

金星凌日

文 / 楊正裕

今年6月8日台灣的民衆有機會觀測到「金星凌日」的景象，何謂凌日？這是指在地球上觀察到，太陽系的內行星越過太陽表面的現象。所謂的內行星是指運行在地球軌道之內的行星，因為太陽系中只有水星和金星這兩顆內行星，所以只有「水星凌日」、「金星凌日」兩種凌日的天象。當凌日現象發生時，可以觀測到內行星的黑色小圓點，緩步掠過太陽表面，一般而言，整個過程會持續數個小時，但是在凌日發生時並非全世界的地方都可以看到此一天象，只有此天象發生當時是白天且晴朗無雲的情況下才有機會看到。

有許多天象對於人類文明具有重大的意義，金星凌日也不例外。刻卜勒（J. Kepler，西元1571~1630年）用他擅長的行星運動理論，在十七世紀初就預言1631年12月6日會發生

金星凌日，在此之前因為沒有望遠鏡，所以並沒有人觀測過此一天象。金星凌日的重要性是在十八世紀時，人類透過金星凌日的幫助，量測到太陽與地球的距離，因此可以確定太陽系的規模。

太陽與地球間的距離，在十七世紀之前都未出現真正有意義的答案，西元1672年義大利天文學家卡西尼（G.D. Cassini，西元1625~1712年）及他的團隊，在火星衝的時候用三角測量測出火星與地球間距離，再藉由早已知道的太陽到火星距離與太陽到地球距離的比例，推求出太陽與地球的距離，他的成果與目前的測量數值相較誤差不到百分之八，這是一個劃時代的成就。這個發現與當時一般的認知相差20倍，因此一夕之間，太陽系就變大了20倍，天體間的距離變大了，天體的體積也隨之變大了，徹頭徹尾改變了人類的宇宙觀。



刻卜勒



卡西尼



哈雷

西元 1716 年哈雷 (E. Halley, 西元 1656~1742 年) 提出在金星凌日時測量金星與地球距離進而推算太陽與地球距離的觀測構想。這個方案基本上與卡西尼的方法並無二致，只是把火星換成金星而已，而且金星比火星距離地球近，距離比較容易量測。哈雷的方法真的確實可行，於是引發十八世紀與十九世紀天文學家大規模觀測金星凌日的計畫，每當有金星凌日的現象發生，就有眾多的天文學家分赴世界各地進行同步觀測，利用觀測結果進行計算，1772 年潘格雷 (A. G. Pingre, 西元 1711~1796 年) 就因此獲得更為精確的日地距離，與目前的公認值相比，誤差不到千分之一。

會合週期

因為凌日是地球上觀測到內行星橫越過太陽表面的天象，所以理論上當內行星剛好夾在太陽與地球正中間時就會發生。像這太陽、內行星和地球依序排成一直線的特殊情況稱之為

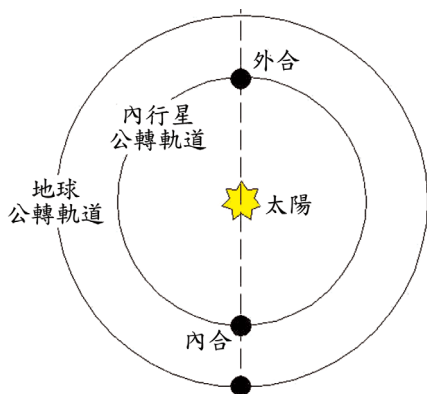
「內合」。因為太陽系各行星繞著太陽公轉的運動情形都是具有一定的週期，所以發生內合的頻率也會有週期性的，這週期就是天文學上所說的「會合週期」。

這個會合週期與時鐘上分針與時針重合問題道理相通。舉例說明，有一個內行星 A 繞太陽公轉一周需要時間 P，而地球繞太陽公轉一周需要時間 Q，因為 A 行星比地球靠近太陽，從行星運動定律中知道 P 會小於 Q。試想 A 和地球從某一次內合出發，再度內合就是經 $PQ/(Q-P)$ 的時間之後， $PQ/(Q-P)$ 就是「會合週期」。

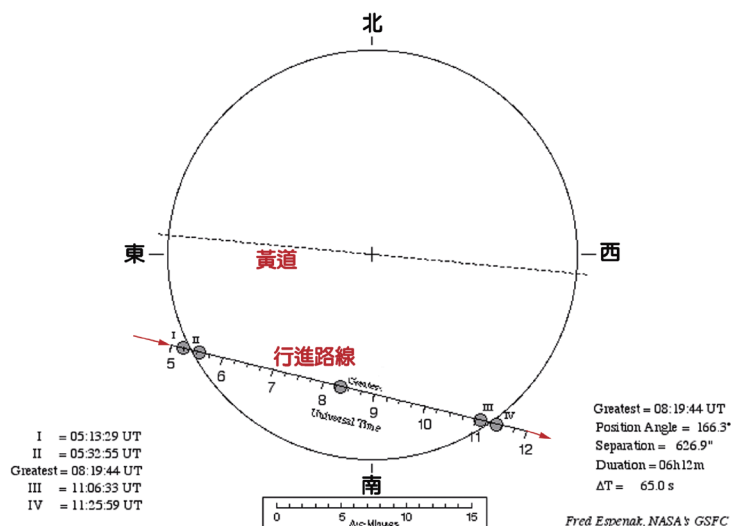


金星的濃厚大氣是在 1761 年金星凌日時，由羅蒙諾索夫 (西元 1711~1765 年) 發現的。

我們已經知道水星的公轉週期 0.241 年，依照上面的原理計算出地球與水星的會合週期是 0.318 年，因此每一世紀太陽、水星和地球內合的次數，會超過三百次，金星的公轉週期 0.615 年，計算出地球與金星的會合週期是 1.6 年，每一世紀太陽、金星和地球內合的次



內行星運動



金星凌日路徑圖

數，會多到六十次以上。如果在每次內行星內合時，就會發生「凌日」的天象，照理說凌日這種天象應該很頻繁才對。而事實上並非如此，原因何在？

百年難得一見

凌日天象的出現機會不如內行星內合的次數，表示還有一些影響此天象發生的關鍵因素尚未納入考慮。前面有關內行星內合的討論是從太空中俯瞰太陽系，觀察行星的運動，因此只是將行星公轉軌道投影在平面上，然而各個行星公轉軌道在太空中並不剛好在同一平面上，金星的軌道面與地球軌道面夾 3.4 度，但是太陽在地球上的視直徑約是 0.5 度，跟行星的軌道傾角相比小太多，所以並不是每次內合都發生凌日，只有當內行星和地球同時都很接近內行星軌道的昇、降交點時才發生。根據計算，地球經過金星軌道昇交點在 12 月 9 日前後，經過金星軌道降交點在 6 月 7 日前後，所以金星凌日只能發生在這兩個日期附近。所以要在金星軌道昇交點或降交點處發生內合才有機會發生凌日的現象。

有這兩個條件限制，凌日這種天象才會這麼的稀有。自從發明望遠鏡以來，到目前為

止，人類只觀測過西元 1631、1639、1761、1769、1874 和 1882 年共 6 次的金星凌日，而且整個二十世紀都沒有金星凌日發生，更顯得這種天象的難得。經過分析，金星凌日出現的頻率是以四次凌日為一個週期，一個週期歷時 243 年，其中各次凌日依序間隔 121.5 年、8 年、105.5 年、8 年，因為上一次發生金星凌日是在 1882 年 12 月，所以在 121.5 年後，也就是今年 6 月 8 日就有一次金星凌日發生，八年後又有一次，而且很幸運的這兩次台灣地區都可以觀測得到。

使用望遠鏡觀測

因為金星很小，視直徑約為 1 角分，只有太陽視直徑的 3%，一定要透過望遠鏡放大，才能清楚看到金星橫越太陽的現象，進行觀測時使用望遠鏡一定要特別注意安全，以免強烈的太陽光傷害眼睛。

但是對於一般擁有雙筒望遠鏡與賞鳥鏡的人而言，要找到合適的減光設備匹配既有的望遠鏡，並不容易而且需要另外花錢，坊間流傳的減光方法，例如用底片、光碟片、鋁箔紙、燻黑的玻璃、太陽眼鏡或電焊工用面罩，並不適用於望遠鏡觀測，且安全性堪慮，在此建議

不要做任何嘗試。因此除了具備正統天文望遠鏡觀測太陽使用的配備以外，而且確定正確使用的情形之下，請不要透過望遠鏡直視太陽。應該如何進行安全金星凌日觀測呢？唯一只剩下「投影法」值得推薦。

投影法適合各種小型望遠鏡進行觀測太陽表面，當然也可以觀測金星凌日，最重要的是這個方法最安全，而且可供多人同時進行觀測。首先將需要的東西準備好，望遠鏡是不可或缺的、一張不透光的紙板、幾張白紙、膠帶，如果有相機用三腳架和鏡子當然就更方便一些。

事先將紙板中央挖一個洞，大小剛好可以讓望遠鏡的鏡筒通過，然後將望遠鏡架設在三腳架上，這時候先不要把主鏡或尋星鏡的前保護蓋移除，約略將望遠鏡指向太陽，看陽光造成的望遠鏡影子，調整腳架把影子縮到最小，此時移開前保護蓋，會看到太陽光經過望遠鏡在目鏡後形成一片亮影，在此時將紙板套到鏡筒上，會造成一片黑影，太陽的亮影位於其中，再把白紙拿出來置於亮影處，固定不動當作投影幕，調整目鏡與主鏡距離（對焦），讓亮影在紙上形成一個清楚的太陽影像，如果太陽的影像過小，可以把白紙往後移動，再對焦找到清楚的影像即可。

如果沒有三腳架，用手拿著望遠鏡會很累，不過可以用其他方式改善，找一面方位適當的牆壁當作投影幕，這牆最好是在室內或在屋簷下，避免日光照射到，如果牆壁的顏色不適合，可以先貼上白紙，找一面鏡子置於地上，讓望遠鏡的光先照到鏡子上，然後反射到前面說的牆面上，接下來就是對焦或是調整牆壁、鏡子和望遠鏡間的距離，以便找到清楚的太陽影像。

觀測要點

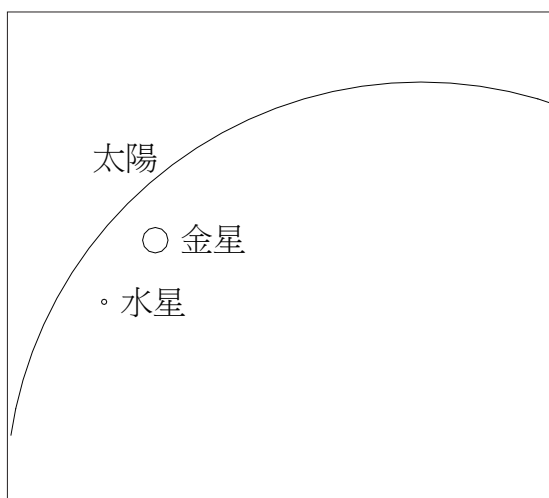
這次金星凌日從開始至結束歷時約 6 小時分，臺灣地區可見大部分過程，只有最後階段的「終內切」與「終外切」因太陽已經落入地平線下而不可見。

凌日的觀測的關鍵在於推估「初外切」的位置，所謂初外切意指行星的小圓盤與太陽的大光盤開始接觸的時候，而初內切是行星的小圓盤完全進入太陽的大光盤的瞬間，從初外切到初內切大概要 19 分鐘的時間，因為行星很小，若不能掌握初外切的位置，以一般低倍率望遠鏡監視整個太陽的大光盤，是很難在初外切發生瞬間看到行星所在位置。所以掌握發生初外切的位置，在出外切發生之前一直監看該處，便能觀測到完整的行星進入太陽光盤之過程。

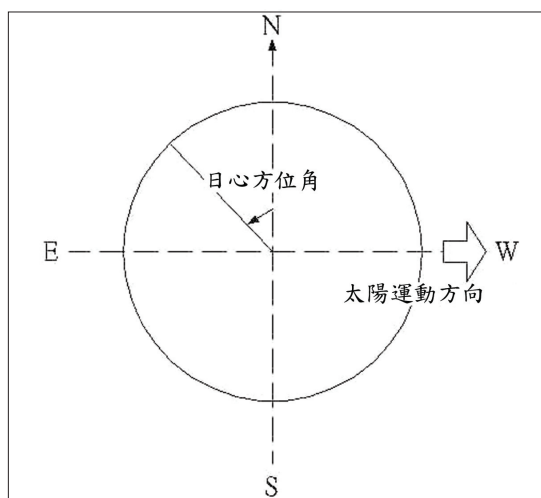
決定初外切的位置其實滿簡單的，從天象預報資料中有提供這次金星凌日現象的一些數據，其中日心方位角就是描述金星在該時刻相對太陽的位置，它的度量方式是以太陽盤面為中心，從指向北的軸線向東度量。如何決定東西南北呢？太陽每天從東昇後，就一直向西運動，所以觀察太陽的運動方向，就可以決定東西方。



7×50 雙筒望遠鏡投影法示範



太陽、水星和金星的視直徑比較



日心方位角

確定北方就比較麻煩了，一般雙筒望遠鏡與賞鳥鏡看到的影像上下左右是與真實景物相同，所以看天體時，東南西北是依照逆時針順序排列，但是用這種望遠鏡直接投影看太陽，東南西北的排列方式變成依順時針方向；如果又經過一面鏡子才投影成像，排列方式是又變回逆時針，這個細節於觀測時務必搞清楚才是。

是金星凌日在是太難得了，無論如何大家一定要撥時間看一看，為了避免屆時手忙腳亂，建議有興趣的天文同好，一定要事前多做準備，以免錯失良機。

平心而論，凌日天象並不算「精采」，但

作者：業餘天文愛好者

現象	時間	日心方位角 (單位：度)	太陽高度角 (單位：度)
I 初外切	13h11m48.8s	116.3	71.9
II 初內切	13h30m40.5s	119.4	67.6
最近日心	16h14m15.9s	166.01	30.9
III 終內切	19h00m00.9s	212.7	-4.3
IV 終外切	19h19m23.1s	215.8	-8.2

◎ 臺灣地區「終內切」與「終外切」不可見。

◎ 資料來源：臺北市立天文科學教育館。