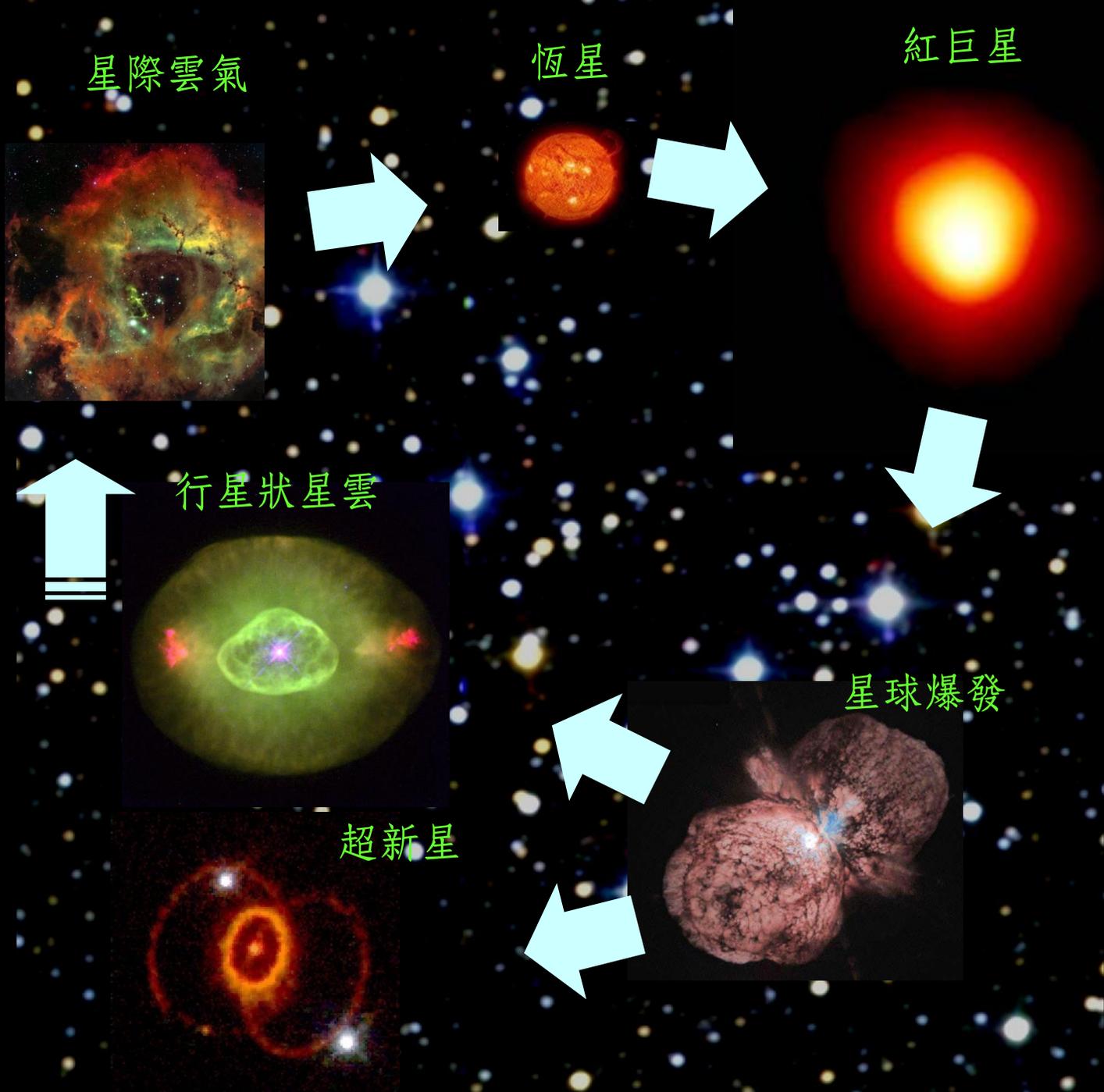




恆星與星系

恆星的生老病死



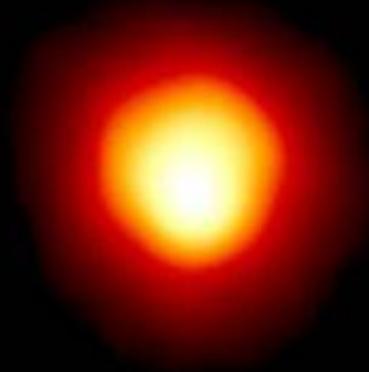
星際雲氣



恆星



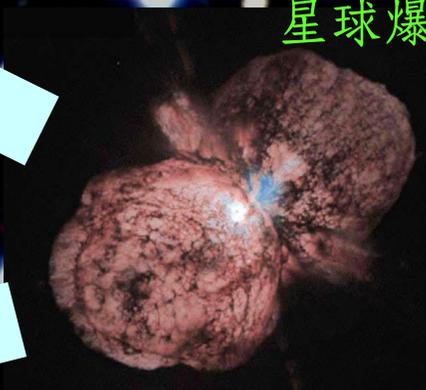
紅巨星



行星狀星雲



星球爆發



超新星



星際物質

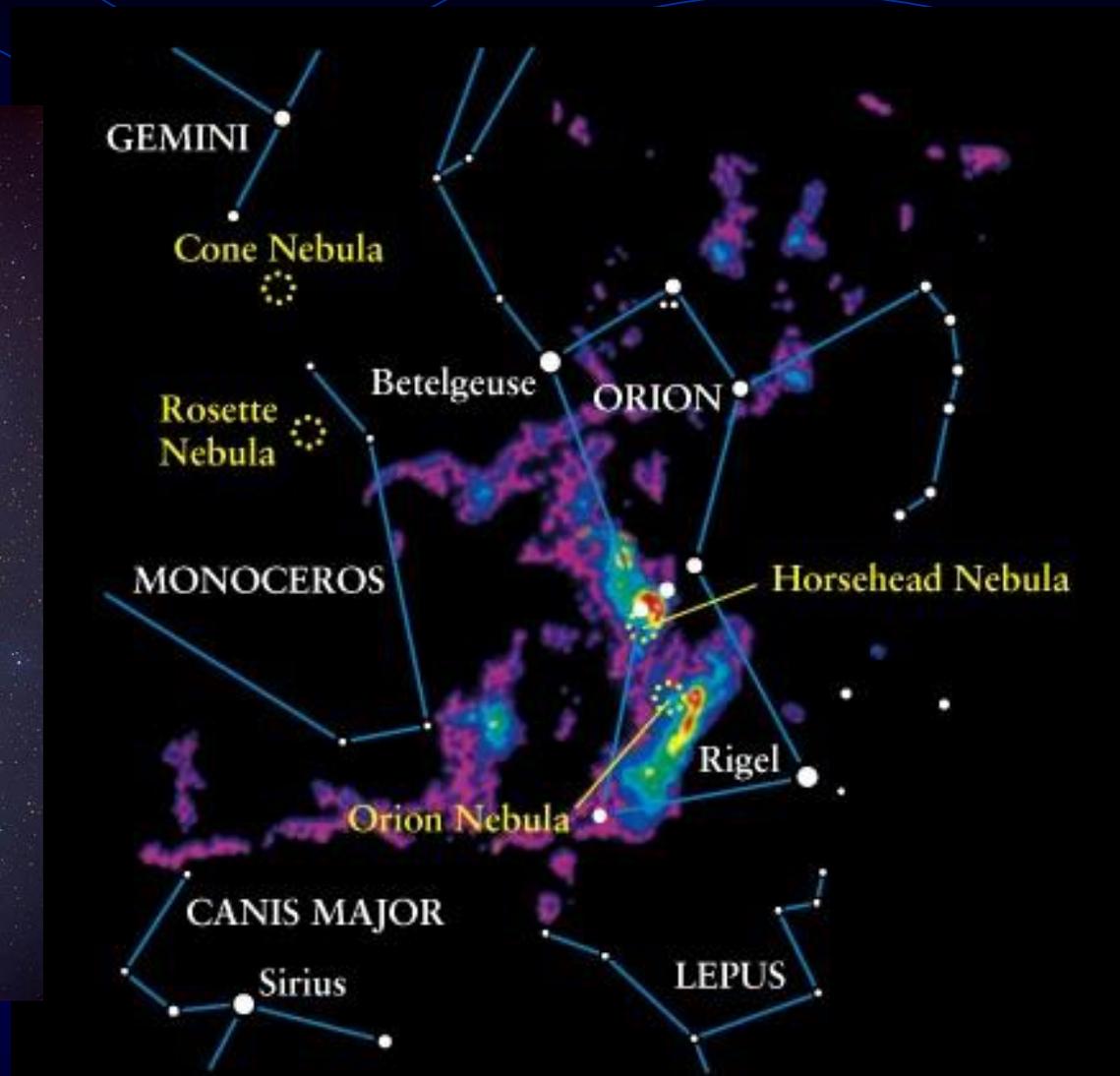
星星之間極其寬廣但太空並非真空，
而有星際物質

日常空氣每cc約含 10^{19} 個分子
星際太空每cc約含 1 個分子



這些包含氣體與灰塵的雲氣彼此之間互相吸引
(萬有引力)，使得雲氣聚集，濃密的灰塵會擋住後面
發光的氣體或星球

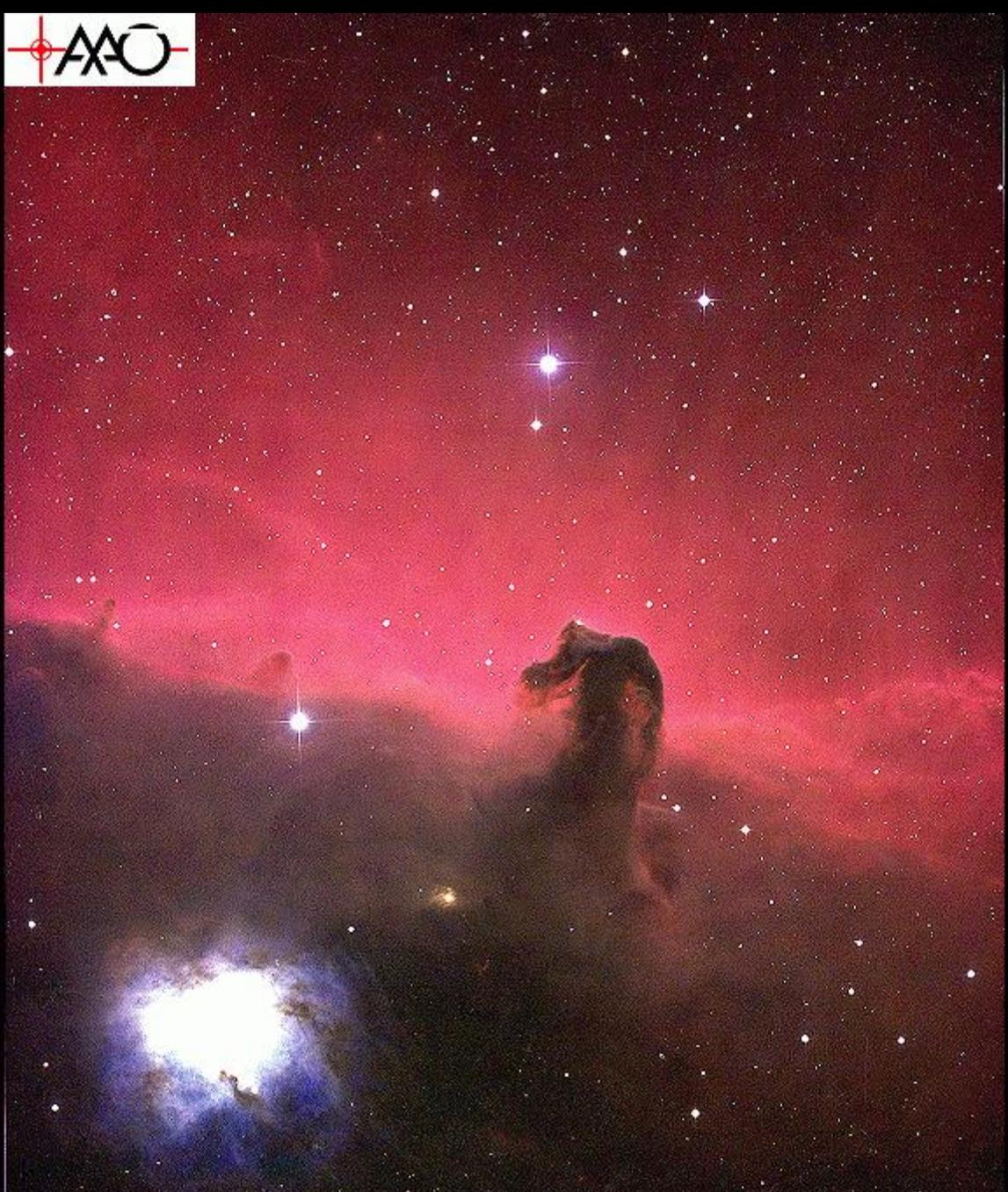
這些「星際暗雲」密度高(每cc超過數萬個分子)、溫度低
(攝氏零下260幾度)



Animation

可見光照片 獵戶座 二氧化碳分子分布





馬頭星雲



B33 (NOAO)



Star Shadows Remote Observatory

Horsehead Nebula



Hubble
Heritage

NASA, ESA, and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA) • Hubble Space Telescope WFPC2 • STScI-PRC01-12



球狀雲核

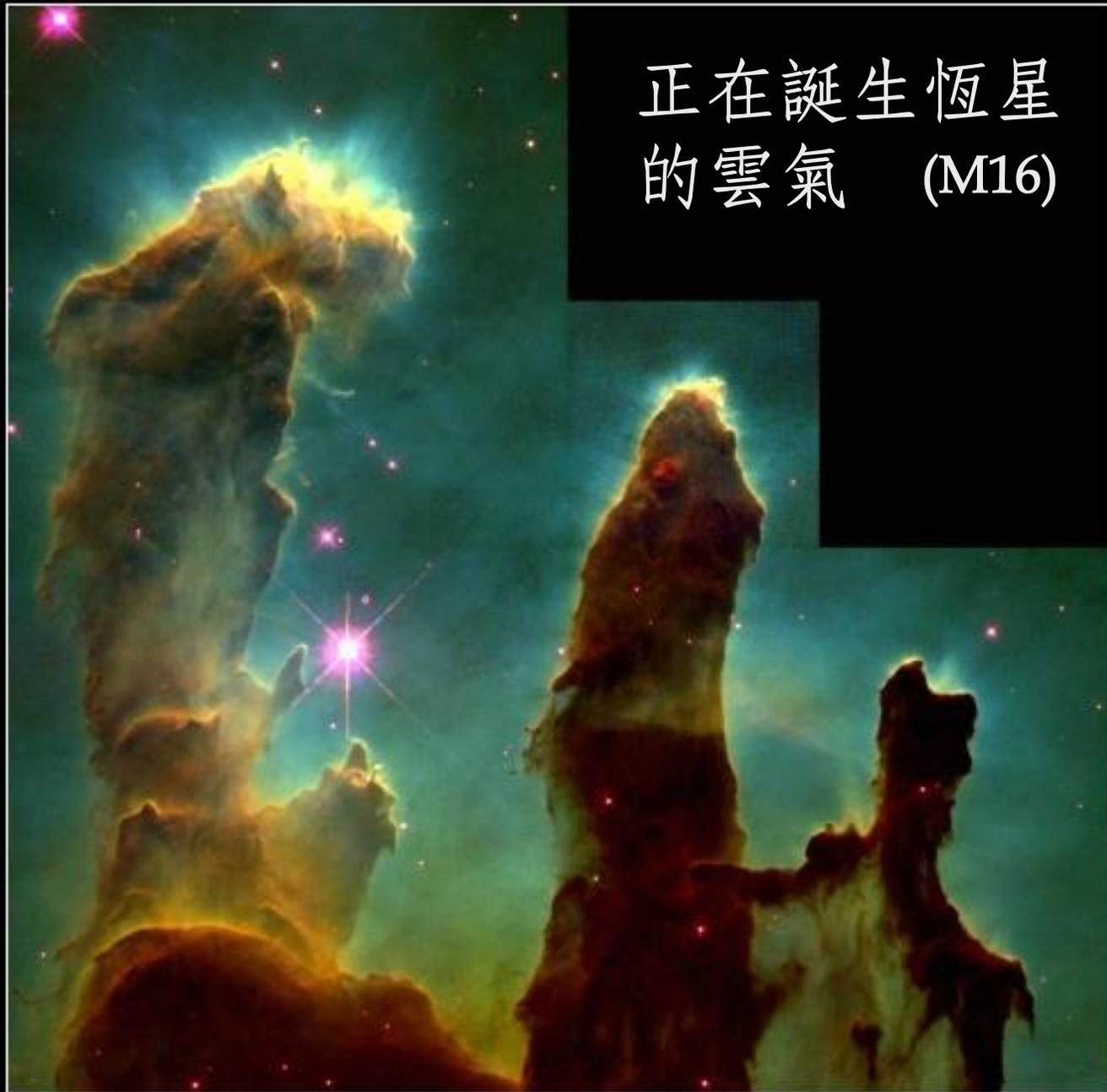


© Anglo-Australian Observatory

Photograph by David Malin

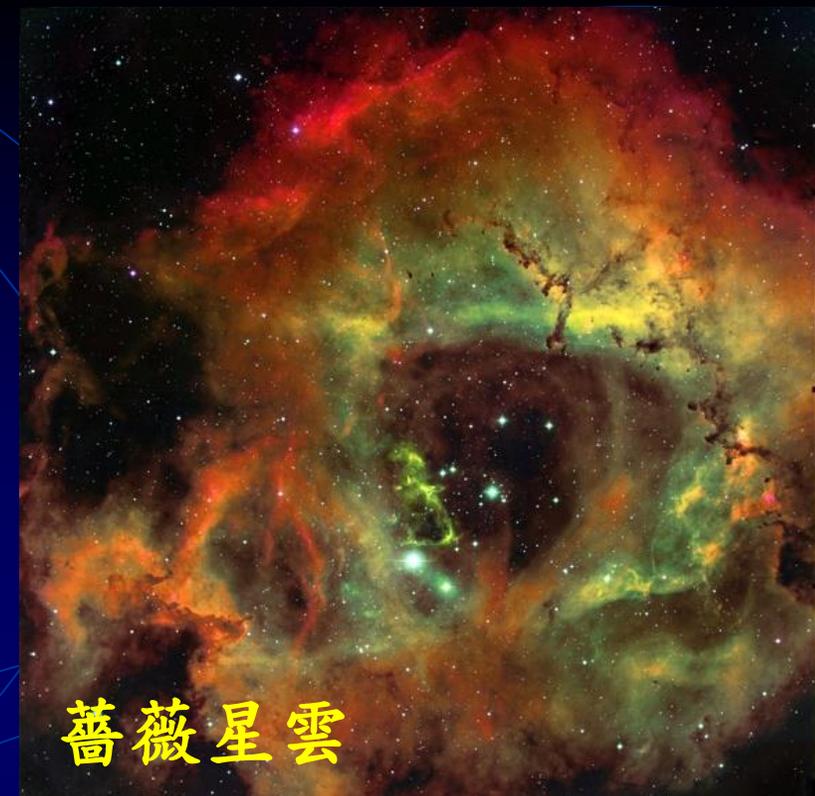
正在誕生恆星
的雲氣 (M16)

老鷹星雲





暗雲與初生星團



薔薇星雲



天鵝座

© 1998 Jerry Lodriguss



雙星團

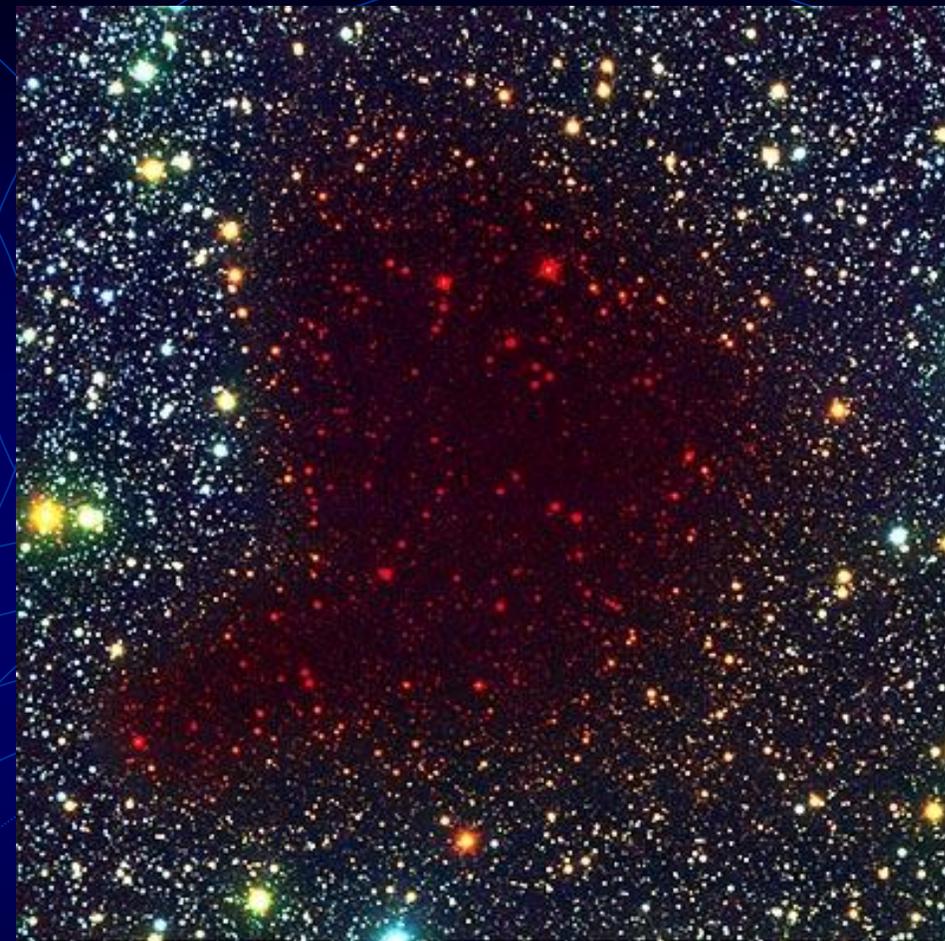
© 1998 Jerry Lodriguss



Pre-Collapse Black Cloud B68 (visual view)
(VLT ANTU + FORS 1)

ESO PR Photo 02a/01 (10 January 2001)

© European Southern Observatory



Seeing Through the Pre-Collapse Black Cloud B68
(VLT ANTU + FORS 1 - NTT + SOFI)

ESO PR Photo 02b/01 (10 January 2001)

© European Southern Observatory



恆星與行星皆源於星際雲氣



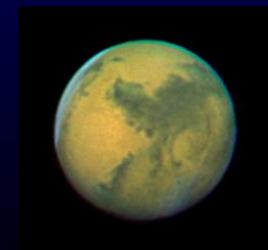
星際暗雲 $\xrightarrow[\text{旋轉}]{\text{收縮}}$ 初生星球 + 扁盤 + 剩下的環繞塵氣

溫度上升、塵消氣散

年輕的太陽

環星盤

星際塵埃 \rightarrow 塵塊 \rightarrow 小行星 \rightarrow 行星

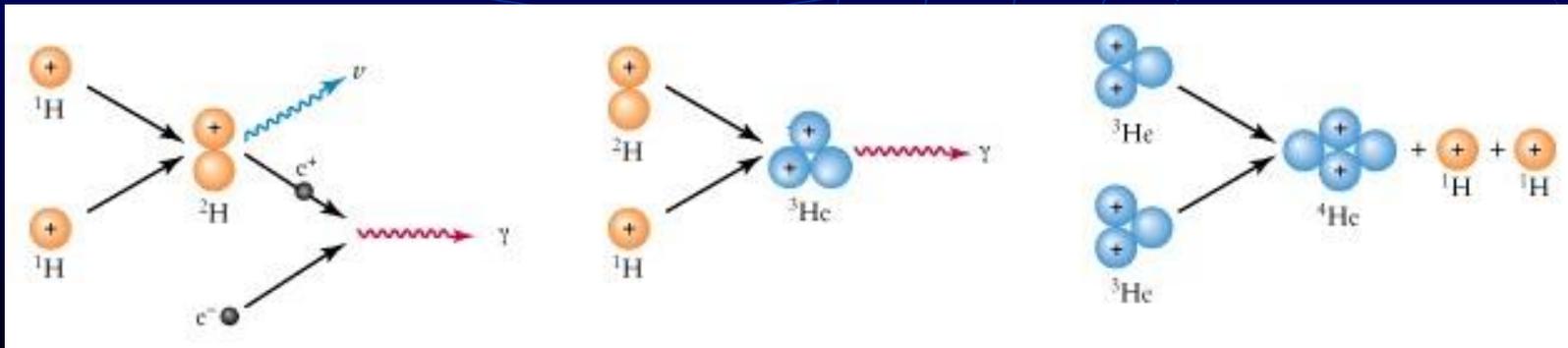


太陽（恆星）內部的核反應

簡單的原子核 結合 → 較複雜的原子核
原子核強作用力把自己「抓得」比較緊

→ 放出能量（ γ 射線、X射線、光）

例如：（4個）氫原子核 → （1個）氦原子核



這些能量讓氣體高速運動，彼此互推，產生（向外）高壓，抵抗（向內）萬有引力

太陽由氣體組成，核心密度為水的150倍！

核心部分（1/4太陽半徑）溫度高（百萬度），進行核子反應，產生能量向外以**輻射**方式傳送

氣體溫度高，分子運動快

→ 互相推擠 → 氣體壓力

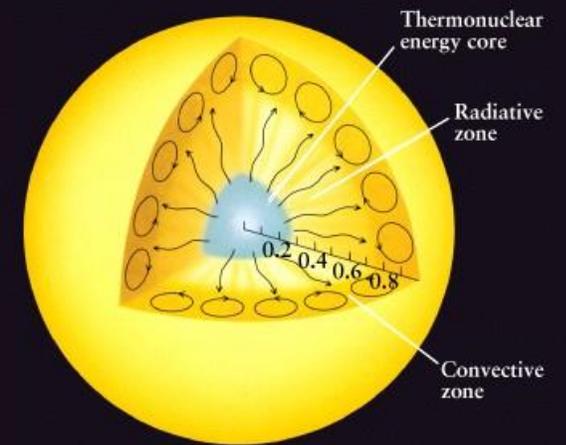
向內萬有引力 = 向外氣體壓力 → **平衡**

越向外溫度越來越低

外層改以**對流**方式傳送能量

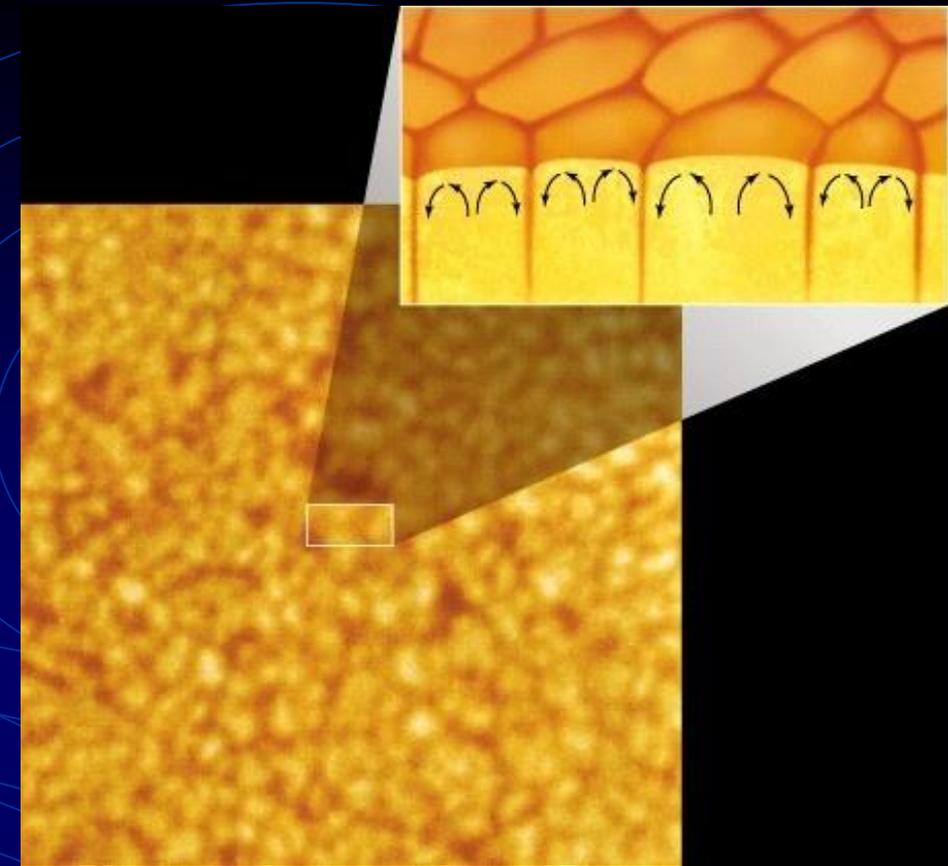
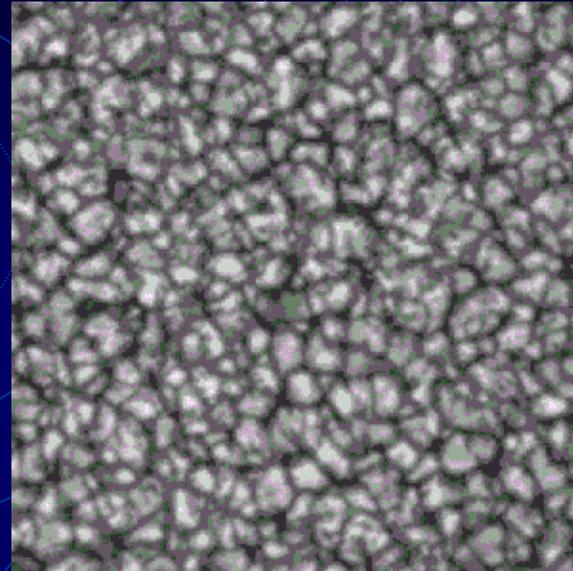
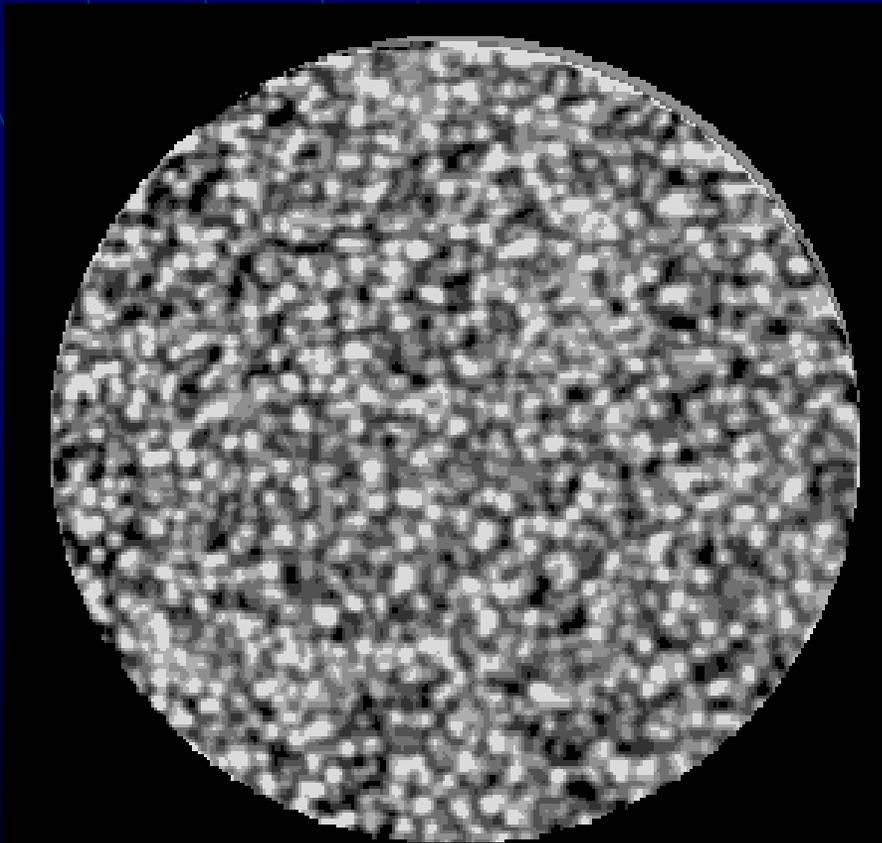
太陽表面為翻騰的氣體

（有如煮沸的水）溫度超過攝氏5000度



米粒組織 (granulation)

太陽氣體從內部到表面
對流翻騰的現象



「米粒」中央的氣體
高溫而上升，外面則
較冷而下沉

「米粒」直徑約
~1500 km，持續
約10分鐘

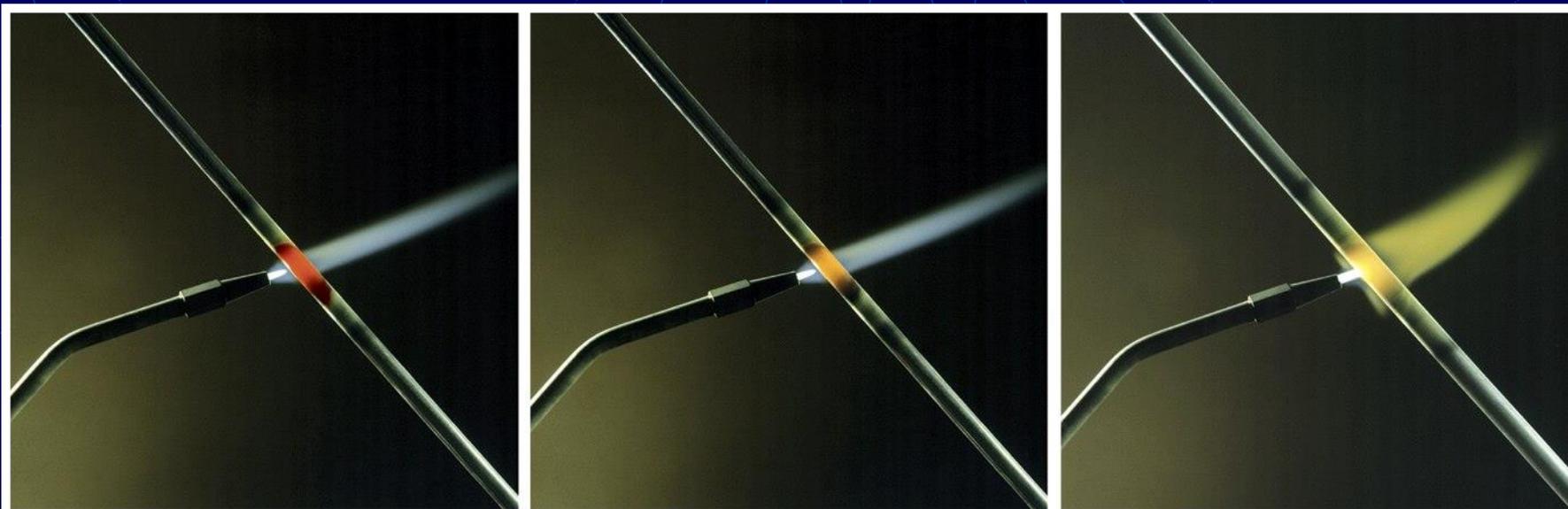
輻射體——靠自己熱度發光

越熱 → 越明亮、顏色越白熾

溫度低



溫度高

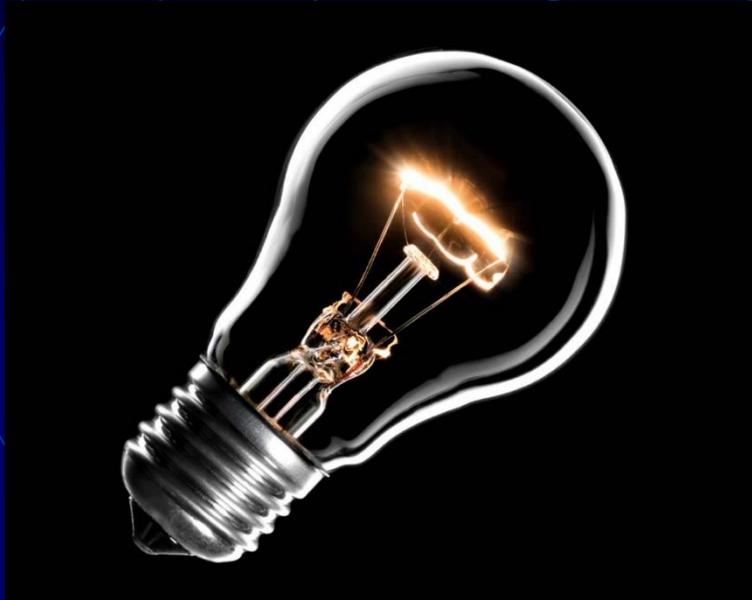


紅橙

黃綠

藍白

高溫的發光體 溫度、顏色與光度



通電流，電阻發熱、
發光，剛開始光度弱、
顏色偏紅

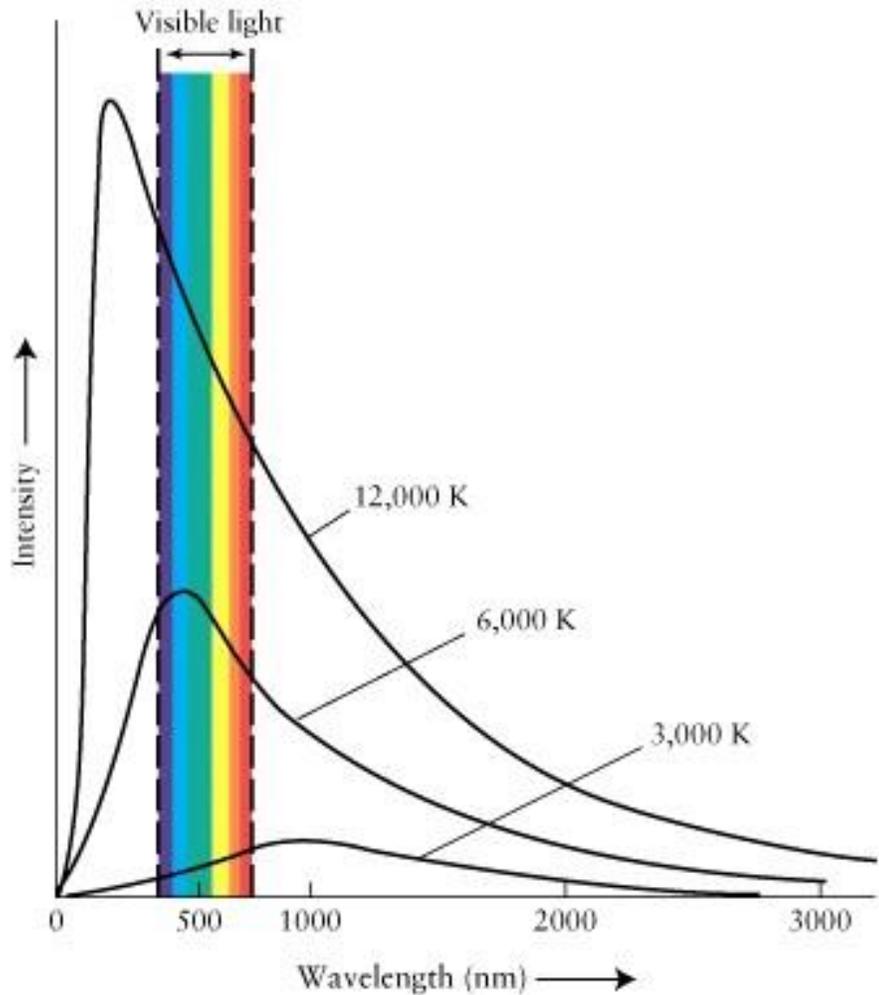
電流逐漸變大，光度
變亮、顏色偏橘黃



電流最大，光度明亮、
顏色偏白



太陽是顆黃綠色的恆星
表面輻射溫度大約為攝氏5500度



輻射溫度越高
輻射最強的波長越短

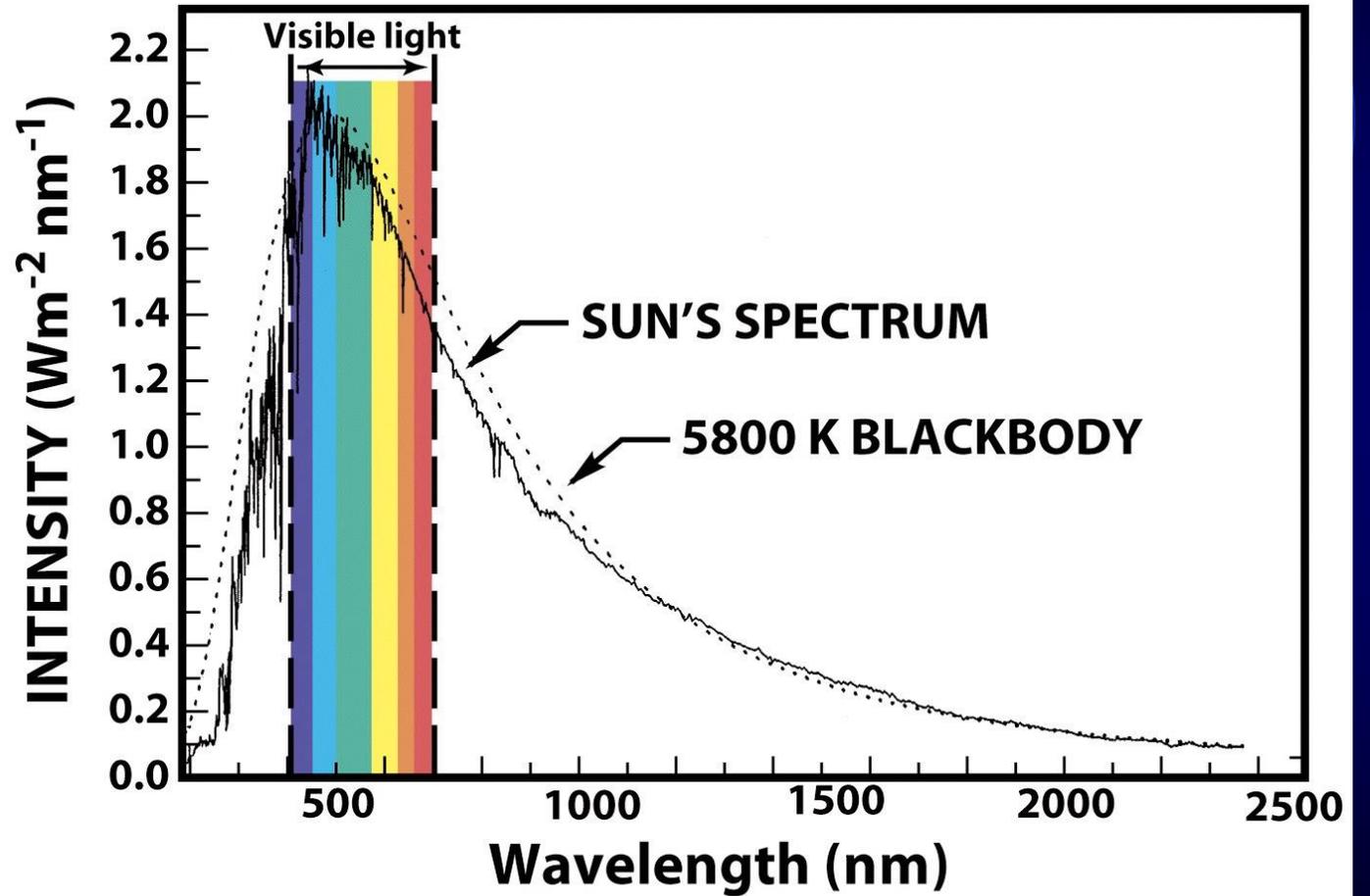


Figure 4-3
Discovering the Universe, Seventh Edition
© 2006 W. H. Freeman and Company

恆星（自行發光）

表面溫度高 → 藍白

表面溫度低 → 紅黃

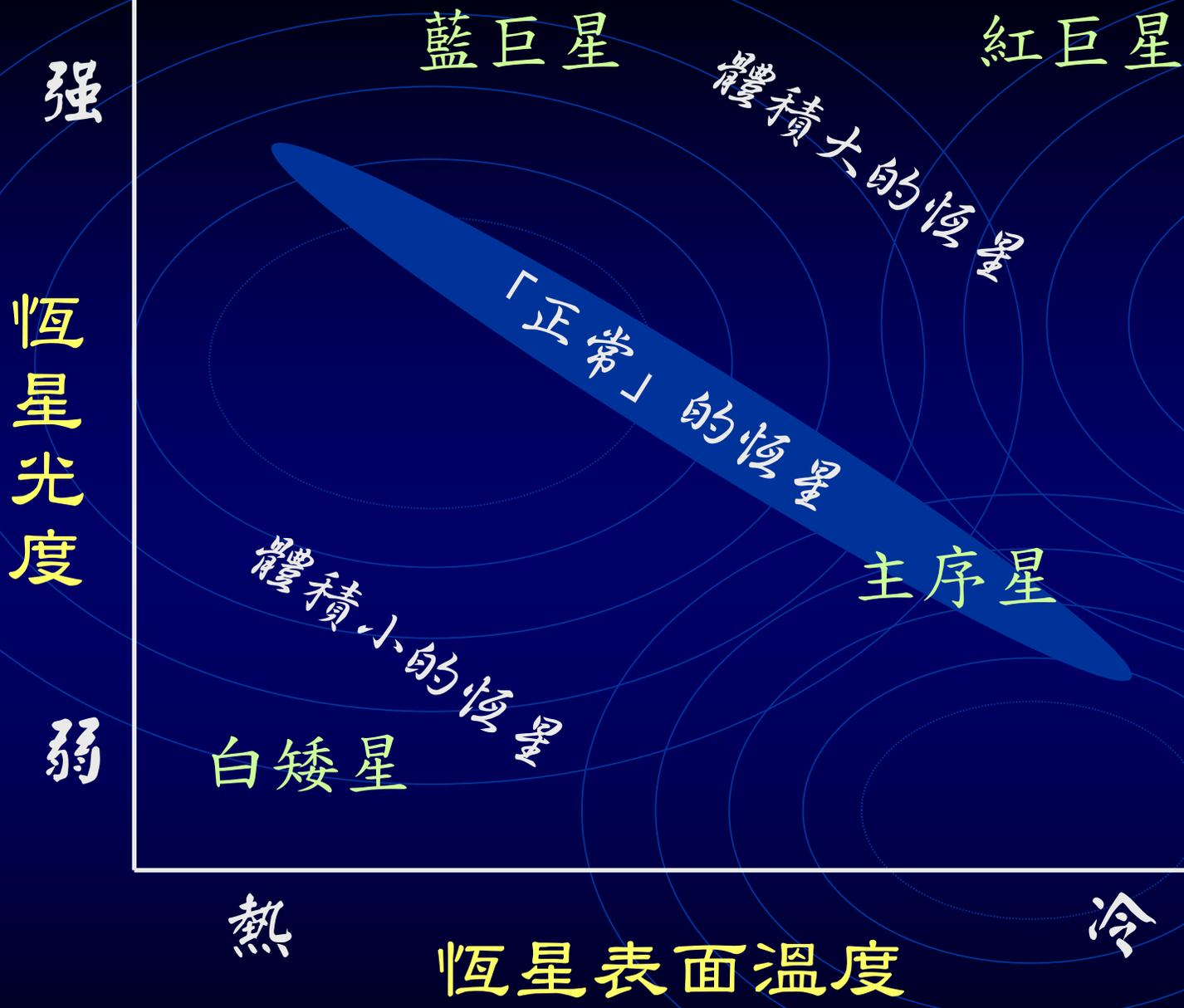
從恆星的顏色可以估計其
（表面）輻射溫度



© 1995 Jerry Lodriguss



© 1995 Jerry Lodriguss



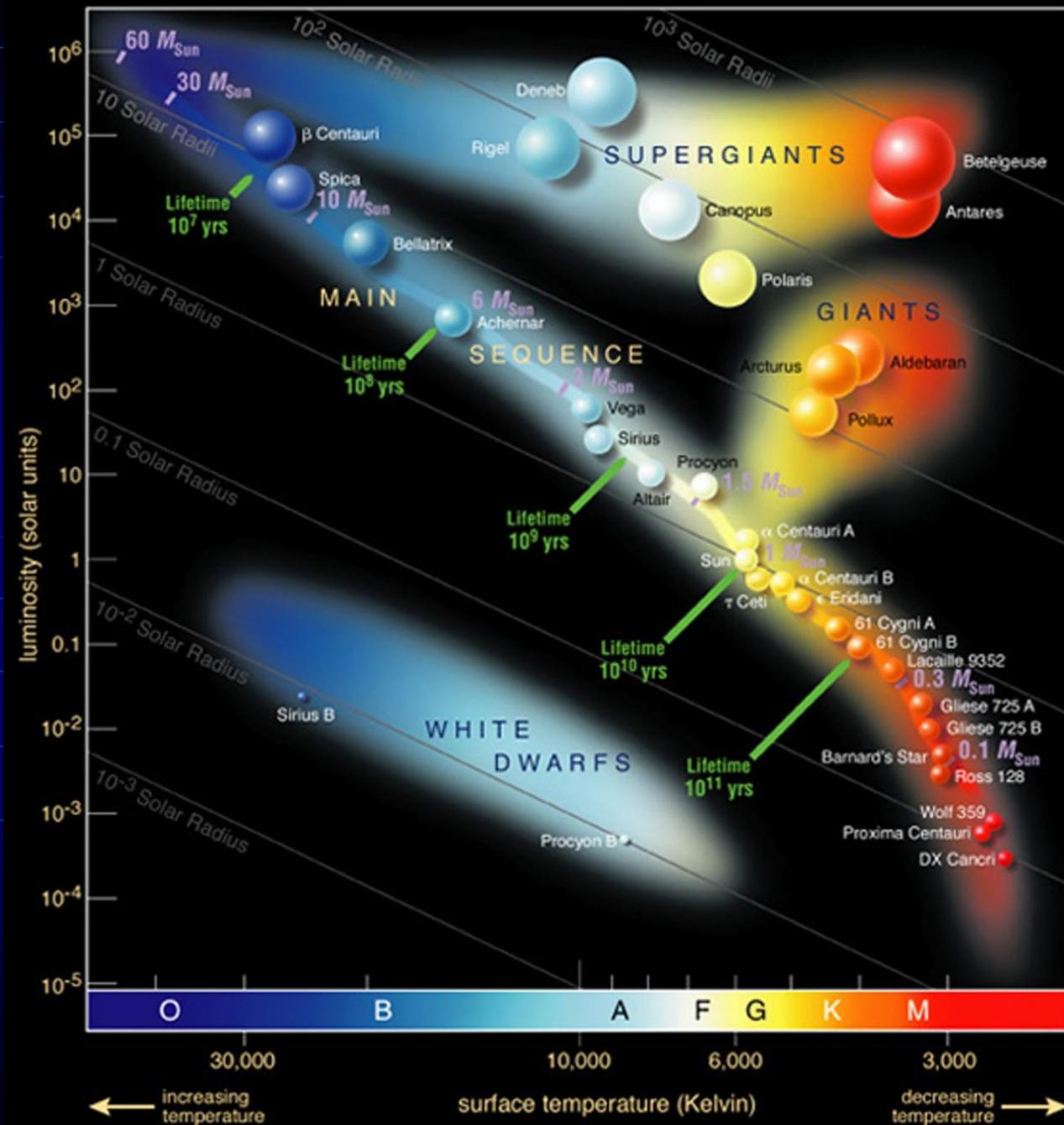
單位面積發光量
 $\propto \text{溫度}^4$

恆星表面積
 $\propto \text{直徑}^2$

恆星整體發光量 (光度)
 $\propto \text{直徑}^2 \times \text{溫度}^4$

赫羅圖

研究恆星的重要工具

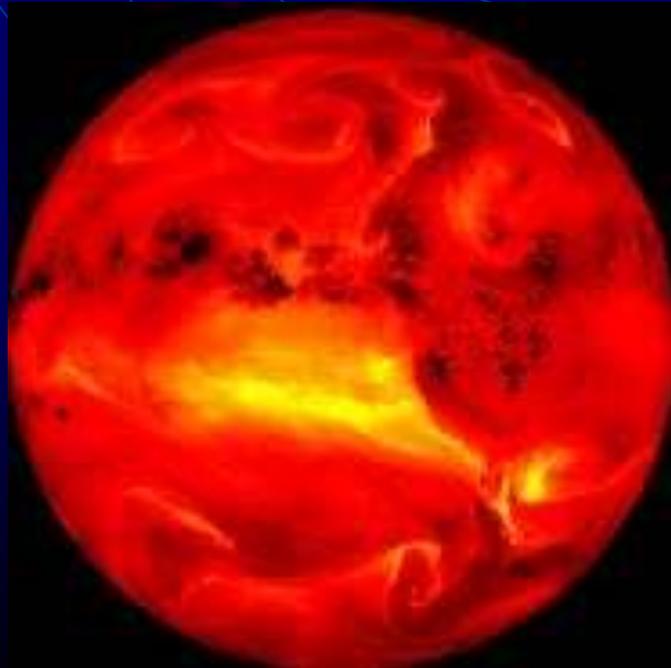




地球反射陽光，主要在
可見光波段

也吸收陽光，平均溫度
大約攝氏20度

主要輻射在中紅外波段

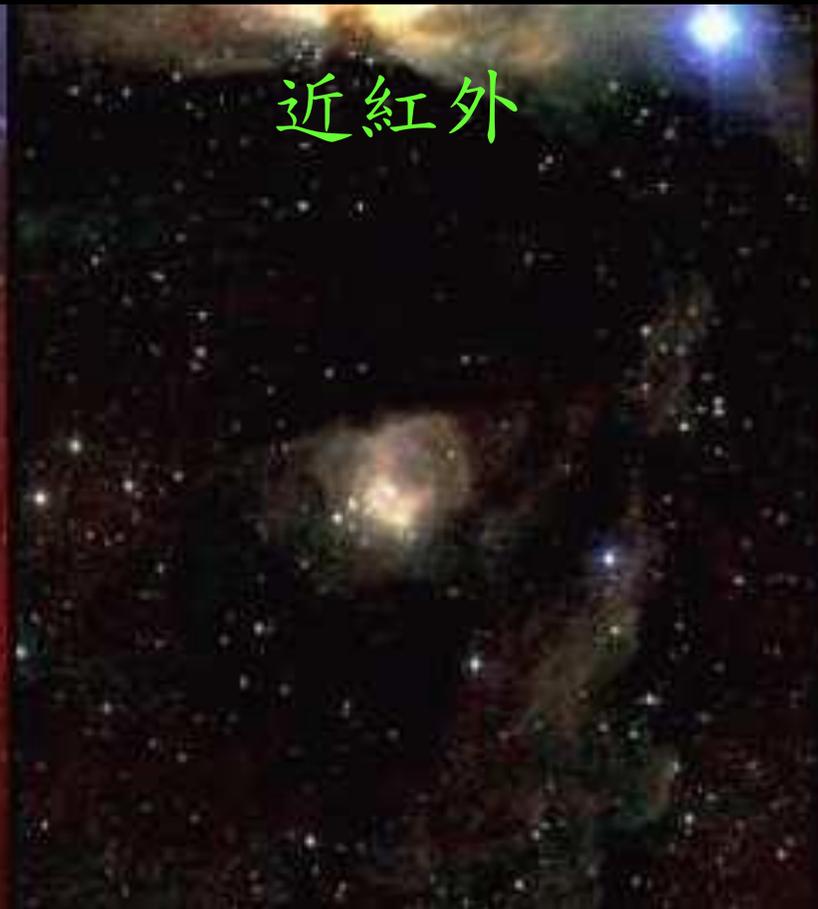


$$T \approx 300\text{K}, \lambda_{\text{max}} \approx 10\mu\text{m}$$



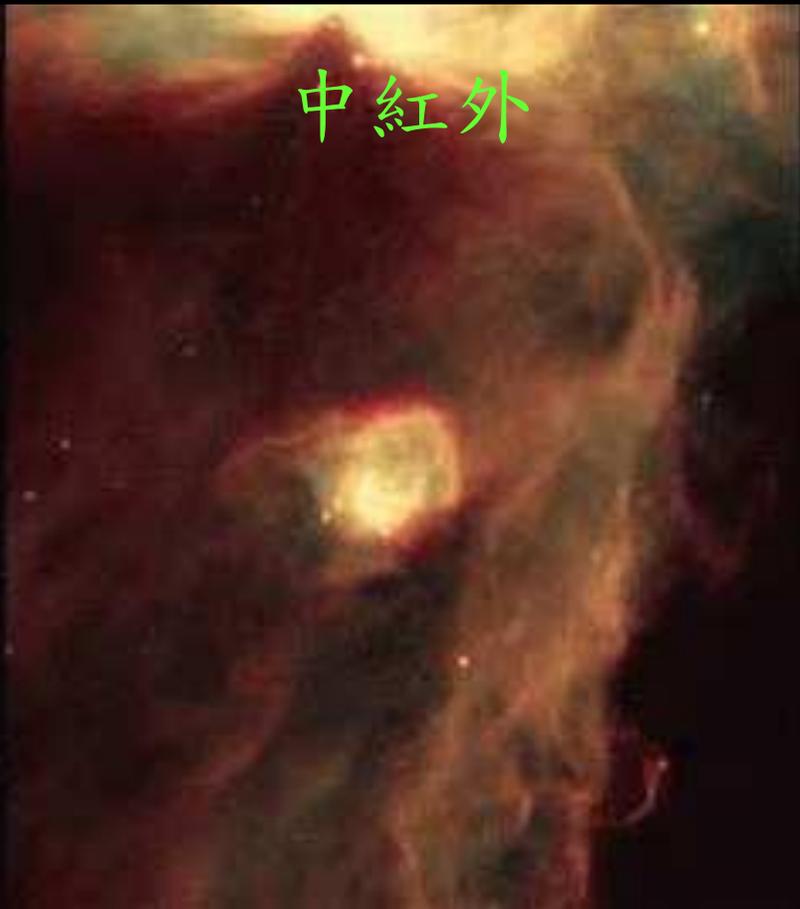
可見光

恆星



近紅外

熱灰塵



中紅外

溫灰塵

獵戶座馬頭星雲（恆星誕生之處）在不同波段呈現的影像

恆星璀璨的一生



星球質量大
→ 明亮、溫度高、藍白色



耀眼
壽命短

只能活
一億年

星球質量小
→ 微暗、溫度低、橙紅色



我們真
該慶幸

平庸
壽命長

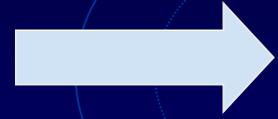
太陽已經活
了50億年，
還可以再活
50~70億年



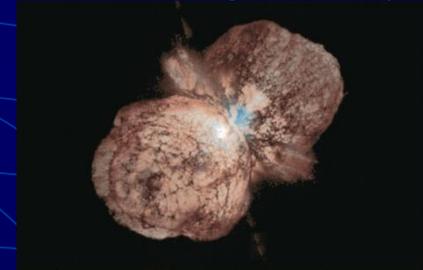
活生生的天體

— 恆星中心進行核反應，
發光發熱，並且製造複雜元素

有的星球在核燃料用罄後，將一
生製造的複雜元素拋回太空



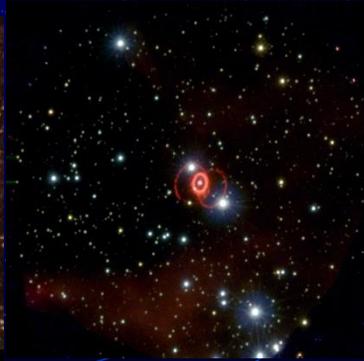
大型星球：臨死前爆發，將元素
回歸星際空間 → 下一代星球



a

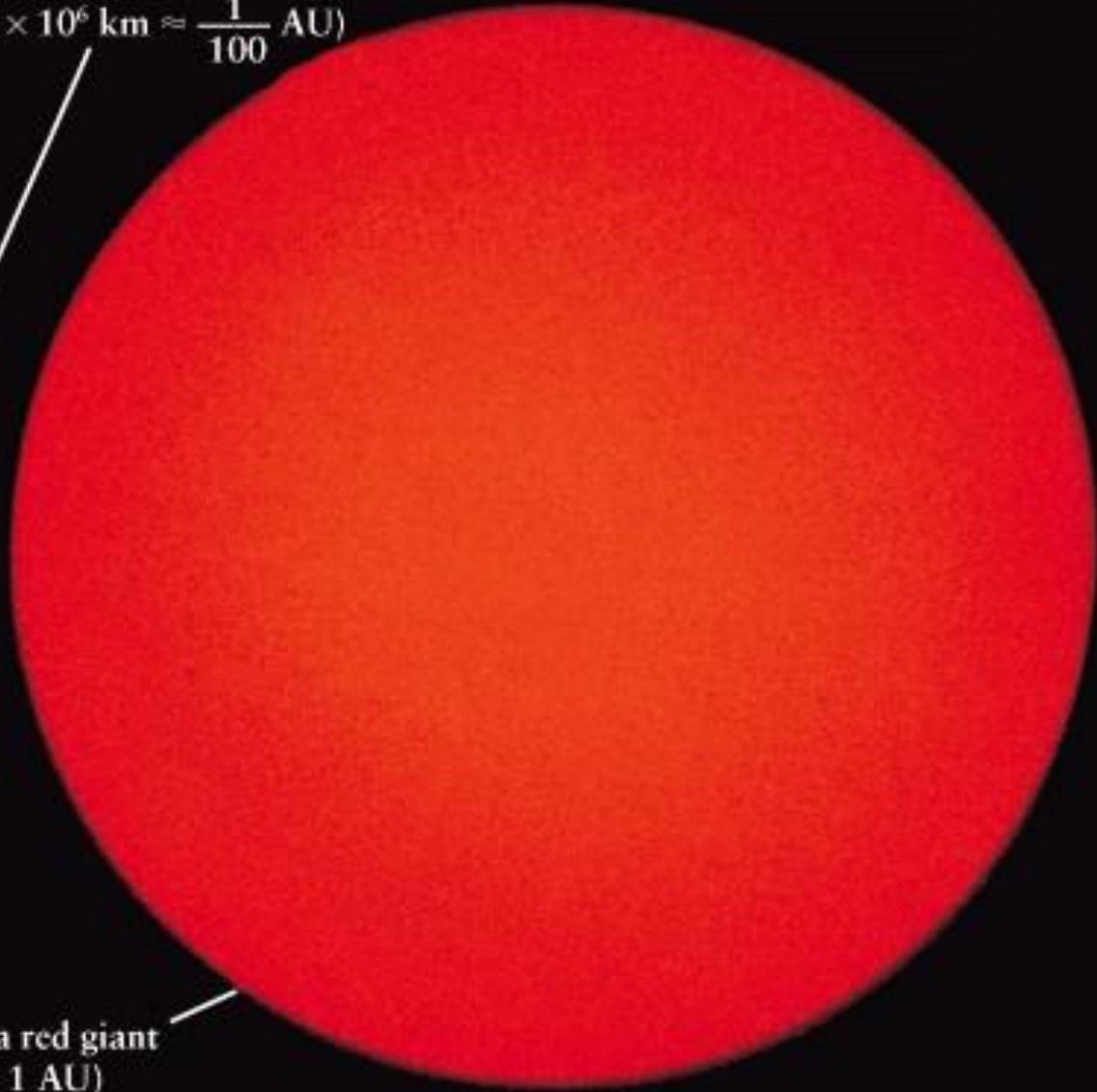


b



你我和星星的關係，比想像來得密切！

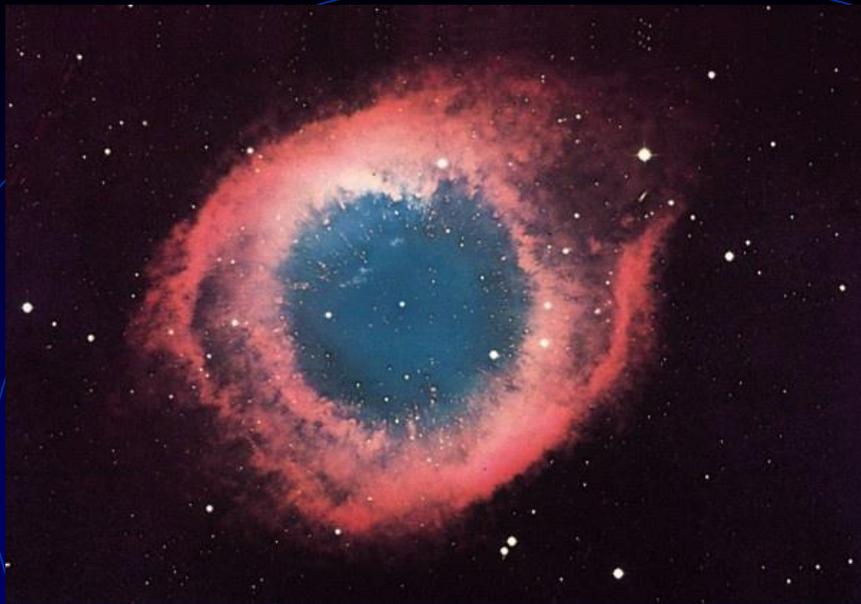
The Sun as a main-sequence star
(diameter = 1.4×10^6 km $\approx \frac{1}{100}$ AU)



The Sun as a red giant
(diameter ≈ 1 AU)

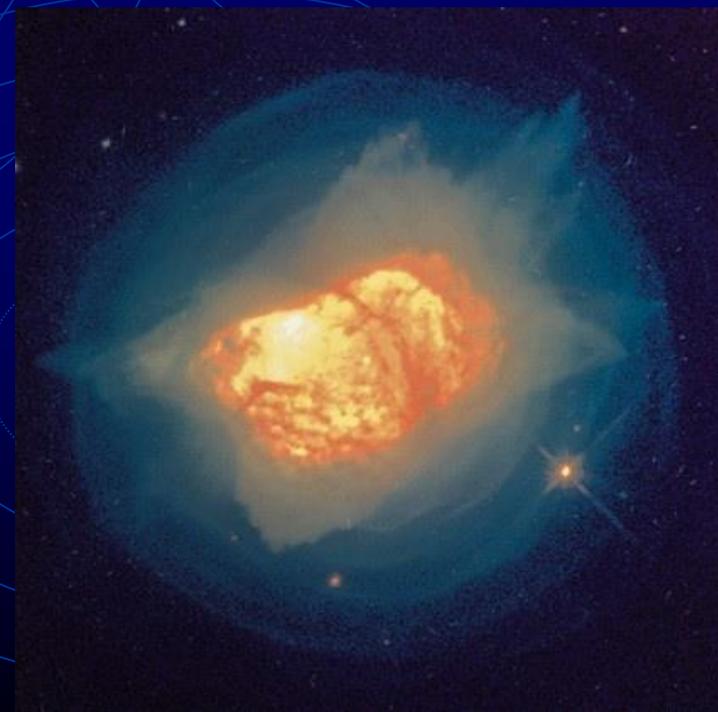
50億年後太陽核心的
氫核子反應停止，核
心收縮，外層則膨脹
成為「紅巨星」，直
徑增大100倍，光度增
強2000倍



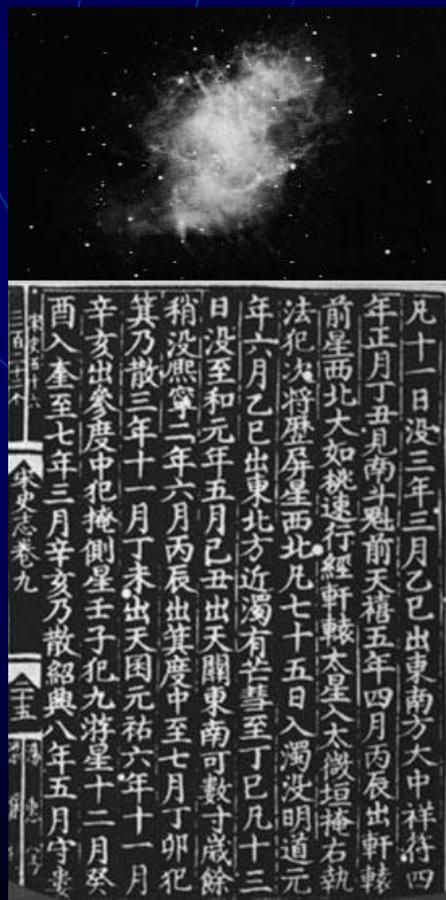


恆星演化晚期噴發出外層大氣，形成各種形狀的「行星狀星雲」

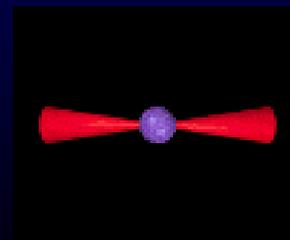
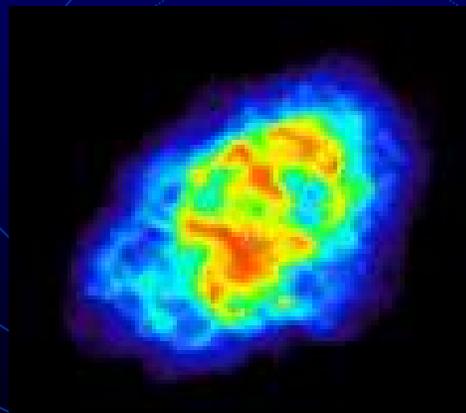
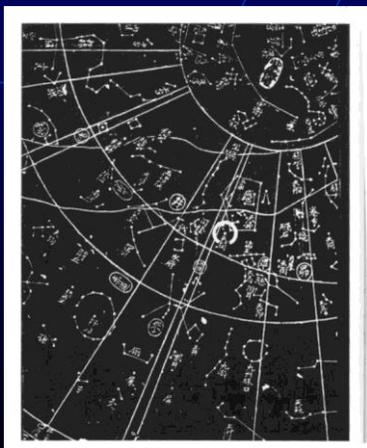
呈雲氣狀而歷史上誤稱，實際上與行星無關



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



中央的中子星
成為快速自轉
的脈衝星

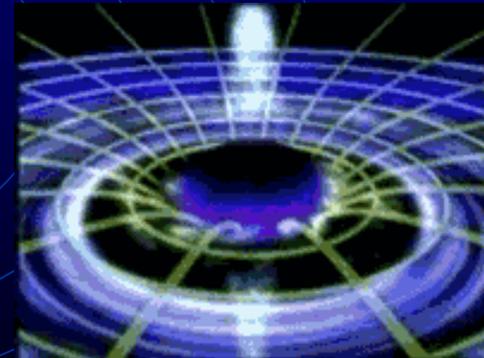


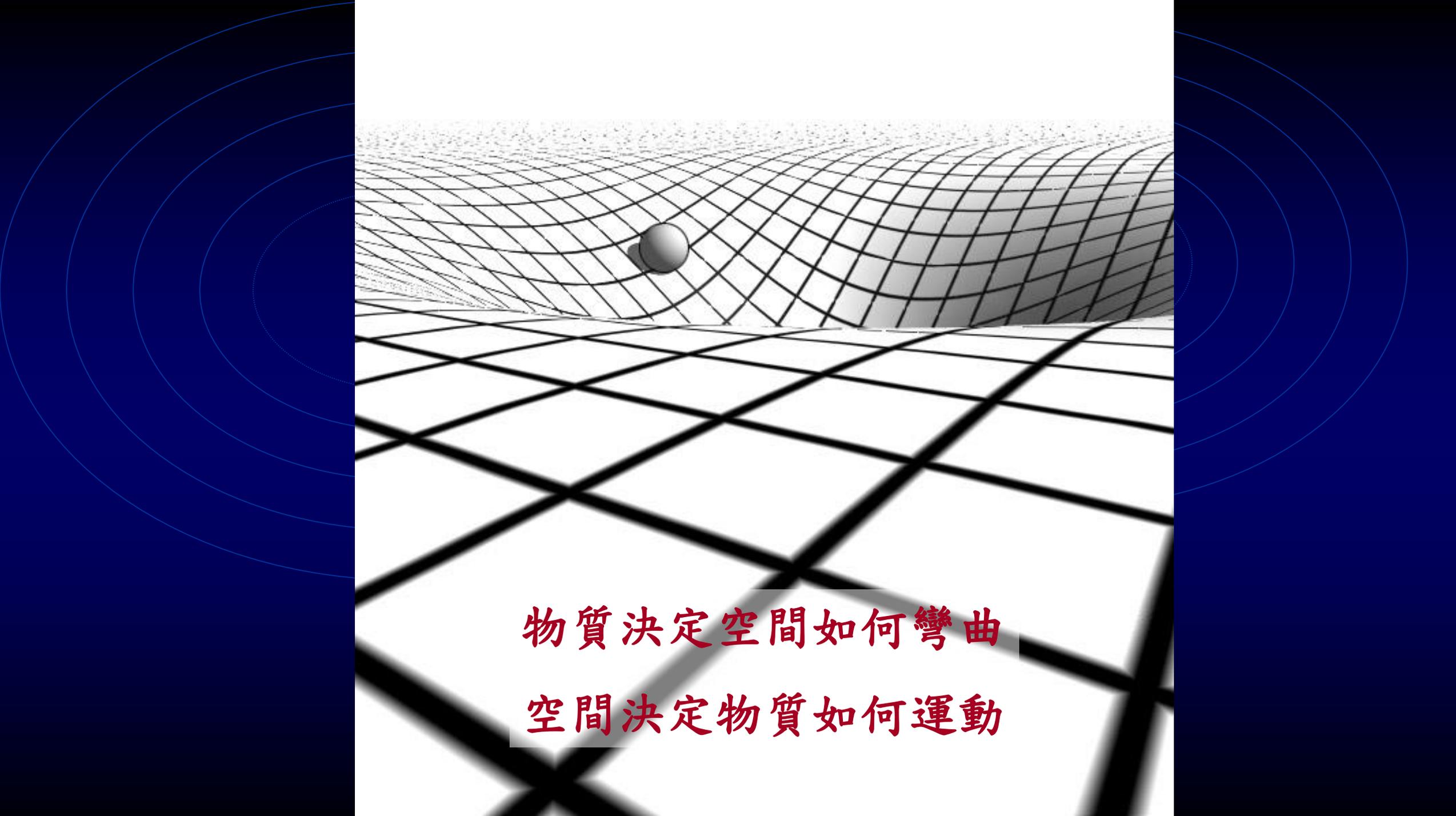


SN 1987A 位於銀河系鄰近的星系 Large Magellanic Cloud
(大麥哲倫星系) 當中，原來是不起眼的星體，於1987年2月
時我們看到它爆發，耀眼異常

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



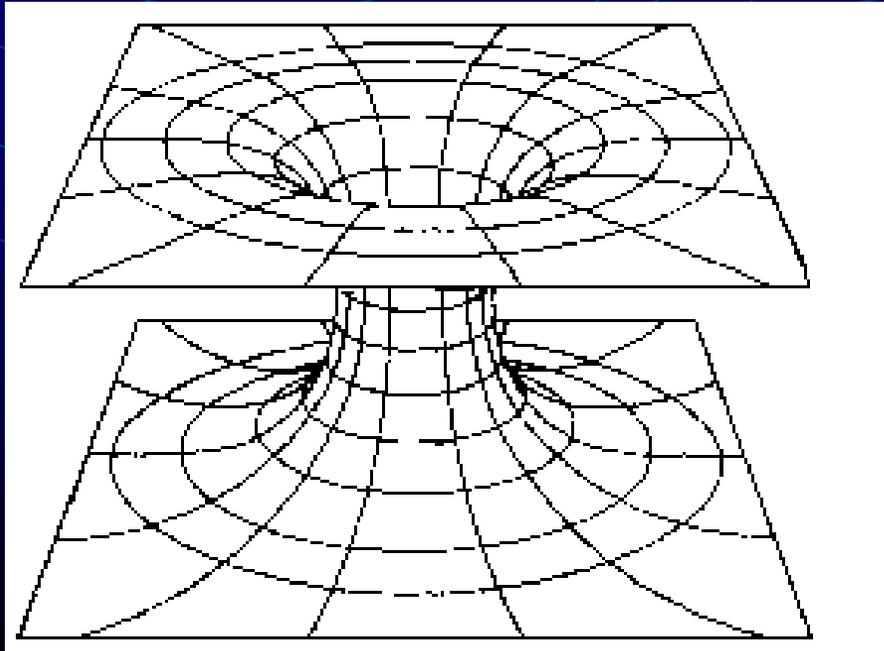


物質決定空間如何彎曲

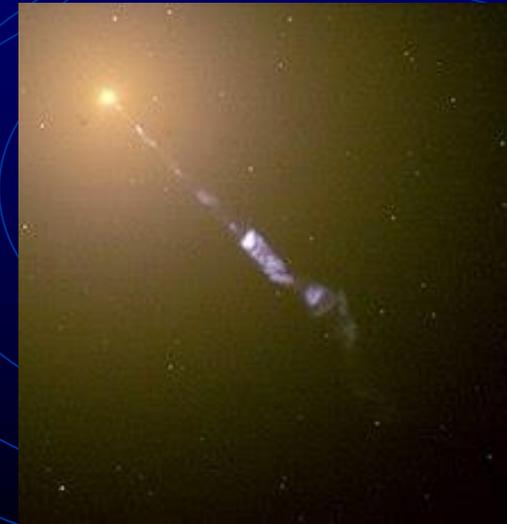
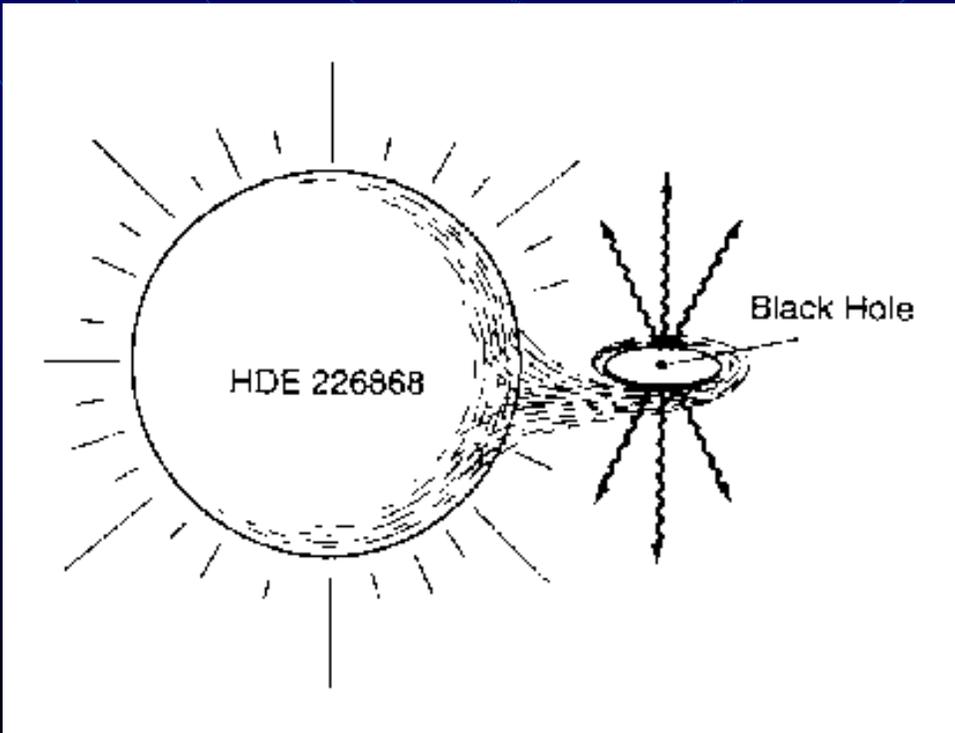
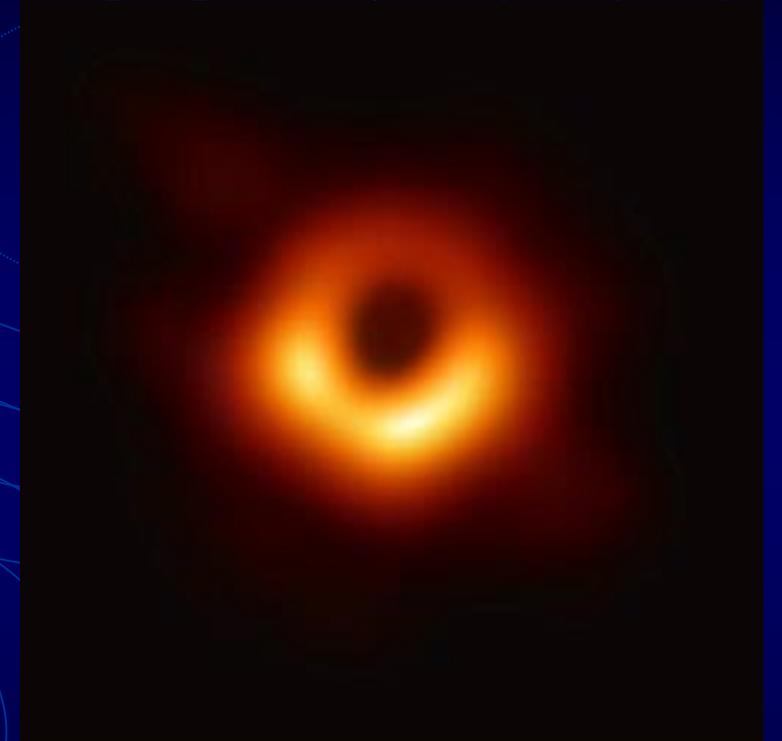
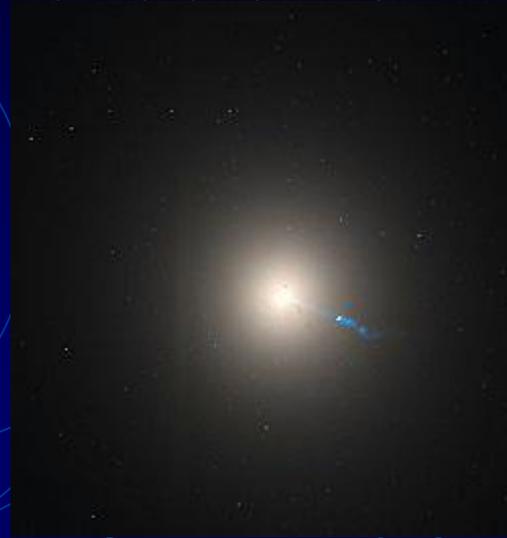
空間決定物質如何運動

時空扭曲，可以成為
「捷徑」，通往宇宙
其他角落？

時空旅行？

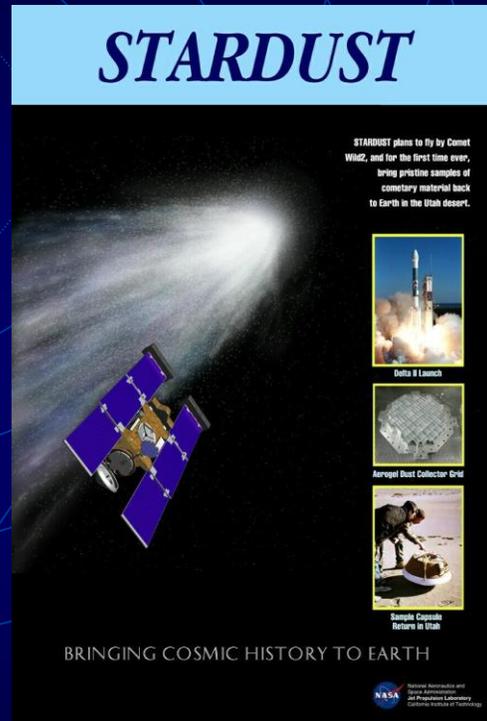
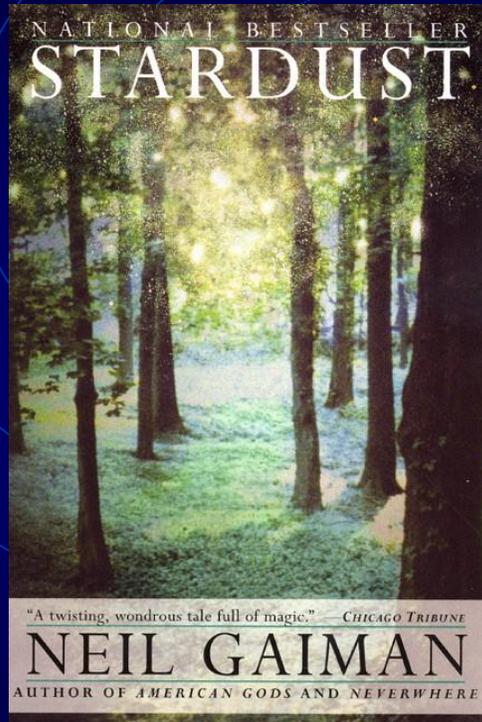


黑洞對鄰近物質（伴星）有萬有引力作用，藉以發現黑洞存在



或是偵測鄰近發光（遮擋）物質

結論：星星也有生、老、病、死 ——源於塵土、歸於塵土



你我身上的元素，大多來自恆星
——我們和星星的關係比想像來得密切！

銀河系



Smithsonian.com / PHOTOCONTEST 2013

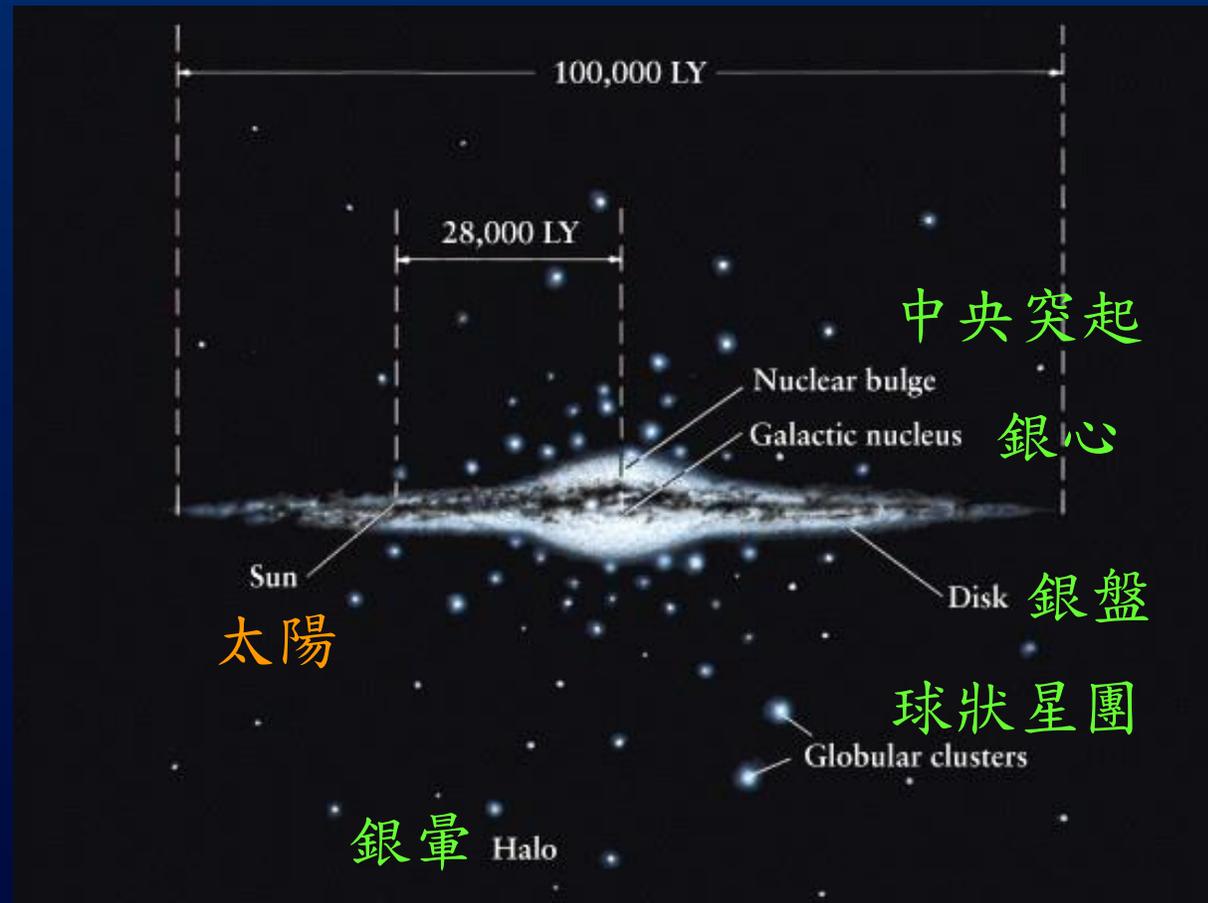
The Milky Way Galaxy Exploding from Mount Rainier, Photograph by David Morrow
© David Morrow. All Rights Reserved.



Copyright © 2002 The National Gallery, London. All rights reserved.

"The Origin of the Milky Way," ~1575 by Jacopo Tintoretto (1518-94)

- ✓ 我們所在的星系 (galaxy) 特稱為「銀河系」由恆星與氣體、塵埃組成，含了約2000億 (200 billions) 顆恆星
- ✓ 形狀有如兩個盤子對扣，中央突起而周邊扁平，上下則分佈了大型星團



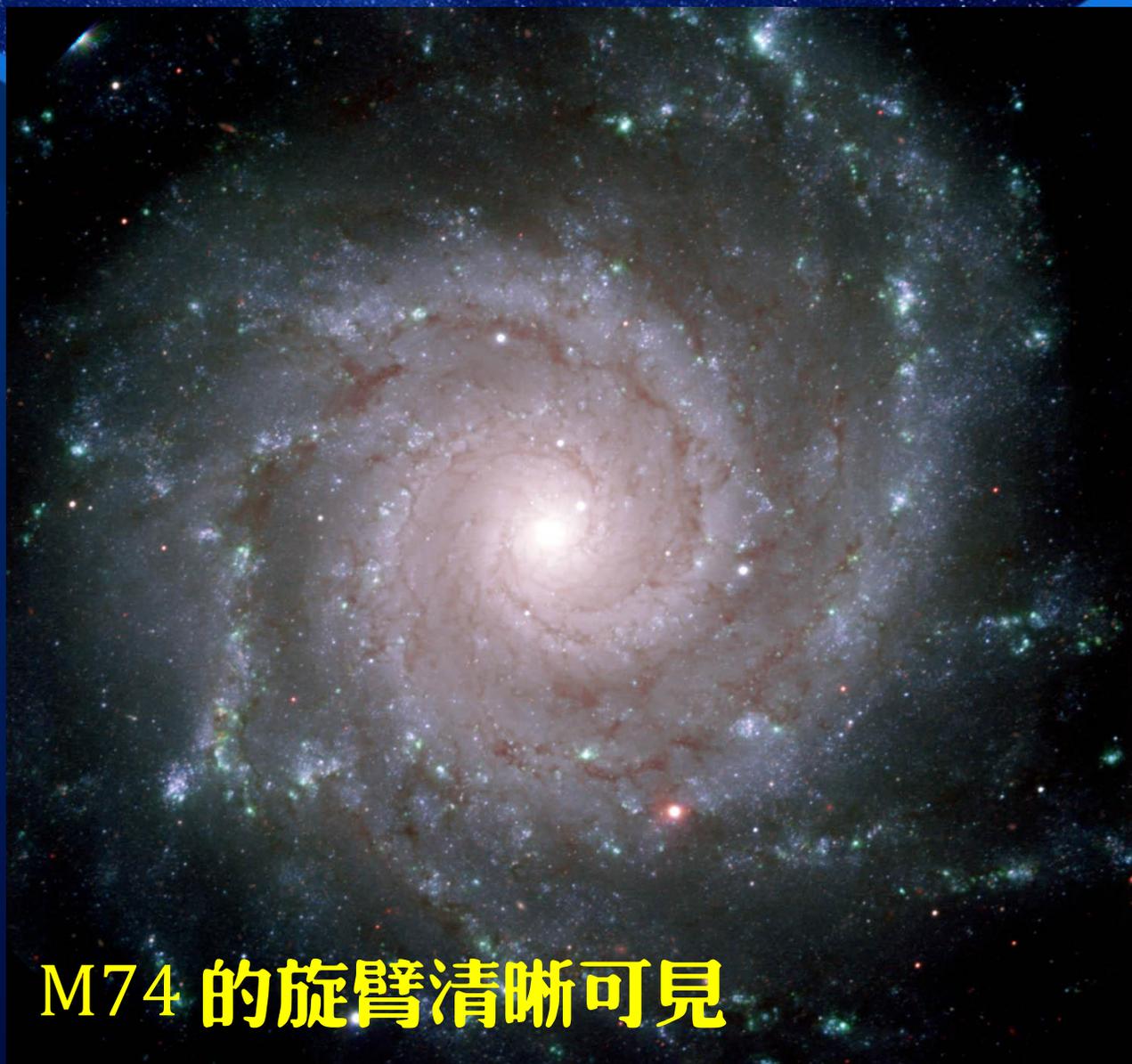
銀河系包含大約2千億顆恆星。所有肉眼看到的星星都在銀河系內



由於星系塵埃遮蔽，我們看到的都只是鄰近的星星
銀河中心位於人馬座方向，有個超大質量黑洞

銀河系外觀有數條螺旋臂；
中央成棒旋狀

旋臂是恆星與雲氣「塞車」
之處，引發了恆星形成



M74 的旋臂清晰可見



**M33 的旋臂則不
明顯，如絨毛般**

星系外觀



橢圓星系
(elliptical)



螺旋星系
(spirals)

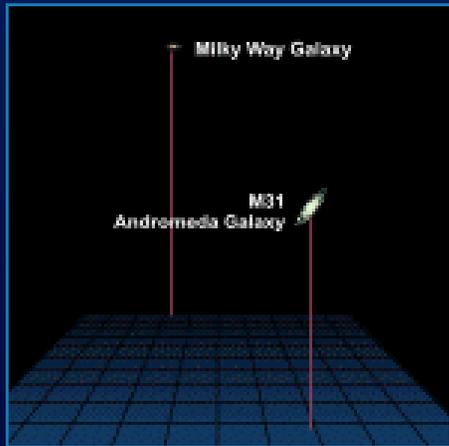


棒旋星系
(barred spirals)



不規則星系
(irregulars)

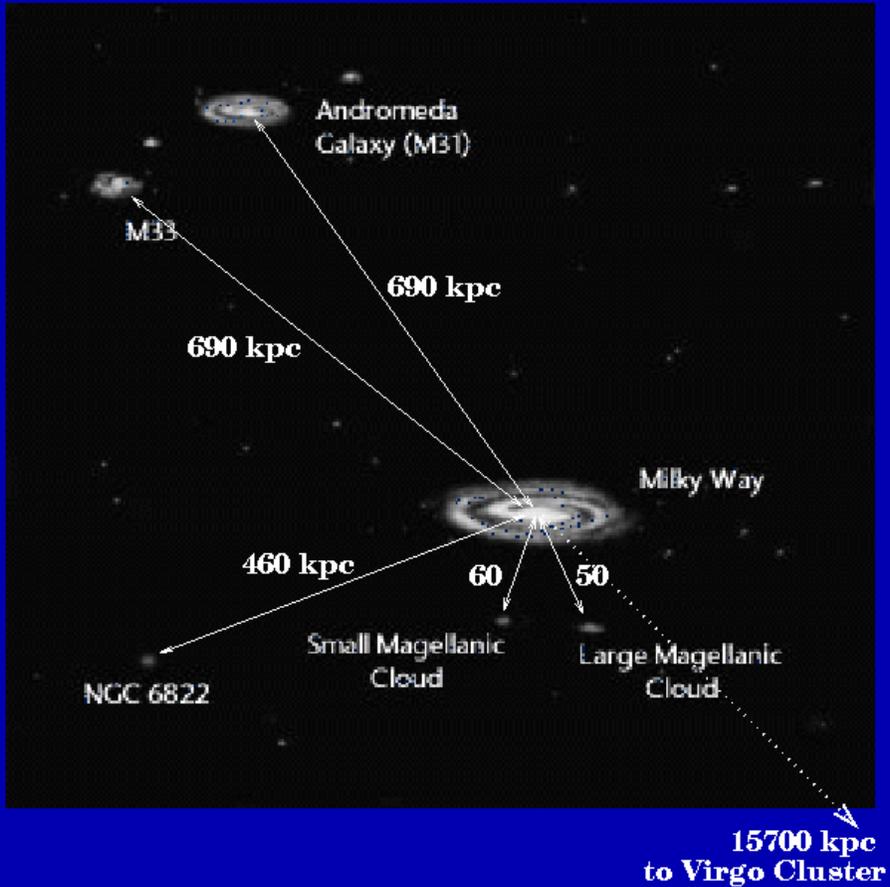
北半球天空唯一裸眼可見非銀河系內的天體



仙女座星系

© Gáltech/David Malin

Local Group of Galaxies



1 kpc = 3260 光年

本星系群

Local Group (of Galaxies)

我們本身（銀河系）所在的星系群體，涵蓋了大約方圓 3 Mpc（1千萬光年）之內的體積，目前知道超過54個星系成員

除了銀河系，還包括 M31、M32、M33、LMC、SMC，以及一些矮星系 (dwarf galaxies)



© 1997 Jerry Lodriguss

星系團

(cluster of galaxies)

Virgo cluster 距離我們 5 千萬光年，擁有超過 2000 個成員星系。這張照片只涵蓋了中央部分，包括兩個最大的巨型橢圓星系 M84 與 M86

