

搜尋外星生命的起點—尋找別人的太陽系

文／孫維新

摘要

人們仰觀星空，常問“Are we alone?” 亙古以來，「外星生物」是否存在，一直是一個人們深刻關心和持續好奇的議題。但是這個議題層面複雜，有許多先要釐清的概念：譬如何謂「外星」？是月球、火星、太陽系其他行星或衛星，還是廣漠無垠的星際空間？又何謂「生物」？「生物」的定義言人人殊，我們目前唯一的研究對象也只有地球上的生物！一般而言，對「生物」的粗略定義是：需要能量、能夠複製，攜帶遺傳密碼，這也就是「我們所熟知的生物」，英文稱作 Life As We Know It，簡稱 LAWKI。這一類生物生活在環繞恆星運轉的行星上，需要花上幾十億年才能演化出現。結合了「外星」和「生物」這兩個概念，從最簡單的定義出發，我們想搜尋「外星生物」，至少需要先找到「別人的」太陽系，也就是要在其他恆星旁邊找到行星！

這個領域在最近 20 年中有了重大進展，剛好在 20 年前，也就是 1992 年，波蘭天文學家沃西贊和美國天文學家福瑞爾，發現了兩個行星繞著一個脈衝星（pulsar）運轉[1]，這是首次在太陽以外的天體旁邊，發現行星運轉，自那時起，這些行星就被稱為「系外行星」(exoplanet)。但是這個發現並無法令人充滿期待，因為「脈衝星」是大質量恆星經過超新星爆炸後所遺留的中心殘骸，也就是「中子星」，這種天體極小，直徑可能只有數十公里，但是高速旋轉，同時對四周環境噴發出各個波段的強烈輻射，根本不適合我們這樣的生物居住（圖 1）！



圖 1. 藝術家筆下繞行脈衝星的行星（圖片來源：NASA）

接下來在 1995 年，天文學家在飛馬座 51 號星(51 Pegasi)的旁邊發現了一顆質量巨大、以 4 天週期環繞該星公轉的行星，這是人們第一次在「正常恆星」旁邊發現行星[2]。自此之後，系外行星被發現的數量就大幅增加，到 2012 年 2 月 4 日止，確認的行星數量已經達到 758 顆，其中的 608 顆目前認定是單一行星環繞各自的母星運轉，其餘的 150 顆位在 99 個「多行星系統」中[3]。這些系外行星是目前已經獲得確認的，然而 2009 年發射的「克卜勒任務」(Kepler mission) (圖 2)才觀測一小片天區，在短短兩年中就偵測到了 2,000 多顆系外行星的「候選者」，這些「候選者」雖然仍待確認，但是我們已經可以預料，未來系外行星的數量應該會以極大的幅度迅速增加，搜尋宇宙中「外星生物」的進展也將會揭開新頁！

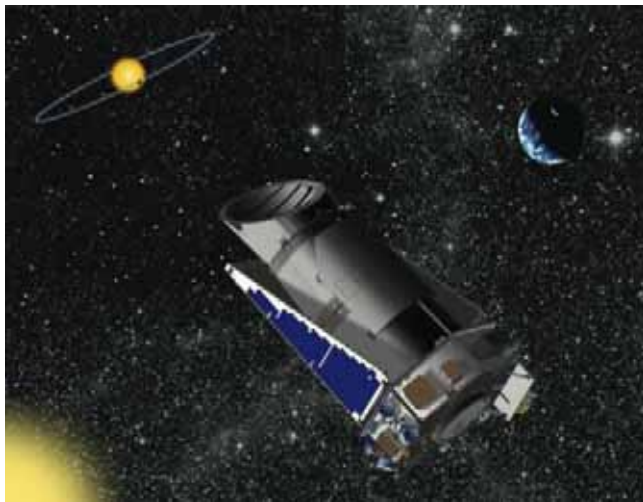


圖 2. 克卜勒任務在搜尋系外行星上大放異彩
(圖片來源：The Encyclopedia of Science,
<http://www.daviddarling.info/encyclopedia/K/Kepler.html>)

關鍵詞：系外行星、太空天文觀測、外星生命、克卜勒任務、行星凌日

太陽系的起源

經過過去將近百年的實際觀察和理論推導，現在天文學家認為太陽系起源於一團雲氣，經由收縮和旋轉發展成一片盤狀星雲，中央突起處最終形成恆星，周遭殘存的灰塵雲盤經由重力吸積，在不同距離上形成了各個行星。這個過程依照物理的基本定律順理成章地會自然發展，所以我們有充分的理由相信，同樣的過程在宇宙他處，應該也會隨處出現，發展出各自的「太陽系」，所以我們所居住的「多行星環繞單一恆星」系統，應該不是宇宙中的唯一，可能到處都有！

系外行星的發現方法

從 20 世紀中期開始，就有人宣稱觀察到了別的恆星旁邊有行星存在，但後來都證明是子虛烏有，一直到了 90 年代，天文學家使用「徑向速度法」，偵測恆星受周邊行星影響，造成速度微小改變，才開始大量偵測到行星存在；到了 1999 年，天文學家第一次根據恆星的亮度微小變化，確認是由「行星凌恆星」的現象造成，於是行星發現的方法另起爐灶，為這個領域又開了另一扇門。這兩年又有一個新方法開始使用，稱做「微重力透鏡法」，這個物理概念和前兩個方法完全不同，以下我們分別介紹。

一、 透過母星的軌道震盪（徑向速度法）

這個方法的物理原理，可以用溜冰場上的父子溜冰來比擬。如果一大一小兩個人手拉著手轉圈圈，那小孩子轉的圈比較大，大人轉的圈比較小，雖然大人圈子小，但還是會被拉著來回動。如果這時父子一邊拉著手轉圈圈，一邊在溜冰場上試著朝前方直線滑動，從遠方的人看來，小孩子太小看不見，但是會看到大人在溜冰的過程中無法保持一條直線，而是會一邊往前一邊左右週期性的擺動，遠方的人看到了這個擺動，就知道這個大人旁邊應該有一個小孩子拉著大人的手在繞圈圈。

我們的銀河包含大約兩千億顆恆星，太陽位在銀河盤面上，和其他的恆星一同環繞銀河中心公轉。如果這些恆星旁邊沒有行星繞行，那這些恆星就會循著平滑的軌道，繞行銀河中心。但若是有一顆恆星旁邊有行星繞行，這顆恆星就會受到旁邊行星的影響來回晃動，從遠方觀察，雖然看不到行星的存在，但是卻可以觀察到恆星不是規則的直線前進，而是晃晃悠悠地一邊左右擺動一邊向前行，觀察到了這個擺動的週期和幅度，再使用克卜勒定律就可以準確推斷離恆星多遠處有一個多大的行星存在[4]（圖 3）！

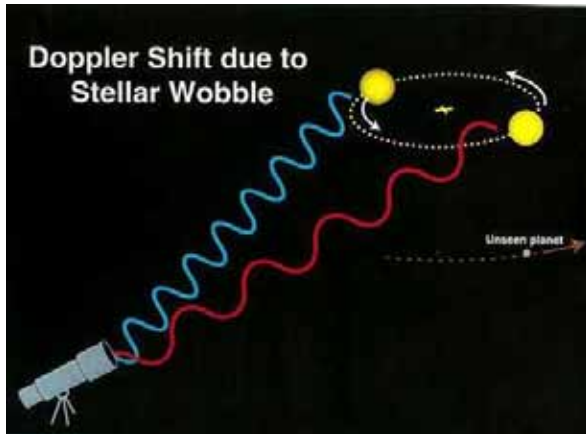


圖 3. 若有看不見的行星環繞，恆星的運行路徑會來回擺動，因此可由恆星的徑向速度改變，偵測到其旁邊有行星的存在。

(圖片來源：Geneva University, <http://obswww.unige.ch/exoplanets/method.html>)

這是第一個有效發現系外行星的方法，從 1995 到 2010 年，好幾個研究團隊使用這個方法找到了大約 500 多個行星，但是所找到的行星都是巨大的氣體巨星，質量和木星差不多或更大，同時離母恆星非常近，比我們太陽系中水星到太陽的距離還近，因此這些巨大行星表面溫度應該非常高，這種行星被天文學家稱做「熱木星」(hot Jupiters)，不適合我們這樣的生物居住。

這個結果看來令人失望，因為人們心底都希望找到像地球這樣的「類地行星」，而不是只有巨大的「類木行星」。但系外行星都是這麼大、離母星這麼近嗎？其實不然，有這些結果其實是這個觀察方法造成的！科學家在做實驗的時候，常會發現「實驗的方法決定了實驗的結果」，這個「徑向速度法」亦然。因為要觀察恆星來回擺動的幅度，因此越大質量的行星產生的效應越明顯；又因為要在短時間中看到來回擺動，所以離母恆星越近的行星，在短時間內造成恆星來回擺動的次數越多，因此這個方法註定只能找到「熱木星」們！

二、 透過母星亮度的改變（行星凌日法）

在 1999 年 9 月，一個天文團隊持續觀察一顆離地球不遠的恆星 HD209458 的亮度變化，發現它每 3.5 天恆星亮度就會突然下降一點點，然後在 3 個小時之後又回復成原來的亮度。這個團隊欣喜若狂，因為他們知道，這個現象就是「行星凌日」(圖 4)！

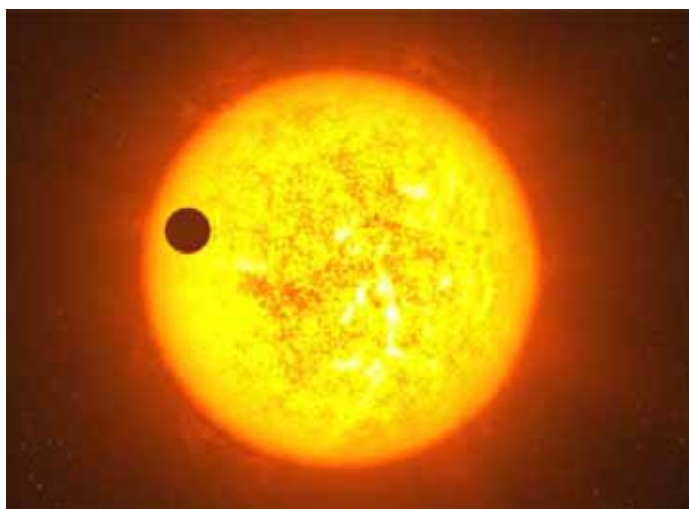


圖 4. 行星經過恆星表面，會遮擋一小部分光線，造成「行星凌日」的現象。
這是藝術家筆下的行星凌日現象。(圖片來源：ESO 歐南天文臺)

我們在地球上，三不五時會看到一個小黑點，緩慢的從明亮的太陽表面橫過，那可能是離太陽最近的水星，或是離太陽第二近的金星造成的，因為水星和金星都是「內行星」，在地球和太陽之間運行，偶而因為角度剛好，就會發生「凌日」的現象（2012年6月6日會發生「金星凌日」的現象，臺灣可見，敬請期待！）。從地球看去，太陽的整體亮度因為這個緩慢移動的小黑點，而稍微下降了一點（圖5），或許有人覺得行星體積如此之小，遮擋一點點的光線能夠測量得出來嗎？能！現在的亮度測量已經可以達到非常精密的地步，即使是學校用的教育性質望遠鏡，仔細調校後，都可以達到1%的精確度，而HD209458這個第一個被發現的「凌日」系統，它的亮度變化是1.8%左右，所以可以被精確地測量出來！

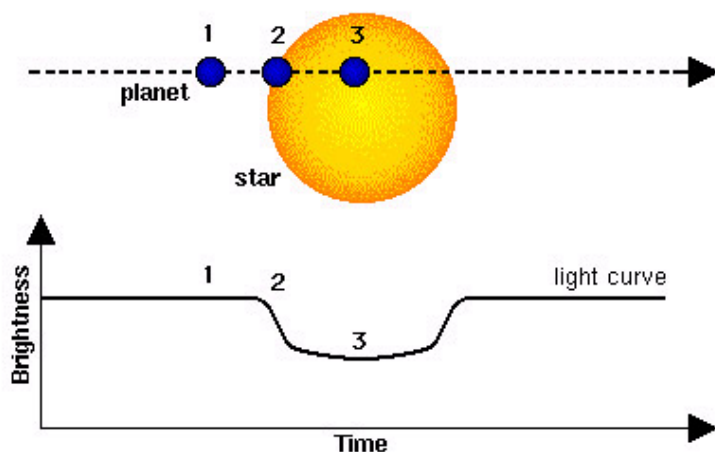


圖 5. 行星橫過恆星前方，觀測者會看到恆星的亮度短暫下降。
(圖片來源：ESA天文衛星Corot團隊，
<http://www.portalciencia.net/astronot13in.html>)

也就因為這個亮度微小變化的觀察可以非常精確，因此天文學家相信即使是小如地球這樣的「類地行星」，一樣可以在「凌日」的過程中被偵測到！2009年中，深受期待的 Kepler 天文衛星順利升空，這個太空天文望遠鏡口徑不大、任務簡單，就是一直盯著天鵝座附近一小片天區觀察，持續記錄這個天區中 15 萬顆恆星的亮度變化，結果還真的在短時間之內，就發現了大量的系外行星，有些行星只比地球稍大，被稱作「超級地球」！

應用「行星凌日法」，有一個先決條件，就是行星運行的路徑，要剛剛好在母恆星與觀測者之間，也就是說，對觀測者而言，行星的運行軌道是剛好側向的，才能從母恆星前方橫過，產生「凌日」的效果，因此「找到 1 個，可能錯過 10 個」！即便條件如此嚴苛，但是克卜勒衛星已經發現了上千顆系外行星的可能候選者，這讓我們合理地懷疑，恆星旁邊有行星的機率非常之高。其實在 2009 年的時候，行星存在的估計是 100 個恆星中有 15 個，後來修正到 30 個，前不久成爲 60%，最近竟有新的學說告訴大家，行星的數量應該比恆星多！

三、行星擾動遠方恆星的重力透鏡效應（微重力透鏡法）

第三種方法，聽起來更不可能，就是利用系外行星在環繞母恆星運動的過程中，參與了母恆星扮演「重力透鏡」的過程。因為恆星有重力場，遙遠恆星的光線經過這個恆星旁邊，會被聚焦而使得遙遠恆星短暫的變亮。但這個發亮的過程會因為旁邊有行星來回運動而產生擾動，這種擾動十分罕見，但仍可以被偵測到，所以天文學家才會估計，恆星旁邊有行星的機率應該非常高！

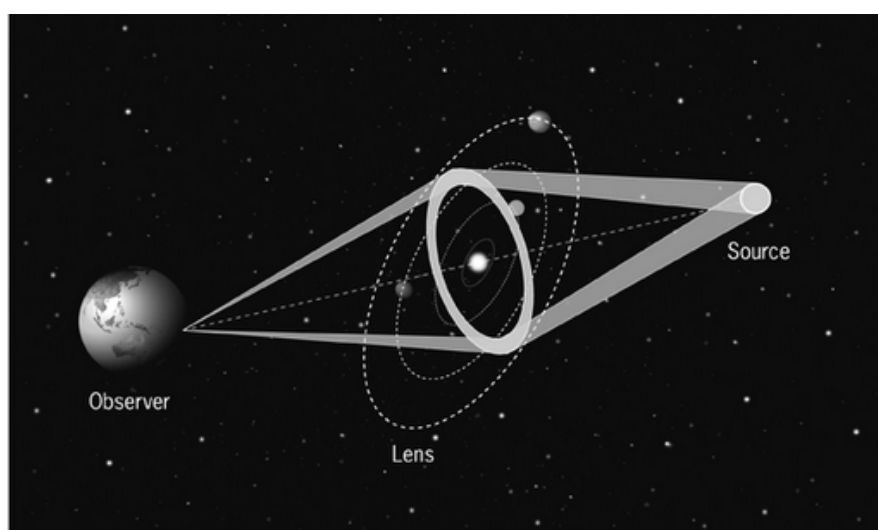


圖 6. 遙遠恆星的亮度因為中介恆星的放大效應而增加，但是若有行星存在於中介恆星周邊，就可能影響這個重力透鏡的效應。[5]

這種重力聚焦的現象，最初僅見於「遙遠星系」的影像被「中介星系」的重力場放大，產生「環」或者「弧」的扭曲影像，稱作「重力透鏡」(圖 6)，但沒想到同樣的物理現象會發生在極小的恆星層級，由行星造成遠方恆星變亮的現象受到擾動，讓天文學家又多了一種方法去找尋系外行星。

未來展望

卡內基研究院 (Carnegie Institute) 的 Dr. Vera Rubin 曾說：「我們所知有 17 種方法找尋系外行星，天文學家現在才使用了 5 種方法，就已經收穫良多！」由目前的結果看來，人們一方面會高興，一方面會失望；高興的是，我們在宇宙中應該不是孤獨的，失望的是，地球逐漸失去了它的唯一性和獨特性，我們的美麗地球沒有什麼特別，不過是銀河中多如恆河沙數的行星中的一個而已。

話雖如此，我們目前還沒有確鑿的證據支持外星生命真正存在，有趣的是，在目前已知的行星中，有將近 100 個「多行星系統」，也就是由有好幾個行星一起環繞一顆恆星的「太陽系」。例如巨蟹座 55 號星 (55 Cancri)，已知的行星就有 5 個 (圖 7)，其中 4 個接近母星公轉，有點像我們的水、金、地、火，第 5 個較遠，位置幾乎和我們木星一模一樣[6]！我還記得前兩年看到這個結果出爐時，我愣住了好一陣子，這是明知會發生也期待很久的事情，但是一旦出現還是會讓人驚訝又興奮！

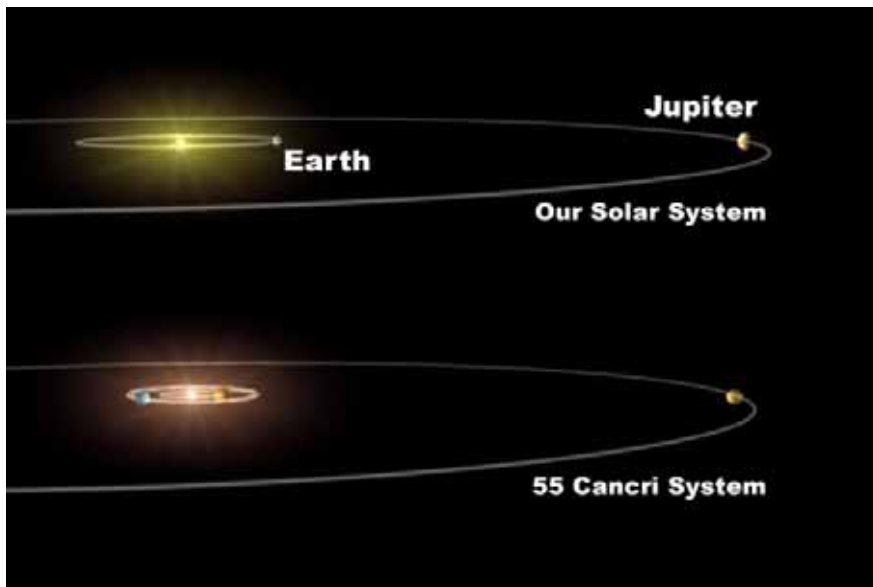


圖 7. 巨蟹座 55 號星周遭已經確認至少有 5 個行星，和太陽系相彷彿。[6]

即使有多行星的太陽系，即使有大小和地球相仿的系外行星，但另一個有無外星生命的重要因素是「距離」，也就是行星離母恆星的遠近。人類以地球上生

物的需求，訂出了「適居區」(habitable zone)(圖 8)，也就是行星和母星距離適中，讓行星上可以維持「液態水」！這種「生命發展」型行星，相信在不久的將來會一一現蹤，那時人們對宇宙的認知和自身地位的體認，就會完全不一樣了！

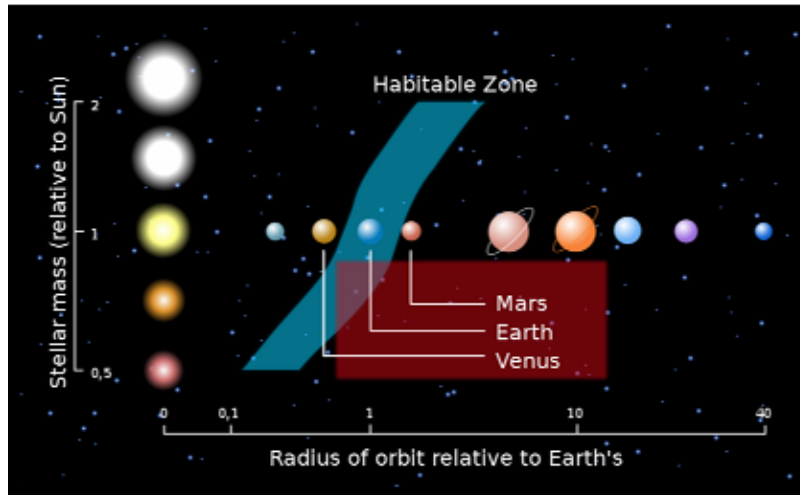


圖 8. 適居區由母恆星的光度和行星到恆星的距離決定。[7]

參考文獻

- [1] Wolszczan, A. and Frail, D. A. (1992). A planetary system around the millisecond pulsar PSR1257+12. *Nature* **355** (6356): 145–147.
- [2] Mayor, Michael and Queloz, Didier (1995). A Jupiter-mass companion to a solar-type star. *Nature* **378** (6555): 355–359.
- [3] Schneider, Jean (10 September 2011). Interactive Extra-solar Planets Catalog. *The Extrasolar Planets Encyclopedia*
- [4] Pepe, F. Lovis, C. and Segransan, D. et al. (2011). The HARPS search for Earth-like planets in the habitable zone. *Astronomy & Astrophysics* **534**: A58
- [5] Bond, I.A. et al. (2002). *MNRAS*, 333, 71.
- [6] Raymond, Sean N. et al (2008). A dynamical perspective on additional planets in 55 Cancri. *The Astrophysical Journal* **689**: 478–491.
- [7] Yiannis Tsapras, School of Physics and Astronomy Queen Mary, University of London