

# 恆星的性質

Orion from +7.0 to 2.0 mag sky

# 恆星的亮度 (brightness)

星星看起來的亮度 = 實際光度 + 距離



With greater distance from the star, its light is spread over a larger area and its apparent brightness is less.

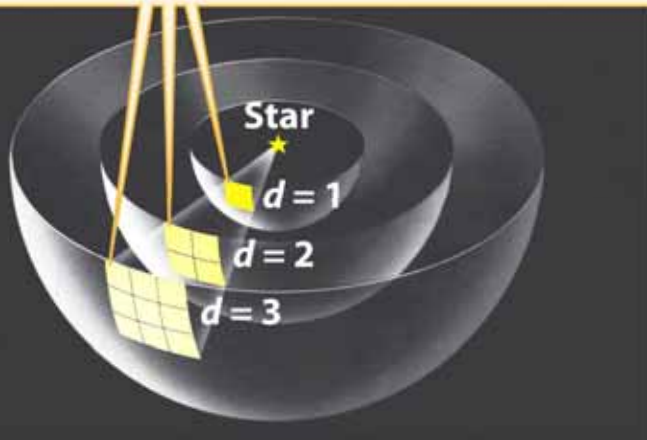
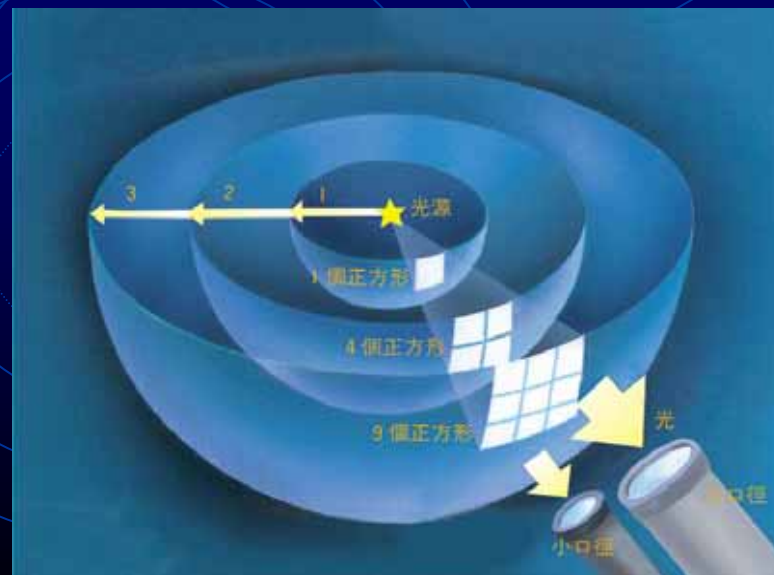


Figure 11-3a  
Discovering the Universe, Seventh Edition  
© 2006 W. H. Freeman and Company



- 天文學家以**視星等 (apparent magnitude)** 表示星星「看起來」的亮度。**越明亮的星，星等數字越小**。例如 1 等星比 2 等星亮；19 等星比 30 等星明亮（很多）

- 1 等星比 6 等星亮 **100 倍整**，也就是差一個星等，亮度差約 2.51 倍。

$$\sqrt[5]{100} \approx 2.512$$

- 肉眼能見最暗者大約為 6 等星，全天空大約 5000 ~ 6000 顆，任一時刻天空出現約 2000 ~ 3000 顆。
- 使用雙筒望遠鏡，集光面積比瞳孔大，可以看到 10 等星（集光能力  $\propto$  面積 = 口徑<sup>2</sup>）。

天體	視星等
太陽	-26.8
天狼星	-1.5
織女星	0.0
參宿四	0.4

- 兩顆星亮度**比**與星等**差**的關係

$$m_1 - m_2 = 2.5 \log f_2 / f_1$$

Q1: 三等星的亮度和一等星如何相比？

Q2: 天狼星的視星等為  $-1.5$ ，它有顆伴星稱為 **Sirius B**，其亮度是天狼星的萬分之一（**哪些性質決定恆星的亮度呢？**），試估計天狼**B**星的視星等。

Q3: 假設一般人瞳孔直徑約  $7 \text{ mm}$ ，試估計要用多大的望遠鏡，可以用肉眼觀測  $12$  等星。

Q4: 假設使用大型望遠鏡仔細觀測該  $12$  等星，發現它其實是由兩顆星所組成，亮度比為  $3$  比  $1$ ，試算這兩顆星各自的星等。

Q1: 三等星的亮度和一等星如何相比？

A:  $(2.5)^2 \cong 6.25$  times fainter

Q2: 天狼星的視星等為 -1.5，它有顆伴星稱為 Sirius B，其亮度是天狼星的萬分之一（**哪些性質決定恆星的亮度呢？**），試估計天狼B星的視星等。

A: 100 times of flux  $\rightarrow$  5 mag difference, so 10,000 times fainter  $\rightarrow$  10 mag larger,  $\therefore$  Sirius B has  $m = -1.5 + 10 = 8.5$  mag

Q3: 假設一般人瞳孔直徑約 7 mm，試估計要用多大的望遠鏡，可以用肉眼觀測 12 等星。

A: naked eye limit = 6 mag, so 12 mag is  $(2.5)^6 \cong 250$  times fainter  $\therefore$  telescope aperture should be  $> 16 \times 7$  mm = 110 mm

Q4: 假設使用大型望遠鏡仔細觀測該12等星，發現它其實是由兩顆星所組成，亮度比為3比1，試算這兩顆星各自的星等。

A:  $s_1/s_2 = 3/1$ , so  $(s_1+s_2)/s_2=4/1$ ,  $m_{1+2} - m_2 = 2.5 \log 1/4 \cong -1.5$   
 $\therefore m_2 = 12 + 1.5 = 13.5$  mag; likewise  $m_1 = 12 + 1.2 = 13.2$  mag

- 把星星放在同一距離，比較視星等，得到的便是光度大小。
- 距離 = 10 pc 註：1 pc = 3.26 ly (光年)
- 假想星星位於  $d = 10$  pc 處，其視星等 ( $m$ ) 稱為絕對星等 ( $M$ , absolute magnitude)

$$m - M = 5 \log d - 5$$

derivation

Note:  $m = M$  when  $d = 10$  pc

Q: 太陽的視星等約為  $m = -27$ ，試估計太陽的絕對星等 ( $M$ )。

Q: 太陽的視星等約為  $m = -27$ ，試估計  
太陽的絕對星等 ( $M$ )。

$$m - M = 5 \log d - 5$$

A:  $m = -27$  mag, and  $d = 1 \text{ AU} = (206265)^{-1} \text{ pc}$   
 $\rightarrow 5 \log d - 5 \cong -31.6, \therefore M \cong 4.6 \text{ mag}$

# 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

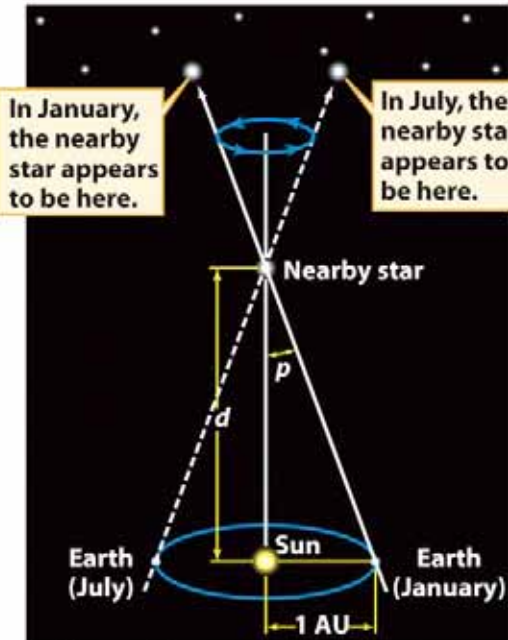
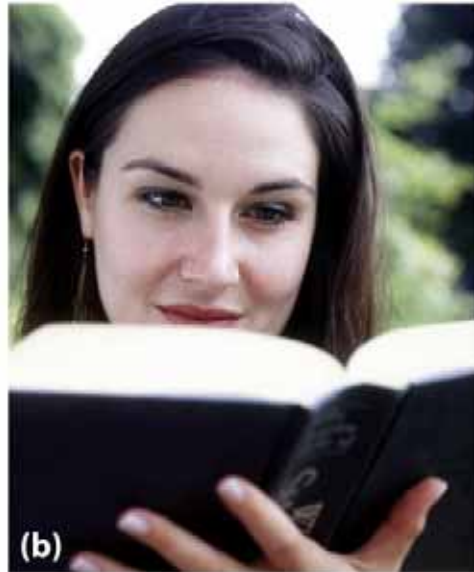
恆星處於（力量）平衡狀態      什麼力與什麼力？

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**

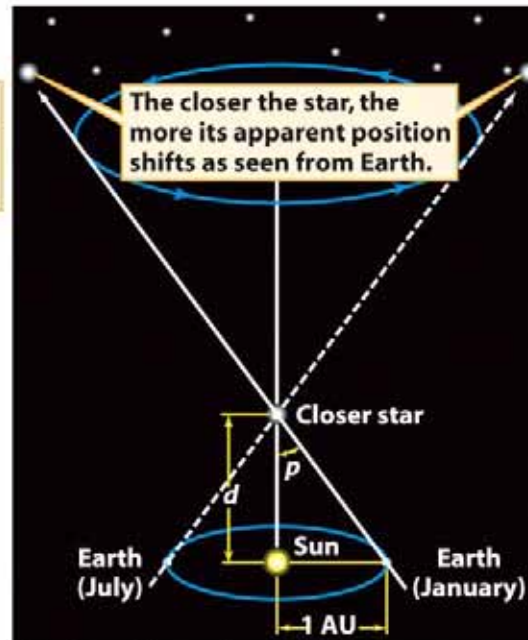
**恆星    表面溫度    →    光度**



# 視差現象



(c) Parallax of a nearby star



(d) Parallax of an even closer star

相對於遙遠的物體，近距離的東西在不同地方觀測，看起來相對位置似乎會改變

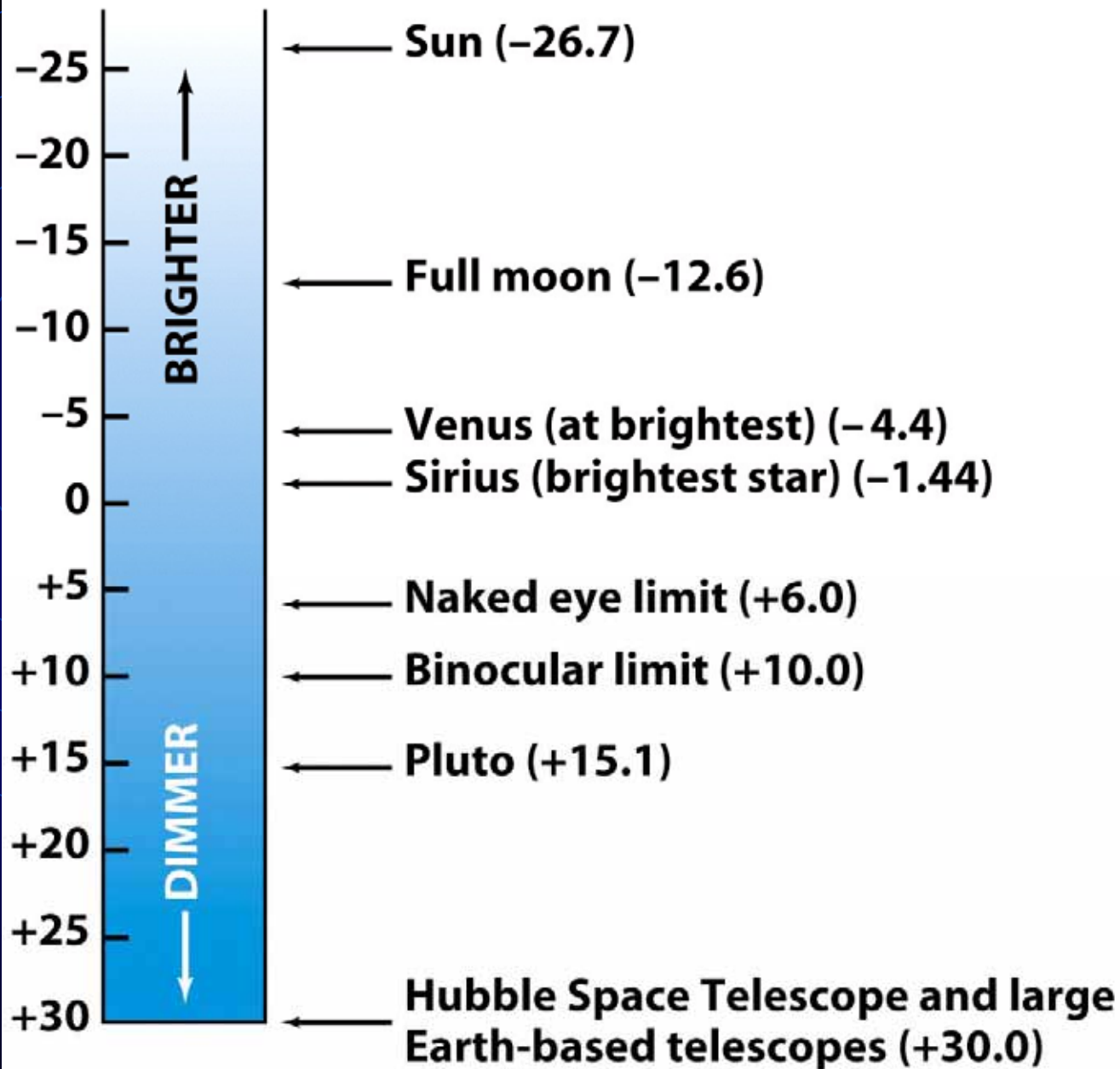
# 星球看起來的亮度



獵戶座 = Orion

獵戶座 (的)  $\alpha$  星  
=  $\alpha$  Orionis  
=  $\alpha$  Ori

# 星球的視星等



# A trip to Mars

- How long will a spaceship flight take?

*How far is Mars from Earth?*

*How fast does a spacecraft travel?*

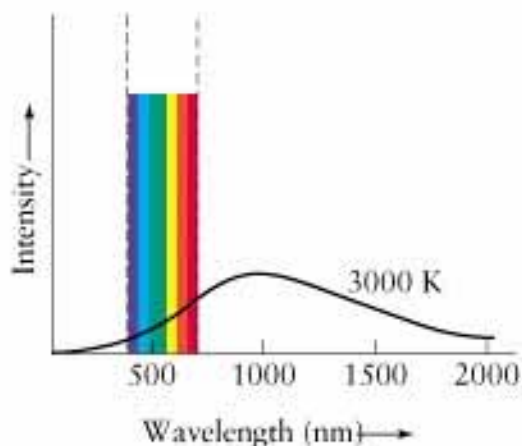
- What answers do you want to get on your landing visit to Mars?

*With a crew of 20 people, what kinds of experts should you want to bring for the mission?*

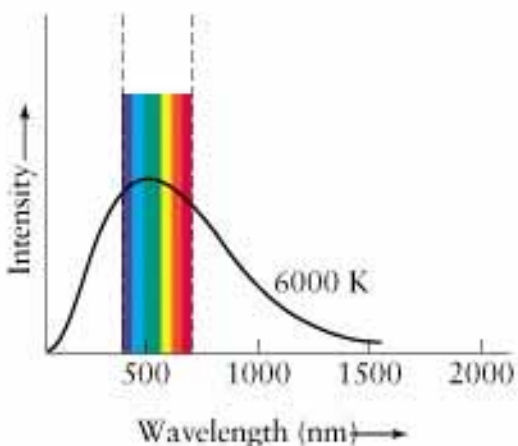
輻射體溫度高 → 放出較多能量高的光  
例如X射線、紫外光、藍光等  
(這些輻射震盪 也就是頻率 比較快)

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

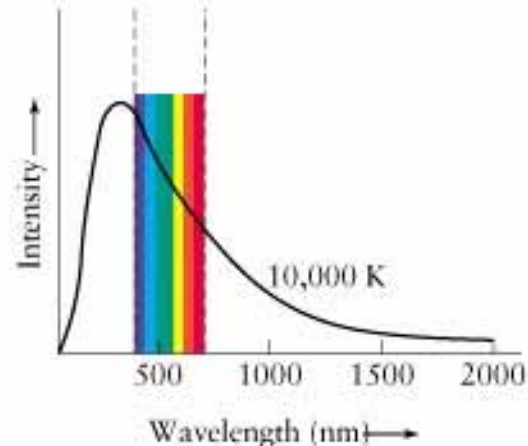
天文學習慣上以紅表示低溫、藍或白表示高溫



a This star looks red



b This star looks yellow-white



c This star looks blue-white

不同溫度、成分 → 不同激發程度 → 不同譜線

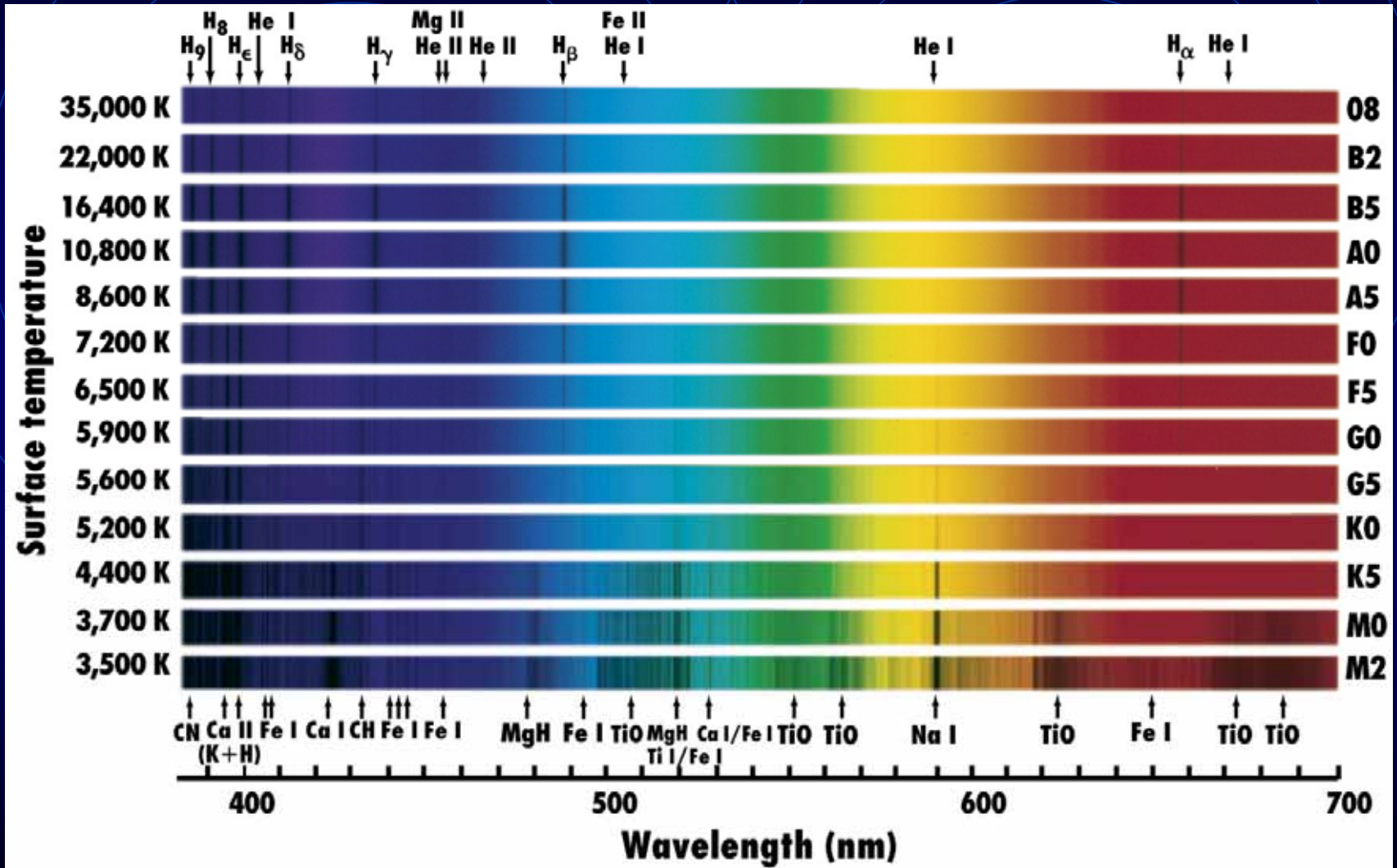


Figure 11-5  
 Discovering the Universe, Seventh Edition  
 © 2006 W. H. Freeman and Company

# 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，屬於中等光度

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

# 19世紀末 Harvard College Observatory 的一批女性天文學家發展出以光譜為恆星分類



Figure 11-6a  
Discovering the Universe, Seventh Edition  
© 2006 W. H. Freeman and Company

Annie Jump Cannon 為  
恆星光譜分類之先驅

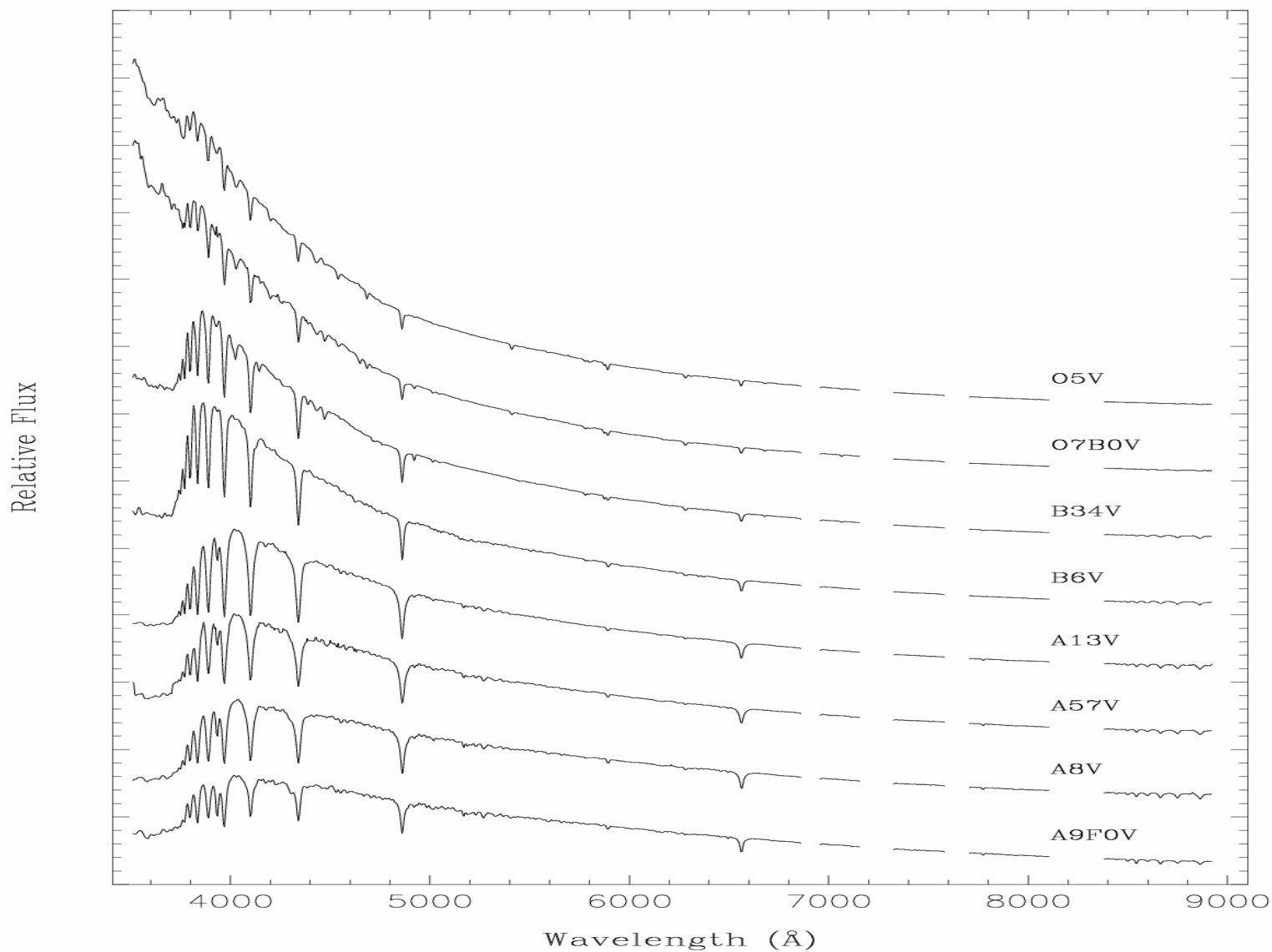


Figure 11-6b  
Discovering the Universe, Seventh Edition  
© 2006 W. H. Freeman and Company



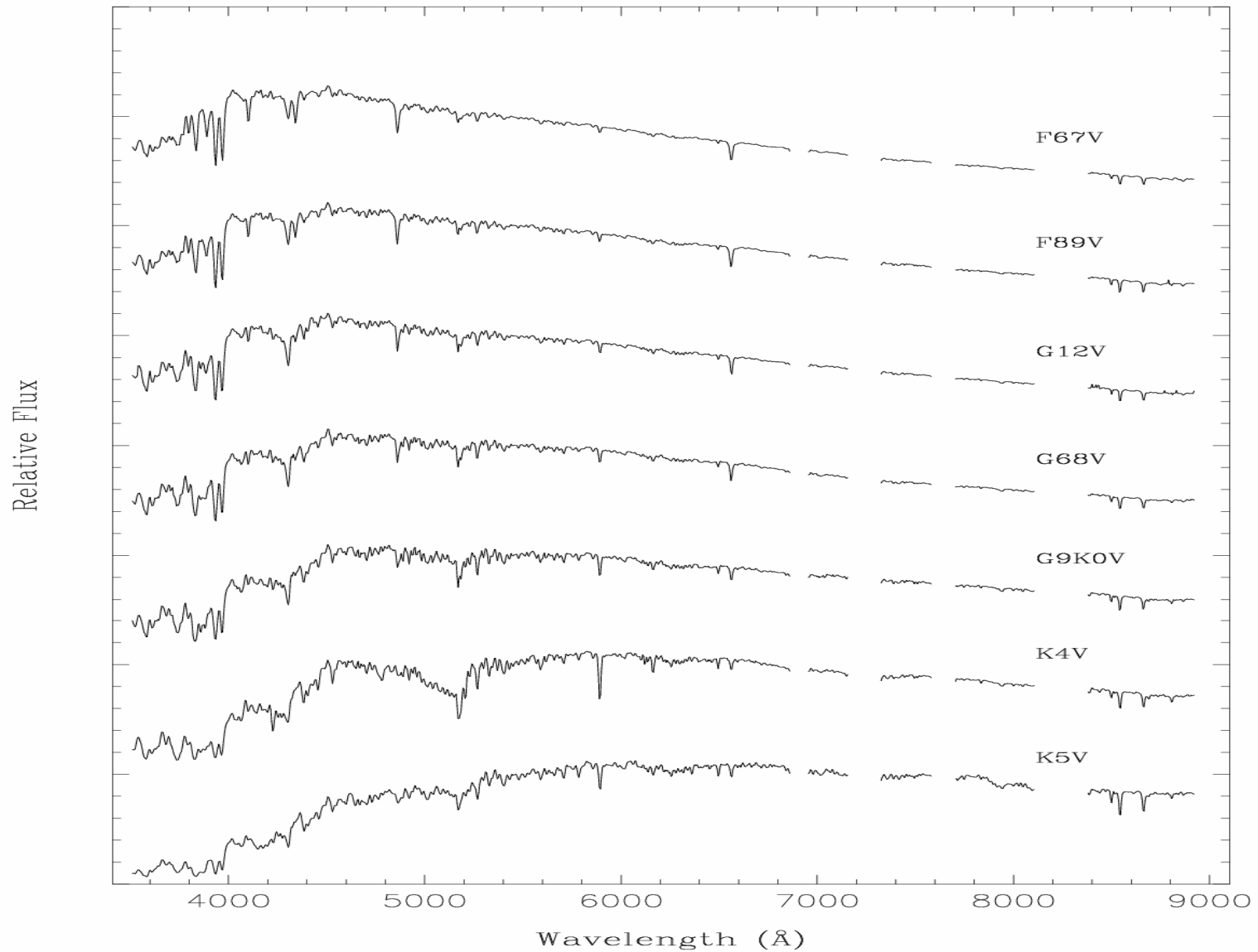
高熱的恆星

短波強、長波弱；氫線、氦線



溫熱的恆星

短波、長波相當；氫線明顯



# 低溫的恆星 短波弱、長波強；分子線明顯

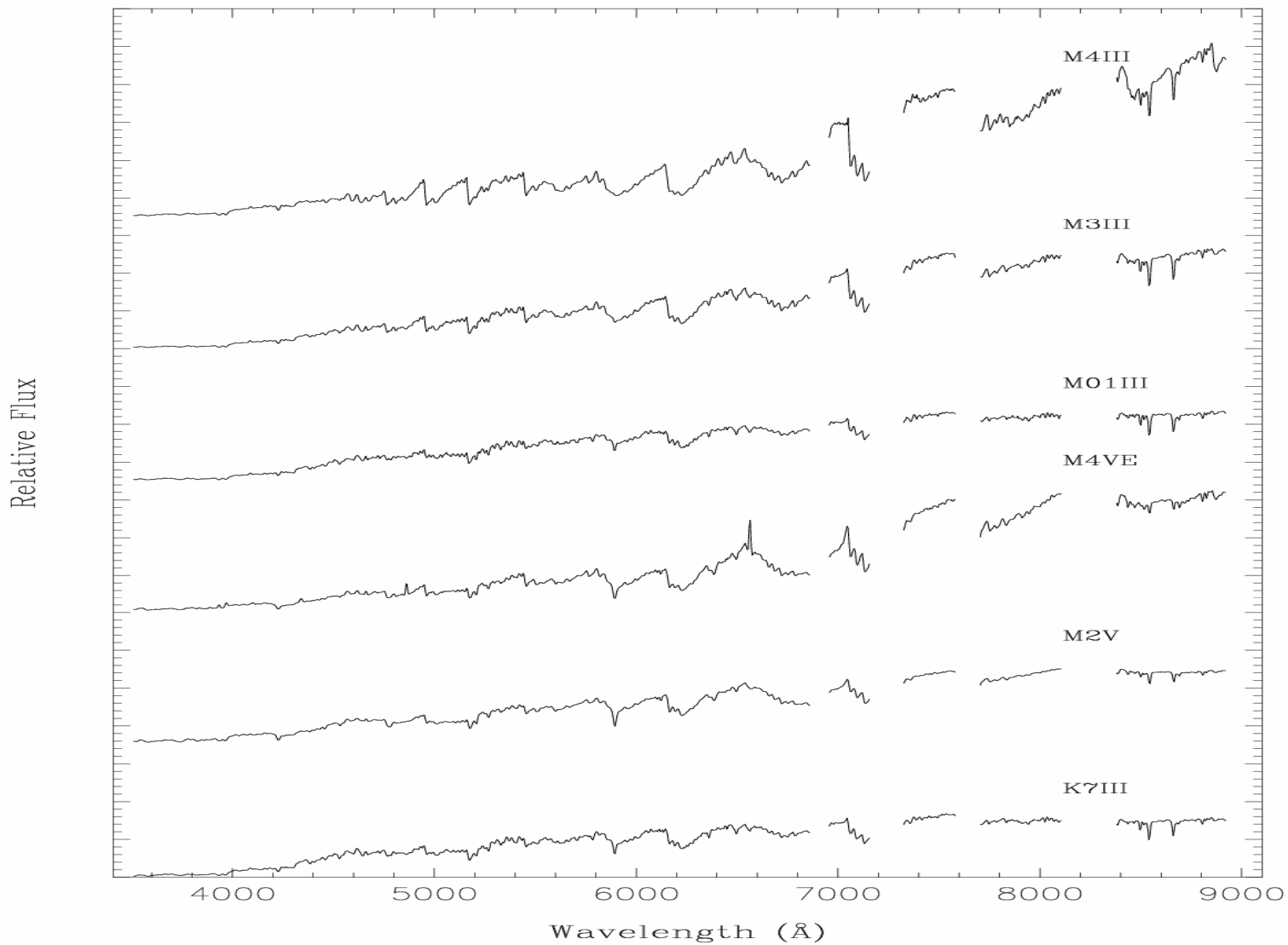
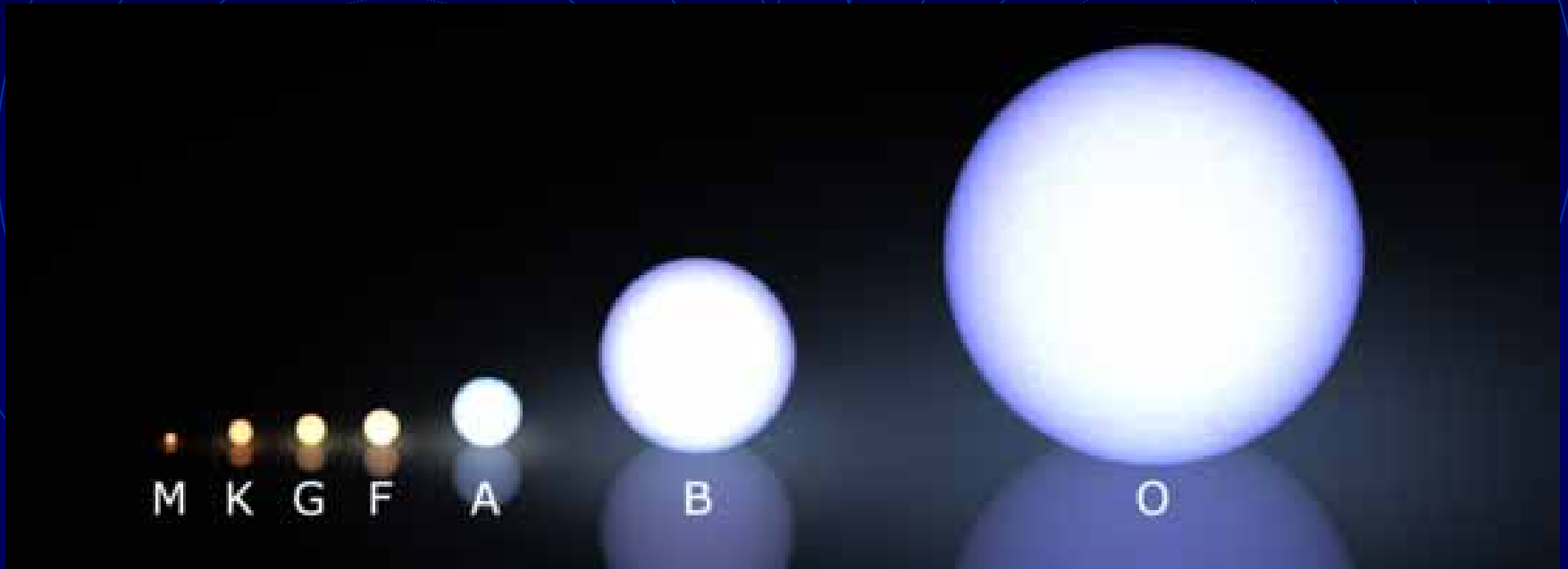


TABLE 11-1 The Spectral Sequence

Spectral class	Color	Temperature (K)	Spectral lines	Examples
O	Blue-violet	30,000–50,000	Ionized atoms, especially helium	Naos ( $\zeta$ Puppis), Mintaka ( $\delta$ Orionis)
B	Blue-white	11,000–30,000	Neutral helium, some hydrogen	Spica ( $\alpha$ Virginis), Rigel ( $\beta$ Orionis)
A	White	7500–11,000	Strong hydrogen, some ionized metals	Sirius ( $\alpha$ Canis Majoris), Vega ( $\alpha$ Lyrae)
F	Yellow-white	5900–7500	Hydrogen and ionized metals such as calcium and iron	Canopus ( $\alpha$ Carinae), Procyon ( $\alpha$ Canis Minoris)
G	Yellow	5200–5900	Both neutral and ionized metals, especially ionized calcium	Sun, Capella ( $\alpha$ Aurigae)
K	Orange	3900–5200	Neutral metals	Arcturus ( $\alpha$ Boötis), Aldebaran ( $\alpha$ Tauri)
M	Red-orange	2500–3900	Strong titanium oxide and some neutral calcium	Antares ( $\alpha$ Scorpii), Betelgeuse ( $\alpha$ Orionis)

**Table 11-1**  
*Discovering the Universe, Seventh Edition*  
 © 2006 W. H. Freeman and Company



[http://en.wikipedia.org/wiki/Stellar\\_classification](http://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_classification)

# 恆星光度與表面溫度的關係

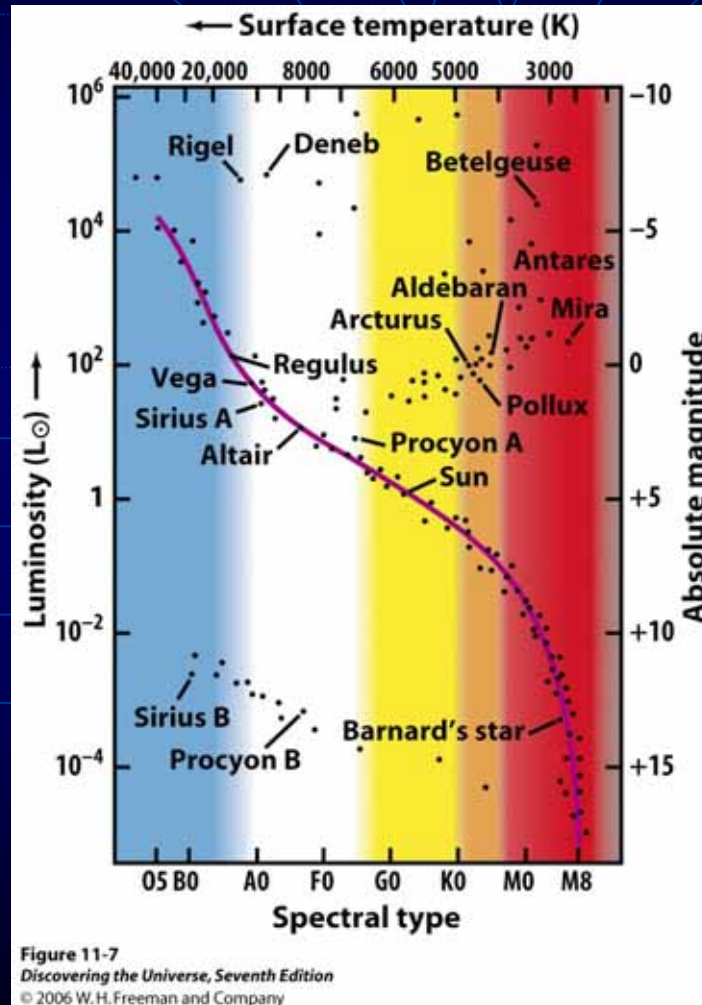
## Hertzsprung-Russell diagram

赫羅圖

光度

向上增加

1911 by Ejnar  
Hertzsprung  
(Danmark) & 1913  
by Henry Norris  
Russell (USA)



表面溫度

向左增加！

光譜型態

H-R diagram ---  
An astronomer's  
"tool of the trade"

# HW070305

- List 10 items (e.g., commercial products) with a brand name associated with a terminology in astronomy. State the property of each product. For each of these terms, give a short (1-2 lines) description as used in astronomy.
- Describe how (1) the distance, (2) size, and (3) mass of a star can be estimated.

due in a week

強↑

光度

↓弱

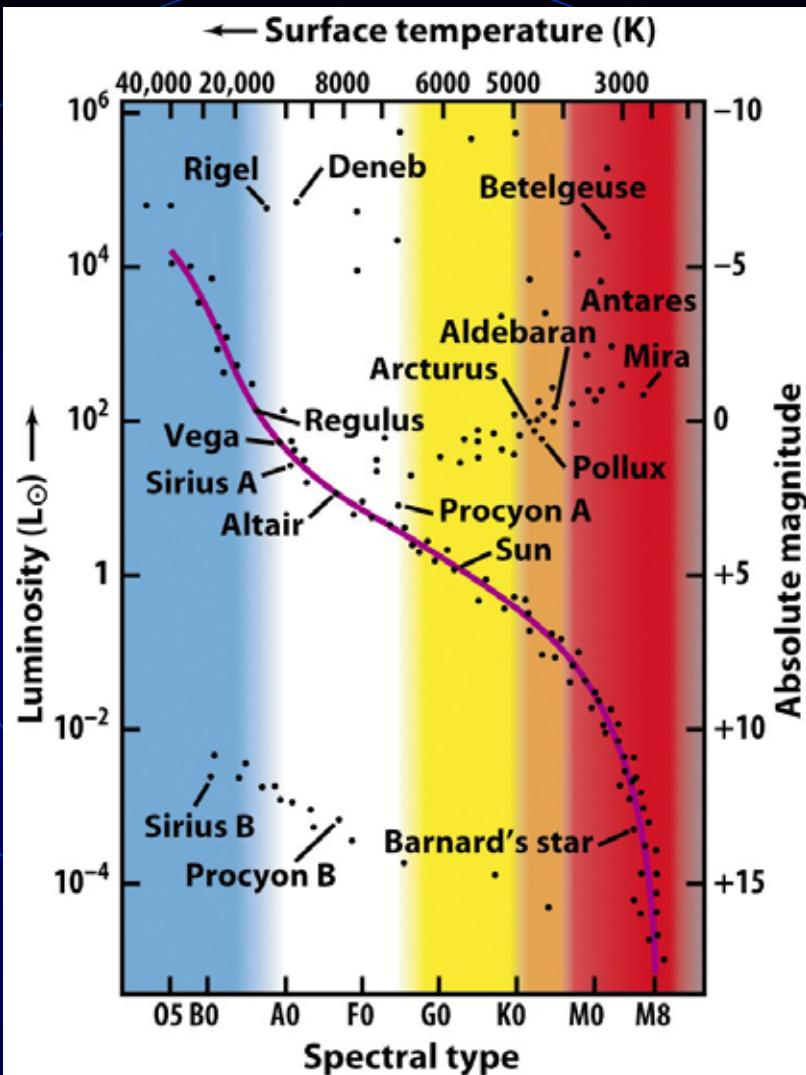


Figure 11-7  
Discovering the Universe, Seventh Edition  
© 2006 W. H. Freeman and Company

在 H-R diagram 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

O B A F G K M Spectral type



# 解讀「赫羅圖」(H-R 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)**

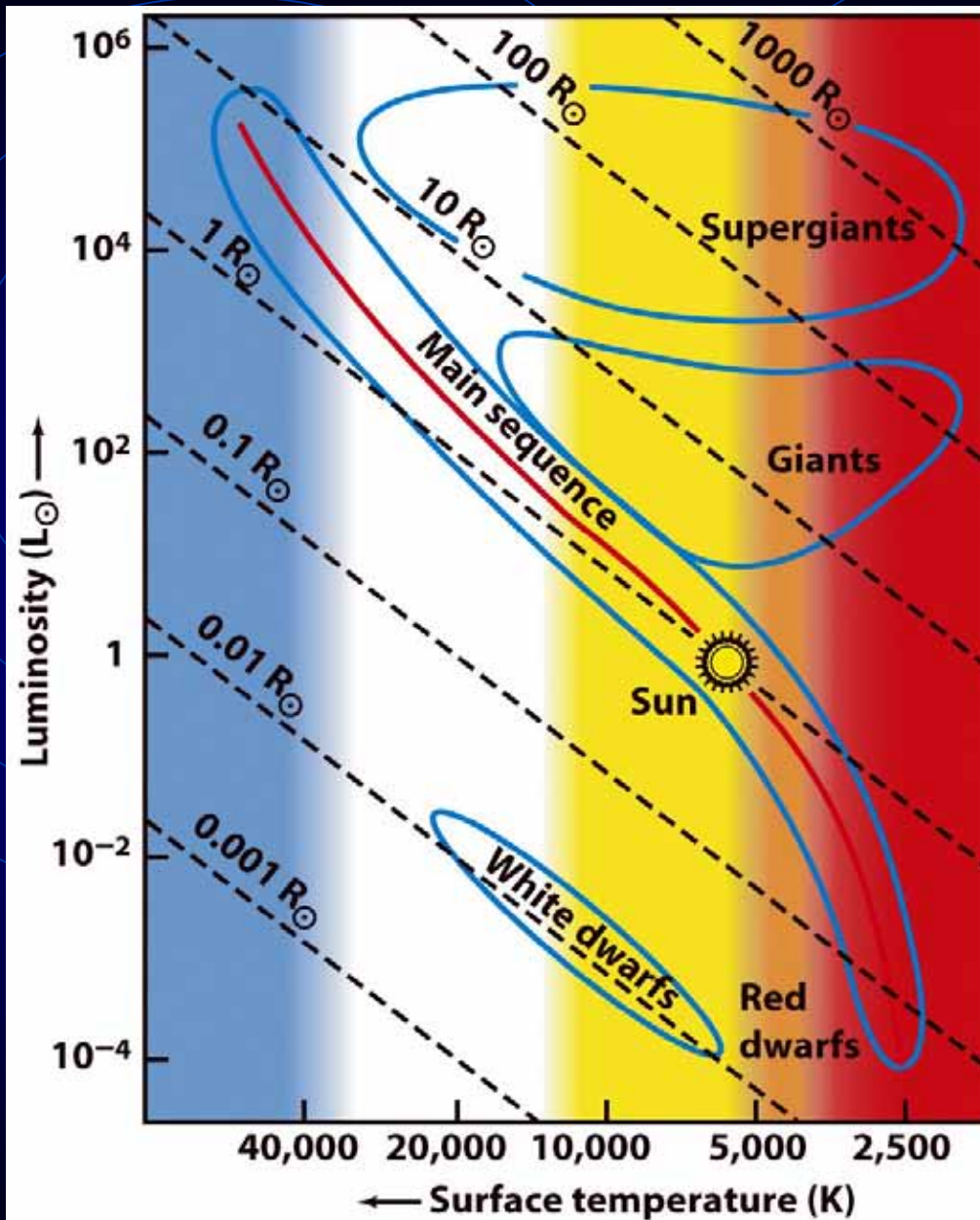
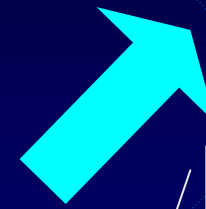


Figure 11-8  
*Discovering the Universe, Seventh Edition*  
 © 2006 W.H. Freeman and Company

體積大



$L$  = luminosity

radiation per  
unit area

$$L = (\sigma T^4) (4\pi R^2)$$

total surface area

$T$  = surface temperature

$\sigma$  = Boltzmann const.

$R$  = stellar radius

體積小



# 恆星表面溫度

→ 光譜型態

但是同樣溫度（例如5800K）的星球可以是白矮星、主序星，或是巨星、超巨星

研究光譜中的吸收線（被恆星大氣的密度與壓力影響）

→ luminosity class

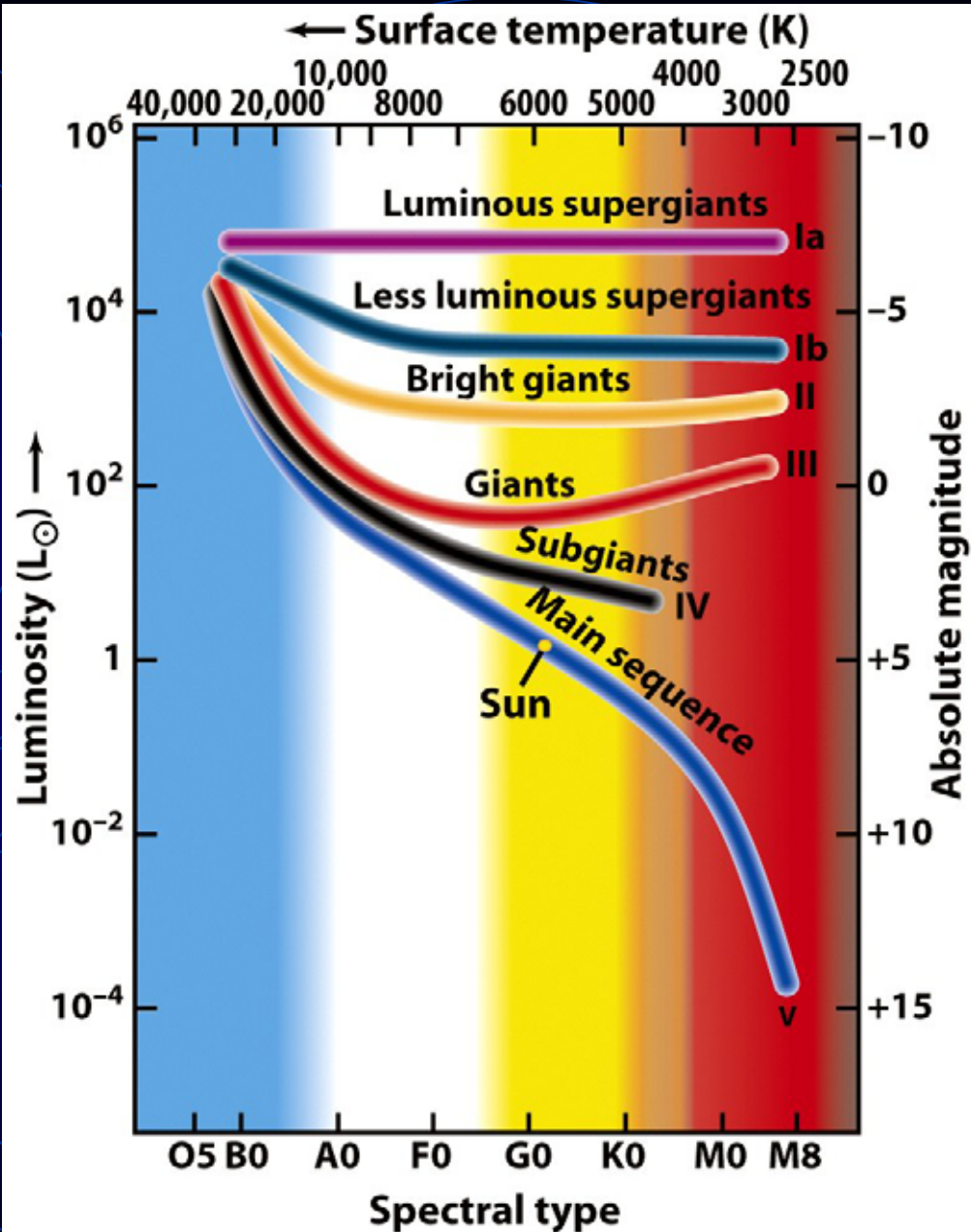


Figure 11-9  
Discovering the Universe, Seventh Edition  
© 2006 W. H. Freeman and Company

- 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