

哈柏太空望遠鏡所拍到的遙遠星系影像

第八章 星系和宇宙

8-1 星系與星系團

8-2 近代宇宙學的發展

8-3 宇宙的創生與演化

宇宙有多大？過去是怎樣？未來又是如何？這些亙古以來人類常問的問題，隨著科學與技術的進步，我們正試著尋找解答。

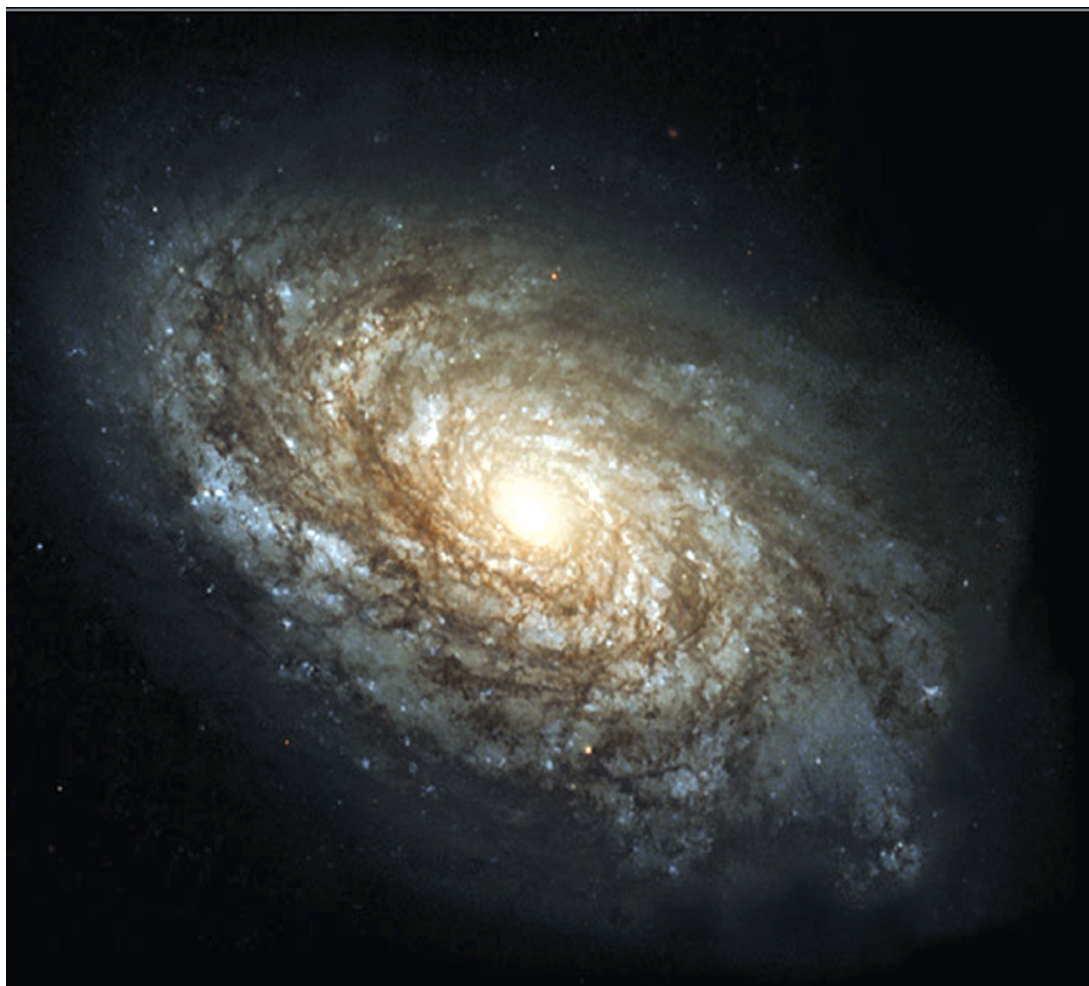


圖 8-1 星系是宇宙的基本組成個體，如果宇宙是棟高樓，星系就是組成大樓的磚塊。每個星系由恆星、雲氣、塵埃聚集而成。

8-1 星系與星系團

星系是由許許多多的恆星、氣體及塵埃所組成的龐大系統，這些星系散布在宇宙之中，就像大海中一個個的島嶼，所以從前的天文學家稱星系為「島宇宙」。我們的銀河系便是其中一個星系。

8-1.1 星系的分類

星系依照外型可分成**橢圓星系**、**螺旋星系**以及**不規則星系**三大類。

橢圓星系的外觀看起來呈橢圓形或圓形，這些外型並不代表橢圓星系的真正形狀，而只是我們看到橢圓星系一個方向的樣子，這個道理就像一個橄欖球從對稱軸心看是圓形，從側面看則是橢圓形一樣（圖 8-2）。

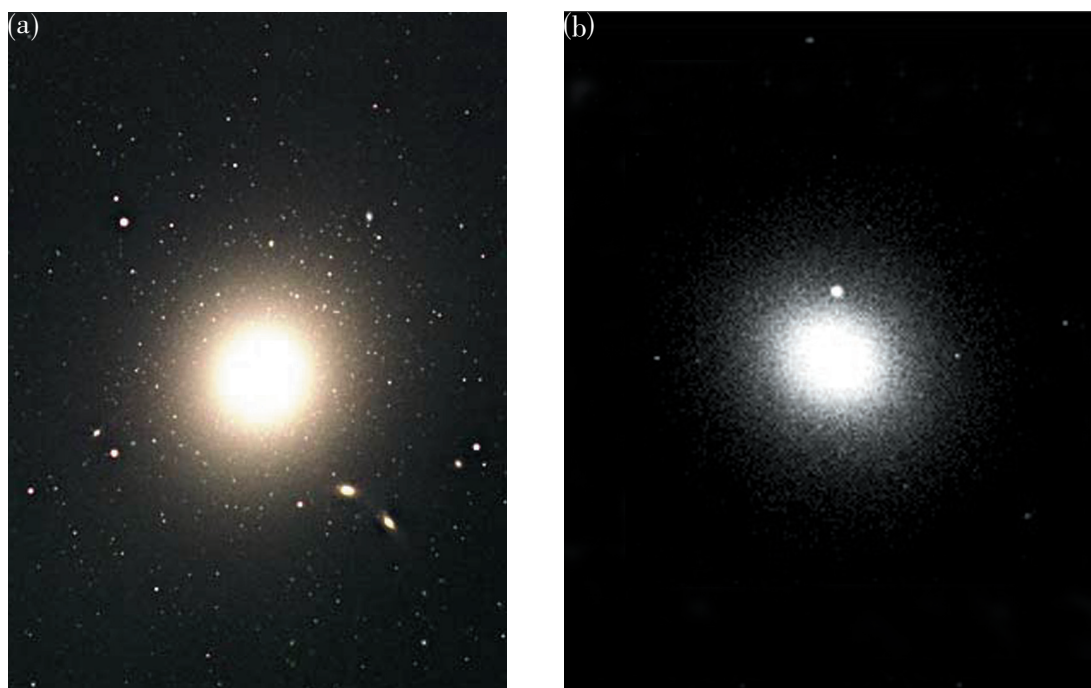


圖 8-2 橢圓星系的外觀可能是圓形(a)或橢圓形(b)。

橢圓星系只包含非常少量的氣體和塵埃，少了這些製造新恆星的材料，橢圓星系上就沒有新誕生的恆星。整體而言，橢圓星系上的恆星年齡都比較老。

螺旋星系最大的特徵，在於它們明顯的漩渦狀旋臂及中央凸起的核球（圖 8-3），螺旋星系的旋臂是從星系的核心直接延伸出來。有一類常見的螺旋星系，其兩條旋臂是由星系中央的棒狀結構向外延伸，這類的螺旋星系稱為棒旋星系（圖 8-4）。

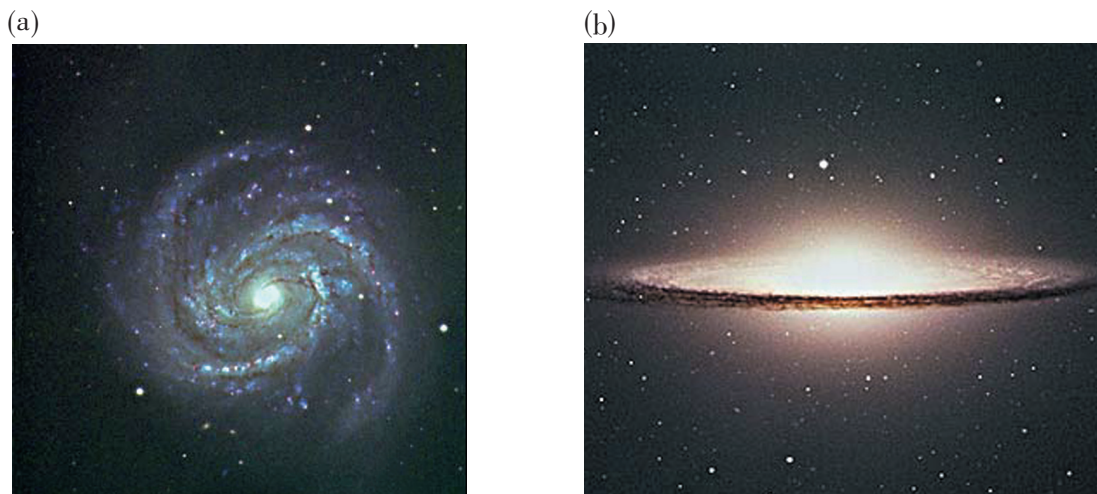


圖 8-3 螺旋星系的盤面上有明顯的旋臂，如(a)圖。當螺旋星系的盤面側對著我們時，我們看不到旋臂，而只能看到薄薄的盤面(b)圖，在盤面中間的黑色暗帶，是星系盤面上的灰塵遮蔽了星光所造成的現象。

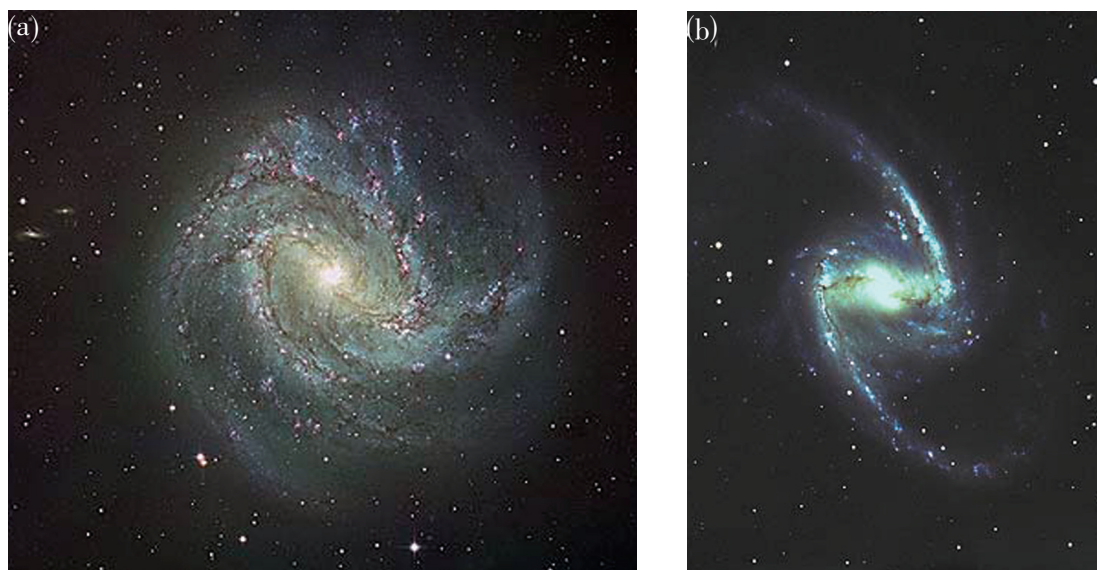


圖 8-4 棒旋星系的旋臂是由星系中央的棒狀結構向外延伸。

螺旋星系的盤面上有豐富的氣體和塵埃，是形成新恆星的材料，我們的銀河系便是個螺旋星系。在旋臂和氣體與塵埃的作用下，許多恆星在螺旋星系的旋臂上誕生。年輕的大質量恆星發出強烈的藍光，造成旋臂偏藍的顏色；大質量恆星還會游離周圍的雲氣，形成發射星雲。

動動腦：

如果銀河系是個橢圓星系，那麼我們看到的夜空會有何不同？

星系還是星雲？

星雲、星團以及星系常用 M 及 NGC 的編號來表示，M 及 NGC 各代表什麼意思？大、小麥哲倫星雲兩者都是星系，為何稱它們為星雲呢？

梅西耳(Charles Joseph Messier)是 18 世紀時研究彗星的天文學家，為避免搜尋彗星時發生混淆，於是將看起來呈模糊狀的天體編成目錄，當中收錄了百餘個天體，這些就成了日後大家所熟悉的梅西耳天體。梅西耳天體都以 M 開頭再加上編號，例如 M1 是超新星殘骸、M31 是仙女座星系、M42 為獵戶座星雲、昴宿星團則是 M45。

梅西耳天體包括了星雲、星團以及星系，這些天體在當時的望遠鏡看來都是呈模糊團狀，除了星團可以看出乃由一顆顆恆星組成以外，其他的都泛稱為星雲。19 世紀末有人另外編了一份更詳盡的星表 NGC (New General Catalogue)，裡面包括了 7 千多個星系、星雲與星團。

1920 年代以前，科學家並不知道那些形狀規則的星雲(螺旋星系與橢圓星系)，是銀河系內的天體，還是銀河系之外另外的天體。直到哈柏在研究 M31 中的造父變星，利用其變光快慢與光度強弱的關係，推算出 M31 的距離，才確認它是銀河系外的天體。從此 M31 等原本被稱為星雲的天體，才正式被歸類為星系。科學家有時候還是稱 M31 為仙女座大星雲，或稱大、小麥哲倫星系為星雲，這是因為長久以來習慣的緣故。

不規則星系的形狀較不規則（圖 8-5），它們不像螺旋星系一樣有明顯的核球或旋臂，也不像橢圓星系呈橢圓形。這類星系中包含大量的氣體及塵埃，它們一般都比橢圓星系及螺旋星系來得小。大麥哲倫星雲和小麥哲倫星雲就是典型的不規則星系。

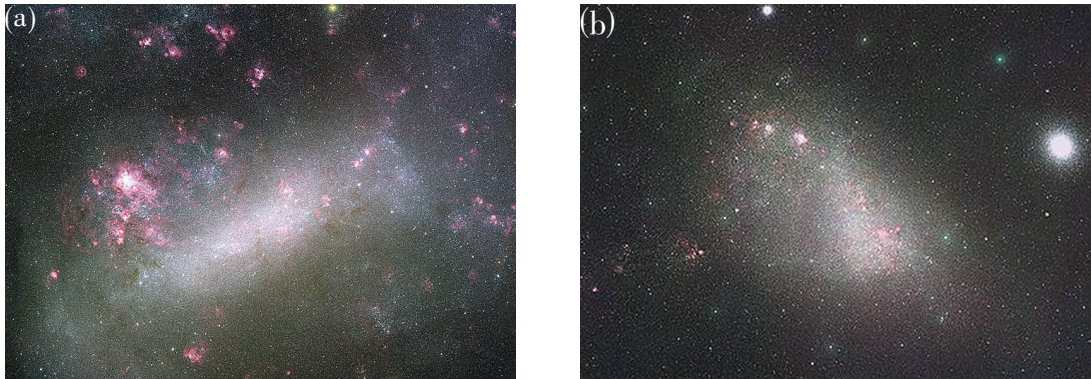


圖 8-5 大麥哲倫星雲(a)與小麥哲倫星雲(b)是典型的不規則星系。不規則星系沒有固定外型，它們不像橢圓星系一樣呈橢圓形或像螺旋星系有明顯旋臂與中央核球。

宇宙中除了橢圓星系、螺旋星系及不規則星系外，還有一些經碰撞而變形的星系（圖 8-6）。

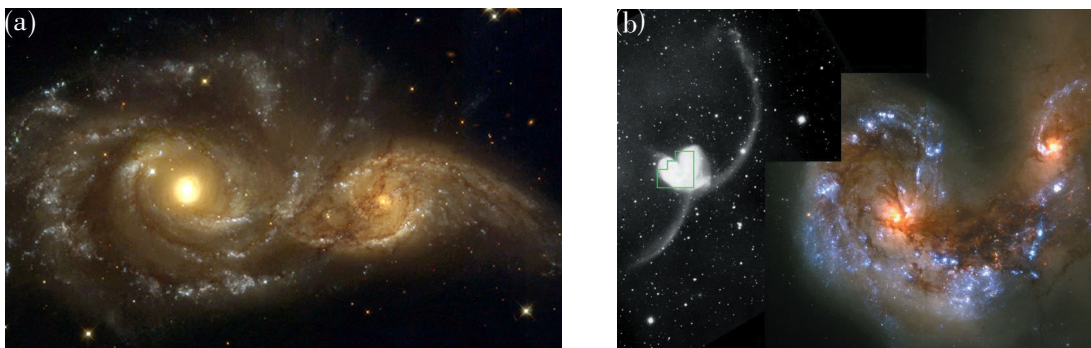


圖 8-6 NGC2207 和 IC2163(a)及 NGC4038 和 NGC4039(b)都是星系碰撞的例子。

星際間與星系間的平均距離

大、小麥哲倫星雲和我們的距離，分別只有銀河系直徑的 2.4 倍和 2.8 倍，而銀河系到 M31 的距離大約只有銀河系直徑的 40 倍，星

系團中星系間的平均距離大約是星系大小的幾十倍左右，所以星系間發生碰撞的機率頗高。

太陽到距離最近恆星的距離是 4.3 光年，這是太陽直徑的 2.7×10^7 倍，星系中恆星與恆星間的距離，大約是恆星直徑的 10^7 倍，所以恆星間要發生碰撞是相當罕見的。即使是兩個星系碰撞在一起時，彼此之間恆星發生碰撞的機率也非常的低。

根據哈柏太空望遠鏡的觀測，發現早期的宇宙星系間的碰撞比現在還要頻繁，這是因為早期宇宙的大小比現在還小，所以星系間的平均距離更靠近，造成星系間的碰撞更常發生。

8-1.2 星系團

宇宙中的星系並非均勻分布，而是成群聚集在一起，個數從十幾個的**星系群**，到數千個星系的**星系團**，其中的星系靠彼此之間的重力吸引在一起。

我們銀河系所在的星系群稱為**本星系群**，由大約三、四十個星系所組成，其中除了銀河系、**仙女座星系**(M31)、M33(圖 8-7)這三個較大的螺旋星系外，其他多是小型星系及不規則星系，整個本星系群的大小約 3 百萬光年。

圖 8-7 M33 位於三角座的方向，由於盤面正對著我們，使得我們能完整的看見它的旋臂以及旋臂上的紅色發射星雲。M33 是本星系群的第三大成員，僅次於 M31 和本銀河系。



M31 又稱為**仙女座星系**，是本星系群中最大的成員，距離我們約 290 萬光年，它是我們肉眼所能看見的最遠天體。M32 及 NGC205 是 M31 的兩個較亮且明顯的衛星星系。M31 位於仙女座方向，它的盤面與我們的視線方向有十幾度的傾角，所以我們無法清楚的看見它的旋臂(圖 7-3)。

在南半球用肉眼就可以看見大麥哲倫星雲和小麥哲倫星雲這兩個不規則星系，它們是以航海家麥哲倫的名字命名。大、小麥哲倫星雲都是銀河系的衛星星系，它們分別距離我們約 18 萬光年及 21 萬光年。受到本銀河系引力的影響，數億年後大、小麥哲倫星雲可能會和銀河系撞在一起。

室女座星系團是最靠近我們的巨大星系團，它距離我們約 5 千萬光年，大小約 7 百萬光年，星系團中有上千個星系(圖 8-8)。后髮座星系團距離我們約 3 億光年，它擁有數千個星系，其直徑更是室女座星系團的兩倍大。大型星系團中央通常存在巨大的橢圓星系，像室女座星系團的中央就有三個巨大橢圓星系，這些巨大橢圓星系比一般的橢圓星系及螺旋星系大上二十幾倍。

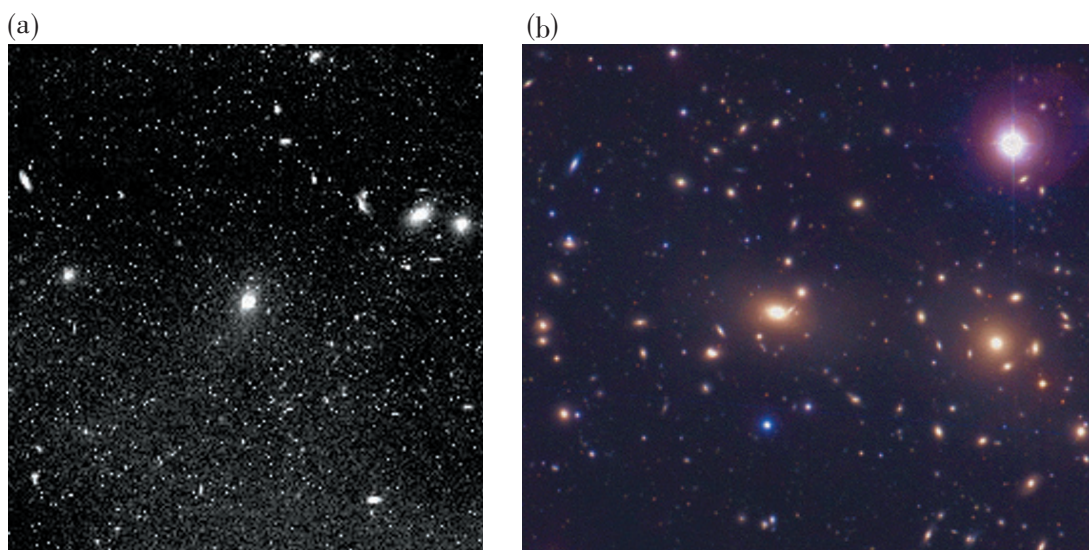


圖 8-8 室女座星系團(a)及后髮座星系團(b)。

星系團也有群聚的現象，大約十幾個星系團會組成**超星系團**，大小約 1 億光年，通常整個超星系團的形狀呈扁長型。星系團彼此間的重力並不

足以抵抗宇宙膨脹，也就是說，超星系團中的星系團彼此之間是相互遠離的。我們的本星系群和室女座星系團，是本超星系團的一份子。

以更大的尺度來看，宇宙是什麼樣子呢？如圖 8-9，我們目前所知道宇宙的樣子有如海綿或像黏在一起的肥皂泡沫，當中存在許多空洞，這些空洞的大小約 1 到 2 億光年。空洞中幾乎沒有星系，所有的星系、星系團及超星系團都分布在空洞的周圍，目前科學家對這種巨大空洞形成的原因，還沒有完整的解釋。

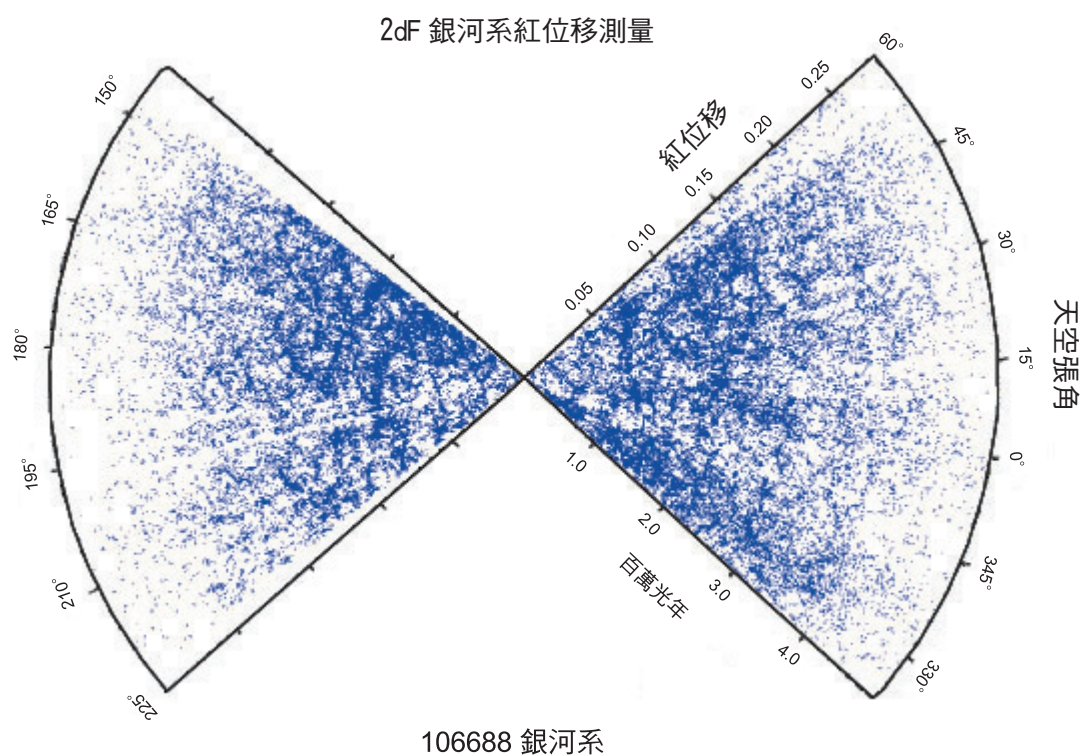


圖 8-9 宇宙中充滿了一些空洞的區域，大小約 1 到 2 億光年，星系與星系團主要分布在空洞的邊緣上，空洞之中則幾乎沒有星系存在。

8-1.3 活躍星系

某些特殊星系的核心會發出非常強烈的能量，這些星系核心的尺度非常小，但發出的光卻非常亮，亮度甚至比整個星系其他部分的總和還要大上數倍到數百倍，這類的星系稱為**活躍星系**，而它們的核心則稱為**活躍星系核**。

西佛星系是活躍星系的一種，幾乎全都屬於螺旋星系。一般星系發出的光是由星系裡的恆星所集合成的，所以一般星系核心的光譜就是由許多恆星組成的吸收光譜。西佛星系的影像看起來和一般星系沒有什麼不同，但是西佛星系的核心卻發射強烈的發射譜線。

仔細察看西佛星系會發現它們的核心緊密而光亮，這些核心的大小只有約我們太陽系那麼大，不過卻能發出和整個星系同樣多的能量。能發出和整個星系同樣多的能量。

類星體是距離我們非常遙遠的活躍星系核。最早發現類星體時，只看到它星點般大小的核心，卻發出巨大的能量，所以稱它們為類星體。類星體和西佛星系一樣，光譜顯示很強的發射線，這些發射線紅位移很大，表示類星體以高速遠離我們。某些類星體遠離的速度甚至可達百分之九十幾的光速。

類星體所發出的電磁波從無線電波、紅外線、可見光、紫外線一直到X射線都很強，這在一般的恆星及星系等天體中是相當少有的。類星體距離我們大約有幾十億光年，它們發出的能量是一般星系的十倍到數百倍（圖 8-10）。

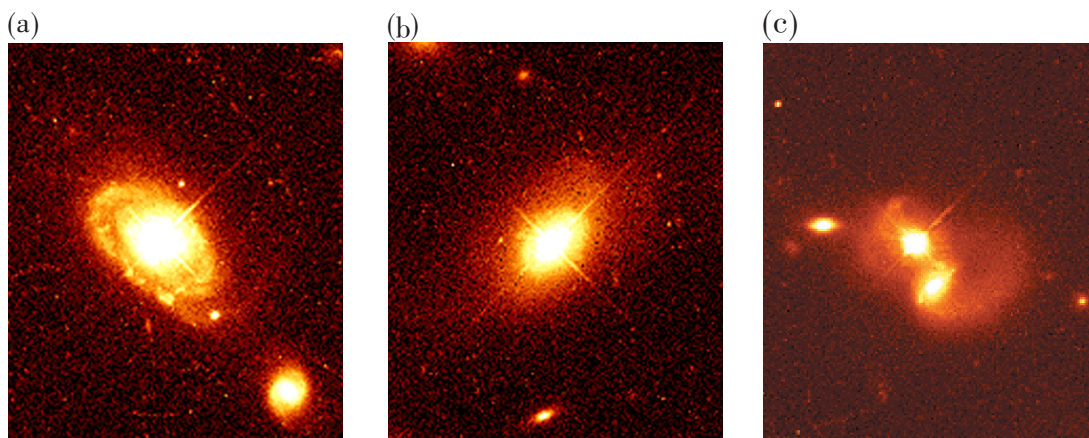


圖 8-10 受大氣擾動的影響，地面上的望遠鏡只能觀測到類星體核心點狀的光源，而哈柏太空望遠鏡則能將類星體解析出所在的星系。上面的三張圖是哈柏太空望遠鏡所拍攝的影像，(b)圖就是類星體所在的位置。(a)圖與(b)圖可以看到類星體，分別位於螺旋星系與橢圓星系核心的位置；(c)圖的影像，是類星體所在的星系和其他星系碰撞的情形。

為何活躍星系核能在這麼小的體積內，發出這麼巨大的能量呢？天文學家認為，在活躍星系的核心可能存在**超大質量黑洞**（圖 8-11），它們的質量約為 10^8 到 10^9 個太陽質量。當這些超大質量黑洞附近的物質，受到強大的萬有引力作用掉入黑洞的過程中，便釋放出強烈的能量，其中的高能 X 射線及紫外光，會將環繞黑洞附近的氣體游離，因而發出強烈的發射譜線。

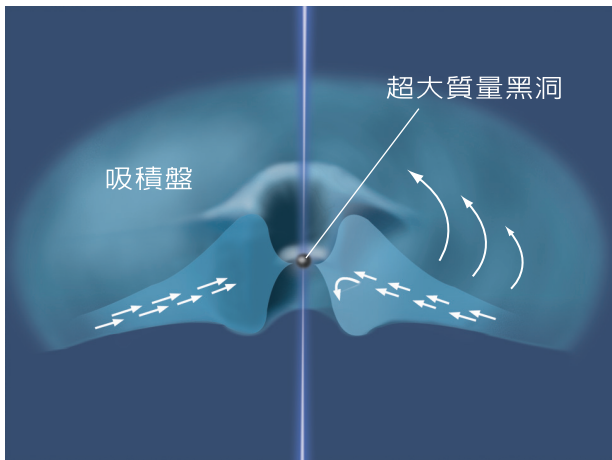


圖 8-11 活躍星系核的模型。物質在掉入黑洞前，會先在黑洞的外圍形成吸積盤。由於物質愈靠近黑洞，旋轉速度愈快（克卜勒運動定律），因此在吸積盤內外的物質旋轉速度不同，物質與物質之間會摩擦產生高熱，並放出巨大的能量，如 X 射線及紫外光。

超大質量黑洞

除了活躍星系外，很多大型星系的核心也都存在超大質量黑洞。我們的銀河系中心，可能便存在相當於兩百萬太陽質量的超大質量黑洞，但是因為不像活躍星系般有大量物質掉入，所以沒有發出巨大的能量。

當物質掉入超大質量黑洞時，每公克能釋放出超過 10^{20} 爾格的重力位能，轉化成動能及熱能。這種吸積過程所釋放能量的效率，是恆星內部核融合反應的數百倍，乃活躍星系發出強烈能量的來源。

超大質量黑洞是否會無限制的吸積物質，吞食掉整個星系呢？其實是不會的，這是因為超大質量黑洞的萬有引力並非無限大，它只會將靠近它的物質吸入，距離遠的物質還是依照牛頓的萬有引力定律繞著黑洞運行。

8-2 近代宇宙學的發展

從人類仰望星空開始，人們就以神話、宗教和科學等不同的方式，探索日、月、星辰間的關係及它們的起源。如今我們了解地球只是繞行太陽的一顆行星，而我們的太陽不過是銀河系裡數千億顆恆星中的一顆，銀河系也只是整個宇宙裡，無數星系中的一員。探索宇宙的過程中，人類的視野不斷擴大。

對宇宙起源的科學研究，從廿世紀開始才有較明顯進步，主要是因為觀測技術的進步及近代物理的發展，提供研究宇宙學最基本的工具。在觀測技術方面，二十世紀時已經有較大口徑的望遠鏡（圖 8-12）以及各種觀測儀器，使得天文學家能觀測到較遠、較暗的天體。另一方面近代物理如量子力學及相對論的發展，則提供宇宙學在時間、空間以及宇宙演化上的理論基礎。

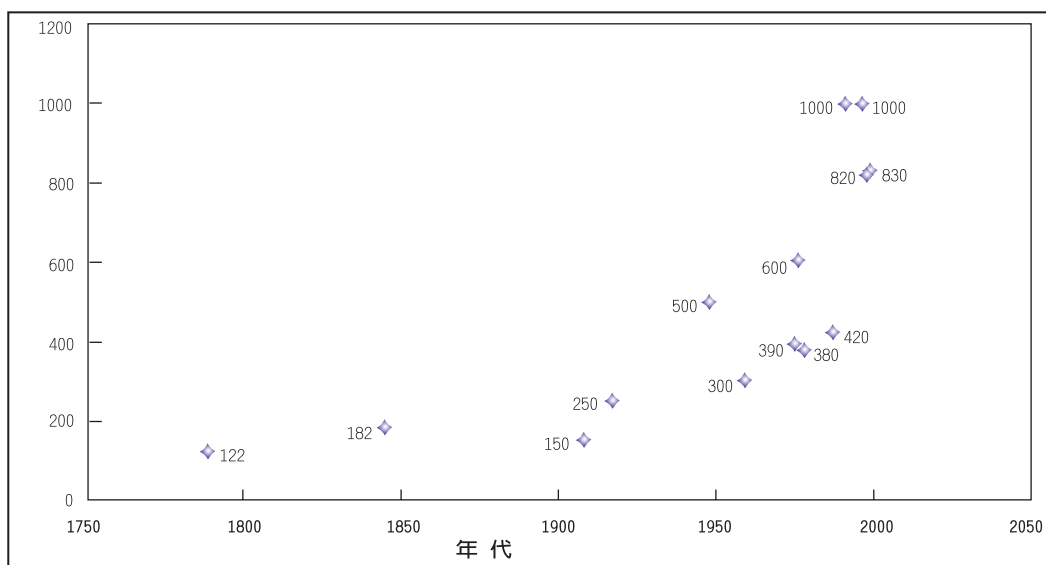


圖 8-12 科學家不斷地製造口徑更大的光學望遠鏡，大為提高望遠鏡的集光力。目前最大的光學望遠鏡是位於夏威夷島上的 10 公尺凱克望遠鏡。由上圖可以看出望遠鏡口徑增加的速度非常快，18 世紀末到 19 世紀初的一百多年之間，望遠鏡的口徑變大 2 倍，之後不到一百年的時間，望遠鏡的口徑比 18 世紀末的望遠鏡大了 8 倍之多。科學家甚至預計在 2020 年時建造一座數十甚至上百公尺的光學望遠鏡。

1920 年代，哈柏發現星系都遠離我們而去，而且遠離的速度和星系與我們的距離成正比，也就是星系距離我們愈遠，遠離我們的速度就愈快：

$$H_0 = V / d,$$

其中 V 為星系遠離的速度， d 為星系的距離， H_0 則為**哈柏常數**

這個關係式就是著名的**哈柏定律**(圖 8-13)，其意義在於顯示宇宙目前處於膨脹狀態。

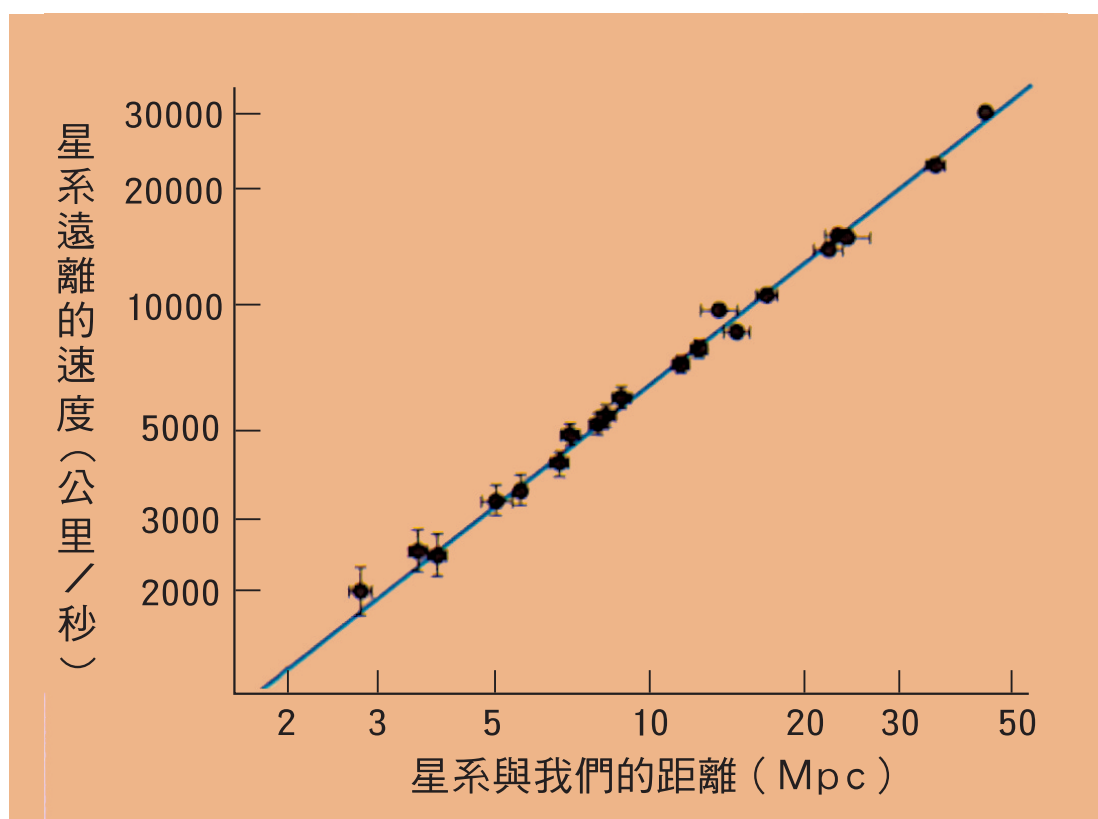


圖 8-13 星系距離與星系遠離速度的關係，橫軸為星系與我們的距離(Mpc)，縱軸為星系離我們遠去的速度(公里/秒)，直線的斜率就是哈柏常數。

哈柏常數 H_0 的單位是 $\text{km sec}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$ ，它在物理上意義代表著膨脹的速度。如果 H_0 為 $70 \text{ km sec}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$ ，就代表距離增加百萬秒差距，膨脹的速度就增加每秒 70 公里。

哈柏定律

哈柏觀測到星系遠離我們的速度，與星系和我們的距離成正比，這個觀測結果並不表示我們位於宇宙的中心。舉例來說，對一個表面有許多小斑點的氣球吹氣，當氣球漸漸膨脹時，可以發現每個小斑點之間都相互遠離。對某特定的小斑點而言，其他的小斑點都遠離它，而且遠離的速度與距離成正比。氣球表面膨脹的例子雖然是兩度空間的，但卻可類比於我們宇宙膨脹的情形(圖 8-14)。



圖 8-14 從正在膨脹的氣球可以看出表面的小班點都在互相遠離，而且距離越遠，遠離的速度就越快，這和膨脹的宇宙很相似。注意斑點之間距離加大的同時，整個氣球的總表面積是增加的。同樣的道理，膨脹的宇宙中，星系間的距離加大，是因為宇宙整個空間都在膨脹擴大。

要求得哈柏常數，必須先量測星系遠離我們的速度，以及星系和我們之間的距離。遠離的速度可以由星系光譜的紅移量出，而星系距離的量測卻相當困難，這使得哈柏常數的值，一直無法準確求得。目前天文學家量測到的哈柏常數大約介於 50 到 $100 \text{ km sec}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$ 之間。

既然 H_0 是速度除以距離，那麼它的倒數就代表時間，相當於等速膨脹下宇宙的年齡。

$$T = 1 / H_0 = d / V$$

T 為等速膨脹情形下的宇宙年齡

如果宇宙是等速膨脹的，哈柏常數 $50 \text{ km sec}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$ 與 $100 \text{ km sec}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$ 所表示的宇宙年齡分別是 200 億年及 100 億年，這差不多就是目前科學家接受的宇宙年齡範圍。

另外，哈柏常數也可以用來估算星系與我們之間的距離，星系遠離我們的速度愈快，表示它距離我們愈遠，只要將星系遠離我們的速度乘上哈柏常數的倒數，就可得到星系的距離。

美國航空太空總署在 1990 年發射了口徑 2.4 公尺的太空望遠鏡，以哈柏為名，紀念他在星系及宇宙學上的貢獻。哈柏太空望遠鏡不受地球大氣干擾，所以可以得到非常清晰的影像，哈柏太空望遠鏡最主要的任務之一，就是測量哈柏常數。

動動腦：

如果我們的宇宙並非處於膨脹狀態，而是在收縮，那麼我們所看到遠方星系的光譜是紅移，還是藍移？

加莫等人在 1940 年代建立了大霹靂的學說，他們認為宇宙剛開始溫度及密度都極高，進行很多核反應，而在經過膨脹冷卻後，變成現在的樣子。此學說除了解釋宇宙中氫和氦等輕元素的比例外，還預測了宇宙背景輻射的存在。

威爾遜及潘奇亞斯在 1965 年觀測天空的無線電波時，意外偵測到來自各方向，且不隨時間改變的訊號，這個訊號大約等於絕對溫度 3K 的黑體輻射。在經過確認後，這就是加莫等人理論所預測的宇宙背景輻射，宇宙背景輻射也就成了支持大霹靂學說最有力的證據之一。

8-3 宇宙的創生與演化

宇宙學有兩項基本假設，就是宇宙中物質是均勻分布，而且是各向同性分布。物質均勻分布，就是在任何角落觀測者所看到的宇宙都是一樣的。而物質各向同性分布則表示，不管往那一個方向看去，宇宙都是相同的。例如我們觀察到哈柏定律，基於宇宙學基本假設，宇宙其他地方應該也會同樣看到「越遠的星系越快速遠離」的情形，因而做出宇宙正在膨脹的推論。無論是均勻分布或是各向同性分布都是以大尺度的宏觀角度來看，在小尺度的情形下是不成立的，因為物質明顯的聚集在行星、恆星及星系，分布並不均勻，而且某些方向上明顯有較多物質的聚集，例如恆星聚集在銀河盤面上、某個方向上有群聚的星系團等。

8-3.1 宇宙的創生

目前廣為科學家接受的宇宙創生學說是大霹靂，認為宇宙一切時間與空間的起點由此而生，在大霹靂之前，宇宙可能以其它方式存在，但我們無法得知其情形。

根據大霹靂學說，宇宙誕生時密度及溫度極高，此時光子（也就是能量）和其他物質粒子快速碰撞，使得整個宇宙達到熱平衡狀態。隨著宇宙膨脹，溫度漸漸降低，光子的波長被拉長，能量變小，這個現象稱為**宇宙紅移**。宇宙在創生 2 分鐘內，溫度非常高，光子能量非常大，任何結合在一起的中子與質子都再度被摧毀，所以此時中子和質子無法結合形成原子核。

一直到宇宙年齡 2 分鐘後，宇宙中的溫度才低到讓中子和質子結合成氘，當氘形成以後，很快地就會和另外的一個中子及一個質子形成氦原子核。在第 3 分鐘結束前，所有的中子都束縛在氦的原子核之中，此時宇宙中氦原子核的質量約占了 25%，其他剩下的 75% 就是氫的原子核。宇宙在此之後，就維持這樣的氫氦比例，一直要到恆星誕生後，恆星的核心才會經核反應產生較重的元素。由大霹靂學說計算出來的氫與氦的質量比，

和目前我們所觀測到宇宙中氫和氦的質量比例相當接近。氫和氦的質量比也是大霹靂學說的另一項觀測證據。

當宇宙年齡達三十萬年左右時，宇宙的溫度降至大約為 3000K，此時的溫度已經低到可以讓電子與質子結合在一起，形成原子狀態的氫，也就是光子的能量已不足以游離氫原子。所以絕大多數的電子都被束縛在氫原子中，光子不再受電子的阻撓，可以自由傳播。現在所觀測到的 3K 宇宙背景輻射，就是 3000K 溫度時的光子受宇宙膨脹，持續冷卻下來的結果。

大霹靂後約 1 億年到 10 億年間，宇宙中巨大的雲氣因重力的吸引，互相碰撞、收縮形成一個個的星系。在距今約 45 億年前，本銀河系中的一團雲氣開始收縮，最後形成了一顆恆星和 9 顆幾乎在同一平面運行的行星，我們的太陽系就此誕生。

8-3.2 宇宙的未來

宇宙於大霹靂之後一直持續膨脹，宇宙是否會永遠膨脹下去呢？宇宙起源於大霹靂，那麼是否也會有個終點？宇宙未來的命運會如何？

設想我們向上拋個球，球先往上運動，速度越來越慢，達到最高點，然後改成向下墜落。整個過程中球都受到向下的地心引力。地心引力越小，同樣拋出的速度、最高點也越高。要是拋出的速度超過逃脫速度，球上升的速度會越來越慢，但是不再掉回地面。

同樣的道理，宇宙在大霹靂之後持續膨脹，受到物質彼此的萬有引力作用，膨脹的速度會越來越慢。至於在膨脹達到最大之後，是會停止膨脹，改成收縮回去，還是會繼續膨脹下去，端視萬有引力總和的大小，也就是由宇宙中物質的多寡而決定。如果宇宙的平均密度小，則整個宇宙的重力不足以讓膨脹的宇宙停下來，那麼宇宙將會永遠的膨脹下去，而且會越來越冷（宇宙現在的平均溫度約是 3K）。相對的，如果宇宙的平均密度大，那麼宇宙膨脹速度將會減慢，終至停止，然後開始收縮，宇宙將會越來越小，而且越來越熱，最後可能又收縮回大霹靂開始的狀態。

介於這兩種情形之間的宇宙密度稱為**臨界密度**，大約等於每立方公尺 2.1×10^{-6} 公斤。

實際密度小於或等於臨界密度的宇宙稱為**開放宇宙**，而密度大於臨界密度的宇宙稱為**封閉宇宙**。有些學說認為封閉宇宙在收縮後，可能會再產生大霹靂，如此反覆循環，這樣的宇宙稱為**振盪宇宙**（圖 8-15）。

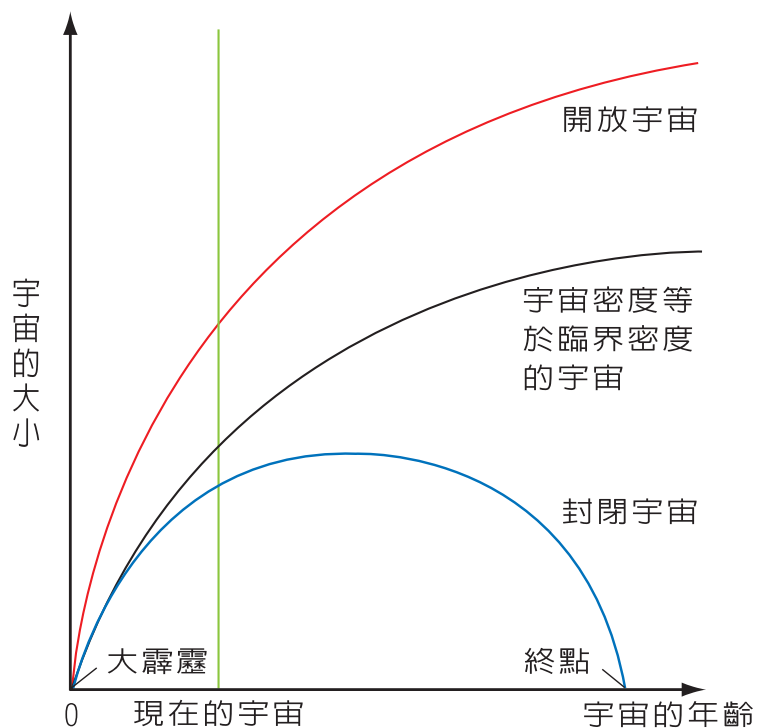
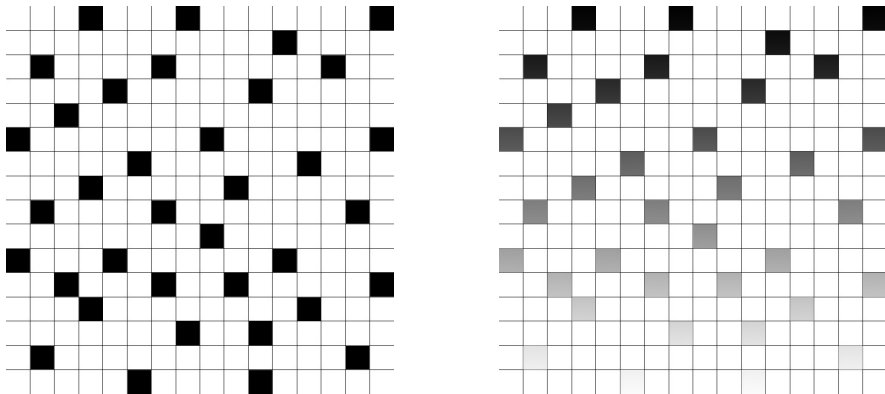
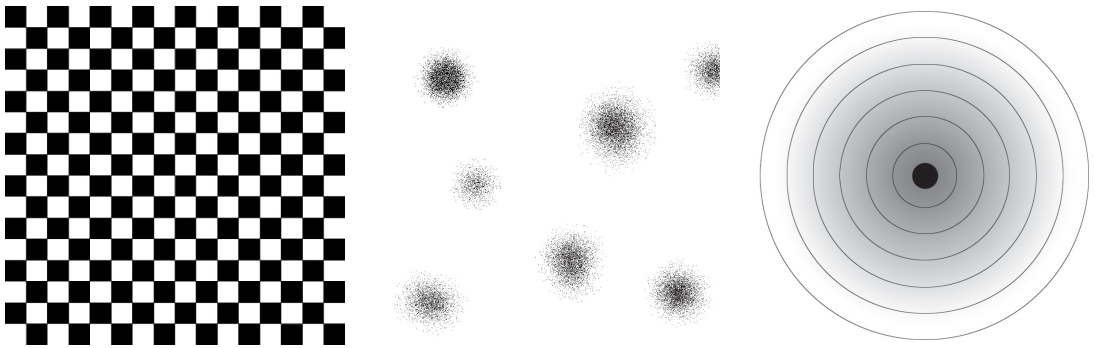


圖 8-15 上圖的縱軸為宇宙的大小，橫軸為宇宙的年齡。宇宙有兩種可能的命運，一為開放宇宙，另一為封閉宇宙。在開放宇宙中，宇宙的大小會永遠的膨脹下去；而封閉的宇宙，在宇宙膨脹到最大時，就會開始收縮，宇宙的大小漸漸變小。

要判斷我們的宇宙是屬於開放宇宙還是封閉宇宙，必須測量宇宙的實際平均密度，來和臨界密度相比。但是要得知宇宙的平均密度，必須求得巨大空間中星系等物質的質量，但是星系的質量不易求得，尤其是一些亮度很暗，不易發現的星系。此外，宇宙中除了恆星、星系這些會發光的物質外，還存在相當比例的黑暗物質，這些黑暗物質占宇宙的總質量可能高達 90% 以上。由於我們目前不知道黑暗物質確實的數量，使得宇宙的平均密度也無法準確估計。所以我們的宇宙到底是開放宇宙還是封閉宇宙，目前還無法得知。

作 業

1. 假設下列的圖形中，黑色的部分是物質分布的地方，哪些圖是屬於均勻分布？哪些圖是各向同性分布？哪些兩者皆是？



2. 請將下列天體依照體積大小，由小到大依序排列。木星、室女座星系團、中子星、太陽、銀河系、月球、疏散星團、本星系群、紅巨星、白矮星、本超星系團、大麥哲倫星雲。
3. (1)若某一星系 A 距離我們 1.2×10^8 光年，而且以 2500 km/sec 的速度遠離我們，請由此計算哈柏常數的數值？(2)M100 相對於我們的速度為 1500 km/sec ，利用星系 A 所求得的哈柏常數，計算 M100 與我

高中選修地球科學(下)

們的距離。(3)假設宇宙是等速膨脹，請利用星系 A 所得到的哈柏常數，算出宇宙的年齡。(4)由單一星系所得到的哈柏常數，會有哪些不確定性？

4. 試提出支持大霹靂學說的觀測證據。