

A deep blue, star-filled night sky with a dense field of stars of various colors and sizes. A large, stylized yellow number '6' with a green outline is positioned in the upper right quadrant. The number is slightly tilted and has a soft glow. The background is a rich, dark blue, suggesting a clear night sky with many stars visible.

6

第六章 天體的測量

6-1 天體的性質

6-2 利用光譜測量天體

6-3 恆星的光譜型態

6-4 都卜勒效應

天體距離我們非常遙遠，我們要如何得知它們的性質呢？我們怎麼知道恆星的大小、質量及運動狀態？又如何估計星際雲氣的成分、溫度及壓力呢？就我們所知，宇宙其他角落的物質，其化學基本元素和地球上者相同，也都遵循同樣的物理定律。我們因此能以物理與化學知識，探究宇宙天體的性質。

圖 6-1

6-1 天體的性質

6-1.1 天體的距離

在所有天體性質中，最關鍵但也是最難測量的，就是距離。在第二章中我們提到如何利用三角視差法估計恆星的距離。由於精確測量微小角度的困難，目前視差法只適用於距離約 1kpc 之內的天體。至於更遠的天體，它們的距離要如何估計呢？

要是星團的赫羅圖呈現明顯的主序，那麼我們便可以與已知距離的星團主序相比，而求得距離。或者我們可以觀測星團或星系裡的造父變星，測量出它們的變光週期，換算成光度與視亮度相比也可以估計出距離。

假想有顆星的所有性質，無論是光度、大小、質量、溫度都與太陽完全相同，由於我們知道太陽的性質，那麼只要測量這顆星的視星等，就可以計算出它的距離了。但是我們要怎麼知道這顆星的性質呢？

6-1.1 天體的表面溫度

圖 6-2 為白熾燈泡（輻射體）發光的強度隨波長變化的情形。我們發現強度隨波長成連續變化，且在某個波段處輻射比較強。我們也注意到輻射體的溫度越高，其所發出的輻射越強，且越集中在短波長（或高頻率）的波段。輻射最強處的波長與輻射體的溫度成反比關係。如圖 6-2 所示，表面溫度為 6000K 的輻射體其輻射集中在可見光，而溫度較低的 3000K 輻射體在每個波長的輻射都比較弱，同時在紅外波段輻射最強。相對的，溫度為 12000K 的輻射體，其輻射更強且集中在紫外波段。

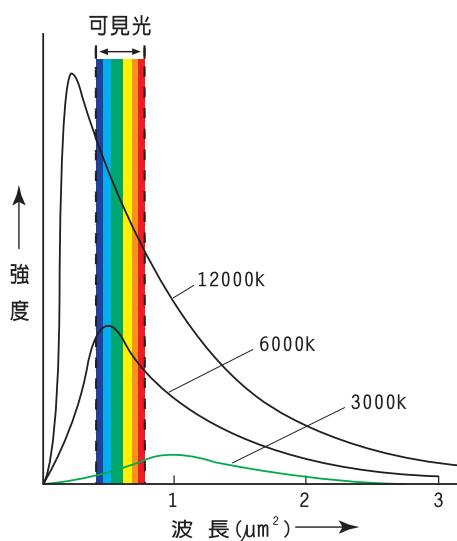


圖 6-2 黑體輻射強度隨波長變化的情形，隨輻射體的溫度而不同。

動動腦：

輻射最強處波長 (λ_{\max}) 與輻射體溫度 (T) 的關係為

$$\lambda_{\max} \cdot T = 0.29 \text{ [cm } \cdot \text{ K]}。$$

人體正常體溫約攝氏 37 度也就是絕對溫度 310K。試估計人體發出輻射最強處的波段為何？

可見光經過我們眼睛、大腦接收後，便感應出各種顏色。圖 6-2 中 12000K 的輻射體所發出的可見光，由於短波長的藍光強度大於長波長的紅光，因此我們看到這個輻射體成藍白色。反之 3000K 的輻射體則呈現偏紅的顏色。

由於不同溫度的輻射體會發出不同顏色的光線，因此我們從天體發光的顏色，便能判斷輻射體的溫度。例如太陽的表面溫度約為 5800K，發出的光線集中在黃光；而天蠍座 α 星表面溫度只有約 2000 度，因此發出紅色的光芒（圖 6-3a）；織女星溫度達 1 萬度，所以呈藍白色（圖 6-3b）。太陽大氣最外層的日冕溫度達一、兩百萬度，輻射集中在 X 射線波段，因此在 X 射線波段觀測太陽，日冕要比光球明亮得多（圖 6-4a）。如第四章所述，天狼 A 為主序星，天狼 B 則為白矮星，在可見光波段天狼 A 的亮度為天狼 B 的 10000 倍，但是在 X 射線波段觀測（圖 6-4b），天狼 B 要比天狼 A 明亮得多。不同的天體可能會發出不同種類的電磁波；即使是同一天體，在不同波段觀測也因為看到來自不同狀態的物質，以不同機制所產生的輻射而看到迥然不同的影像（圖 6-5）。

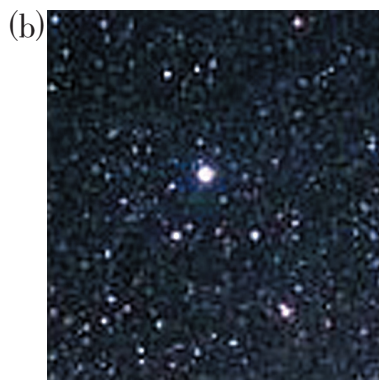
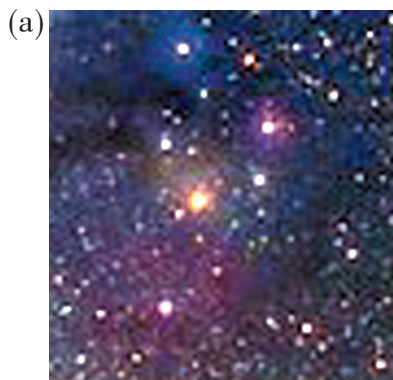


圖 6-3 (a)天蠍座 α 星呈橙紅色。

(b)織女星呈藍白色。

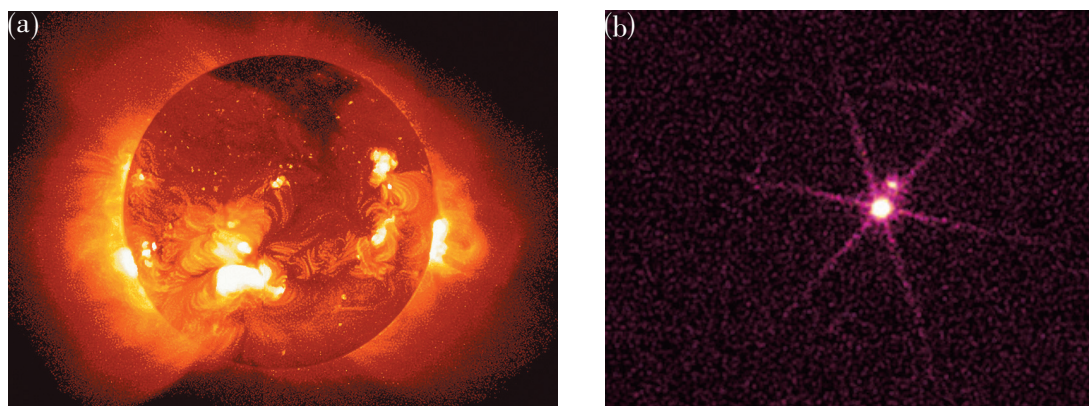


圖 6-4 (a)在 X 射線觀測太陽，高溫的日冕顯得比光球明亮得多。

(b)天狼星系統在 X 射線的影像，其中比較亮的星為天狼 B，右上角的星為天狼 A。圖中的放射狀光芒來自儀器的支撐系統，與天狼 A 或 B 都無關。

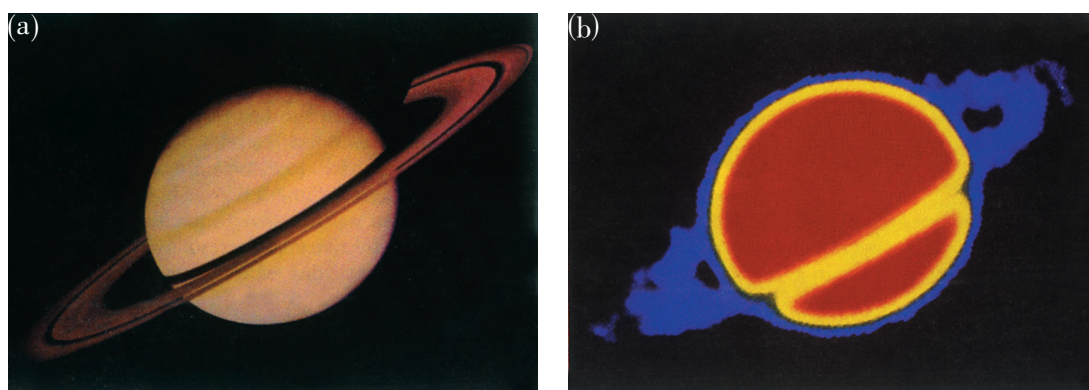


圖 6-5 (a)在可見光拍到的土星影像。

(b)土星在電波波段的影像與可見光影像迥然不同，此處以假色代表輻射的強弱。

注意以上所述利用顏色判斷溫度的原理，只適用於如白熾燈或是恆星這樣自行發光的輻射體。有些物體不會自行發光，而靠反射來自其他光源的光，就不能直接由顏色來判斷這些反光物體的溫度。

動動腦：

日常生活中的物體，像是燈泡、牆壁、桌子、毛衣、太陽、月球，哪些是自己發光？哪些是靠反光？

6-1.3 天體的質量與大小

物體的質量大小決定了它加諸於其他物體的萬有引力強弱，而物體受力大小則影響其運動狀態。因此，要估計某天體的質量，我們可以觀察它周圍其他天體的運動情形。克卜勒第三行星運動定律說明行星繞日的週期，決定於太陽的質量以及該行星與太陽的距離， $MP^2=a^3$ ，式中 M 是太陽的質量，而 P 與 a 則是行星公轉的週期與軌道半長軸。同理，我們能藉由觀測人造衛星的運動，來估計地球的質量。雙星因為彼此萬有引力而互繞，它們的質量也決定了彼此繞行的速度與分離距（參見 5-2）。

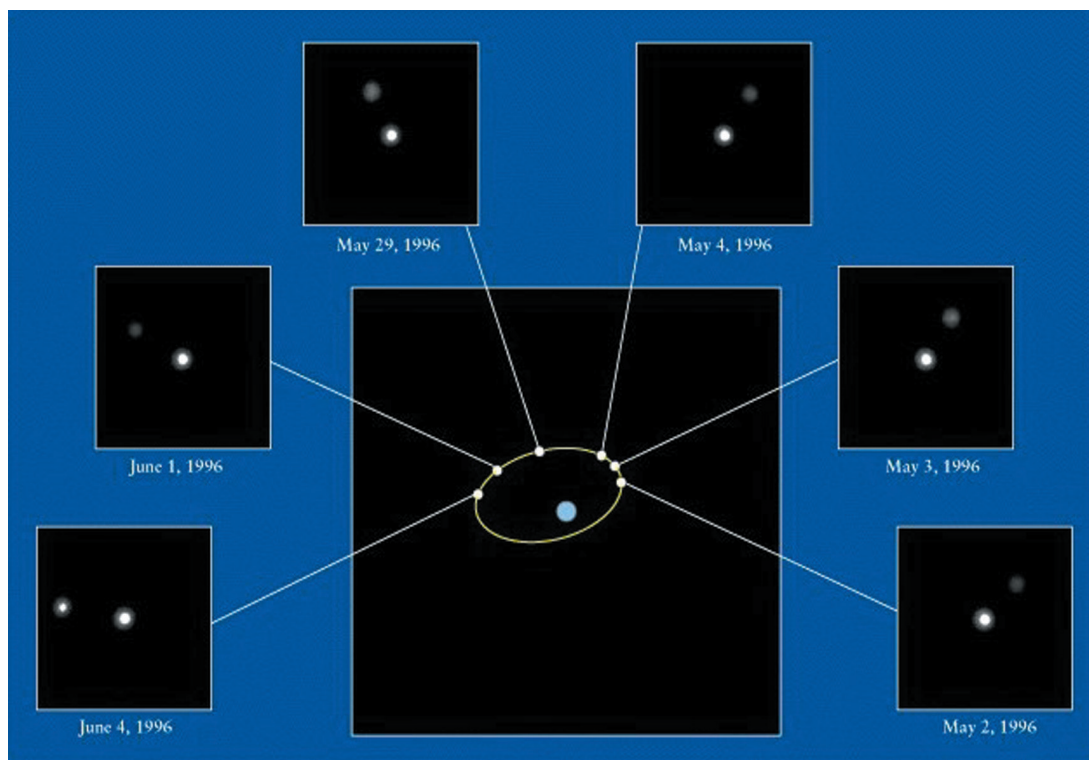


圖 6-6 雙星繞著共同的質量中心運動狀態由個別質量決定。

對於能夠測量張角大小的天體，知道了距離，就知道了它們的直徑。例如太陽盤面的張角約為半度，而距離為 1AU，因此可以推算出太陽實際的直徑大約為 140 萬公里。行星或是它們的衛星也可以依此原理估計它們的大小。至於遙遠恆星張角極小，則必須利用特殊的觀測技術才能直接測量到它們的直徑。知道了天體的直徑與質量便能計算其平均密度。

有一種間接的方法，利用恆星的光度與溫度，能夠估計恆星得大小。試想要是我們知道某顆星的光度（例如知道它的視星等以及距離，或是知道它是哪種特定的星），那麼從其表面溫度便可計算恆星表面單位面積的輻射量，從而便能算出星球輻射的總面積，也就知道了直徑。

動動腦：

位於半人馬座方向的 α 星乃距離太陽最近的恆星，大小與太陽相當，距離太陽4.3光年。試計算半人馬座 α 星的張角為多少角秒。

動動腦：

太陽的平均密度為何？你預期太陽各處密度均勻嗎？為什麼？

6-2 利用光譜測量天體

原子中的電子只在特定的軌域中繞行原子核（圖 6-7），每個軌域能量不同，越接近原子核的軌域能階越低。電子一定處在某個這些特定軌域當中，而不會處於「中間狀態」。當電子處於低能階時，要是獲得適當能量，便能從低能階躍遷到高能階。所謂適當能量，乃恰是兩能階之間的能量差。一旦電子獲得適當的能量，便被激發到高能量狀態。要是所吸收的能量，大於原子繞行中央的原子核。核對於電子的束縛能，電子便被游離，而成為自由電子。

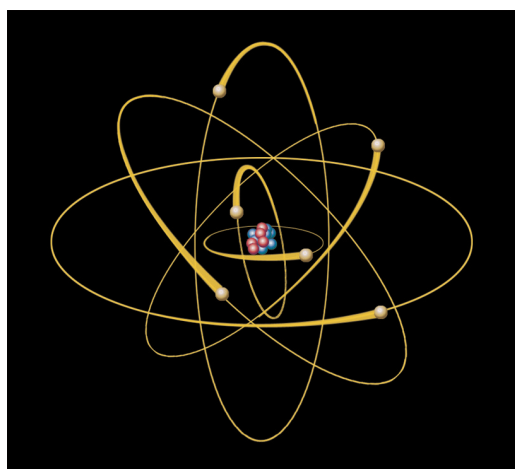


圖 6-7 原子中的電子只在特定軌域繞行中央的原子核。

原子如何能夠獲得能量呢？一種方式是原子間的碰撞，把原子的動能轉換成電子的激發能；另外一種就是**吸收**外來的入射光。對於已經處於高能階的電子，有可能經過碰撞而躍遷到低能階，把能量傳給其他的原子。處於高能量狀態的原子也有可能自己躍遷，因而**輻射**出光線（圖 6-8）。

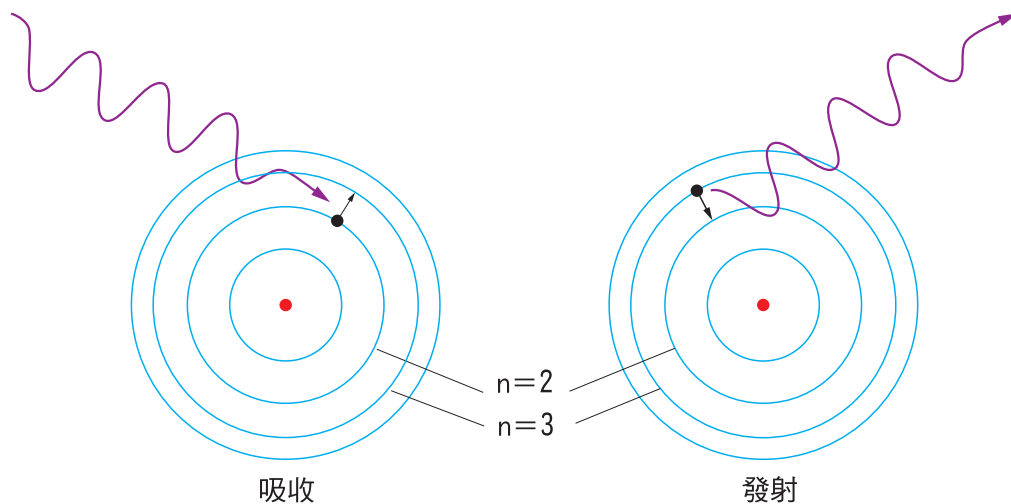


圖 6-8 (a)電子吸收了光線而從低能階躍遷到高能階；
(b)電子從高能階跳至低能階而放出光子。

白熾燈泡發出的光譜為**連續光譜**表示所發出的光具有各種波長，其輻射強度隨波長的改變為平滑連續的。如圖 6-8 所示，要是白熾燈泡前有團低溫氣體，其中的原子都處於低能階狀態，因此白熾燈泡所發出的連續光譜在會吸收掉那些特定能量以躍遷到高能階，我們便在連續譜之上，看到某些吸收線，這樣的光譜稱為**吸收光譜**。當電子躍回低能量狀態，便又放出同樣這麼多能量，一旁的觀測者則看到**發射光譜**。

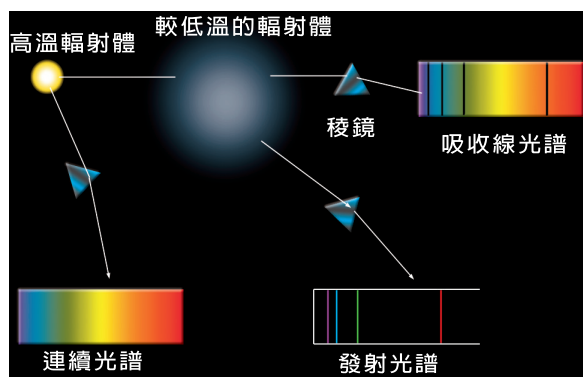


圖 6-9 高溫的發光體發射出連續譜。這些光線要是通過低溫的氣體，某些特定波長的能量會被吸收產生暗線，而產生吸收譜。同樣這團氣體受到激發後，要是從側面看，我們便看到發射譜。

不同元素的氣體所造成的吸收線位於不同波長，而處在不同狀態（例如溫度、密度）的氣體則產生不同系列的吸收線，例如從低能階躍遷到次高能階或是到更高的能階。由此可知，光譜可以用來研究氣體的成分，以及這些氣體所在的物理狀態。

恆星的能源來自中心區域的核反應，越往外圍氣體溫度越低，因此恆星光譜一般屬於吸收光譜，也就是連續譜上存在了吸收線（圖 6-10）。連續譜的形狀接近黑體輻射，反映了光球的溫度，吸收譜線則提供了光球之外氣體狀態的訊息。在 19 世紀中，科學家就已經知道利用物質加熱蒸發後的光譜來研究物質的成份。

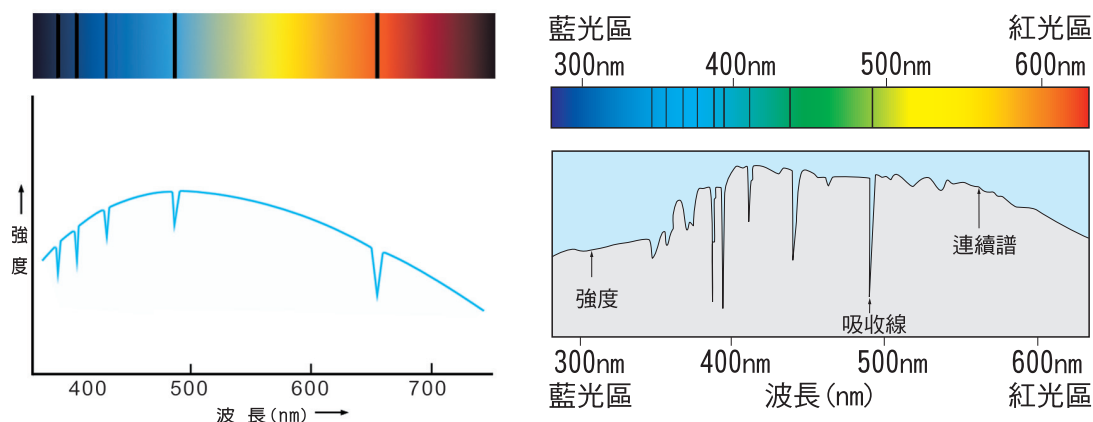


圖 6-10 來自恆星內部的光在某些波長被恆星大氣吸收，我們便看到光譜裡有吸收譜。上圖為恆星吸收光譜的影像。下圖顯示數量上輻射強度如何隨著波長改變。

6-3 恆星的光譜型態

由於特定元素會產生特有的光譜線，因此我們能夠利用光譜分析研究星體的組成。宇宙中含量最多的元素是氫，太陽與其他恆星由星際雲氣形成，主要元素也是氫，在恆星光譜中也容易見到氫元素產生的譜線。在十九世紀末，科學家將恆星光譜分類，依照氫元素的譜線由強到弱，依序從

英文字母 A 排到 P 等型態。廿世紀以後有了原子結構的知識，才逐漸了解恆星光譜型態的意義，而發現捨棄某些型態後，若是依照 O、B、A、F、G、K、M 的順序排列，則是恆星表面溫度由高而低的順序（圖 6-11）。

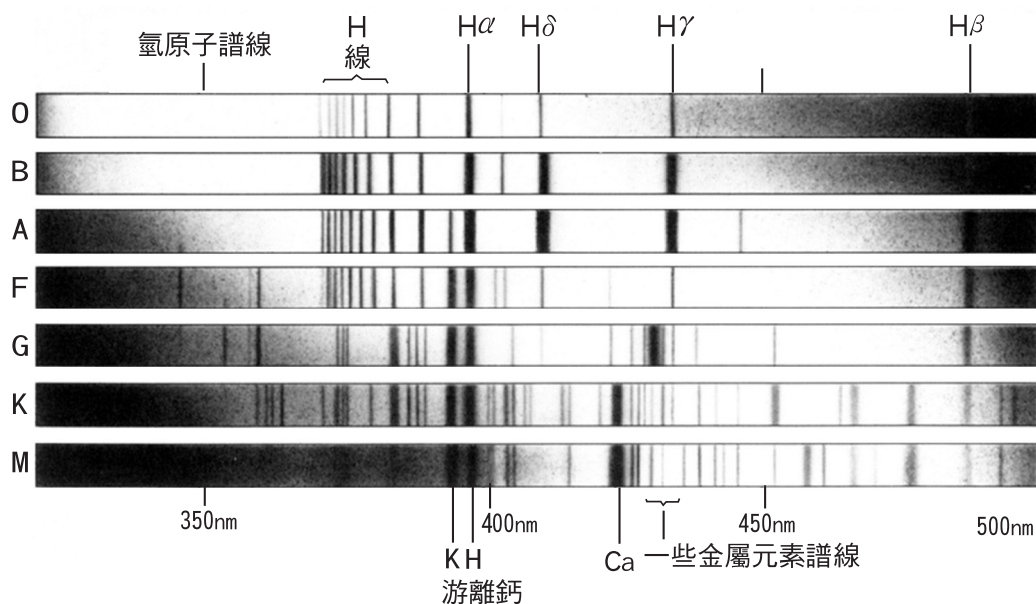


圖 6-11 主要的光譜型態，由上而下從 O、B、A、F、G、K 到 M，恆星的表面溫度越來越低。橫軸表示波長，暗黑的吸收譜線來自處於不同狀態的不同元素。

O 型星的表面溫度最高，達 35000K 以上，在這樣的高溫狀態下，氫原子都已經游離了，因此 O 型星光譜中比較明顯的譜線，來自不容易游離的元素。在圖 6-11 中，M 型星的表面溫度最低，只有 3000K 左右，光子的能量不足以有效激發處於低能階的氫原子，因此光譜中呈現其他元素（例如鈣、鈉以及一些分子）的譜線。氫原子譜線在 A 型星（表面溫度約 10000K）中最明顯，而在其他高溫或低溫的狀態下，雖然星球表面仍有大量氫氣，卻沒有在光譜中展現出來。研究不同元素譜線之間的相對強度，便能夠讓我們研究這些氣體所處的狀態。

6-4 都卜勒效應

地球本身自轉或公轉會造成天體「看起來」會運動，例如日、月、星辰每天的東起西落，是由於地球自轉造成的現象；而不同季節夜空的不同，則是因為地球繞日公轉造成的。

銀河系中的恆星和太陽一樣都繞著銀河系中心運行，因此星球在空間中也會改變位置。星球與我們的相對運動可以視為兩種方向的合成，如圖 6-12 所示，一種沿著視線方向（徑向），另一種垂直視線方向（橫向）。橫向的運動稱為**自行運動**，其結果是星球在天球上位置會改變。但是恆星距

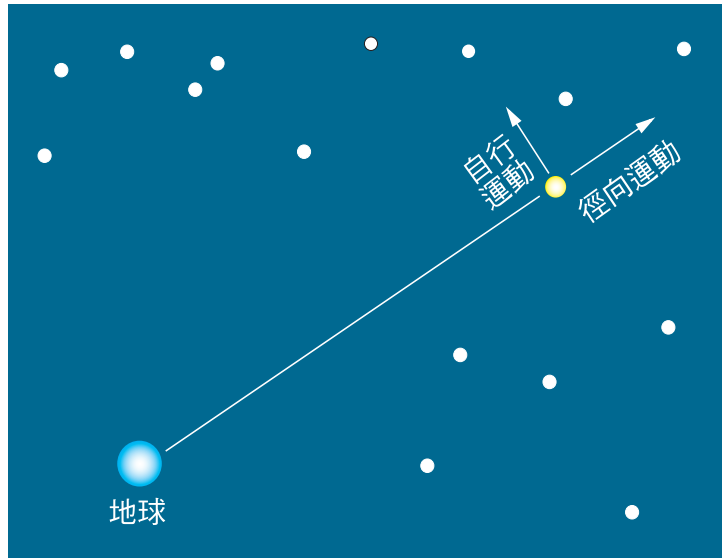


圖 6-12 天體看起來的運動可分為沿著視線方向的徑向運動，以及垂直於視線方向的自行運動。

離遠，自行運動非常慢，通常百年內才移動數角秒，肉眼無法察覺，而必須依靠精密的儀器才測量得出。

至於徑向的運動，則無法用位置的改變來察覺，要測量這種運動必須依賴**都卜勒效應**。設想某甲站在湖邊拿竹竿每秒敲一次水面，在湖的另一端某乙如果站著不動，他會每秒收到一個訊號（波峰）。但是如果乙（觀測者）向甲（波源）接近，他在一秒鐘內收到的訊號就會不只一次，因為他「追上了」原來應該等一會才會收到的訊號，也就是他偵測到的頻率變快了。乙向著波源接近的速度愈快，追上的程度愈多，頻率的增加也就愈大。這個結果無論是觀測者向著波源接近或是波源向著觀測者接近，結果都是一樣。相反地，如果觀測者遠離訊號源，那麼觀測者所接收到的頻率

就會比原來發出的慢。以上的現象就是都卜勒效應（圖 6-13）。要注意都卜勒效應與波源的距離無關，同時只與徑向運動有關，而與橫向運動無關。火車要進站時，月台上的人覺得鳴笛聲似乎比較高亢、離站時鳴笛聲則較低沉也是一樣的道理。同時間坐在火車上的人則不覺得頻率改變。公路上的警察發出雷達波，然後以車輛反射的雷達波頻率（頻率的改變）來判斷車輛行進是否超速，也是利用這個原理。

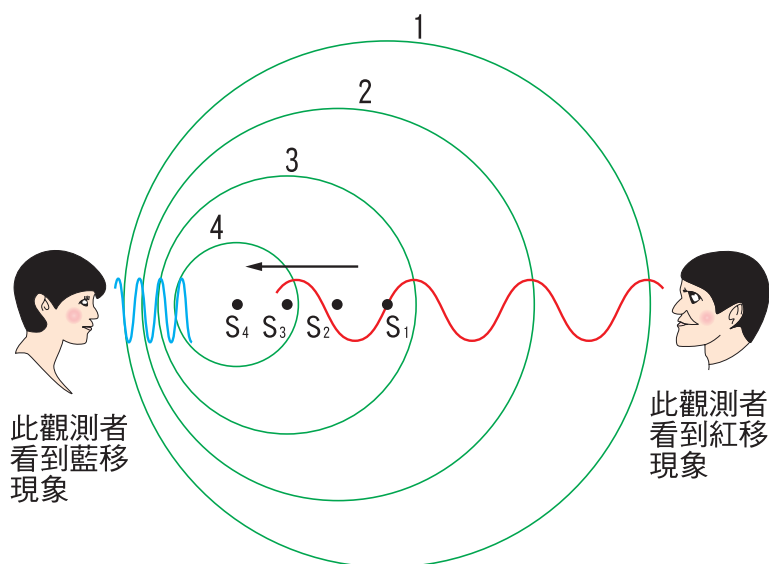


圖 6-13 觀測者與波源之間的相對運動，會造成觀測到的頻率的改變。觀測者與波源彼此接近，所測到的頻率會增加（波長變短），而若是彼此遠離，則測到的頻率會降低（波長變長）。

因為組成天體的原子、分子會發出固定頻率的譜線，因此經由測量譜線頻率的改變，我們就能估計天體在視線方向的運動速度。例如氫氣的某條譜線在實驗室裡，波源與觀測者沒有相對運動的情況下，所測量到的波長為 6563 埃，要是波源與觀測者互相接近，那麼觀測到的頻率會增加，也就是波長會短於 6563 埃，我們稱此為**藍移**現象。相反的，如果波源遠離觀測者而去，所觀測到的波長就會比 6563 埃來得長，也就是譜線有**紅移**的現象。無論是藍移或紅移的程度（觀察到的波長與靜止狀況下波長的差別），都與相對速度成正比。天體雖然極其遙遠，科學家卻可以利用日常生活及實驗室中獲取的知識來研究它們。

作 業

1. 溫度高的輻射體顏色偏藍白，溫度低的則偏橙紅。我們卻不能依此判斷藍色毛衣比紅色毛衣溫度高，為什麼？
2. 警方與軍方配備的夜視鏡的主要目的在漆黑的夜晚偵測人員的行動。夜視鏡是偵測哪個波段的電磁波？為什麼？