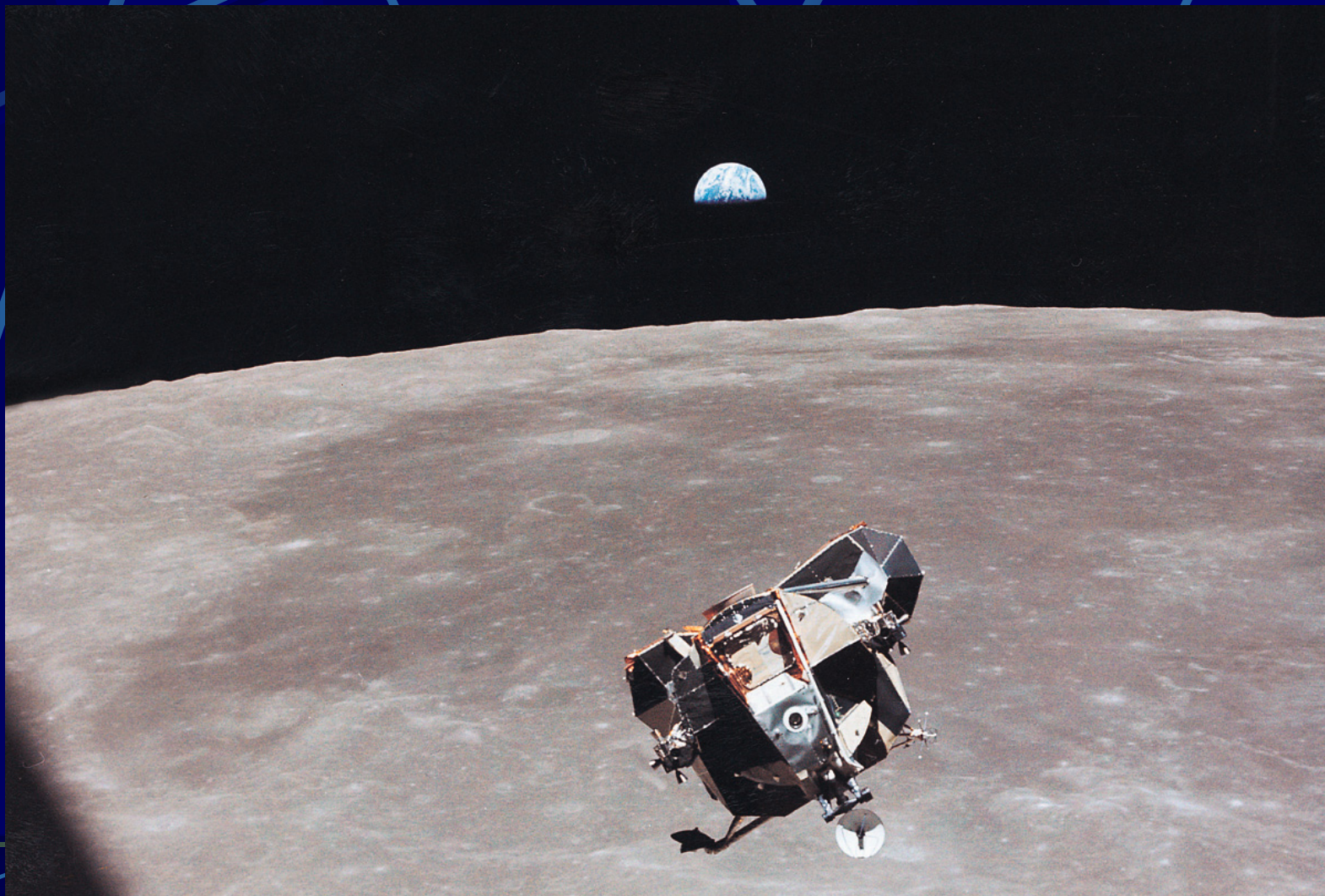


萬有引力與行星華爾茲



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？
- 每個行星都以相同速率繞行太陽嗎？
- 冥王星到底怎麼了？

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

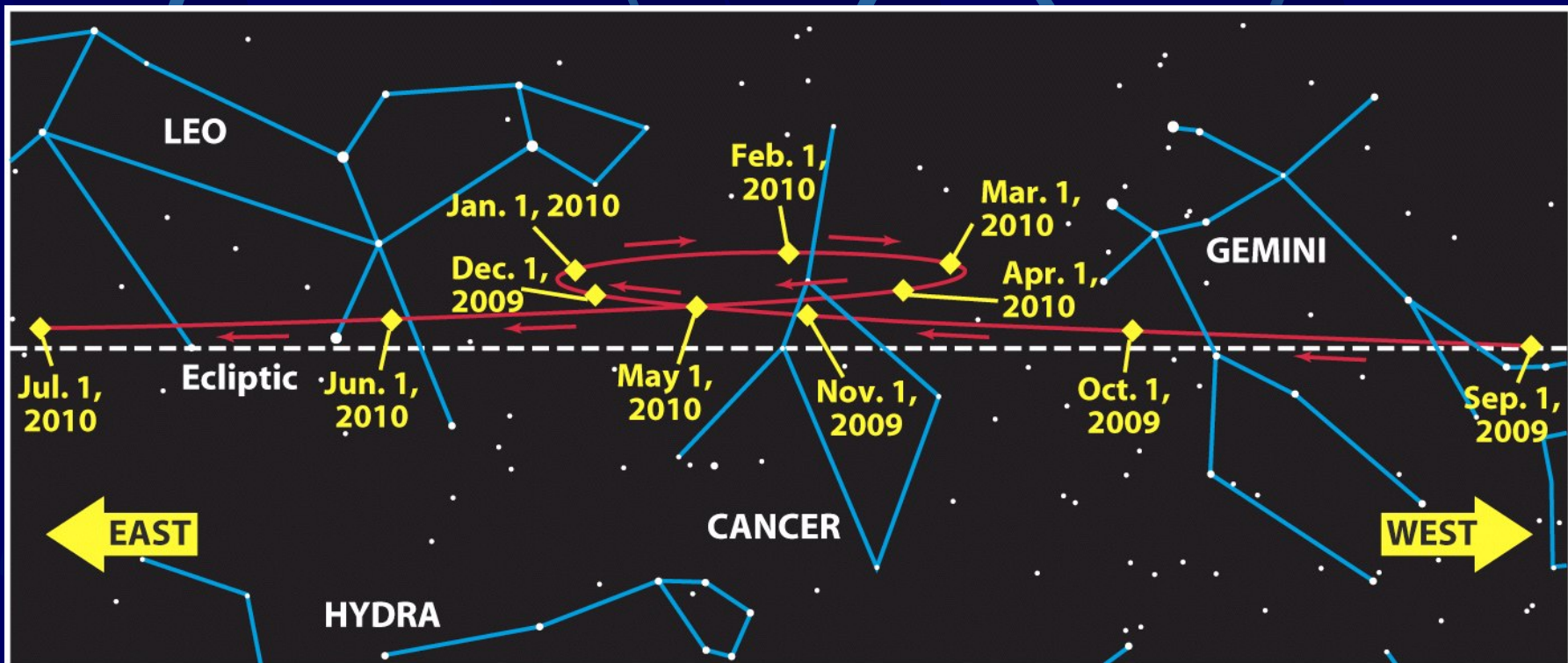
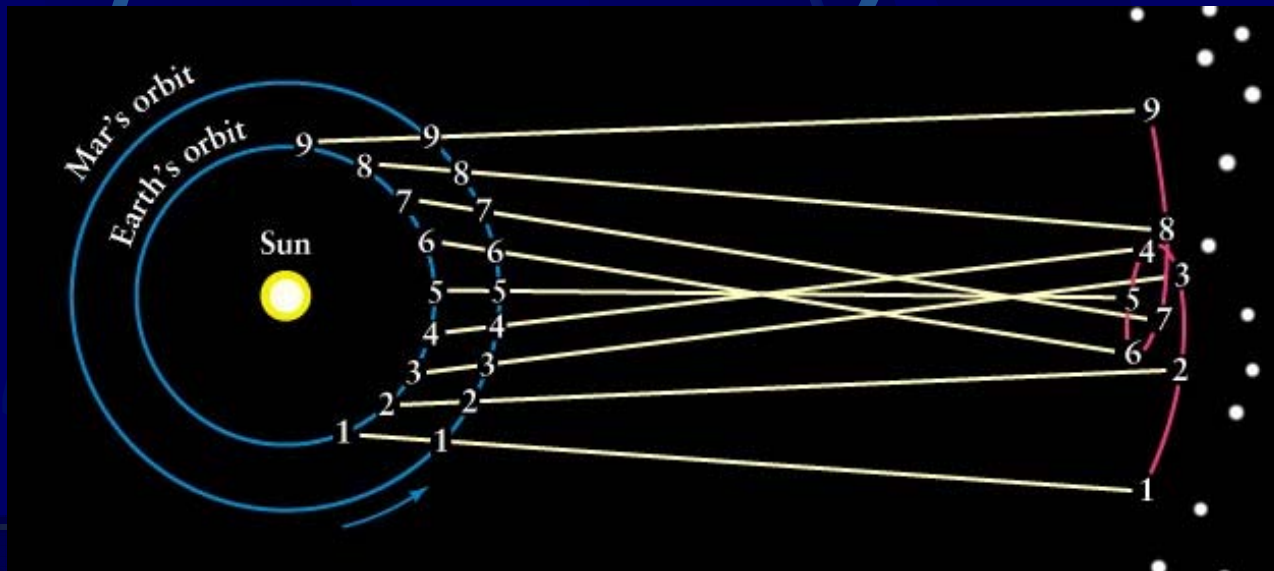


Figure 2-2
Discovering the Universe, Seventh Edition
© 2006 W.H. Freeman and Company

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？

下週（10/12）課程為小組討論

AST100 HW061005

· 我心目中的占星術 (astrology)

你相信占星術嗎？

如果信，爲什麼信？

如果不信，爲什麼不信？

占星術的說法、理論基礎

- < 5 頁報告
- 打字；A4單行間距12號字
- 兩週後課堂繳交，不接受遲交
- 清楚註明資料出處，及思想來龍去脈

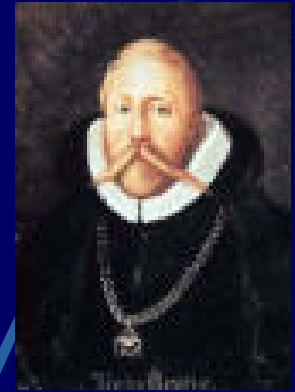
視差 (parallax)

從不同角度，看到東西不同面

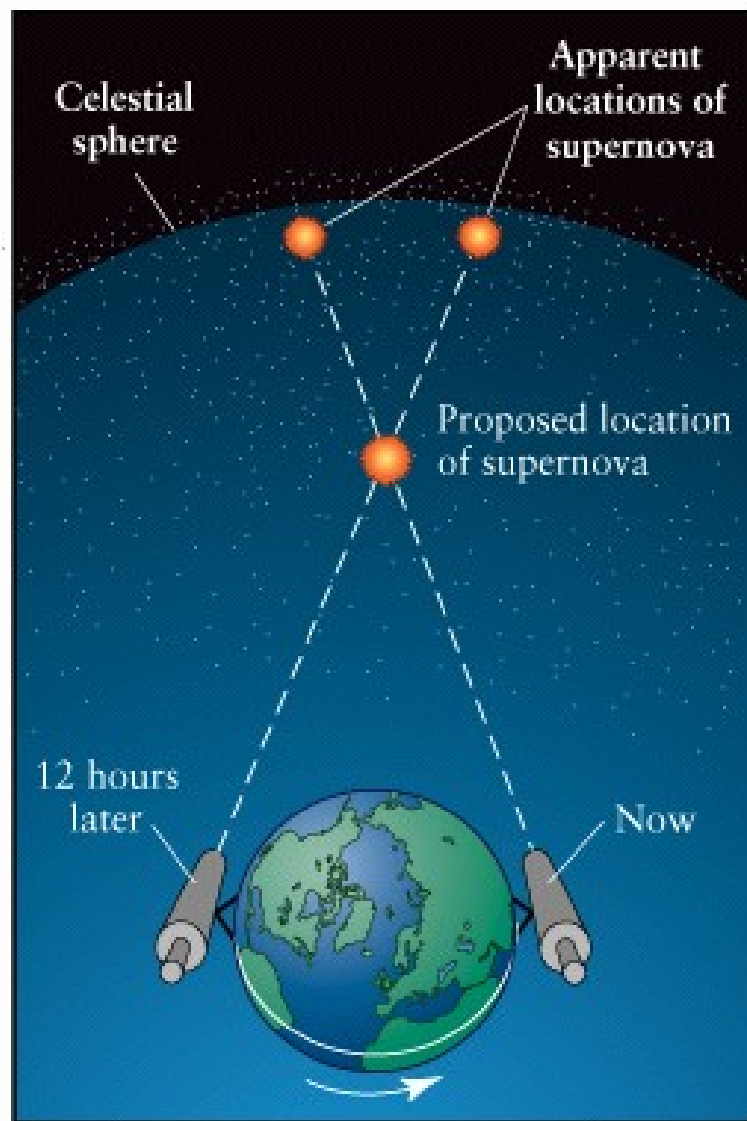


我們可以利用視差原理測量遠方物體距離

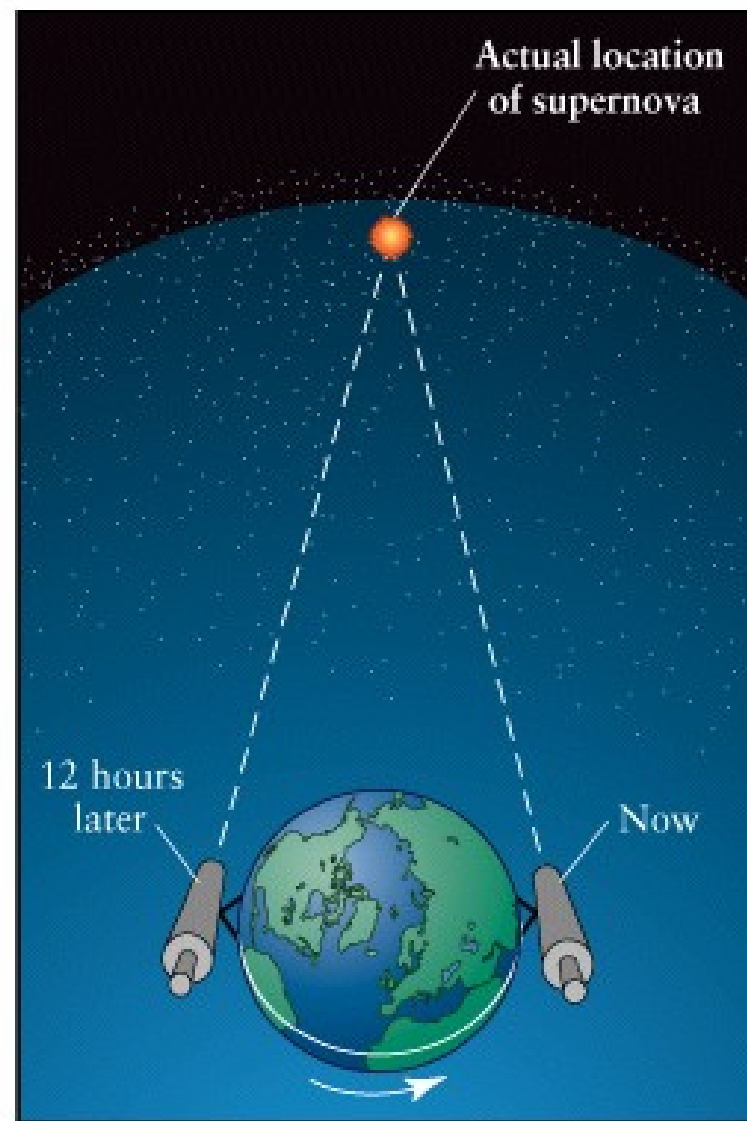
Tycho Brahe (第谷)



- 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



a

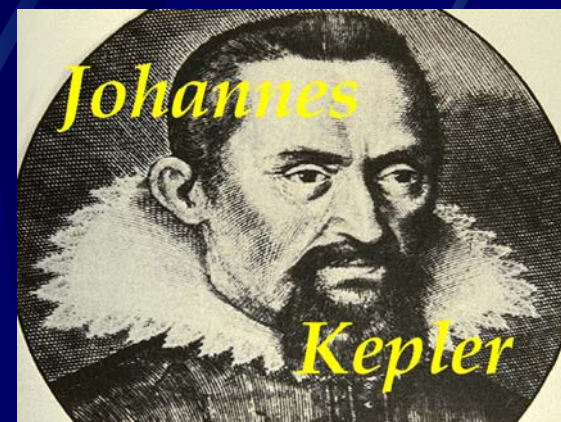


b

- 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）

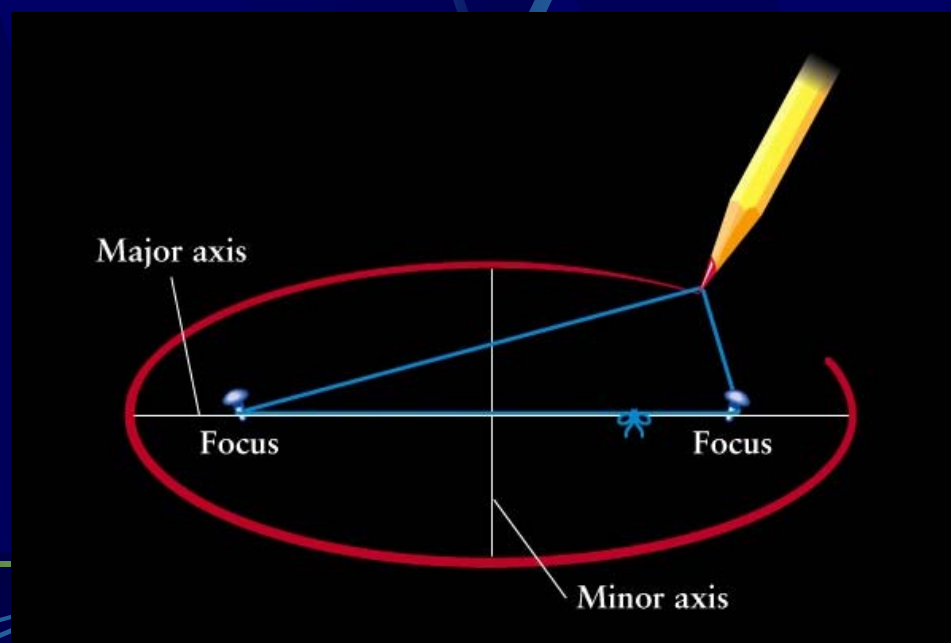
Johannes Kepler

(刻卜勒)



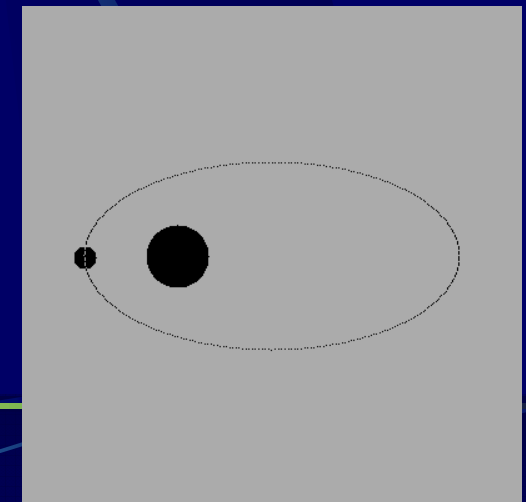
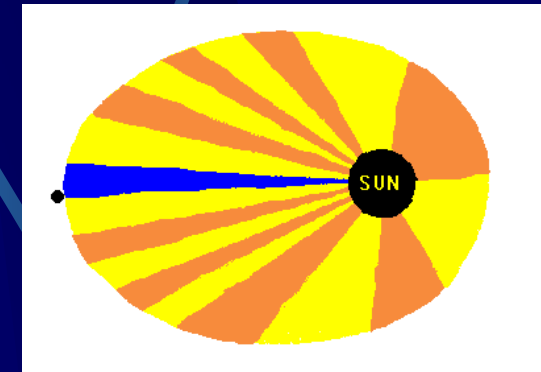
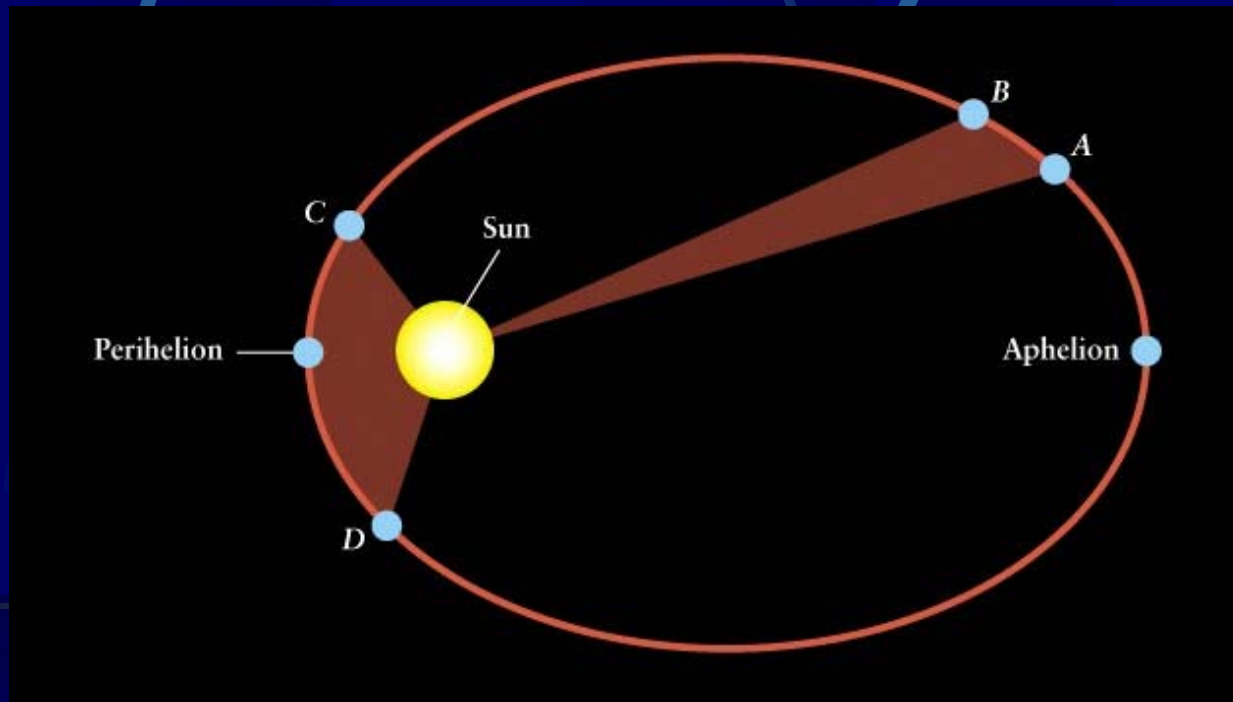
刻卜勒行星三大運動定律

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？）



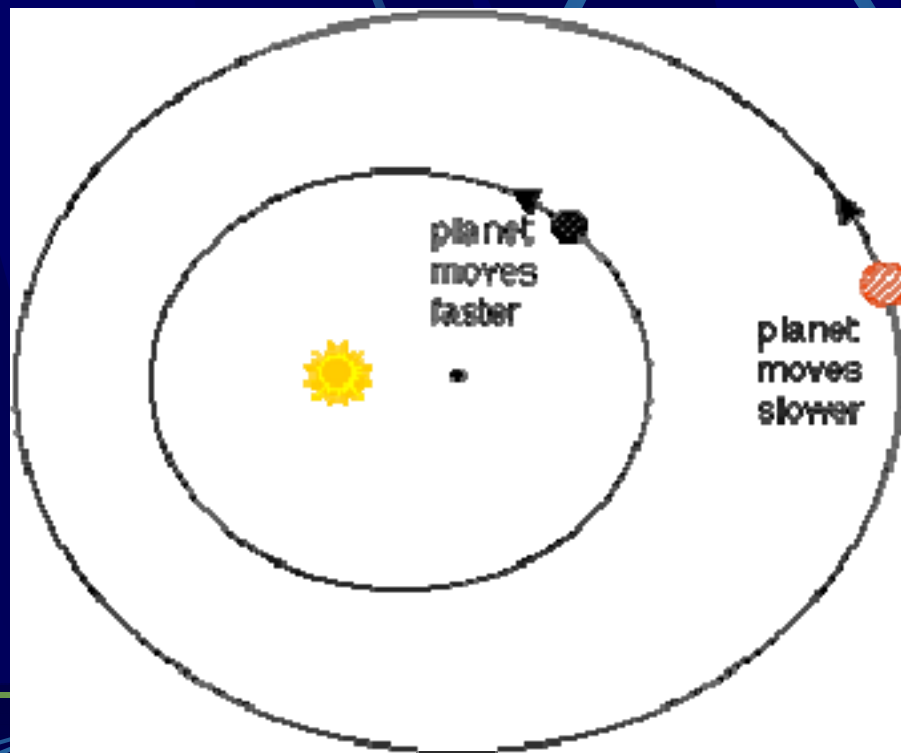
刻卜勒行星三大運動定律

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）



刻卜勒行星三大運動定律

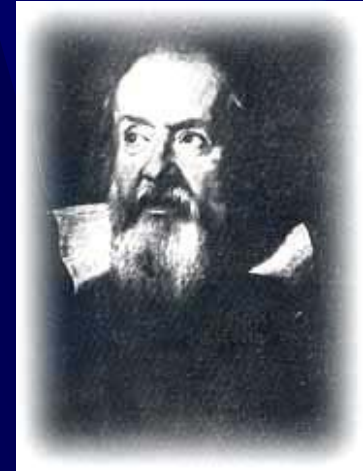
3. 行星繞太陽所需的「時間長短的平方」
（週期）與「和太陽的距離的三次方」
（軌道半長軸）成正比（對不同行星而言）



- 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

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 = 慣性 × 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

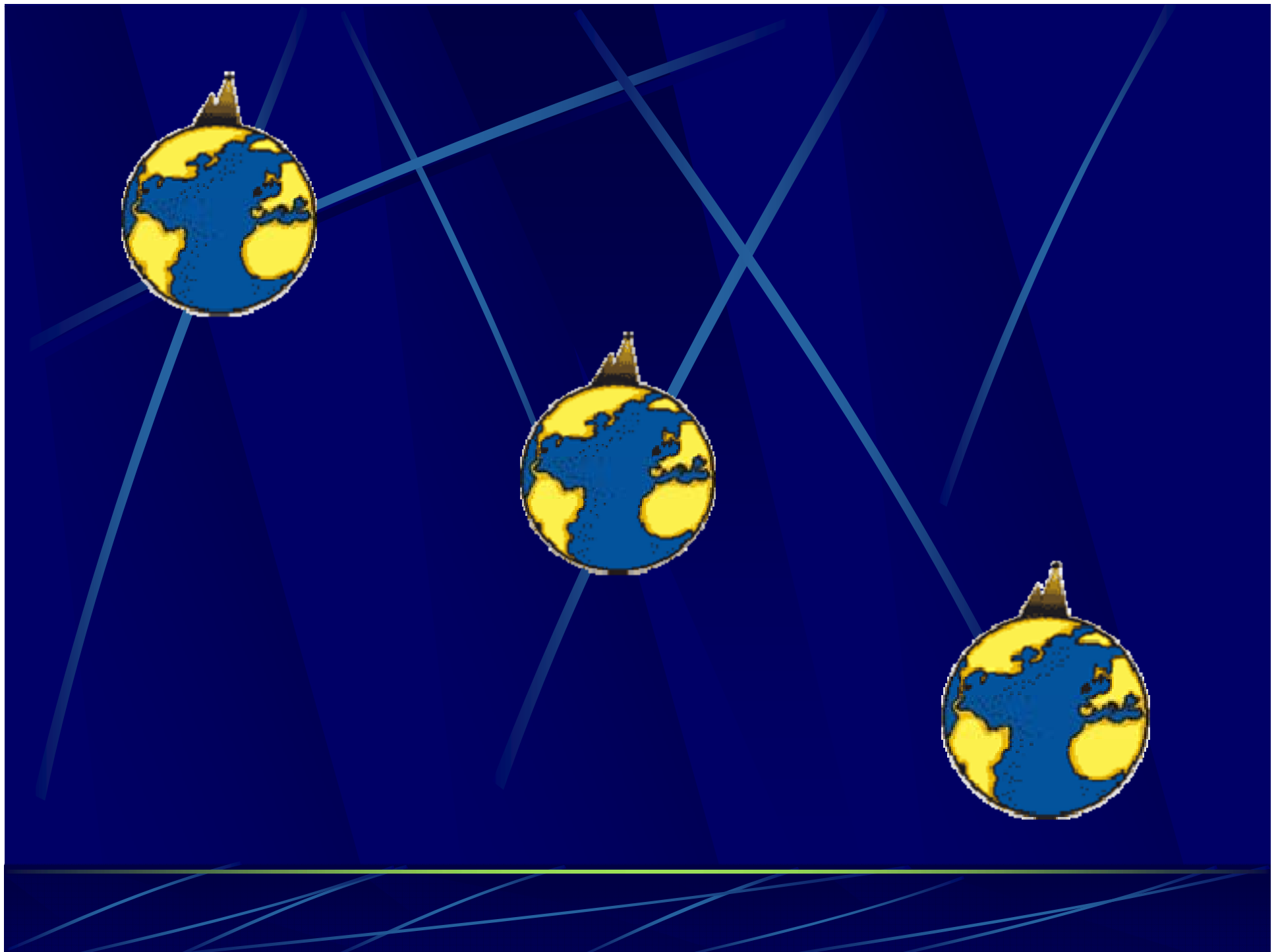
兩物之間恆存互相吸引力，其大小與各自質量乘積成正比，與彼此距離平方成反比

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

可以成功解釋凱卜勒行星運動定律！

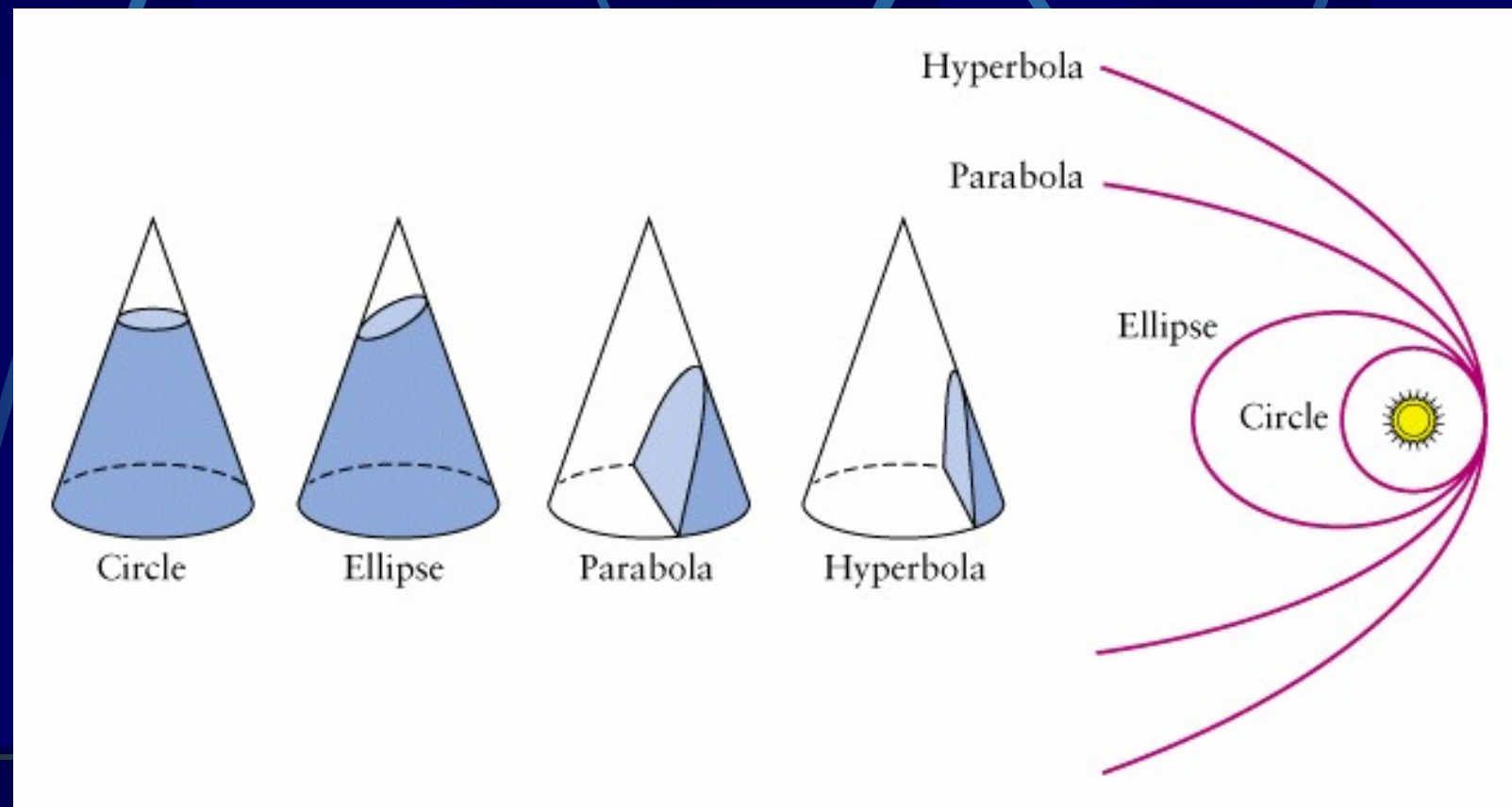
行星距離太陽遠 → 萬有引力小
→ 不能轉得太快

→ 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**）

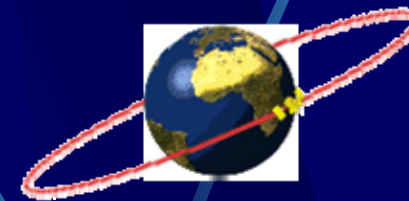
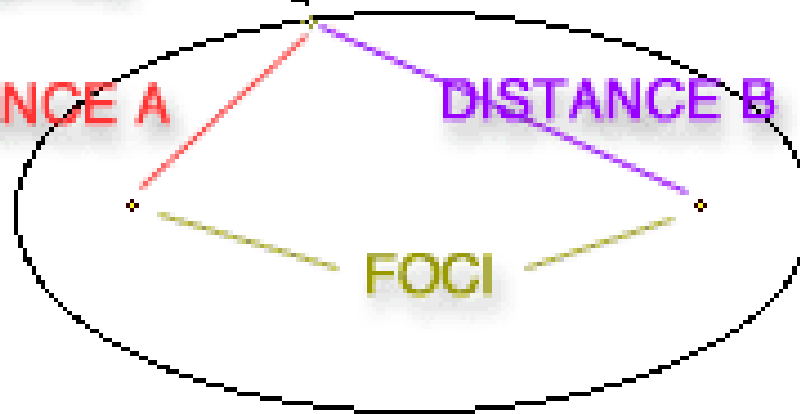


ANY POINT
ON THE CURVE

DISTANCE A

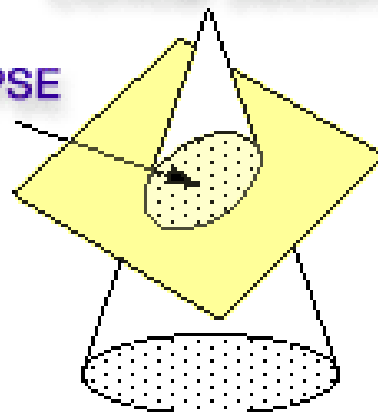
DISTANCE B

FOCI



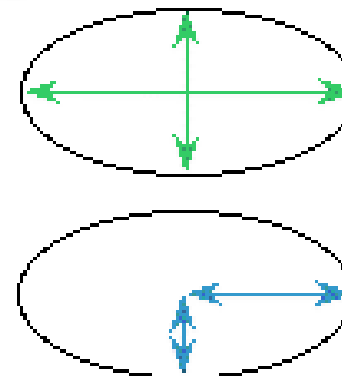
Ellipse From a
Conical Section

ELLIPSE



CIRCULAR BASE OF CONE

Major and Minor Axes



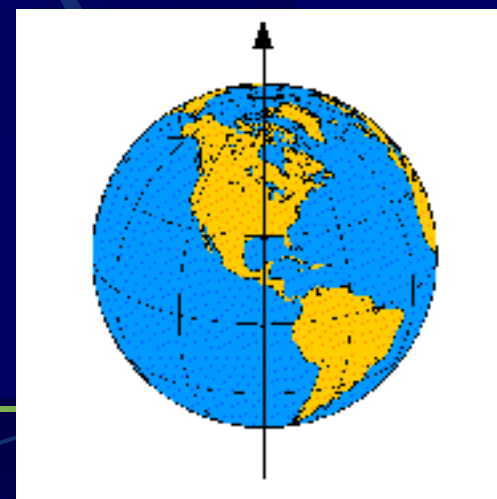
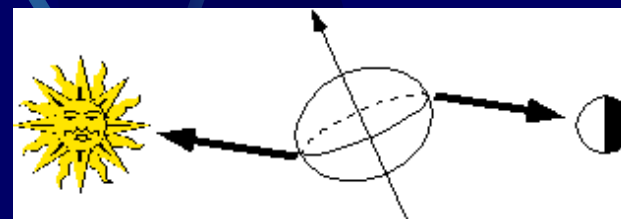
Semi-major and Semi-minor Axes

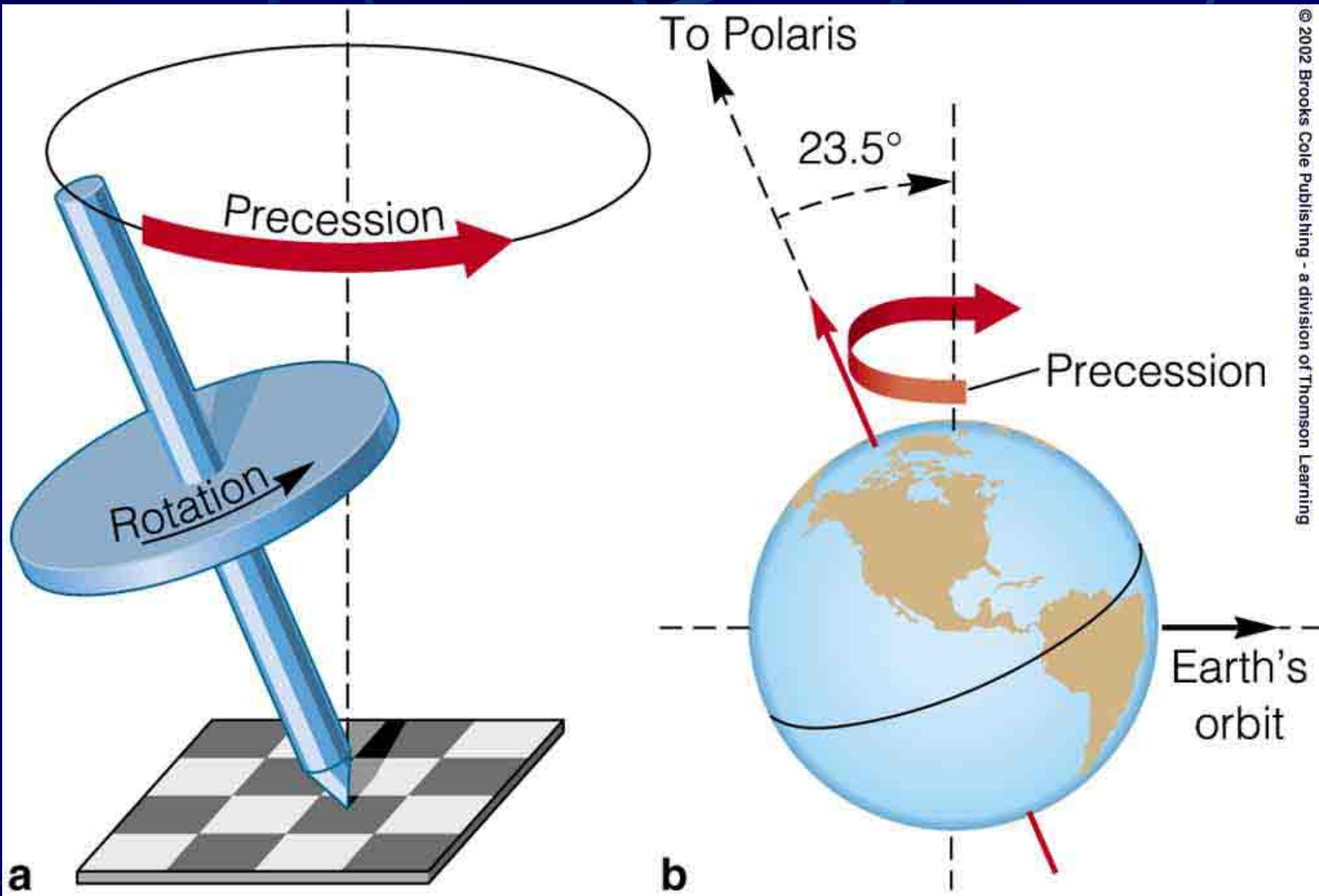
地球的形狀

- 地球並不是完美球型，而在赤道方向稍微突起
- 原因來自地球自轉，以及地球並非完全剛體
- 沿赤道的直徑比沿南北兩極的直徑長了43公里，相當於0.43%

地軸的指向

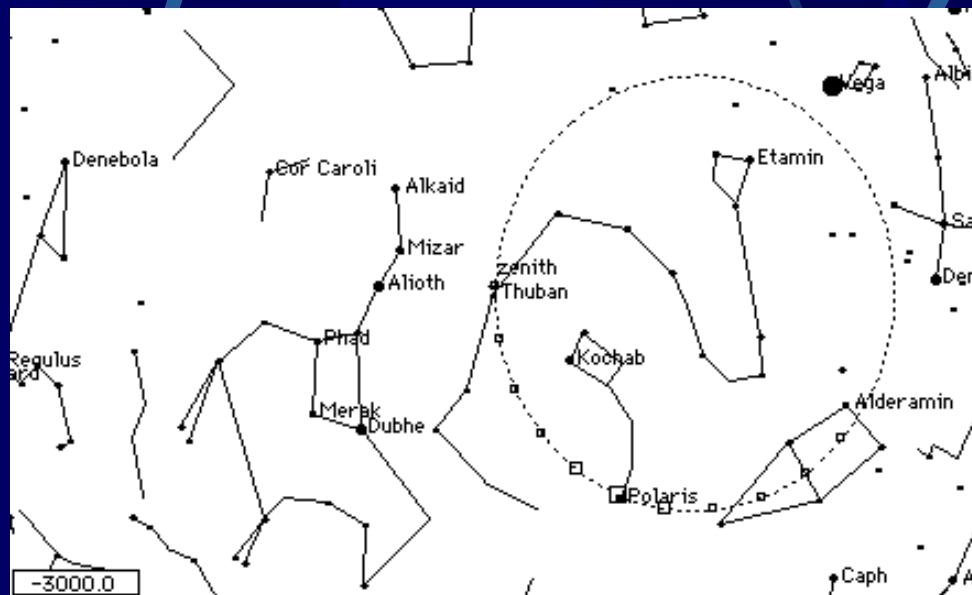
- 陀螺轉動時，自轉軸在空中畫出圓錐形
- 地球自轉受到月球、太陽及其他天體影響，自轉軸也有進動（也稱歲差運動 precession）
- 歲差運動很慢，短期內（百年）感覺不出來
- 地軸約 26,000 進動一圈
- 目前天北極方向與 Polaris 差不到一度，西元 2100年達到最近 27'





<http://spot.pcc.edu/~aodman/cycles/precession.jpg>

- 約5000年前，當時「北極星」為 Draco 星座當中的Thuban 星，為埃及人的北極星
- ~13,000 年後織女星將成為北極星

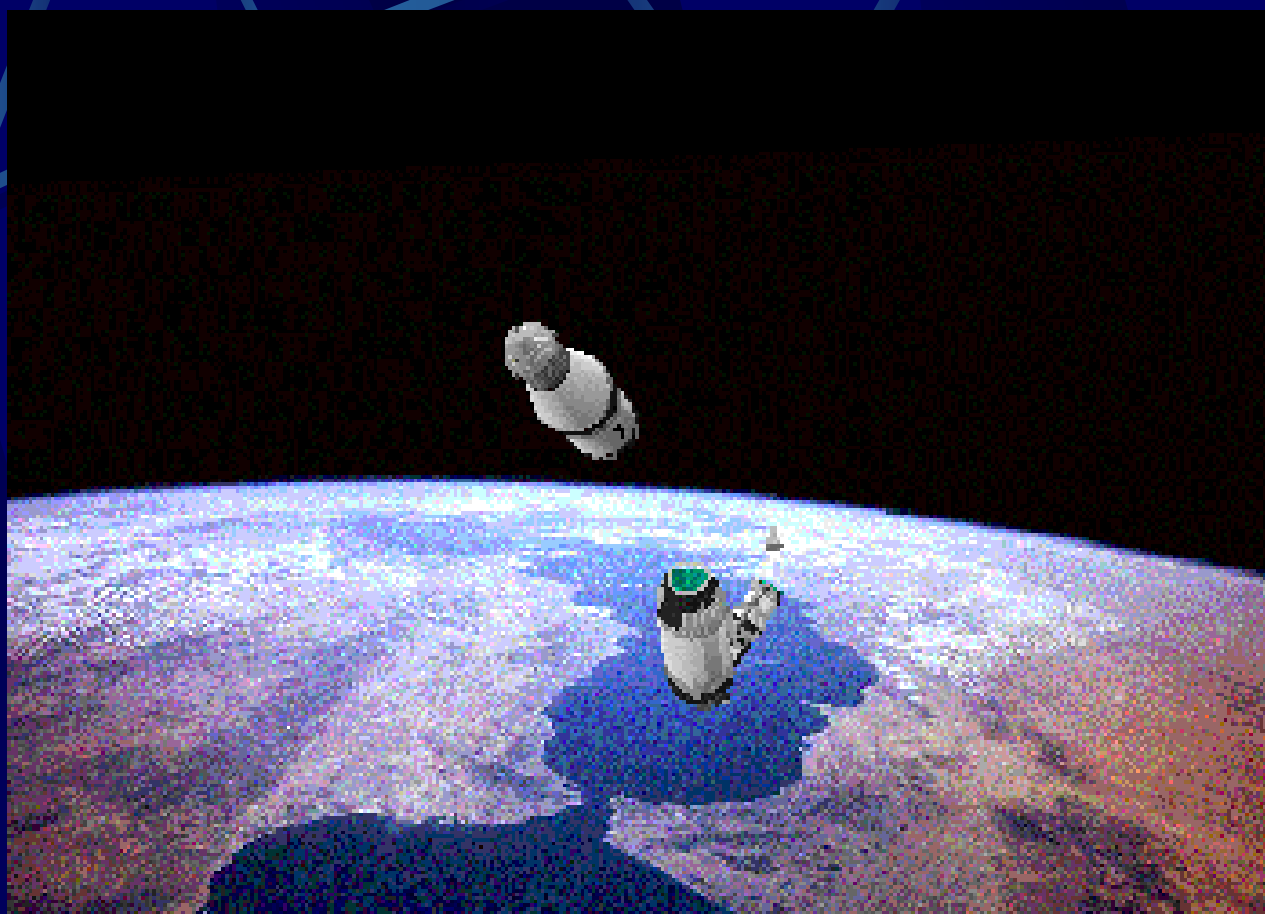


Q: 哪種天體爲拋物線或
雙曲線軌道？



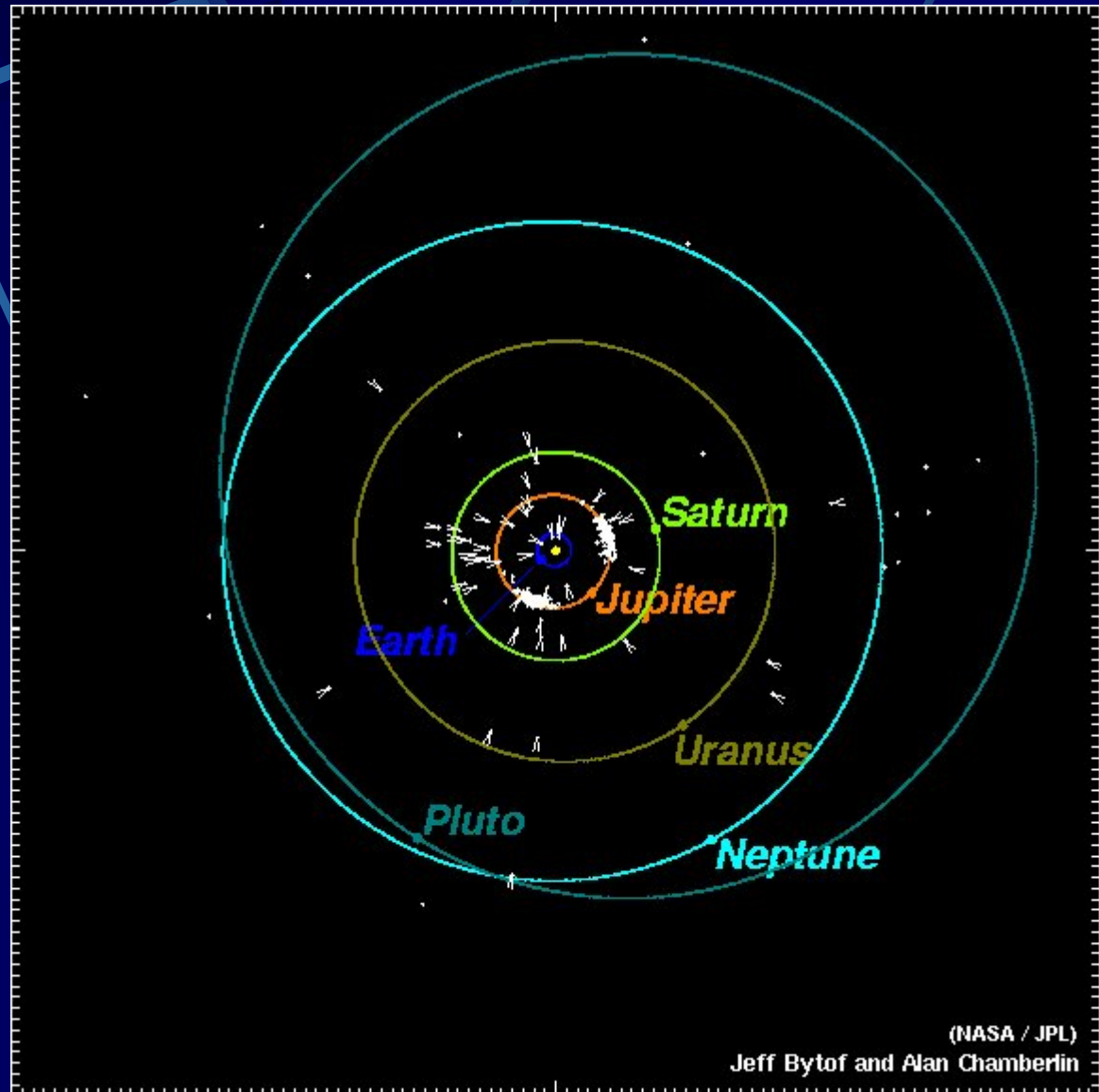
Q: 太陽系中成千上萬的天體
幾乎都接近圓形軌道，這有
何意義？

Q: 少數天體的軌道為拋物線
或雙曲線軌道，這又代表什
麼意思呢？

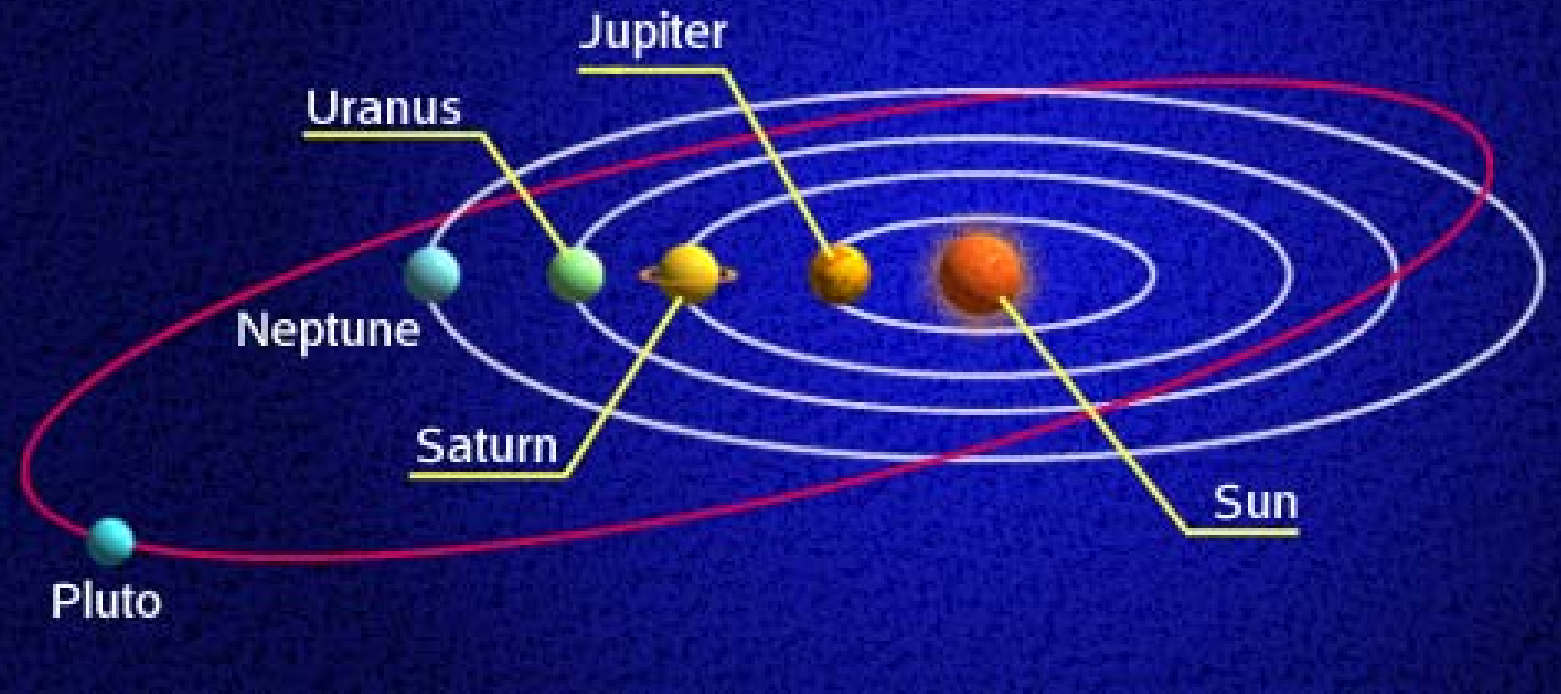


冥王星的橢圓
軌道比其他行
星狹長，且與
黃道面傾角也
較大

1979年與1999
年之間，冥王
星比海王星還
更接近太陽



Orbit of Pluto



冥王星軌道面與黃道面有17度夾角

2006年8月冥王星從行星的名單中除名