

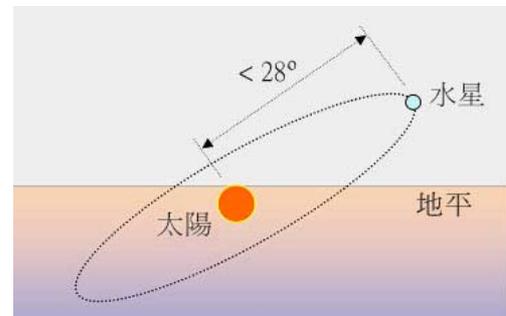
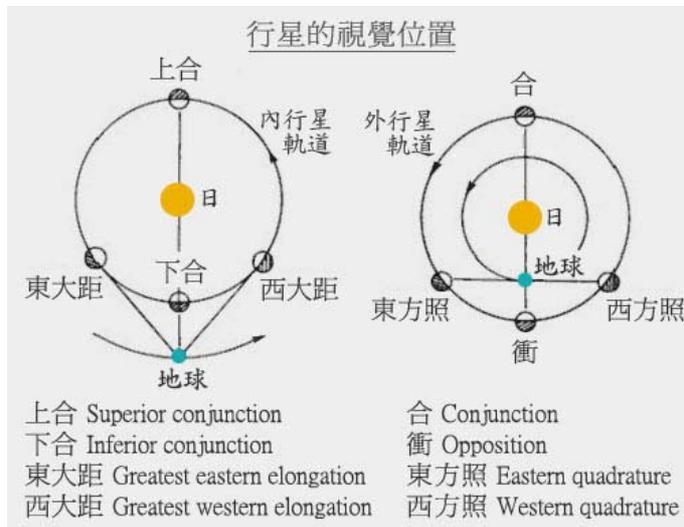
## 行星、彗星、太陽系外行星

(稿源：義工天文培訓班 --- 第 10 講)

太陽系成員，依軌道次序有：水星 Mercury (0.4 AU)、金星 Venus (0.7)、地球 (1.0)、火星 Mars (1.5)、小行星 asteroids / minor planets、木星 Jupiter (5.2)、土星 Saturn (9.5)、天王星 Uranus (19)、海王星 Neptune (30)、TNO (Trans-Neptunian objects, 冥王星歸此類)、彗星等，所有行星都沿着黃道的兩側運行。



水星、金星、地球稱為內行星，在地球軌道以外則稱外行星，它們的視覺位置不停地變化，例如水星有時在太陽的東面，有時在西面，但不管如何，水星到太陽的目視距離不會大過  $28^\circ$ ，這個視角稱東大距或西大距，所有天文年曆都會列出東、西大距和其他行星的特定位置時刻（下圖）。



水星是難得一見的內行星，它與太陽相隔不會超過  $28^\circ$ ，所以只能在日出前或日落後在地平處短暫出現，如果剛巧遇着水星軌道與地平線成低角度的話，水星出現時間便更短。

在下合附近的位置，內行星有可能在太陽面前經過，造成所謂“凌日” (Transit) 現象，不過凌日並不常見，以金星為例，本世紀只有兩次凌日：2004.06.08 和 2012.06.06。火星在“衝” (Opposition) 時離地球最亮最近，最大的視直徑達 25 角秒。

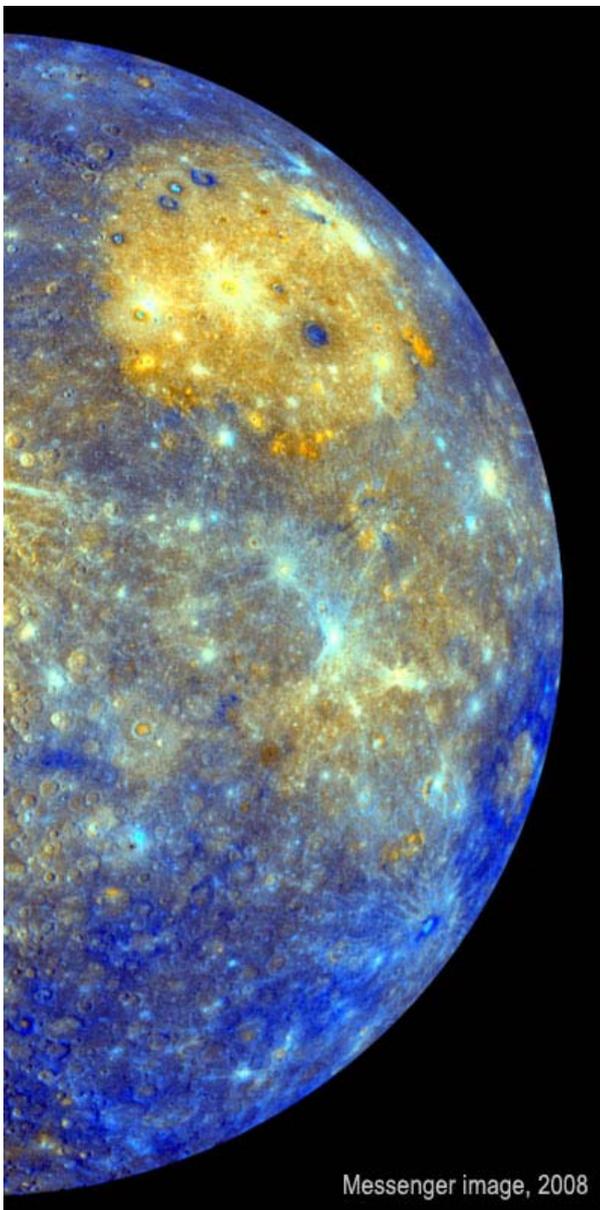


## 水星

- 水星不及地球直徑的一半，但核心竟佔整體直徑的四份三！
- 它的軌道偏心率達 0.2，是眾行星軌道最橢圓的。
- 因為離太陽最近，午間時表面溫度高達 400 C；水星無大氣層，入夜後溫度劇跌至 -180 C。
- 表面似月球，有許多撞擊坑，但“海”(冷卻的溶岩平原) 甚少；表面亦有盆地，最大的一個叫 Caloris Basin，直徑 1500 公里，內裡的個別熱點超過 500 C。
- 在表面的葉狀懸崖 (Lobate scarps) 相當明顯，一般高 1~2 公里，長幾百公里，說明水星冷卻時的收縮程度頗大。
- 理論假設：原本的水星有半個地球那樣大，但初生不久後與另一原始行星碰撞被削去部份外層物質，結果剩下不成正常比例的大核心，也令軌道異常橢圓。

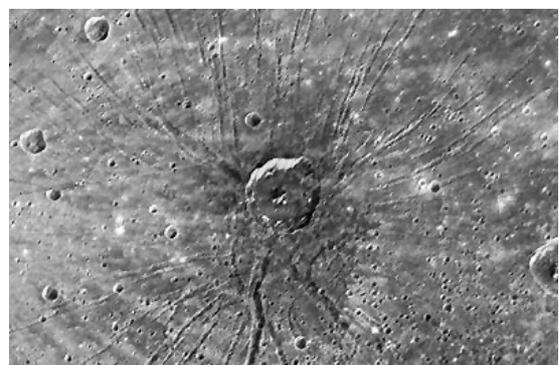
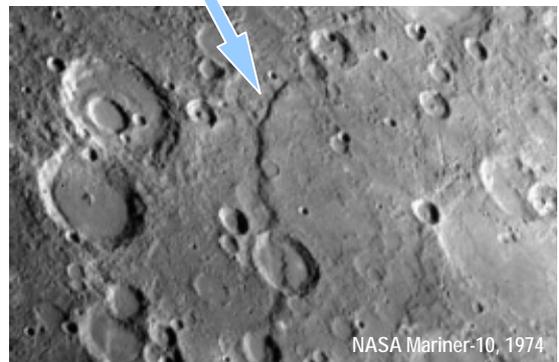
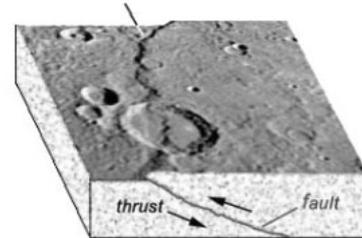


水星的大核心



水星上的 Caloris Basin (圖的上半部)

Lobate scarp 葉狀懸崖

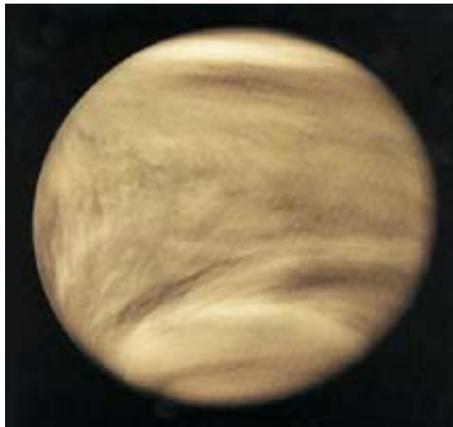


在 Caloris Basin 內的一個蜘蛛形撞擊坑，圓坑直徑約 40 km。 (Messenger image, 2008)

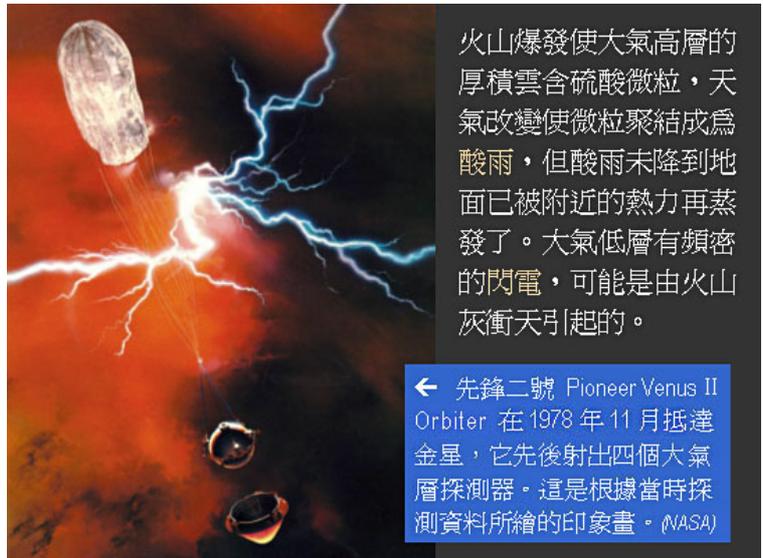
## 金星

金星較地球略小，自轉週期 273 天（逆轉），有濃厚的大氣層，九成以上是二氧化碳，氣壓是地球的 92 倍。入射的陽光被大氣吸收後形成溫室效應，因此金星向着太陽的一面熱至 470 C，足把鉛錫等金屬溶化。大氣高層有強風，時速達 400 公里，短短 4 天就繞金星一周，故背着太陽的一面也很熱（沒有足夠時間冷卻），更奇怪的是金星基本上沒有磁場。

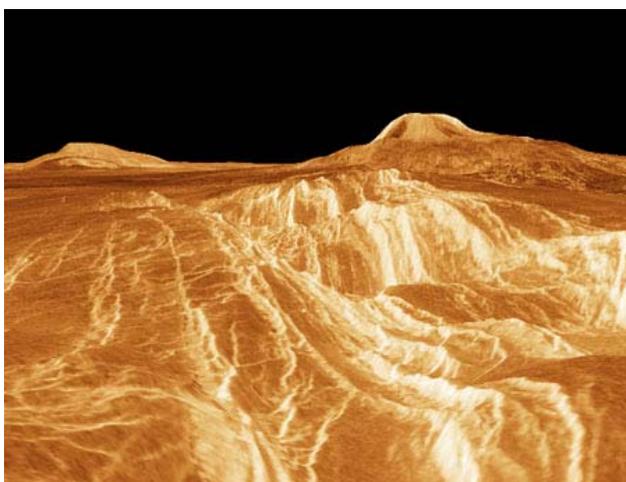
根據麥哲倫探測器的雷達掃描，金星表面 3/4 是平原，1/4 是高地，撞擊坑比水星少得多，但沒有小於 ~ 3 公里的小坑（因有大氣層阻隔）。火山數以百計，不少仍然活動，活火山區的範圍可達幾百公里，區內的岩漿爆發像煉獄。火山活動往往把地勢改造，這使金星表面所有的地形特徵“年齡”都不大，最老的也不超過十億年（太陽系約在五十億年前形成）。



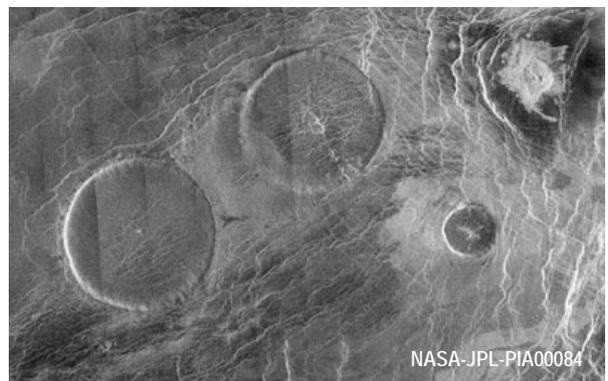
金星被濃厚的大氣高層積雲遮蓋，用光學望遠鏡見不到它的陸地（Pioneer Venus Orbiter 紫外線着假色照片, 1979）



← 先鋒二號 Pioneer Venus II Orbiter 在 1978 年 11 月抵達金星，它先後射出四個大氣層探測器。這是根據當時探測資料所繪的印象畫。（NASA）



金星 Eistla Regio 內所見：前景是裂谷，遠景右的火山叫 Gula Mons（高 3 公里，直徑 270 公里），其左亦是火山，叫 Sif Mons。（Magellan radar image, 1990）

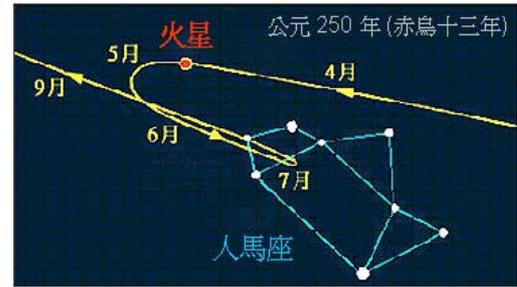


金星上的“薄餅火山”（pancake dome），直徑 65 公里，但只高 1 公里，由高粘性的溶岩噴發而成。（Magellan radar image, 1990）

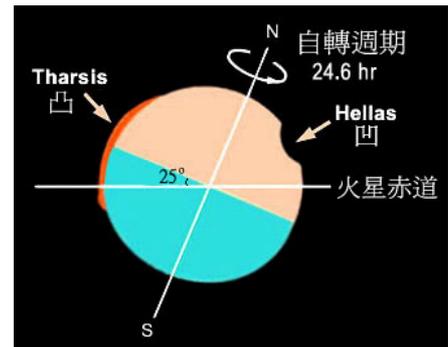
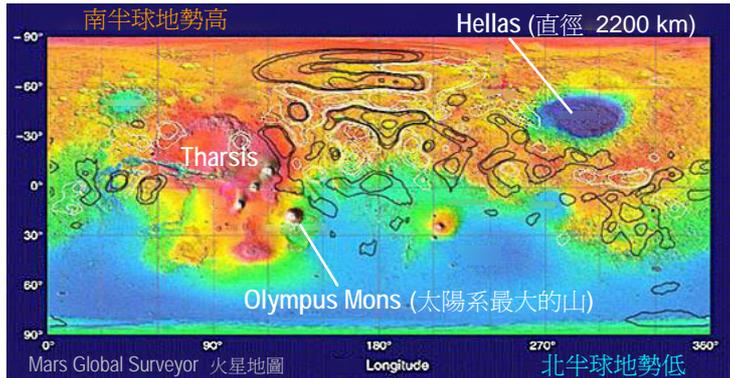
## 火星

- 古籍《吳書》：“吳孫權赤烏十三年五月，日北至，熒惑逆行入南斗”。南斗即是南方的斗宿，現代人馬座的茶壺柄部份，古人對火星逆行疑惑不解，再加上它像熒火的紅色，因此稱火星為熒惑。火星直徑 6800 公里，呈紅色是因為它的表面沙土含氧化鐵。

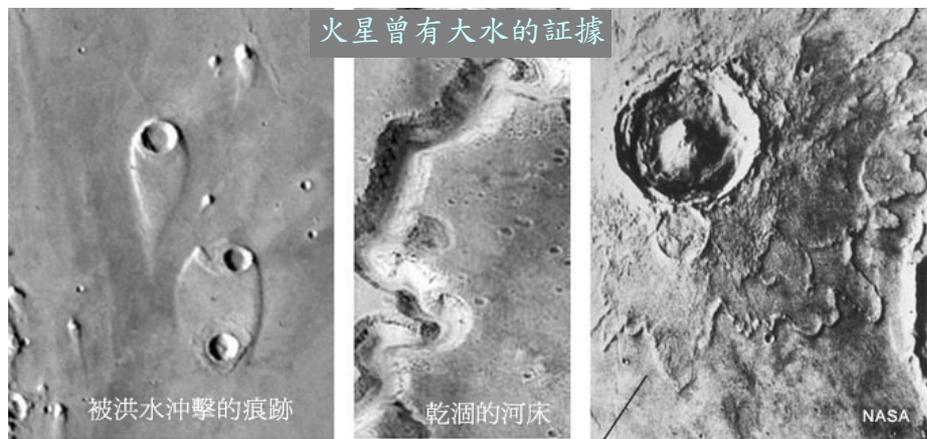
火星逆行動畫 [http://www.alanchuhk.com/Mars\\_retro\\_motion.gif](http://www.alanchuhk.com/Mars_retro_motion.gif)



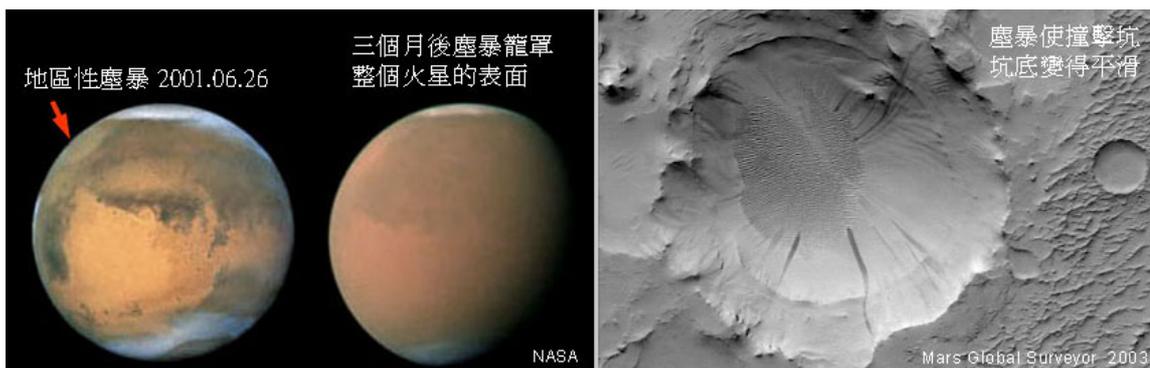
- 表面的 Tharsis (高地) 與 Hellas (盆地) 相隔 180°, 明顯的凹凸地勢與外星體碰撞火星有關嗎?



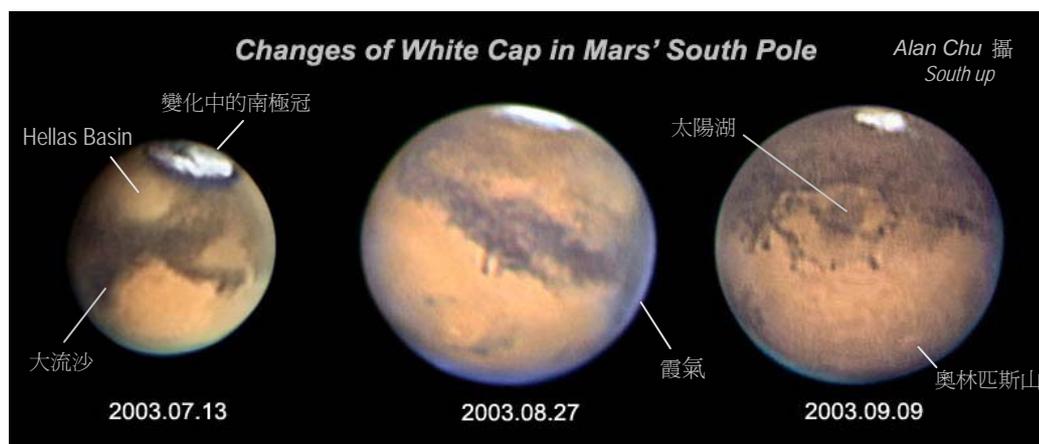
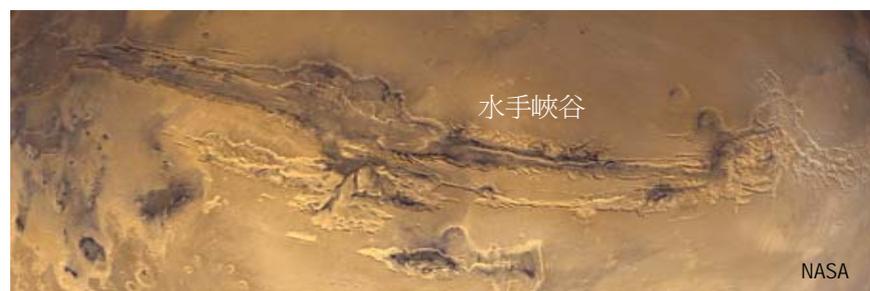
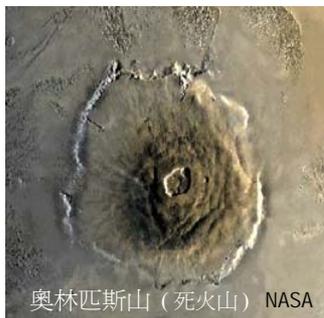
- 遠古時火星曾經有大水，表示那時的氣候較現在溫暖和潮濕。今天已初步証實火星有地下水，但水量及分佈的情況仍待勘探。火星亦有少量大氣，主要是二氧化碳，缺濕氣，日夜溫差 (20 至 -140 C) 引起的強風把表面塵沙刮起，形成黃色的“塵暴”，最勁的塵暴可以籠罩整個火星表面，漫延數月才消失。



撞擊坑下面有含冰的凍土，撞擊的熱力使地下冰溶化與濺射物混合成爲這個樣子。



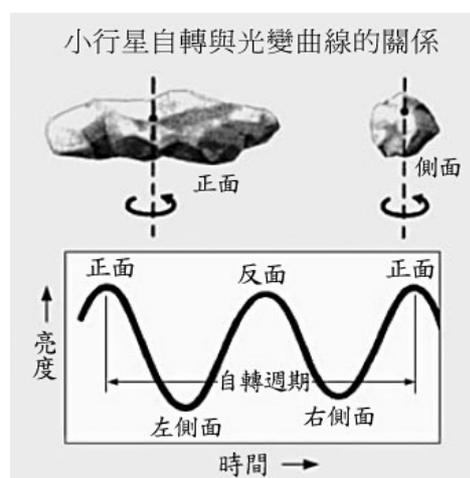
- 大型表面特徵有： 南北二極冠 polar caps (外層是 CO<sub>2</sub> 乾冰，大小隨四季變化)、水手峽谷 Vallis Marineris (太陽系最大的峽谷，長 4500 公里，最深 9 公里)、奧林匹斯山 Olympus Mons (太陽系最大的山，座圍 500 公里，高 27 公里)、大流沙 Syrtis Major、太陽湖 Solis Lacus 等。



- 火星有兩個外形不規則的小衛星： Phobos (9 公里) 和 Deimos (23 公里)。

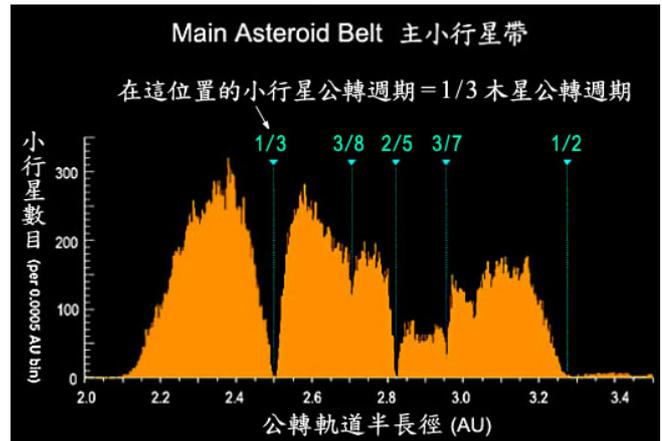
## 小行星帶

由於木星的強大引力作用，在火星、木星之間的零碎小天體不能集積成行星，這些小天體數以萬計，總稱小行星，最大的叫穀神星 Ceres (直徑 940 公里)、其次是智神星 Pallas (540 公里)、婚神星 Juno (240 公里)，最小的可以十米以下。大多數小行星的外形並不規則，因為小行星的質量低，本身引力未能達至流體靜力平衡 (hydrostatic equilibrium)，因此往往不塑成球狀而似馬鈴薯，當陽光照射它們的不規則表面時，小行星的亮度便依隨自轉步伐改變，從光變曲線的起伏便可推算該小行星的自轉週期，不過大多數的小行星非常暗淡，例如 15 等或更暗，光變必須用靈敏的儀器探測。

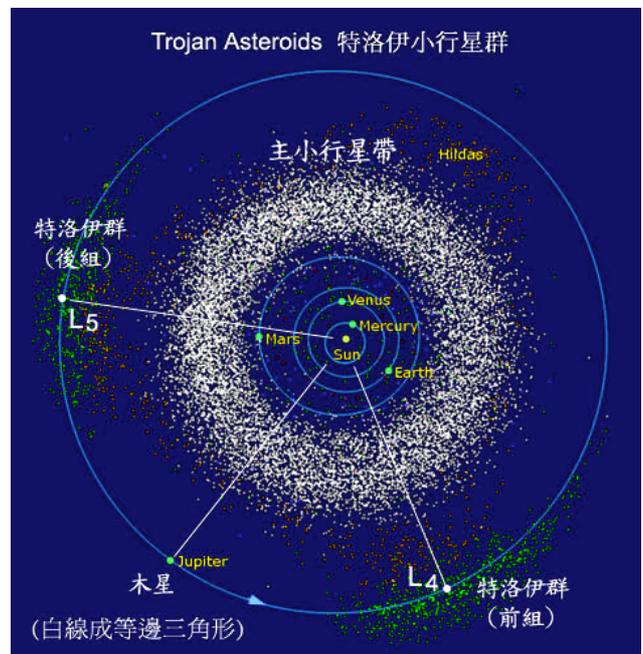


愛神星自轉動畫 [http://forum.hkas.org.hk/Web/Eros\\_rotation.gif](http://forum.hkas.org.hk/Web/Eros_rotation.gif)

小行星主要集中在距離太陽 2 ~ 3 AU 的空間，稱為“主行星帶”，帶內有幾處特定的空隙，總稱 Kirkwood gaps，那裡的小行星數目特別少，原因見右圖 ----- 橙色代表主小行星帶，那些 1/3、3/8、2/5、3/7、1/2 記號就是 Kirkwood 空隙位置，1/3 表示在此處的小行星公轉週期等於木星的 1/3，1/2 則是木星公轉週期的一半，餘此類推。假設在 1/3 位置原有小行星 A，木星每公轉一圈，A 便剛好轉了三圈，所以每隔一段固定時間，A 與木星便在同一樣的相對位置會合，會合時 A 受到木星的攝動也最大，久而久之經過多次會合後，A 所累積的木星攝動效應就非常大了，太陽對 A 的引力終於不敵累積的木星攝動，於是 A 偏離原來 1/3 位置而進入更近木星的新軌道，這種累積性的攝動效應好像聲音在聲箱內共振的物理現象，因此稱為“軌道共振”(orbital resonance)。同樣道理，甚餘的 3/8、2/5、3/7、1/2 位置亦是最易產生軌道共振之處，結果主小行星帶經歷長期演化後便出現缺乏小行星的 Kirkwood 空隙。



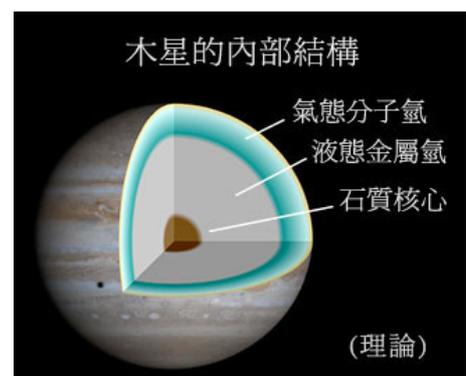
提起攝動，它是天體之間其中一種引力互擾現象，攝動可以把“弱者”吸近“强者”而使軌道出現空隙，在另一情況下又可使小天體聚合在固定的相對空間，最明顯的例子是“特洛伊小行星群”(Trojan Asteroids)，它有前後兩組大約形成等邊三角形對立在太陽至木星軌道面上，每組的中點剛好是 L<sub>4</sub>、L<sub>5</sub> (學名稱爲拉格朗日點)，在這裡的太陽引力與木星引力互相抵消，所以在群內的小行星不會離開 L<sub>4</sub> 或 L<sub>5</sub> 太遠。Trojan 原意是古代特洛伊人，常與古希臘人戰爭，雙方死了許多戰士，兩群小行星的成員都以雙方的戰士命名，故取 Trojan 爲群名。



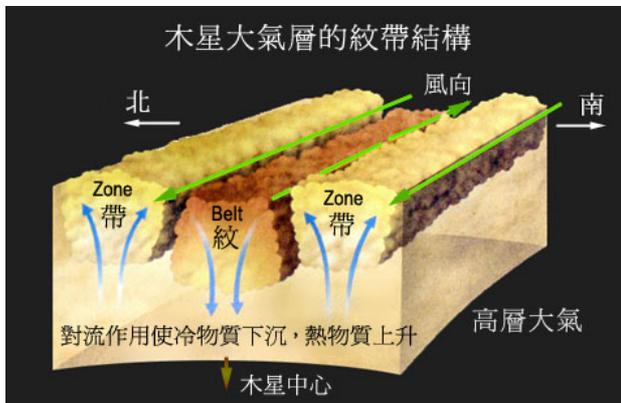
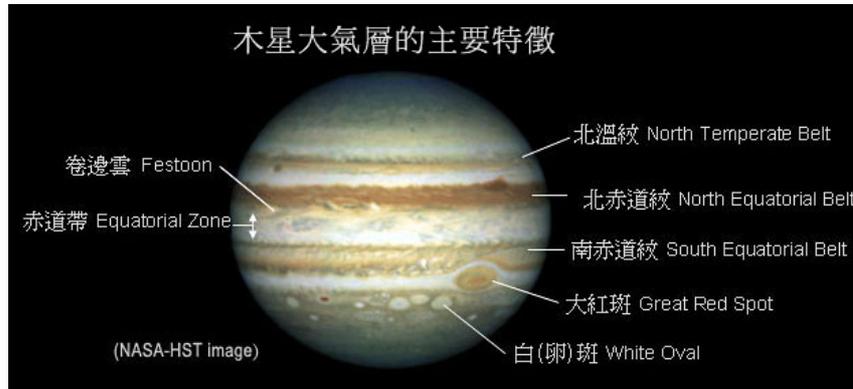
順便一提，火星的兩顆小衛星可能來自小行星帶，在偶然機會下被火星的引力擄獲而成爲衛星。有些小行星的軌道頗扁長，甚至可以走近地球成爲“近地小行星”，如果其中一個 10 公里級撞擊地球，後果可以使大量生物滅絕，科學家說六千五百萬年前小行星撞地球使恐龍滅絕。

## 木星

木星是太陽系內最大的行星，直徑 143,000 公里，比地球大 11 倍。它的質量也是行星之冠，是地球的 318 倍，若人在木星表面，其體重會增加 2.4 倍。木星被濃厚的大氣層包圍，故此又被形容爲“氣體行星”。大氣中 90% 是氫，9% 是氦，其餘是甲烷、氨、水等，高層雲的顏色反影了它的化學含量及高度，例如：白色 ≈ 氨 ammonia (NH<sub>3</sub>)，黃/棕/紅色 ≈ ammonium hydrosulfide (NH<sub>4</sub>SH)，藍色 ≈ 水份。大氣層之下的結構，到現在還未清楚，估計有一層氣態分子氫，其下是一層頗厚的液態金屬氫 (導電)，木星磁場可能源於此，最內是比地球約大 1.5 倍的石質核心。



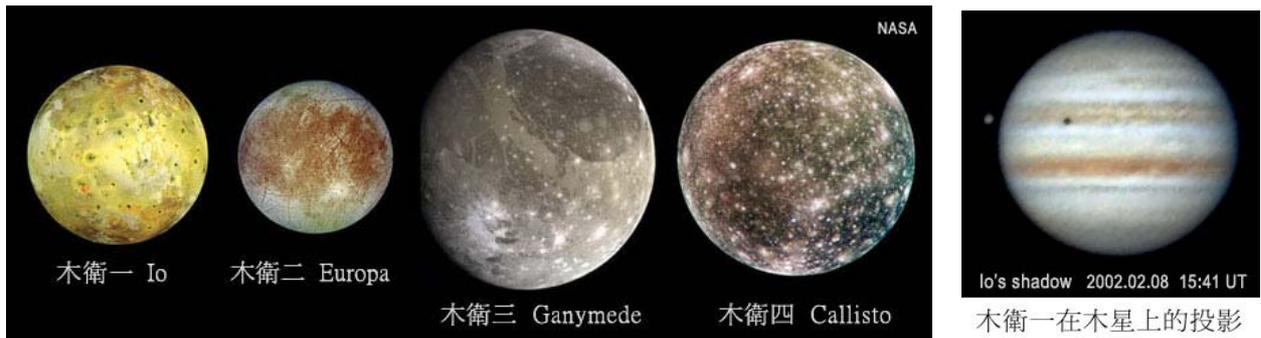
木星的自轉週期隨緯度改變，在赤道區是 9h 50m (System I)，在中緯度約 9h 56m (System II)，快速的自轉使這顆氣體行星的赤道直徑比兩極直徑多出 1/16。近赤道的風力也特別強，最高風速達 100 m/s 以上。大氣的外觀特徵以南北兩條“赤道紋”及南面的“大紅斑”最明顯。



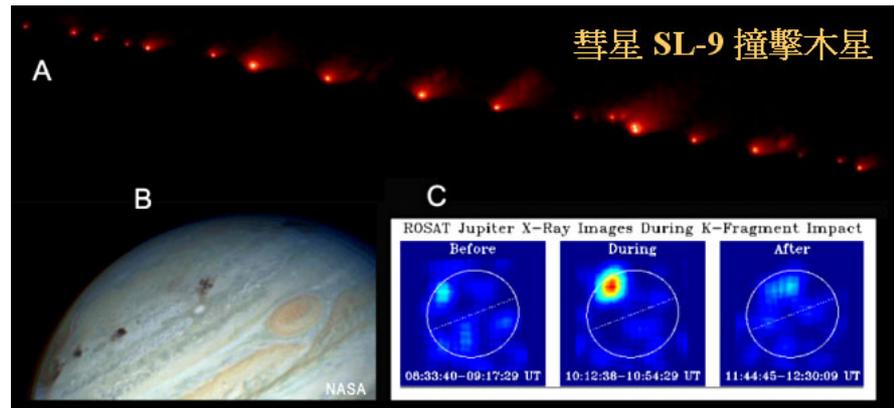
- 木星有內熱令大氣層產生對流運動，赤道紋與其間的“帶”都是因對流升上來的氣雲，它們的高度由氣雲的化學成份、密度和溫度決定，木星的快速自轉又把它們分佈成橫條狀 (上圖左)。大紅斑是一個比地球還要大的反氣旋風暴 (上圖右)，在十七世紀已被發現了。其外緣每四至六天旋轉一圈，最高風速接近 200 m/s，在中心附近，運動很小，且方向不定。由於木星是一個氣體行星，缺乏固態表面來消耗風暴的能量，因此一旦發生旋轉氣流就會長時間延續，無法像地球上的風暴在內陸迅速消失。大紅斑的大小和顏色隨年代轉變。在未變成紅色或粉紅色前，它是呈淡色空心的 (例如 1981 年)。顏色可反映出大紅斑的成份，呈紅色或粉紅可能表示氣體含磷化氫 ( $\text{PH}_3$ )。大紅斑的真相還在研究中。
- 在已知的 60 餘個衛星中，最大最亮的四個最先被伽利略用望遠鏡觀測，它們是：

|              | 直徑      | 軌道半徑 (木星半徑 = 1)    | 軌道週期    |
|--------------|---------|--------------------|---------|
| 木衛一 Io       | 3630 km | 422,000 km (5.9)   | 1.77 天  |
| 木衛二 Europa   | 3140 km | 671,000 km (9.4)   | 3.55 天  |
| 木衛三 Ganymede | 5260 km | 1070,000 km (15.0) | 7.15 天  |
| 木衛四 Callisto | 4800 km | 1883,000 km (26.3) | 16.69 天 |

木衛一離木星很近，後者的強大引潮力把木衛一不斷拉壓，結果引發木衛一上許多火山活動，甚至把整座火山移位，木衛一的黃色來自火山噴出的硫和岩漿。木衛二表面有冰層，使人懷疑冰層下可能有水，冰層面的棕色斑紋可能是微生物活動的痕跡。木衛三比水星還要大，表面有一大圓暗斑叫 Galileo Regio，是古老的撞擊區，較亮的斑點是年輕的撞擊坑。木衛四亦有同樣的撞擊遺跡。這四個木衛和其投影有時橫過木星表面做成“木衛凌木”現象，其餘的木衛十分細小，天文學家相信較遠的小木衛都是被木星引力擄獲的小行星而成為衛星。

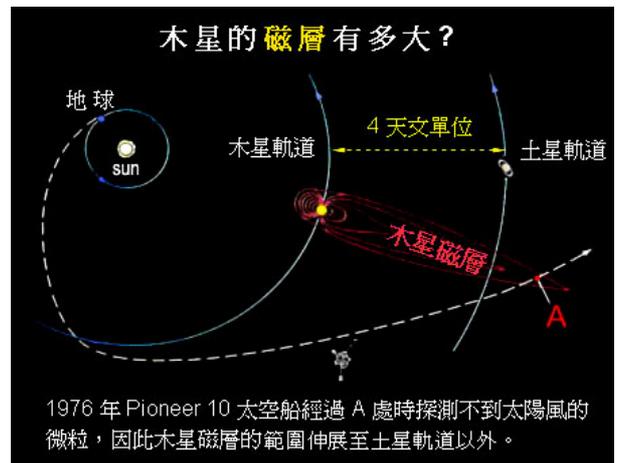


- 彗星撞木星事件



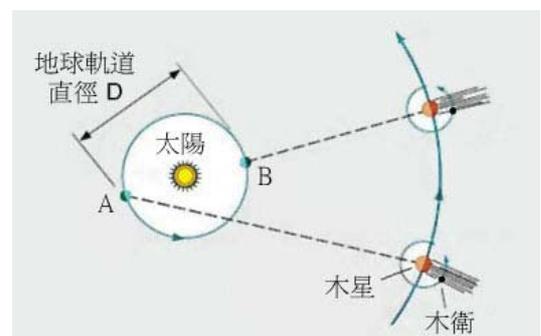
這是人類首次印証小天體撞擊行星事件。上圖 A：1994 年 5 月，Shoemaker-Levy 9 彗星已被木星的強大引力瓦解為 21 份碎片，碎片的散佈範圍達一百萬公里。圖 B：部份彗星碎片在 94 年 7 月撞擊木星，劇烈的爆炸在木星的雲層上留下黑色的疤痕，疤痕漸擴散成長紋，經十八個月後才消失。圖 C：同年同月 ROSAT X-射線人造衛星拍下第“K”塊彗星碎片撞擊木星時的情況，紅色是 X 射線最強的地方，表示撞擊時產生的溫度甚高。

- 木星的質量很大，大氣壓力驚人，因此推測木星內存着一層導電的“金屬氫”。木星的高速自轉使金屬氫產生強大的磁場，太空探索也証實這個超級磁場伸展至土星軌道以外。當外太空的高能粒子溜入木星磁極的天空時便激發極光。



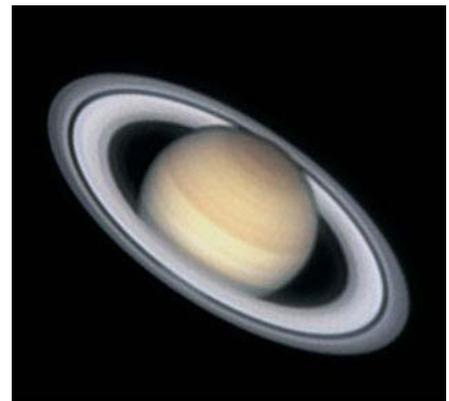
- 木星的大質量也令內部產生重力塌縮，不斷將物質的引力位能轉化為熱能，結果木星向外輻射的能量比它從太陽得到的能量還要大兩倍。木星有薄環系統，但甚暗，連地面望遠鏡也看不見。

- 歷史上木星亦首先被利用來測定光的速度的。十七世紀丹麥天文學家 Rómer 觀測木衛掩食，他留意當地球位置由 A 到 B 時（即是相差六個月），木衛食的發生時間比預期相差了  $\Delta T = 22$  分鐘，因此他算出光速  $\approx D / \Delta T \approx 230,000 \text{ km/s}$ ，Rómer 的計算結果欠準（因為那時 D 值和掩食預測還未充份掌握），但他的推算原理是正確的。

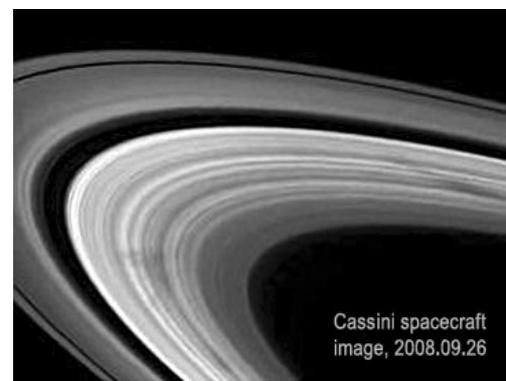
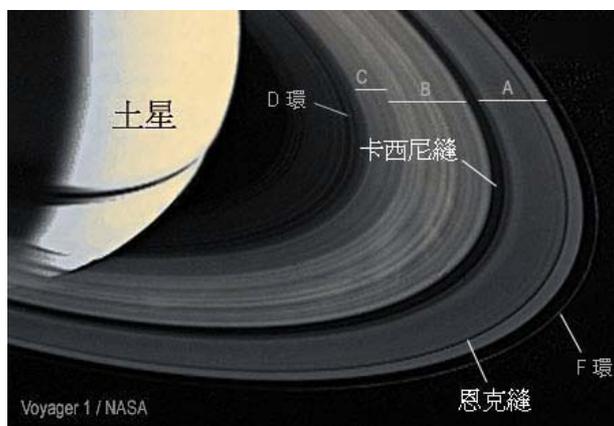


## 土星

土星也是氣體行星，表面有紋帶及白斑，但不及木星的大氣特徵那般明顯，土星大氣層含 96 % 氫，3 % 氦，赤道直徑是地球的 9.5 倍，平均密度只有 0.7 g/cc，比水還要“輕”。最美麗的特徵是多層光環，最外環（在地球見不到）較土星直徑大四倍，內環密密麻麻有許多個，環之間的空隙以卡西尼縫 (Cassini division) 最寬，達 4700 公里，其次是恩克縫 (Encke division)，只寬 320 公里。土星環很薄，厚度由幾米至幾百米不等。土星環對軌道傾斜  $27^{\circ}$ ，因此每隔 14.73 年（半個土星軌道週期），它總以一次最大視面和一次環邊向正地球，當環邊向正地球時，即使用大望遠鏡也僅可察覺環的存在。偶然環面浮現奇怪的輻射條紋 (spokes)，有說條紋可能是從土星大氣雷暴衍生的帶電塵粒雲，真正成因未明。



土星 2002.12.03 17:47 UT (Alan Chu / Eric Ng)

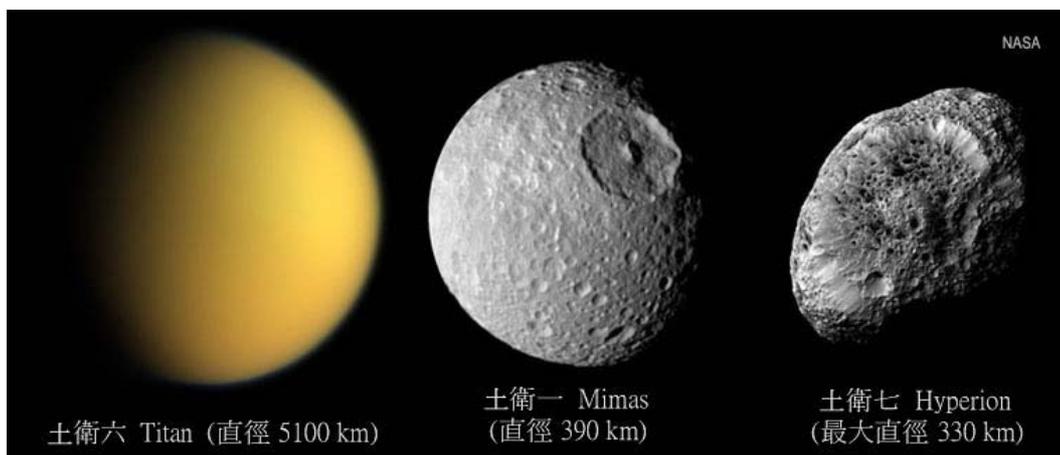


土星環面上的輻射條紋 (spokes)

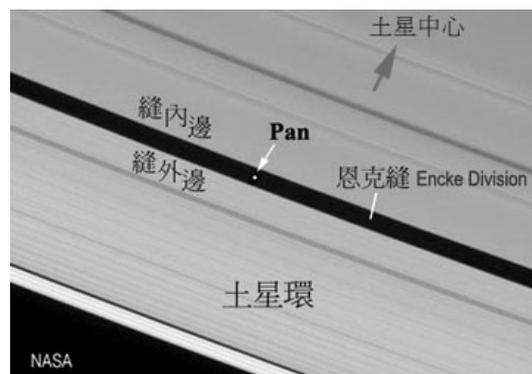
土星環由無數幾厘米至幾米的冰狀碎塊組成，內含物質仍未清楚，主流意見認為在很久以前，土星的引潮力曾把一或數顆的衛星瓦解，形成了現在的光環。理論指出，當一顆衛星走進約 2.5 倍行星半徑的範圍時，它就被行星的引潮力瓦解，詳見《洛希極限》

<http://forum.hkas.org.hk/viewthread.php?tid=4017&extra=page%3D9>

土星的最大衛星叫土衛六 Titan，直徑 5100 公里，比水星略大，也是太陽系唯一有明顯大氣層（氮氣）的衛星，近年更發現 Titan 有氫碳化物的湖，“湖水”可能是液態乙烷 (ethane)；次大的是土衛五 Rhea，直徑 1500 公里；土衛一 Mimas 的直徑 390 公里，表面有一個相對地大的撞擊坑。土衛七 (Hyperion) 的結構像鬆散的“海綿”，平均密度只有水的七成，它可能是一團靠微弱引力併貼的石質物，整體的重心很容易受外力干擾而改變，結果自轉軸不能固定下來，自轉週期極不規則。

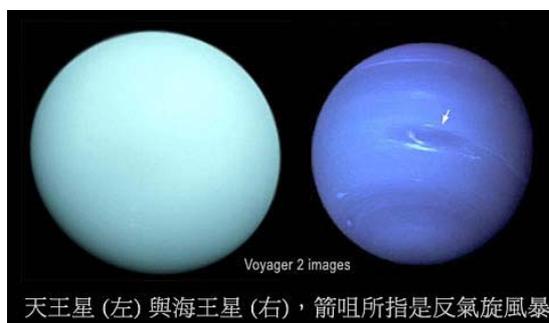


目前已命名的土衛有 60 餘個，大過 100 公里的只有 13 個，其他的土衛都很細小，其中一些只在土星光環的空隙內運行，我們稱之為“守護衛星”(shepherd satellites)，它們的引力作用猶如牧羊犬，可以把離群的碎片趕回光環之內。以右圖為例，Pan 是在恩克縫內的守護衛星，直徑 20 公里，軌道週期 0.6 天。當縫的內邊環粒走得過慢而移向土星中心時，Pan 的引力會把環粒拉回原位，當縫的外邊環粒走得過快而移離土星中心時，Pan 的引力又會把環粒拉回，Pan 的責任就像清道夫把誤闖入縫內的粒子掃開至軌道兩旁，最後恩克縫的寬度維持在 320 公里左右，在恩克縫兩邊的環也保持完整。

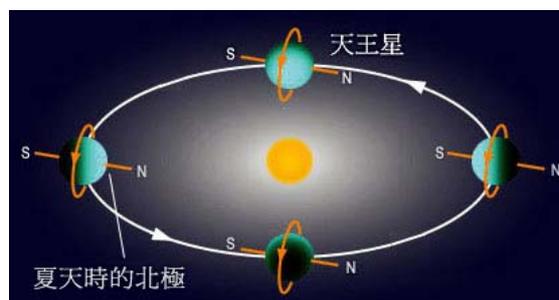


## 天王星、海王星

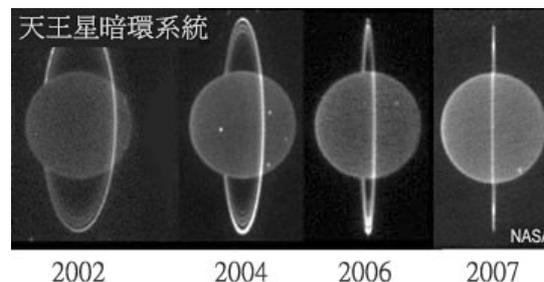
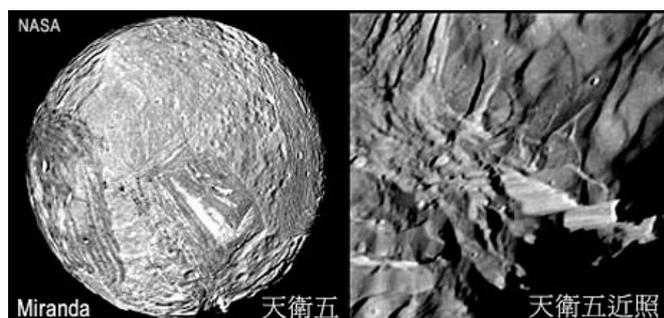
天王星、海王星的大小差不多，兩者都是氣體行星，直徑 ~5 萬公里，質量 ~ $10^{26}$  kg，不同的是表面大氣層 ----- 天王星近綠色 (因大氣含 2% 甲烷)，海王星呈藍色 (因為甲烷含量微少)；天王星的大氣較為平靜，海王星則有短暫 (持續約 2 年) 的反氣旋風暴。



天王星的公轉週期長達 84 年，自轉軸幾乎與軌道面平行，因此四季變化十分誇張，例如夏天會持續 21 年 (1/4 公轉週期)，在北極的太陽可以升近天頂而多天不落，這些現象在地球是不會發生的。



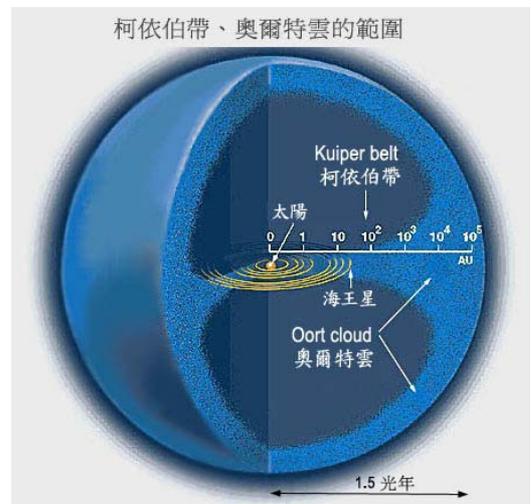
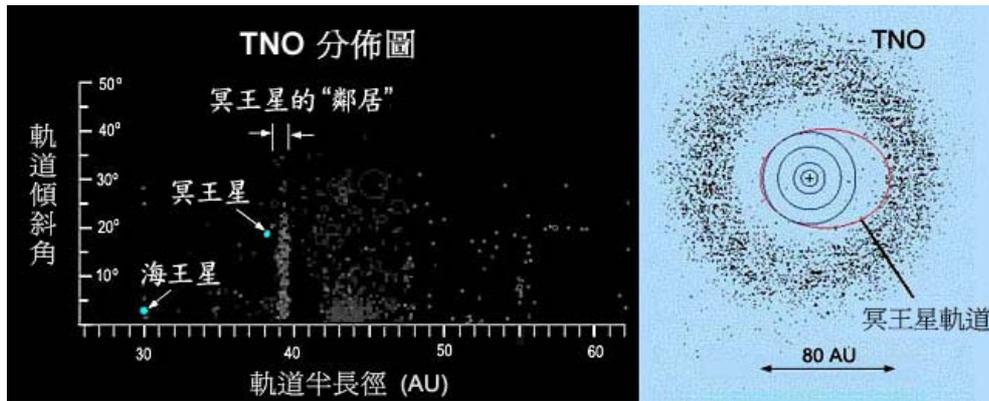
與木星一樣，天王星、海王星有磁場和地熱、有地球見不到的極暗薄環，也有許多衛星。最特別是直徑 480 公里的天衛五 Miranda，它的崎嶇表面顯示過去曾有激烈的地質活動，推測以前天衛五的軌道偏心率比現在大，因此離天王星時近時遠，天王星的引潮力把天衛五改造成現在的樣子。



## 冥王星、TNO、柯伊伯帶天體、奧爾特雲天體

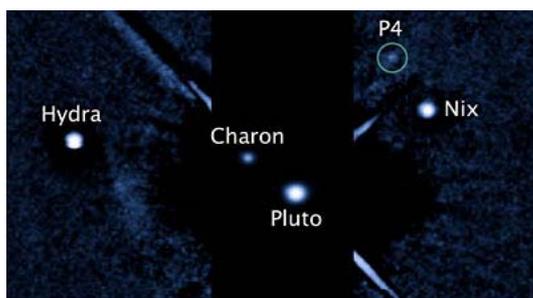
冥王星 Pluto 在 1930 年被 Tombaugh 發現，直徑 2300 公里，素來都被認定是行星，但 2006 年 IAU (國際天文聯會) 修改行星定義：“行星”須把其軌道上的鄰近天體清除 *A planet needs to have cleared the neighborhood of its orbit*，在此之下，冥王星不再是行星而歸入“矮行星”族 (dwarf planets)，矮字含有未達標準的意思，所有不能清除其軌道上鄰居兼且質量偏低的繞日天體只配稱矮行星。且看下面的 TNO (海王星軌道以外的天體) 分佈圖 ----- 冥王星的確有許多小隣居，它們

有不少機會互相干擾而闖入冥王星的軌道，但冥王星不能排斥它們遠離本身的軌道（不能“清除”鄰近天體），因此冥王星不是行星而是眾多 TNO 的一份子。

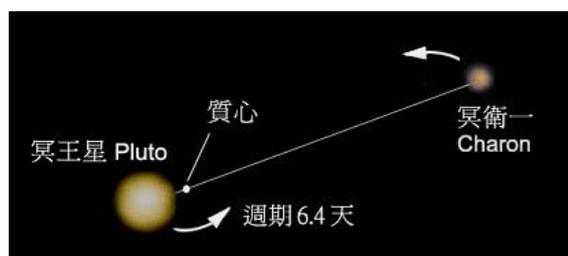


2008 年，IAU 又加入新名詞，凡類似冥王星軌道和質量的矮行星，都屬於“類冥矮行星”族 (plutoids)，至今已有一個合資格的類冥矮行星：Pluto、Eris、Makemake、Naumea。原有名詞 TNO 仍可應用，它是一個更廣泛的大類，範圍包括舊稱的 Kuiper belt objects 及 Oort cloud objects，前者指海王星外至 60 AU 左右的“柯伊伯帶”小天體，後者指遠至 100,000 AU (1.5 光年) 的“奧爾特雲”天體，奧爾特雲是一處假設的球狀天區，內藏未知數量的冰團或碎塊，可能是原始彗星的倉庫，是否真有奧爾特雲仍待考驗。

實際上，冥王星及其最大衛星 Charon 的運動十分特別，一來冥王星的軌道傾斜角 ( $17^\circ$ ) 和偏心率 (0.25) 都比其他行星大，在近日點時它會進入海王星的軌道內，二來冥王星質量只比 Charon 多十倍，系統質心不在冥王星體內，兩者像一對雙星圍繞外露的質心旋轉多於行星-衛星關係。Charon 的軌道週期等於冥王星的自轉週期，換言之，兩個週期同步，如果有人在冥王星上看 Charon，Charon 是不會在天空移動的，但在冥王星背面就見不到它了，整個太陽系只有 Charon 才這樣特別運行。



冥王星與四顆木衛 (HST 圖片 2011.07.03 攝)

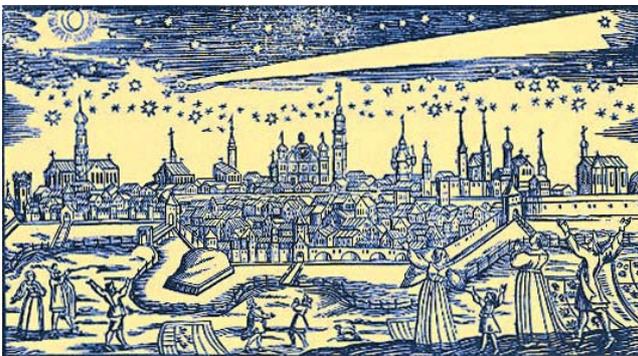


冥王星與冥衛一的關係

## 彗星

大部分彗星都沿着很扁長的橢圓形軌道圍繞太陽運行，週期可以幾年至幾百年，運行方向不定，有從西向東順行，有從東向西逆行，軌道傾斜角更不定，甚至斜達  $90^{\circ}$ 。不循橢圓形軌道運行的彗星，只能算是過客，一旦離去就不會向太陽回歸了。基於這些觀測，科學家假設許多彗星都來自一個遙遠的彗星倉庫，即是上文所述的“奧爾特雲”，在此的小天體會被外星干擾，狀態失衡便飛往太陽。

哈雷彗星 Halley's comet 是歷史上最著名的彗星，它的週期在 74 ~ 79 年之間，平均 75 年，中國由秦始皇七年 (BC 240) 到清末 (1910 年) 共有 29 次哈雷彗星回歸的記錄，一次不漏，惜無人察覺它是同一彗星，它的身份由英國天文學家哈雷 (牛頓朋友) 首先確認。另一顆大彗星是在 1680 年德國首先見到的，近日點短至 0.006 AU (現代推算值)，遠在麥西哥的傳教士亦見到。除哈雷外，近五十年發現的聞名彗星有 1956 Arend-Roland 阿倫德-羅蘭、1965 Ikeya-Seki 池谷關、1969 Bennett 班尼特、1973 Kohoutek 高豪德、1975 West 威斯特、1995 Hale-Bopp 海爾-博普、1996 Hyakutake 百武、2006/P1 McNaught 麥諾。



無論在古中國及古歐洲，彗星出現都被認為是凶兆，上圖是當代歐洲人對 1680 年大彗星出現的描繪。(Germany)



1910 年 5 月回歸的哈雷彗星 (Yerkes Observatory)

天文愛好者拍攝的彗星：



Hale-Bopp 彗星 (離子尾在上，塵埃尾在下)



Schwassmann-Wachmann 3 彗星與 M57 戒指星雲 (背景)

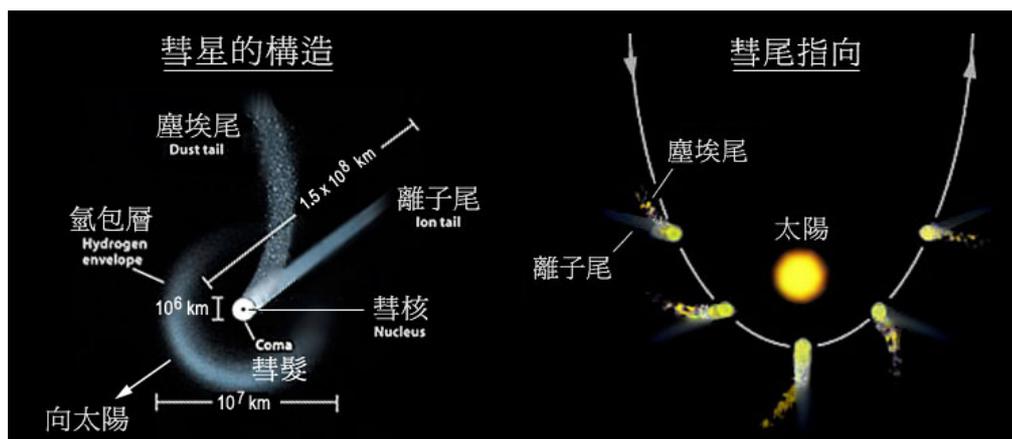


McNaught 彗星 (C/2006 P1)

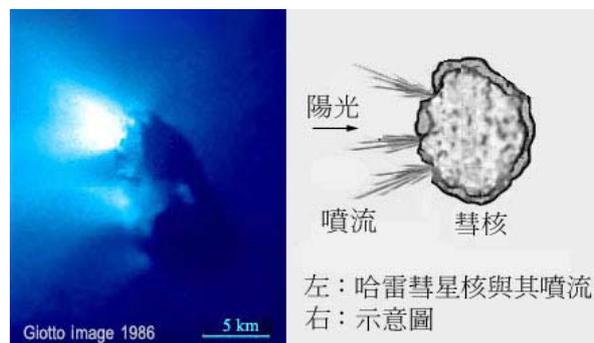


17P / Holmes 彗星 (正面移向地球)

科學家把彗星比喻作“髒雪球”，因為它由水冰和固態氣體（一氧化碳、二氧化碳、甲烷等）混雜塵粒碎石而成，遠離太陽時只有“彗核”，大小約有 10 公里，回歸時受太陽輻射影響，易揮發的物質便從彗核釋放出來形成“彗髮”，彗髮可以膨脹得很大，但密度奇低（幾乎真空），難怪有人說彗星是“見得到的烏有”，比彗髮更大更稀薄的還有氫包層，直徑可達  $10^7$  公里，但肉眼看不見。當彗星接近太陽時，彗尾便伸出來了，大彗星的彗尾可以橫跨半個天空。彗尾分為“塵埃尾”及“離子尾”兩種，前者按其塵粒大小散射不同波長的陽光，通常呈黃白色，有時夾帶藍橙紅多色，相當壯觀，塵埃尾會因塵粒受到不同的太陽引力而稍有彎曲，陽光的壓力和太陽風也令塵埃尾永遠背向太陽。離子尾的光來自彗星上被陽光激發的電離子，因此會呈藍色而且同樣背向太陽，但外形則比較筆直，亮度較暗。



另外，有時彗核內凝固氣體的沸點可能比彗核表面冰的沸點為低，於是當彗星飛近太陽時，在內的凝固氣體比表面的更早揮發，令所釋放的氣體從表面的裂逢中壓出，形成噴流現象。1986 年，歐洲 Giotto 探測器曾飛近回歸中的哈雷彗星，拍得該彗星的彗核及噴流照片。



## 流星雨

流星雨 (meteor shower) 和彗星有密切關係。當彗星接近太陽時，它外揮的物質會不斷擴散及瓦解，部份碎片則分佈在彗星的軌道上，如果碎片分佈平均，每年地球與之相遇時便出現流星雨，如果碎片分佈不平均，流星雨便有密有疏，甚至不明顯。最聞名要算每 33 年盛極一兩次的“獅子座流星雨”，其源頭是週期 33 年的 Tempel-Tuttle 彗星，它遺下的碎片分佈並不平均，極盛的獅子座流星雨就是地球經過彗星碎片最密集的区域所致，每小時可達數百甚至千個流星。流星雨以它的輻射點所在星座命名，獅子座流星雨即其中一例，其他還有英仙座流星雨、寶瓶座流星雨、獵戶座流星雨等。



更多參考：《ZHR = 200 就代表每小時出現 200 顆流星嗎？》  
<http://forum.hkas.org.hk/viewthread.php?tid=3662&extra=page%3D12>

## 流星、隕石

流星 (meteor) 與流星雨不同，它只是偶然出現，一閃而過的個體，當外太空的個別碎片衝入大氣層，到 70~100 公里高度時便與空氣摩擦燃燒，最後生光成為可見的流星，特別亮的流星稱為“火流星” (fireball)，沒有燒盡而墜落地面的餘體則稱“隕石” (meteorite)。絕大部份入侵地球的都是微粒，流星和隕石佔的比例很少，每年侵入地球的外天體質量估計有幾萬噸。

參考 <http://en.wikipedia.org/wiki/Meteorite>



鄧銳禎攝於澳洲 2011 July



網上照片

(左) 耀眼的火流星 (右) 1920 年發現的世界最大塊“Hoba 隕石”，在南非，寬約 3 米，含 84% 鐵，15% 鎳。

**附錄：** (來源 <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>)

太陽系行星資料 (2010 年數據)

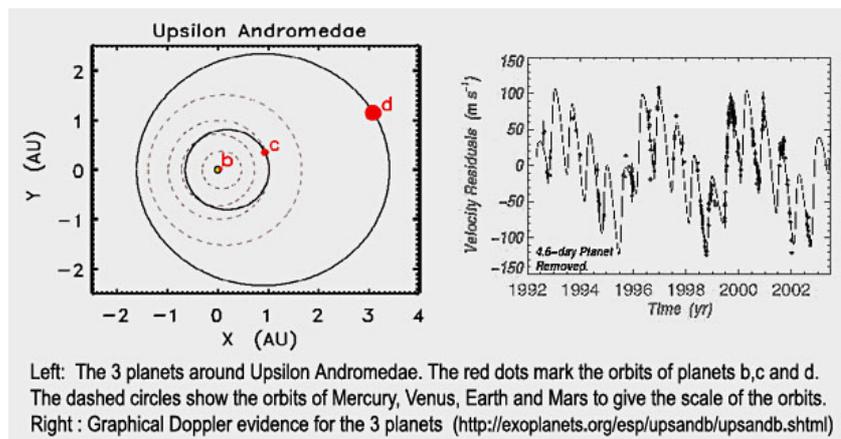
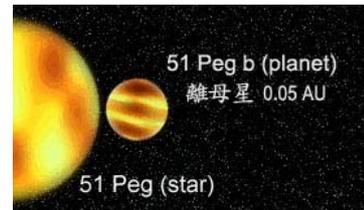
來源 <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>

|  | MERCURY | VENUS   | EARTH  | MOON   | MARS  | JUPITER  | SATURN   | URANUS   | NEPTUNE  | PLUTO   |
|--|---------|---------|--------|--------|-------|----------|----------|----------|----------|---------|
| <b>Mass (<math>10^{24}</math>kg)</b> 質量                | 0.330   | 4.87    | 5.97   | 0.073  | 0.642 | 1899     | 568      | 86.8     | 102      | 0.0125  |
| <b>Diameter (km)</b> 直徑                                | 4879    | 12,104  | 12,756 | 3475   | 6792  | 142,984  | 120,536  | 51,118   | 49,528   | 2390    |
| <b>Density (<math>\text{kg}/\text{m}^3</math>)</b> 密度  | 5427    | 5243    | 5515   | 3340   | 3933  | 1326     | 687      | 1270     | 1638     | 1750    |
| <b>Gravity (<math>\text{m}/\text{s}^2</math>)</b> 表面引力 | 3.7     | 8.9     | 9.8    | 1.6    | 3.7   | 23.1     | 9.0      | 8.7      | 11.0     | 0.6     |
| <b>Escape Velocity (km/s)</b> 逃逸速度                     | 4.3     | 10.4    | 11.2   | 2.4    | 5.0   | 59.5     | 35.5     | 21.3     | 23.5     | 1.1     |
| <b>Rotation Period (hours)</b> 自轉週期                    | 1407.6  | -5832.5 | 23.9   | 655.7  | 24.6  | 9.9      | 10.7     | -17.2    | 16.1     | -153.3  |
| <b>Length of Day (hours)</b> 日夜長度                      | 4222.6  | 2802.0  | 24.0   | 708.7  | 24.7  | 9.9      | 10.7     | 17.2     | 16.1     | 153.3   |
| <b>Distance from Sun (<math>10^6</math> km)</b> 距日     | 57.9    | 108.2   | 149.6  | 0.384* | 227.9 | 778.6    | 1433.5   | 2872.5   | 4495.1   | 5870.0  |
| <b>Perihelion (<math>10^6</math> km)</b> 近日點           | 46.0    | 107.5   | 147.1  | 0.363* | 206.6 | 740.5    | 1352.6   | 2741.3   | 4444.5   | 4435.0  |
| <b>Aphelion (<math>10^6</math> km)</b> 遠日點             | 69.8    | 108.9   | 152.1  | 0.406* | 249.2 | 816.6    | 1514.5   | 3003.6   | 4545.7   | 7304.3  |
| <b>Orbital Period (days)</b> 軌道週期                      | 88.0    | 224.7   | 365.2  | 27.3   | 687.0 | 4331     | 10,747   | 30,589   | 59,800   | 90,588  |
| <b>Orbital Velocity (km/s)</b> 軌速                      | 47.9    | 35.0    | 29.8   | 1.0    | 24.1  | 13.1     | 9.7      | 6.8      | 5.4      | 4.7     |
| <b>Orbital Inclination (degrees)</b>                   | 7.0     | 3.4     | 0.0    | 5.1    | 1.9   | 1.3      | 2.5      | 0.8      | 1.8      | 17.2    |
| <b>Orbital Eccentricity</b> 軌道偏心率                      | 0.205   | 0.007   | 0.017  | 0.055  | 0.094 | 0.049    | 0.057    | 0.046    | 0.011    | 0.244   |
| <b>Axial Tilt (degrees)</b> 自轉軸傾斜                      | 0.01    | 177.4   | 23.4   | 6.7    | 25.2  | 3.1      | 26.7     | 97.8     | 28.3     | 122.5   |
| <b>Mean Temperature (C)</b> 平均溫度                       | 167     | 464     | 15     | -20    | -65   | -110     | -140     | -195     | -200     | -225    |
| <b>Surface Pressure (bars)</b> 大氣壓力                    | 0       | 92      | 1      | 0      | 0.01  | Unknown* | Unknown* | Unknown* | Unknown* | 0       |
| <b>Number of Moons</b> 衛星數目                            | 0       | 0       | 1      | 0      | 2     | 63       | 62       | 27       | 13       | 3 #     |
| <b>Ring System?</b> 薄環系統                               | No      | No      | No     | No     | No    | Yes      | Yes      | Yes      | Yes      | No      |
| <b>Global Magnetic Field?</b> 磁場                       | Yes     | No      | Yes    | No     | No    | Yes      | Yes      | Yes      | Yes      | Unknown |

# 至 2011 年 7 月時發現的冥衛共有 4 顆

DVD 中有兩輯記錄片，附中文字幕，在 ~2002 年間製作，上輯 45 分鐘講太陽系外行星，內容：

1. Marcy & Butler 利用十米口徑的 Keck Telescope，以母星抖動 (star's wobbling) 原理偵察太陽系外行星是否存在。在 2000 年代初期發現的太陽系外行星不足一百個。
2. 在此之前 (指 1995 年)，歐洲的 Queloz 等人首先發現飛馬座的 51 Peg b 是一顆行星，母星叫 51 Peg，離地球五十光年。
3. 51 Peg b 特別之處：軌道週期短至 4 天，離母星極近 (0.05 AU)，表面溫度很熱 (~ 1000 C)，質量大如木星，俗稱 *hot Jupiter* 因此而來。
4. Lin 提出新理論 ---- 氣體行星先在母星的遠處形成，然後逐漸旋近母星造成 *hot Jupiter* 現象。
5. 科幻：在 51 Peg b 上，熾熱大氣層充滿氣化的鉀、鈉等毒氣，有強風和閃電，生命很難存在。
6. 其後 Fisher 發現一批多行星系統 (例如仙女座 Upsilon)，不過全部都是木星質量，軌道頗橢圓的 (離母星時近時遠)，後來發現的大熊座 47 有兩個近圓形軌道的行星，兩者離母星較合意 (2~3 AU)，但質量大，所以這時期的獵星者仍然找不到類地行星。\* 類地行星暗示該行星有較大機會出現生命。



7. 找尋類地行星的可行方法：(a) 把一對 Keck Telescopes 接成干涉儀，效果相當於足球場大望遠鏡的分辨能力，可以捕捉更微細的星抖動。(b) 研製 Kepler 太空望遠鏡，可以同時偵察多組行星凌越母體時的減光現象。\*\*
8. Rothschild 發現微生物在 130C 高溫、無氧、高鹽度或極酸的惡劣環境下存在，打破舊有觀念。

\* 類地行星的條件：軌道接近正圓形，距離母星適中 (不太近不太遠)，質量與地球同級。

\*\* Kepler 在 2009 年升空，至 2010 年底已發現 ~ 1200 個新行星，其中六十多個大小像地球，二百多個大地球兩三倍，其餘都是接近或大過木星的。正式確認則有五百多個。參考《Kepler 太空望遠鏡有什麼長處?》<http://forum.hkas.org.hk/viewthread.php?tid=3670&extra=page%3D12>

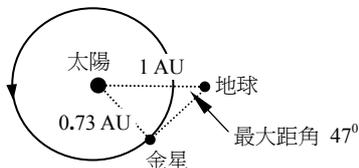
## Q&A

- 試列出每個行星兩個最明顯的表面或構造特徵。
- a. 為什麼水星無大氣層？ b. 科學家怎樣知道水星有很大的核心？
- 金星遠日點達 0.73 AU，求金星-太陽的最大可能距角。日落後金星可以在天空最多逗留多久？
- 為什麼金星日、夜氣溫都很熱？ 為什麼科學家認為金星表面特徵的年齡很年輕？
- 為什麼火星的極冠會有大小變化？
- 為什麼木星的大紅斑經歷了幾百年還未消失？  
設今天 8:00 pm 見到大紅斑在木星圓面邊轉出來，明天 9:00 pm 會見到大紅斑嗎？
- a. 隔多少年才見到張到最大視面的土星環？  
b. 為什麼土衛十八 “Pan” 是守護衛星？ 請列出土衛六 Titan 兩個特徵。
- 怎樣解釋天衛五 Miranda 的崎嶇表面？
- 目前已知最大的兩個 TNO 是？ 為什麼冥王星被編入矮行星族？  
TNO、Kupier belt objects、Oort cloud objects 有什麼分別？
- 為什麼把彗星比喻為髒雪球？ 塵埃尾與離子尾有什麼分別？ 那個彗星與獅子座流星雨有關？
- 講義提及的 17P/ Holmes 彗星，在 2007.10.24 初現時沒有明顯的彗髮，圖片則攝於香港 2007.11.09，這時彗星距離地球 1.623 AU，彗髮視直徑擴展至 22 arcminutes。問：照片中彗髮的實際半徑和平均擴展速度有多大？ 設彗星的總質量 (典型值) =  $10^{15}$  kg，其中彗髮佔 1/10 總質量，試估計彗髮內氣體的平均密度有多少？ 如果它的尾巴掃過地球，地球有危險嗎？
- 何謂 hot Jupiter？ 何謂類地行星？

答案：(只供部份答案，其他答案可在講義中找到。)

- a. 水星的逃逸速度只有 4.3 km/s，又這麼熱 (400 C 時氣體份子的運動速度很高)，表面即使有氣體也向太空逃跑了。  
b. 如果水星全部由石質 (密度  $\sim 3.4$  g/cc) 構成，它的質量 = 體積  $\times$  密度 =  $2.1 \times 10^{23}$  kg，實際上水星質量有  $3.3 \times 10^{23}$  kg，相當於一個 3600 km 直徑的鐵質核心 (密度  $\sim 8$  g/cc) + 石包層所造成的球體；3600 km 即是 3/4 水星直徑，對水星來說這是一個很大的鐵質核心。

3.



以金星每小時移行  $15^\circ$  計，日落後金星可以在天空最多逗留  $47 / 15 \approx 3$  小時。

- 因為火星自轉軸傾斜  $25^\circ$ ，火星的四季氣候變化可以使極冠的表冰層縮小 (氣化) 或增大。
- 9:00 pm 時不會見到大紅斑，因為木星的自轉 (週期約 10 小時) 使大紅斑轉到木星背面。
- a. 要隔 14.7 年 (1/2 土星公轉週期)
- 2007.10.24 (發現時)，彗髮半徑  $\approx 0$   
2007.11.09 (17 天後)，彗髮半徑 =  $1.623 \text{ AU} \sin (22 / 2 \text{ arcmin}) = 0.0052 \text{ AU} = 7.8 \times 10^5 \text{ km}$   
彗髮平均擴展速度 =  $7.8 \times 10^5 \text{ km} / 17 \text{ 天} \approx 500 \text{ m/s}$  (超音速！)  
彗髮平均密度 = 質量 / 體積 =  $10^{14} \text{ kg} / [4/3 \cdot \pi (7.8 \times 10^8 \text{ m})^3] \approx 5 \times 10^{-14} \text{ kg/m}^3$  (幾乎真空！)  
彗尾的密度比彗髮更低，即使彗尾掃過地球，地球沒有危險。