

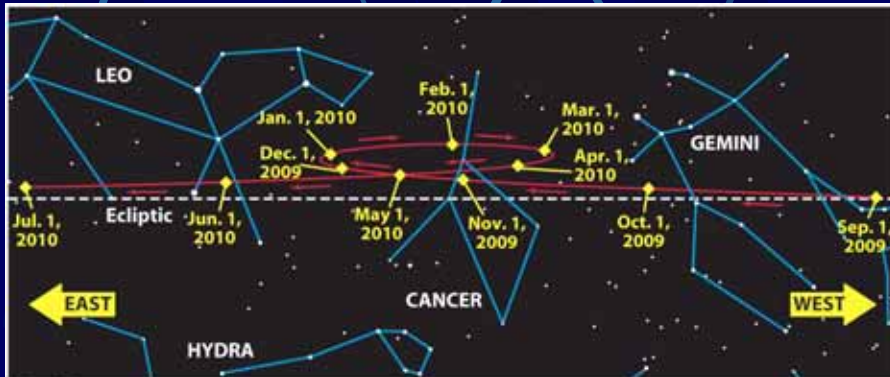
萬有引力與行星華爾滋



你覺得呢？

- 如何讓物體保持等定速（一樣快）？
- 地球繞太陽的軌道是什麼形狀？
- 行星是以固定速率繞行太陽嗎？
- 不同行星怎麼繞行太陽？
- 冥王星到底怎麼了？
- 其他恆星周圍有行星嗎？

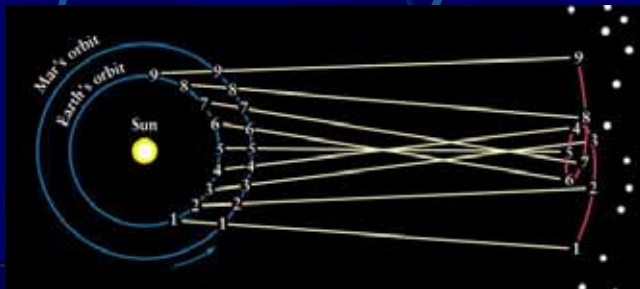
- 恆星 star
- 行星 planet ← wanderer
→ 東向順行 direct motion
- 閃惑之星? 火星的逆行運動 (retrograde motion)



火星從2009年12/23到2010年3/12將為逆行

從「地心說」(geocentric) 到「日心說」(heliocentric)

Nicolaus Copernicus (哥白尼; 十六世紀波蘭人): 如果假設太陽在中央, 則可以解釋很多現象, 包括讓人困惑的逆行運動



地球與火星皆繞行太陽

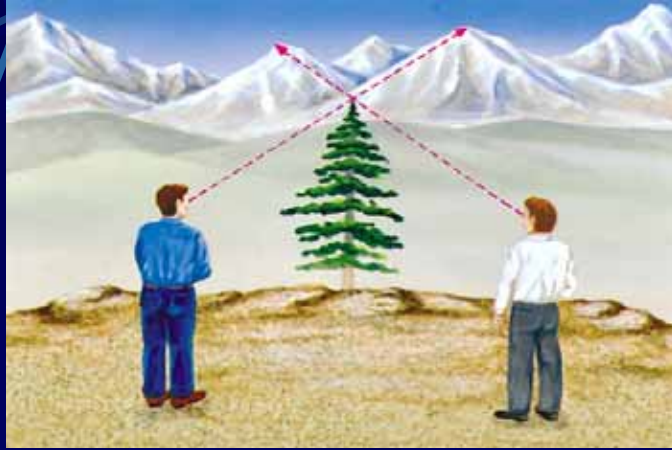
地球動得快

→ 火星看起來似乎逆行

刮刮鬍子?

視差 (parallax)

從不同角度，看到東西不同面

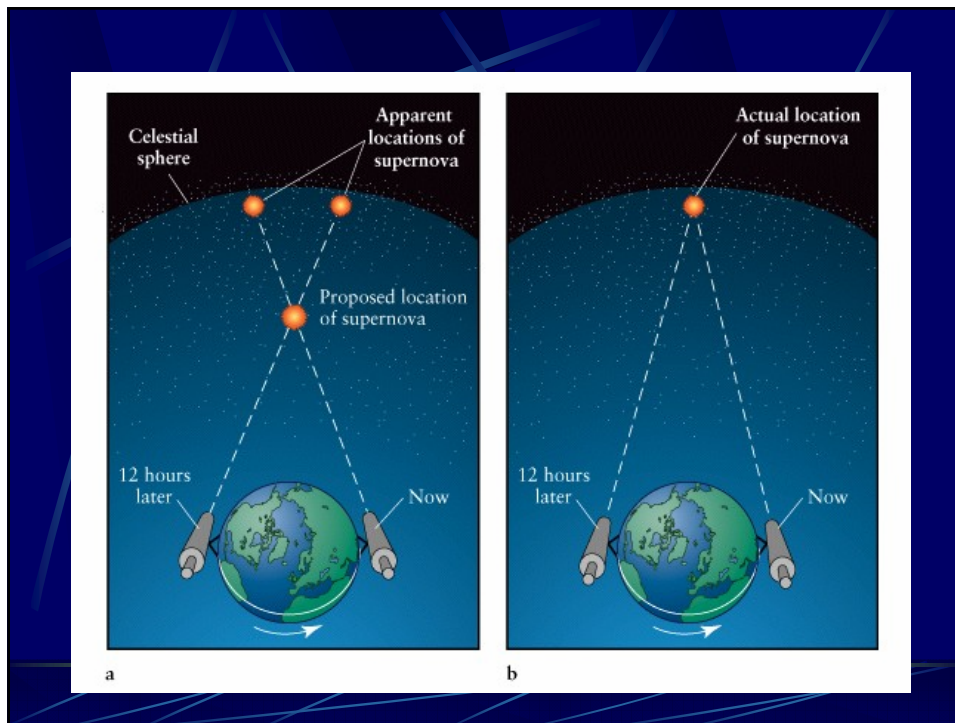


利用視差原理測量物體距離

Tycho Brahe (第谷)



- 1572 年一顆亮星突然出現在 Cassiopeia (仙后座)，比金星還耀眼，一年半以後才漸漸黯淡
- 如果天是永恆、不會變的 (從 Aristotle 及 Plato 傳下來的觀念)，這一定不是星，而是地球附近一個發亮的東西
- 丹麥天文學家 Tycho Brahe 想到，如果「這個東西」真的很近，應該可以量到它的視差 (parallax)。結果量不到，Brahe 因此認為這個東西非常遠



- 現在我們知道這是在 1572 年「看到」爆發的一顆超新星
- Brahe 於 1576~1597 年有系統地觀測行星的位置，準確到 1'，到 1601 年辭世時，留下大量珍貴的觀測資料給了 Johannes Kepler（刻卜勒）

AST100 HW071009

● 太空科技對日常生活有哪些幫助？

有哪些產品其想法或技術來自太空任務

● 1~2 頁報告

● 打字；A4單行間距12號字

● 一週後上課繳交，不接受遲交

● 清楚註明資料出處，思想來龍去脈

● 參考網站

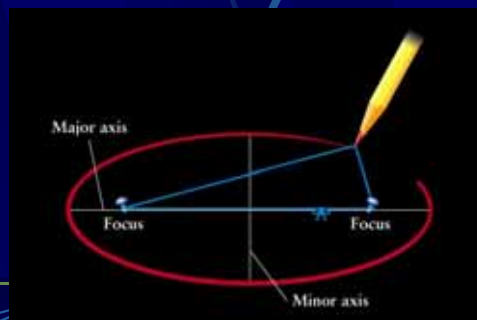
<http://www.sti.nasa.gov/tto/>

Johannes Kepler (刻卜勒)



刻卜勒行星三大運動定律

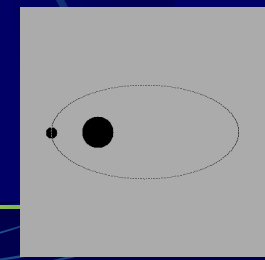
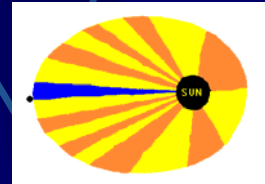
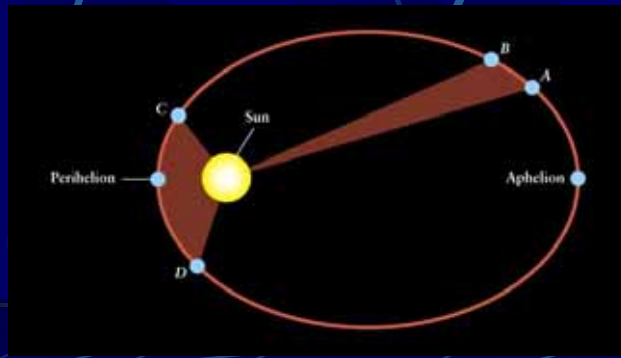
1. 行星繞行太陽的軌道為橢圓形，太陽位於橢圓其中一個焦點（另外一個焦點有什麼？）



刻卜勒行星三大運動定律

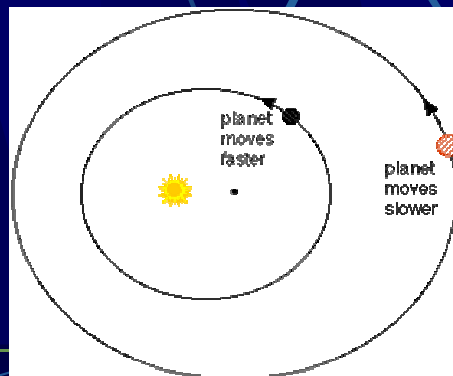
2. 連接行星與太陽的直線，在相同時間內劃過相同面積（對同一行星而言）

Why?



刻卜勒行星三大運動定律

3. 行星繞太陽所需的「時間長短」（週期）的平方正比於「和太陽的距離」（軌道半長軸）的三次方（對不同行星而言）



$$P_{\text{yr}}^2 = a^3_{\text{AU}}$$

- 凱卜勒接收來自 Tycho Brahe 大量精確的觀測資料，歸納出行星運動定律，屬於經驗法則，並沒有學理基礎
- 換句話說，刻卜勒的偉大發現乃「知其然」但不知「其所以然」
- 直到牛頓推導出萬有引力定律，才成功解釋行星運動的根本原理

Galileo Galilei (加利略)



- 當時已經發明了望遠鏡
- 加利略首先使用望遠鏡觀察天體、天象
- 看到了月球表面的坑洞、太陽黑子、木星的（四顆）衛星
- 木星的這四顆衛星稱為 Galileo moons (or satellites)
- 這些觀測強烈支持日心說的想法

2007.10.09

Issac Newton (牛頓)



● 牛頓力學定律

- 動者恆動、靜者恆靜
- 物體加速度正比於施加的力量
- 當某物體施加作用力於另一個物體，另一個物體則施加反作用力，大小相等，方向相反

力 ↔ 運動

● 力 (force) → 影響 (改變狀態)

變形、運動狀態 → 快慢、轉彎

加速度 (acceleration) ← 速度改變

● 力 = 惰性 × 加速度

保持原狀；抗拒改變

- 東西保持直走，並沒有改變運動狀態（速度沒改變），所以不需要施加力量也就是「**動者恆動、靜者恆靜**」
- 若要顯著改變狀態，需要大的力量
- 惰性越大的物理，越不容易改變其狀態；若要改變其運動狀態，需要越大的力
- **惰性 = 質量**（包含物質的多寡）
- 其實，質量是由「力」與「加速度」所定義

牛頓萬有引力定律

兩物之間恆存互相吸引力，其大小與各自質量乘積成正比，與彼此距離平方成反比

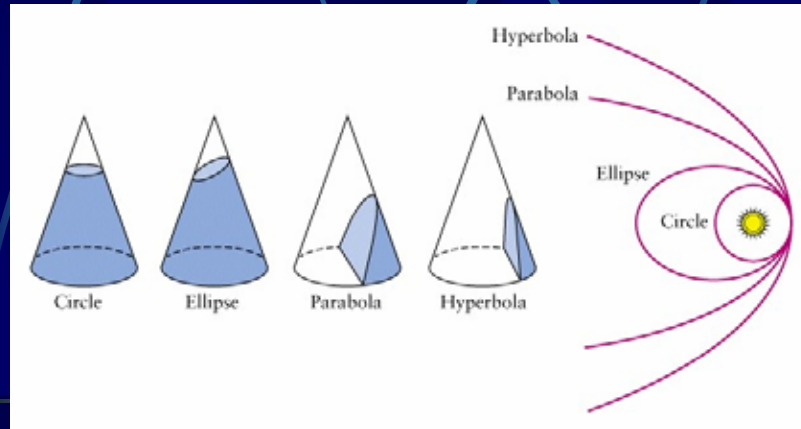
$$\text{萬有引力} = (\text{質量A}) \times (\text{質量B}) / (\text{距離})^2$$

可以成功解釋凱卜勒行星運動定律！

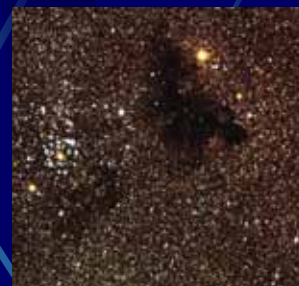
行星距離太陽遠 → 萬有引力小
→ 不能轉得太快

→ 行星距離遠則（公轉）軌道速率慢
適用於相同行星在軌道不同位置，
或是不同行星

牛頓推論出天體除了**橢圓**（ellipse；圓形 circle 只是特殊的橢圓）軌道以外，還可以有其他軌道形狀：
 parabola（**拋物線**）、hyperbola（**雙曲線**）



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



星際暗雲 收縮 初生星球 + 扁盤 + 剩下的環繞塵氣
 旋轉

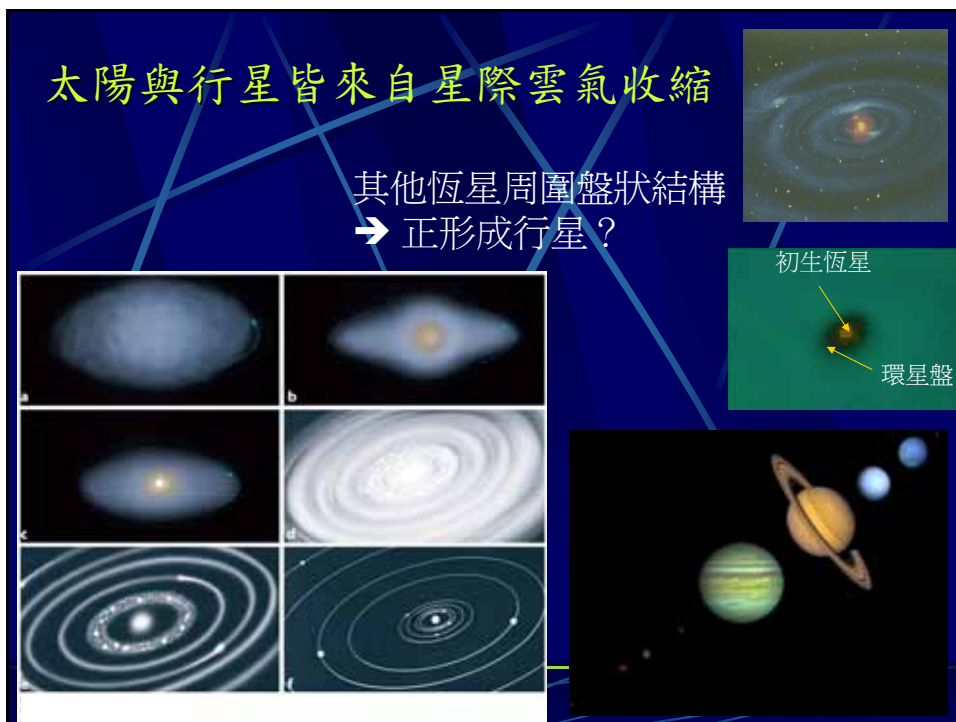
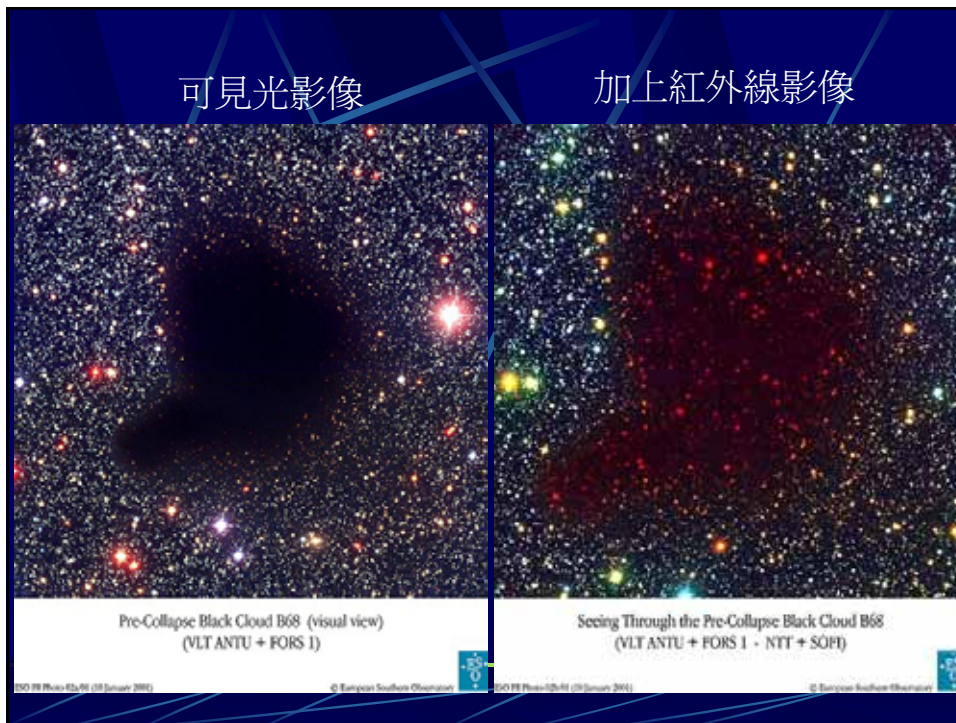


溫度上升、塵消氣散

年輕的太陽 + 盤狀物質



星際塵埃 塵塊 小行星 行星



太陽系中的各式天體

雲氣收縮、中央溫度升高、點燃核子反應 → 太陽

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？

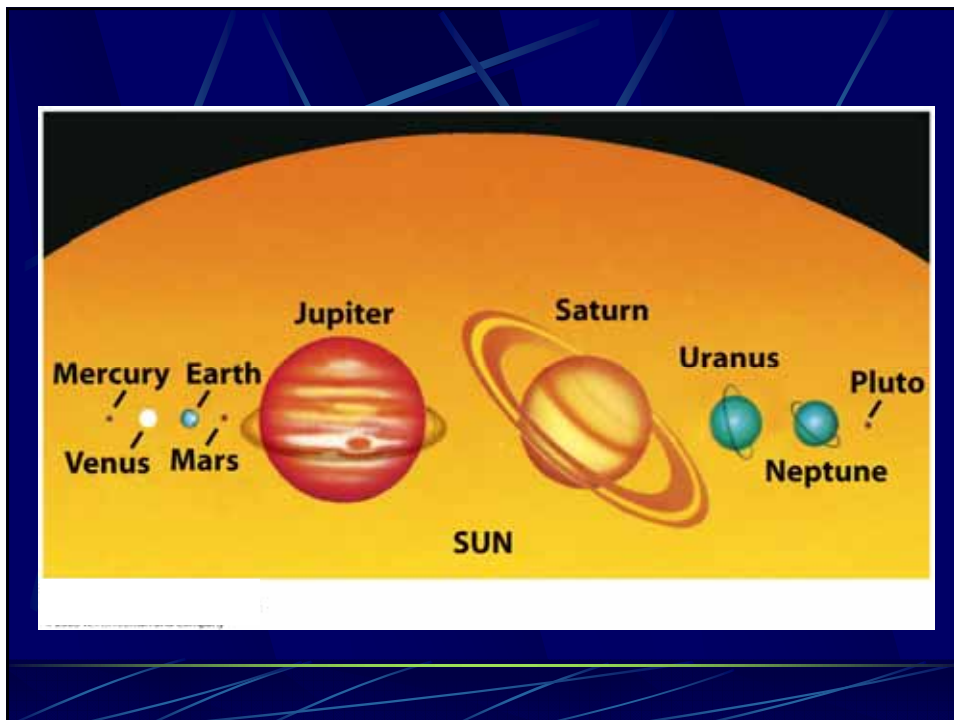


各式各樣的行星

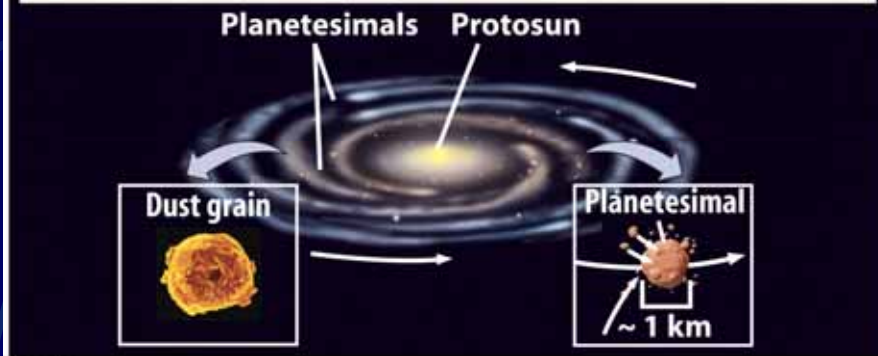
- 離母恆星距離近 → 熱；距離遠 → 冷
- 行星質量愈大 → 愈抓得住（輕的）氣體

↙ 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)**

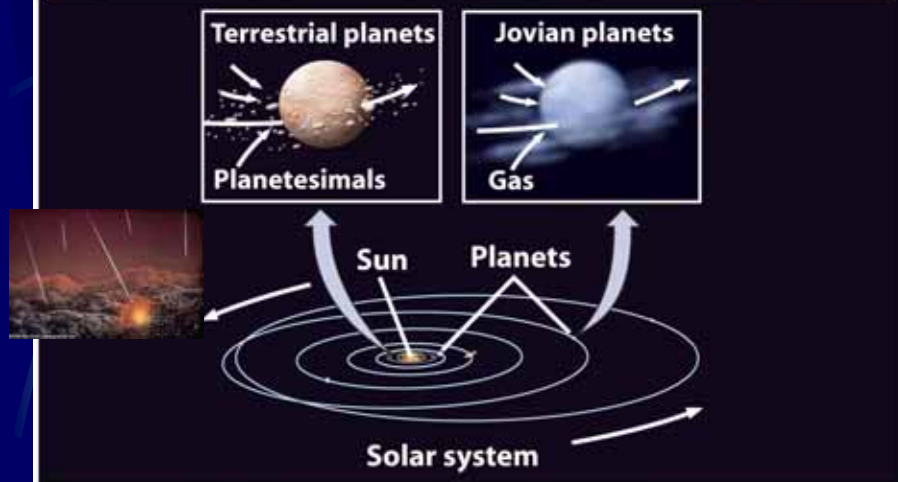
↙ 內圍的水星、金星、地球（+月球）、火星
 質量小、體積小、主要是岩石、有陸地
 → **類地行星 (terrestrial planets)**



原始太陽周圍的盤狀雲氣中，塵埃聚集成塵塊，逐漸長大，形成「微行星」



微行星碰撞、凝聚形成「類地行星」；進而吸集氣體形成「類木行星」



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

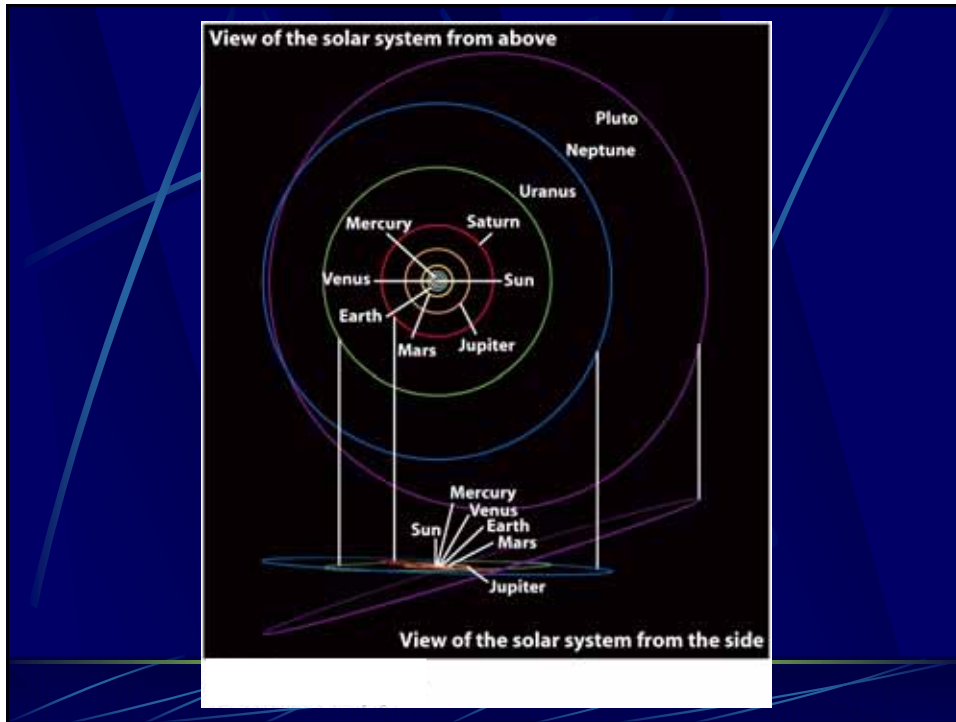
	Diameter		Mass		Average density
	(km)	(Earth = 1)	(kg)	(Earth = 1)	(kg/m ³)
Mercury	4,878	0.38	3.3×10^{23}	0.06	5430
Venus	12,100	0.95	4.9×10^{24}	0.81	5250
Earth	12,756	1.00	6.0×10^{24}	1.00	5520
Mars	6,786	0.53	6.4×10^{23}	0.11	3950
Jupiter	142,984	11.21	1.9×10^{27}	317.94	1330
Saturn	120,536	9.45	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

類地行星 水星、金星、地球、(月球)、火星

距離太陽近、彼此距離近、質量小、體積小、成分主要是岩石、有陸地、衛星數目少

類木行星 木星、土星、天王星、海王星

距離太陽遠、彼此距離遠、質量大、體積大、成分主要是氣體、沒有陸地、衛星數目多



冥王星的橢圓軌道比其他行星狹長，且與黃道面傾角也較大(17度)

1979年與1999年之間，冥王星比海王星還更接近太陽

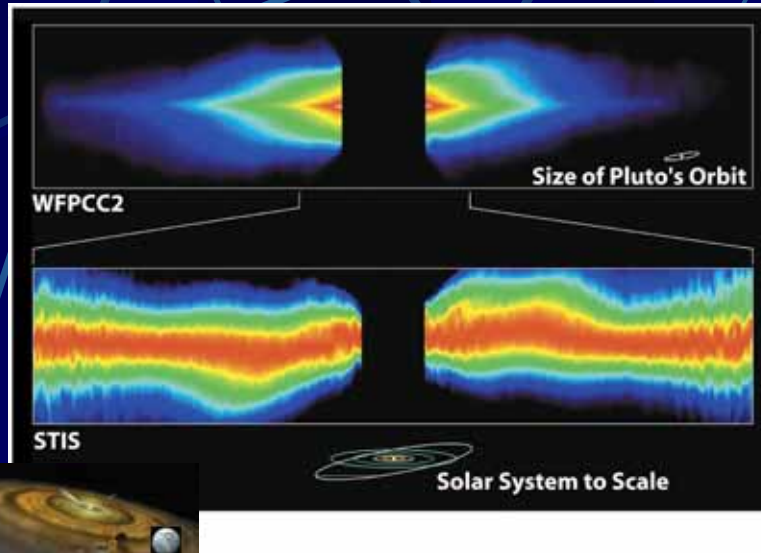


Orbit of Pluto



Pluto 是行星中的異類，已經於2006夏天，從行星除名，現在歸類於「矮行星」

太陽系以外的行星系統



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

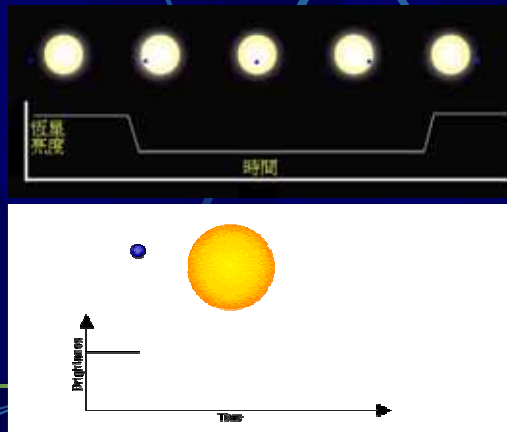
亮度變化

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

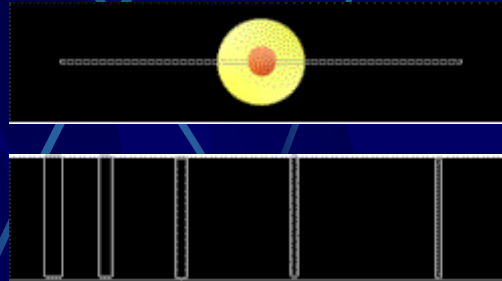
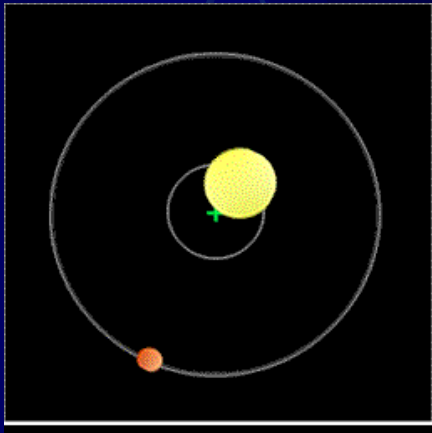
2—若要人不知，除非己莫為

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

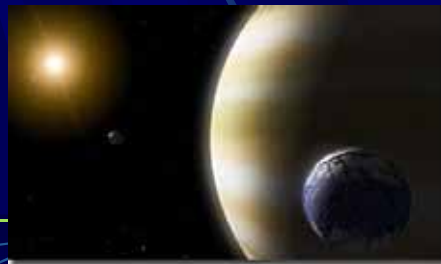
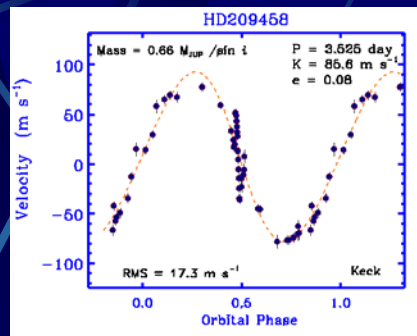


原本在太空中走直線的恆星，因為與行星互繞，因此自行運動會「走螺線」

恆星因為與行星互繞，而在沿「視線」方向有「前後擺動」的運動。

<http://www.astronautica.com/detect.htm>

截至目前已經在太陽系之外發現共超過200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？）

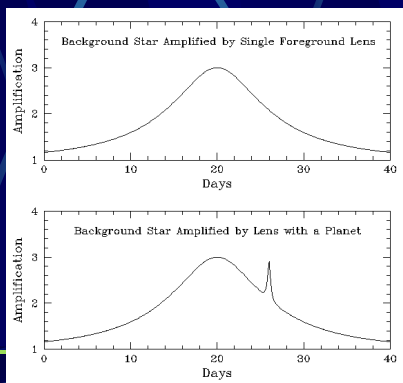


偵測行星存在的方法

3 — 擋住了，但更亮！

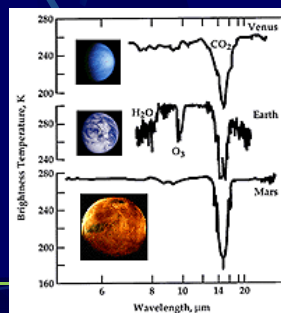
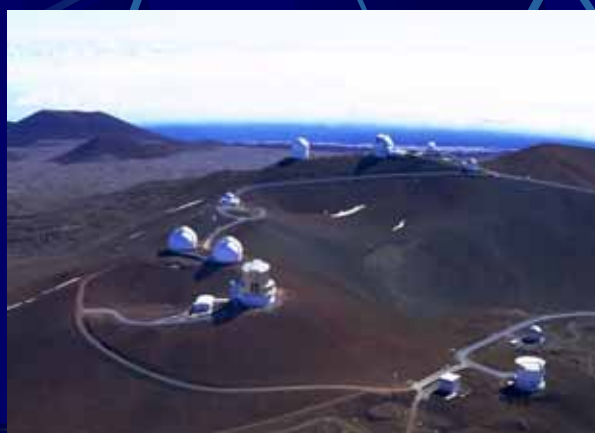
如果行星（前景）精準地正好在我們和遙遠恆星（背景點光源）之間，那麼恆星的**亮度**會**增亮**

「**重力透鏡**」
(gravitational lensing) 效應



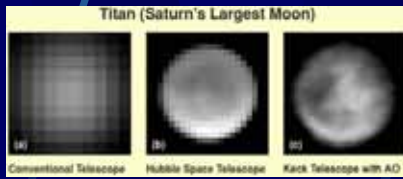
鱗光片羽勝過千言萬語

—— 要是能直接看到就更棒啦





越來越大的望遠鏡



越來越看得清楚的觀測技術

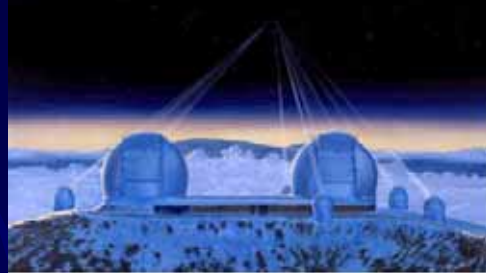
越來越靈敏的偵測儀器



LBT in Arizona, USA

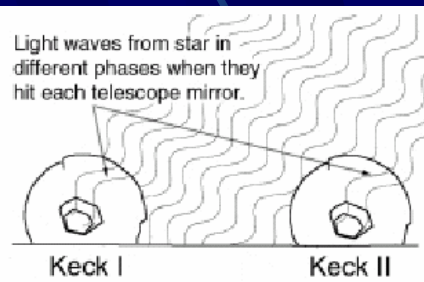


Keck in Hawaii, USA



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



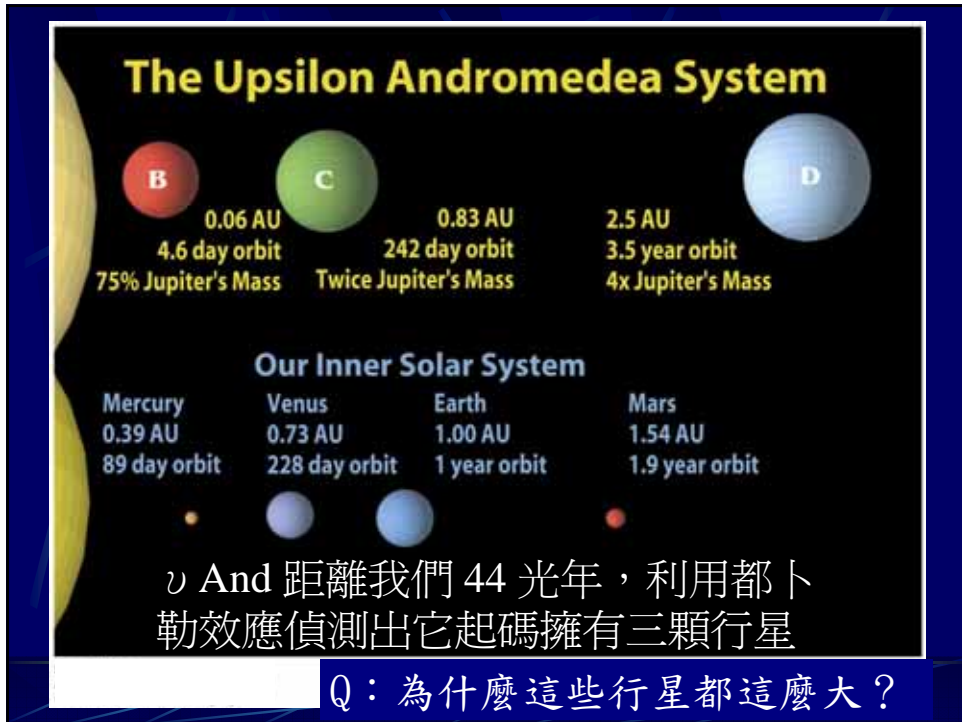
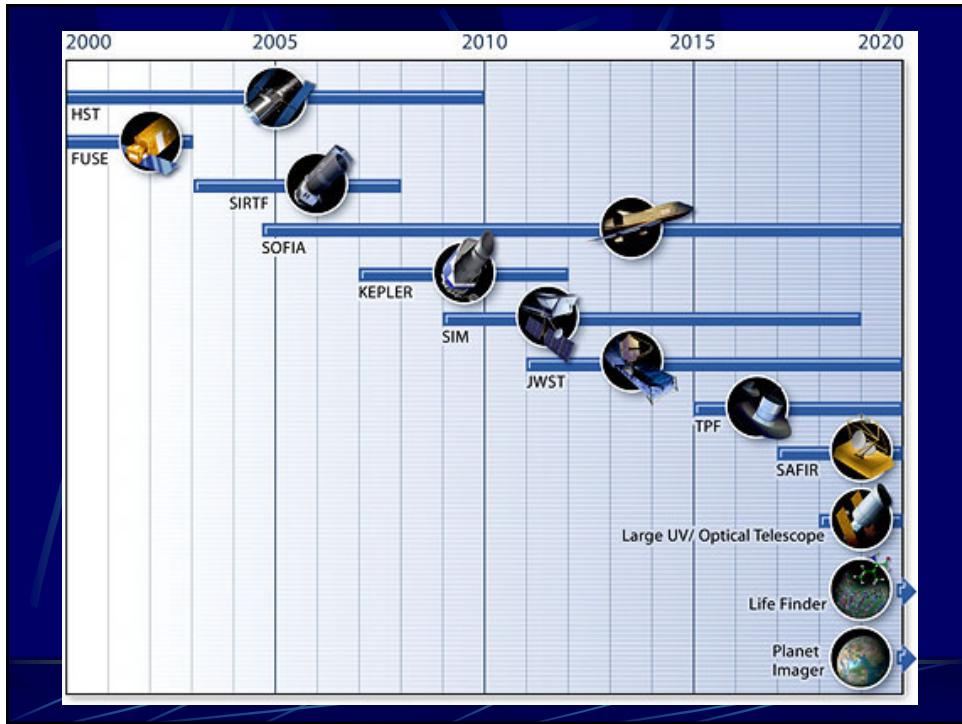


到太空去！
前面說的都能做，
而且做得更好

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



- 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?)

