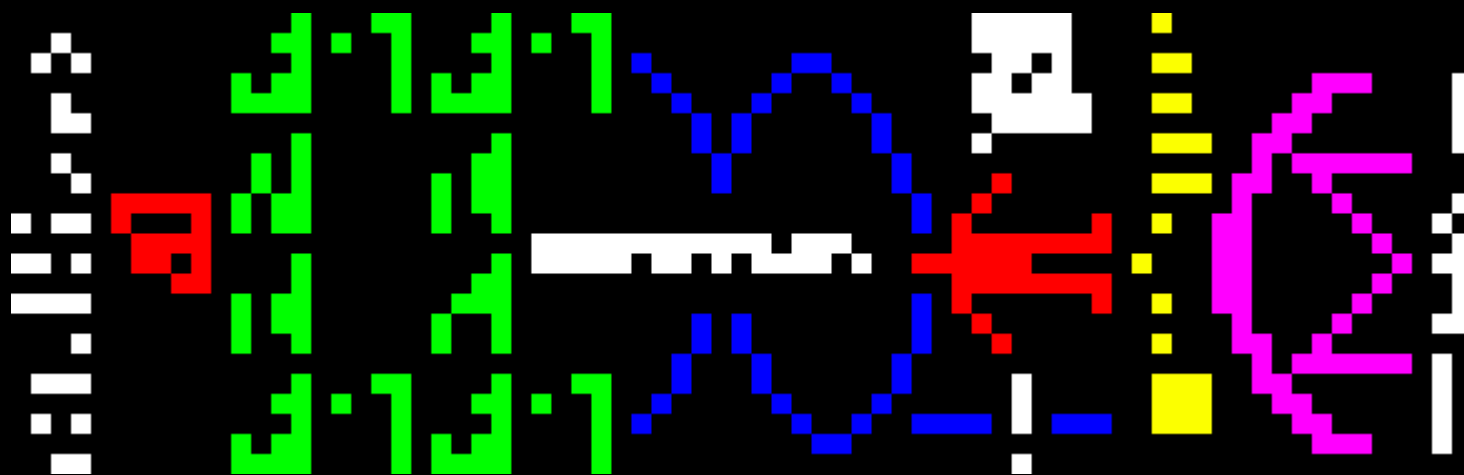


天外飛星：太陽系外行星

辜品高

中央研究院天文所



NEW 2007 night-sky guide bonus pullout inside!

January 2007



Astronomy[®]

The world's best-selling astronomy magazine

SPECIAL ISSUE

Top 10

stories of 2006

- Pluto demoted
- Comet dust returned to Earth
- New Milky Way satellites
- 200+ exoplanets
- Venus Express arrives
- Touchdown on an asteroid
- **and more!**

PLUS:

All about the Crab Nebula p. 70

Hubble reveals 16 distant exoplanets p. 44

Latest portraits from Mars p. 64

Make Hubble shots your own p. 84

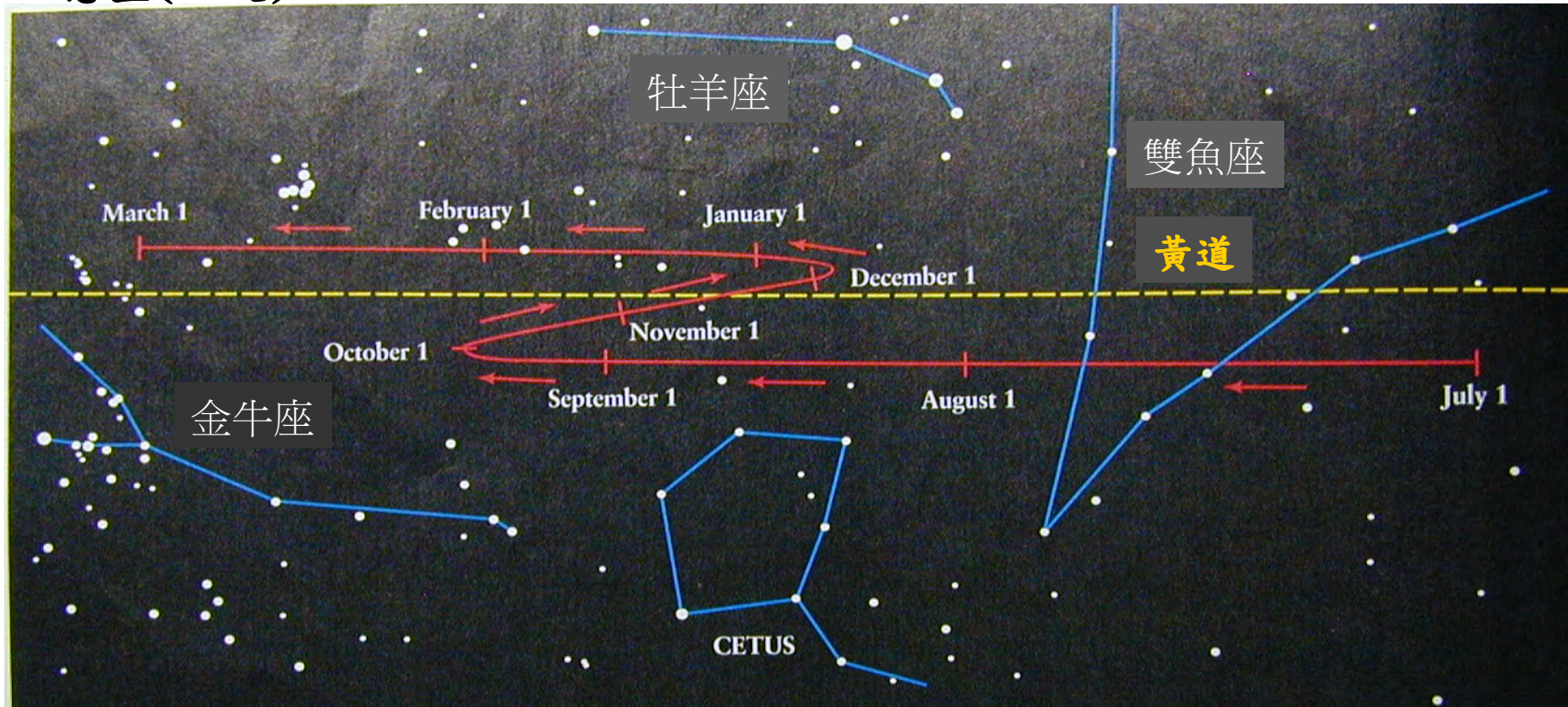
At a distance of 1,500 light-years, the Orion Nebula is the closest star-forming region. Hot, young stars create a tapestry of glowing gas and dust. p. 34

行星的逆行(留)

行星(會走的星)

planet源自希臘文，意指漫遊者(wanderer)

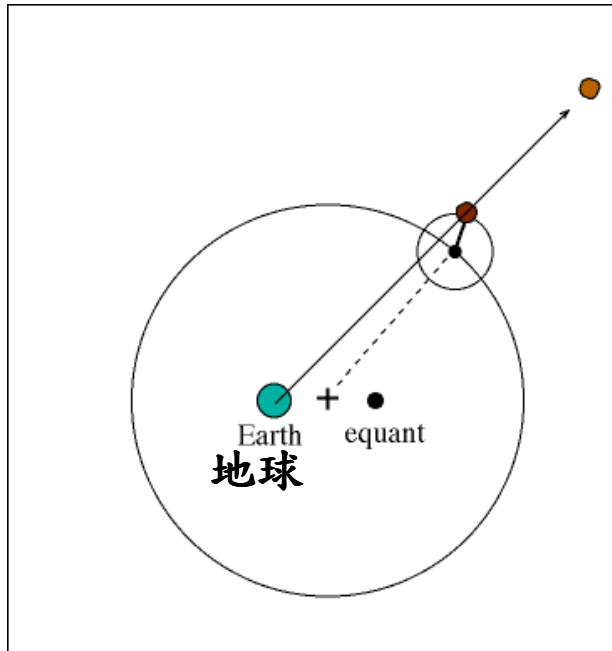
惑星(日文)



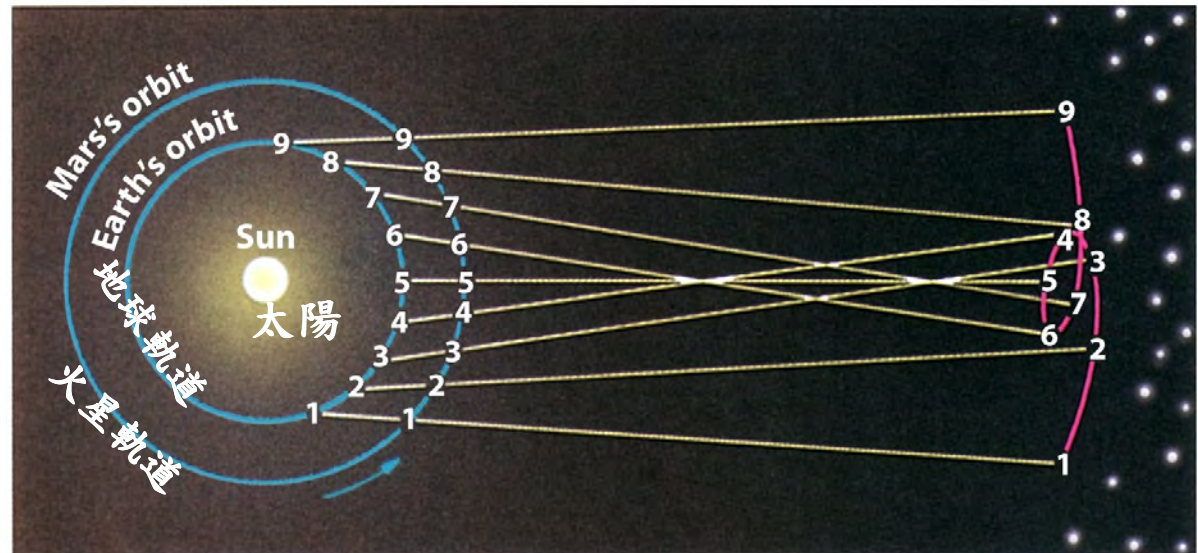
火星於2005-2006在空中的軌跡

思想的蛻變

托勒密：地球為中心



哥白尼、刻卜勒、牛頓：太陽為中心



<http://abyss.uoregon.edu/~js/glossary/ptolemy.html>

海王星的發現

自 Herschel 爵士發現，天王星運行比預期的快。

Herschel 爵士於1822年過世，那年以後，天王星運行比預期的慢！

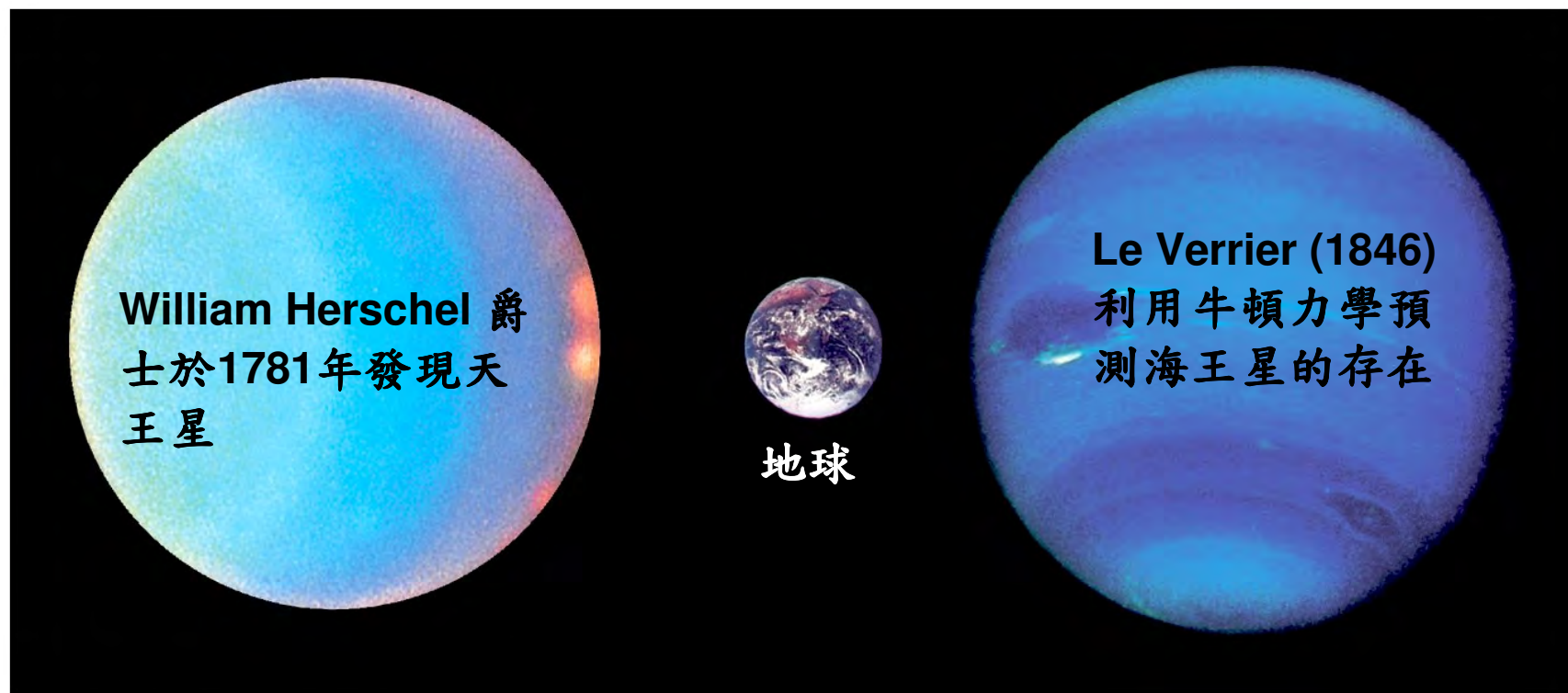


Figure 8-28 part 2
Discovering the Universe, Seventh Edition
© 2006 W. H. Freeman and Company

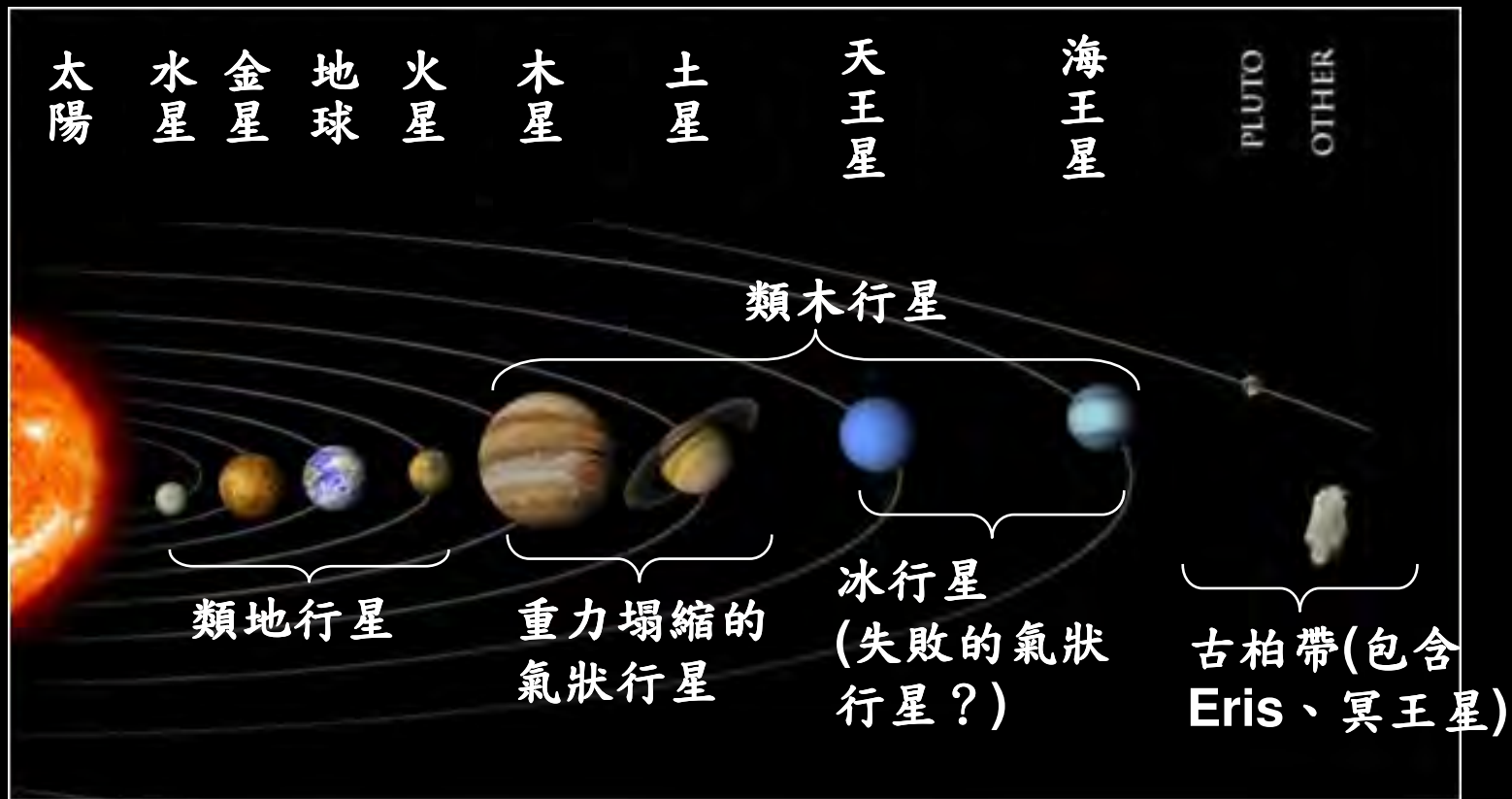
甲烷吸收紅光

微擾不微

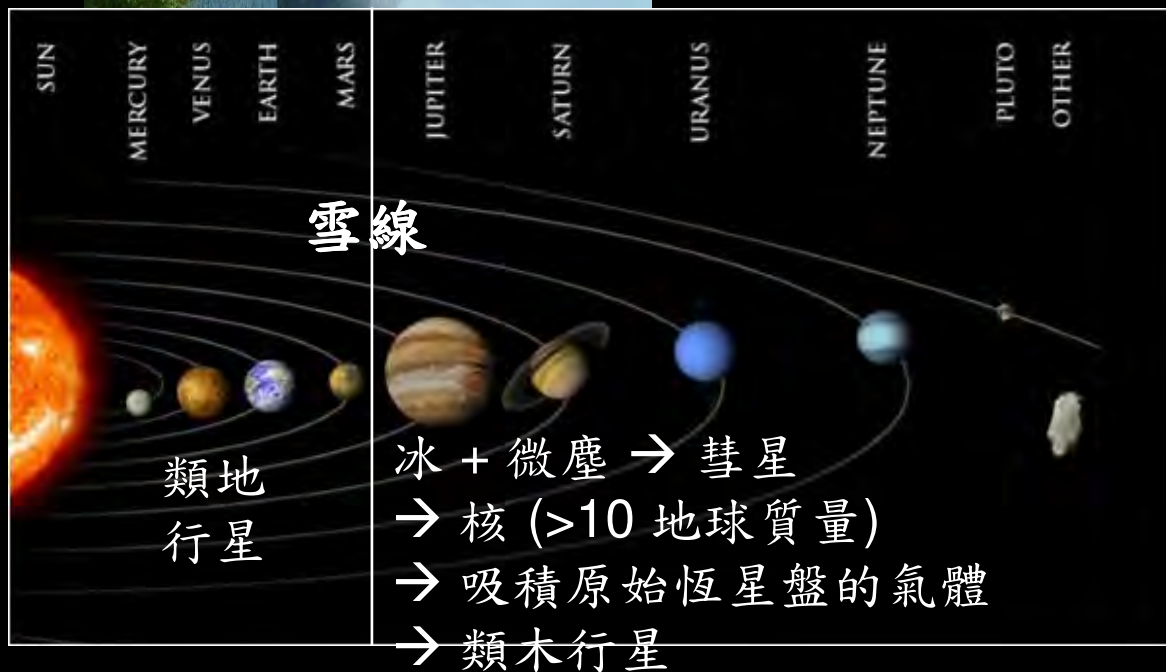
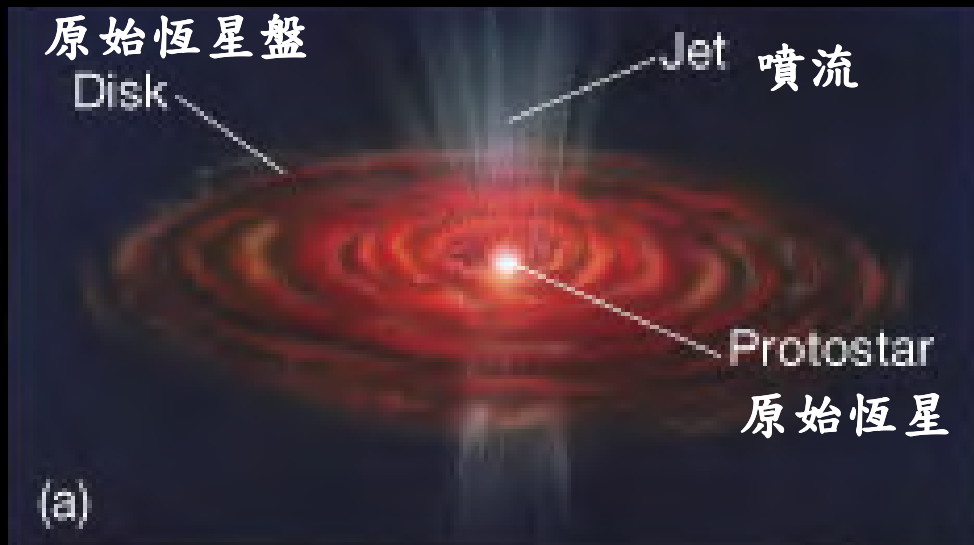
驟眼看去，令人頭昏目眩
仔細觀察，才知其中奧妙

行星的定義：類地/類木

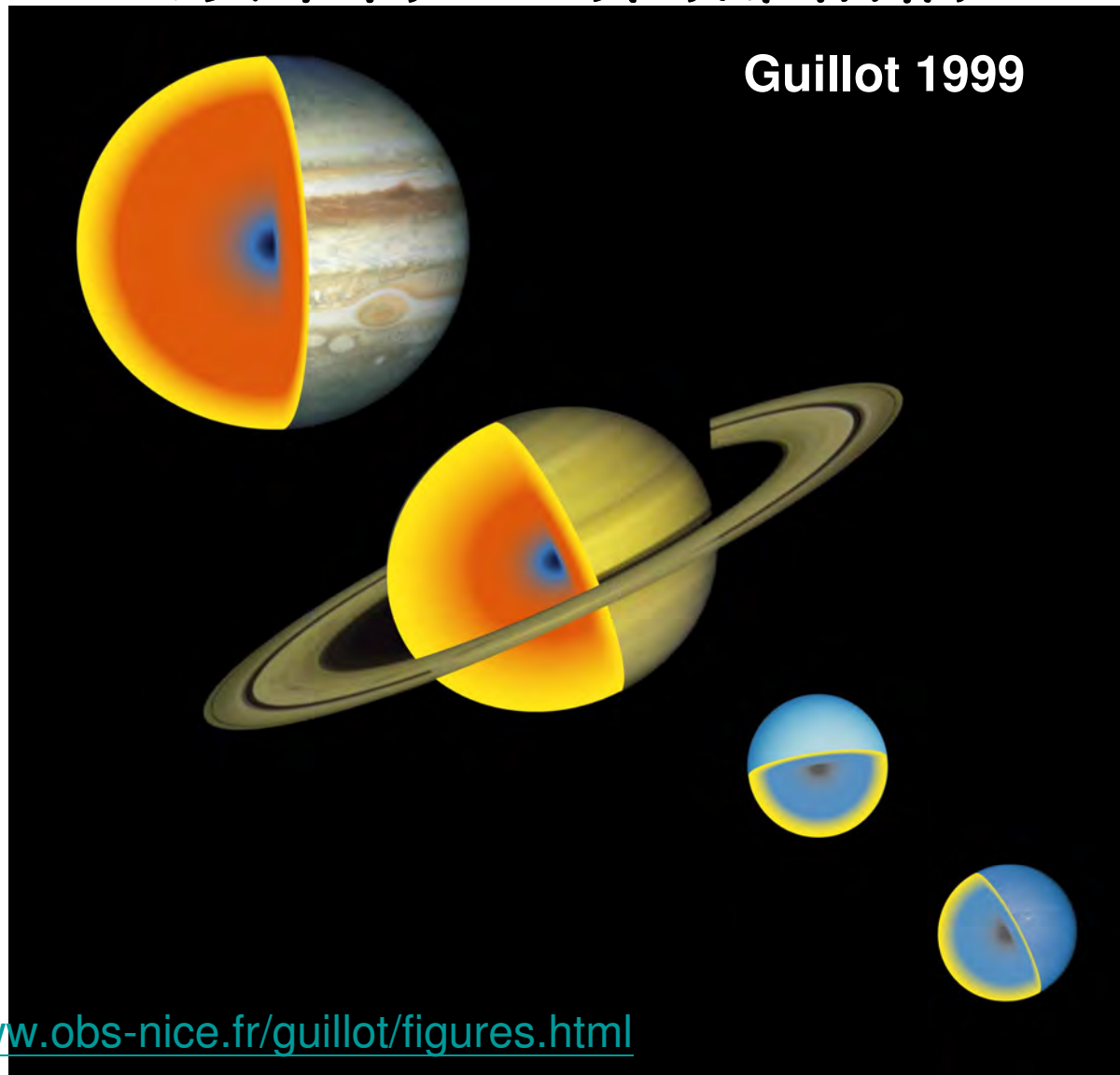
- ◆ 環繞著恆星：質量 < 13 木星質量 (棕矮星), 無原子核融合反應
- ◆ 質量大而成球狀
- ◆ 已清除軌道附近的小天體



原始恆星盤中的雪線



類木行星的內部結構

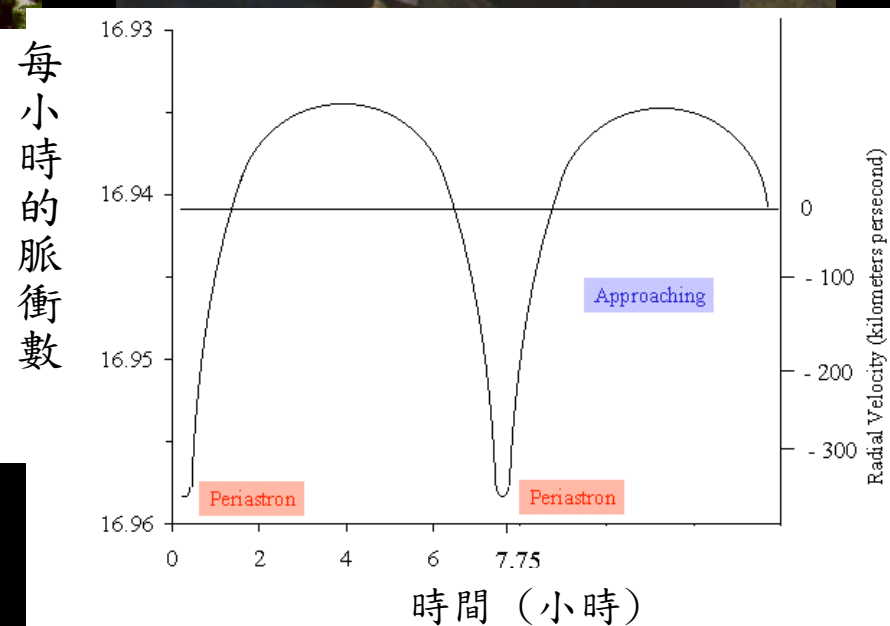
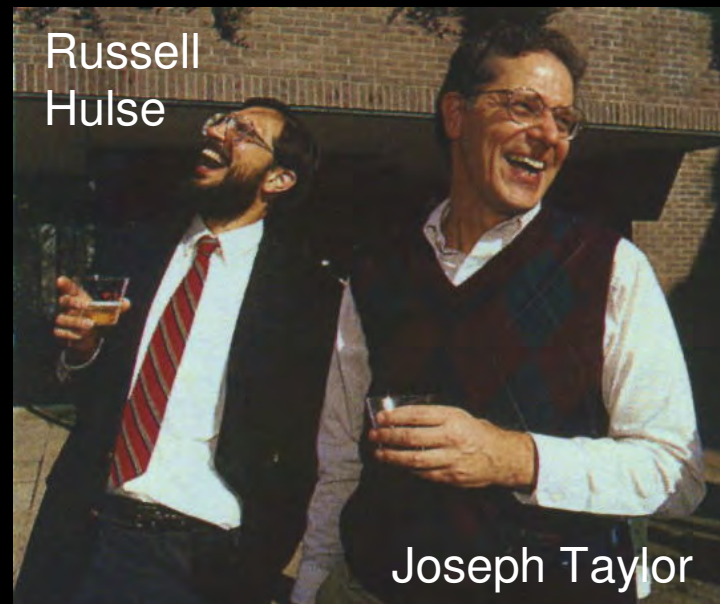


1993 年諾貝爾物理學獎



1974年, 他們發現波霎(脈衝星)
PSR 1913+16有 7.75 小時的週期變化
→ 此波霎與另一個中子星互繞

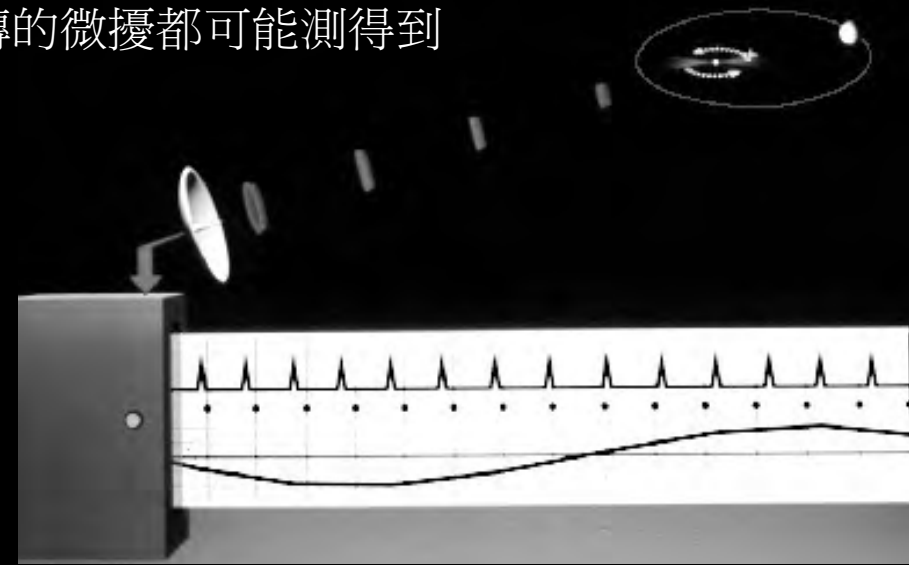
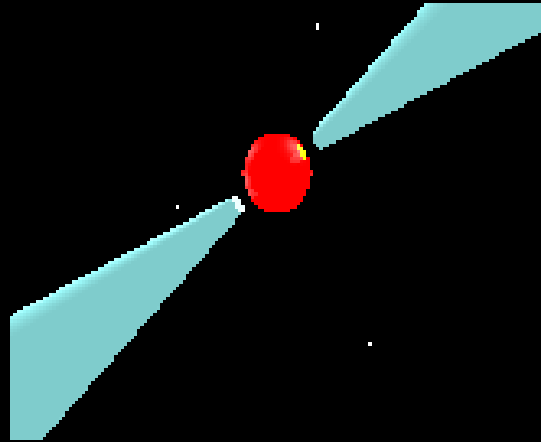
註: 1974年, Frank Drake 和 Carl Sagan 傳送阿里次波訊息到外太空



第一個系外行星系統：波霎行星

波霎是極準的時鐘 → 連小行星公轉的微擾都可能測得到

MPIfR-Bonn Pulsar Group



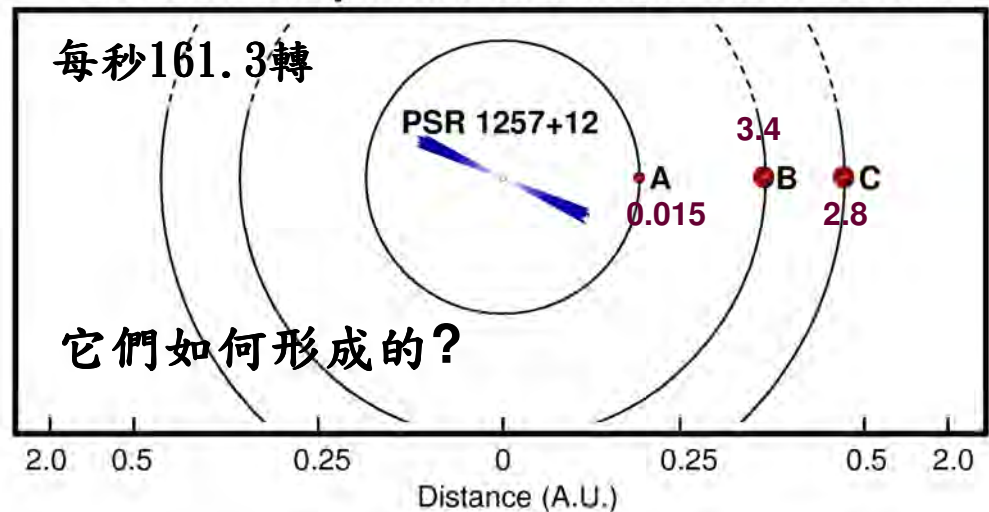
繞著時鐘的岩石！

1992年 Wolszczan & Frail
利用阿里次波無線電波
望遠鏡



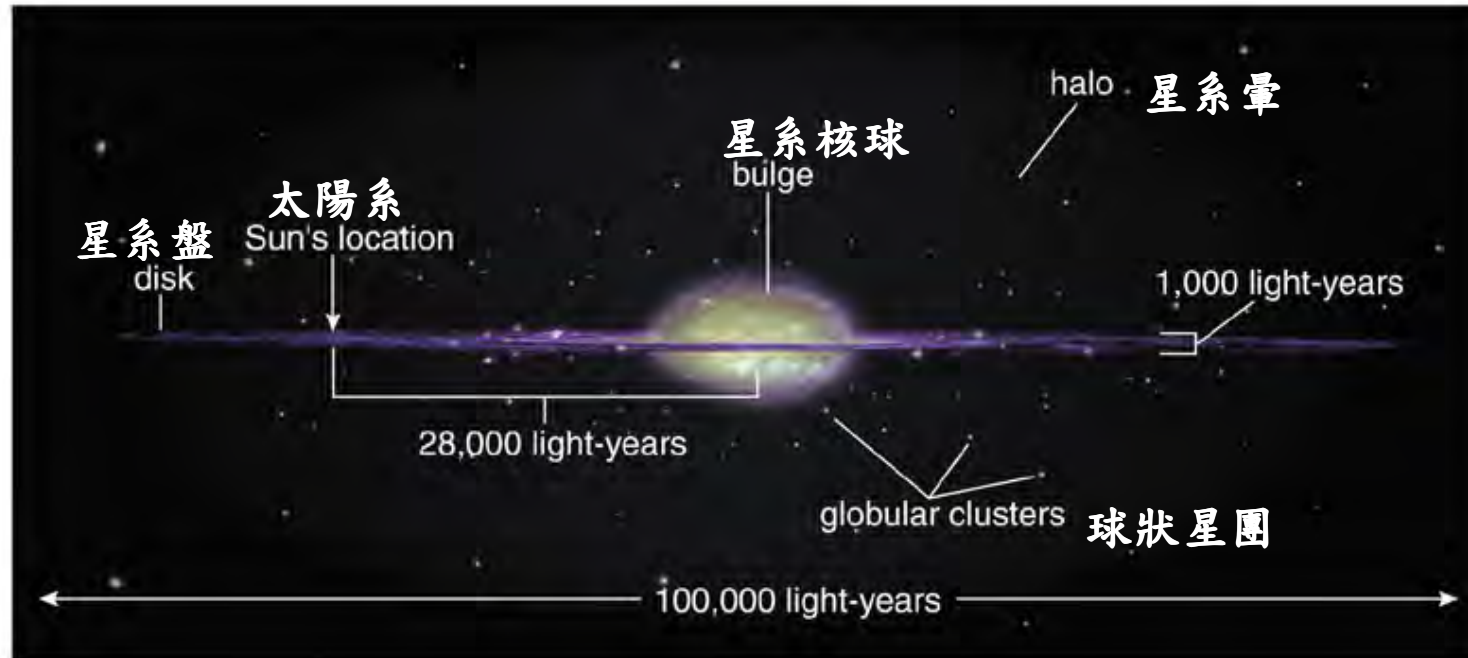
Earth-mass planets around a neutron star

每秒161.3轉



第一個發現的事件 通常是特例

銀河系結構

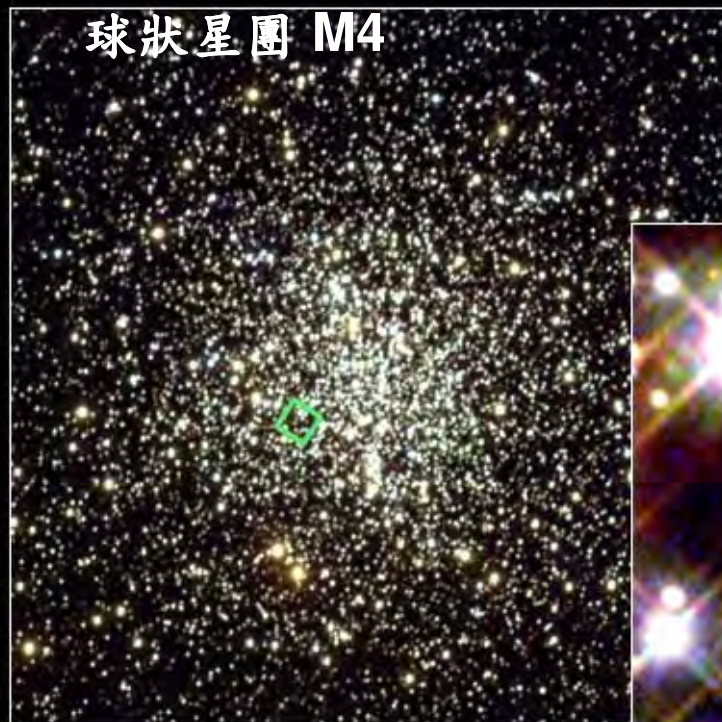


波霎行星: ≥ 1.7 木星質量

Sigurdsson 等人 2003

Globular Cluster M4

Location of white dwarf
companion to pulsar B1620-26



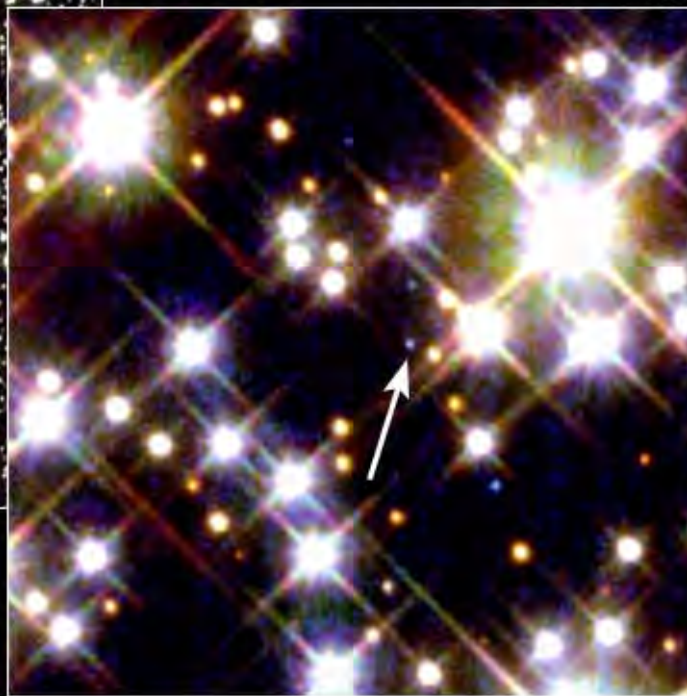
球狀星團 M4

NOAO

哈伯太空望遠鏡

Hubble Space Telescope • WFPC2

NASA and H. Richer (University of British Columbia)
STScI-PRC03-19b



HST



行星如何在
球狀星團形成
以及倖存?

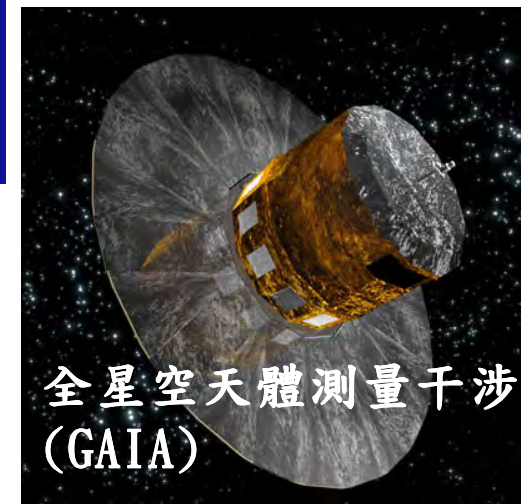
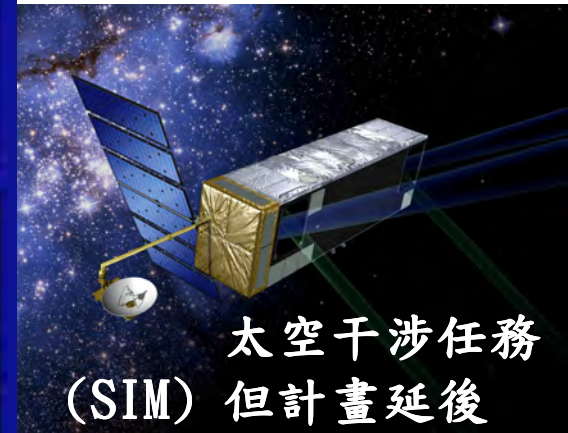
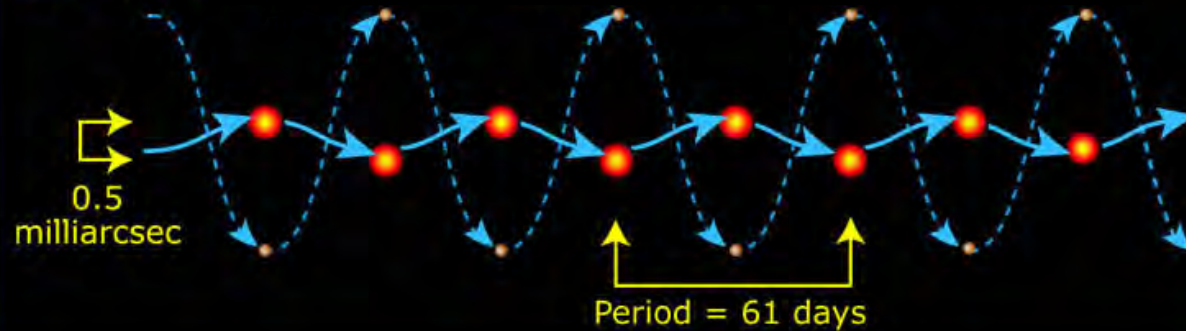
問題：
原料稀少
恆星重力干擾

天體位置測量

Star Gl 876 沒有行星：恆星直線運動



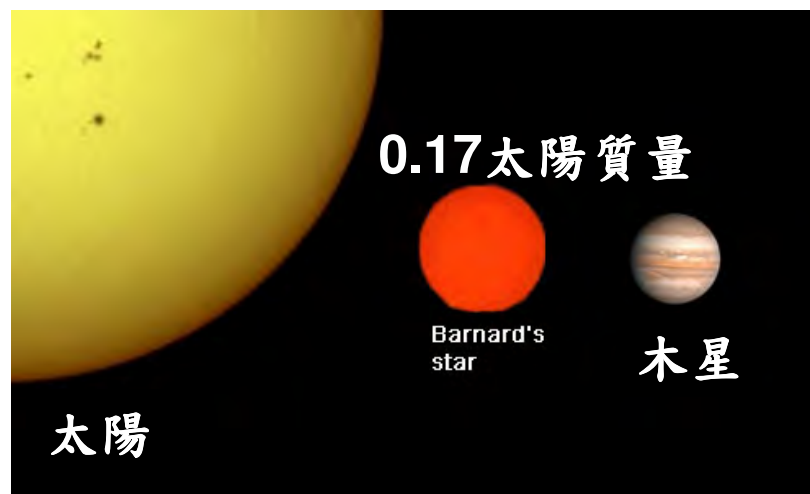
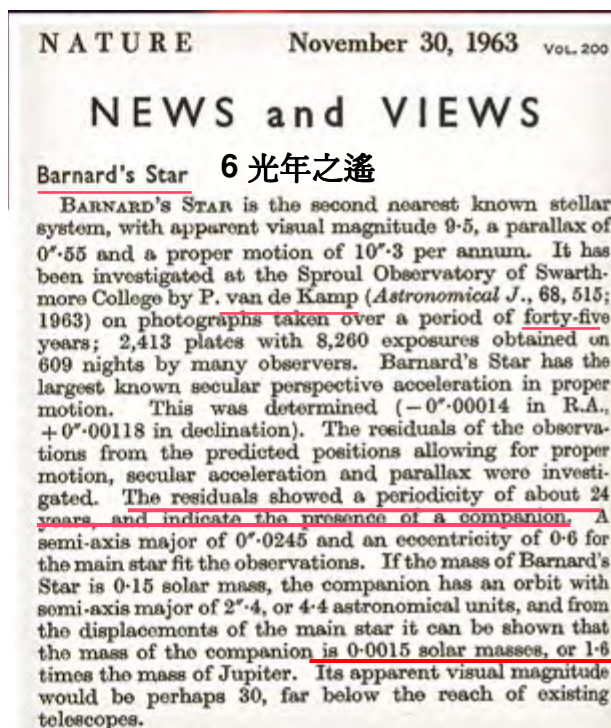
Star Gl 876 帶著一個看不見行星：恆星晃動(以小搏大)



有如要從地球上解析在月球上的一隻螞蟻。

可能發現在30光年距離以內，
比地球質量大若干倍的系外行星，
落在所謂的可居住帶。

透過天體位置測量的錯誤發現



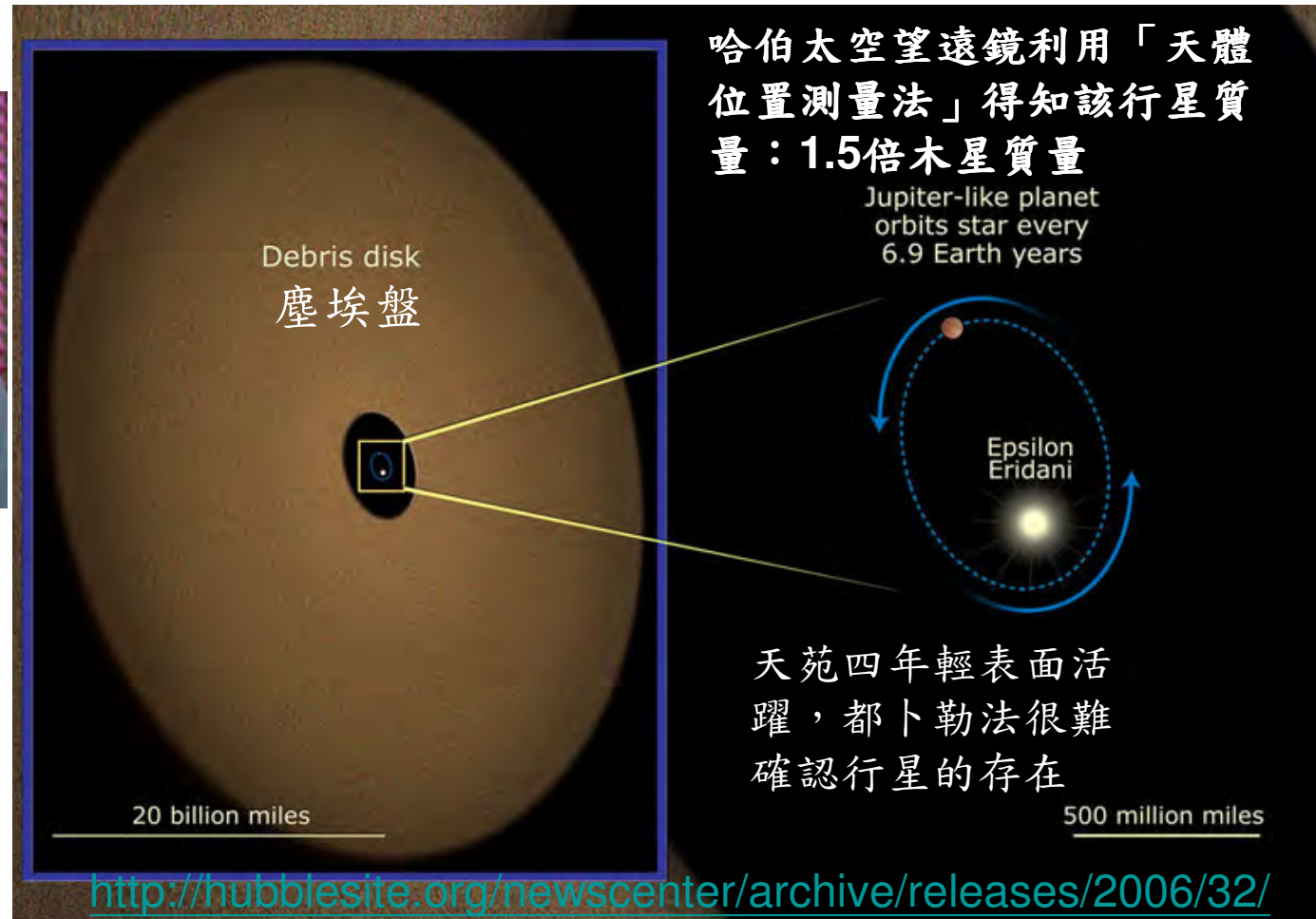
van de Kamp 一直拒絕承認自己的錯誤。他死於1995年。但在同年，天文學家發現第一個環繞在主星序星的系外行星和棕矮星。

波江座天苑四 (Epsilon Eridani)



星艦奇航記
史巴克(Spock)的
家鄉：瓦爾肯星
(Vulcan)

歐茲瑪(Ozma)
計畫



瓦爾肯星可以存在嗎？



<http://www.csicop.org/si/9801/hines.html>

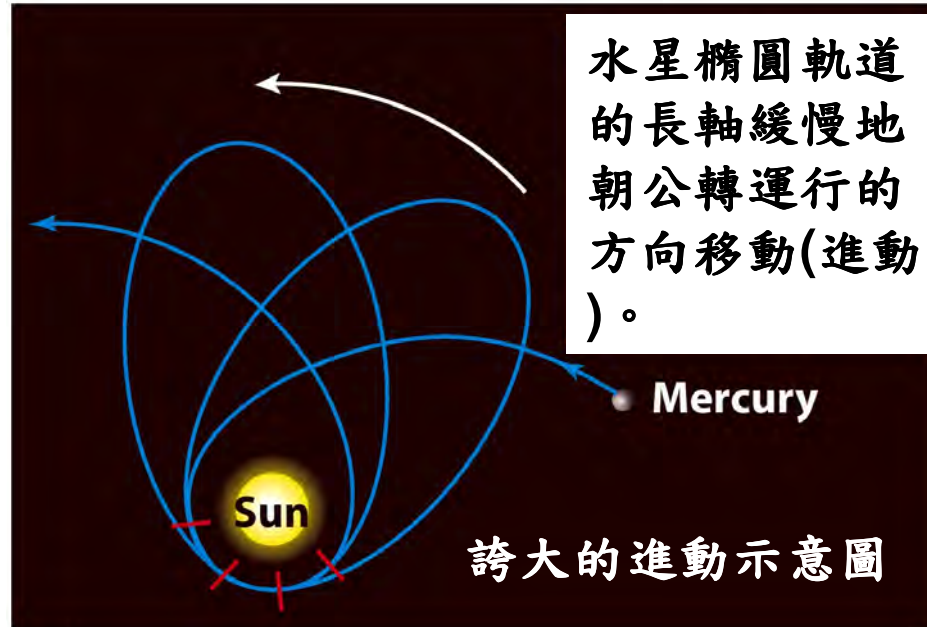
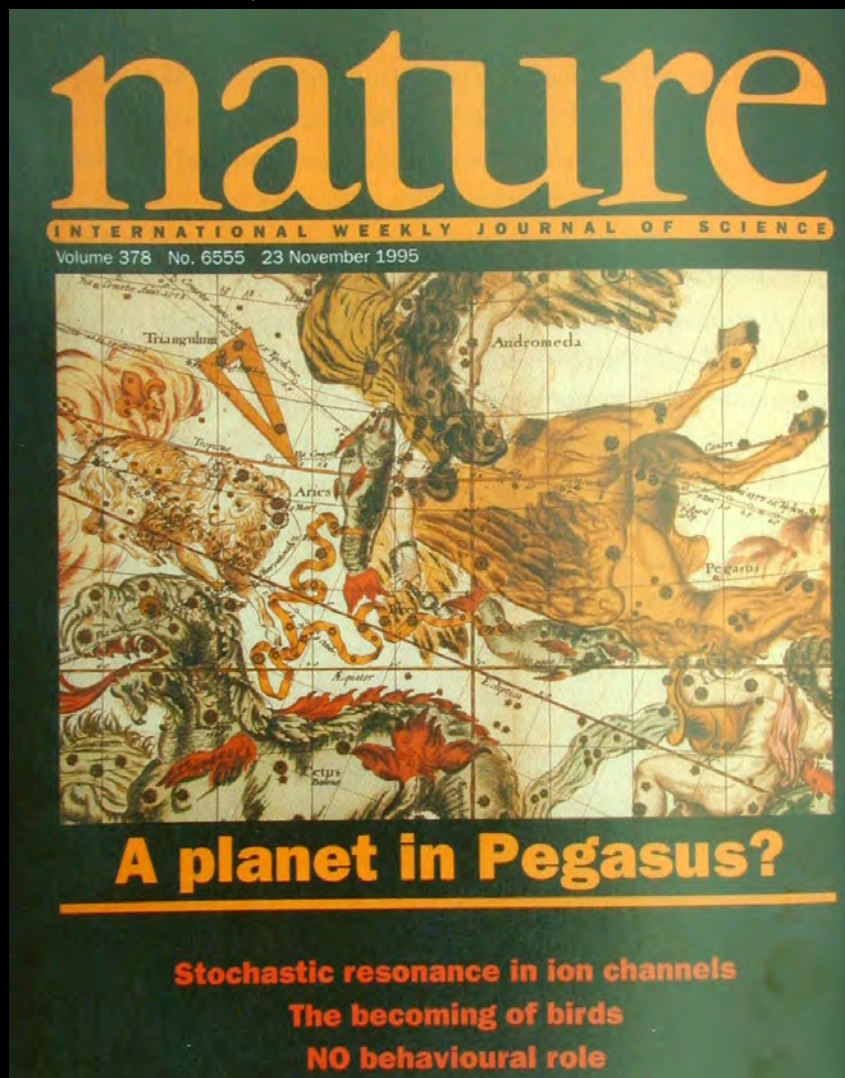


Figure 14-7
Discovering the Universe, Seventh Edition
© 2006 W. H. Freeman and Company

在19世紀，有大約10%的水星進動速度無法用牛頓力學來解釋。愛因斯坦的廣義相對論解釋了這個難題。

Mayor & Queloz 於1995年發現第一個環繞 類似太陽恆星的行星：飛馬座的51b星



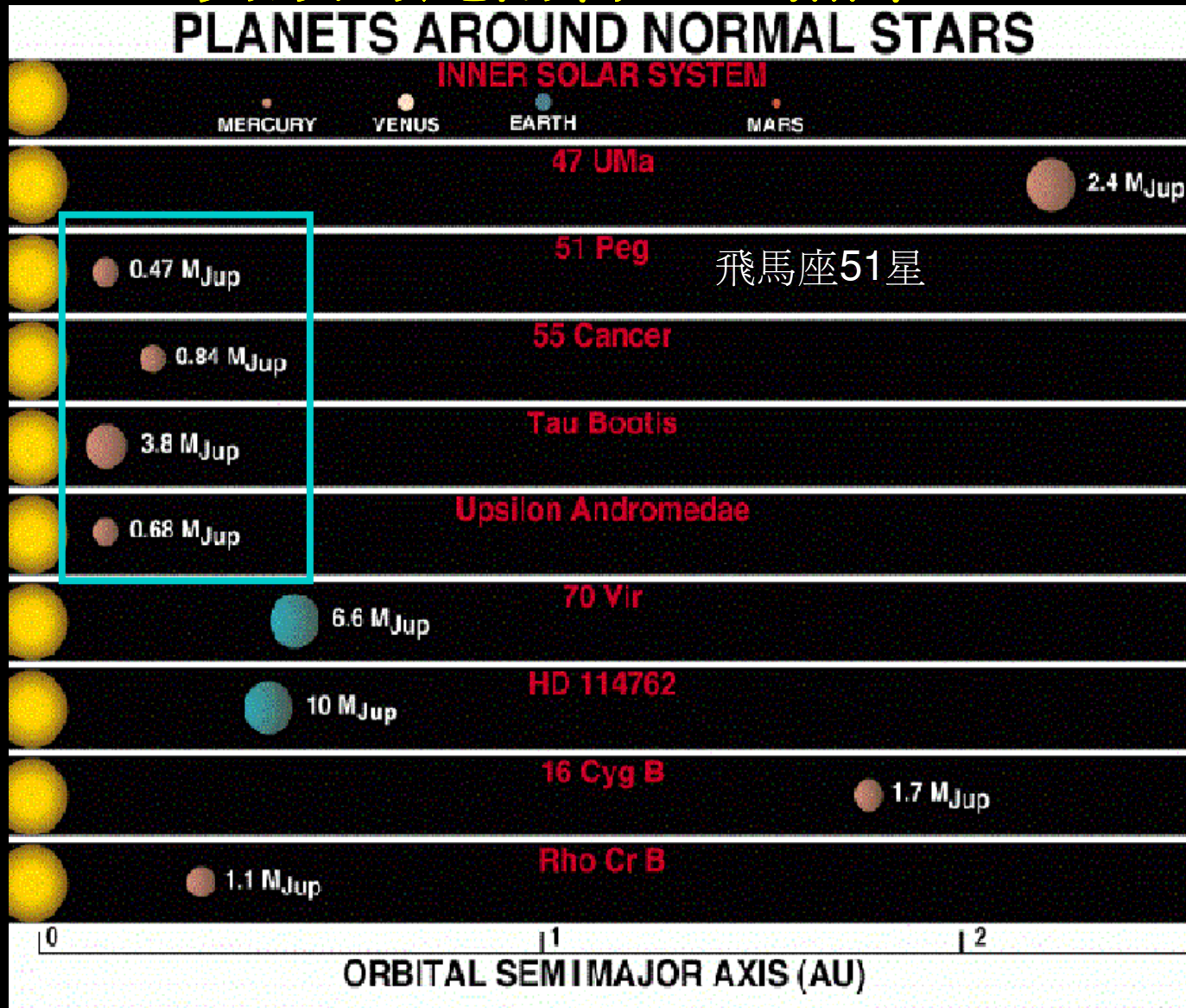
International Colloquium
十周年慶會議海報
Tenth Anniversary
of 51 Peg-b
Status of and prospects for hot Jupiter studies
22 - 26 August 2005
Observatoire de Haute-Provence (France)

S.O.C.
F. Allard
M. Boer (co-Chair)
D. Charbonneau
G. Marcy
M. Mayor (Chair)
C. Moutou
J.C.B. Papaloizou
D. Queloz
D. Sasselov
A. Udalski
A. Vidal-Madjar
G. Walker

L.O.C.
L. Arnold
M. Boer
F. Bouchy
A. Lalage
C. Moutou

Contact
www.obs-hp.fr/~51peg10y/
51peg10y@oamp.fr

另類的瓦爾肯星：熱木星！



找尋系外行星：都卜勒光譜位移

找尋規則

- 附近類似太陽的恆星
- 非緊密雙星系統

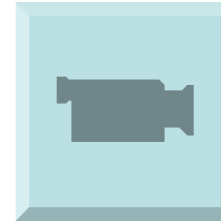
波長位移 $\Delta\lambda/\lambda \approx$ 一億分之一

c.f. 木星 $\rightarrow V_{\text{太陽}} =$ 每秒3米

地球 $\rightarrow V_{\text{太陽}} =$ 每秒 0.01 米

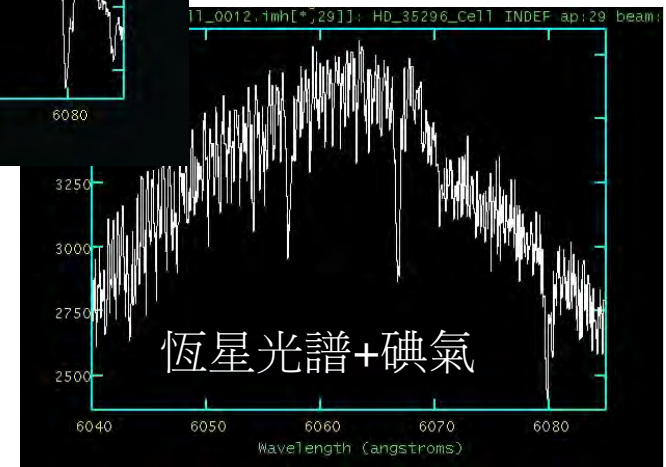
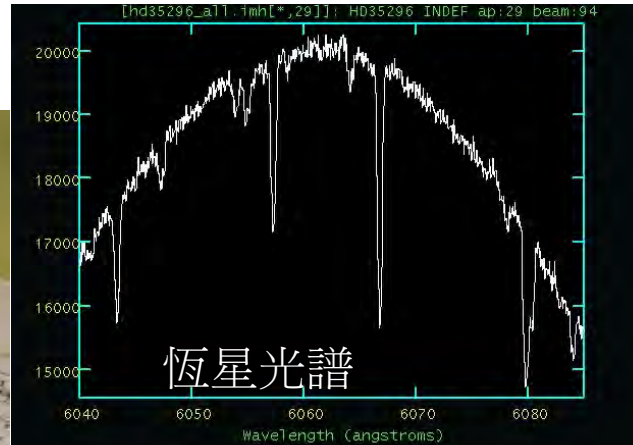
目前記錄： $V_{\text{恆星}} =$ 每秒 1 米

動畫：

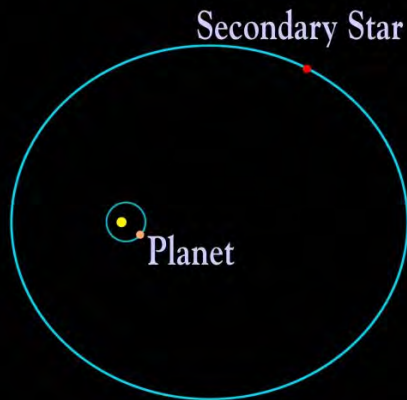
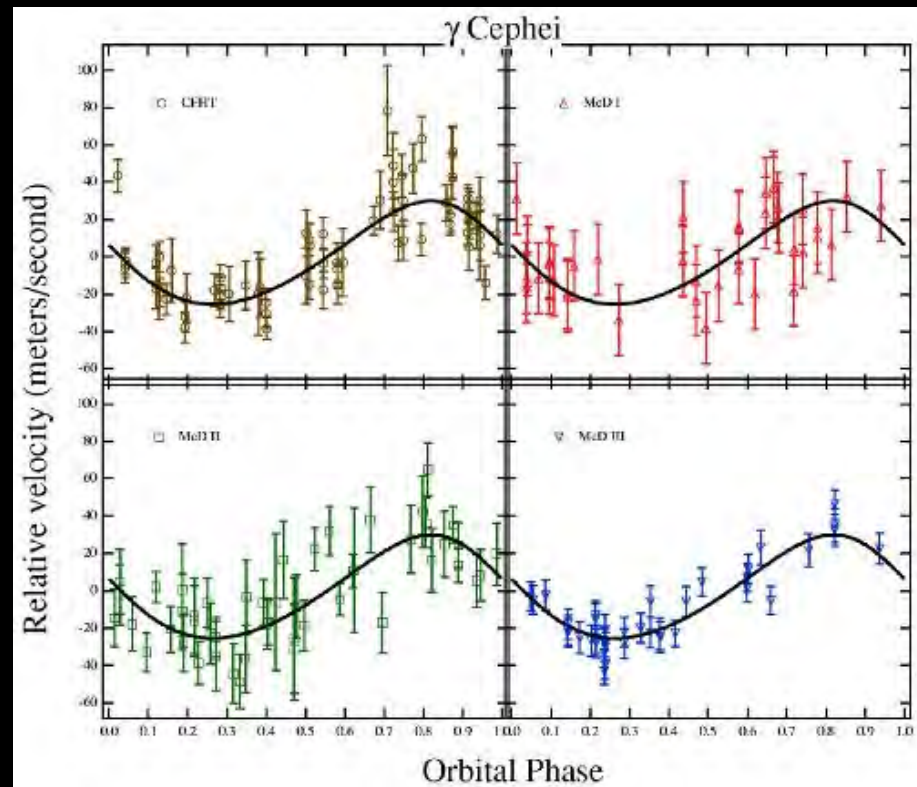
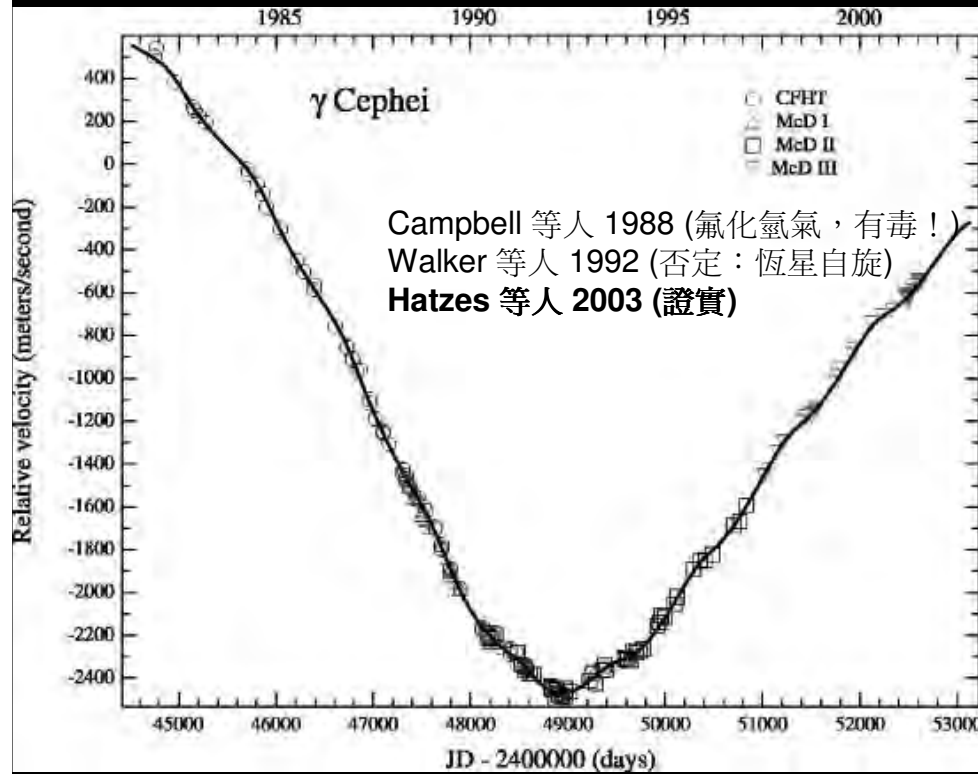


網頁：<http://www.oklo.org>

(類似SETI@home的計劃)



Gordon Walker 的發現和懷疑



仙王座 γ 星 (少衛增八; Alrai "the Shepherd"):
(45 光年之遙, K1 evolving subgiant, 1.6 太陽質量)
行星資料: 質量 > 1.7 木星質量, 軌道週期 = 906 天,
軌道半徑 = 2.13 地日距離, 離心率 = 0.12

2005年邵逸夫天文學獎



2006/12/30

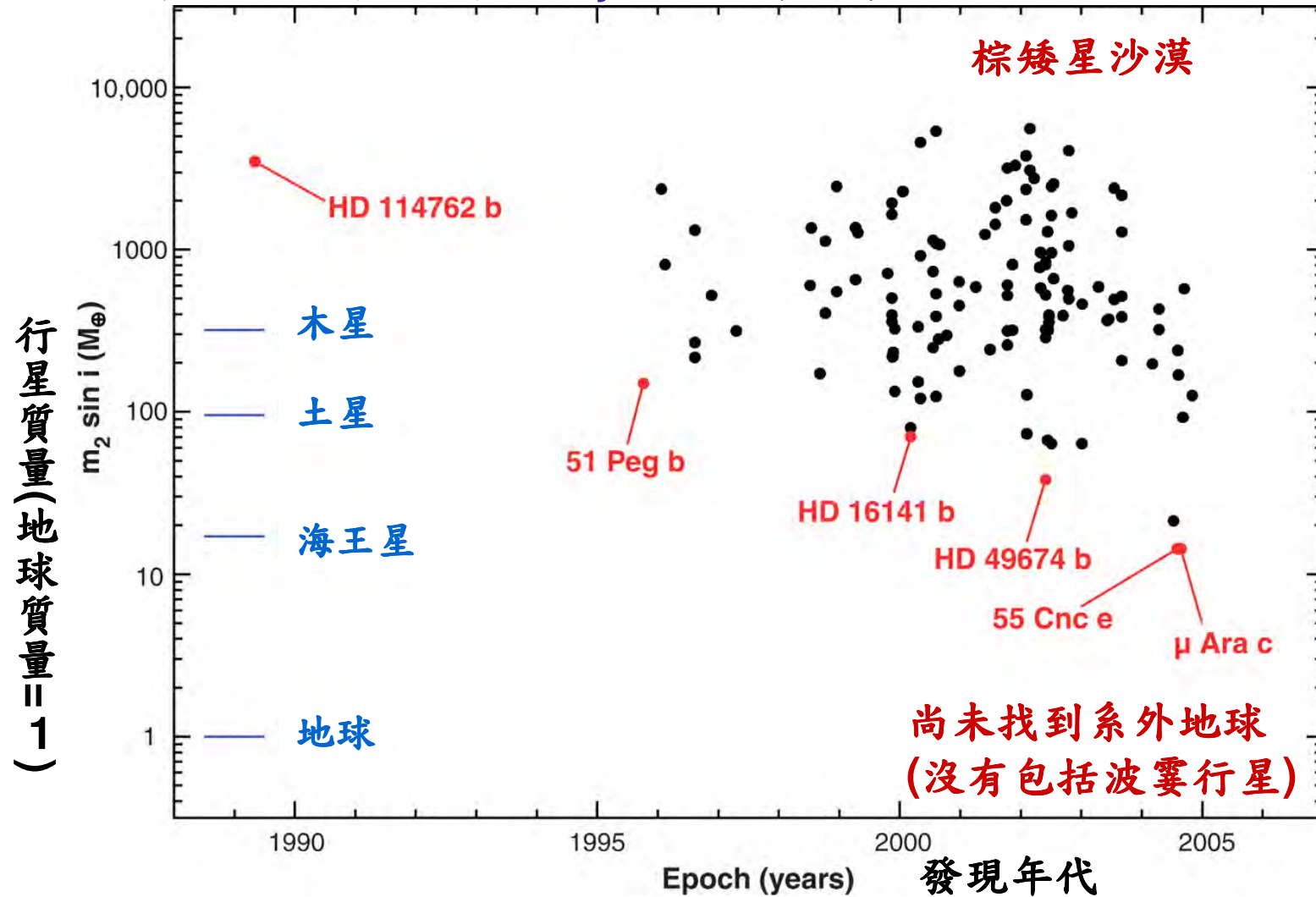
辜品高：天外飛星(天文館演講)

23

已發現的系外行星

<http://www.obspm.fr/planets> 超過200個系外行星

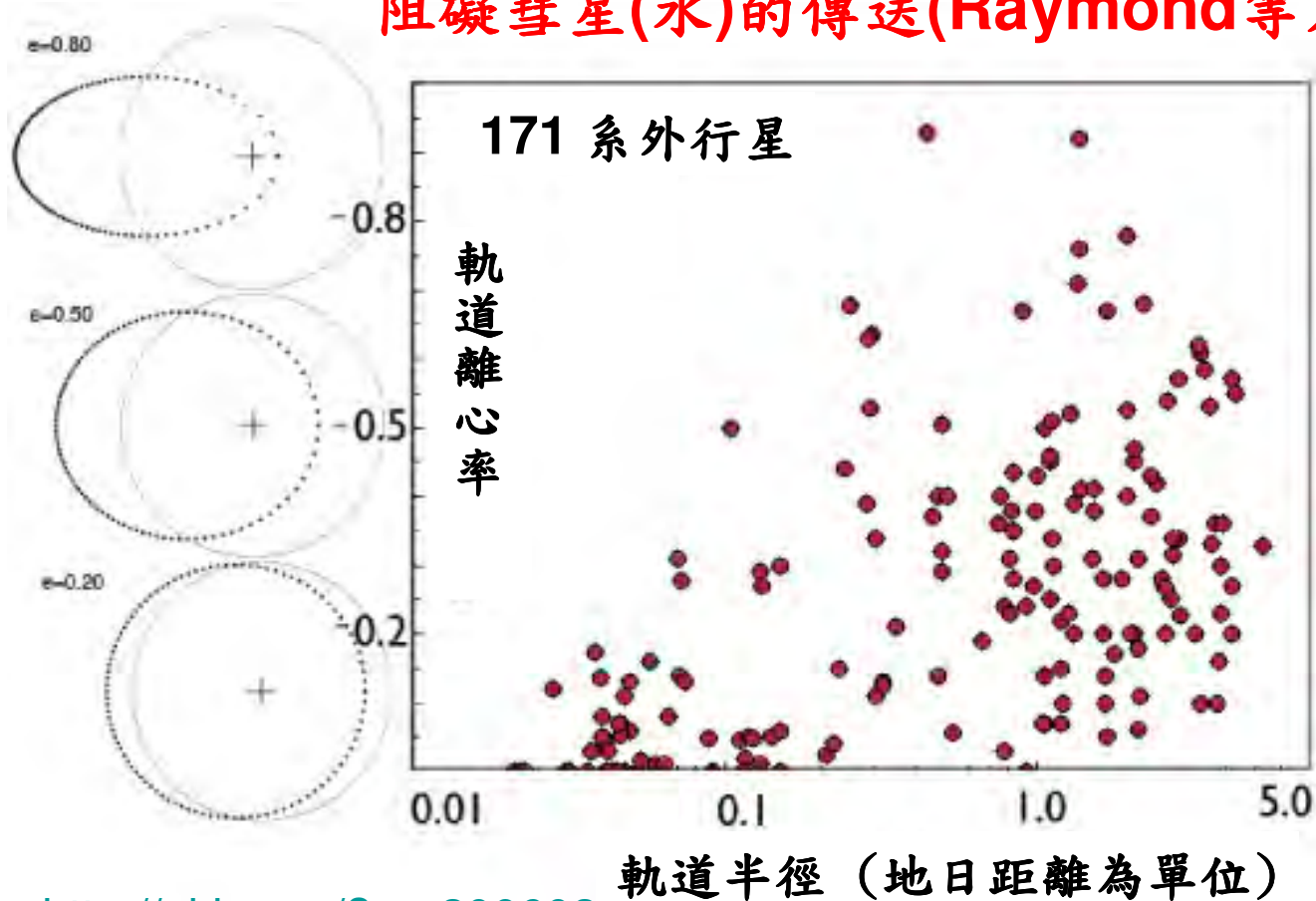
摘自 Santos, Benz, & Mayor 2005年科學雜誌



橢圓軌道

為什麼軌道是那麼橢圓？

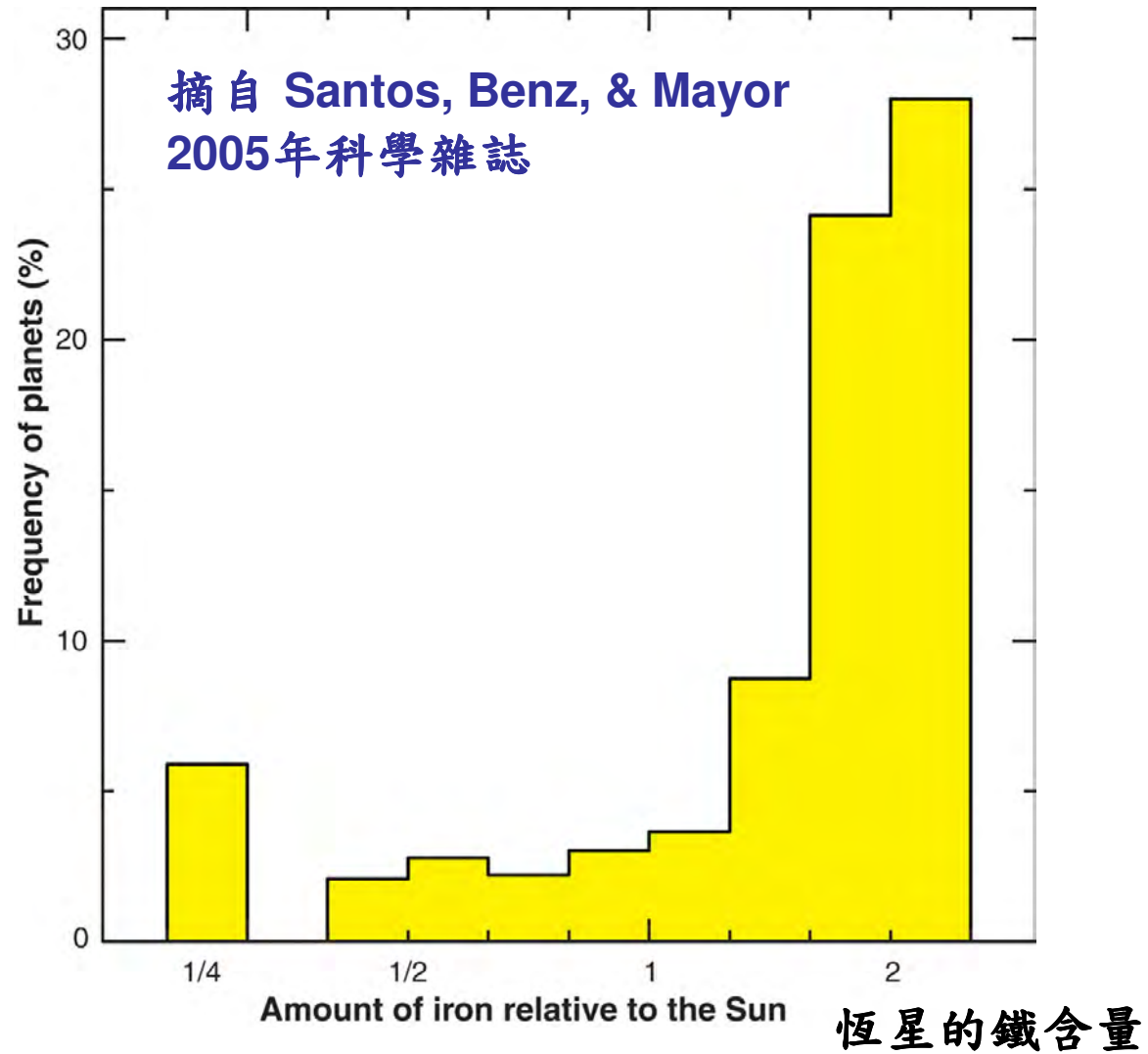
阻礙彗星(水)的傳送(Raymond等人2004)？



<http://oklo.org/?m=200603>

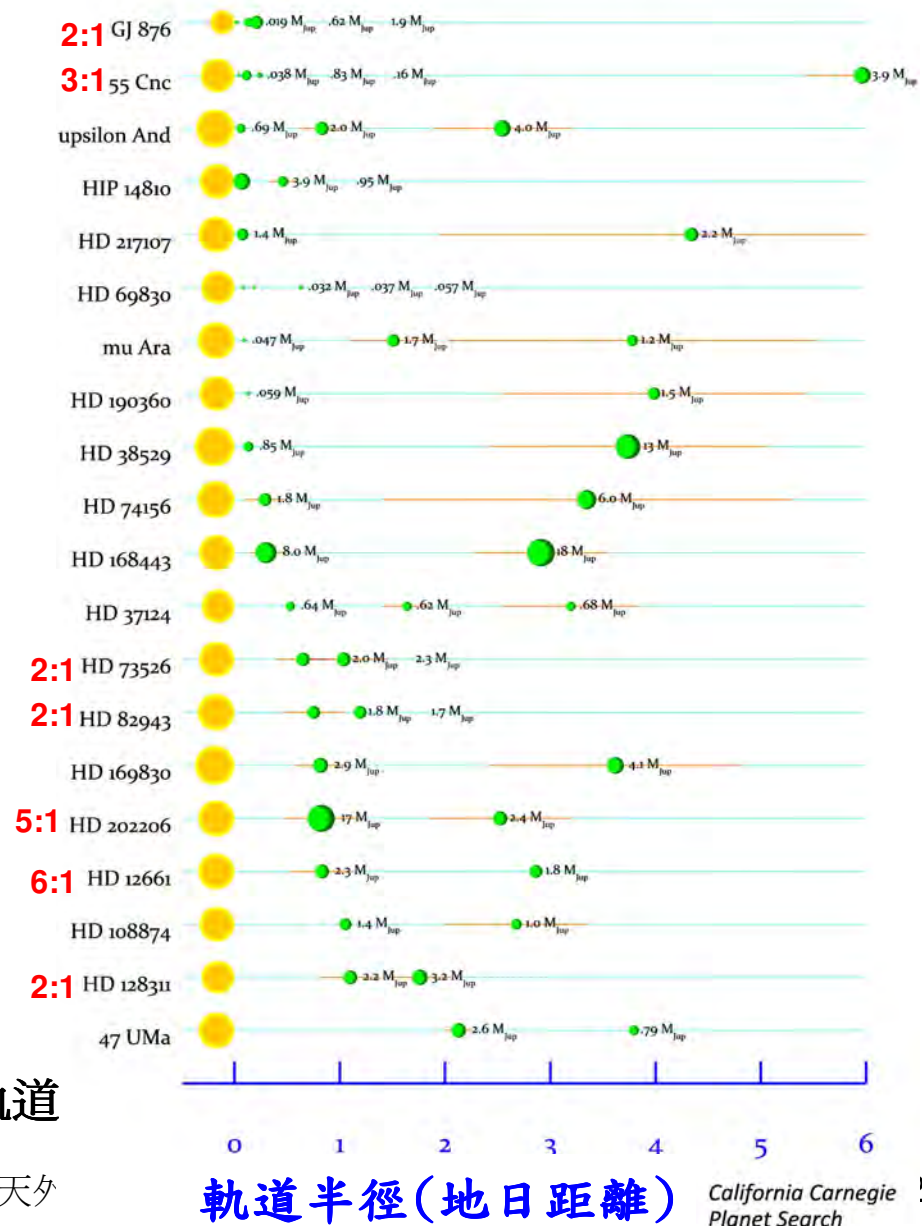
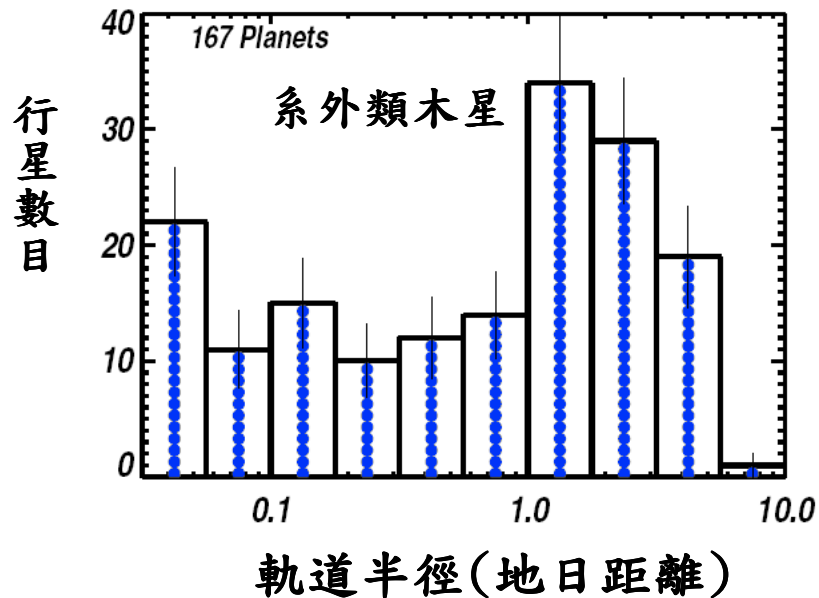
行星形成需要岩石或鐵

發現行星
的機率



如何同時解釋 雪線以內軌道 和軌道共振

20 已知多行星系統



拜訪 <http://www.oklo.org>
 幫忙天文學家找系外行星
 並且「聽到」行星合諧或不合諧的軌道

2006/12/30

辜品高：天夕

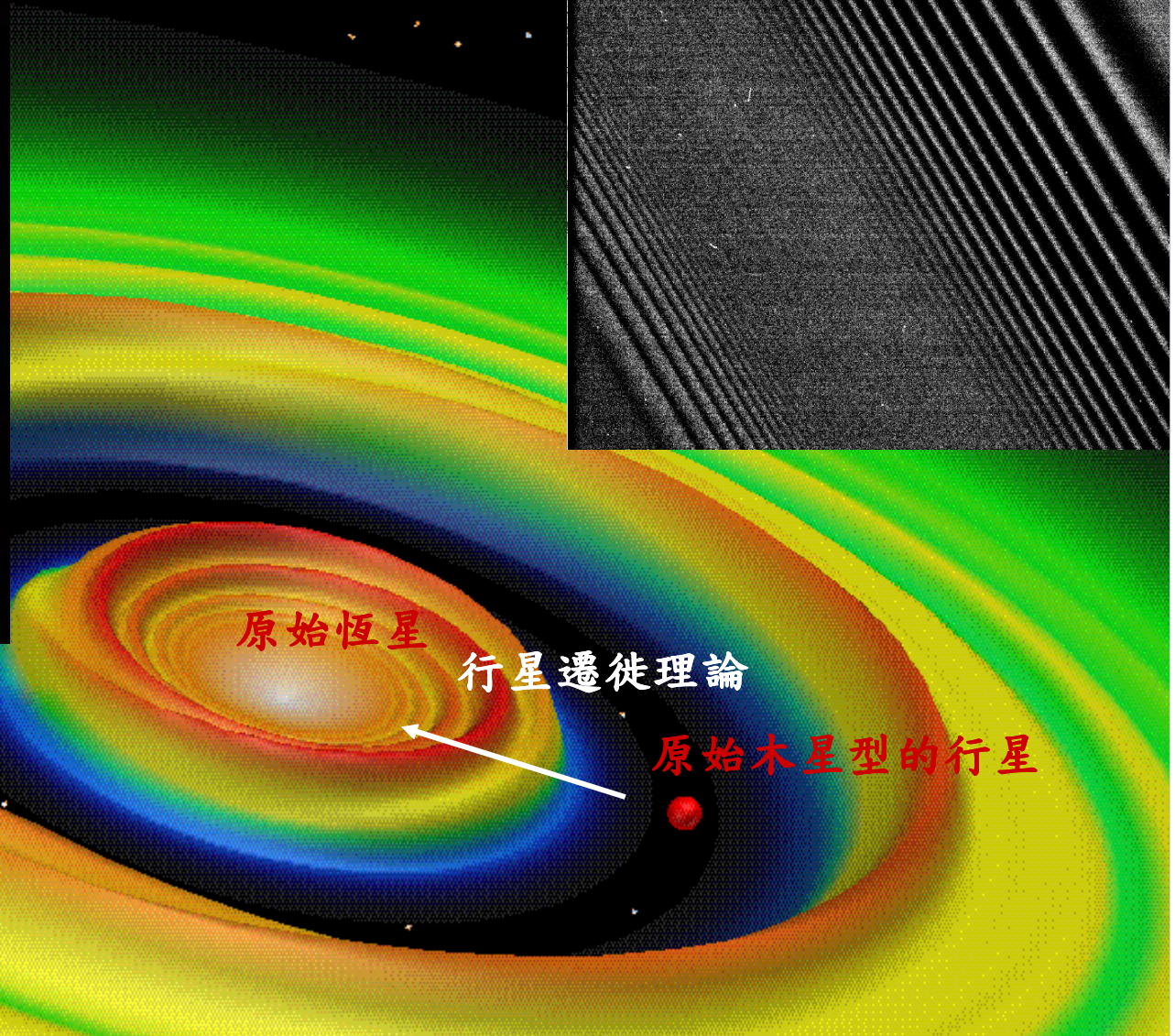
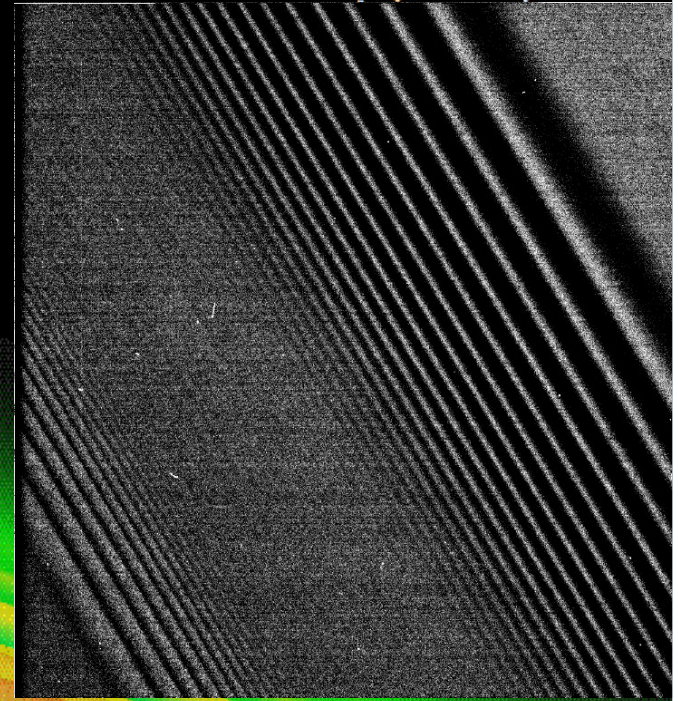
軌道半徑(地日距離)

Geoff Bryden 的電腦模擬：原始恆星盤內的密度波 與旋渦狀星雲、土星環上的波原理相同

Whirlpool Galaxy • M51



Hubble
Heritage



原始恆星

行星遷徙理論

原始木星型的行星

2005 跨年倒數：遲一秒

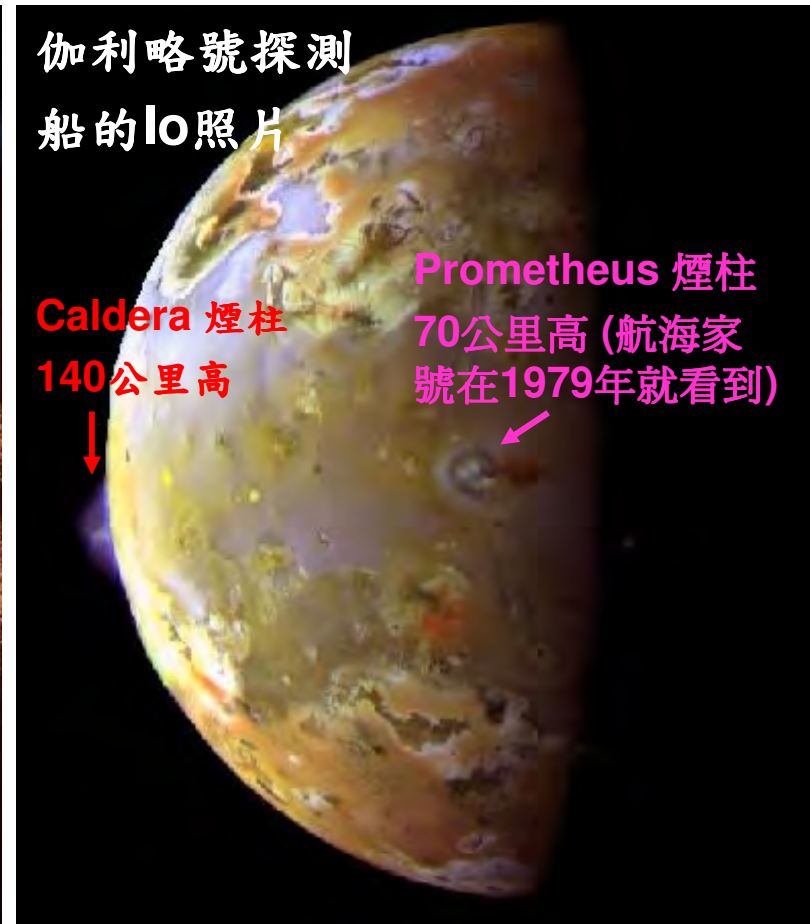
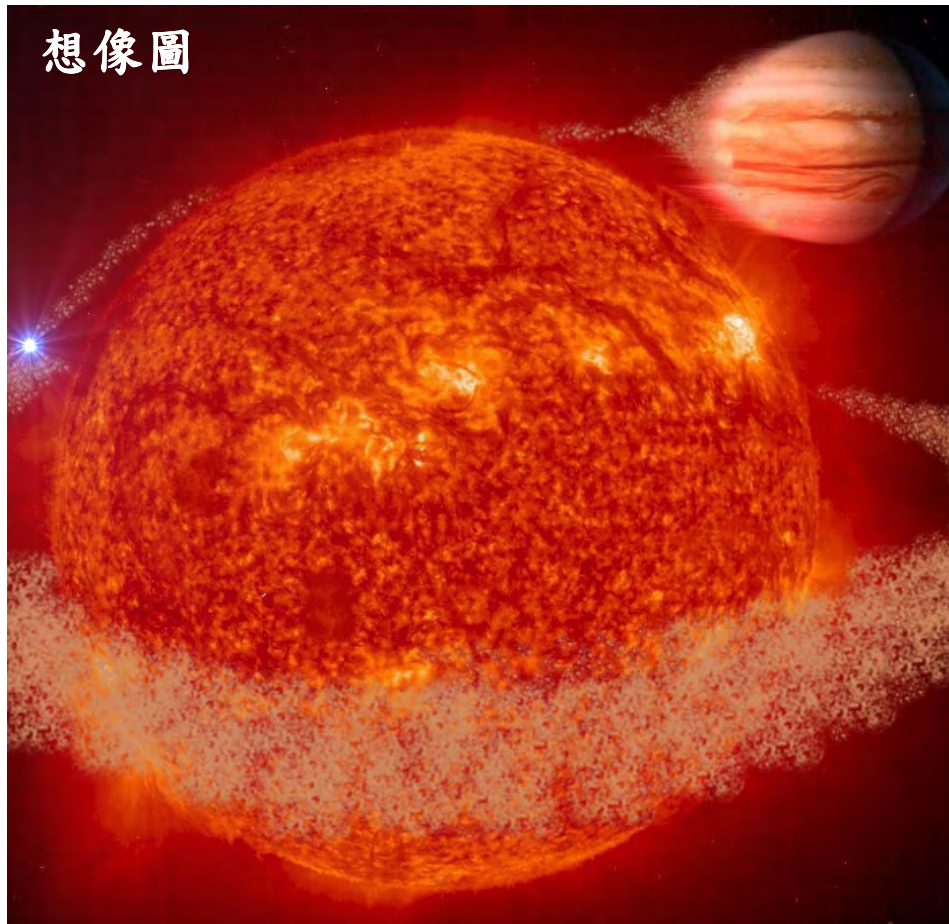


2006/12/30

辜品高：天外飛星(天文館演講)

29

軌道圓化 → 潮汐加熱 我, Bodenheimer, 和 Lin 的模型

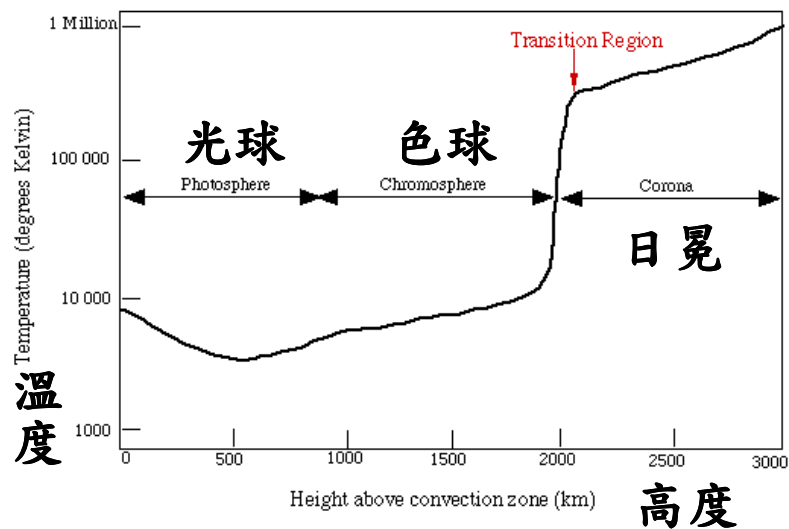


木星的極光與地球的不同



行星所引起的色球活動 (離子鈣 H & K 輻射) (我, Shkolnik, Walker, Bohlender, & Kuerster 的模型)

Shane Erno 的想像圖 (<http://www.astro.ubc.ca/News/ES.html>)



離子鈣變化週期 =
熱木星軌道的週期

磁場波 (Alfven wave)
所引起?

熱點?

熱木星



熱木星和三個日落

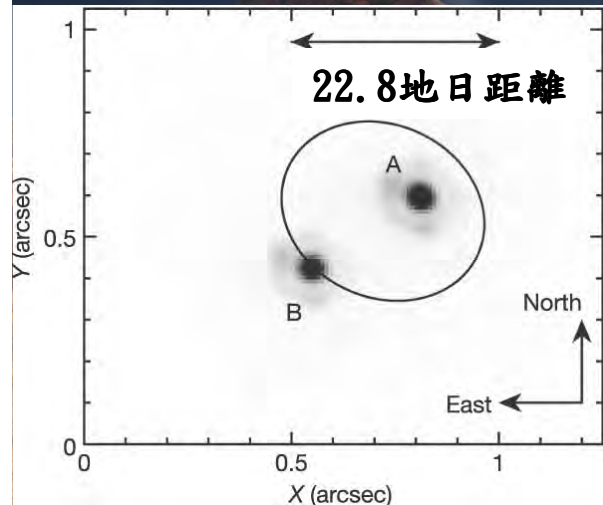
<http://www.phy.ncku.edu.tw/~astrolab/mirrors/apod/ap050805.html>

HD 188753 系統想像圖

雪線外的原始恆星盤會被破壞
→ 行星如何形成？

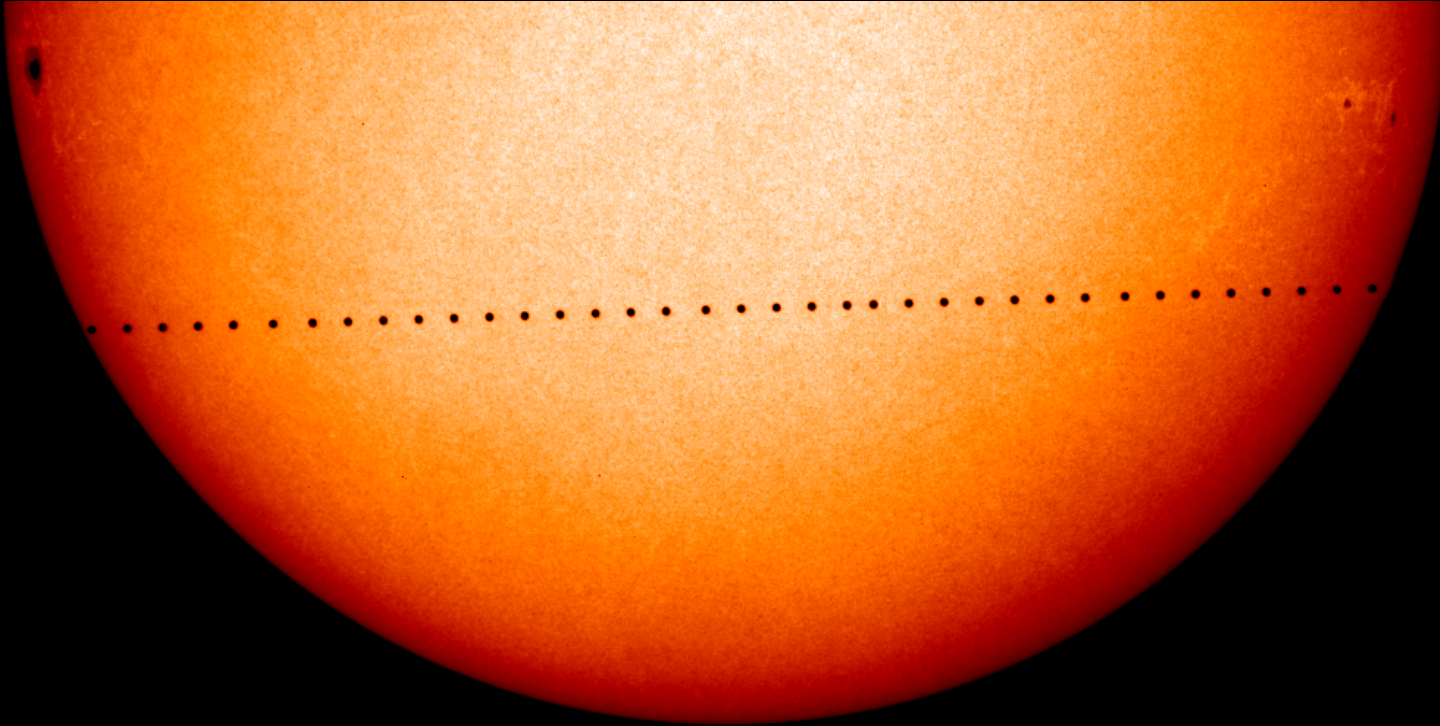
Eric Pfahl: 早期疏狀星團內恆星交換舞伴

Konacki 2005年
自然雜誌



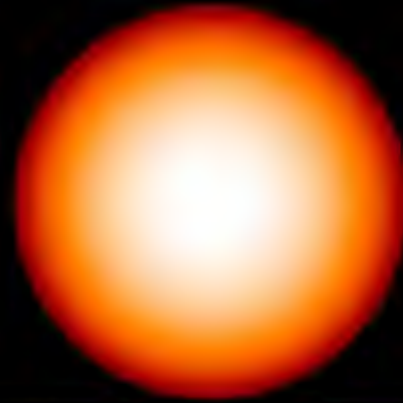
2006年11月9日水星凌日

<http://soho.nascom.nasa.gov/hotshots/>



系外行星穿越它的太陽(行星凌日)

無法鑑別



實際可以看到的



<http://www.iac.es/proyect/tep/transitanim.html>

刻卜勒1米 太空望遠鏡 (2008?)

美國太空總署
四年不間斷地觀測
十萬個類似太陽的恆星

可測得十
萬分之二
以上的光
度變化

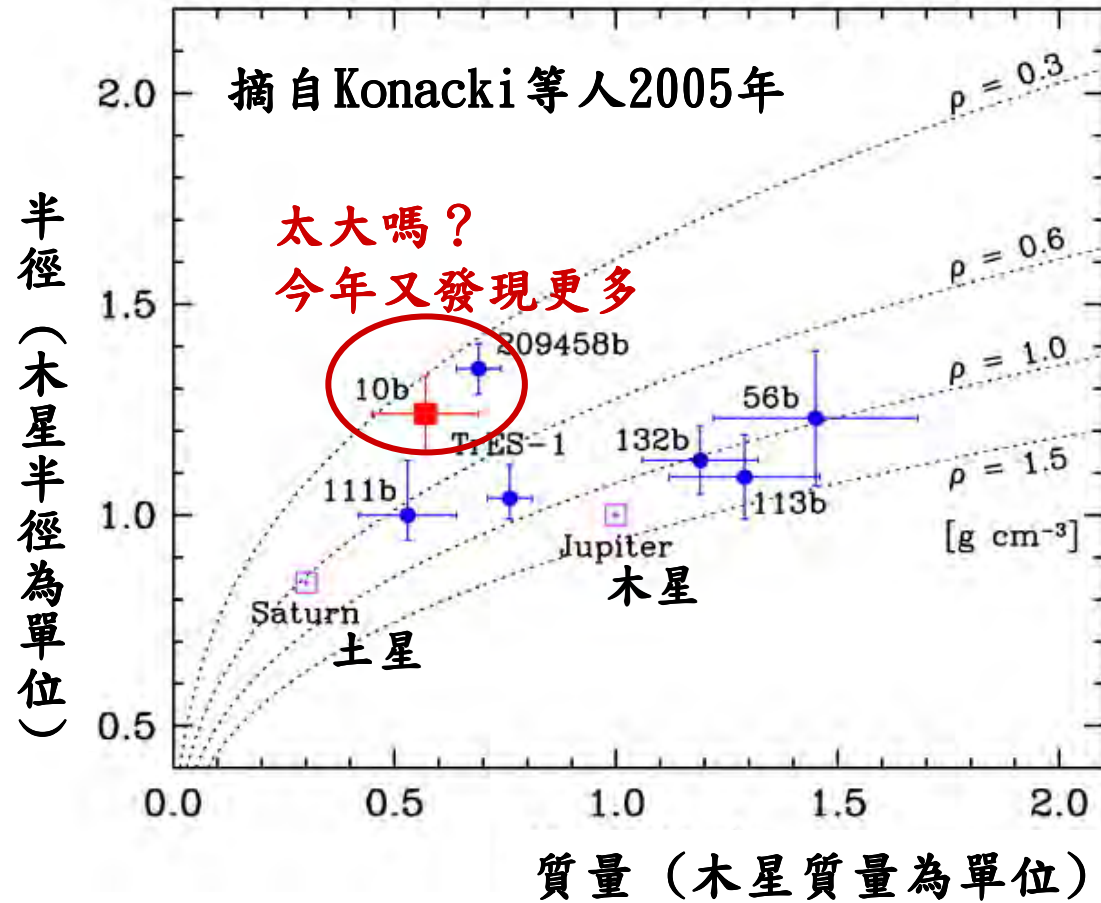


<http://kepler.nasa.gov/>

刻卜勒望遠鏡
的觀測星場



行星的密度 → 內部結構



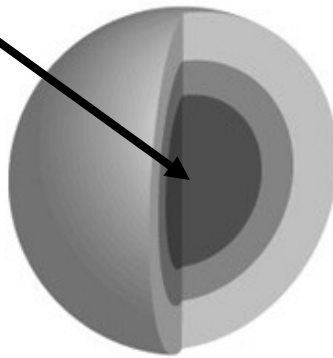
基本上熱木星真的類似我們的木星和土星

但是，
有些好像是太大了...

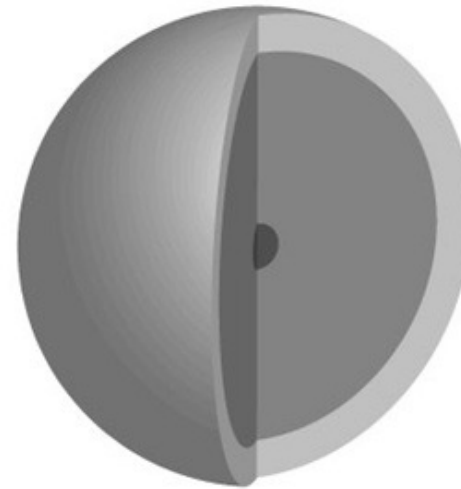
兩個木星的大撞擊？

固體內核：50-80地球質量！




HD 149026
含鐵量高
(是太陽的
2.3倍)→
可能早期
有4個木星
型的行星
(Ikoma 的
模型)



HD 149026 b



木星

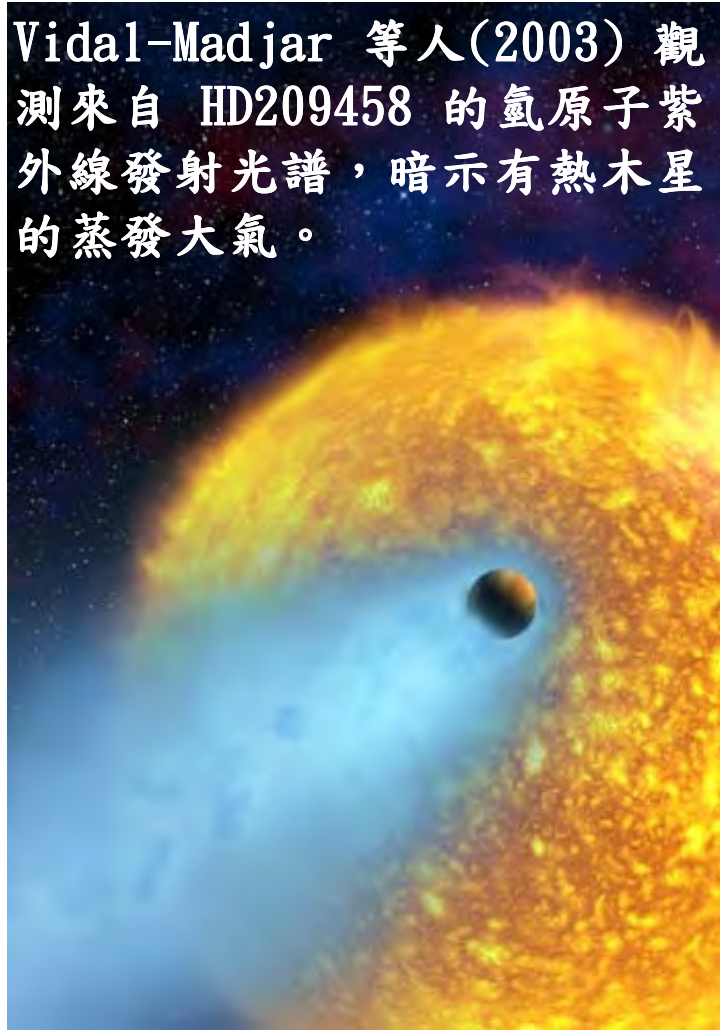
	hydrogen and helium gas	氫和氦氣
	liquid metallic hydrogen	液態金屬狀態的氫
	heavy element core	固體內核

http://www.space.com/images/050630_hd149026_jupiter_02.jpg

註：月球的形成、金星和天王星的自轉方向

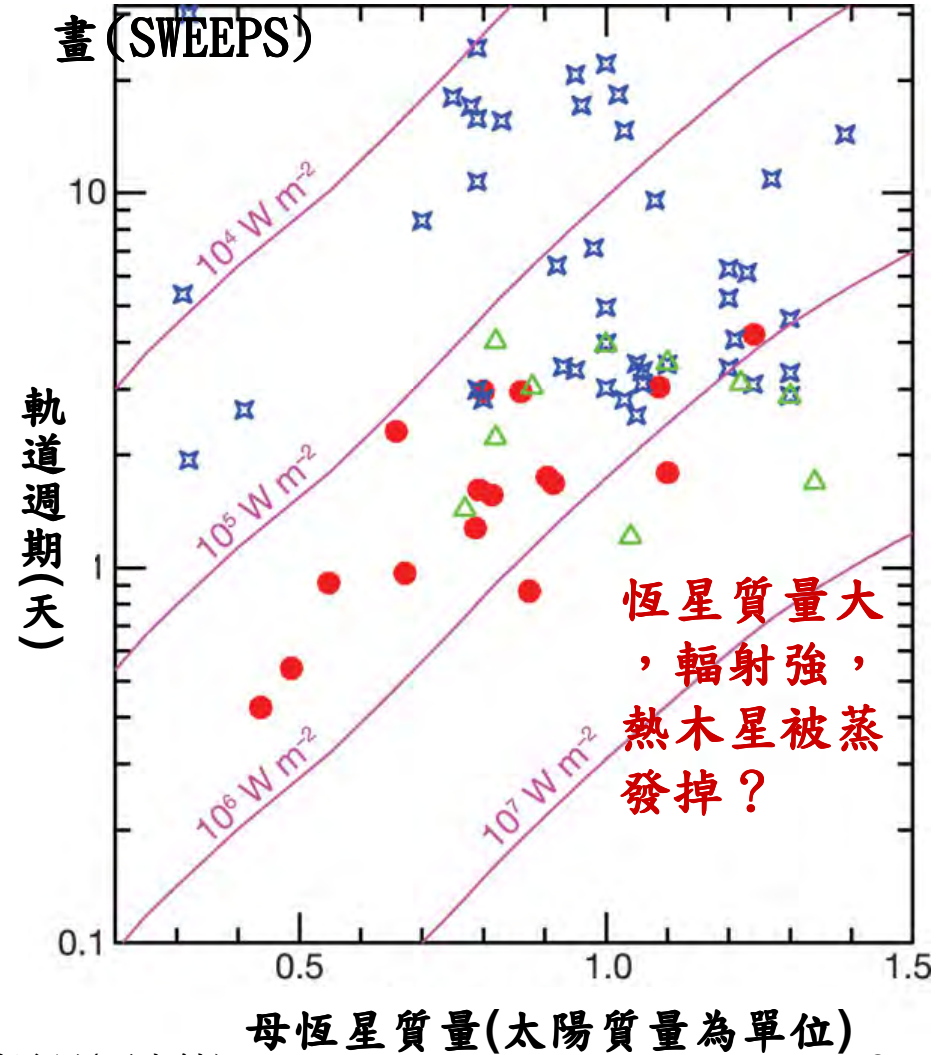
熱木星像彗星? (哈伯望遠鏡)

Vidal-Madjar 等人(2003) 觀測來自 HD209458 的氫原子紫外線發射光譜，暗示有熱木星的蒸發大氣。



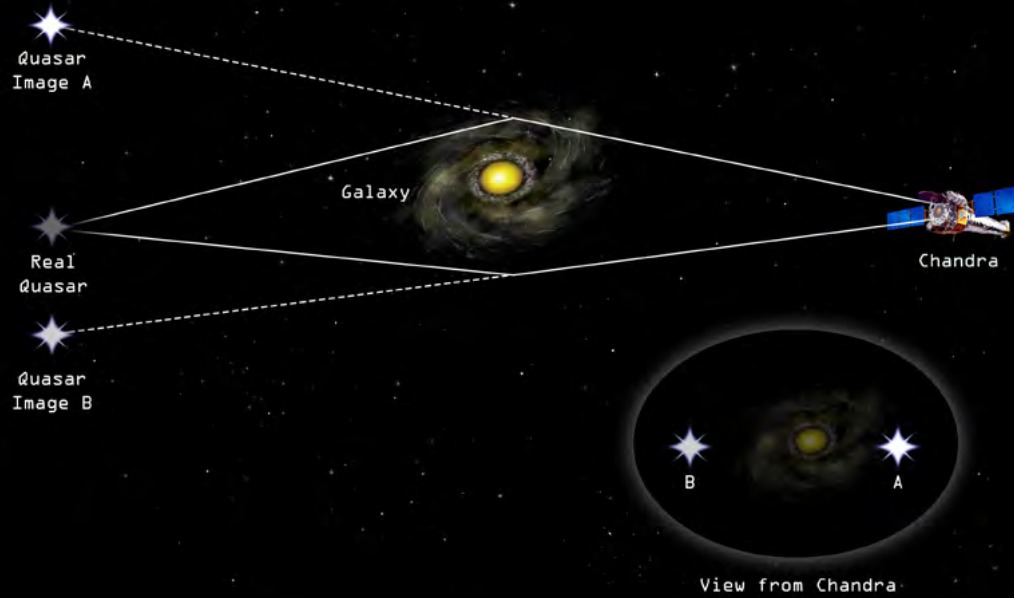
2006/12/30

Sahu 等人(2006)：人馬座星場凌日計畫 (SWEEPS)

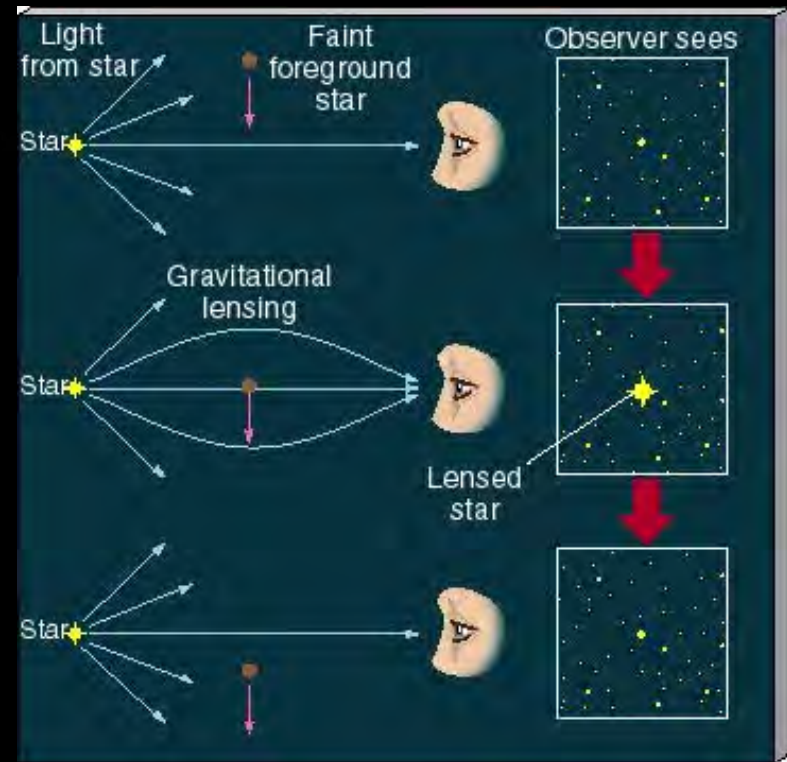


辜品高：天外飛星(天文館演講)

重力透鏡

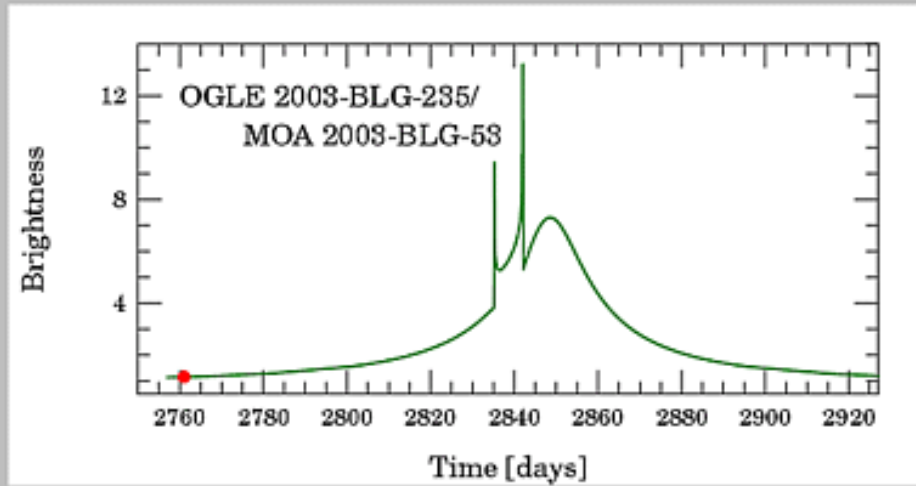
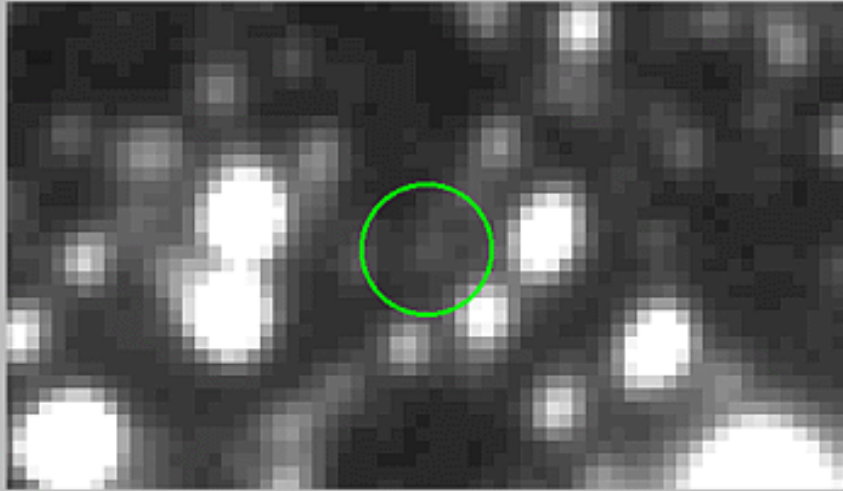


重力微透鏡：
MACHO/OGLE/EROS
→ 並未在銀河系的核球
和星系暈內找到足夠的
暗星，來支持暗星是暗
物質的來源。



恆星+行星所組成的重力透鏡

<http://bulge.princeton.edu/~ogle/ogle3/blg235-53.html>



OGLE 2003-BLG-235/
MOA 2003-BLG-53:
Bond et al. 2004

如果母恆星是主星序的恆星，
它的行星質量大約是木星
1.5倍，與行星間的距離大概
是地球到太陽的3倍。

其他的例子：

OGLE-2005-BLG-071(木星
質量)

OGLE-2005-BLG-390L(5.5
倍地球質量，環繞著紅矮
星，軌道半徑 2-4 地球到
太陽距離)

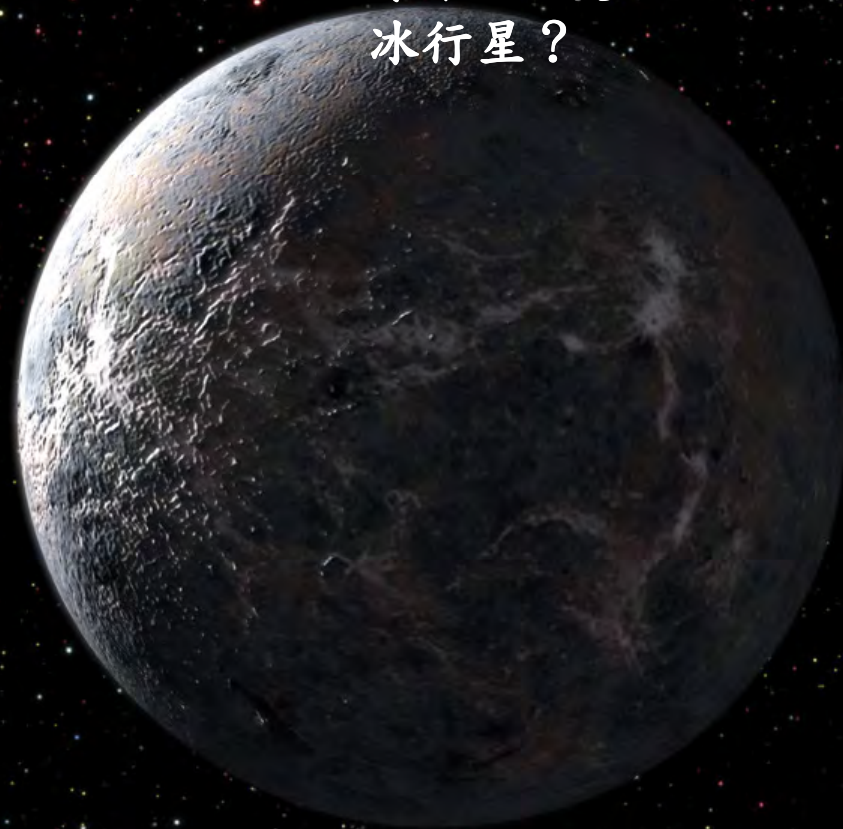
如果背景恆星在銀河系的
中心，此法可發現地球到
木星質量，軌道半徑約1-5
倍地球到太陽距離的系外
行星

OGLE-2005-BLG-390Lb (想像圖)

無法追其芳蹤・但可納入統計分析

零下220度
冰行星？

行星形成的問題：
紅矮星比較不容易有木
星型的巨大行星嗎？





CONTACT

A message from deep space.
Who will be the first to go?
A journey to the heart of the universe.

織女星 (Vega)

25.3 光年之遙

2.6 太陽質量

3.85 億年

T=9300 K

多餘的紅外線
→ 塵埃盤

三個海王星量級的行星在塵埃碎屑之中

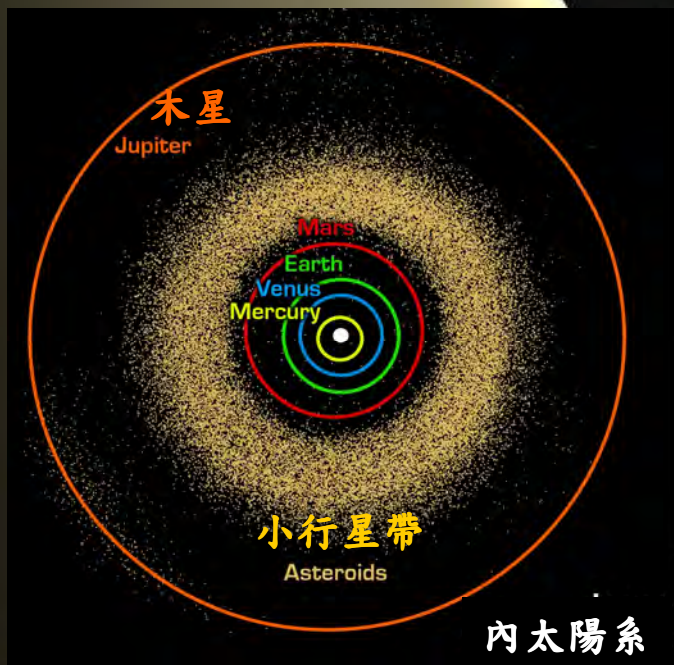
<http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-2006/pr-18-06.html>

想像圖

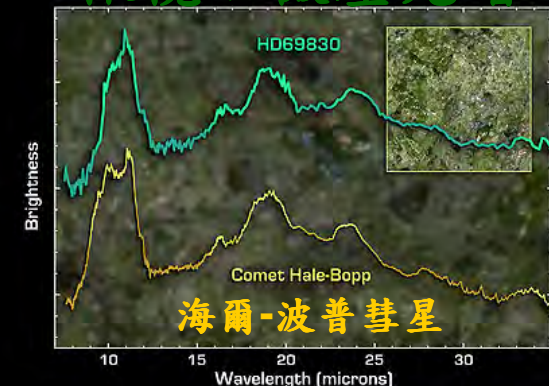
它們怎麼形成的？怎麼不會變成類木行星？

HD 69830

位於「可居住帶」
有生命嗎？



橄欖石微塵光譜



HD 69830 Zodiacal Disk Spectrum Spitzer Space Telescope • IRS
Hale-Bopp spectrum ISO
NASA / JPL-Caltech / C. Beichman (JPL) esc2005-10a

Spitzer 利用「反凌日」抓到熱木星的光

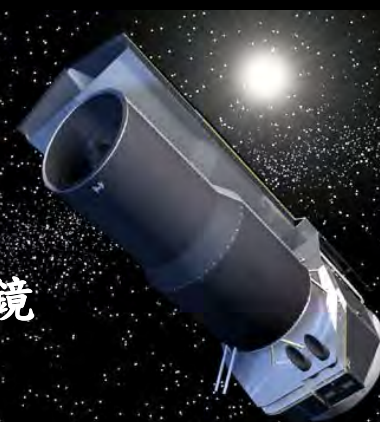
http://sscws1.ipac.caltech.edu/Imagegallery/image.php?image_name=ssc2005-09v3



可見光的對比太大
紅外線的對比較小
→ 看紅外線
→ 量熱木星的體溫！

Deming 等人, 2005 (HD208458)
Seager 等人 2005 (HD209458)
Charbonneau 等人 2005 (TrES1)

Spitzer 太空望遠鏡
口徑 0.85 米
3–180 μm



MOST的反凌日觀測(可見光)

MOST:恆星的光度微變
和振盪



可見光

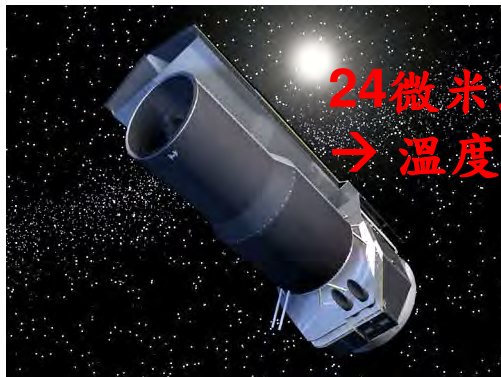
Rowe等人(2005)

沒測到...
但測量誤差
給予
HD209458
的行星反射率
<0.25 (約為木星值的一半)

「公事包」太空望遠鏡 ☺

<http://ams.astro.univie.ac.at/?s=space;most1>

溫度 > 1300K



24微米波
→ 溫度 = 1130K

或許我們還不了解
熱木星的大氣

Spitzer 太空望遠鏡
紅外線

2006/12/30

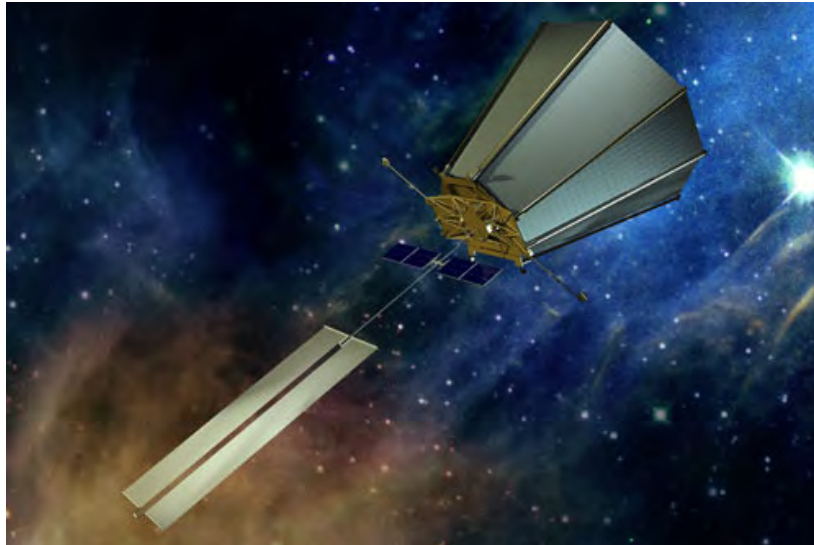
辜品高：天外飛星(天文館演講)

46

類地行星發現者號(Terrestrial Planet Finder) 與達爾文號

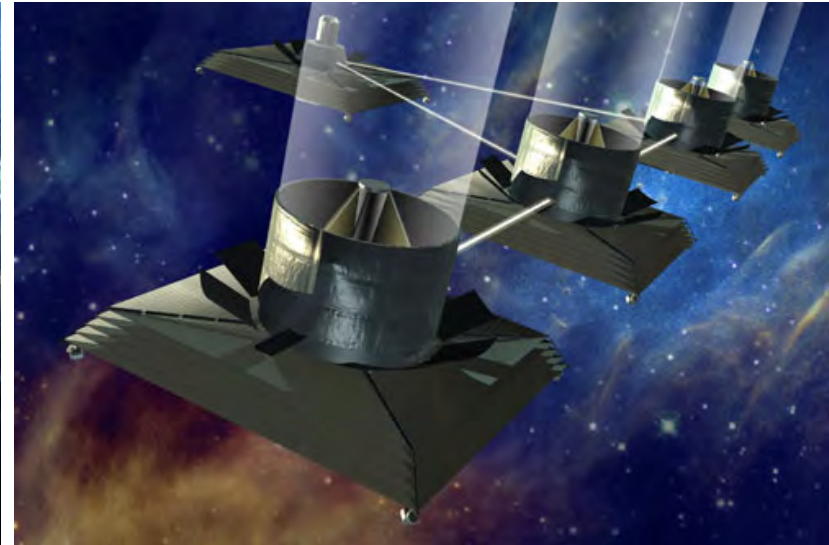
http://planetquest.jpl.nasa.gov/TPF/tpf_index.cfm

TPF-C: 可見光



日冕儀

TPF-I 和 達爾文號: 紅外線



零化干涉儀

此計畫於今年，被美國太空總署無限延期，
經費將用於太空船任務(非天文觀測)

請參閱我的演講「一億個地球－如何尋找外星生命」：


http://www.asiaa.sinica.edu.tw/act/serial_talk/2006/

我們的太陽系與眾不同嗎？

1789 年 J. Pass
的銅雕作品



橢圓軌道
熱木星和熱海王星
類似 Io 的現象
木星密度
母恆星鐵含量
軌道共振
棕矮星沙漠
波霎行星
球狀星團
塵埃盤



達爾文 與小獵犬號 的探險

期待下一個哥白尼、達爾文式
的創世紀改革