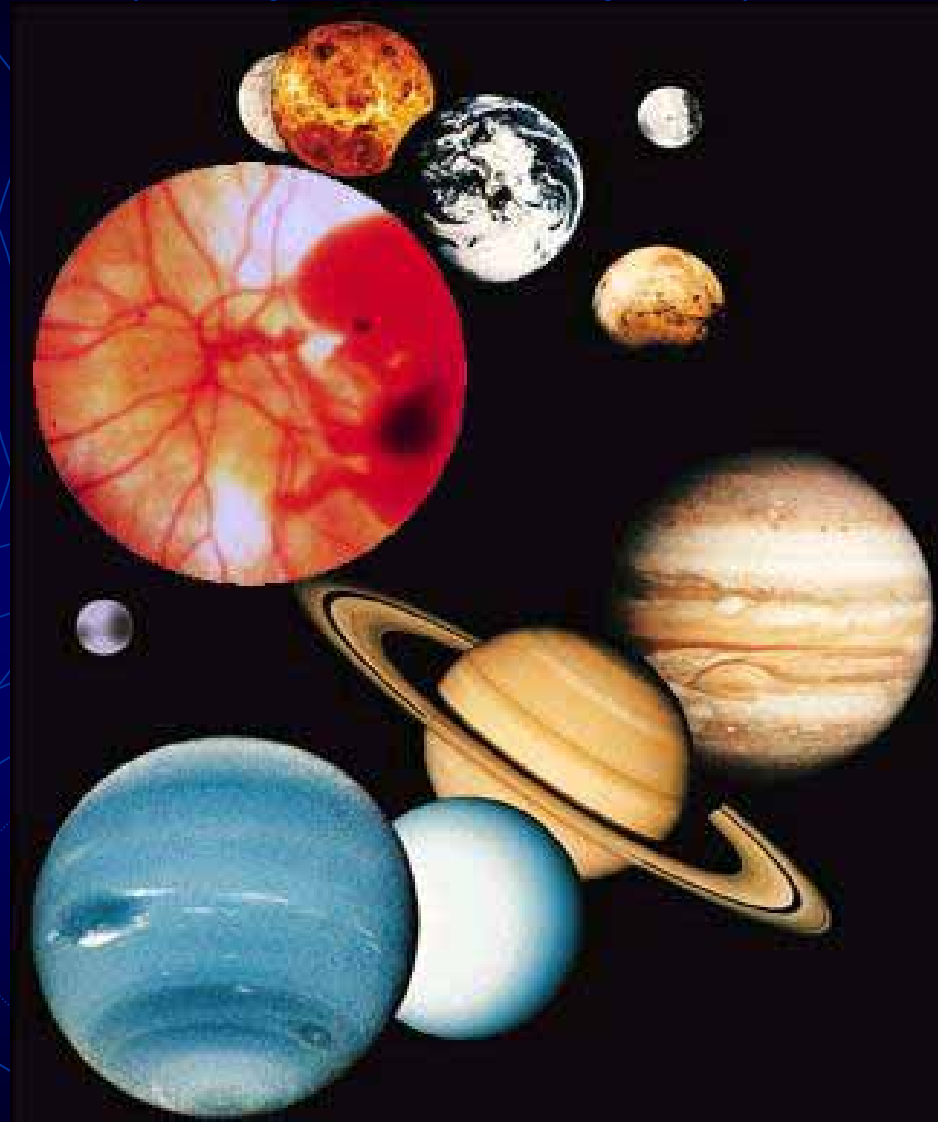


太陽系

- 太陽、行星、衛星、
• • •、灰塵、雲氣



What Do You Think?

- How many stars are there in the solar system?
- Was the solar system created as a direct result of the formation of the universe?
- How long has the earth existed?
- What happened to Pluto?
- What typical shape(s) do moons have?
- Have any earthlike planets been discovered orbiting other stars?

星星之間有極寬廣的空間

但是 太空 真空

日常空氣每cc約含 10^{19} 個分子

星際太空每cc約含 1 個分子



收縮

星際暗雲

初生星球 + 扁盤 + 剩下的環繞塵氣

旋轉



溫度上升、塵消氣散

年輕的太陽 + 盤狀物質



星際塵埃

塵塊

小行星

行星

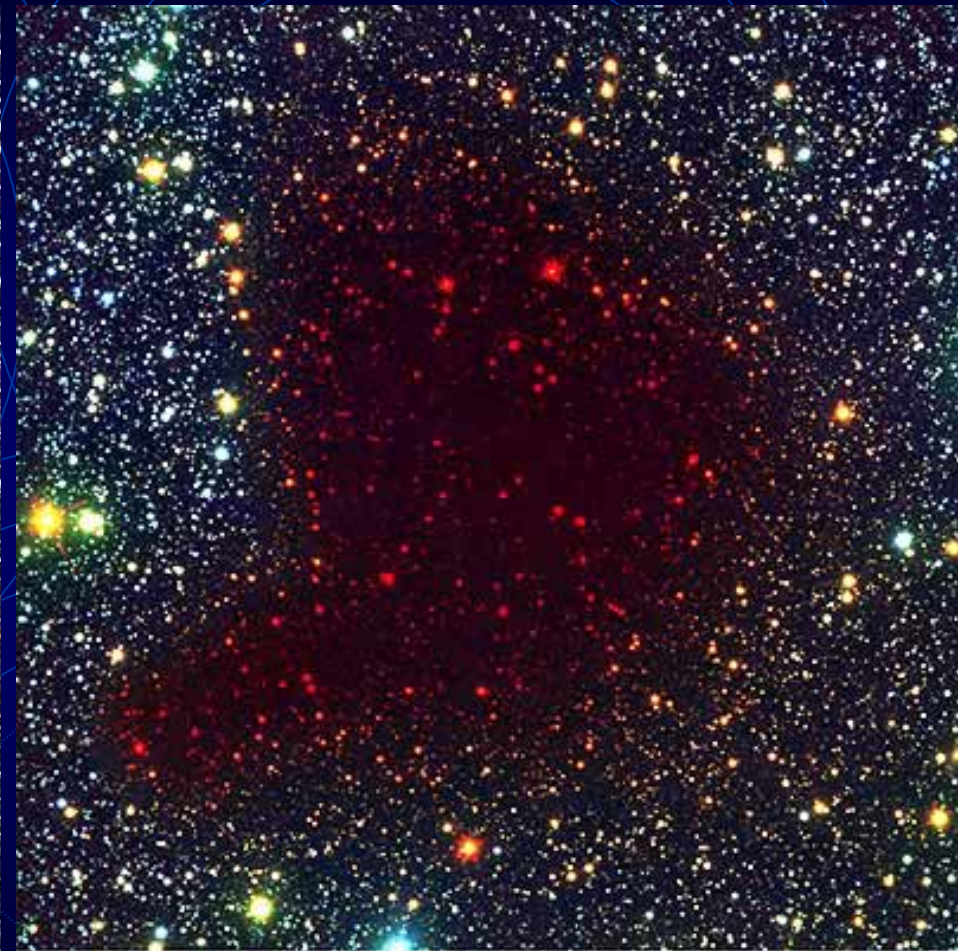


可見光影像

加上紅外線影像



Pre-Collapse Black Cloud B68 (visual view)
(VLT ANTU + FORS 1)



Seeing Through the Pre-Collapse Black Cloud B68
(VLT ANTU + FORS 1 - NTT + SOFI)



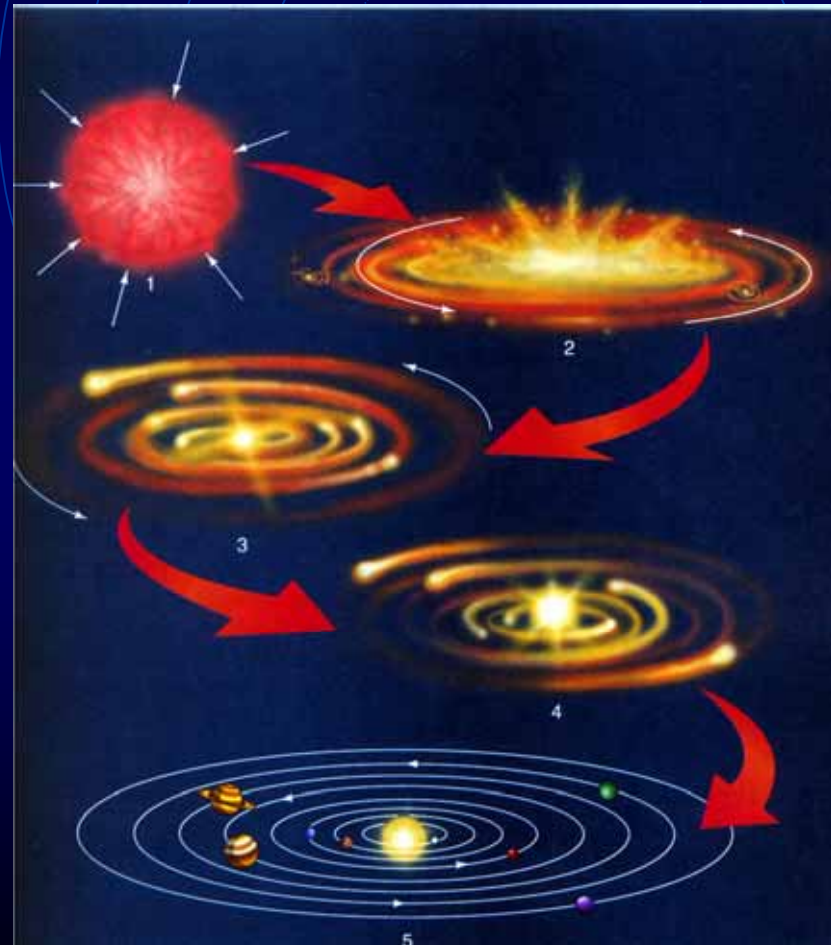
太陽（恆星）與行星皆來自 星際雲氣收縮



初生恆星

環星盤

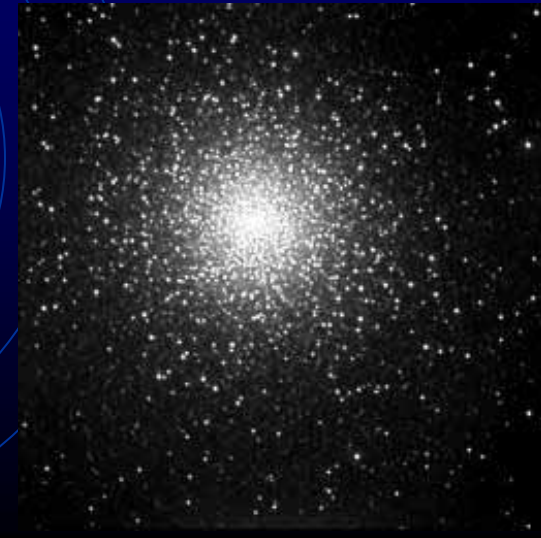
其他恆星周圍有
盤狀結構
→ 正形成行星？



行星和太陽是差不多同時期產生的

- 行星系統是恆星形成過程的副產品
→ 很多恆星周圍可能都有行星
- 這當中，有些可能適於生命發萌
—— 但不一定就會出現

若雲氣夠大 → 分裂成小雲塊
→ 分別形成恆星 → 星團
→ 兩顆星互繞在一起 → 雙星





暗雲與初生星團

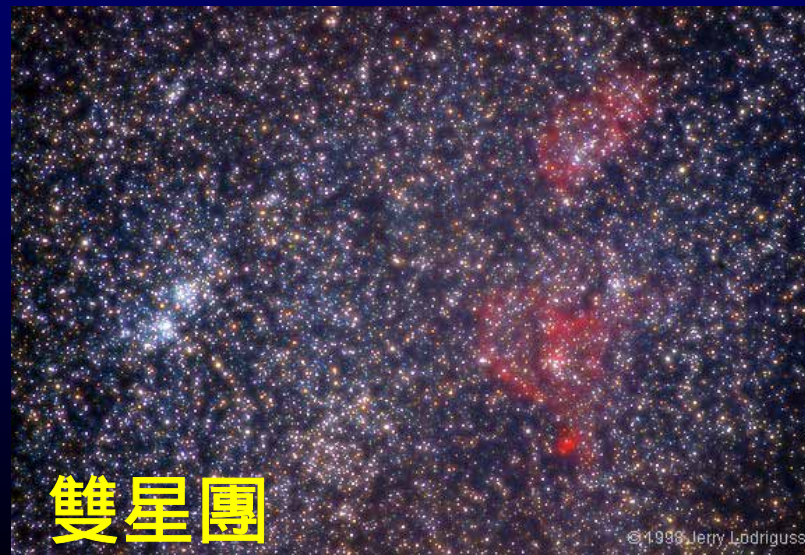


薔薇星雲



天鵝座

© 1998 Jerry Lodriguss



雙星團

© 1998 Jerry Lodriguss

太陽系中的各式天體



太陽

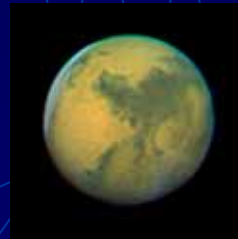
雲氣收縮、中央溫度升高、點燃核子反應

雲氣縮成扁盤狀、盤中灰塵凝集

小行星

繼續凝集

行星



旁邊扁盤中的灰塵凝集

衛星

不成形的

外行星的環



不成形的

留在原地，例如小行星帶

被拋到遠方 彗星核/小行星

不小心進入太陽系內圍

彗星



槍林彈雨的太空

- 剩下的大小碎渣在太空中遊走，四處亂撞，地球也不倖免



- 萬一撞到了 . . .

如沙粒般的碎渣掉入大氣 **流星**

地球撞向彗星留在軌道上的殘渣 **流星雨**

大一點的如小石，燃燒剩餘部分落到地面 **隕石**

- 再大一點的呢？



Within the disk that surrounds the protosun, solid grains collide and clump together into planetesimals.

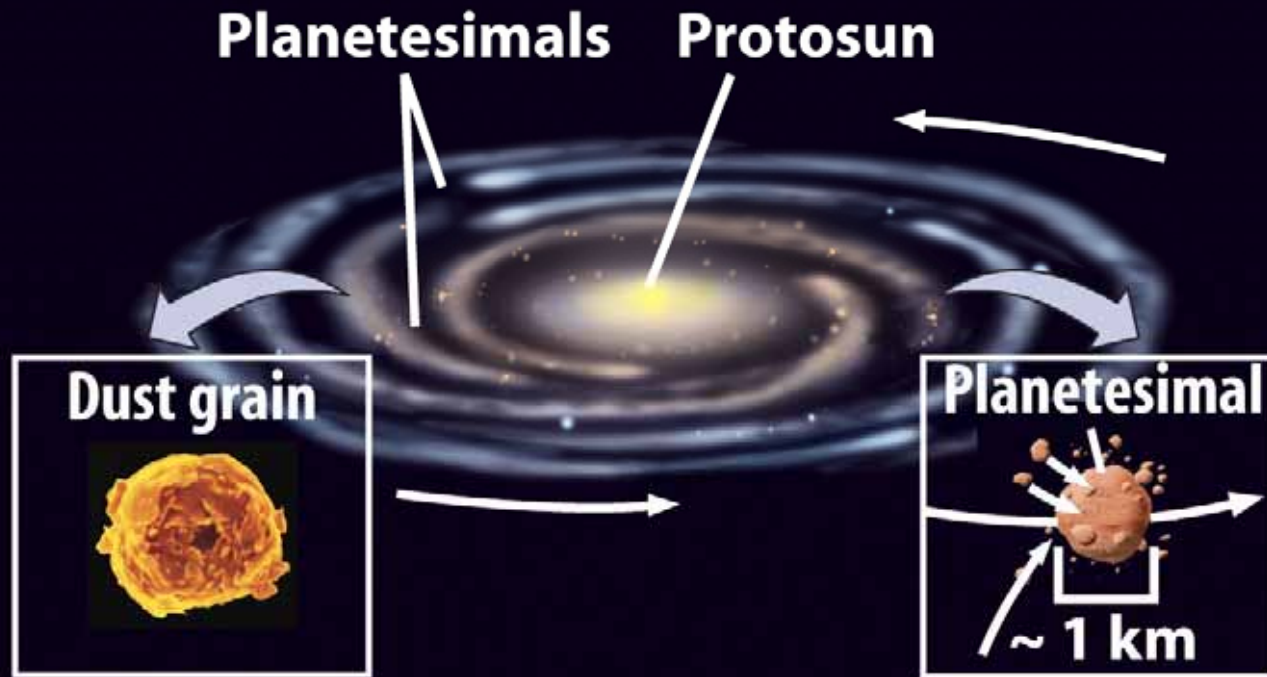


Figure 5-5a
Discovering the Universe, Seventh Edition
© 2006 W. H. Freeman and Company

The terrestrial planets built up by collisions and by the accretion of planetesimals by gravitational attraction. The Jovian planets formed by gas accretion.

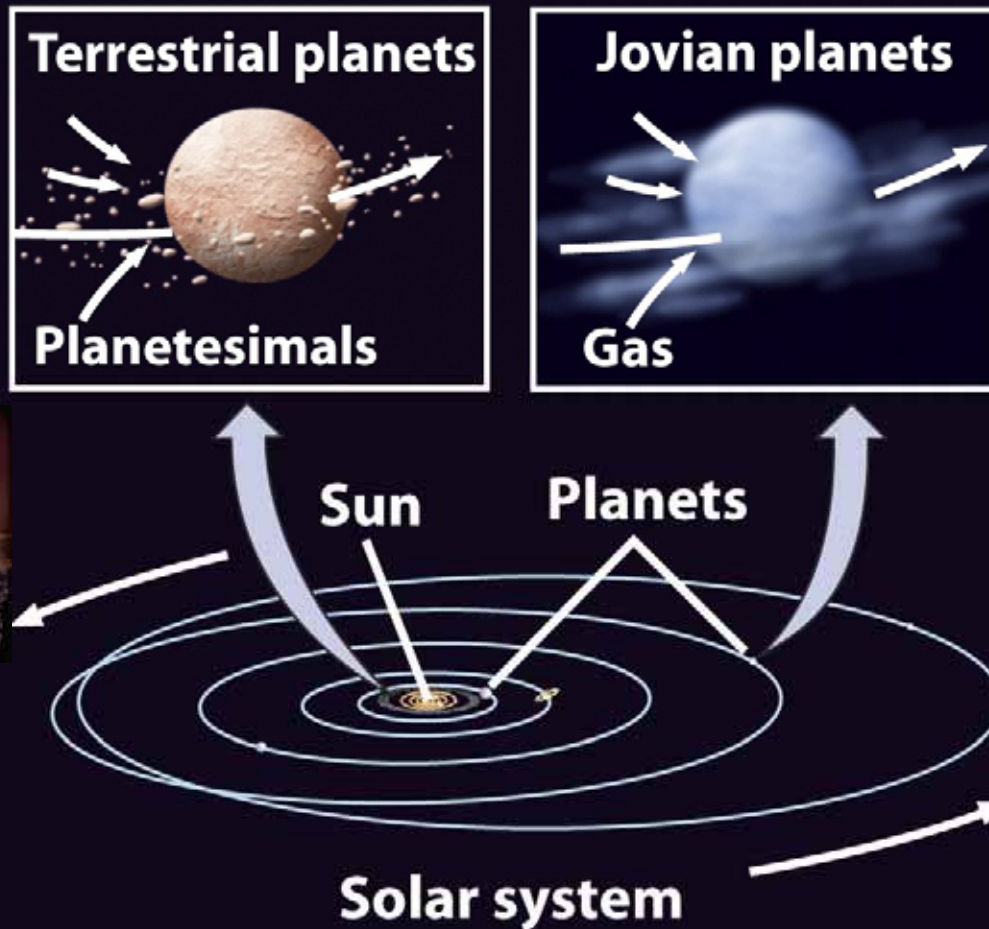
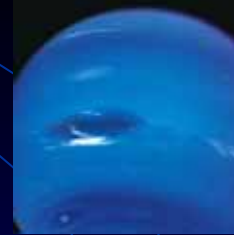


Figure 5-5b
Discovering the Universe, Seventh Edition
© 2006 W. H. Freeman and Company



各式各樣的行星



- 離母恆星距離近 → 熱；距離遠 → 冷
- 行星質量愈大 → 愈抓得住（輕的）氣體
 - ↳ 靠外圍的木星、土星、天王星、海王星
質量大、體積大、主要是氣體、沒有陸地
→ 類木行星 (jovian planets)
 - ↳ 內圍的水星、金星、地球（+月球）、火星
質量小、體積小、主要是岩石、有陸地
→ 類地行星 (terrestrial planets)



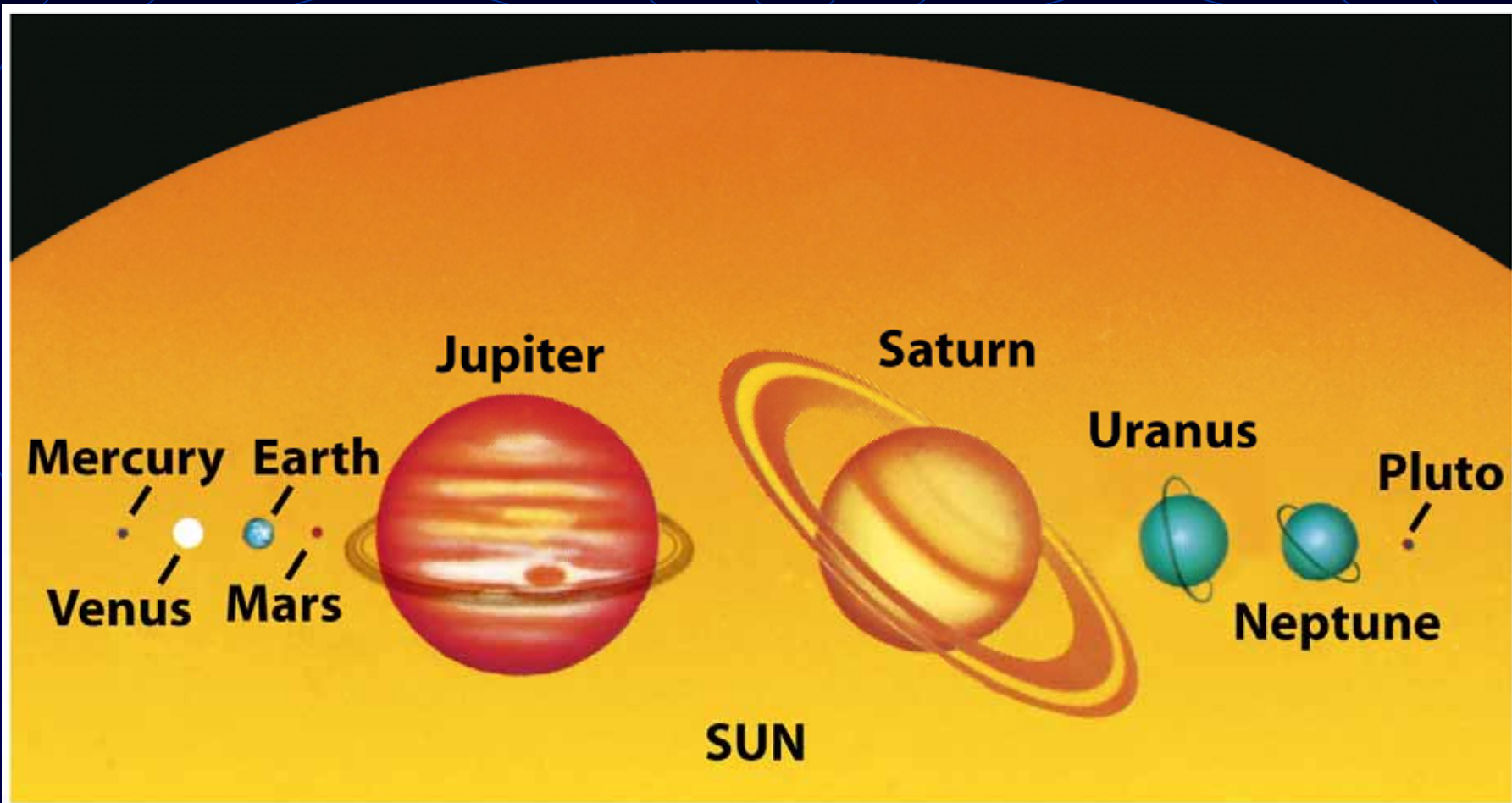
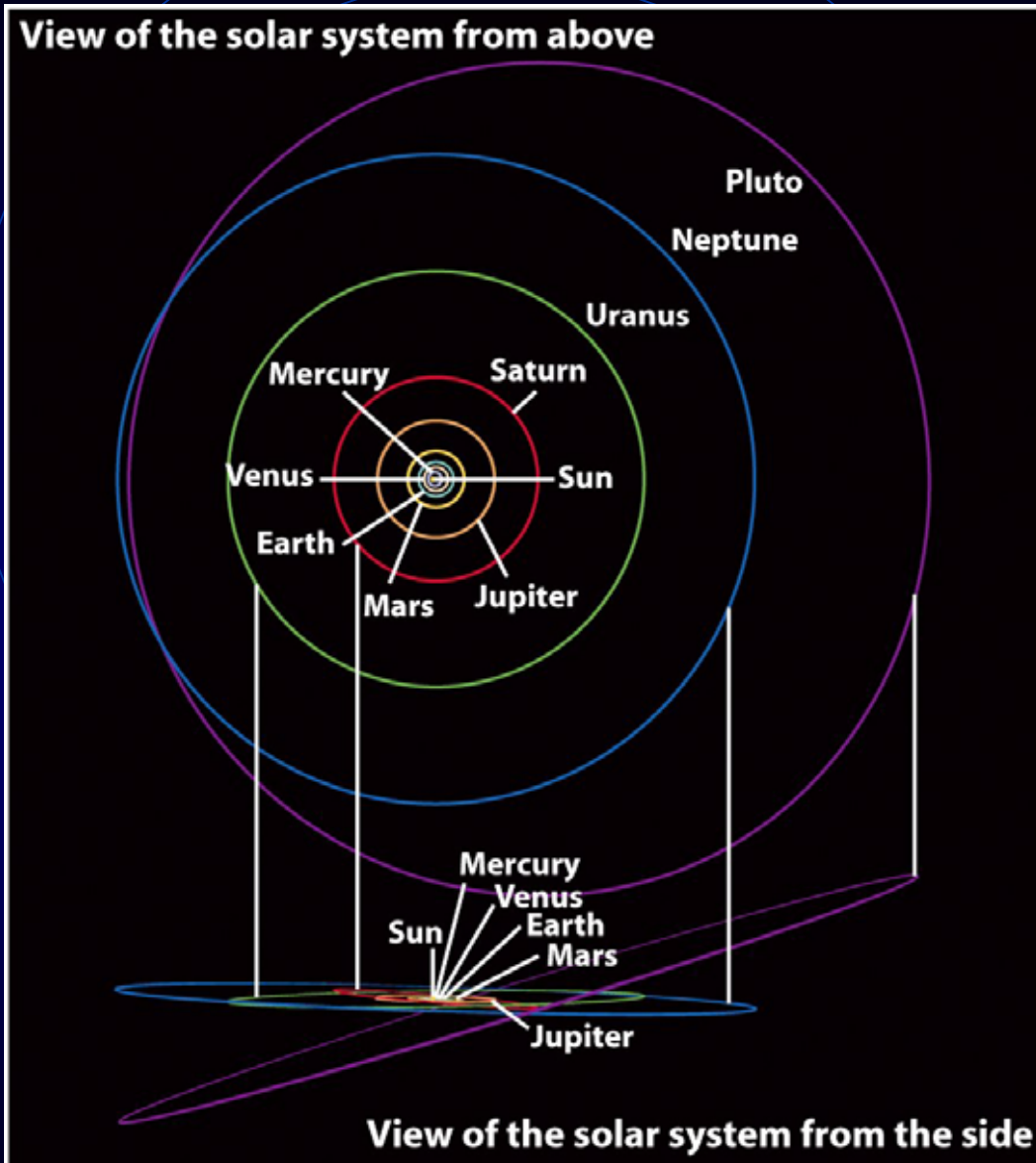


Figure 5-11
Discovering the Universe, Seventh Edition
© 2006 W. H. Freeman and Company



井然有序的太陽
系行星系統

軌道幾乎在同一
平面

非常接近圓形的
橢圓軌道

自轉與公轉同方
向

依照離日距離，
行星的性質分成
兩大類

Figure 5-7
Discovering the Universe, Seventh Edition
© 2006 W. H. Freeman and Company

課外教學：參訪台北天文館

- 12/16 星期六上午
- 8 am 中興巴士從中大「依仁堂」
（體育館）2路公車站開車
- 預計9點抵達
- 參覽「展示館」（有學習單）
- 參覽觀測室（望遠鏡）
- 其他劇場...
- 中午解散

行星與太陽的距離以及公轉週期

行星	軌道半長軸 (AU)	公轉週 (年)
水星	0.3871	0.2408
金星	0.7233	0.6152
地球	1.0000	1.0000
火星	1.5237	1.8809
(穀神星)	2.7656	4.603
木星	5.2034	11.862
土星	9.5371	29.458
天王星	19.1913	84.01
海王星	30.0690	164.79
(冥王星)	39.4817	247.9

TABLE 5-2 Physical Characteristics of the Planets

	Diameter		Mass		Average density
	(km)	(Earth = 1)	(kg)	(Earth = 1)	(kg/m ³)
Mercury	4,878	0.38	3.3×10^{23}	0.06	5430
Venus	12,100	0.95	4.9×10^{24}	0.81	5250
Earth	12,756	1.00	6.0×10^{24}	1.00	5520
Mars	6,786	0.53	6.4×10^{23}	0.11	3950
Jupiter	142,984	11.21	1.9×10^{27}	317.94	1330
Saturn	120,536	9.45	5.7×10^{26}	95.18	690
Uranus	51,118	4.01	8.7×10^{25}	14.53	1290
Neptune	49,528	3.88	1.0×10^{26}	17.14	1640
Pluto	2,300	0.18	1.3×10^{22}	0.002	2030

Table 5-2
Discovering the Universe, Seventh Edition
 © 2006 W. H. Freeman and Company

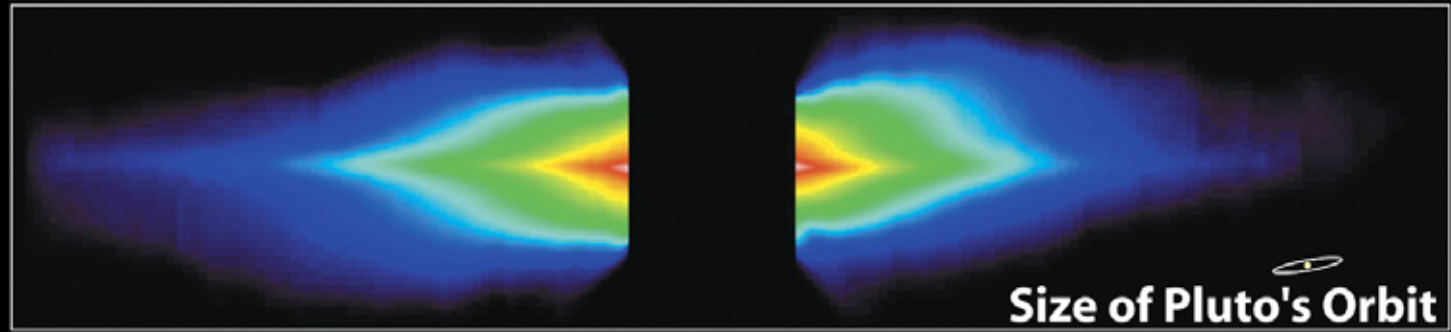
海王星的質量比天王星大體積卻比較小，這表示海王星的平均密度比較高

Q：怎麼測量行星的質量與體積呢？

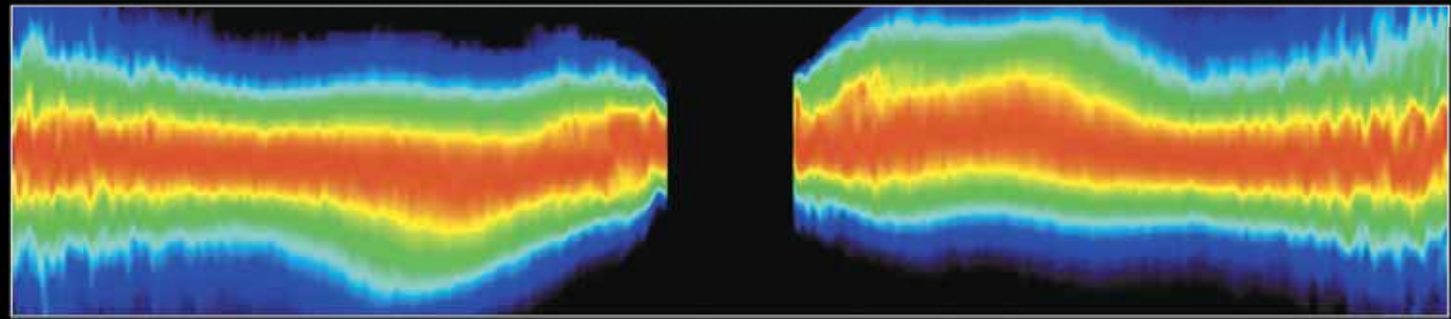
物理二 蕭逸修 942002043

物理二 游振詮 942002021

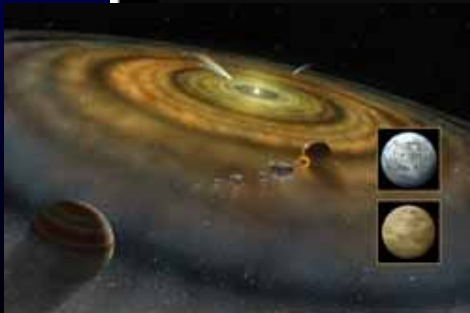
太陽系以外的行星系統



WFPCC2



Solar System to Scale



尋找其他的世界



如何知道恆星周圍有行星？

困難：行星不發光！

→ 擋光或 反光 或者 對發光體的影響



恆星太亮、
太近

位置變化

亮度變化

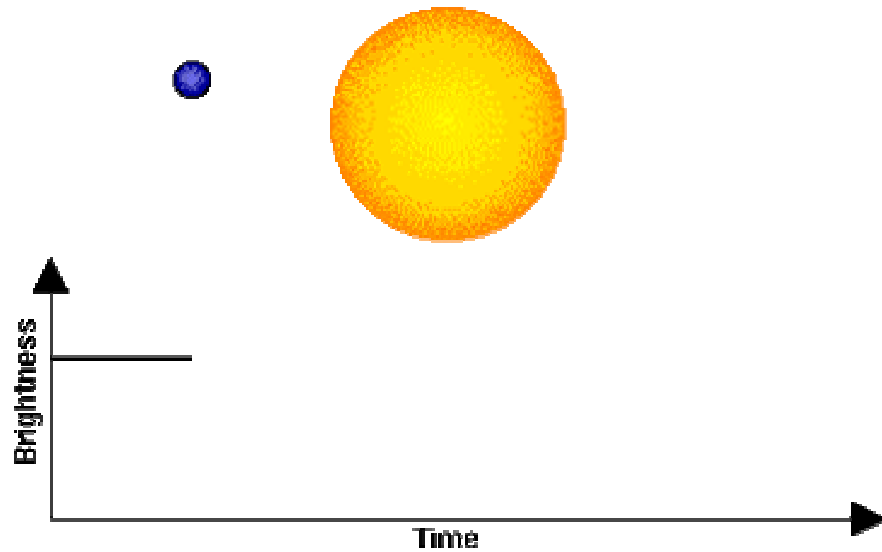
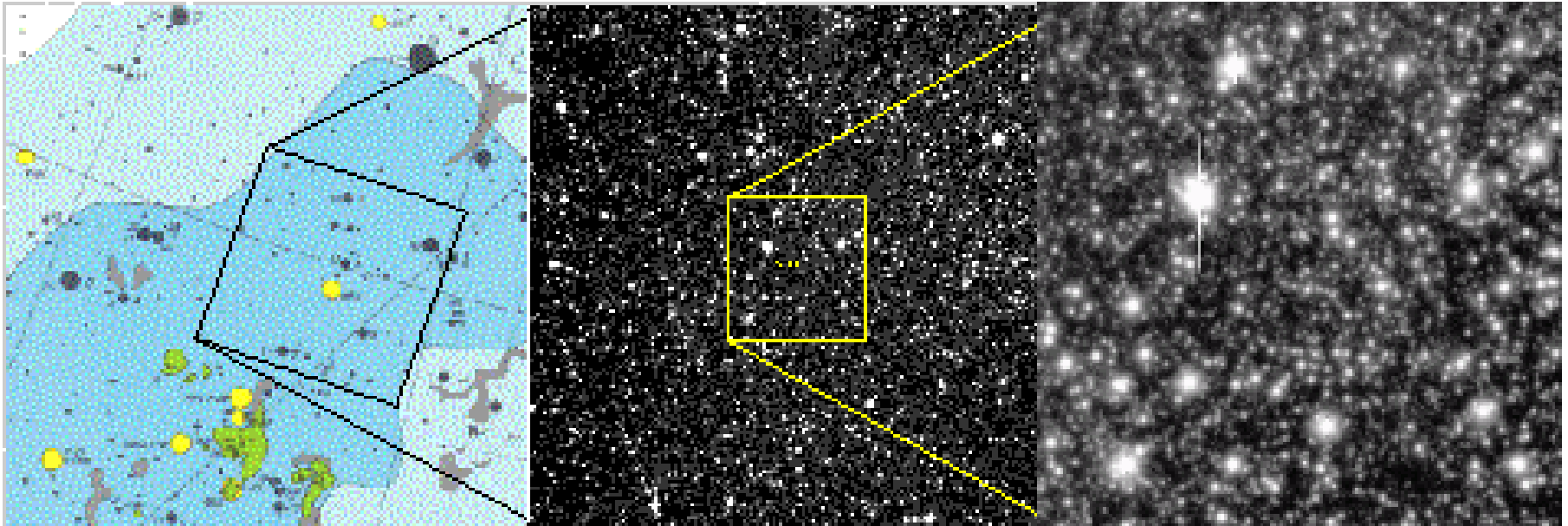
否則，直接看

偵測行星存在的方法

1 凡走過的必留下痕跡

若行星繞恆星時，恰巧擋住恆星的光（像日食般），那麼恆星的**亮度**會以特別的方式變化





偵測行星存在的方法

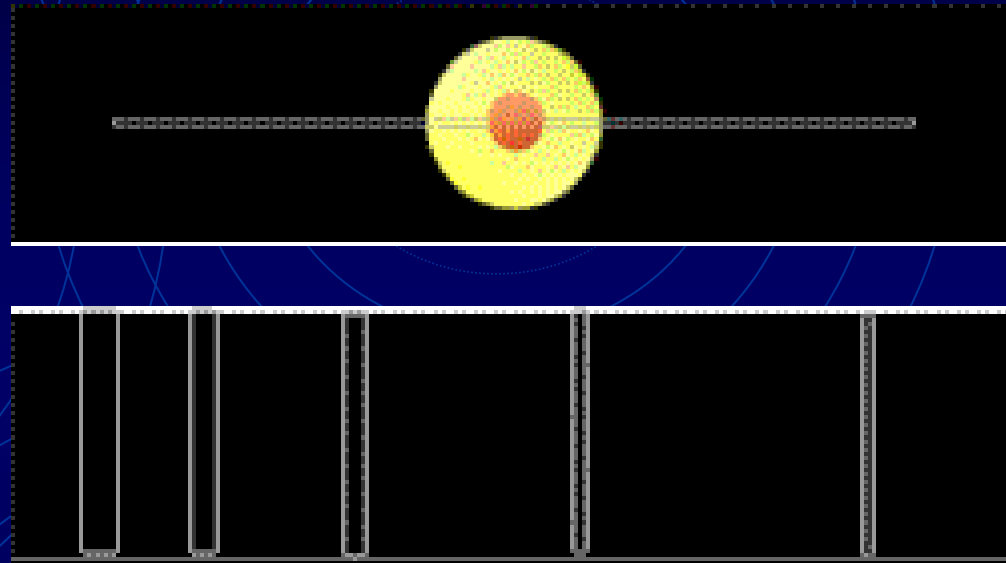
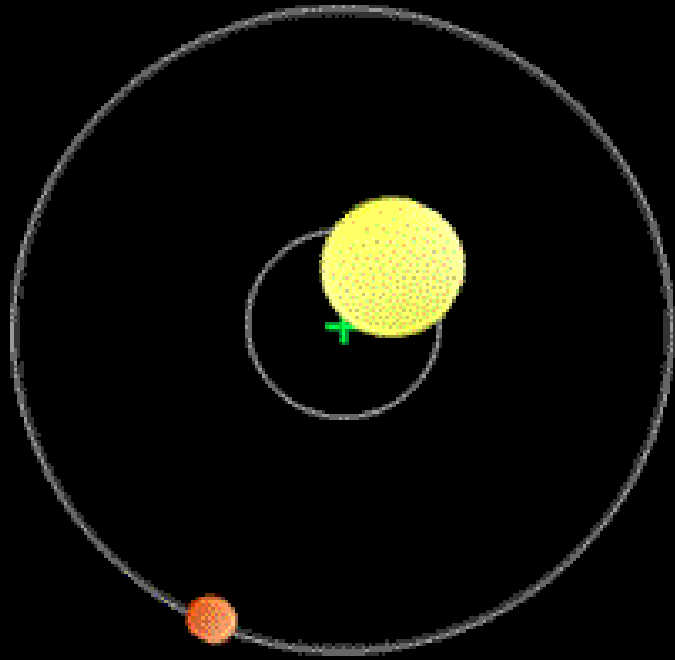
2 若要人不知，除非己莫為

如果恆星周圍有行星，那麼恆星的**位置**與**運動**就會受到行星（萬有引力）的影響



Hammer throw

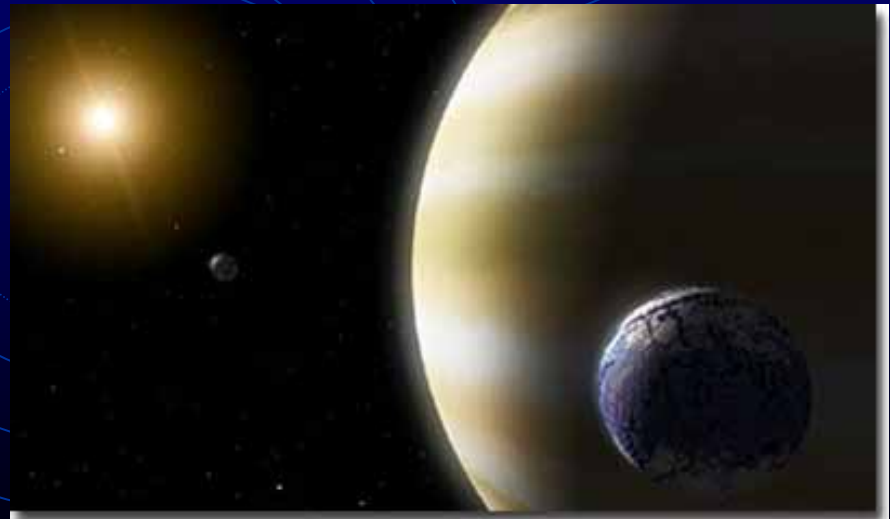
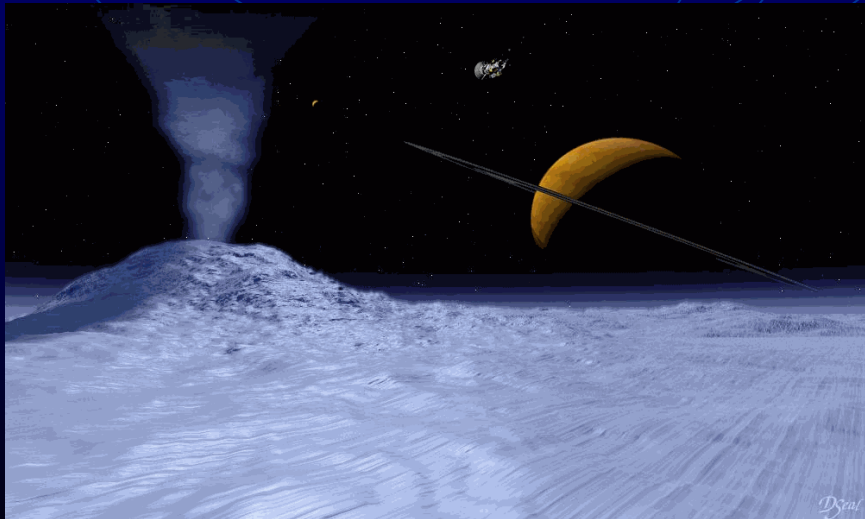
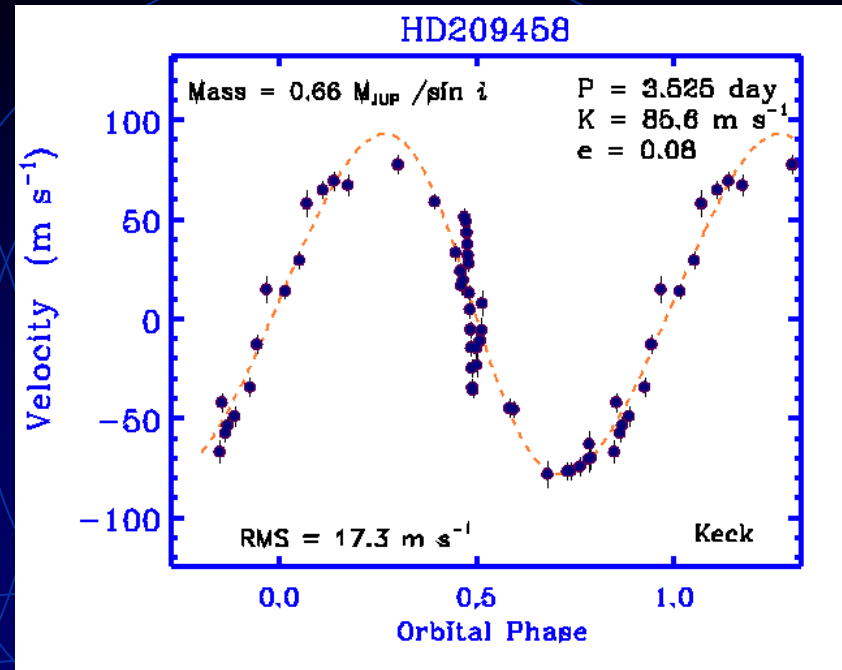
都卜勒效應



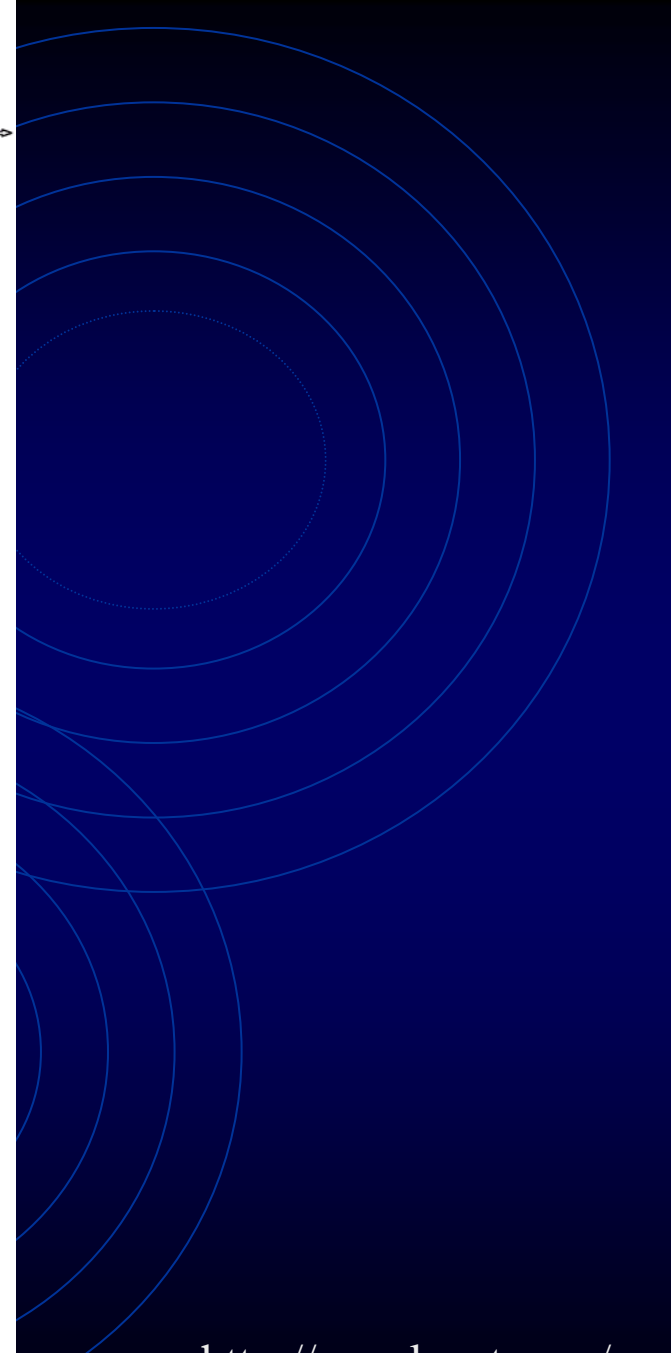
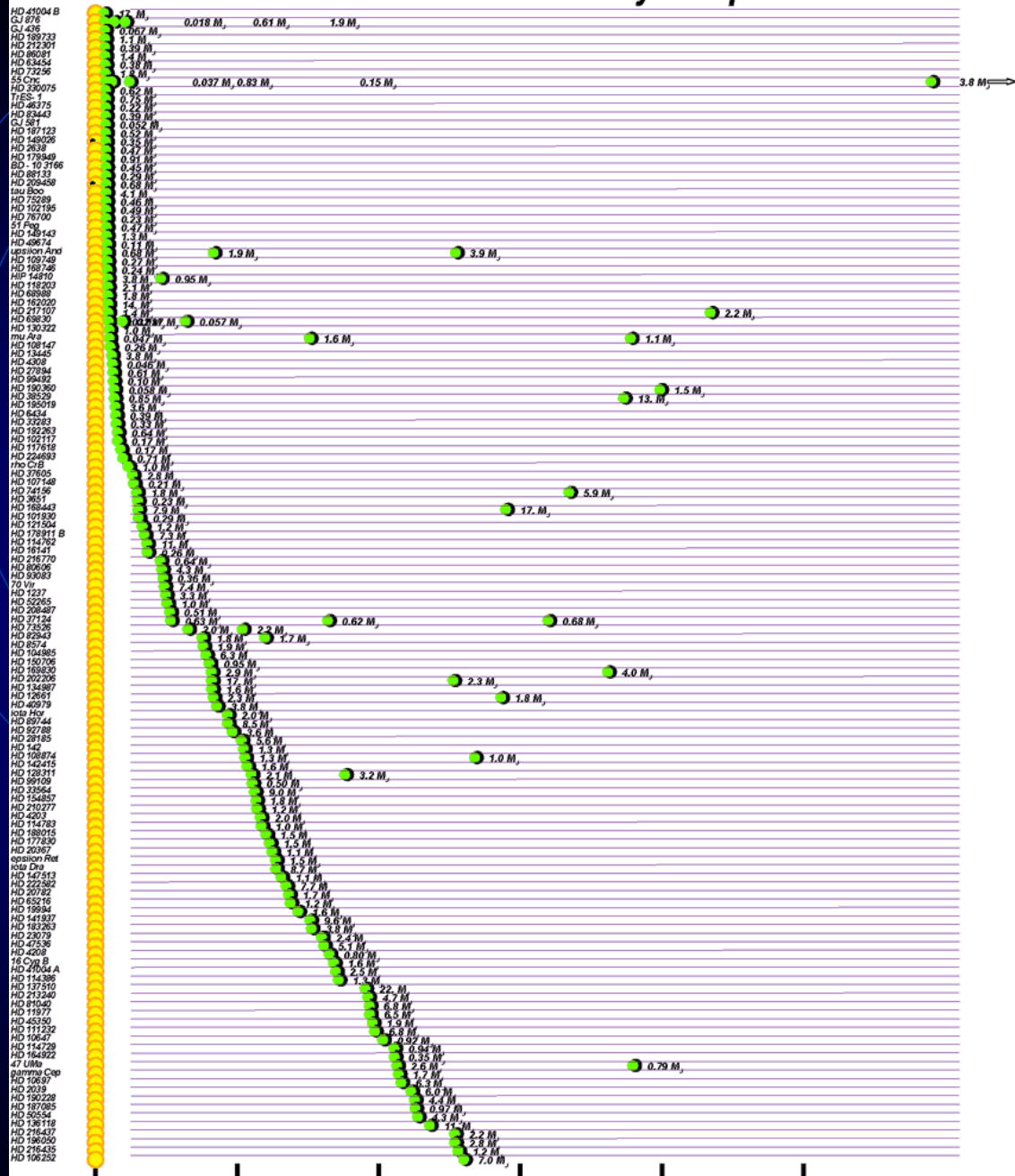
原本在太空中走直線的恆星，因為與行星互繞，因此自行運動會「走螺線」

恆星因為與行星互繞，而在沿「視線」方向有「前後擺動」的運動。

截至2006.10已經在太陽系以外共發現將近181個恆星周圍有行星（**系外行星** extrasolar planets; exoplanets），絕大多數是利用「前後擺動」的原理所發現（**為什麼？**）



The 178 Known Nearby Exoplanets

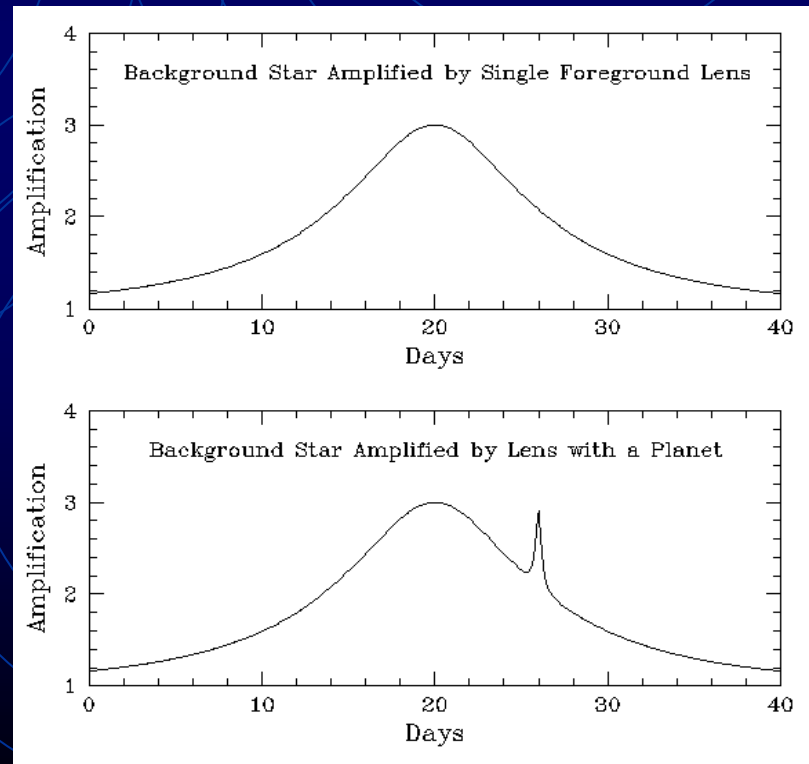


偵測行星存在的方法

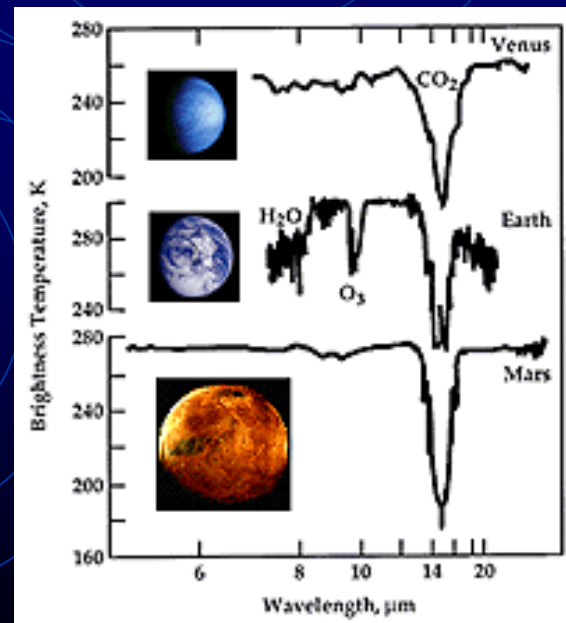
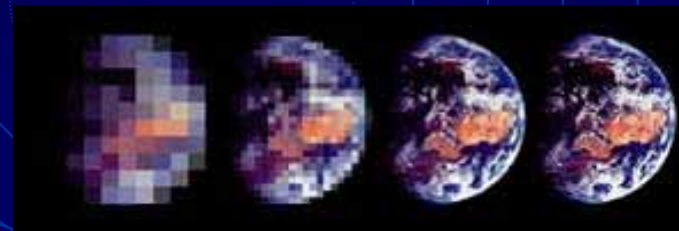
3 擋住了，但更亮！

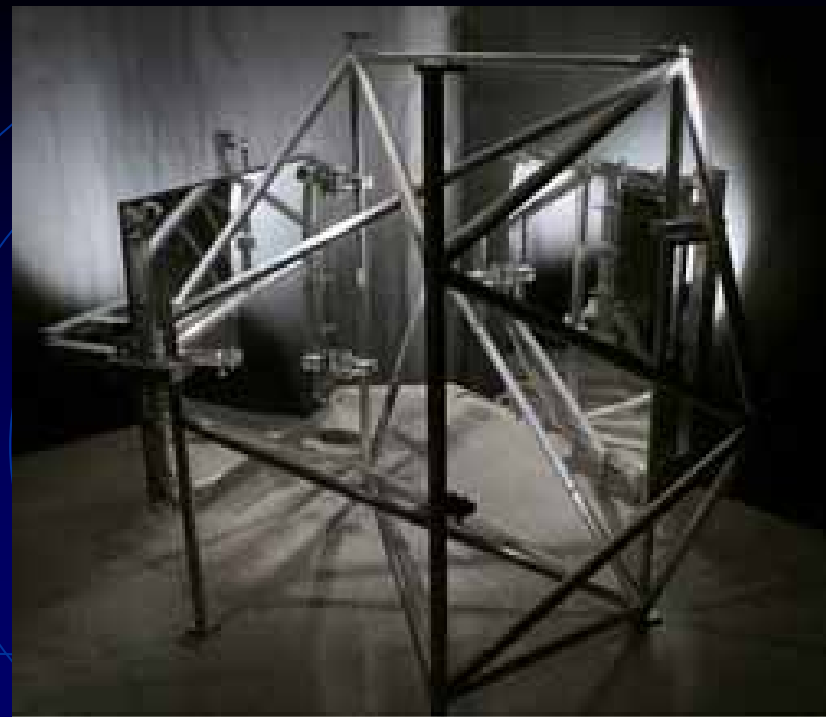
如果行星（前景）精準地正好在我們和遙遠恆星（背景點光源）之間，那麼恆星的**亮度**會**增亮**

「**重力透鏡**」
(gravitational
lensing) 效應



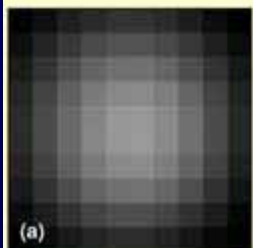
鱗光片羽勝過千言萬語 要是能直接看到就更棒啦





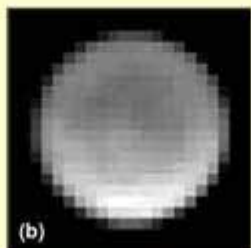
越來越大的望遠鏡

Titan (Saturn's Largest Moon)



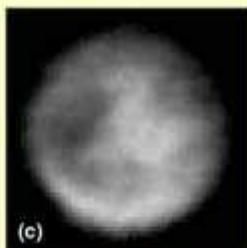
(a)

Conventional Telescope



(b)

Hubble Space Telescope



(c)

Keck Telescope with AO



Without Adaptive Optics

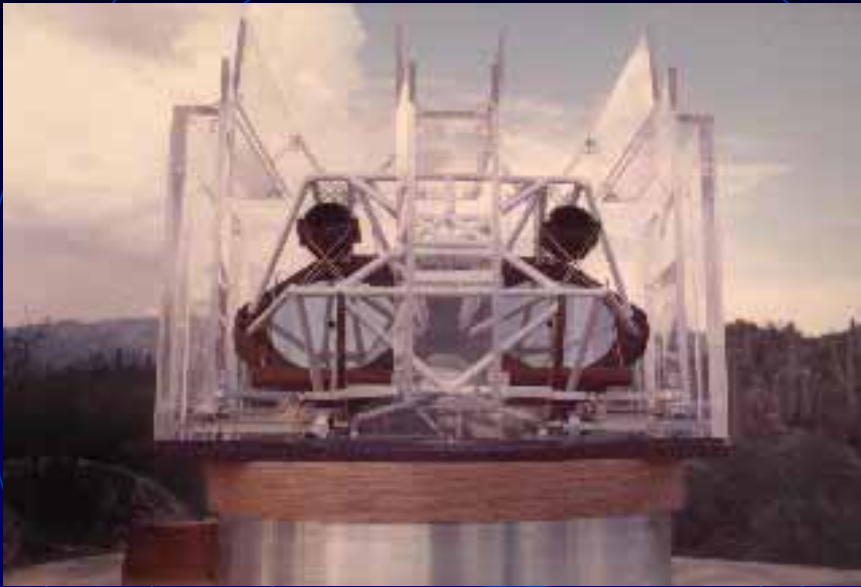
With Adaptive Optics

越來越看得清楚的觀測技術

越來越靈敏的偵測儀器



LBT in Arizona, USA



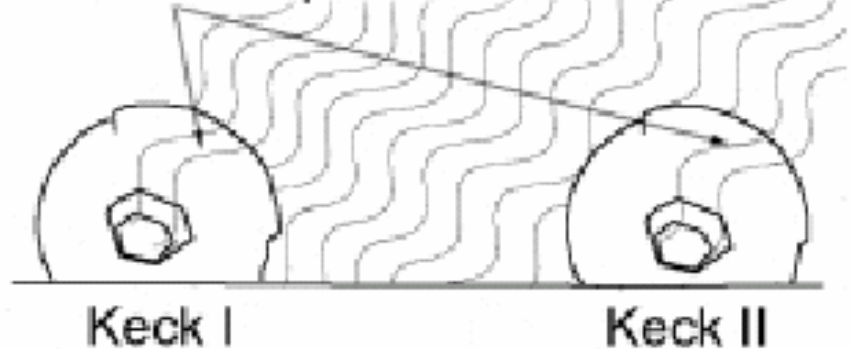
Keck in Hawaii, USA



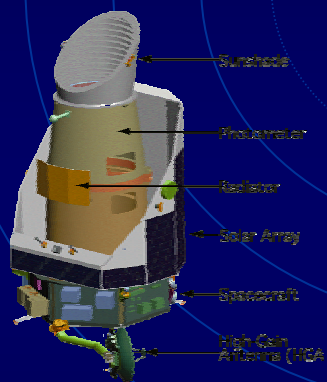
Keck Telescopes as part of an interferometer

利用干涉技術
(interferometry) 把恆
星的光減弱，增加看
到行星的機會

Light waves from star in
different phases when they
hit each telescope mirror.



走，到太空去！
前面說的都能做，
而且做得更好得多

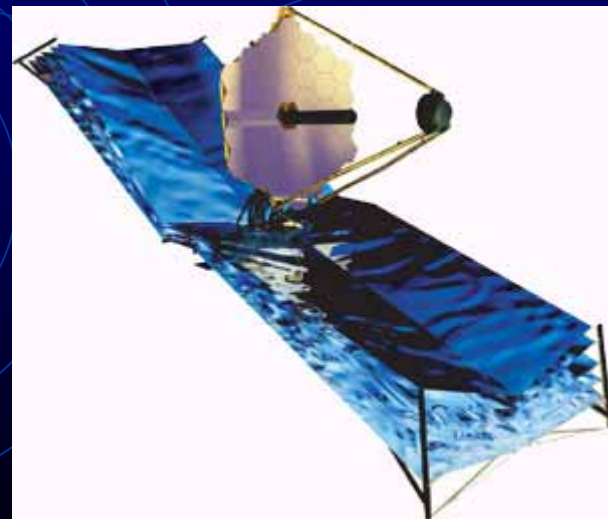


Kepler
A Search For Habitable Planets

NASA Space Interferometry Mission
Jet Propulsion Laboratory
California Institute of Technology

NASA Terrestrial Planet Finder
Jet Propulsion Laboratory
California Institute of Technology

A spectral plot showing absorption lines for H₂O, CO₂, and O₃.



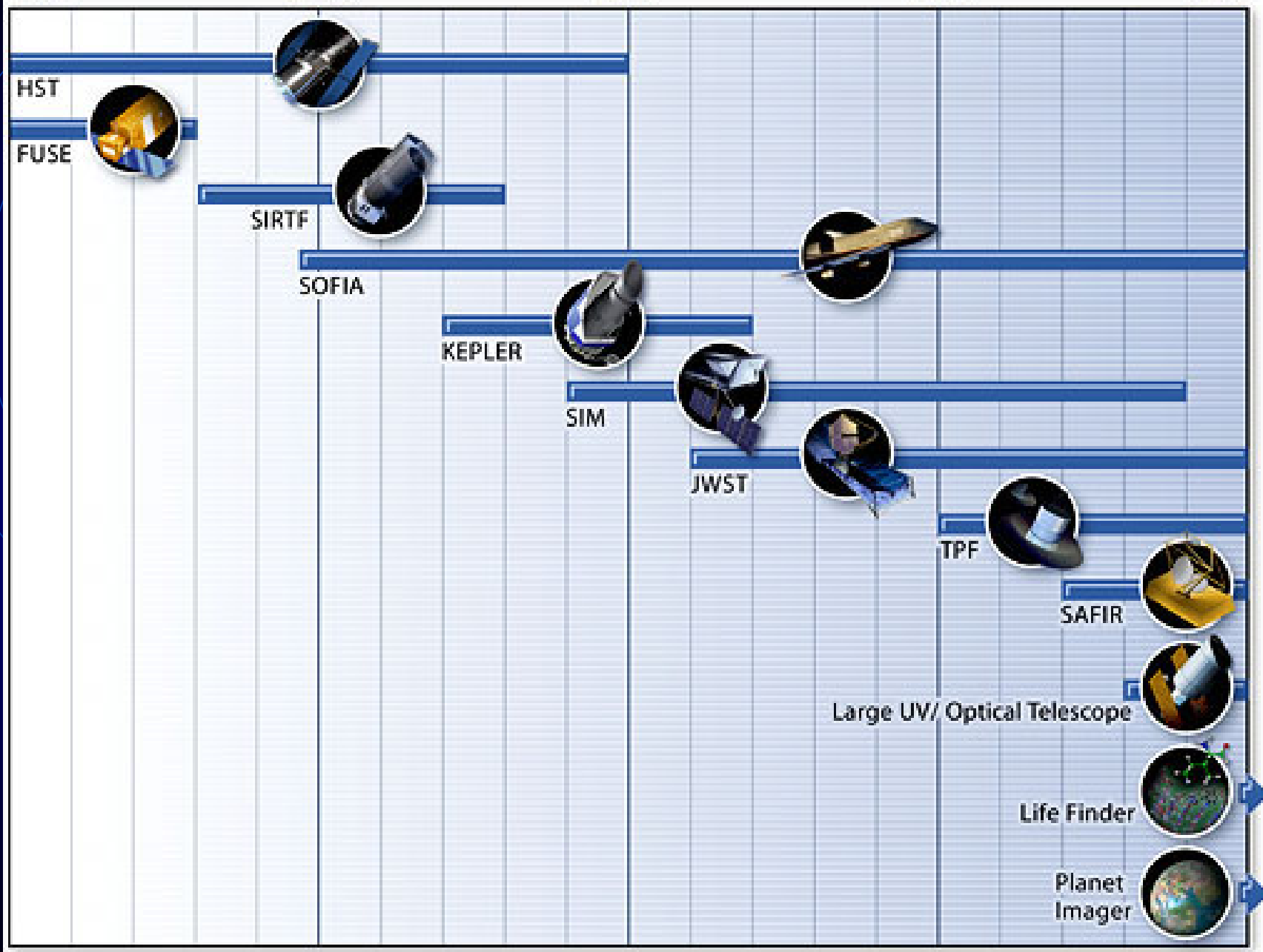
2000

2005

2010

2015

2020



- 適居區範圍：
大質量恆星→寬廣 小質量恆星→窄小

太陽適居區包含地球(及火星?)

