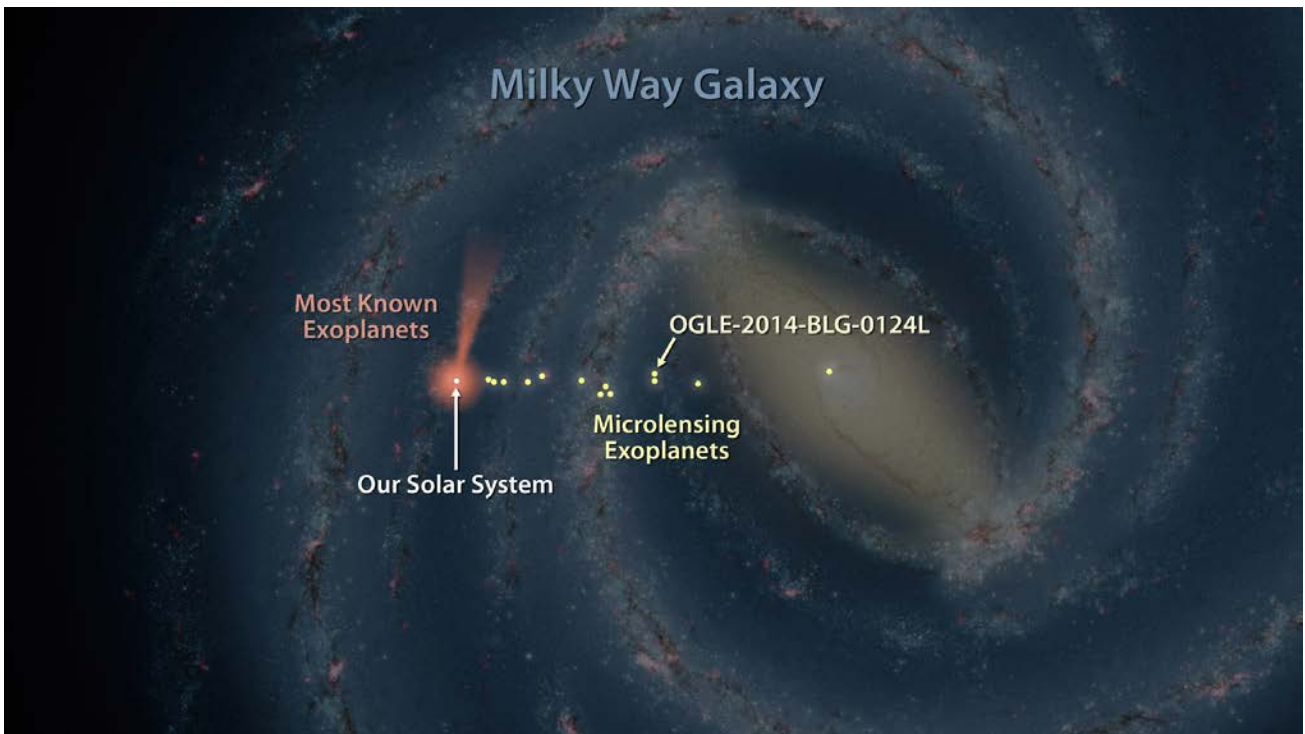


微重力透鏡發現 超級海王星普遍存在

目前的理論相信類地行星是由原行星盤裡的塵埃不斷吸積碰撞而形成。至於類木行星則有兩種不同的理論。



圖一、目前所偵測到的系外行星，紅色部分是徑向速度、凌日法、日冕儀直接觀測法等方式所找到的系外行星，大多在太陽系鄰近的空間。黃色光點是微重力透鏡法所找到的系外行星，從太陽系附近，一路到銀河系不同的旋臂上，甚至是遠在銀心都能偵測到。

圖片來源：https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/images/largesize/PIA19333_hires.jpg

行星如何形成？

根據組成的成分，行星可以大致分為與地球類似的岩質行星，以及與木星類似的氣體行星。目前的理論相信類地行星是由原行星盤裡的塵埃不斷吸積碰撞而形成。至於類木行星則有兩種不同的理論。一派相信要產

生類木行星，首先要有一個數倍地球大的岩質行星核，當核心足夠重了之後，透過重力效應不斷吸積附近的氣體，直至長成氣體行星。但是核吸積的過程相當費時，像是在太陽系裡軌道最遠的天王星跟海王星，在形成時原行星盤的氣體已消散許多，並不足以形成質量那麼大的天王星跟海

王星。

於是出現了另一派說法，認為無須岩質行星核，而是原行星盤急速冷卻的關係，會產生局部密度較高的氣體團塊。而這些氣體團塊質量夠大，透過重力效應繼續吸積附近的氣體形成氣體行星。但是原行星盤是否真的會急

速冷卻，以及冷卻時會否有局部密度夠高的團塊，仍有待檢驗。

用系外行星檢測行星形成理論

要了解行星的形成，除了太陽系之外，我們還可以透過觀測系外行星測試行星形成理論。目前的觀測方法主要有觀察恆星的光譜，並從中找出規律性的徑向速度變化以推測出系外行星、透過長時間的測光以凌日方式推測出系外行星、以及使用超大口徑的望遠鏡搭配日冕儀直接偵測到恆星旁的系外行星等。但是以上的方法仰賴恆星或是行星發出的光，也因此能觀測到的大多是離我們很近、很亮的恆星或是行星系統（如圖一）。

在這些方法以外，還有一個方法是單純依靠重力，而非恆星或行星發出的光子，來偵測行星的！這個方法就是微重力透鏡效應。它的原理來自愛因斯坦的廣義相對論，其中重力可以造成時空的彎曲，而越重的天體造成的時空彎曲效果越顯著，甚至可以達到將背景天體的光聚焦放大的效果（如圖二）。也因為這樣，即便是非常黯淡的恆星以及行星，只要我們發現背景天體的光線被聚焦增強，就能推測出系外行星的存在。

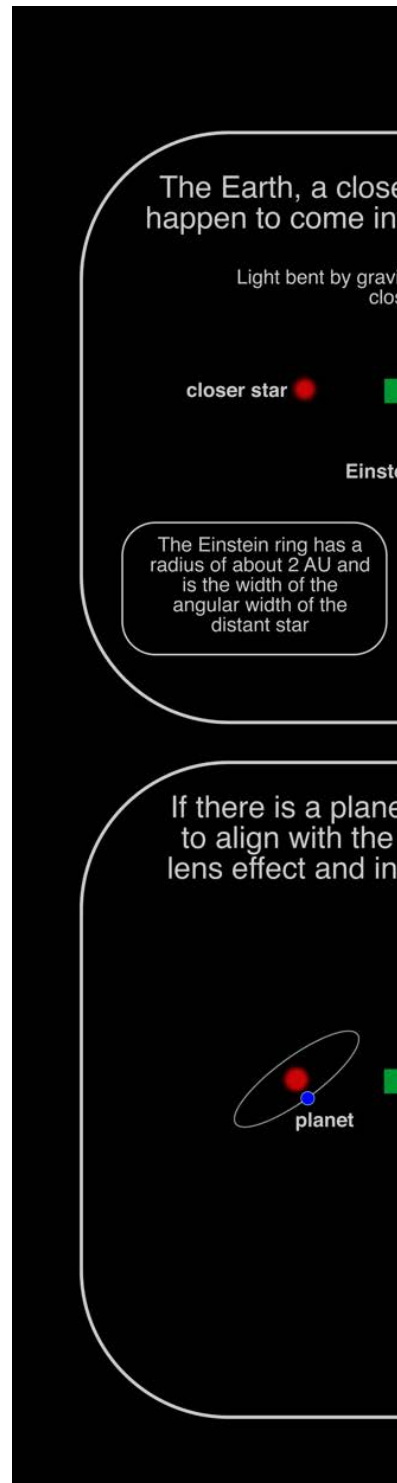
微重力透鏡法因為不需要依賴恆星或是行星的光子，所以就算行星距離主星很遠（超過海王星的軌道），也能偵測到！

微重力透鏡法偵測超級海王星

而在近日，科學家們使用微重力透鏡，在偵測超級海王星上，有所斬獲！首先是由美國馬里蘭大學暨航太總署高達太空中心的Aparna Bhattacharya所帶領的團隊，使用夏威夷凱克望遠鏡的高解析度近紅外光相機，以及哈伯太空望遠鏡的廣視野相機，取得了OGLE-2012-BLG-0950Lb這個系外行星系統的高解析度影像，因此推測出一個質量介於土星與海王星之間的超級海王星，存在於雪線之外。

所謂的雪線，是指在原行星盤中，離主星夠遠時，溫度會低到足以讓水凝結成冰。在雪線外有夠多的冰以及其他固態物質，可以加速岩質行星核的形成。通常當岩質行星核形成之後，便能快速地吸積附近的氫氣及氦氣，形成氣體行星。依照核吸積理論，岩質行星核形成後，吸積氣體的速率成指數成長，通常一但開始，除非附近的氣體耗盡，不然會一直長成木星質量的行星，才會停止下來。而根據核吸積理論，在吸積到一半停下來，以致於長成像OGLE-2012-BLG-0950Lb這樣營養不良的超級海王星相當罕見。

但是另一項由日本宇宙航空機構的鈴木大介等人所做的研究，卻不這麼認為。透過分析三十餘個微重力透鏡所偵測到的系外行星系統，與核吸積模型的理論預測比對，他們發現觀測到的超級海王星，比核吸積理論所預測還多了十倍。這代表理論預測的快速吸積氣體速率或許需要修正，又或者氣體行星形成的機制會隨著不同的主星有所變化。



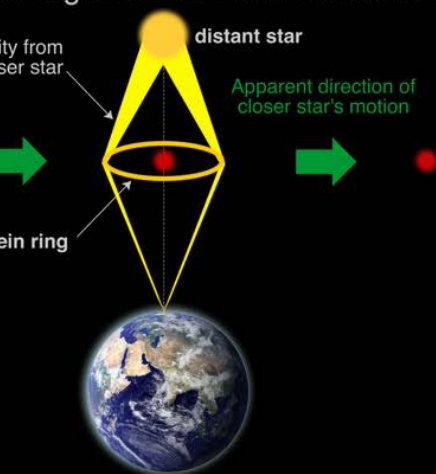
展望

雖然微重力透鏡可以偵測到雪線外的超級海王星，但目前這個方法所找到的行星樣本稍嫌不足，無法讓我們對行星形成有更透徹的分析。未來透過

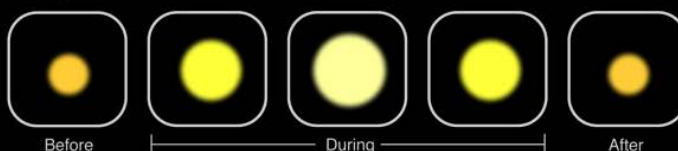
超廣角紅外太空望遠鏡(WFIRST)，將有希望能找到超過一千個系外行星，其中包括數百個地球質量的行星，甚至能偵測到跟木星衛星一樣小的行星。

Gravitational Microlensing

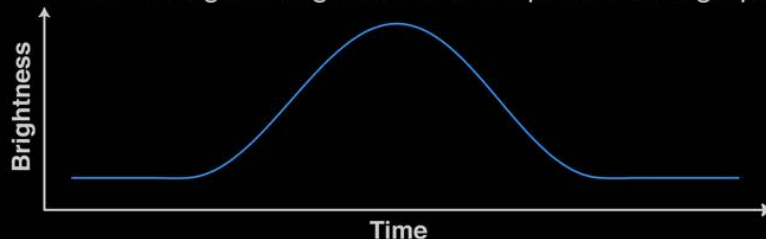
...e star, and a brighter, more distant star,
...to alignment for a few weeks or months



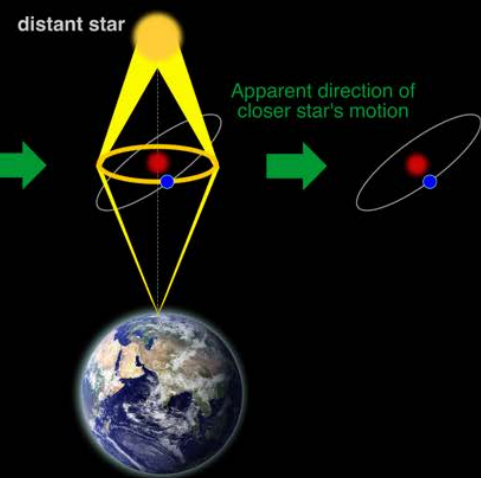
Gravity from the closer star acts as a lens and magnifies the distant star over the course of the transit.



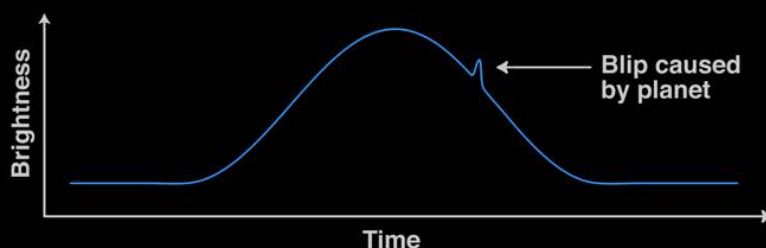
The change in brightness can be plotted on a graph



...et orbiting the closer star, and it happens
...Einstein ring, its mass will enhance the
...crease the magnification for a short time



The planet causes a small blip on the graph



LCOGT.net

圖二、使用微重力透鏡法偵測系外行星。圖片來源：<https://lco.global/files/spacebook/Gravitational%20Microlensing%20timeline.png>

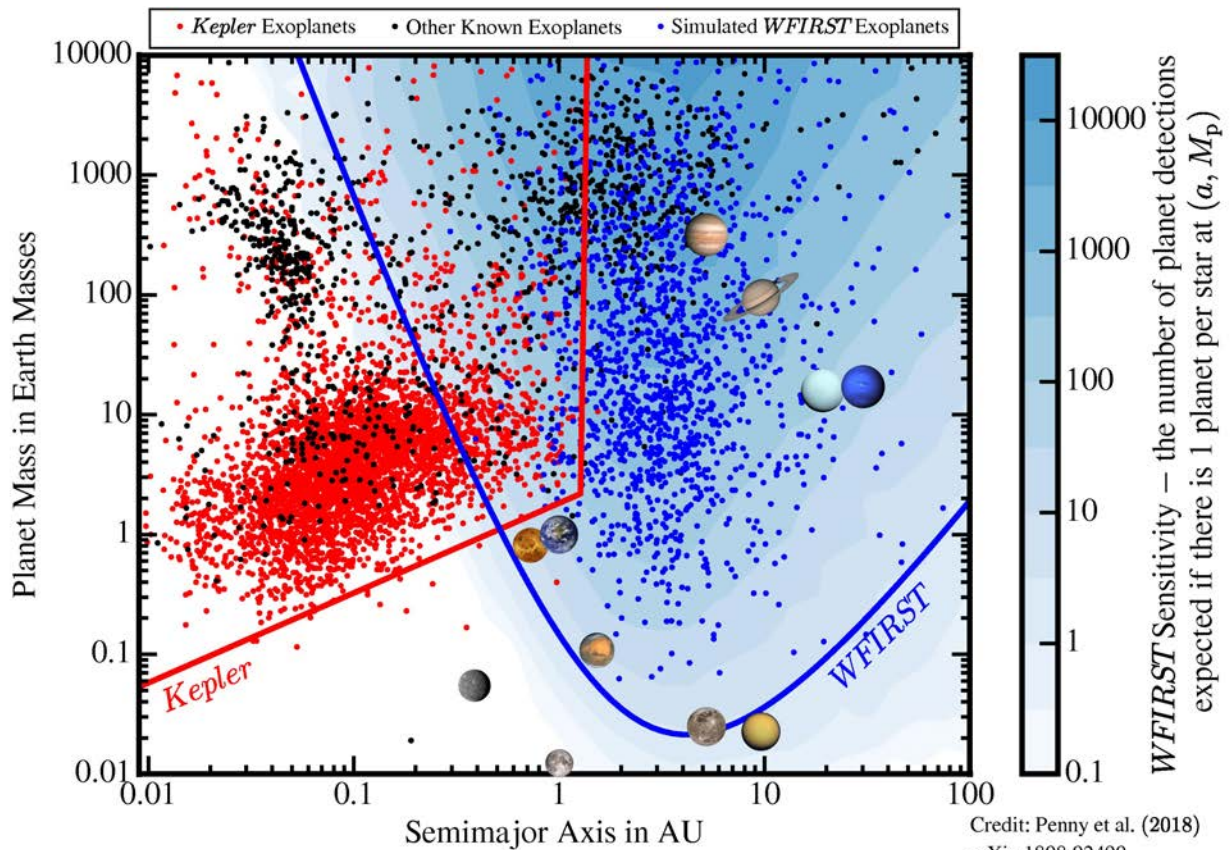
參考資料：

1. 凱克望遠鏡新聞稿：<http://www.keckobservatory.org/sub-saturn/>

2. Bhattacharya, A. et al., “WFIRST Exoplanet Mass-measurement Method Finds a Planetary Mass of $39 \pm 8 M$

\oplus for OGLE-2012-BLG-0950Lb”, (2018), AJ, 156, 289

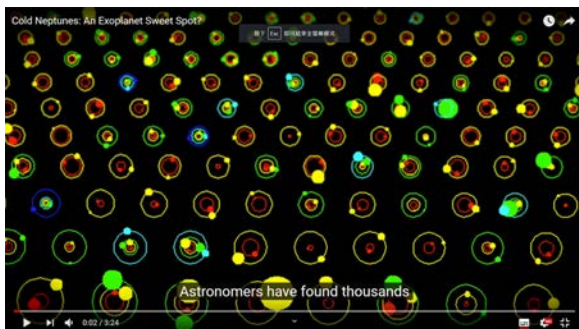
3. Suzuki, D. et al., “Microlensing Results Challenge the Core Accretion Runaway Growth Scenario for Gas Giants”, (2018), ApJL, 869, 34



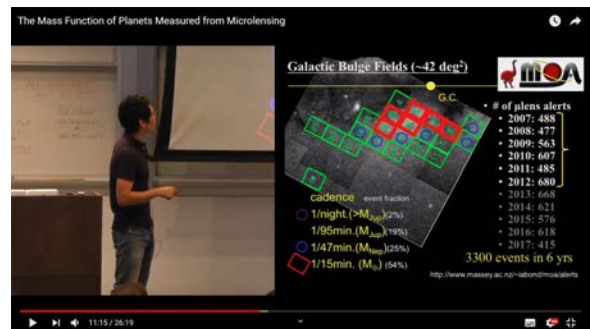
圖三、WFIRST所能偵測到的系外行星（藍線）。紅色部分是由克卜勒太空望遠鏡所偵測到的凌日系外行星，大多分佈在1AU以內。而微重力透鏡效應將能讓我們找到許多離主星較遠(>1AU)的系外行星。圖片來源：<https://u.osu.edu/mpenny/microlensing-with-wfirst/>

李見修：美國國家光學天文臺助理科學家

YouTube相關影片：



Cold Neptunes: An Exoplanet Sweet Spot?
<https://www.youtube.com/watch?v=qzIR3kBCLYM>



The Mass Function of Planets Measured from Microlensing?
<https://www.youtube.com/watch?v=0gOrmQDm3sM>