$ 時，霓具有最大偏向角 $\phi_m = 130^\circ$ ，或最小仰角 50° 。此與圖 4 所顯示之結果一致。

(四)發光強度的角度變化

以上的分析，並未能說明為何只有在特定的仰角，即虹角 42° 與霓角 50° ，觀察者才能看見虹與霓。要回答此一問題，必須考慮在不同偏向角或仰角時，雨滴發出(3)類與(4)類光線的發光強度(luminous intensity)，亦即每單位立體角的光通量。

若陽光均勻的照射各雨滴，並假設 $\Delta b \ll b$ ，則對每一雨滴而言，撞擊參數在 b 到 $b' = b + \Delta b$ 之間的入射光能量或光通量，將正比於其面積 $\pi(b'^2 - b^2) \approx 2\pi b \Delta b$ ，而此部分的光在穿出此雨滴後，其能量分布於偏向角 ϕ 到 ϕ' 之間，故偏向角範圍 $\Delta\phi = (\phi' - \phi)$ 愈小，則雨滴在每單位偏向角內發出之光愈強。因對應於 $\Delta\phi$ 之立體角為 $\Delta\Omega = 2\pi \sin\phi \Delta\phi$ ，故在某一偏向角 ϕ 時，雨滴之發光強度 I 將與 $(b\Delta b)/(\sin\phi \Delta\phi)$ 的絕對值成正比。就第(1)類的反射光線而言，其對應之發光強度可由(1a)與(2c)式求得為

$$\frac{b \Delta b}{\sin\phi \Delta\phi} = \frac{R \sin\theta \Delta b}{\sin 2\theta (-2\Delta\theta)} = -\frac{R^2}{4} \quad (6)$$

上式顯示雨滴直接反射之光，其發光強度具等向性，與偏向角無關。為方便相對強度之比較，以下均假定雨滴半徑 R 為單位長度，而雨滴反射光的發光強度為 0.25。

因圖 4 中曲線的斜率為 $(\Delta\phi/\Delta b)$ ，故在偏向角 ϕ 為極小值(138°)或極大值(130°)處，即斜率 $(\Delta\phi/\Delta b)$ 為零處，發光強度 I 將趨近於無窮大，而遠大於其他偏向角之 I 值，故對應於此二偏向角之仰角，即 42° 與 50° ，將出現明亮可見之圓弧或圓圈，此即虹與霓必出現在特定仰角之基本原因，其他角度之第 3 類與第 4 類光線，則並無足夠強度形成明顯之弧形亮帶。圖 7a 顯示對應於第(1)、(3)與(4)類光線的發光強度 I 隨偏向角的變化。

由於入射到雨滴的太陽光，其方向實際並非完全平行，而有 0.5° 的張角，故如考慮此因素，則須將圖 7a 中的結果，以 0.5° 的角寬度求其平均值，而得圖 7b 與 7c 之發光強度曲線。

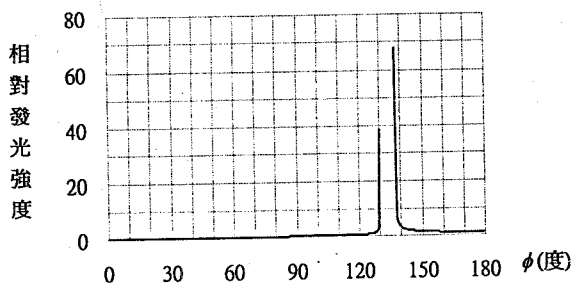


圖 7a 虹與霓的發光強度 I 隨偏向角 ϕ 的變化

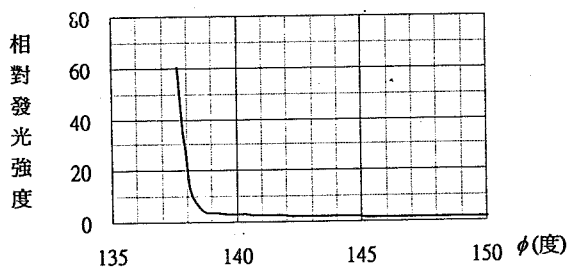


圖 7b 虹的發光強度 I 隨偏向角 ϕ 的變化

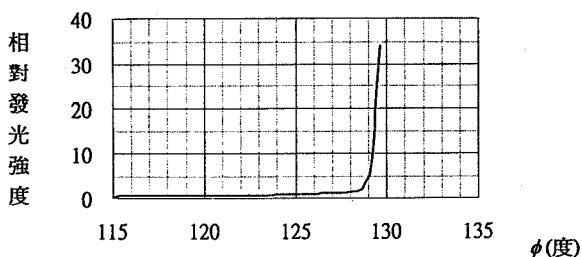


圖 7c 霓的發光強度 I 隨偏向角 ϕ 的變化

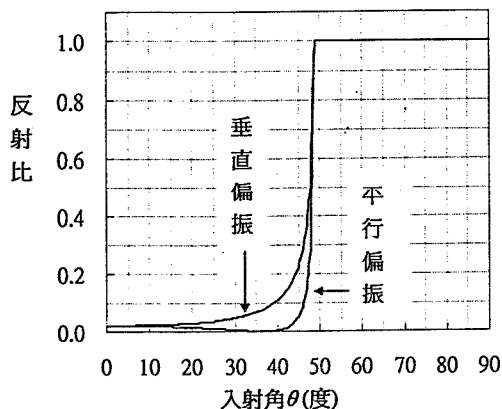


圖 8 光由水進入空氣之反射比

由圖 7a 至 7c，可以看出虹與霓的發光強度，均在不到 1° 的範圍內驟降至甚小之值，而接近雨滴直接反射光的發光強度(0.25)，只有在此很小之角度內，才有可能看到虹與霓，這才是虹與霓只出現在虹角與霓角的原因。由於霓光的偏向角分布在 0° 至 130° 的範圍，而虹光的偏向角則分布在 138° 至 180° 的範圍，故平均說來，霓光的發光強度較虹光為弱，加上霓光在雨滴內比虹光又多了一次內反射，其反射比（註二）依圖 8 的數據，大致低於 10%（入射角約為 40° ，見表 1），因此霓比虹更難觀察到，此點將於下一節，利用夫瑞奈係數，做更詳細之比較。

以上的分析，基本上就是笛卡兒的彩虹理論，大致說明了虹、霓與暗帶形成的原因。至於虹與霓為什麼具有色彩，而這些色彩又為什麼具有特定的排列順序，第一個成功解釋其道理的，就是發現稜鏡色散現象的牛頓。就原理而言，虹與霓色彩的由來與順序，和稜鏡發生色散的情形是沒有什麼不同的。

(五)夫瑞奈係數

在進一步討論色散的問題之前，須注意以上的理論與圖 7a 至 7c 之結果，均不考慮折射或反射所導致的光強度或光波振幅的變化。這在比較同一類光線的強弱時，只要撞擊參數的差異不大，或許較不致引起問題，但如果要比較並非來自同一類光線的虹與霓，事實上並不恰當。同理，這樣的理論與分析，也無法回答虹與霓的光，是否比雨滴直接反射的白色光更強的問題。

在任何界面的反射光與折射光，相對於入射光，其振幅可用夫瑞奈係數(Fresnel coefficient)表示(見參考資料 3)。若以 θ 與 θ' 分別表示光的入射角與折射角，則垂直偏振(註三)(即 s 偏振)與平行偏振(即 p 偏振)的光，其反射的夫瑞奈係數(以 r 表示)為

$$r_s = \frac{\sin(\theta' - \theta)}{\sin(\theta' + \theta)}, \quad r_p = -\frac{\tan(\theta' - \theta)}{\tan(\theta' + \theta)} \quad (7a)$$

而穿透的夫瑞奈係數(以 t 表示)則為

$$t_s = \frac{2 \cos \theta \sin \theta'}{\sin(\theta' + \theta)}, \quad t_p = \frac{2 \cos \theta \sin \theta'}{\sin(\theta' + \theta) \cos(\theta' - \theta)} \quad (7b)$$

根據(1a)式、圖 3a 與圖 3b，雨滴直接反射的光(即圖 2a 與 2b 中的第(1)類光)，其夫瑞奈係數為

$$r_{s1} = \frac{\sin(\psi - \theta)}{\sin(\psi + \theta)}, \quad r_{p1} = -\frac{\tan(\psi - \theta)}{\tan(\psi + \theta)} \quad (8a)$$

而虹光(即第(3)類光)經兩次折射、一次內反射後的夫瑞奈係數為

$$r_{s3} = \frac{2 \cos \theta \sin \psi}{\sin(\psi + \theta)} \cdot \frac{\sin(\theta - \psi)}{\sin(\psi + \theta)} \cdot \frac{2 \cos \psi \sin \theta}{\sin(\psi + \theta)} = -r_{s1} \frac{\sin 2\psi \sin 2\theta}{\sin^2(\psi + \theta)} \quad (8b)$$

$$r_{p3} = \frac{2 \cos \theta \sin \psi}{\sin(\psi + \theta) \cos(\psi - \theta)} \cdot \frac{\tan(\psi - \theta)}{\tan(\psi + \theta)} \cdot \frac{2 \cos \psi \sin \theta}{\sin(\psi + \theta) \cos(\psi - \theta)} \\ = -r_{p1} \frac{\sin 2\theta \sin 2\psi}{\sin^2(\psi + \theta) \cos^2(\psi - \theta)} \quad (8c)$$

霓光(即第(4)類光)經兩次折射、兩次內反射後的夫瑞奈係數為

$$r_{s4} = \frac{2 \cos \theta \sin \psi}{\sin(\psi + \theta)} \cdot \frac{\sin^2(\theta - \psi)}{\sin^2(\psi + \theta)} \cdot \frac{2 \cos \psi \sin \theta}{\sin(\psi + \theta)} = -r_{s1} r_{s3} \quad (9a)$$

$$r_{p4} = \frac{2 \cos \theta \sin \psi}{\sin(\psi + \theta) \cos(\psi - \theta)} \cdot \frac{\tan^2(\psi - \theta)}{\tan^2(\psi + \theta)} \cdot \frac{2 \cos \psi \sin \theta}{\sin(\psi + \theta) \cos(\psi - \theta)} = -r_{p1} r_{p3} \quad (9b)$$

圖 9a 與 9b 所示曲線，即為(8a)至(9b)式之各係數的平方，亦即反射比(reflectance)，由上而下分別對應於反射光、虹光與霓光。由於光的強度與夫瑞奈係數的平方成正比，故利用(8a)至(9b)式，可得反射光、虹光與霓光的強度比。注意這兩圖均以撞擊參數 b 對半徑 R 的的比為橫座標，因此三條曲線對應於同一橫座標的偏向角，並不相同。如將此兩圖與圖 4 之偏向角結果對照，即可看出在對應於虹角與霓角的撞擊參數值附近，亦即當 (b/R) 值約為 0.8 至 1 時，平均說來，反射光比虹光與霓光強了許多，而虹光又比霓光強了許多。

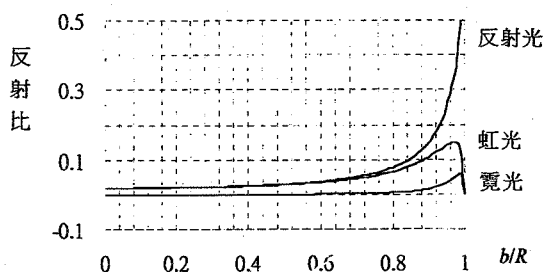


圖 9a 垂直偏振光的反射比

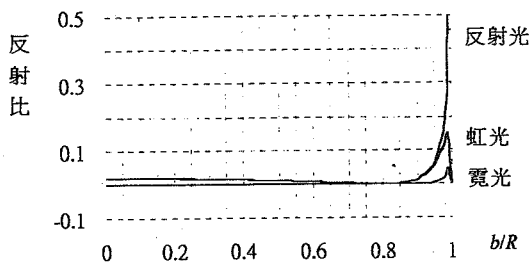


圖 9b 平行偏振光的反射比

為了比較反射光、虹光與霓光等三類光在同一偏向角 ϕ 的發光強度，必須利用偏向角 ϕ 與撞擊參數 b 之間的函數關係，即(1b)、(2a)至(2c)式，先將(8a)至(9b)式的結果，轉換為偏向角的函數，再據以修正圖 7a 至 7c 的發光強度。如果忽略不同光線間的干涉效應，則此項修正可簡化為只需將圖 7a 至 7c 的發光強度，乘以夫瑞奈係數的平方，即圖 9a 與 9b 的反射比，並將兩類偏振的結果相加即可，其結果如圖 9c 所示。與圖 7a 比較，顯然由於霓多了一次內反射，其發光強度相對地變弱了，而反射光（圖中最左之部分）的強度，則相對的提高了。不過，即使考慮光在反射與折射時的振幅變化，由圖 9c 仍然可以看出，虹與霓只有在接近虹角與霓角，才會出現。

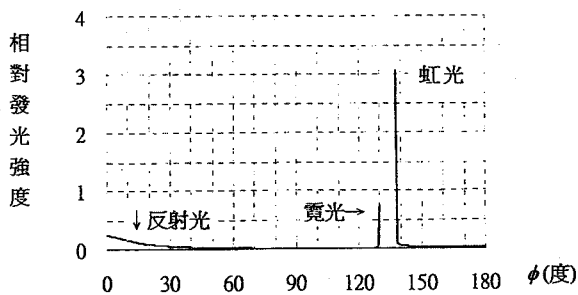


圖 9c 考慮反射比與透射比之發光強度 I

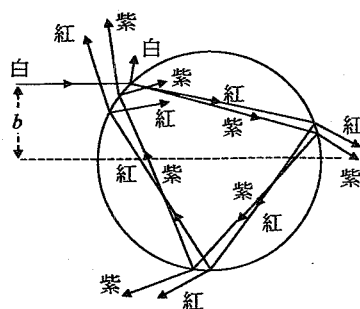


圖 10 陽光被雨滴色散

(六)色彩之出現與其排列順序

虹、霓之所以會呈現出太陽光譜的各種色彩，並且依一定的順序排列，主要是由於雨滴的色散作用，換言之，雨滴對不同波長的色光，具有不同的折射率，波長愈長(紅光)者，其折射率愈小(參見表 1)。因此，陽光中各種波長不同的色光，在雨滴內有不同的行進路線，導致其自雨滴出射後之偏向角有些差異，如圖 10 所示。

就形成虹的光線而言，紅光的偏向角最小，而紫光的偏向角最大，故地面上觀察者看

到的紅光，來自仰角較大（約 42.38° ）之雨滴，而紫光則來自仰角較小（約 40.51° ）之雨滴，即虹之色彩，由上而下分別為紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫（參見表 1）。就形成霓的光線而言，紅光的偏向角較大，仰角較小（約 50.34° ），而紫光的偏向角則較小，仰角較大（約 53.73° ），故其色彩順序與虹相反。若根據水之折射率，利用(5a)與(5b)式計算，則得表 1 之結果。注意：地面上觀察者之視線與入射光之夾角，亦即仰角 θ ，等於偏向角 ϕ 的補角。

表 1 中針對不同波長的可見光，除列出其仰角之極值外，也列出一些波長的光在雨滴內發生內反射時的入射角與反射角 ψ （參看圖 3a 與 3b）。由此表可看出在可見光波長範圍內（約 400-770 nm），入射角 ψ 均小於雨滴之臨界角(critical angle)（約為 49° ，見圖 8），故知光在雨滴內之內反射，均非全反射（註四）。但因 ψ 相當接近雨滴之布如士特角(Brewster angle)（約為 37° ），故虹與霓光線均為偏振光。

表 1 虹角與霓角

波長 λ (nm)	折射率 n	內反射角(虹)		內反射角(霓)			
		ψ_m	$180^\circ - \phi_m$	ψ_m	$180^\circ - \phi_m$		
1000	1.3277	40.57	42.85	45.76	49.49		
900	1.3285		42.73		49.70		
800	1.3294		42.60		49.92		
700	1.3309		42.38		50.34		
650	1.3318		42.25		50.58		
600	1.3335		40.19		42.01	45.44	51.02
550	1.3344				41.64		51.68
500	1.3364	41.27		52.33			
450	1.3411	40.91	52.99				
400	1.3440	40.51	53.73				
350	1.3501	39.66	55.26				
300	1.3532	38.93	38.72	44.39	56.80		

由表 1 可看出彩虹由紫(400nm)到紅(700nm)的角度分布約為 $(42.38^\circ - 40.51^\circ) = 1.87^\circ$ ，而霓由紅到紫的角度分布約為 $(53.73^\circ - 50.34^\circ) = 3.39^\circ$ 。如果再加上太陽光的方向有 0.5° 的張角，則彩虹與霓的角寬度，分別在 2.4° 與 3.9° 左右，這與實際的觀察是相當接近的。

陽光照射到雨滴，除了會導致較易察覺的虹、霓及亞歷山大暗帶外，其實還有平常較少看到的伴弧(supernumerary arc)，它的解釋需要考慮光波通過雨滴時的干涉作用，已非幾何光學適用的範圍了。

參考資料：

1. David K. Lynch & William Livingston: "Color and Light in Nature", Cambridge University Press, 1995.

為什麼不見虹霓滿天掛？

2.H. Moysés Nussenzveig: "The theory of the Rainbow", Scientific American, April 1977.

3. J.R. Reitz, F.J. Milford & R.W. Christy: "Foundations of Electromagnetic Theory" (4th edition), p.451, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1993.

註釋：

註一：希臘哲學家亞歷山大(Alexander of Aphrodisias)於西元 200 年左右最先描述此一現象。

註二：反射比的定義與圖 8 中的曲線如何求得，詳見第(五)項夫瑞奈係數中之說明。

註三：偏振指的是電場的方向。電場方向與入射面垂直與平行的光，分別稱為垂直與平行偏振光。

註四：由於內反射時之入射角等於光進入雨滴時的折射角，故亦可由光路徑的可逆性，推知內反射均伴隨有折射，不可能為全反射。

