

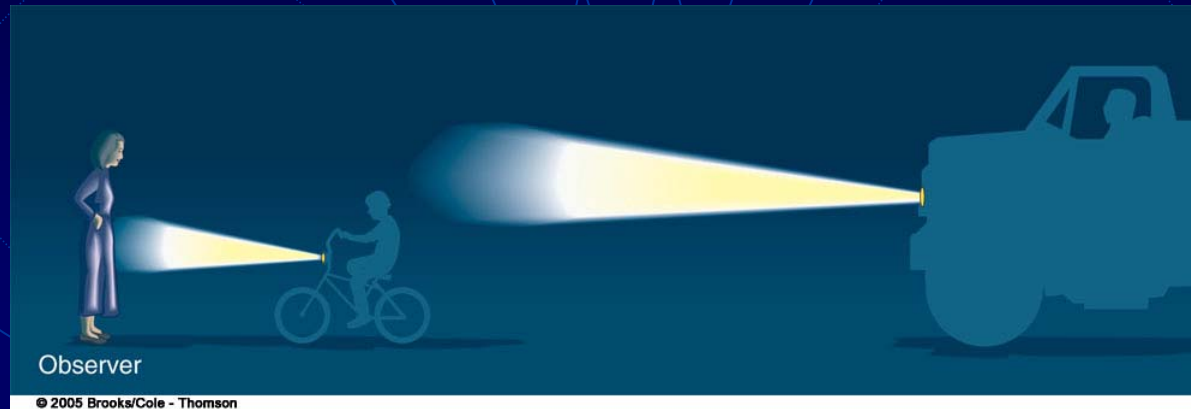
恆星的性質

A star field of the Orion constellation, showing numerous stars of varying brightness and colors. The stars are scattered across the dark background, with some forming distinct patterns. The title '恆星的性質' is written in yellow at the top left.

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.

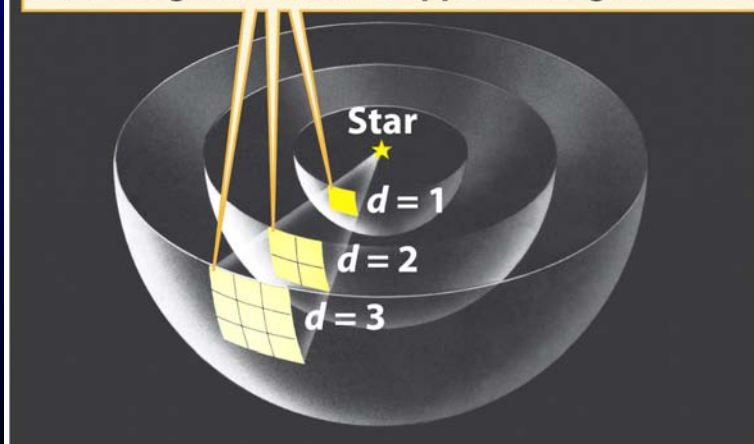
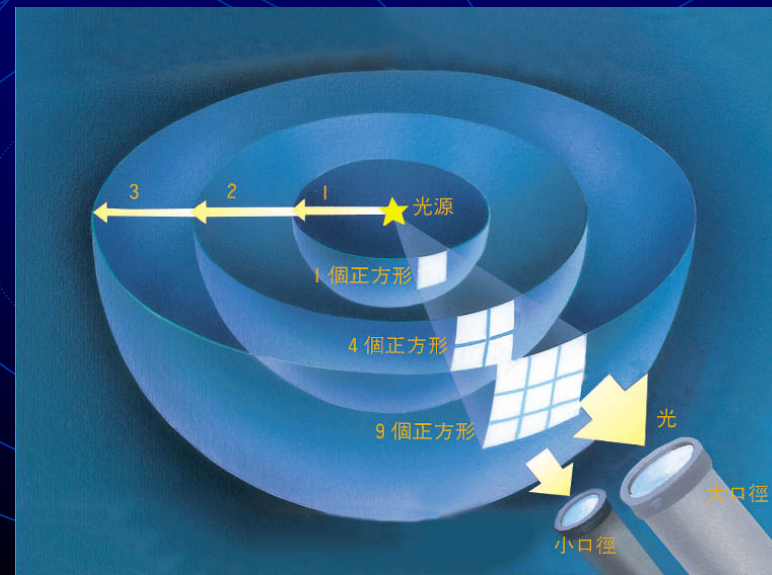


Figure 11-3a
Discovering the Universe, Seventh Edition
© 2006 W. H. Freeman and Company



- 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²）。

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 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

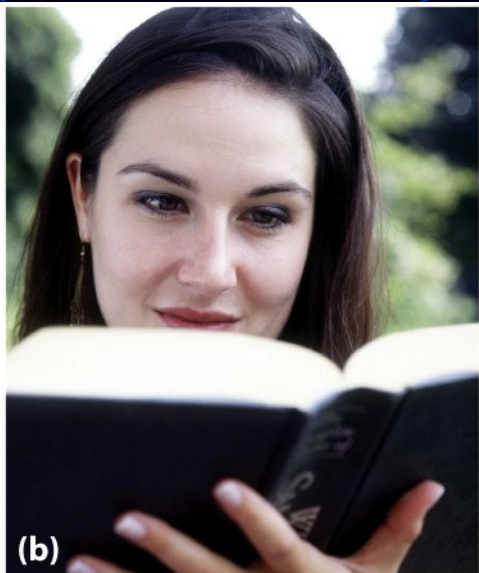
恆星是發光氣體，顏色 → 表面溫度
→ 每塊面積發光能力 → 總面積 → 直徑

恆星處於（力量）平衡狀態 什麼力與什麼力？

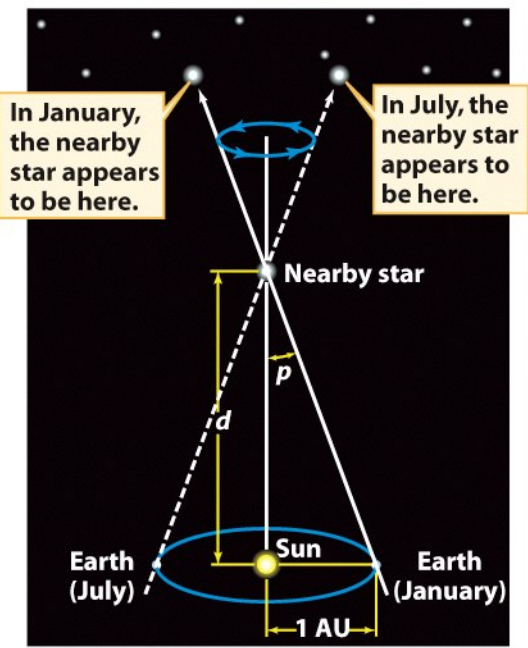
質量大 → 萬有引力強 ↔ 核心溫度高、壓力大
→ 核子反應快 → 發光強 → 表面溫度高

∴ 恆星 表面溫度 ↑ → 光度 ↑

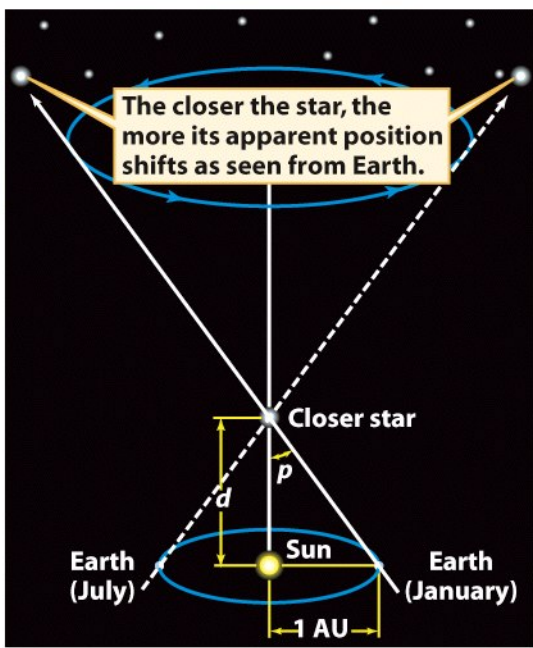
視差現象



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

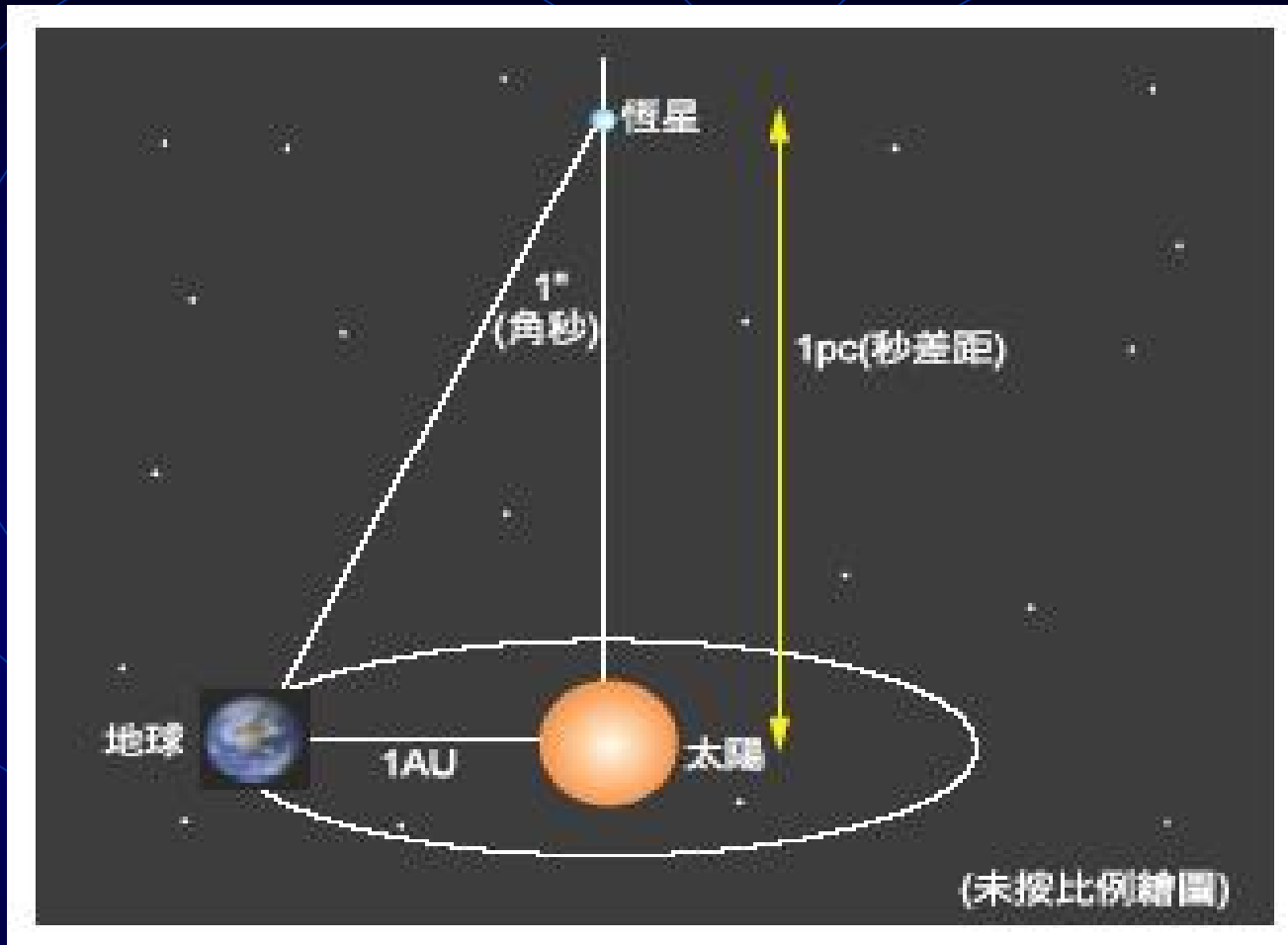


(c) Parallax of a nearby star



(d) Parallax of an even closer star

$$D \text{ (pc)} = 1 / \pi \text{ (arcsec)}$$



當距離為1秒差距時，1 AU的張角為1角秒。

Distance Determination by Parallax

例如夜空最亮的天狼星，其周年視差角 (annual parallax) 為0.38角秒，因此天狼星距離我們約2.6 pc，相當於 8.6光年

受到大氣擾動以及儀器精確度的限制，利用 parallax 方法，大約可以估計 < 1 kpc 天體的距離

太空觀測（尤其比AU更長的基線）可以有效提高精確度

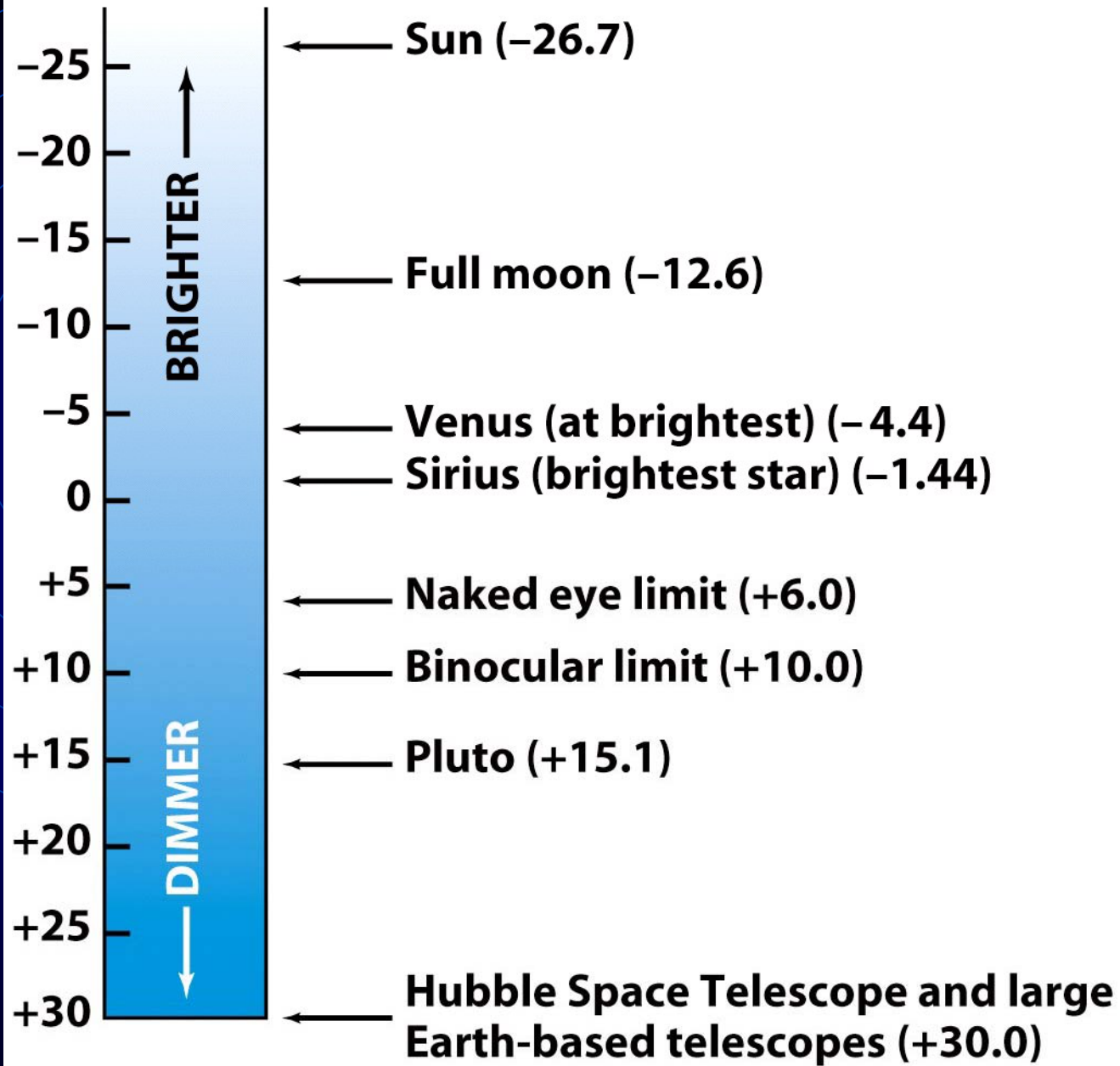
星球看起來的亮度



獵戶座 = Orion

獵戶座 (的) α 星
= α Orionis
= α 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?

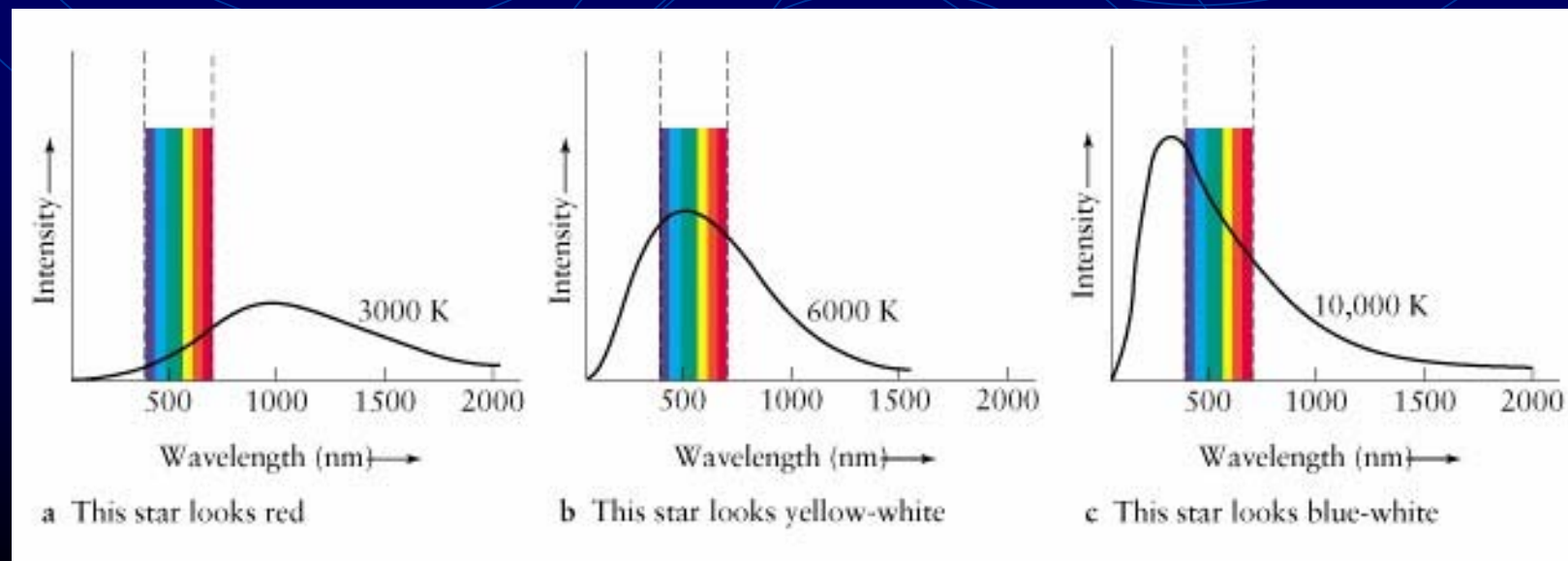
- What answers do you want to get on your landing visit to Mars?

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



不同溫度、成分 → 不同激發程度 → 不同譜線

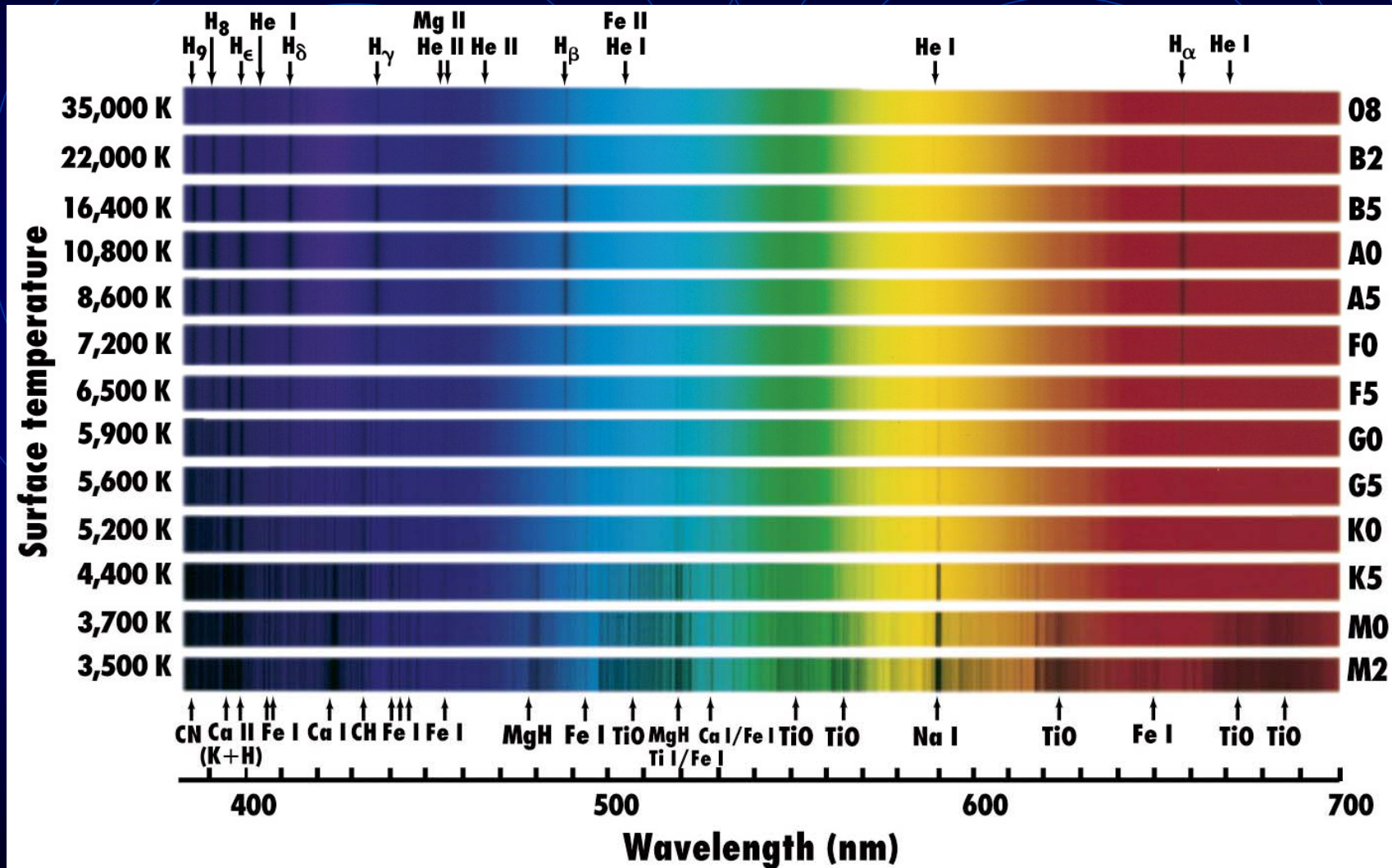


Figure 11-5
 Discovering the Universe, Seventh Edition
 © 2006 W. H. Freeman and Company

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



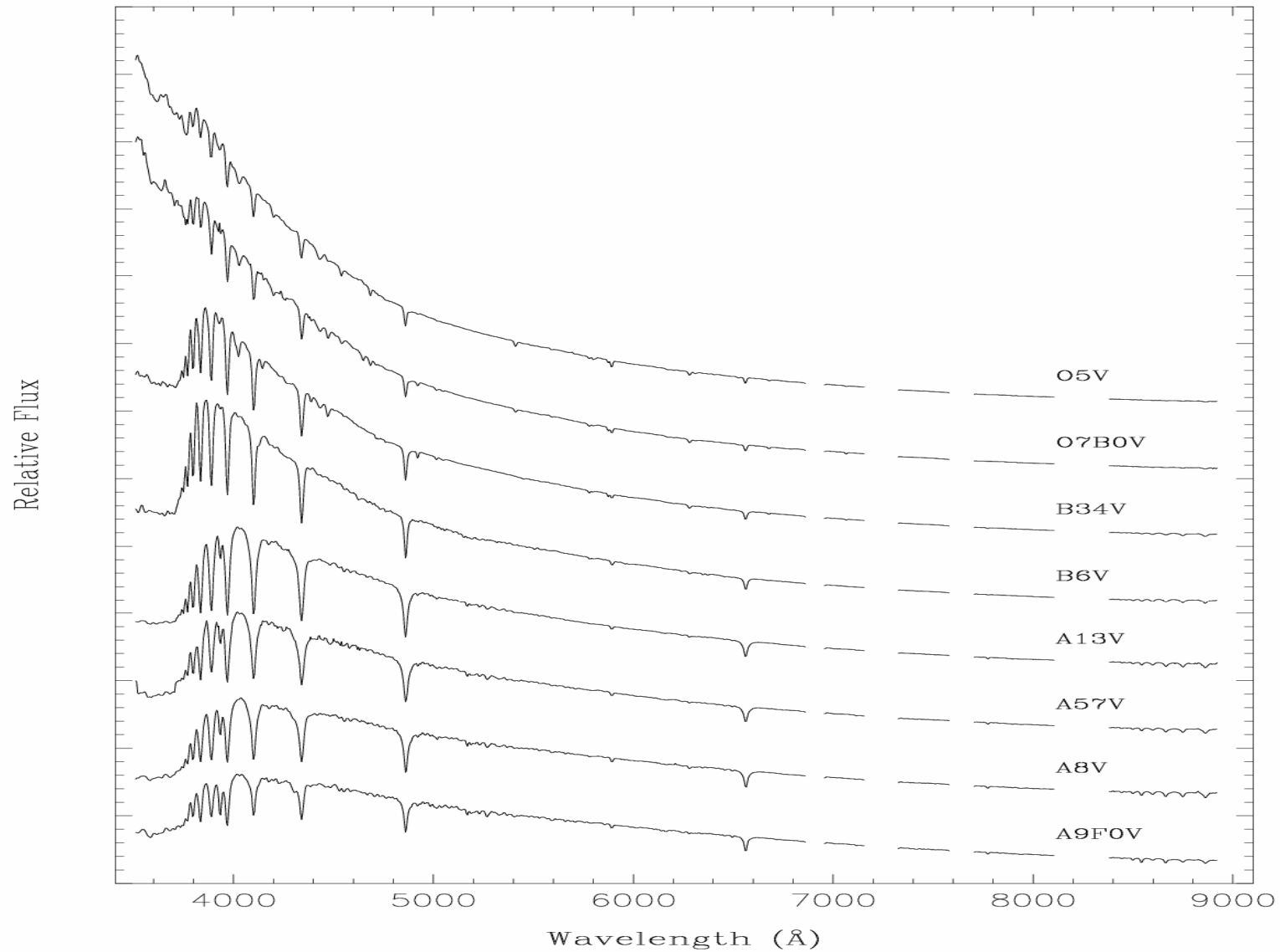
Figure 11-6a
Discovering the Universe, Seventh Edition
© 2006 W.H. Freeman and Company

Annie Jump Cannon 為
恆星光譜分類之先驅

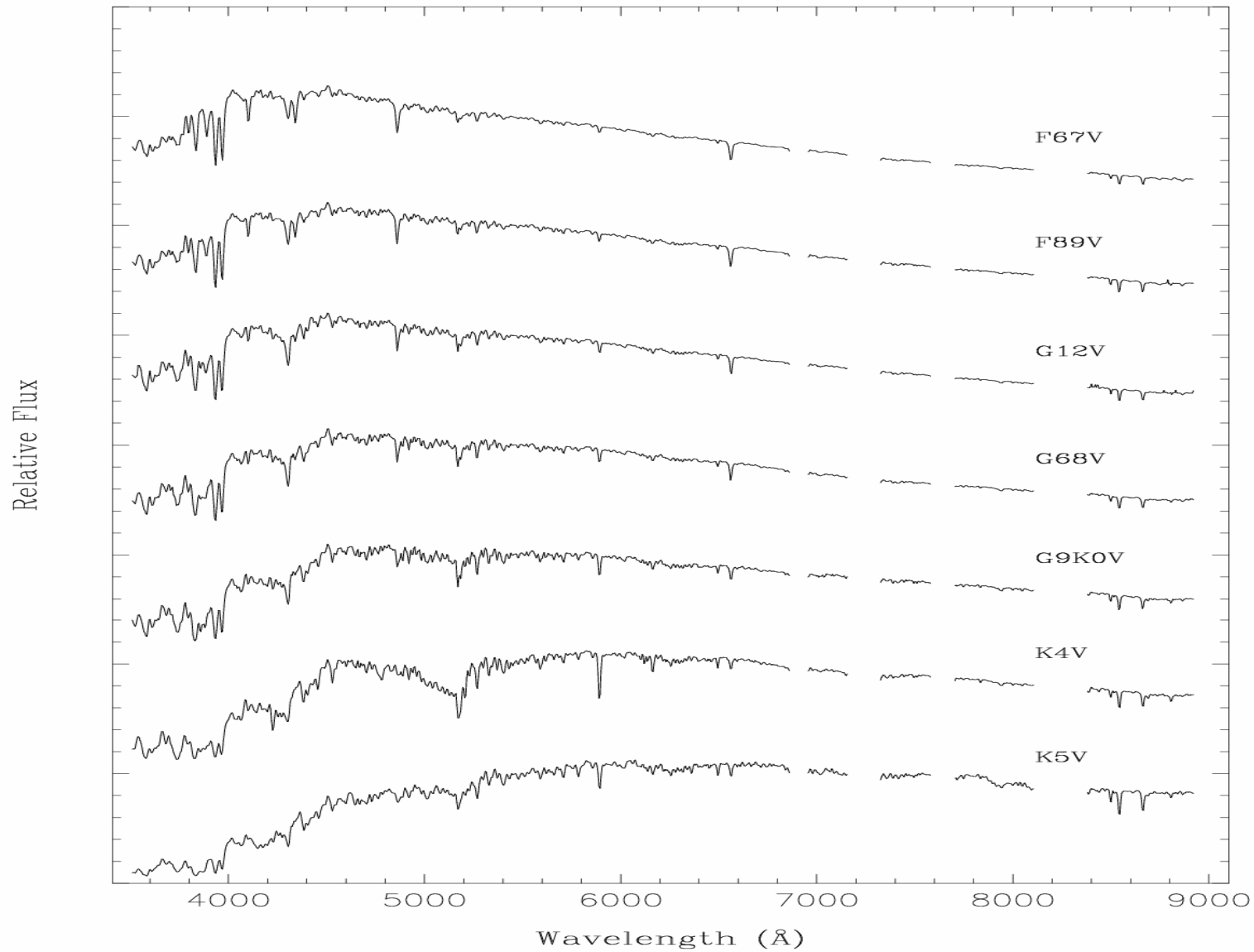


Figure 11-6b
Discovering the Universe, Seventh Edition
© 2006 W.H. Freeman and Company

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

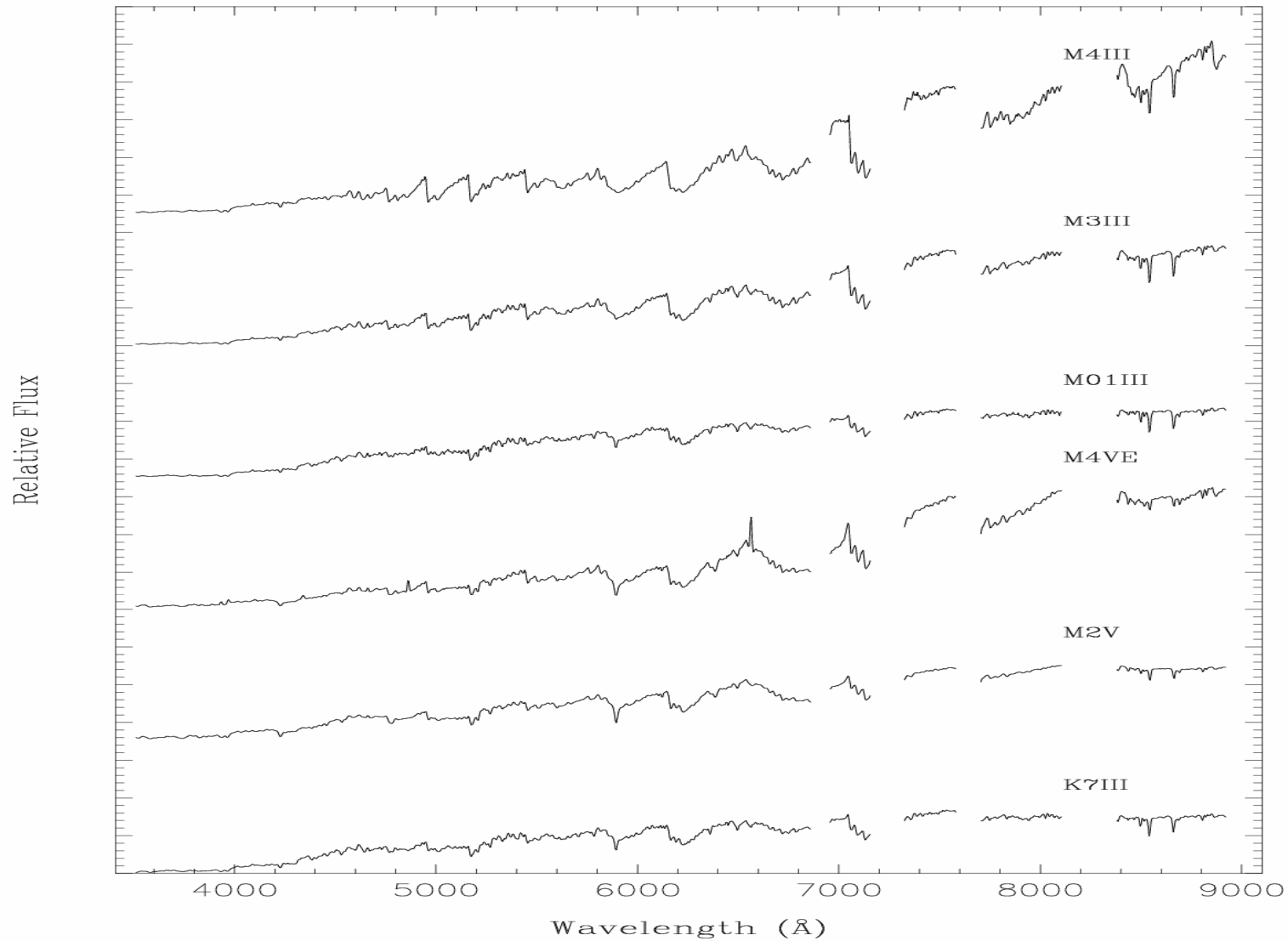
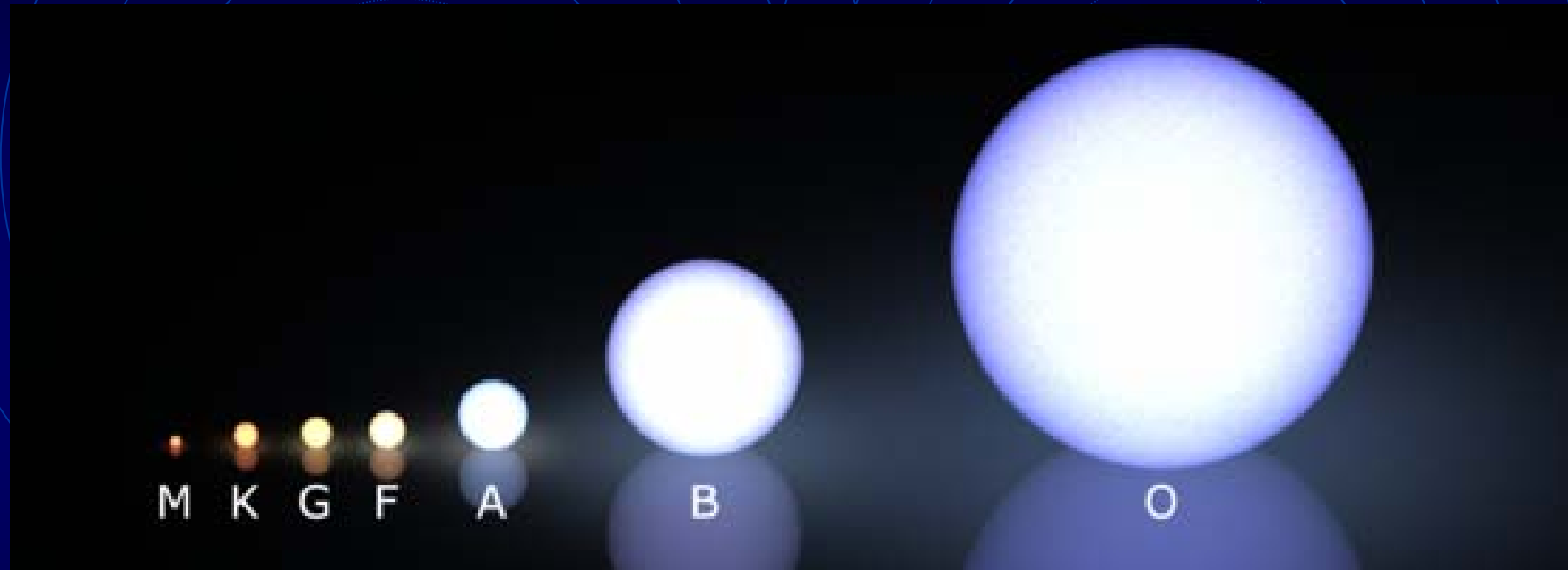


TABLE 11-1 The Spectral Sequence

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

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



http://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_classification

恆星光度與表面溫度的關係

Hertzsprung-Russell diagram

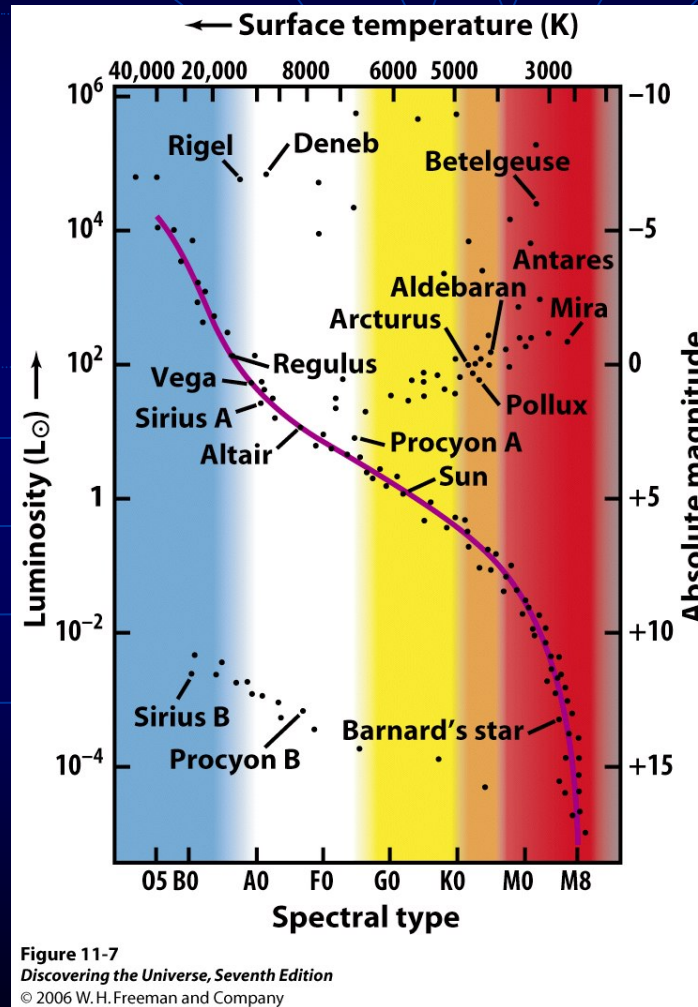
赫羅圖

光度

向上增加

表面溫度

向左增加！



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

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

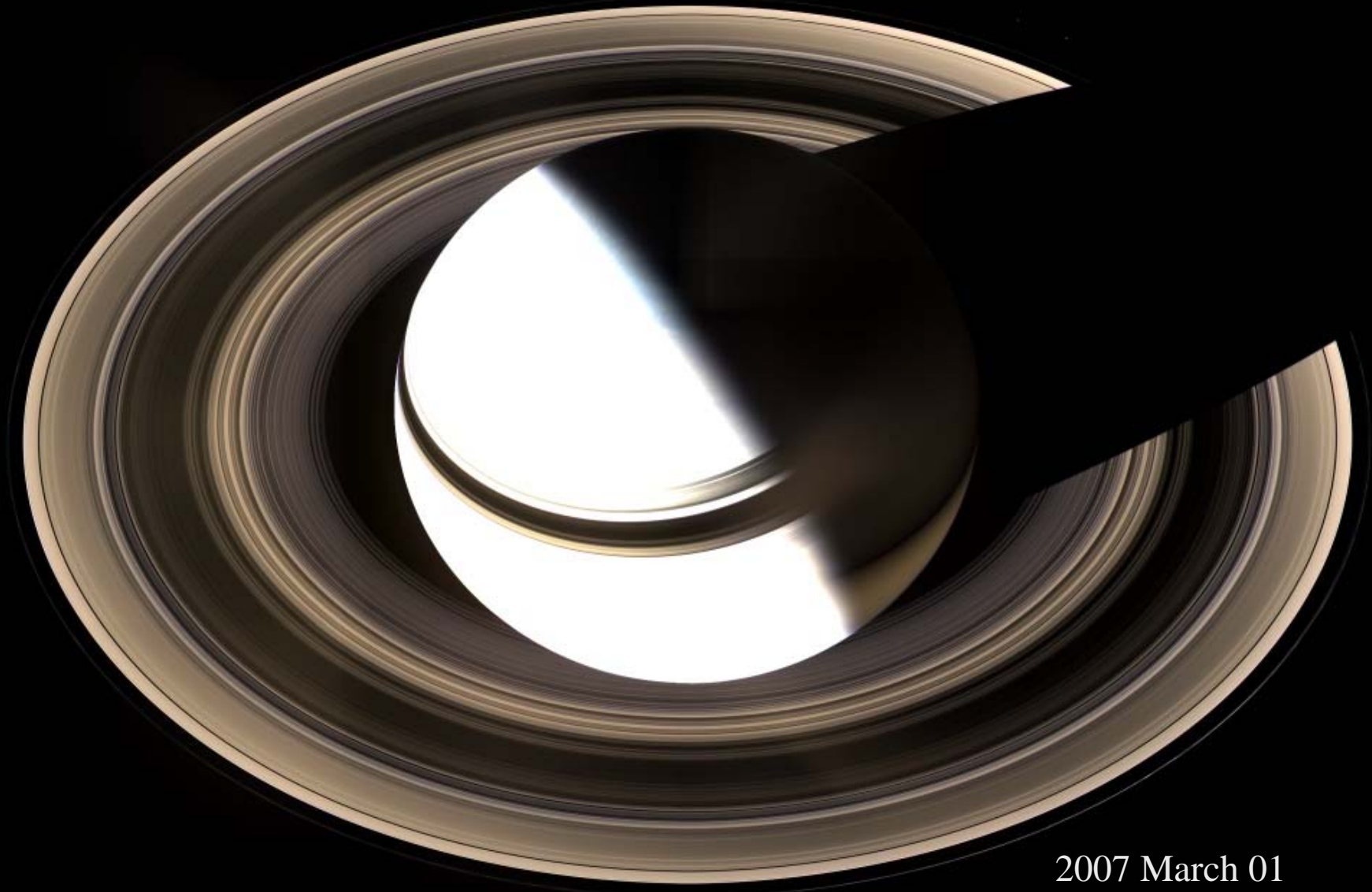
光譜型態

HW070305

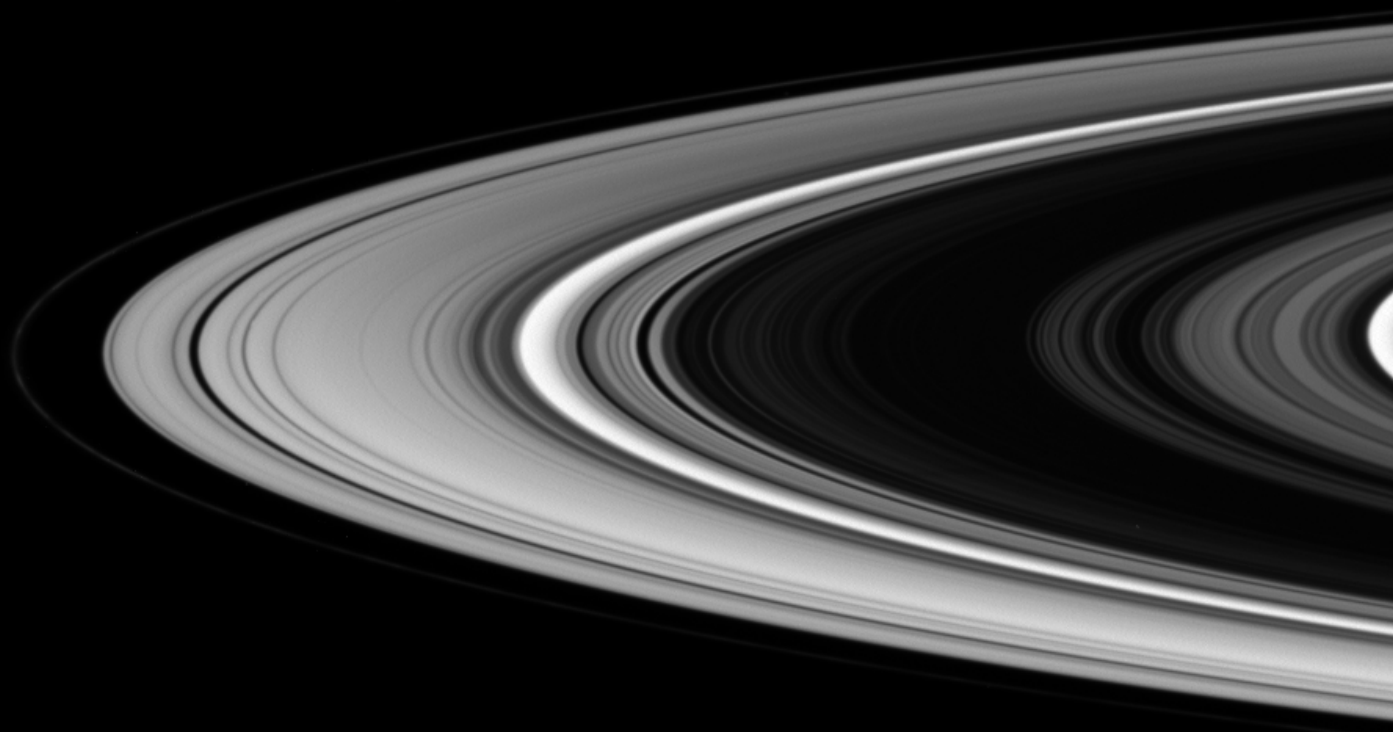
- List 10 items (e.g., commercial products) with a brand name associated with a terminology in astronomy. State the property of each product. For each of these terms, give a short (1-2 lines) description as used in astronomy.
- Describe how (1) the distance, (2) size, and (3) mass of a star can be estimated.

due in a week

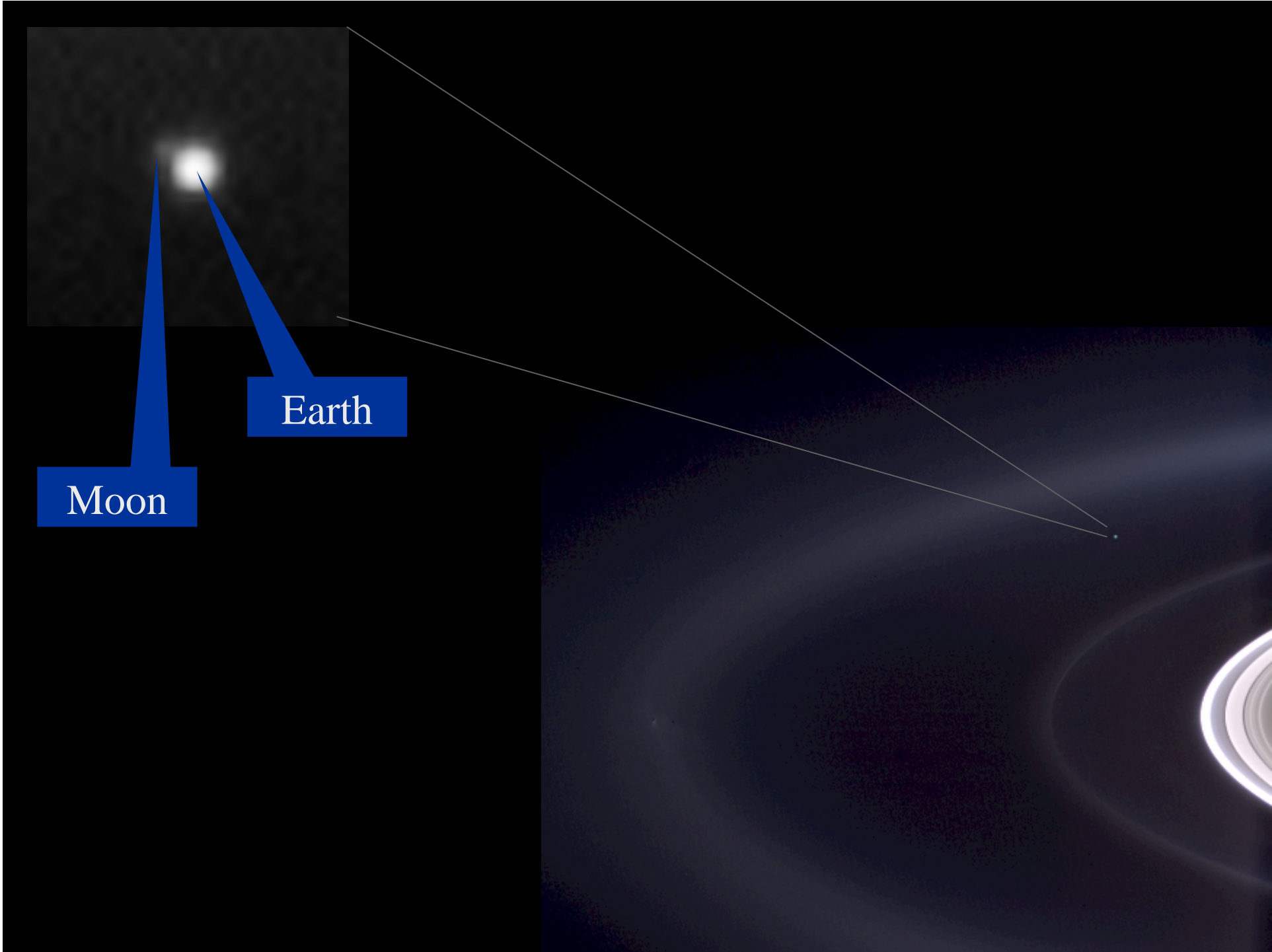
<http://ciclops.org/>



2007 March 01



2007 March 01



Total Eclipse of the Sun



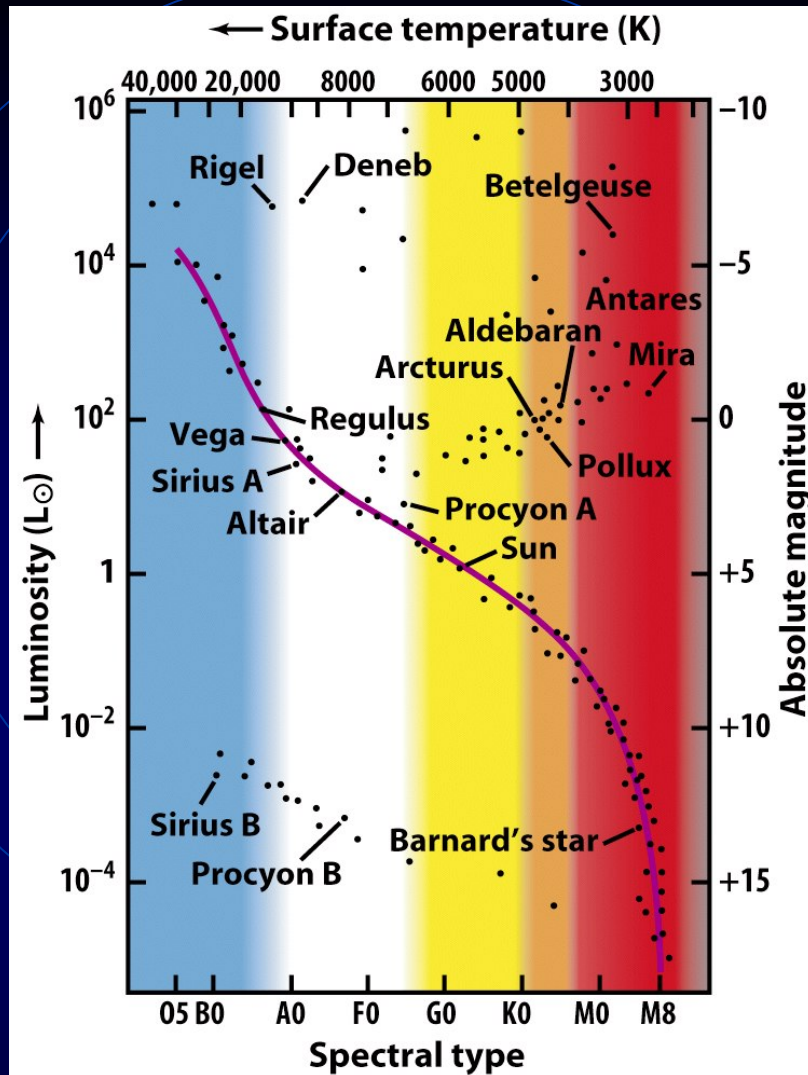
PIA08329



強
↑

光度

↓
弱



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)**

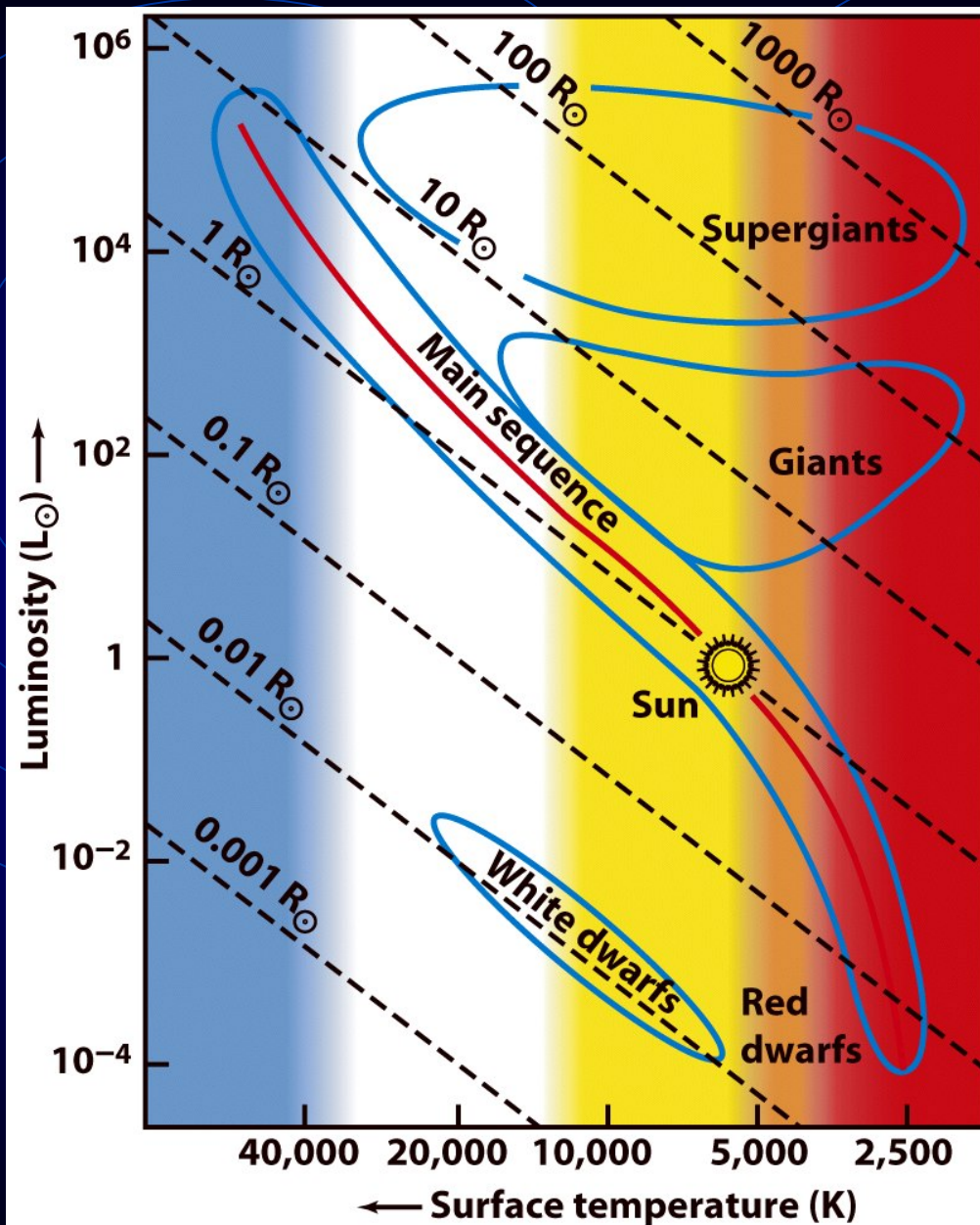


Figure 11-8
Discovering the Universe, Seventh Edition
 © 2006 W. H. Freeman and Company

體積大



$L =$ luminosity

radiation per unit area

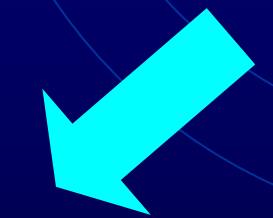
$$L = (\sigma T^4) (4\pi R^2)$$

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

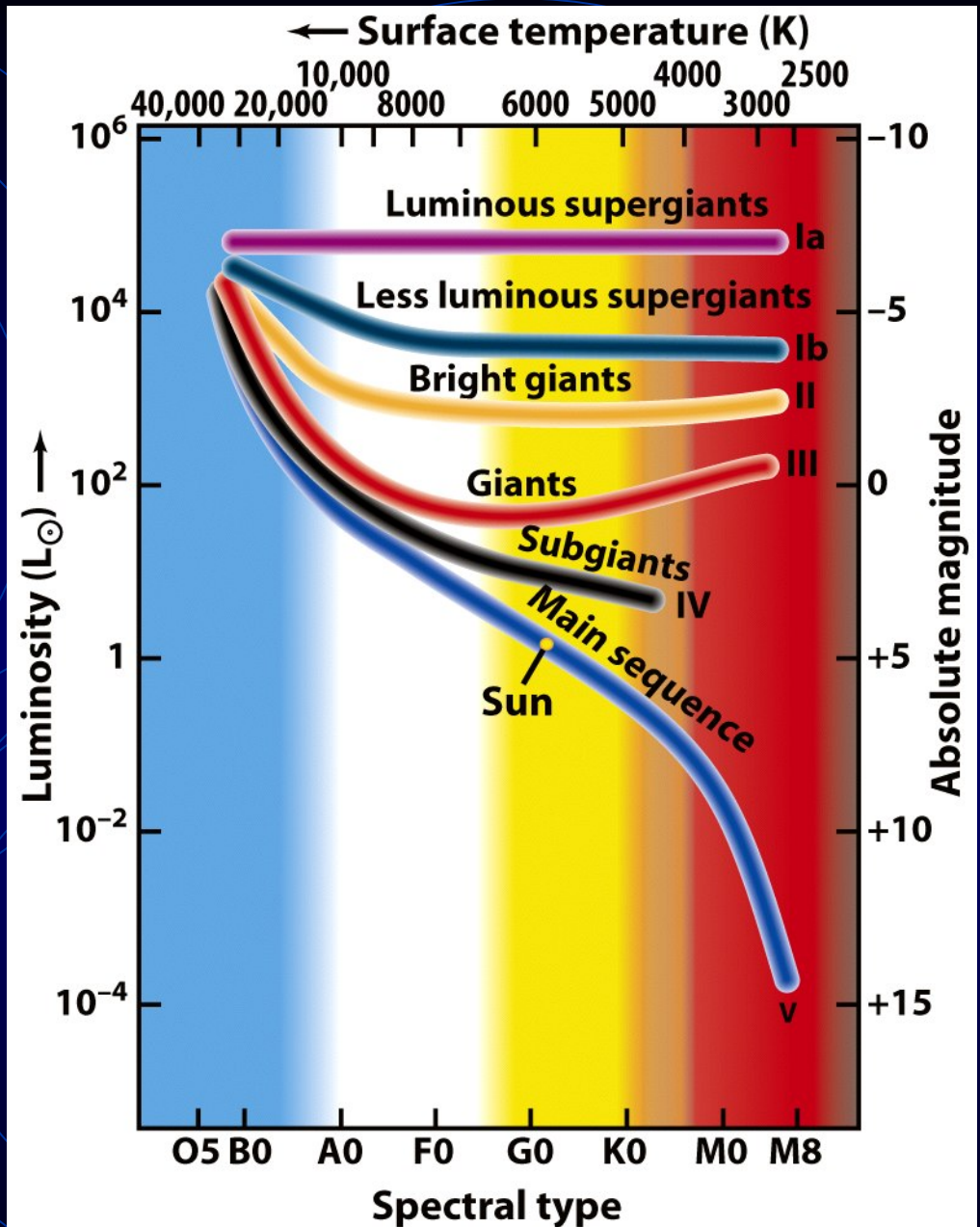


Figure 11-9
Discovering the Universe, Seventh Edition
© 2006 W.H. Freeman and Company

- 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

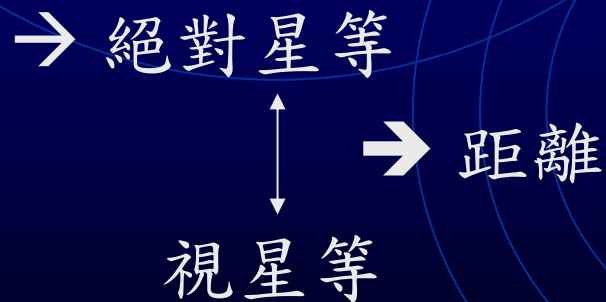
估計恆星的距離

- **視差法**（直接，最遠距離目前限於 $< 1 \text{ kpc}$ ）
- **類比法**（外觀類似，其他性質也相似）

光譜型態 (O, B, A, F, G, K, M)

+

光度分類 (I, II, III, IV, V)



光譜型態與光度分類皆來自光譜觀測，故此方法也稱爲**光譜視差法** (**spectroscopic parallax**) 但其實沒有量任何角度

估計恆星的質量

- 恆星最重要的性質，因為質量決定（自我）萬有引力大小
- 質量決定星際雲氣是否產生恆星，產生哪種恆星，日後也決定恆星如何衰亡
- 對於主序星（以內部核反應達到靜力平衡的穩定星體）而言，質量決定核反應快慢（光度）以及表面溫度的高低（光譜型態）
- **雙星 (binary)** 可用來估計恆星質量

雙星的種類

- optical doubles (apparent binaries) **光學雙星**
兩顆星恰巧在天球上角度很近，其實彼此無關

真正的雙星

- visual binaries **視雙星**
兩顆星互繞質量中心，且兩顆星都看得到

$$M_1 + M_2 = a^3 / P^2$$

M 以太陽質量為單位； a 軌道半長軸以 AU 為單位
 P 軌道週期以年為單位

例：某雙星其中一顆星的橢圓軌道半長軸為 4 AU，週期為 2.5 年，則兩顆星的質量和為

$$M_1 + M_2 = 4^3 / 2.5^2 = 10.2 M_{\odot}$$

視雙星

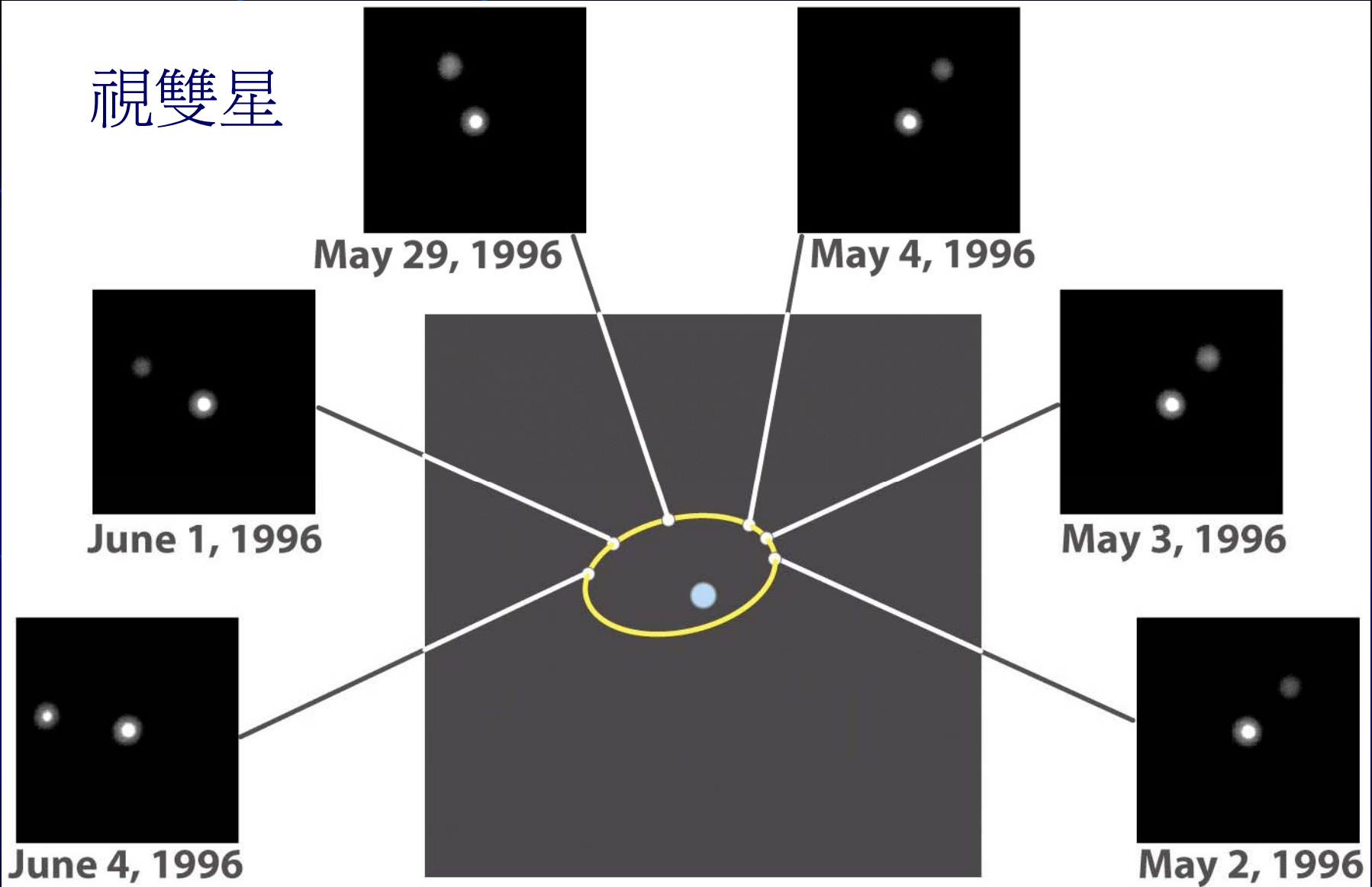
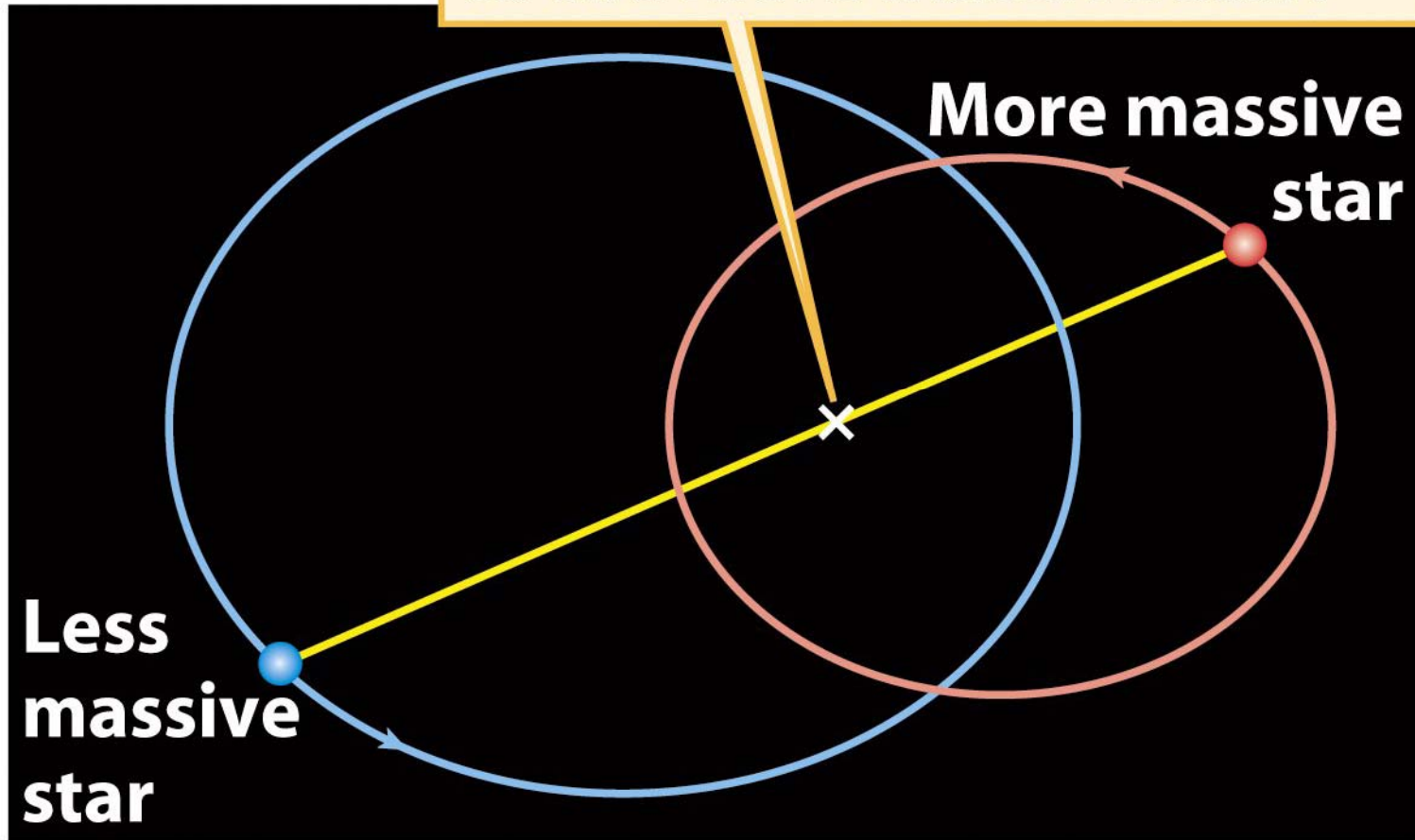


Figure 11-10
Discovering the Universe, Seventh Edition
© 2006 W.H. Freeman and Company

ζ (zeta) Ursae Majoris is a binary system separated by $\sim 0.01''$.

The center of mass of the binary star system is nearer to the more massive star.



A binary star system

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

真正的雙星 (cont.)

- spectroscopic binaries 光譜雙星

兩顆星互繞質量中心，無法直接看出兩顆星，
但是光譜顯示兩顆星

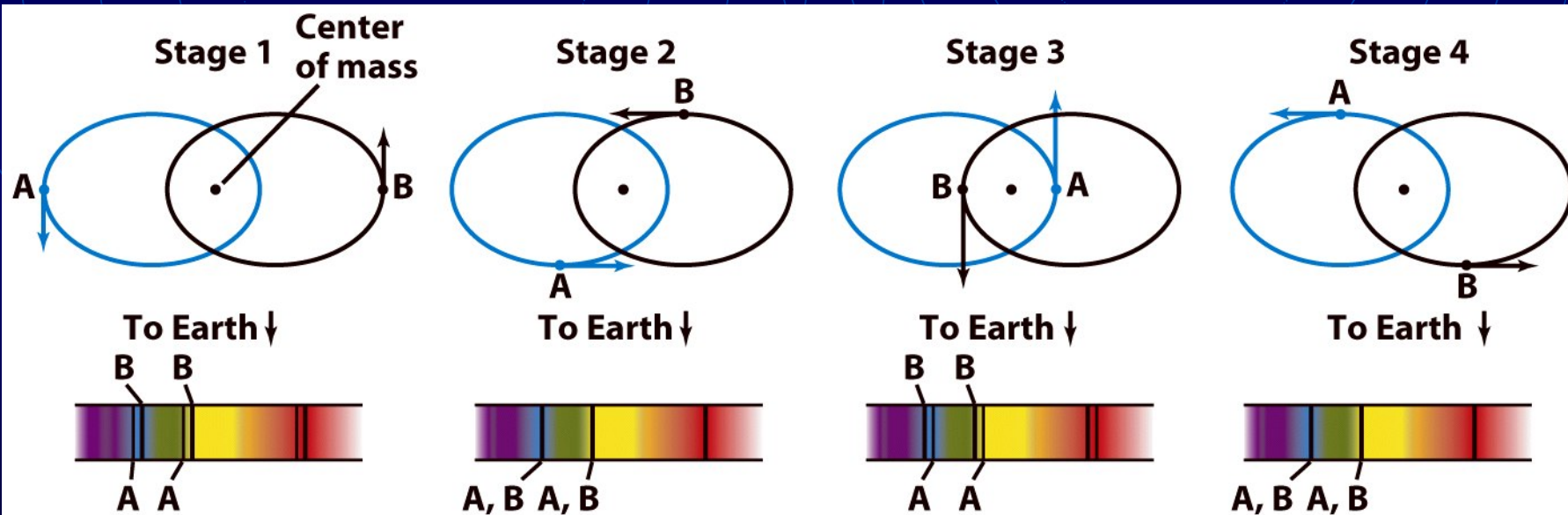


Figure 11-13a
Discovering the Universe, Seventh Edition
© 2006 W. H. Freeman and Company

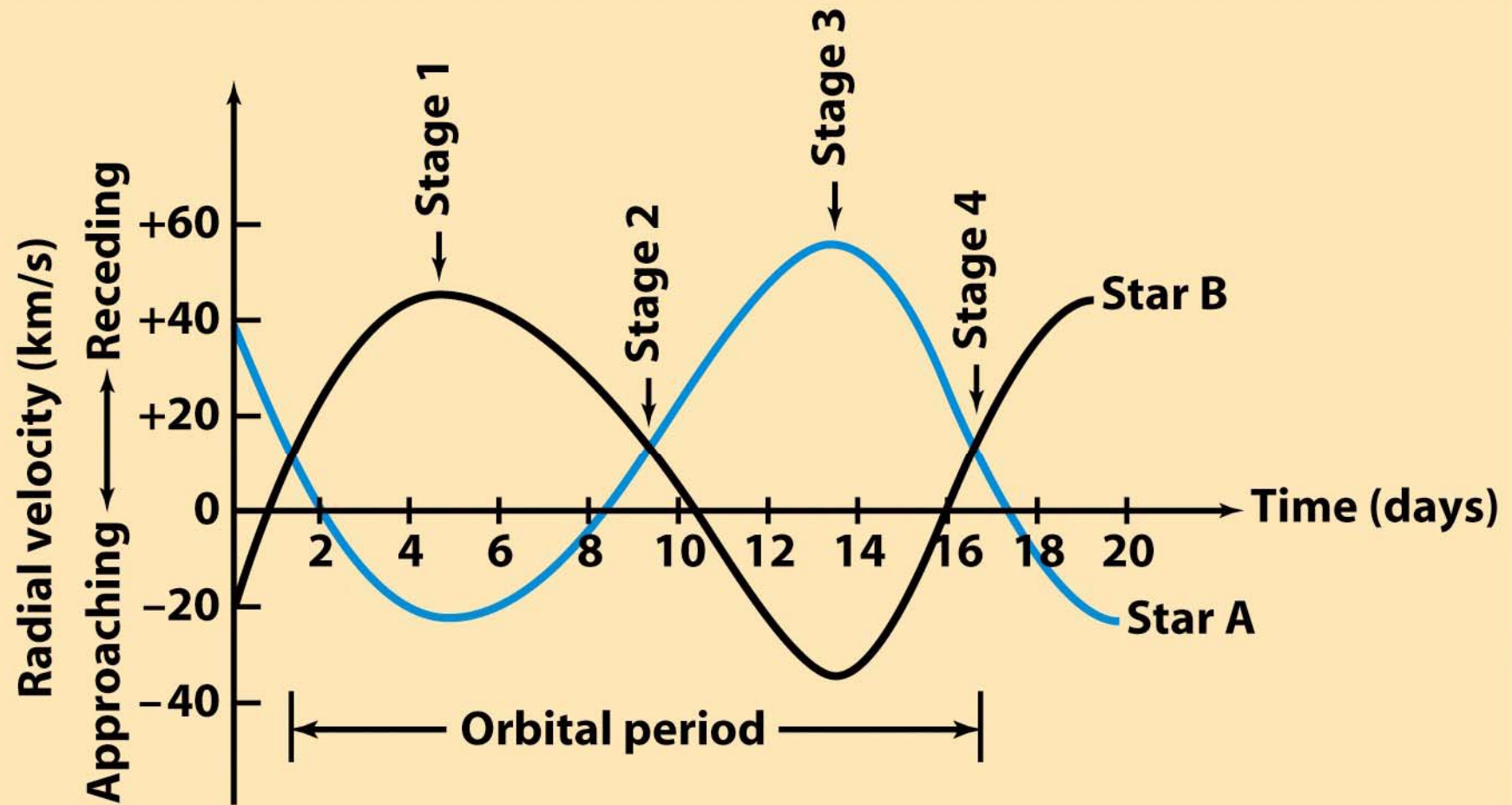


Figure 11-13b
Discovering the Universe, Seventh Edition
 © 2006 W. H. Freeman and Company

真正的雙星 (cont.)

- eclipsing binaries 食雙星

兩顆星互繞質量中心，無法直接看出兩顆星，但是恆星互食（遮住），光變曲線顯示雙星

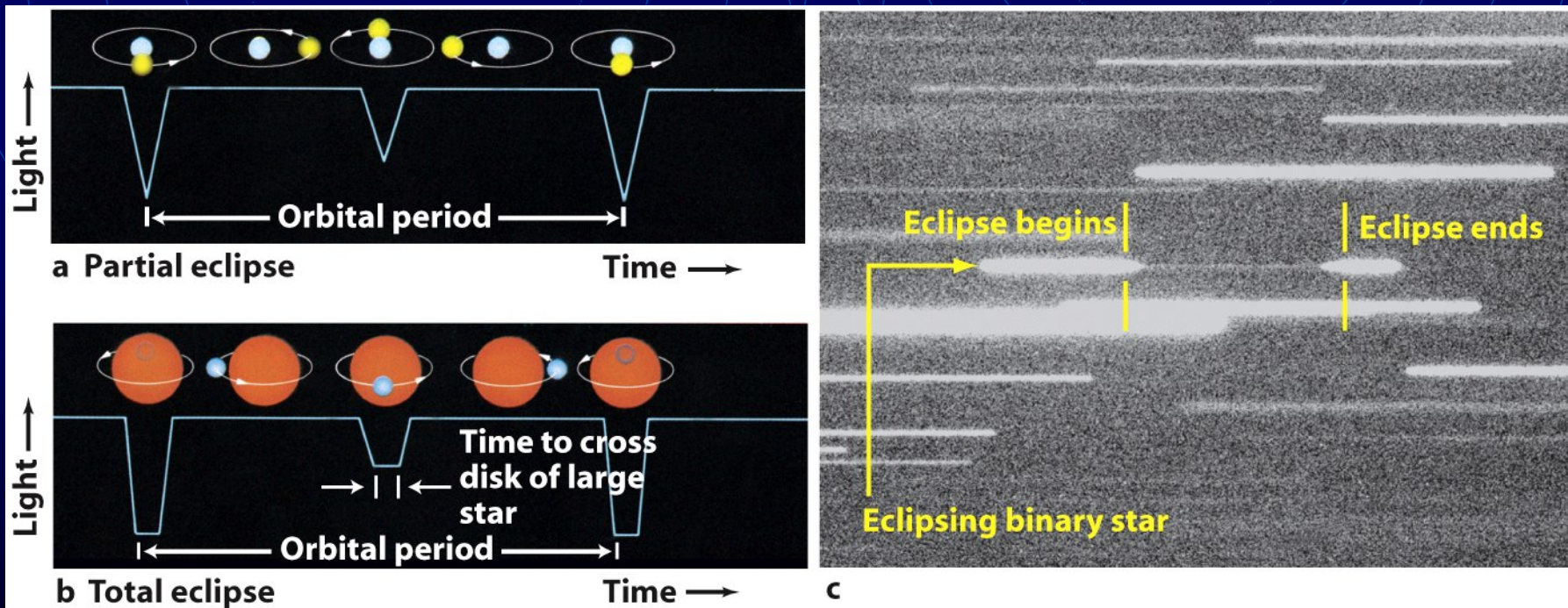


Figure 11-15
Discovering the Universe, Seventh Edition
© 2006 W. H. Freeman and Company

- 主序星的質量與光度關係 (mass-luminosity relation; 質光關係) $\text{Roughly } L \sim M^{3.5}$

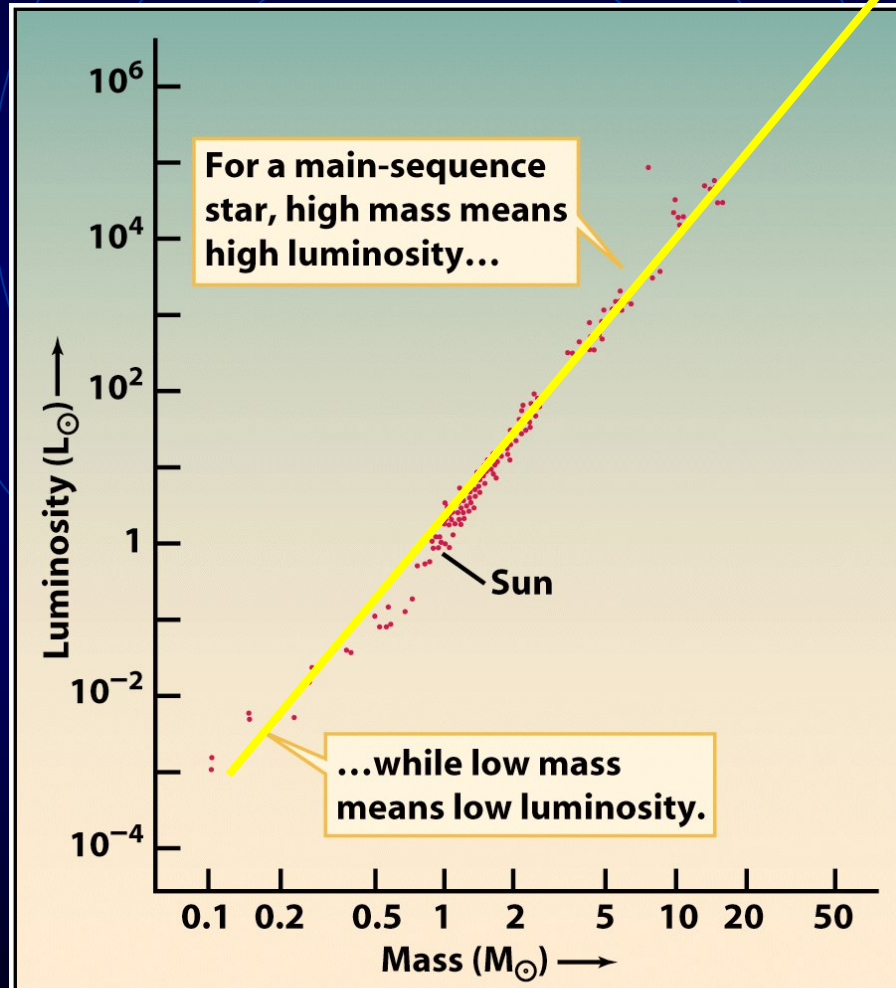


Figure 11-12a
Discovering the Universe, Seventh Edition
 © 2006 W. H. Freeman and Company

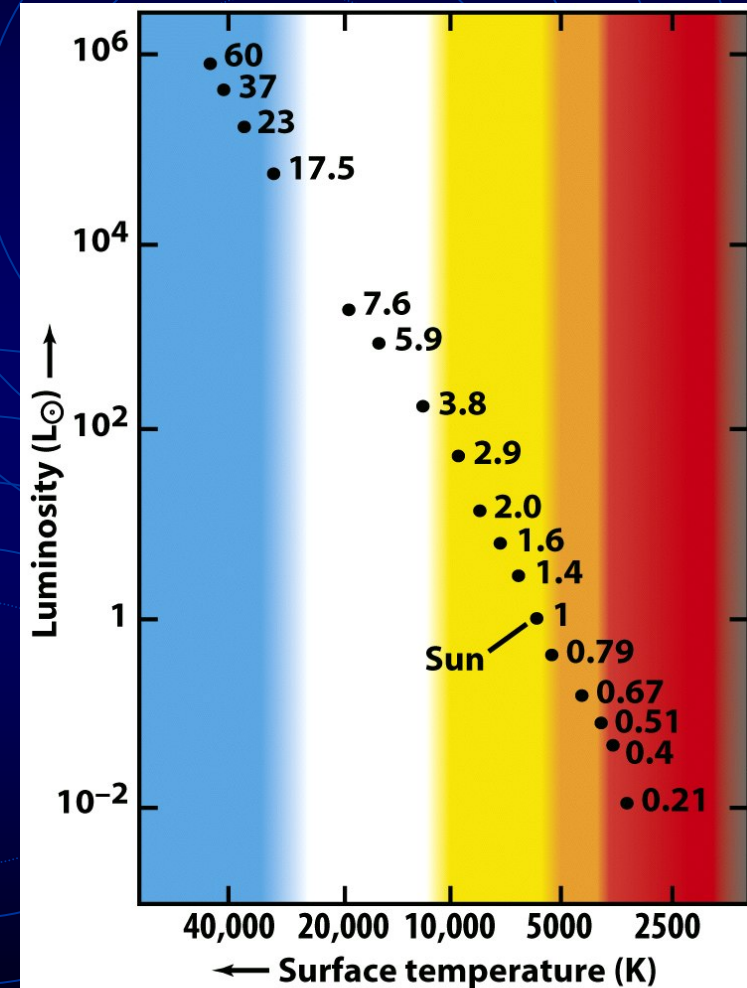


Figure 11-12b
Discovering the Universe, Seventh Edition
 © 2006 W. H. Freeman and Company