

天文學與航天科技

1 不同空間標度下的宇宙面貌

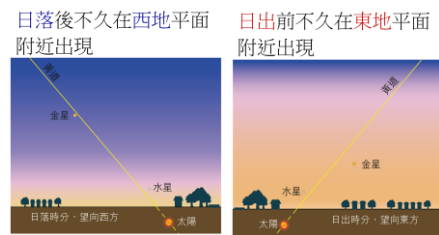
- 1.1 不同空間標度下的宇宙
- 時間單位：年
1 年 ≈ 365.25 日
 - 角度單位：度、角分 (arcmin 或 ’)、角秒 (arcsec 或 ’’)、弧度 (rad)
1’ = 60’’
1° = 60’ = 3600’’
1rad = 180° / π = 57.3°
 - 長度單位：光年 (ly)、天文單位 (AU)、秒差距 (pc)
1 ly = 光在真空行進一年的距離 = 1.50×10¹¹ m
1 pc = 1 AU 長度形成 1’’的對向角時所延伸的距離
1 pc = 3.26 ly = 3.09×10¹⁶ m
 - 各種天體的大小：

長度 (m)	天體的大約長度
10 ⁷	地球的直徑
10 ⁹	太陽的直徑
10 ¹¹	地球軌道的半徑
10 ¹³	太陽系
10 ¹⁶	與最近的恆星的距離 / 星雲的大小 (含有較高密度的塵埃和氣體團的物體)
10 ¹⁸	星雲的大小 (一組受引力牽引而聚集在一起的恆星)
10 ²¹	星雲的大小 (由恆星、星團、氣體、塵埃，以及其他物質受引力牽引而組成的龐大系統)
10 ²²	一般星系之間的距離
10 ²⁴	一般超星系的大小
10 ²⁶	人類能觀察到宇宙的大小

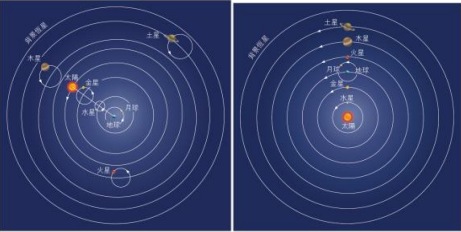
2 天文學的發展史

2.1 行星運動模型

- 行星的運動有別於恆星，這令過去的天文學家十分疑惑。那些異常運動包括：
 - 行星的逆行
- 從地球觀察，水星和金星從不遠離太陽。它們總是昏星或晨星。



- 托勒密的地心模型是 15 個世紀以來最具影響力的一個。根據這個模型，地球是宇宙的中心，其他的星體全都圍繞地球運行。



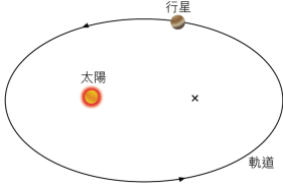
- 後來，哥白尼提出日心模型。根據這個模型，地球和其他行星都圍繞太陽運行。
- 兩個模型都能解釋行星的運動，但亦有不足之處。

2.2 現代天文學的曙光

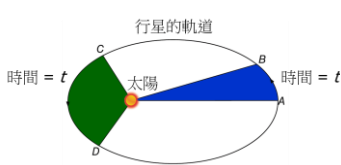
- 伽利略作出多項支持日心說的天文發現，包括：

發現	意義
月球表面有山脈，山谷和隕石坑。	月球不是平滑的球體，這和當時一般人所相信的並不一樣。
太陽表面有黑斑(太陽黑子)，它們顯示太陽在自轉。	太陽並不完美；地球也可能會自轉。
木星有四顆圍繞它運行的衛星。	地球不是萬物的中心。它也可能圍繞別的星體運行。
金星有完整的相位週期。	這個觀察結果與托勒密模型並不吻合，唯一解釋是金星圍繞太陽運行，這正好是支持日心說的有力證據。

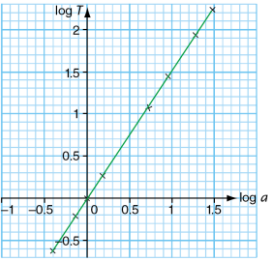
- 開普勒行星運動定律：
第一定律：行星沿橢圓軌道圍繞太陽運行，太陽位於橢圓的一個焦點之上。



第二定律：連接恆星和太陽的直線在同相等時間內，掃過相等的面積。(越接近太陽，運行速率越高)



第三定律：行星軌道週期的平方與半長軸(或行星與太陽之間的平均距離)的立方成正比。如果星體圍繞太陽運行，則： $T^2 = a^3$ (分別以地球年及 AU 為單位)



3 重力下的軌道運動

3.1 認識軌道運動

- 引力可以維持行星沿太陽運行。
萬有引力方程： $F = GMm/r^2$
- 如果天體 A 沿半徑為 r 的圓周軌道圍繞天體 B 運行，A 的運行速率是 $v = \sqrt{\frac{GM_B}{r}}$ 。其中 M_B 是 B 的質量。
- 開普勒第三定律應用於圓周軌道時，得出 $T^2 \propto r^3$ 結果。這也可從牛頓萬有引力定律推導出來。
- 開普勒第三定律應用於橢圓軌道時，得出 $T^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{GM}$ 。因此， $T^2 \propto a^3$ 。
- 太空人乘坐太空船運行時，會感到表觀的失重。這現象由重力加速度造成，而重力加速度的大小與太空人和太空船的質量無關。

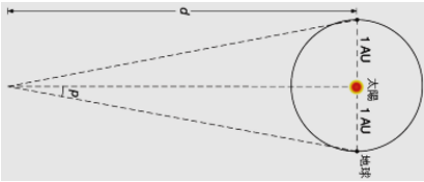
3.2 軌道運動中的能量守恆

- 重力勢能 U 是(由外力)把物體從無限遠處移動至 r 時，因抵抗引力所作的功。
- 機械能守恆： $K + U = \frac{1}{2}mv^2 - GMm/r = \text{常數}$
- 天體的逃逸速度： $v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$

4 恆星和宇宙

4.1 量度恆星的距離

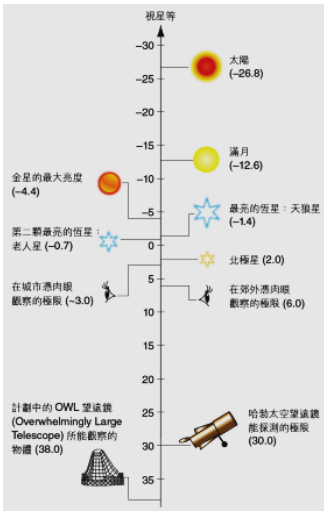
- 鄰近恆星的距離可用視差法量度。
- 以上方法帶出秒差距 (pc) 這個單位的定義：與地球相距 1 秒差距的恆星，視差就是一角秒。
- 1 pc = 206 265 AU = 3.26 ly； $d = 1/p$ (分別以秒差距及角秒為單位)



4.2 星光和恆星分類

- 根據眼睛從一個光源所接收的強度 I，能描述恆星的亮度。
$$\text{接收強度} = \frac{\text{接收的能量}}{\text{面積} \times \text{時間}}$$

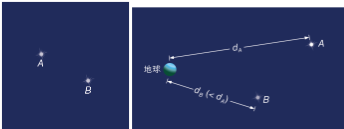
強度的單位是 Wm⁻²。
- 天文學家用視星等 m 來描述恆星及其他天體的亮度。



- 恆星的光度 L 是它每秒放射的光能量值。

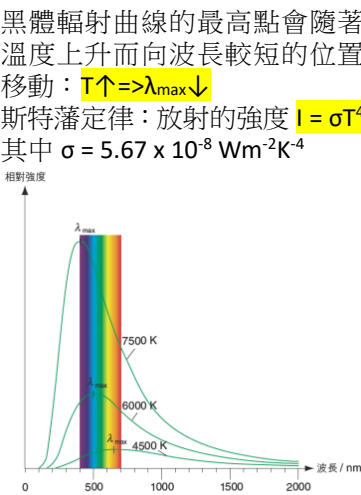
$$\text{光度} = \frac{\text{向所有方向放射的總能量}}{\text{時間}}$$

- 光度的單位是 W。
- 恆星的絕對星等 M，定義為該恆星在 10pc 的距離所顯現的視星等。

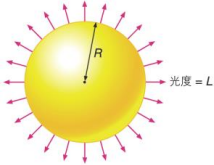


- 視星等和絕對星等的關係：

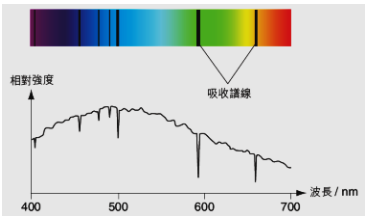
強度 I	$I = \frac{L}{4\pi d^2}$	光度 L
$\frac{I_1}{I_2} = 2.512^{m_2 - m_1}$		$\frac{L_1}{L_2} = 2.512^{M_2 - M_1}$
視星等 m	$M = m - 5 \log \frac{d}{10}$	絕對星等 M
- 黑體輻射曲線的最高點會隨著溫度上升而向波長較短的位置移動： $T \uparrow \Rightarrow \lambda_{\text{max}} \downarrow$
- 斯特藩定律：放射的強度 $I = \sigma T^4$ ；其中 $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$



- 恆星的光度、半徑和表面溫度之間的關係： $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$



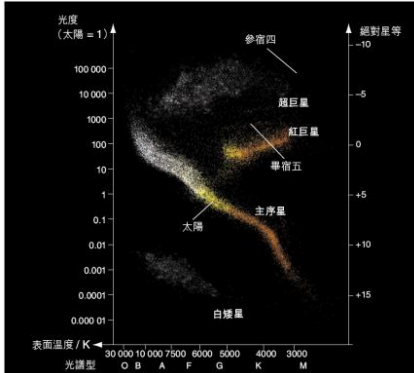
- 恆星的光譜會出現光譜線(吸收譜線)。



- 恆星可分類為不同的光譜線。
- 在赫羅圖中，縱軸代表恆星的光度，橫軸代表它的表面溫度(或光譜型)。

光譜型	近似的表面溫度/ K
O	40 000
B	20 000
A	10 000
F	7500
G	5500
K	4500
M	3000

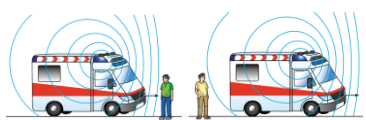
- 恆星在赫羅圖上形成幾個群組：主序星、紅巨星和白矮星。



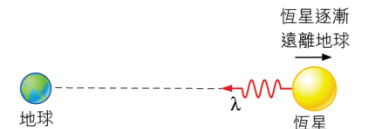
- 根據赫羅圖，可以用公式 $R = \sqrt{L/T^2}$ (量值以太陽單位計算) 求得恆星的半徑。

4.3 天體的多普勒效應

- 多普勒效應：波源和觀察者之間有相對運動，因此觀察者所觀察到的波的頻率(和波長)出現變化。

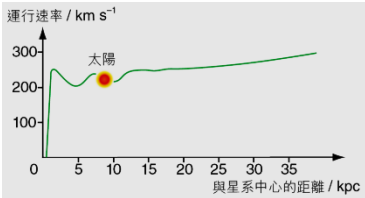


- 光的多普勒效應：

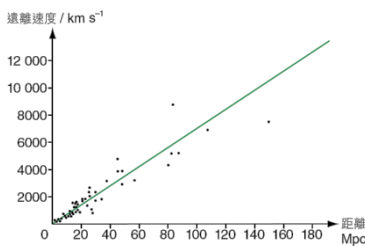


- 恆星移近 => 藍移
恆星離開 => 紅移
- 波長的變化： $\Delta \lambda / \lambda_0 \approx v_r / c$
- 恆星的徑向速度曲線可用來推斷太陽系外是否有行星存在。

- 星系的旋轉曲線反映有暗物質的存在。



- 星系的紅移顯示宇宙正在膨脹。



應試心得

- 要知道各個星體的大約距離和大小。
- 1 pc 的定義；量度秒差距時，所得出的夾角需要除 2 (取其半值)。
- 第一宇宙常數 (環球速率) $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ；第二宇宙常數 (逃逸速率) $v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$
- 衛星的總能量：KE + PE = ½mv² + (-GMm/r)
- 日心說的證據：太陽黑子、金星相位與大小、木星的衛星、行星逆行、四季的產生
- 開普勒三定律：1st 橢圓軌跡 (當中有兩個焦點)；2nd 行星距離太陽越近、速度越快(掃過的面積)；3rd 行星距離越遠、周期越長。
- 無重狀態不等於失去了引力。
- 視星等和絕對星等的關係。星等差一級等於亮度差 2.5 倍。
- 恆星的溫度越高，λ_{max} 越移向短波長一邊，但這並不表示該星體沒有長波長輻射發出。
- 恆星的表面溫度從高至低：OBAFGKM (Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me)。H—R 圖 (赫羅圖)
- 恆星的光譜 (成份)、光度、大小和距離的關係。
- 多普勒效應是由於波長改變而成，在 v = fλ 中，v 保持不變。λ↓ → f↑