

恆星的一生



你覺得呢？

- ❖ 天地恆長久？天長地久是多久？
- ❖ 恆星有多遠？有多亮？有顏色嗎？如何形成？現在還有恆星正在形成嗎？恆星的壽命有多長？什麼因素決定呢？
- ❖ 太陽老去後變成什麼？
- ❖ 金、銀、銅、鐵哪裡來的？
- ❖ 超新星是什麼？黑洞呢？

估計恆星的基本性質

視差法 → 距離 → 看起來的亮度 → 實際光度

恆星是發光氣體，顏色 → 表面溫度
→ 每塊面積發光能力 → 總面積 → 直徑

恆星處於（力量）平衡狀態 什麼力與什麼力？

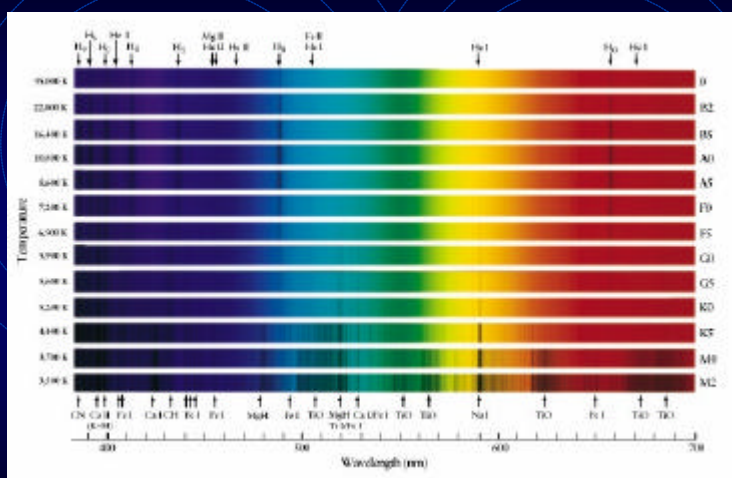
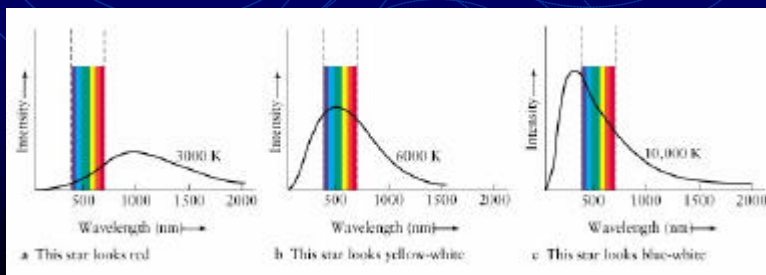
質量大 → 萬有引力強 ↔ 核心溫度高、壓力大
→ 核子反應快 → **發光強** → **表面溫度高**

恆星 表面溫度 ↑ → 光度 ↑

輻射體溫度高 → 放出較多能量高的光
 例如X射線、紫外光、藍光等
 (這些輻射震盪—也就是頻率—比較快)

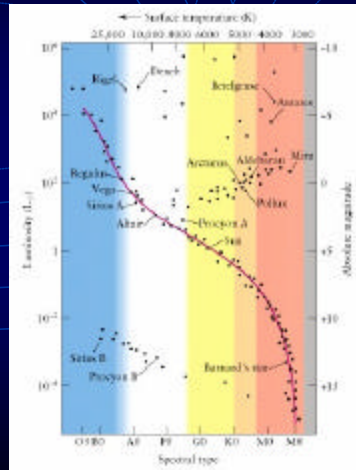
輻射體溫度低 → 放出頻率低 (也就是波長比較長) 的輻射, 例如紅光、紅外線、微波等

天文學習慣上以紅表示低溫、藍或白表示高溫



恆星光度與表面溫度的關係 Hertzsprung-Russell diagram

光度



光譜型態

光譜型態與表面溫度

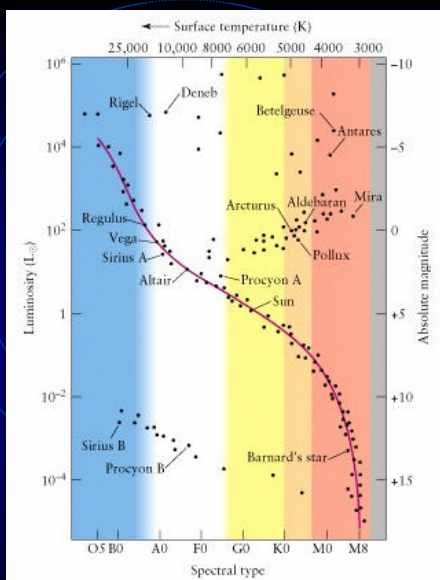
- 以光譜中氫元素的譜線明顯程度，將恆星分類，最強的為 A，依序為 B, C, ...
- 後來發現在眾多影響氫譜線強度的因素中，溫度最重要
- 若以溫度由高到低排列，光譜型態的順序為 O-B-A-F-G-K-M。O型恆星表面溫度最高，達30,000 50,000；M型恆星只有2500 4000度
- 太陽是顆G型恆星

Oh, Be A Fine Guy/Girl, Kiss Me!

強
↑

光度

↓
弱

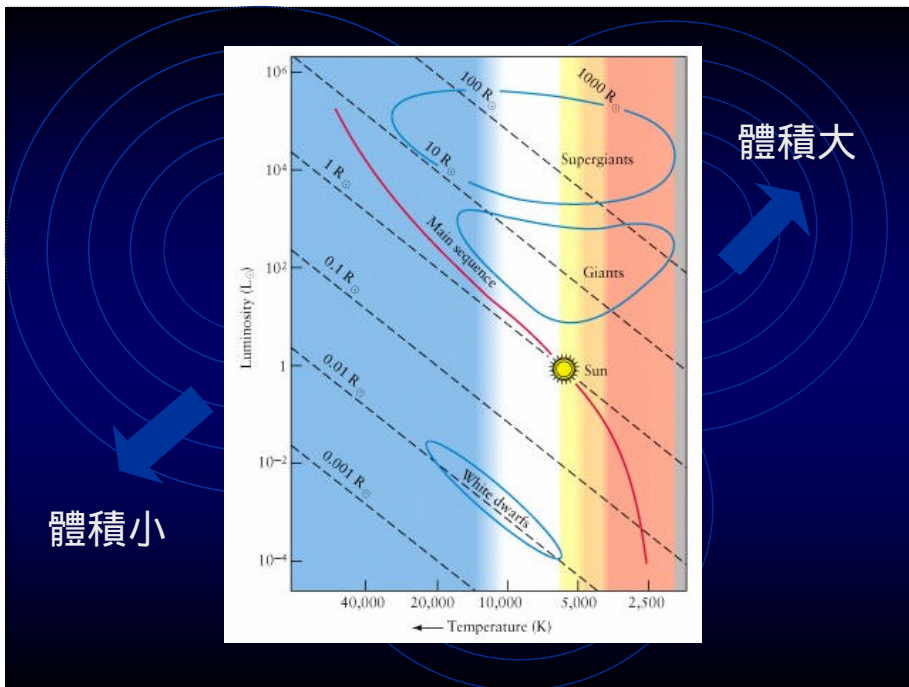


在赫羅圖上
90%的恆星集中在一條帶狀分佈，
稱為「主序」
(**main sequence**)，
這些恆星遵循
「**表面溫度越高，
光度越強**」的關係

高 ← 表面溫度 → 低

解讀「赫羅圖」(HR diagram)

- 赫羅圖為研究天體的基本重要工具
- 「正常」的星球，也就是平衡、穩定的恆星
→ **主序星 (main-sequence stars)**
- 赫羅圖右上角的星球，溫度低、光度非常明亮
→ **紅巨星 (red giants)**、
紅超巨星 (red supergiants)
- HR圖左下角的星球，溫度高、光度非常微弱
→ **白矮星 (white dwarfs)**

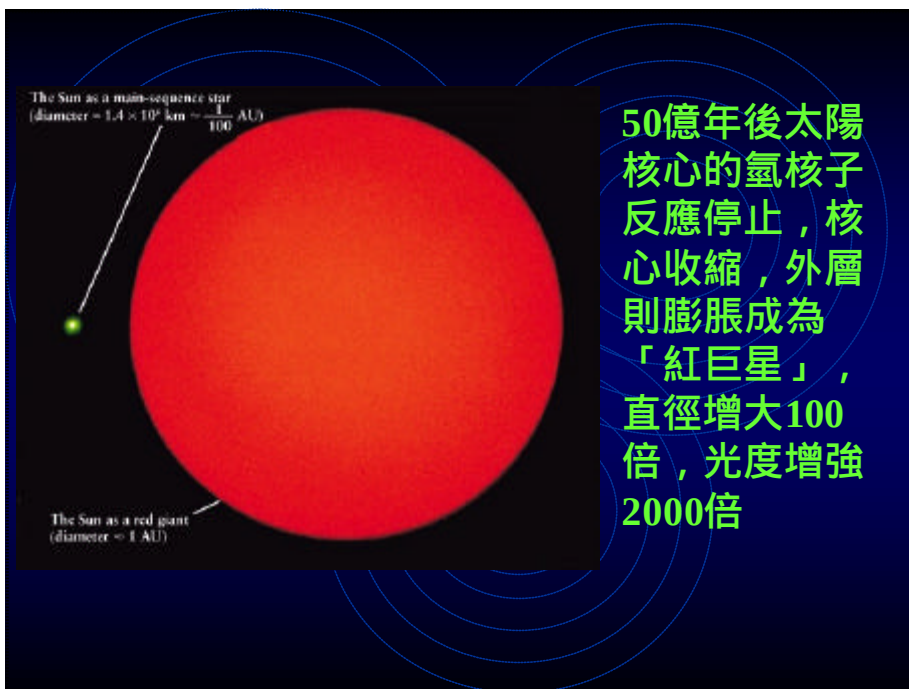


- 主序星就是核心在進行（氫）核反應的星球 → 穩定平衡，有如安全閥機制
- 一旦核心的氫用完，失去提供氣體壓力的能量來源，再也不能與萬有引力平衡 → 恆星走向衰亡
- 我們的太陽已經穩定發光了約50億年，預計還可以存活50億年

這時恆星結構上分成兩部分：**核心**的氫（核燃料）已經用完，但是**外層**卻還有很多氫

太陽（小質量恆星）青春尾巴

- 核心無法承受萬有引力 → 收縮
- 收縮的核心溫度上升 → 點燃氦核反應
核心再度達到平衡狀態
→ 外層向外膨脹，溫度下降
- 我們看到外層變大、變冷（變紅）
→ 紅巨星
- 這時期星球結構不穩，收縮、膨脹
→ 脈動變星，例如**造父變星** (Cepheid variables)



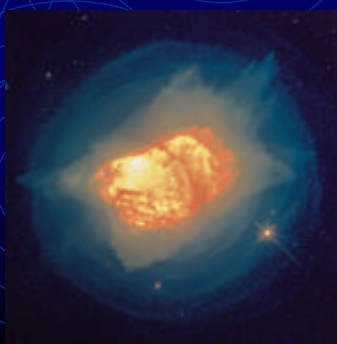
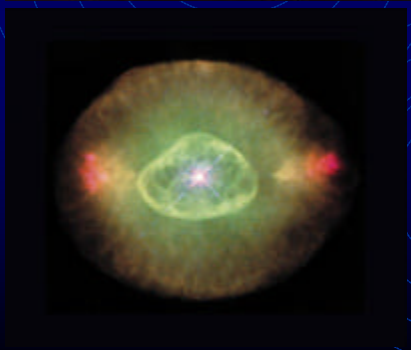
太陽步向晚年

- 核心氦用完 → 再收縮 → 再升溫
→ 點燃碳核子反應？
核心碳用完 ...
當再沒有下一級核反應 → 不再有能量來源
原子原來空蕩蕩（原子核很小），被擠壓
後可以撐住（不能再擠了，否則...）
熾熱的核心 → 白矮星 → 冷卻成黑矮星
- 外層向外擴散，逐漸與星際物質混合
→ 行星狀星雲 (planetary nebulae)
- 雲消霧散後，露出中央的白矮星

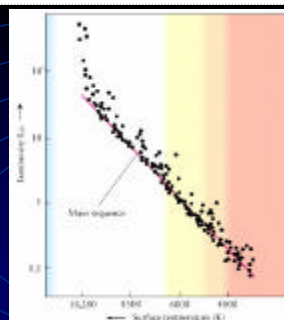


恆星演化晚期噴發出外層大氣，形成各種形狀的「行星狀星雲」

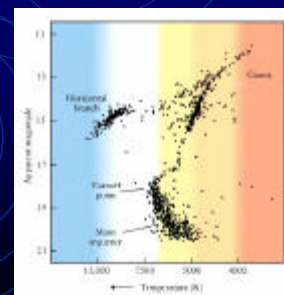
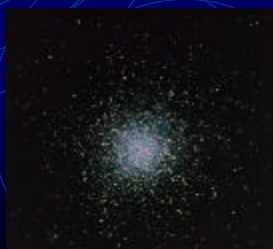
呈雲氣狀而歷史上誤稱，實際上與行星無關



年輕星團：
有各種質量成員星，分佈在赫羅圖主序上



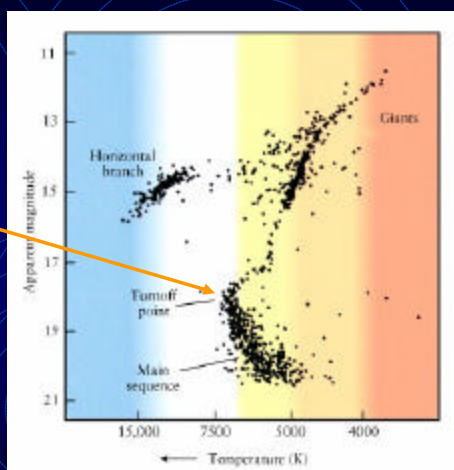
年長星團：
大質量恆星首先衰亡，然後輪到中等質量恆星，接著依照質量陸續離開主序



星團中的恆星同時、從同一團雲氣形成
→ 年齡、距離、成分都相同

轉折點 (turnoff point)
以上，質量比較大的主序星已經衰亡，成為紅巨星

→ 轉折點的恆星壽命，就是該星團的年齡

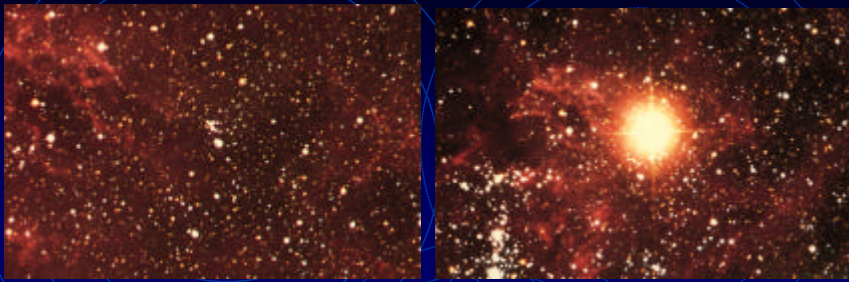


中質量恆星晚年

- 核心消耗速度快，收縮快，點燃下一級核反應劇烈
- 核心萬有引力強，連擠壓原子的力量都撐不住 → 原來貼靠在原子核外面的電子被擠進原子核，結合成中子
→ **中子星 (neutron star)**
- 劇烈收縮造成強力反彈，把外層爆發開
→ **超新星爆發 (supernova explosion)**
- 爆發期間，比整個銀河系還要明亮

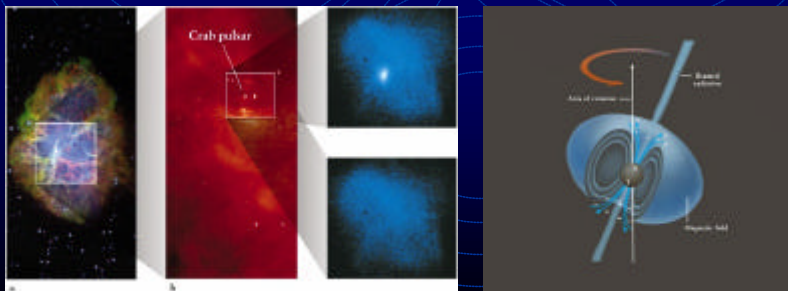
位於金牛座方向的蟹狀星雲 (Crab Nebula)，距離我們6500光年，源於AD1054年超新星爆發。星雲本身的大小約6光年乘以4光年，以每秒1000公里速率向外膨脹





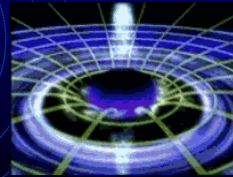
SN 1987A 位於銀河系鄰近的星系 Large Magellanic Cloud 當中，原來是不起眼的星體，於1987年2月爆發時耀眼異常

- 中子星比白矮星還小得多。太陽核心成為白矮星，大小約與地球相當
- 中子星大小只有10公里左右，只與中壢市相當
- 磁場巨大，同時旋轉快速 → **脈衝星 (pulsar)**
每秒數百到數千次脈衝（燈塔效應）



大質量恆星晚年

- 例如質量大於太陽8倍
- 連形成中子（原子核本身的支撐力量）都抵擋不住巨大的萬有引力
→ 星體塌縮
- 強大的萬有引力連光線都跑不出來
→ **黑洞 (black hole)**
- 黑洞是種物質狀態，其「表面」的逃脫速度等於光速



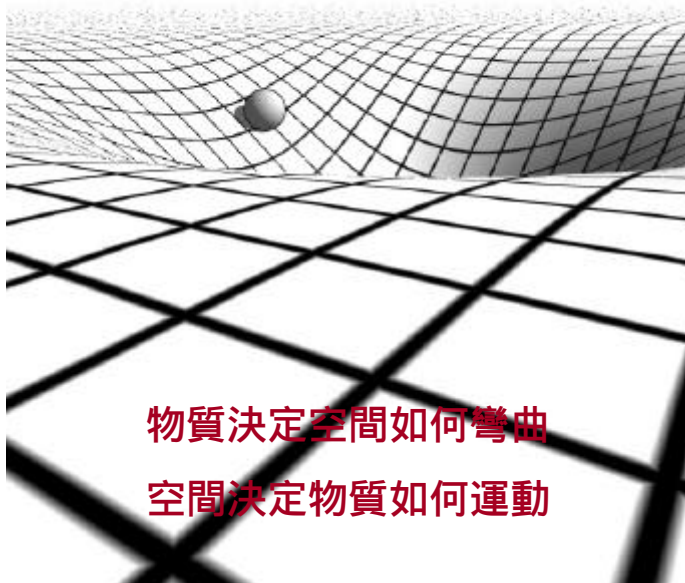
逃脫速度 (escape velocity)

- 拋個銅板向上...銅板向上飛，達到最高點後停止，接著向下飛
- 如果用力拋個銅板向上...
- 但是如果真的很用力（夠快），越高處離地心越遠，引力越弱，便無法讓銅板停止
- 這個開始拋速度稱做「逃脫速度」
- 地球的 escape velocity 為 40,200 km/h 或 11 km/s；大於這個速度毋須額外力量就可脫離地球



Q：如果太陽塌縮成了黑洞，
對地球有何影響？

- 會被吸進去嗎？
- 不再有春、夏、秋、冬？
- 從此適合天文觀測？

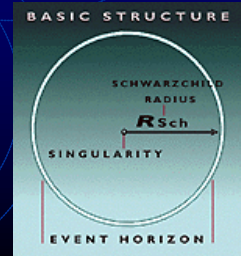


物質決定空間如何彎曲
空間決定物質如何運動

- 決定某個天體逃脫速度的因素包括它的質量以及大小（直徑）

$$V_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

- 若某天體相對於體積，質量很大，逃脫速度等於光速 → 黑洞
- 該半徑稱為 **Schwarzschild radius**（史瓦茲半徑），該球面稱為**事件地平面 (event horizon)**，其內的訊息跑不出來

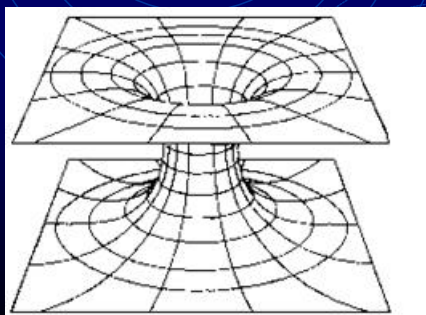


史瓦茲半徑有多大？

- $R_{Sch} \sim 3 (M/M_{\odot}) [\text{km}]$
其中 M 代表黑洞的質量， $M_{\odot}$ 為太陽質量
- 如果太陽成為黑洞，半徑約為 3 公里
- 如果地球成為黑洞，半徑約為 1 公分
- 質量為太陽質量 1 億倍的黑洞，其大小為...
- 這相當於多大？（和地日距離比）
- 密度呢？

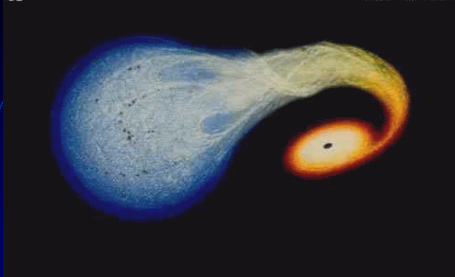
時空扭曲，
可以成為
「捷徑」，
通往宇宙其
他角落？

時空旅行？

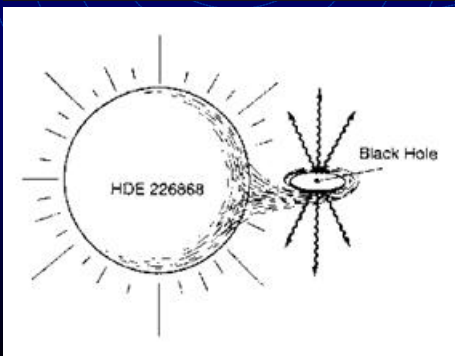


Cygnus X-1 black hole
C2

© 1993 Loch Ness Productions
markpet@scicom.alphacdt.com
Artist: Tim Yi Kuo



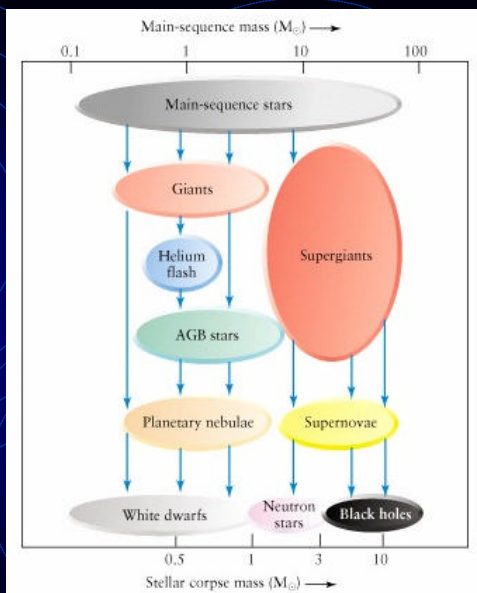
利用黑洞對伴星
萬有引力的作
用，藉以發現黑
洞的存在



恆星在主序時的質量

質量流失

恆星死亡時的質量



一些星系的核心可能也有超大質量黑洞

