

神蹟？彩虹？彩光環知多少

彩光環是一種有如神蹟般美麗的現象，然而光線為何能夠經過細小的水珠，完全逆向反射回來，形成彩光環？這成了物理學上一大難解之謎。

撰文 / 努森斯維希

翻譯 / 甘錫安

重點提要

■在山頂或飛機上看著下方的雲層，有時可能會看到彩光環，也就是在你或飛機的影子周圍出現的彩色光圈。

■彩光環的色彩和彩虹一樣，它也是由組成雲的細小水珠所產生，但彩光環的物理現象複雜許多。

■彩光環逆向射回的光能大多來自波穿隧效應。在這種現象中，光線沒有接觸水珠，但仍可將能量傳入水珠內部。

■由研究彩光環所獲得的知識，可協助氣候學家改進模型，研究雲量對氣候變遷的影響。

白天搭飛機時，先弄清楚飛行方向與太陽位置的相對關係，然後選個靠窗的座位，你就可以看見飛機的影子投射在雲上。如果幸運的話，你或許還能看見最棒的美景：影子周圍環繞著色彩繽紛的光環。它不是彩虹，而是另一種更複雜的現象，稱為「彩光環」。當飛機很接近雲時，這種現象最明顯，因為雲會滿佈整個視野。

登山者在日出後不久，影子投射在附近的雲上時，影子的頭部周圍也可能出現彩光環。史上第一則關於彩光環的觀測報告，就是在這種狀況下。這則報告發表於 1748 年，事情則發生在 1730 年代，主角是前往現今厄瓜多的潘巴馬爾卡山山頂進行觀測的科學考察隊。報告中是這麼寫的：「我們頭頂的一片雲自行消散，曙光透了出來……後來我們每個人都看見自己的影子投射在雲上……最特別的是影子的頭部周圍出現光環，由三或四個同心圓組成，色彩十分鮮明……最令人驚奇的是當時在場的六、七個人中，每個人都只看見自己的影子頭部周圍有光環，看別人的影子時則什麼都沒有。」

學者通常認為，東西方肖像畫中環繞在神祇和帝王頭部的光環，可能就是彩光環。柯立芝（Samuel Taylor Coleridge）膾炙人口的詩〈理想主體的恆常〉就是以譬喻方式來歌頌彩光環。19 世紀末，蘇格蘭物理學家威爾森（C.T.R. Wilson）發明雲霧室，希望在實驗室再現這種現象。（他沒有成功，但很快就發現可以用雲霧室來偵測放射線，最後以此獲得諾貝爾獎。）

在彩光環形成的過程中，觀察者或飛機的影子沒有任何作用。它們跟光環唯一的關聯，就是影子一定出現在太陽的另一邊，代表彩光環是一種背向散射效應，讓陽光反轉了將近 180 度。

你可能會認為，既然這種效應相當有名，又與物理學中歷史悠久的光學領域有關，應該很久以前就有人提出解釋了。但是對科學家而言，這種「跟地球歷史一樣悠久的現象」（1748 年那份報告中的說法），數百年來依然是個不小的挑戰。雖然彩虹本身遠比基礎物理教科書中的解釋來得複雜，但彩光環又比彩虹複雜許多。

理論上，彩光環和彩虹都能以 20 世紀初期就已存在的標準光學理論來解釋，當時德國物理學家米氏（Gustav Mie）曾提出小水珠散射光線的精確數學解。不過，可怕的東西永遠藏在細節中。米氏的方法包含稱為「分波」的項的總和，此總和包含無限多個分波項。儘管實際上產生影響的項數量有限，但米氏的方法仍然必須估算數百至數千個數學式，每個數學式都相當複雜。以電腦模擬這些方程式時，可以獲得正確結果，但仍然無法讓我們深入了解形成彩光環的物理效應。米氏提出的解只是一個數學「黑盒子」，輸入內容，就能得到結果。諾貝爾獎得主魏格納（Eugene Wigner）的評論相當貼切：「電腦能理解這個問題當然很好，但我也想理解。」盲目相信暴力數學運算，也可能得到錯誤的結論，後面將說明這一點。

我於 1965 年開始擬定研究計畫，希望針對彩光環提出完整的物理解釋（以及其他研究成果），在幾位合作學者的協助下，這個目標終於在 2003 年達成了。結論涵括了牛頓於 1675 年首先觀察到的波穿隧現象，它是物理學中最神秘的現象之一，目前也應用在某些電腦和手機使用的觸控螢幕上。另外，在氣候變遷研究中有個極為複雜（而且仍未完全解決）的問題，就是大氣中的氣溶膠（包括雲、塵土及煙灰）對氣候變遷的影響，波穿隧現象對這個問題也相當重要。

解謎之路

幾世紀來，物理學家對彩光環提出過好幾種解釋，但後來都證明並不正確。19 世紀初，德國物理學家佛羅恩霍夫（Joseph von Fraunhofer）提出，陽光被雲內部深處的小水珠散射（也就是反射回去）之後，會再被較外層的小水珠繞射。繞射是光的一種波動特性，能讓光「繞過障礙」，就像海浪能輕易繞過垂直的柱子繼續前進，彷彿障礙物不存在一樣。

佛羅恩霍夫的想法是，這樣的雙重散射會形成帶有色彩的繞射環，類似夜空中月亮周圍雲彩上的光暈。不過在 1923 年，印度物理學家芮伊（B. B. Ray）駁斥了

佛羅恩霍夫的說法。芮伊以人造雲進行實驗後，指出彩光環的亮度和色彩分佈跟光暈相當不同，應該是直接由雲的外層生成，形成原因則是個別水滴的單次背向散射。

【欲閱讀完整的豐富內容，請參閱科學人 2012 年第 120 期 2 月號】