



重力透鏡

透鏡效應

大熱天走在馬路上，看到遠方駛近的車子會產生「海市蜃樓」般的景象（圖1）。這是因為地面的熱氣使得行進中的光產生了偏折方向的結果，我們稱這種現象是「大氣透鏡」效應。

或許你已經知道凸透鏡有聚光成像的功能，也就是說光在凸透鏡中行進時，因行進路徑的長短和透鏡材質的差異會產生偏折的效果（圖2）。在平靜的游泳池畔，可見到投影至池底的光，呈現「鱗狀」的漣漪光影（圖3）。所以，當光透過某些物質或是路經它們的附近時，若會受到它們的影響而產生「偏折」現象時，我們就稱這是「透鏡效應」所造成的結果。

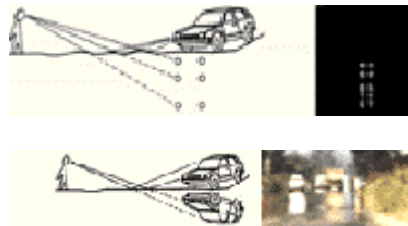


圖1.馬路地面熱氣會使自遠方駛近的車燈光產生偏折和多重影像的效果，這就是「大氣透鏡」效應所造成的。

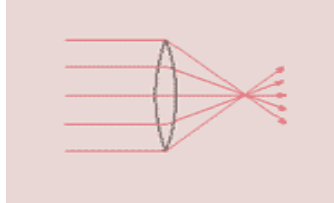


圖2.凸透鏡有聚光成像的功能

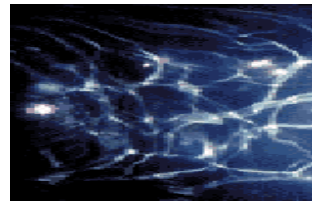


圖3.仿如平靜的游泳池底反射的太陽光（圖左亮點）和月光（圖右亮點）。日月光可視為遠方的光源。

物質的分布形成了時空的彎曲

1911年，愛因斯坦發表「廣義相對論」，闡述重力（就是牛頓所提的「萬有引力」）的本質是導因於物質的分布而彎曲了鄰近的時間—空間結構。當另一物質在此凹陷彎曲的時空結構中運行時，它的行進行為、路徑正如被凹陷彎曲時空中的物質吸引般的偏折，甚至陷入其中（圖4）。

換言之，宇宙中像星體般的巨大質量，附近空間會形成巨大彎曲，當鄰近的物質接近而陷進彎曲的空間時，正可以解釋為什麼有一種稱為重力的力量會吸引鄰近的物質。物體在外太空中前進，除非進入行星或恆星的重力場所形成的時空彎曲範圍內，否則它將永遠循直線運行。物體以高速前進時，若受重力場影響，將會偏離原路徑。當物體以低速接近此星體時，將會被牽引成橢圓軌道而繞此星球運行。更慢的物體靠近時，則可能會直接撞擊這星體。

為了驗證愛因斯坦廣義相對論中所述「時空是隨著物質的分布而彎曲」的正確性，他甚至推斷光在經過強大的重力吸引也會有偏折的現象發生。一群科學家在1916年一次日食的前夕，拍攝了一組夜晚的群星相片，次日在逢日全食的時候，在同一地又拍攝這組群星相片。比較之下正如愛因斯坦廣義相對論的假想實驗之預測，發現第二張照片的星星位置已經移動了。也就是說，原本以為日食時無法見到當時太陽後面所掩住的星光，但照片所呈現日食當時仍觀測到了這顆星星，照片上顯示觀測當時星星有偏離原來位置的現象，驗證了「時空是隨著物質的分布而彎曲」的論點。換言之，從重力能使光的行進路徑產生偏折的觀測中，知道物質附近的時間—空間結構是彎曲的。

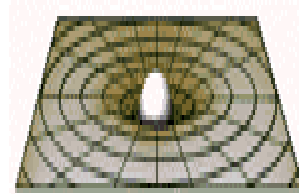


圖4.

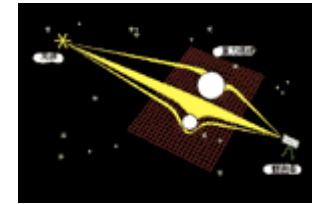


圖5

依據愛因斯坦廣義相對論，知道當光經過有物質分布的彎曲時空時，會造成光的偏折現象。但並不是所有被偏折的光都會被我們觀測得到，唯有極少數正位於與我們觀測點有某特定角度（至多約10秒弧）內彎曲的光才會被我們發覺（圖5）。還好，在宇宙間有著極大量的星雲、星系、星系團，使得我們仍有機會可以藉著望遠鏡拍攝下為數不少的壯麗「重力透鏡」成像照片（圖6~10）。

從分析這些照片所顯示的形狀，可以推論光從光源行進到我們所在位置之間所路經的物質分布和它們運行的情形，尤其是對於一些仍未被我們發現的黑暗物質的分布及其運行之瞭解，從重力透鏡所顯現的照片中來解讀，更顯其重要性。又因光源、透鏡和觀測者三者位置間的不同，略可窺知數種不同的重力透鏡效果。如三者幾乎位處於同一條直線上時，將呈現「透鏡成環狀影像」如「愛因斯坦環」的效果（圖8、9）。若是一較小的物體通過觀測者和光源之間時，則會呈現仿如透過酒瓶觀看單一街燈，會有多重影像的現象，如「愛因斯坦十字型」的效果（圖7、10）和漣漪狀光影（圖3）。

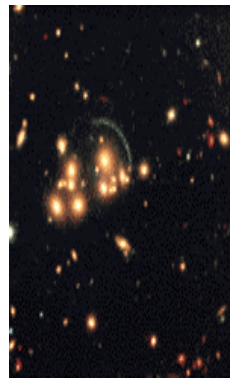


圖6.

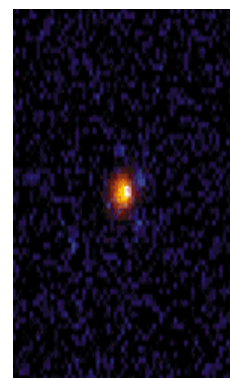


圖7



圖8

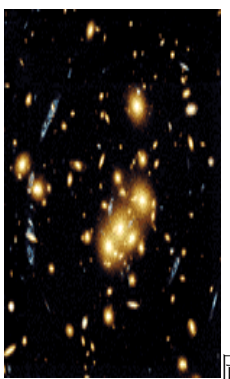


圖9

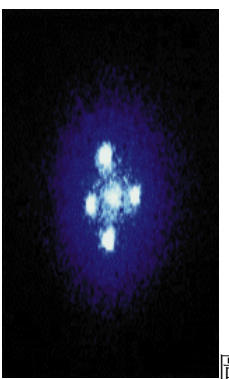


圖10.

下次當你再觀望星空時，是否仍秉持著「眼見為信」的信念，以為那就是星空中星星的分布情形？或是心中尚存有更多的遐想？還是想進一步瞭解這些星空影像的真象？試著從「重力透鏡」的介紹開始，讓我們一一來揭開星空的奧秘。

資料來源:國立自然科學博物館 文/陳輝樺

<http://edresource.nmns.edu.tw/>