

絢爛的帶狀銀河，明亮的部分是恆星和發光的雲氣，形狀不規則的濃密雲氣與塵埃夾雜其中，因為遮蔽了背後的天體亮光，在背景的襯托下顯得黯淡。



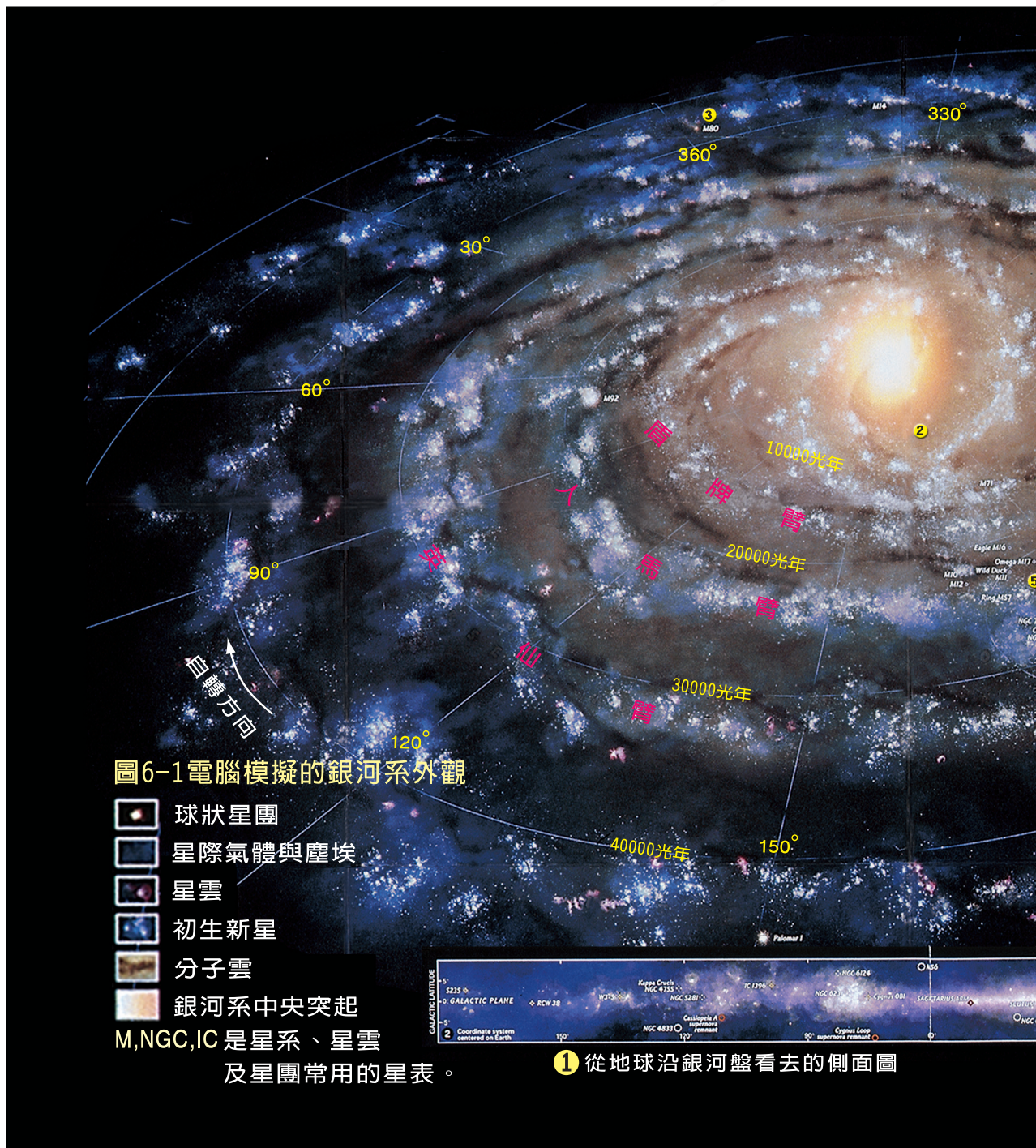
# 第七章 銀河系

7-1 太陽在銀河系中的位置

7-2 銀河系的結構

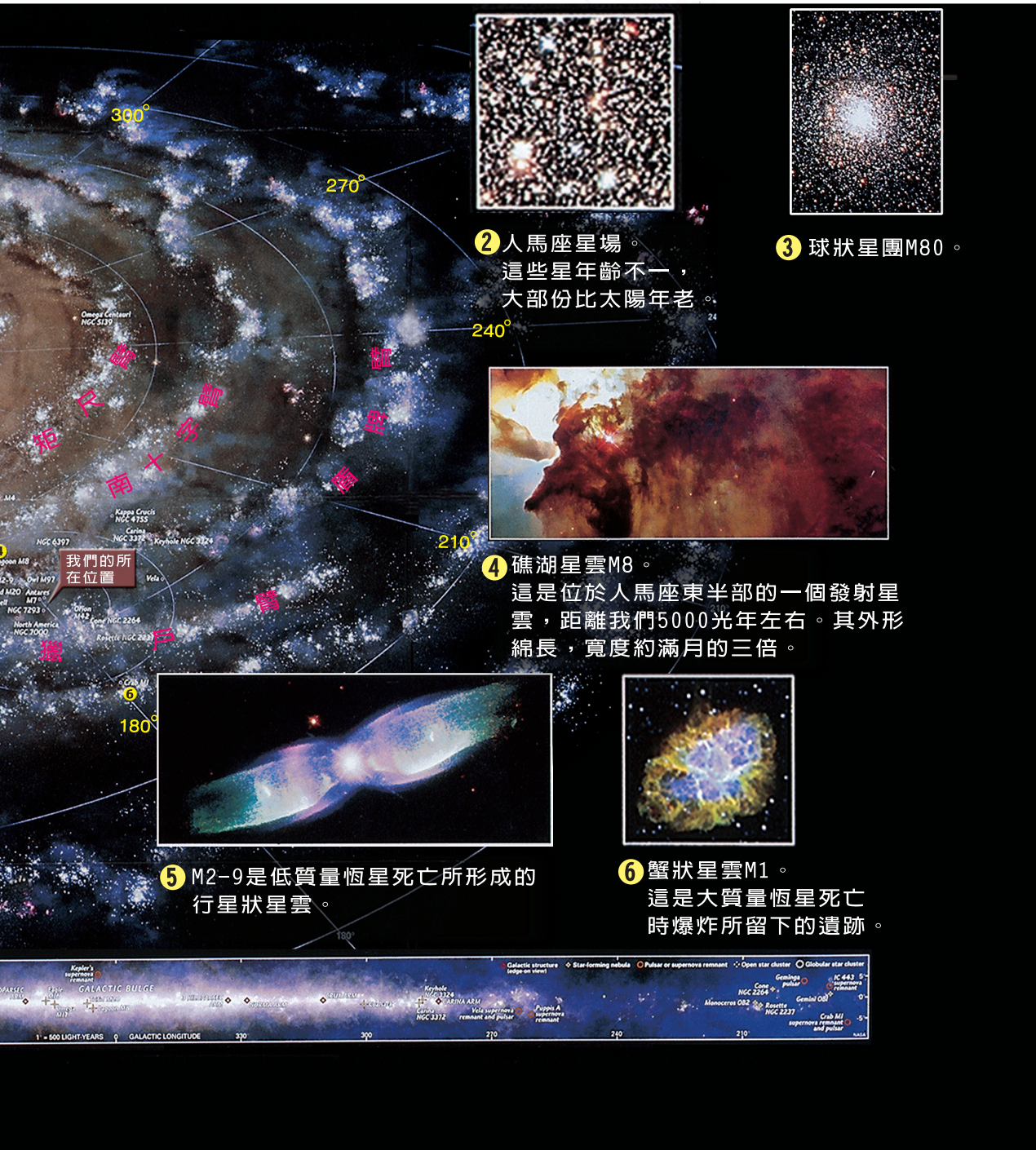
7-3 銀河系的活動

7-4 銀河系的演化





橫跨天際的乳白色銀河是什麼？銀河系有多大？太陽處於銀河系中哪個位置？銀河系是由哪些天體組成的呢？這些天體如何運動呢？



## 7-1

# 太陽在銀河系中的位置

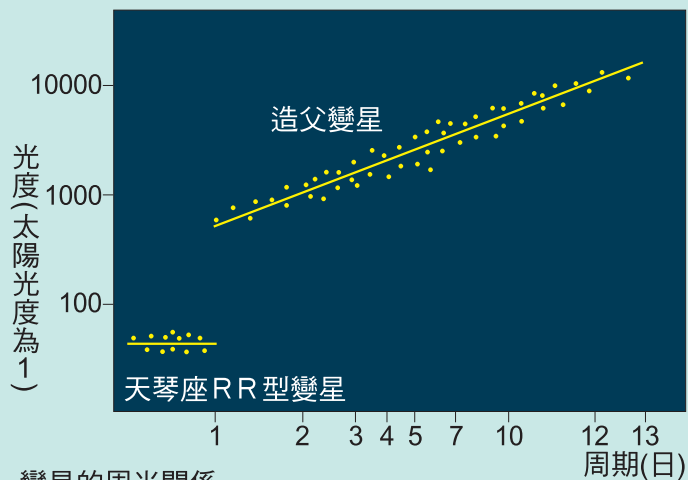
人類對世界的認知經歷地心說到日心說，長久以來一直以為所見到的星空，就是整個宇宙。直到十七世紀，伽立略率先將望遠鏡指向星空，赫然發現還有許多肉眼看不到的暗星，而讚嘆數目之多簡直不可思議。

十八世紀時，赫歇爾兄妹發現靠近銀河帶狀範圍的星球個數最多，離銀河帶越遠，星球越少，但沿著銀河帶則各方向數量相當，因而斷定銀河系為扁平狀，太陽居於中心。

1920 年代，沙普利發現大型星團多集中於人馬座方向，因此判斷它們乃圍繞銀河系中心分布。他利用這些星團當中的天琴座 RR 型變星的週光關係，據以推算其距離，因而推測銀河系中心離我們數萬光年。

變星的週光關係

造父變星的光度呈週期性變化，天文學家李薇特 (Henrietta Leavitt, 1868 ~1921) 於 1912 年發現，這類變星的光度越大，其變化週期越長。



由於亮度變化週期可容易從觀測得知，我們便能由週光關係得知變星的光度，然後和視亮度比較，而估算出該星體的距離。1923 年哈柏便以此法得知仙女座星系遠在二百萬光年外，乃銀河系外的天體。

隨後沙普利發現大型星團中的另一類天琴座 RR 型變星，也具有類似的規律性，只是光度變化週期較短，以小時計，變星間光度差異不大，此類變星是估計大型星團距離的理想工具。



圖 7-2 所示為目前我們所認知的銀河系外型。從銀河盤面上方往下看，它具有旋臂結構，其外形可能很像仙女座星系(圖 7-3)。從銀河盤的側面看，中央部分的中央突起像個凸透鏡，大型星團則分布在銀河暈中。沿著銀河盤面看過去，天體聚集成朦朧的帶狀銀河(章頭圖)，銀河盤的最中心區域位於人馬座方向，距離太陽約 2 萬 8 千光年。

圖 7-2 銀河系結構的示意圖。銀河系分為銀河盤、中央突起和銀河暈三部分。正面看銀河盤，它具有旋臂結構。由側面看卻像是個凸透鏡；大型星團則分散於盤面上下四方，構成銀河暈。

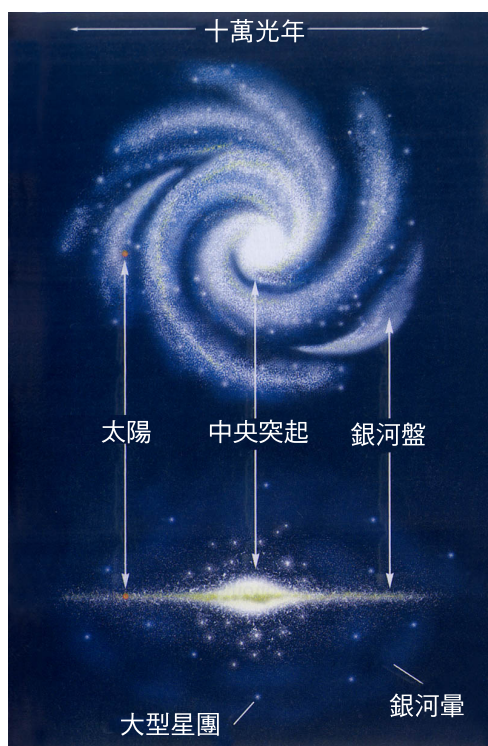


圖 7-3 M31 是個螺旋星系。

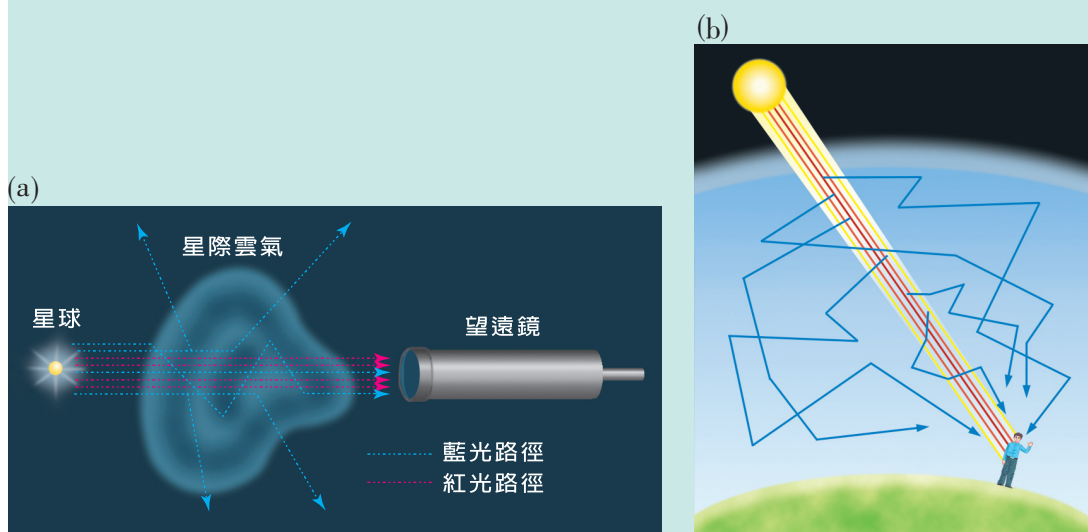
既然我們在銀河盤的一側，而不在中心，用望遠鏡應該看到銀河帶某一邊的星球個數多於另外一邊，那為什麼赫歇爾兄妹看到的不是這樣呢？原來星際太空並非空無一物，而存在了氣體和灰塵，受到這些星際物質的遮蔽，其實當時只觀測到太陽附近的小塊區域，加上誤以為星球發光能力相同，錯估了星球在太空中的分布，而以為各個方向均勻。



### 星際物質的消光和紅化現象

星際間的氣體和塵埃可以將部分的星光吸收、反射、散射，使得其背後的天體顯得較黯淡，這種現象稱為**星際消光**。消光的程度尤其對短波光線（如藍光）特別顯著，因此我們看到的星光要比實際來的偏紅，這就是**星際紅化**效應，同樣的作用造成了紅色的落日及月全食時月面的深紅色。

天體周圍的雲氣越濃密，或是距離我們越遙遠，消光與紅化效應便越明顯。有些星球被越濃密的雲氣包圍而顯得又暗又紅，必須在消光程度低的長波才觀測得到。星球附近的雲氣有時因為散射星光卻呈現藍的顏色，這和白天的天空呈現藍色的原理是一樣的。



(a)星球變暗且偏紅，而附近的雲氣偏藍色。(b)經過大氣層作用，落日與月全食的月面偏紅，而白天的天空呈藍色。

想一想，在月球上，天空和落日會是什麼顏色？

動動腦：

假使太陽系真的在銀河系中心，銀河帶將變成什麼樣子？如果太陽位於銀河盤邊緣或銀河暈當中，又將如何？



## 7-2 銀河系的結構

在銀河盤、中央突起和銀河暈這三區當中，天體種類、特性及分布各銀河盤直徑約 10 萬光年，除了包含恆星，還有各式冷、熱、疏、密不一的星際物質，其總量大約是恆星質量的 10%。恆星之間的空間，每立方公分平均只有一個氣體粒子，塵埃顆粒更少，若與地球海面上大氣的密度 (1019 分子 / 立方公分) 相比，星際物質是相當稀薄的，幾近真空！

銀河盤內的天體分布不均勻。有些恆星受到萬有引力的作用成群聚集，形成**疏散星團**（圖 7-4），每個星團由數十顆到一、兩百顆恆星構成，很少超過三百顆，分散在數十光年內，呈現不規則形狀，星團年齡約數百萬年到數億年（圖 7-5），目前已知的疏散星團數量約 2 千餘個。盤面有數支從銀河系中央向外延伸的旋臂，是天體分布密度高的區域，太陽就在獵戶座旋臂的內側。旋臂上有濃密的氣體和塵埃，可達每立方公分含 106 個分子，並且有較多的亮星和明亮星雲（參考跨頁圖），以及剛從同一個分子雲裡集體誕生的聚星和星團（圖 7-6，圖 7-15）。



圖 7-4 天蠍座蝴蝶星團 M6 是個疏散星團，利用雙筒望遠鏡就可以看到，外形輪廓像隻蝴蝶。它的大小約為 20 光年，距離我們約為 2000 光年左右。

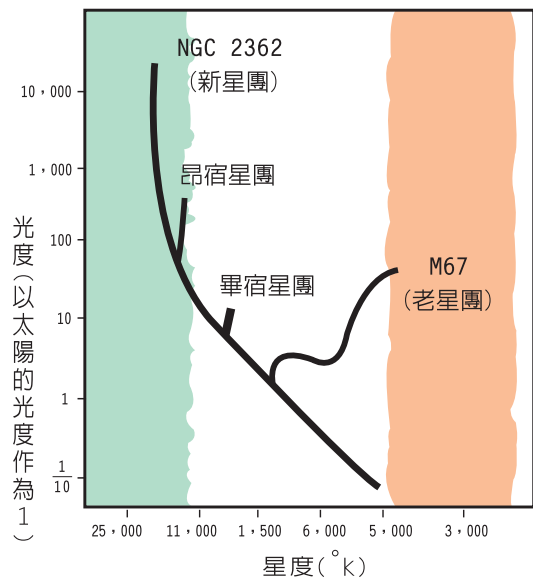


圖 7-5 四個不同年齡的疏散星團之赫羅圖。



銀河盤面有數支旋臂，其中氣體和塵埃濃密，可達每立方公分 106 個分子，旋臂上有較多的亮星和明亮星雲（圖 7-1），以及剛從同一個分子雲裡集體誕生的聚星（圖 7-6）和星團。

中央突起的大小約 1 萬光年，恆星和雲氣緊密分布。由於嚴重的星際消光，我們無法藉由光學望遠鏡一探銀河系中心的真面貌，但是透過其它波段的觀測，發現該處有強烈的無線電波、紅外線及 X 射線輻射，高溫氣體正旋入其中（圖 7-7）。由銀河系中心附近雲氣與恆星的高速運動，一般認為中心有個大質量黑洞，其質量可能高達太陽質量的兩百多萬倍（請見實習）。

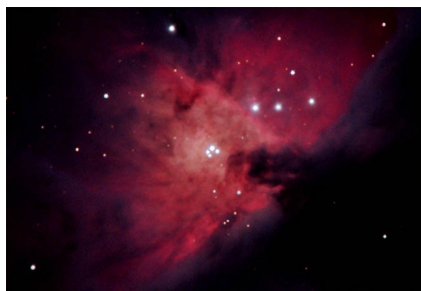


圖 7-6 獵戶座大星雲內側形成的四合星。

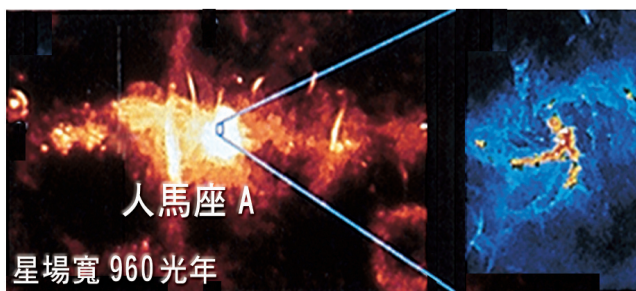


圖 7-7 這是利用無線電波觀測取得的影像。銀河系中心位於人馬座 A 區內。

銀河暈的星團數量大約 200 個，這些大型星團各自包含約數十萬到數百萬顆的恆星，密集在數十光年之內，因為萬有引力束縛成一個球形結構，故稱為**球狀星團**（圖 7-8），星團越中心處的恆星分布越緊密。球狀星團中的恆星年齡約 120 億年到 150 億年（圖 7-9），大質量恆星多已死亡，又星團中幾乎沒有氣體和塵埃，因此不容易再有恆星形成的活動。

#### 動動腦：

在球狀星團稠密的中央區域，恆星間的距離平均只有 0.1 光年。如果球狀星團中的恆星，其大小及發光能力類似太陽，而太陽系位於球狀星團的中央區域，試想像當太陽西沉，夜空可能會變成什麼樣子？



圖 7-8 武仙座的大型球狀星團 M13。它是最顯眼且最著名的星團之一，用雙筒望遠鏡就可以觀測到，形狀像盛開的繡球花。M13 距我們約 2 萬 5 千光年，大小約 150 光年，由數十萬顆星密集而成。

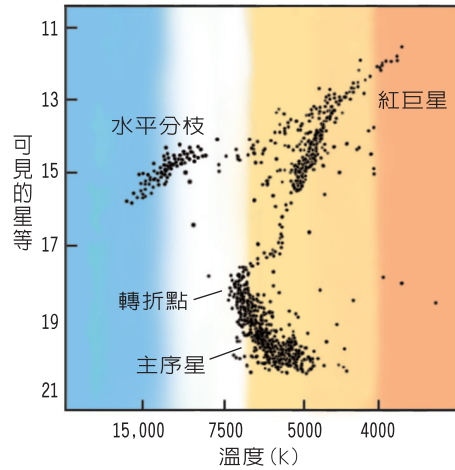


圖 7-9 球狀星團 M55 的赫羅圖。從轉折點判斷其年齡約 150 億年。

## 7-3 銀河系的活動

太陽系的行星繞著太陽公轉，銀河系內的恆星如何運動呢？

### 7-3.1 天體的運動

銀河盤上的恆星繞著銀河系中心運行，軌跡接近正圓形，方向一致（圖 7-10a）。以太陽為例，它以每秒大約 220 公里的速度運動，大約需 2 億 4 千萬年繞行一圈。銀河暈內的球狀星團也繞銀河系中心轉，只不過軌道並非圓形，而是穿過銀河盤面的橢圓，運行方向凌亂（圖 7-10b）。

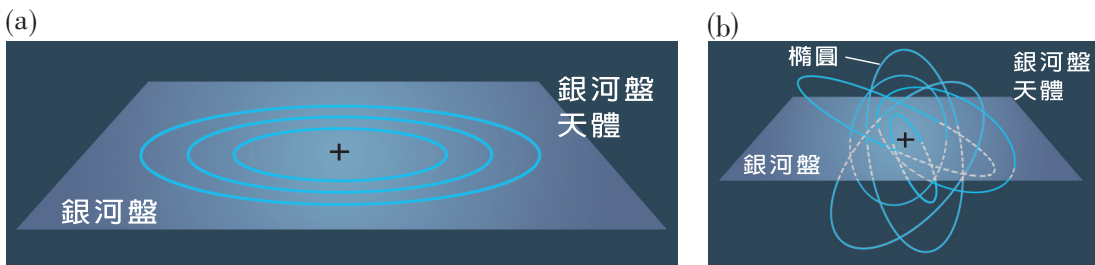


圖 7-10 (a)銀河盤上的天體運動軌跡近乎圓形。  
(b)銀河暈內的天體沿著不同的橢圓軌道運行。



依距離銀河系中心遠近不同，恆星的軌道週期就不一樣。比較之下，在太陽附近，軌道內側的天體先繞完一圈，外側天體則最後，我們稱這種現象為差異轉動。太陽系行星的公轉也存在差異轉動，離太陽越遠的行星，軌道週期越長。沒有差異轉動的情形就像雷射唱片之類的剛體，內側和外側同時轉完一圈，週期相同。銀河盤差異轉動的破壞力使得疏散星團在自身萬有引力無法抵擋的情況下，往往會被扯散。

圖 7-11 是銀河系中恆星軌道速度隨著距銀河系中心距離變化之轉動曲線。可發現曲線呈現平坦的趨勢，也就是恆星的運動速度近乎定值，並不隨離中心距離而不同。這和行星的運動是不同的，太陽系越外圍的行星其軌道速度越慢，關係是克卜勒曲線。這是因為太陽系

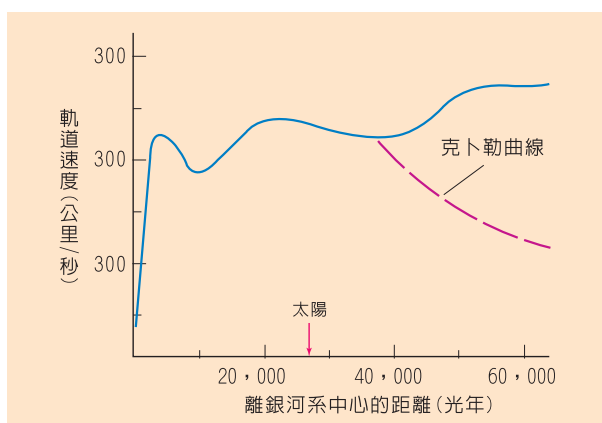


圖 7-11 銀河盤中的恆星運動與克卜勒行星運動的比較。

的質量幾乎全集中於太陽，行星軌道內側的總質量為定值；而銀河系的質量分散，隨著離銀河系中心距離增加，其軌道內側的總質量也相對增大，在距離變化與內側總質量變化兩相平衡之下，天體的軌道速度便大致相等，然而外圍的恆星因為軌道較長，繞行的週期仍然比較長。

觀察發現在銀河系外緣極為黯淡、少有天體處，轉動曲線仍然保持平直，表示質量仍隨著半徑而增加，因而判斷銀河系內存有大量暗物質。很多其他星系的周圍也都有暗物質，但是我們對於這些黑暗物質的組成、分布、數量仍知道的非常少。

動動腦：

請由銀河系內不同軌道上速度之快慢，驗證其差異轉動現象。同理說明太陽系的差異轉動。哪一個系統的差異轉動較為顯著？

### 7-3.2 旋臂的生機

圖 7-12 是太陽附近的 OB 亮星分布。受到星際物質的遮蔽，遠方的星光都被吸收或反射掉了，因此沿著銀河盤面無法看得很遠，在可見光波段只能觀測到幾萬光年，卻已經能明顯看到 OB 亮星分布成三個片段，這就是銀河系的旋臂結構。利用電波觀測分子雲，能夠清楚的繪製出銀河系的旋臂結構。太空中還有很多星系也和銀河系一般具有旋臂結構。

旋臂到底是什麼呢？旋臂就是密度波的擠壓區域。這些波傳遞的速度慢於恆星繞行銀河系運行的速度，因此恆星在通過這些區域時，會因萬有引力增強而暫時減慢。這個效應有如高速公路上的車流，間歇會有擁擠（密度高）的路段。這樣的密度波會緩緩移動，而個別車輛雖然在通過塞車路段時速度會減緩，但是平均車行速度還是比密度波的速度快。一般相信銀河系中某些擾動造成星際物質局部集結，這些密集地區增強的萬有引力，又引發更明顯的聚集現象，加上銀河系的自轉，便形成了旋臂。旋臂上的恆星不是固定的一群，一群遠離會有另一群靠近，因此旋臂的樣子得以維持很久。

旋臂上濃密的星際物質，受到旋臂後方來的雲氣擠壓、結合，會誘發重力收縮而形成新的恆星（圖 7-13）。大質量恆星耀眼的藍色光芒綴飾出旋臂亮麗的外觀（圖 7-1），這些恆星演化快速，死亡時的爆發將重元素散布在星際太空，並將旋臂濃密的雲氣擠壓得更緊密，而促發新一代恆星的形成。

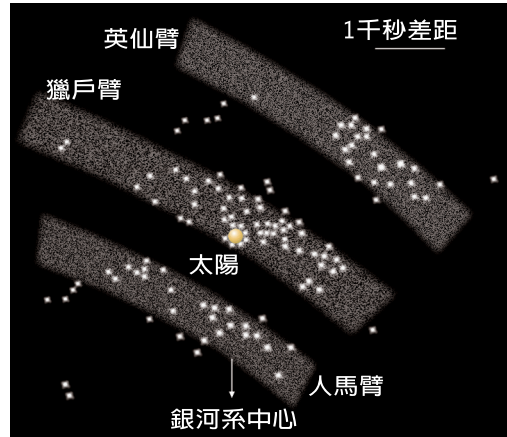


圖 7-12 太陽附近的 OB 亮星分布成三個片段。太陽在獵戶座旋臂內側。

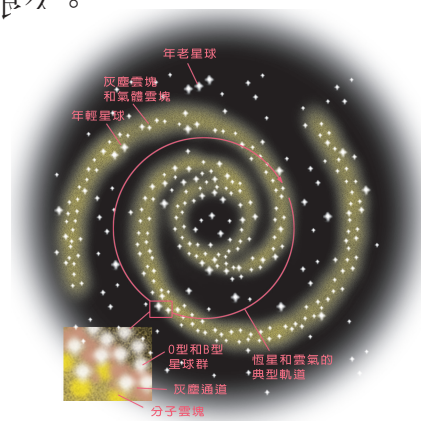


圖 7-13 星際雲氣進入旋臂，被擠壓而塌縮形成星球。



大質量亮星壽命短暫，還來不及離開旋臂便死亡，因此 OB 亮星集中在旋臂附近。這些高溫恆星輻射的強烈紫外線，會激發周圍的氫原子雲，雲氣因此便發出耀眼的紅色輝光（圖 7-14），稱為發射星雲。此外，旋臂上還有反射星雲，因為散射了周圍星球的較短波光線而偏藍色（圖 7-4），以及黑暗星雲。超新星爆炸後，高速擴散的氣體與雲氣碰撞而加熱，也會使得雲氣發光（圖 7-15）。相對於大質量恆星，低質量恆星的壽命長，於形成後離開旋臂而充斥於銀河盤面上。



圖 7-14 三裂星雲。



圖 7-15 船帆座超新星遺跡。這是萬餘年前一顆恆星發生猛烈爆發，外殼物質高速向外飛馳所致。

## 7-4 銀河系的演化

圖 7-14 是太陽附近的 OB 亮星分布。受到星際物質的遮蔽，遠方的星光都被吸收或反射掉了，因此沿著銀河盤面無法看得很遠，在可見光波段只能觀測到幾萬光年，卻已經能明顯看到 OB 亮星分布成三個片段，這就是銀河系的旋臂結構。

銀河系的來源說法不一，有種理論認為，一百多億年前銀河系始於一大團收縮的雲氣，旋轉的雲氣在收縮的過程中變成了扁平狀。早期形成的恆星留在遠離中心之處，也就是球狀星團，這些星團依各自軌道朝不同方向運行，構成了銀河暈。旋轉的雲氣收縮後的結果，氣體和塵埃聚集在銀河盤上，在此形成銀河系中較年輕的恆星和星團，由於一代代的恆星演化，製造這些天體的雲氣富含複雜的元素。銀河盤中仍保留了大量的雲氣，與恆星以近乎圓形的軌道朝相同方向繞行銀河系中心（圖 7-16）。

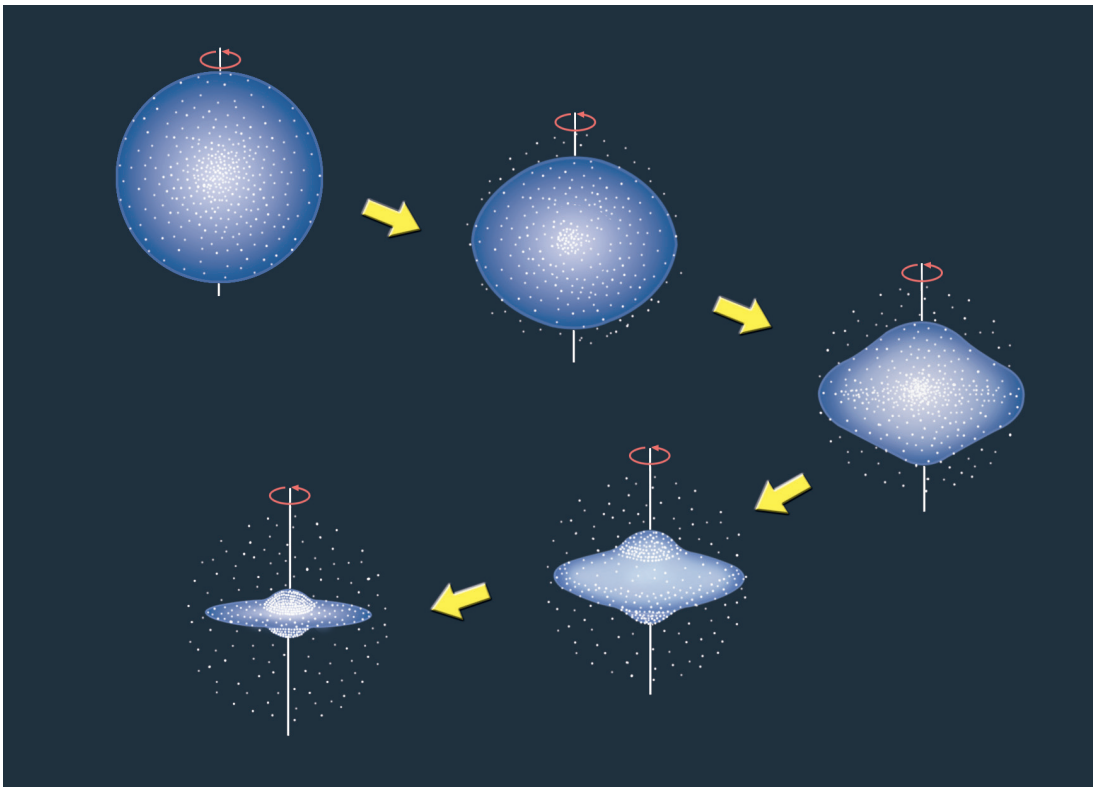


圖 7-16 銀河系的演化。銀河系源於一團收縮的雲氣



恆星演化末期將一生製造的重元素拋出，隨著時間增長星際物質的重元素含量也不斷地增加，所形成的下一代恆星便含有較高比例的重元素，稱為第一類星族，太陽便是這類的恆星。相對而言，銀河暈內的恆星在銀河系早期就形成，其重元素比例較低，我們稱之為第二類星族。表 7-1 比較銀河暈與銀河盤中的星團性質。中央突起則含有第一類與第二類星族的恆星，但通常比太陽年老。

表 7-1 銀河系中兩類型星團的比較

星團種類	疏散星團	球狀星團
分布位置	銀河盤	銀河暈、中央突起
外形	不規則形	球狀對稱
大小	數十光年	數十光年
含恆星數	數百顆	數十萬至數百萬顆
恆星種類	第一類星族	第二類星族
年齡	數百萬年至數十億年	120 億年至 150 億年
運行軌道	近乎正圓形、共平面	橢圓形、不共平面

但是另有一種說法，認為銀河系可能來自多個星球系統碰撞、合併的結果，逐漸變成現在的規模，而球狀星團就是吸積合併的遺跡。顯然關於銀河系的起源，還有許多尚待努力之處。

動動腦：

太陽系的外觀如銀河系盤面一般，都成扁平分布，試從形成的機制思考原因。

## 作 業

1. 赫歇爾兄妹對銀河系形狀與結構的研究犯了哪些錯誤？造成錯誤的原因為何？
2. 就恆星與星際物質之間的關係，說明為何球狀星團中少有 OB 亮星。
3. 如果銀河系中心真有個質量百萬倍太陽大的黑洞，根據  $R=2GM/c^2$ ，推算此黑洞的有效半徑  $R$ 。
4. 每天晚上 8 點和 12 點的星空會相同嗎？主要原因為何？每年 6 月與 12 月的星空會相同嗎？主要原因是什麼？靠近哪一個星座的銀河會較亮或較暗？1 億年後，星空、星座形狀會相同嗎？為什麼？
5. 除了本書所介紹的以外，另外還有英仙座雙星團、半人馬座  $\omega$  星等著名星團。同學們可從網路、星圖或書刊上，查閱其圖片、所在星座、距離、大小及所屬星雲或星團形式等等相關資料，有機會不妨拿望遠鏡抬頭辨識一番。