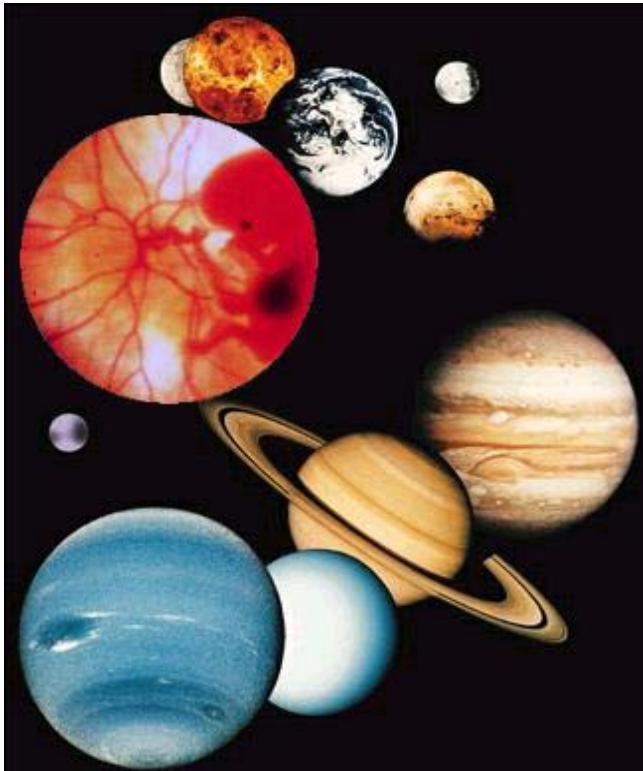


恆星的形成與演化



陳文屏
中央大學天文所
及物理系、所

星星也有生、老、病、死 源於塵土、歸於塵土

- 星星之間有極寬廣的空間
- 然而「太空」並不是「真空」

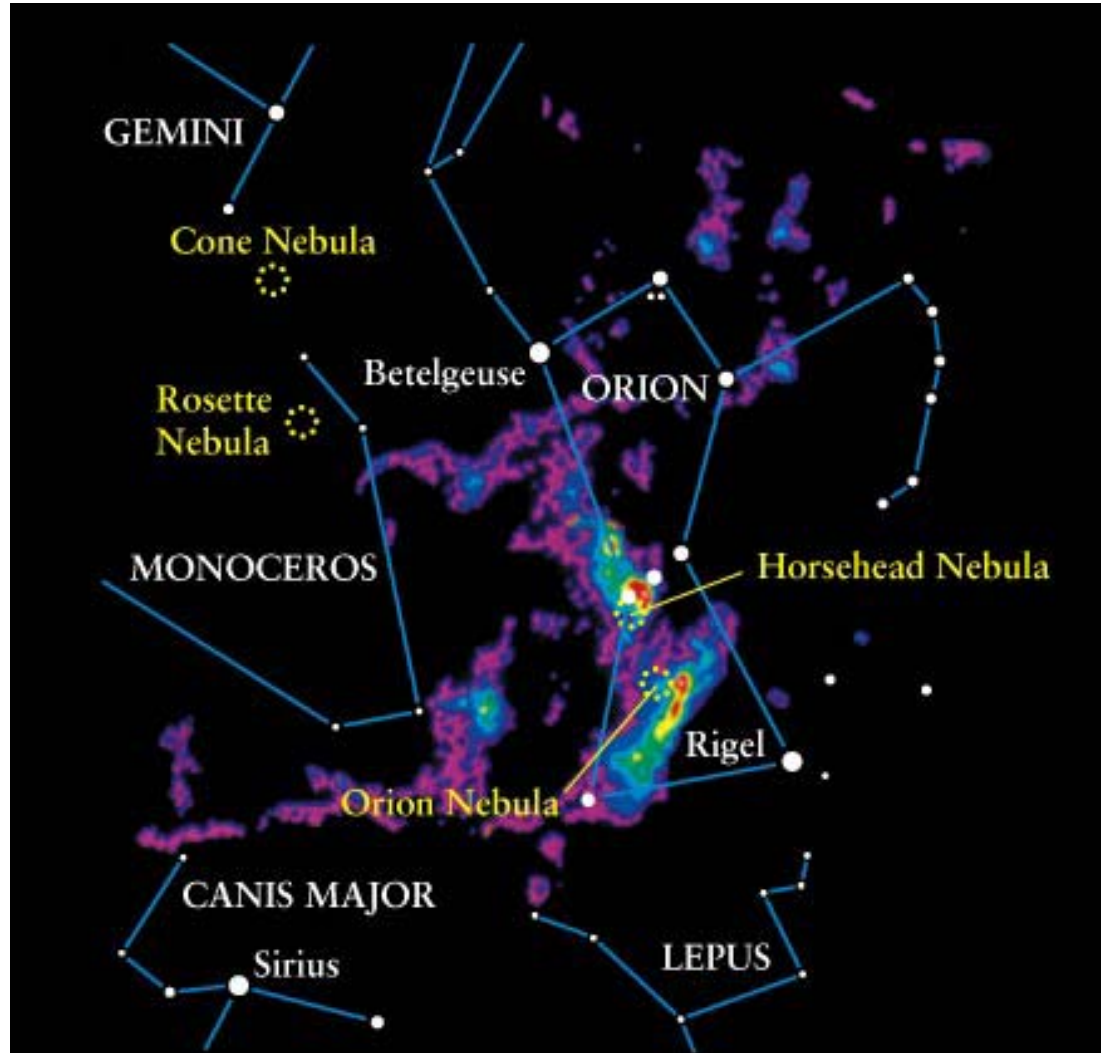


星際物質 → 分子暗雲
→ 高密度雲核 → 初生星球
→ (行星? 生命?)
→ 恆星演化
→ 星際物質

Rosette Nebula and a Star Cluster



獵戶座中的二氧化碳雲氣





恆星與行星皆來自星際雲氣收縮

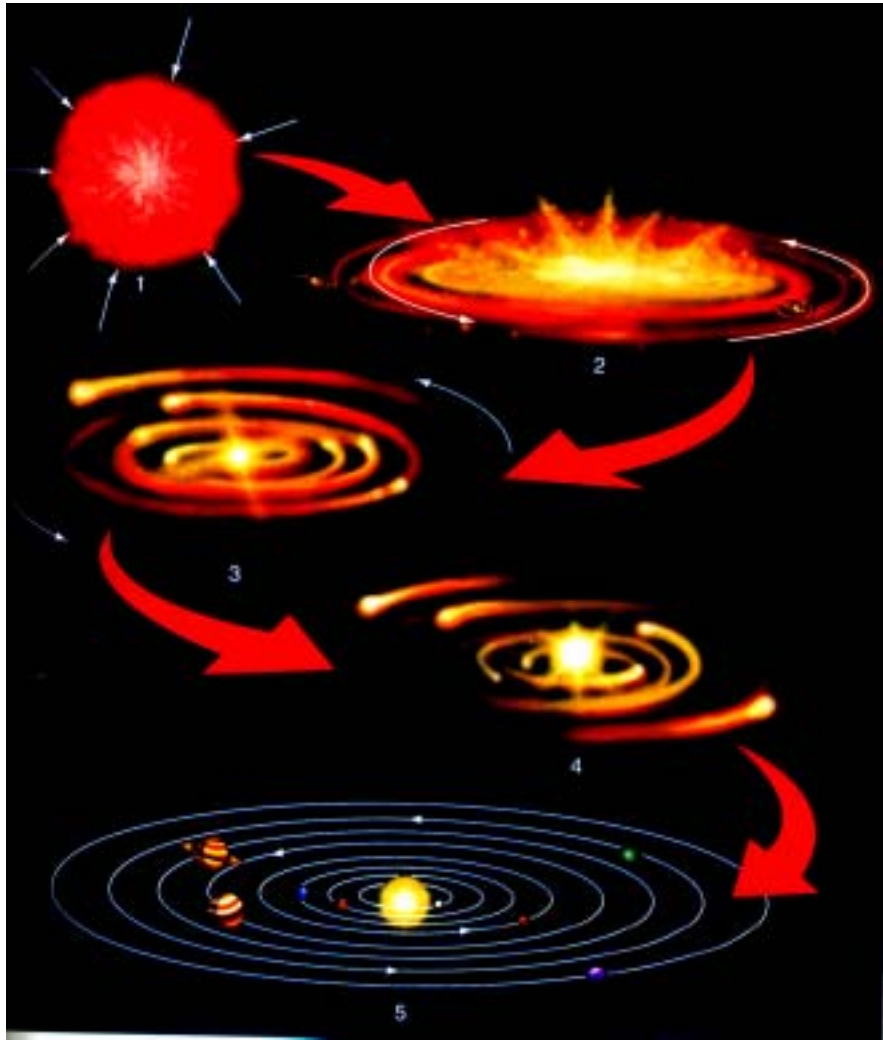
- 收縮
星際暗雲 --> 初生星球 + 扁盤 + 剩下的環繞塵氣
旋轉

年輕的太陽 + 盤狀物質



溫度上升、塵消氣散

星際塵埃 塵塊 小行星 行星

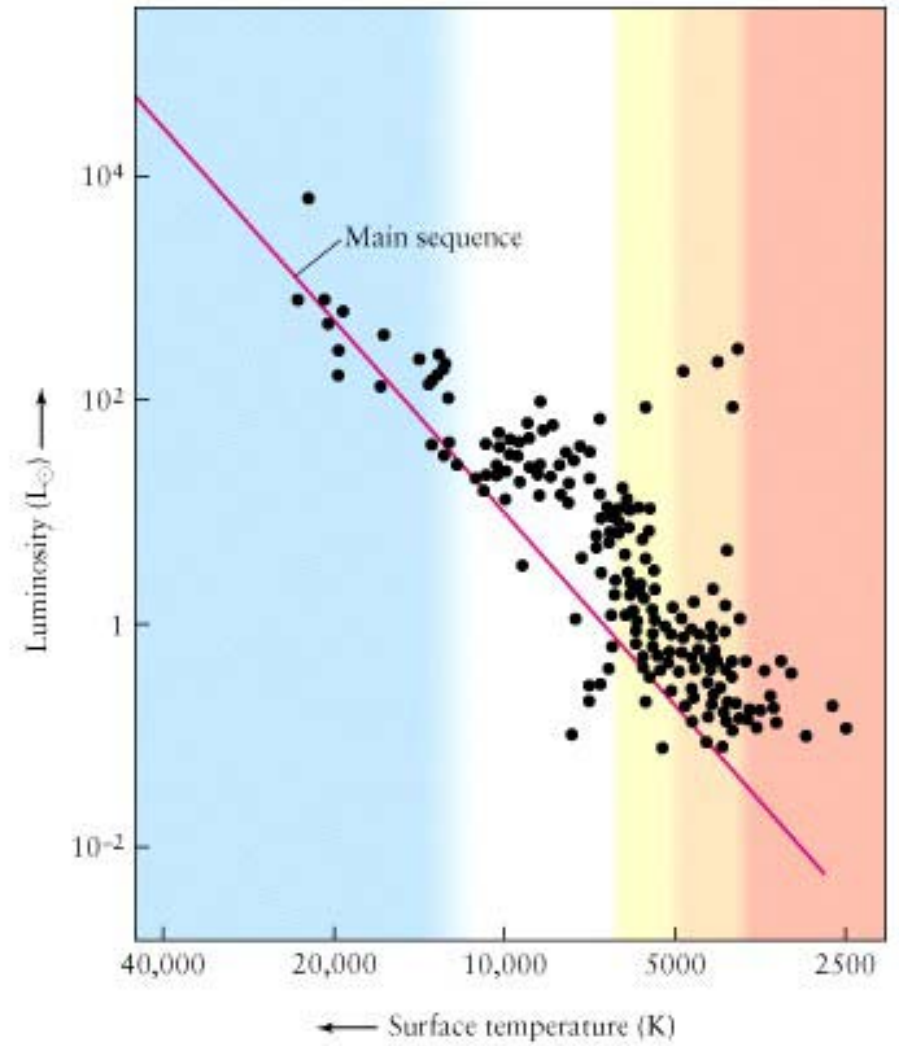


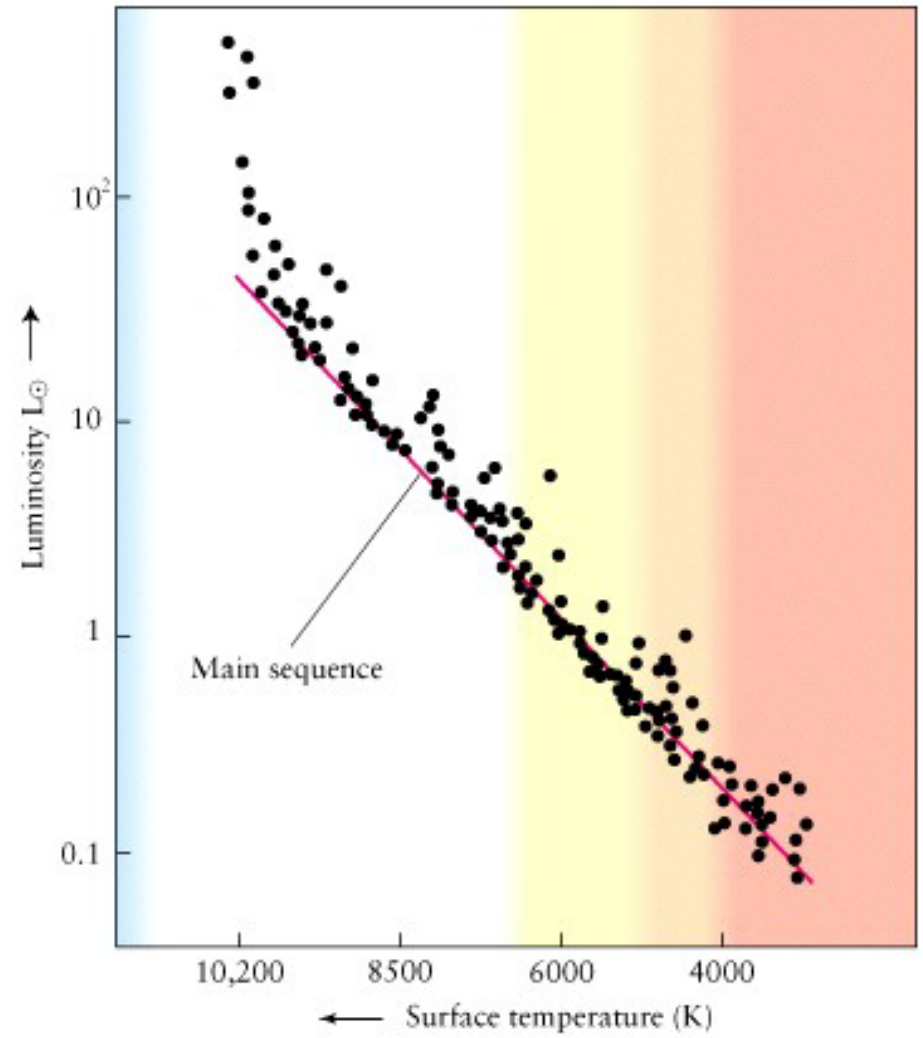
- 重力不穩定
 - Jeans criteria
- 輻射冷卻
- 快速塌縮（自由落體）
 - 氣體壓力上升
 - 緩慢收縮
(Kelvin-Helmoltz)
 - $U_{\text{grav}} \rightarrow U_{\text{thermal}}$
- 演化進入主序
- 角動量守恆
 - 形成環星盤 → 行星
- 雙極噴流
- 高能輻射

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
 但生命不一定就會出現

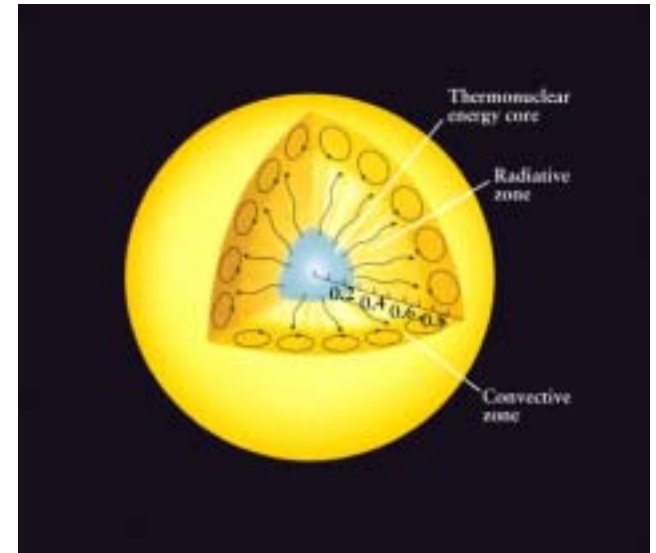
若雲氣夠大 分裂成小雲塊
 分別形成恆星 星團





活著：主序星

- 靜力平衡（壓力 = 重力）
- 核心產生能量（熱核反應）
 氫→氦→「重」元素
- 能量傳遞（輻射、對流），
 從表面向四面八方輻射
- 質量大，燃料多，但燒得特別快 → 紅顏薄命
- 質量越大，光度越大，表面溫度越高（藍白色），主序壽命越短
- 太陽已經活了五十億年，可以再活五十億年



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
 - ↙ 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
- 製造恆星及行星剩下的東西不斷轟擊

獨特的地球

活生生的系統

- 大規模的轟擊 熔融 鐵沈入矽化物之下

↙ 地心、地函 流體 磁場

- 距離（「適中」） + 質量

↙ 液態水 生命

```
graph TD; A[液態水] --- B[生命]; B --- C[調節環境]; C --- A;
```

調節環境

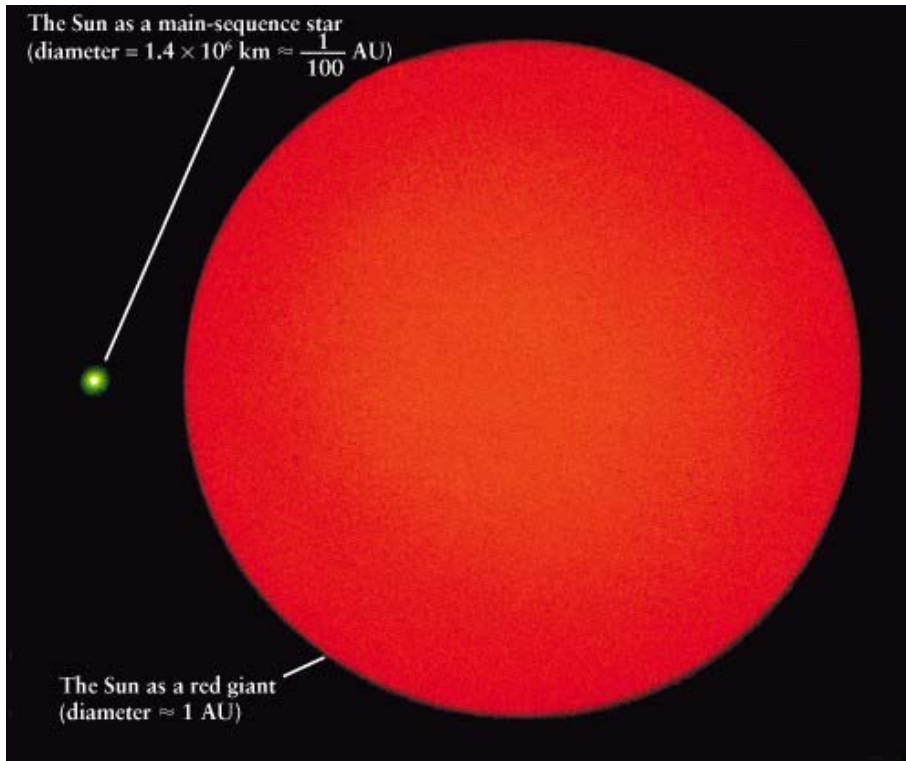
Gaia



衰亡：重如泰山、輕如鴻毛

- **低質量星球**：壽終正寢、入土為安
→ 白矮星 → 黑矮星
- **如太陽質量的星球**：人死留名、星死留雲
→ 紅巨星 → 行星狀星雲 + 白矮星 → 黑矮星
- **中質量星球**：迴光返照、死有哀榮
→ 紅巨星 → 超新星 → 中子星
- **高質量星球**：不是不報、時辰未到
→ 藍巨星、超巨星 → 黑洞？

現在的太陽與50億年後的太陽



現在：

直徑140萬公里
核心氫融合，
200,000 km

變成紅巨星

增大100倍
亮度增大2000倍
氫核心，30,000 km
外圍氫融合

恆星演化晚期有大量質量流失



有時以爆發的劇烈手段流失質量

