

第九章 宇宙學簡介

(一) 星體觀測與哈伯定律：

A、人類對星體的觀測：

(1) 古希臘時期：

甲、最早以科學方法研究天體現象與運動起始於古希臘文明以後。

乙、畢達哥拉斯：

以月相圖變化，推測月球為球狀；並進一步地推測地球及其他星球形狀也是圓球狀。

丙、柏拉圖：

發現天體運行的規律性，使人類有計時的概念。

丁、亞里斯多德：

提出『地心說』的宇宙觀。

戊、托勒米：

認為所有星球以完美的圓形軌道繞著地球運行，此理論符合以地球為中心的宗教思維，並可解釋當時觀測到的行星逆行現象。

己、哥白尼：

提出日心說，認為太陽是太陽系的中心，行星繞著太陽運行，月球繞著地球運行，而恆星則是在相當遙遠的地方。結束了科學的黑暗期。

(2) 近代天文學的進展：

甲、第谷：

畢生致力於天文觀測，其詳細的紀錄，作為克卜勒天文研究的基礎資料。

乙、克卜勒：

整理第谷詳細的天文資料，獲得重要的行星運動定律，被尊為『天文的立法者』。

丙、伽利略：

最早自製望遠鏡觀測天體運動，觀測木星周圍的衛星運動，並發現太陽黑子、月球上的山脈深谷，以及金星的盈虧現象。

丁、牛頓：

發現反射式天文望遠鏡。

提出萬有引力定律，說明克卜勒的行星規律，奠定天文學的理论基礎。

戊、愛因斯坦：

提出『廣義相對論』，影響天文學理論做了重大的修正。

(3) 天文觀測儀器：

甲、折射式天文望遠鏡：

1. 為凸透鏡所構成，由於透鏡容易產生像差變形，因此需以不同透鏡組合。

2. 為避免不同波長的光波在焦點附近產生色差，因此焦距需增長，鏡筒亦較長。

3. 為使光線能清晰透過，需使用質地優良的玻璃磨製透鏡，因此價錢高出甚多。

乙、反射式天文望遠鏡：

1. 以拋物面鏡構成，依反射原理成像，不易產生像差。

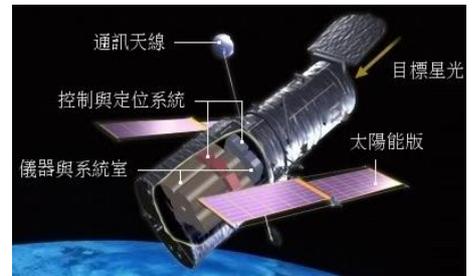
2. 任何波長的光皆可聚焦於同一點，不會產生色差。

3. 鏡筒短，操作方便，造價便宜。

4. 國外的天文台觀測多用反射式望遠鏡，由於鏡面大，集光能力強，因此能觀測較遠的距離。

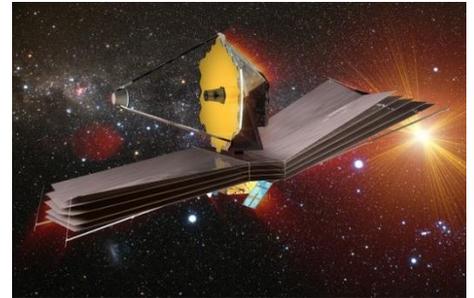
丙、哈伯望遠鏡：

- 1.1990 年升空的**反射式天文望遠鏡**，位於地表 600 公里的軌道上環繞地球運行，進行從**紅外線到紫外線**波段的觀測，可免除**大氣層**的視野干擾。
- 2.主要進行宇宙大小的遙遠距離觀測，經多次太空梭維修，儀器早已落後地面觀測的科技進展，如今即將除役。



丁、韋伯太空望遠鏡：

- 1.為計劃中的**紅外線**太空天文望遠鏡，預計將於 2018 年發射，放置於地球與太陽中第二個拉格朗日點，繞**太陽**運行。
- 2.主要任務是調查作為大爆炸理論的**殘餘紅外線證據**(宇宙**微波背景輻射**)，即觀測今天可見宇宙的初期狀態。



B、宇宙中的各種結構：

- (1) 宇宙可以分成**行星層次**、**恆星層次**、**星系層次**、**星系團層次**和**超星系團層次**等結構。
- (2) 恆星：能自行發光的星球，稱為**恆星**。
- (3) 太陽系：

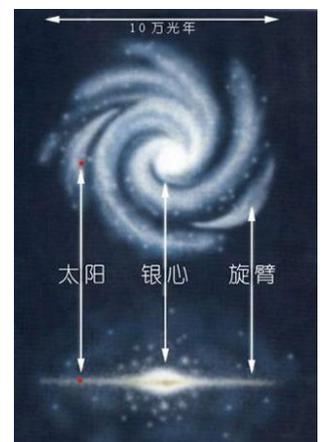
- 甲、太陽為**恆星**，藉著內部的**核融合反應**，產生極高的溫度，太陽表面溫度約 6000°C，太陽內部的溫度超過 1000 萬度。
- 乙、太陽周圍的行星，受太陽的引力作用，以橢圓形軌道環繞太陽運行，形成以**太陽**為中心的太陽系。



丙、距離太陽最近的恆星為半人馬座的**比鄰星**；夜空中最亮的恆星為**天狼星**；北極星距離太陽約 **430 光年**。

(4) 星系：

- 甲、在宇宙間相鄰的數十億顆**恆星**與分布於其間的**星際氣體及塵埃**，佔據了上萬光年的空間距離，統稱為**星系**；天文學家估計宇宙間的星系可能高達一千億個，因此**星系**可說是宇宙最基本的巨大結構。
- 乙、**哈伯**根據星系的外觀，將星系分為**螺旋星系**、**棒旋星系**、**橢圓星系**與**不規則星系**等四大類。
- 丙、星系的形狀會隨著年齡而改變，年輕的星系變化較大，形狀較不規則，如：大、小麥哲倫星雲；成熟的星系一般成**漩渦狀**，如：本銀河系；年老的星系則多呈**橢球狀**。
- 丁、在無光害的夜空，有時可見一條模糊光帶，俗稱**銀河**。



- 戊、太陽所在的星系通稱為銀河系，約有兩千億顆恆星，屬於**棒狀星系**，由上向下俯視，可見直徑約 **10 萬光年**的圓盤面，太陽位於盤面較薄處，距中心約 **3 萬光年**。
- 己、距離本銀河系最近的星系為**仙女座星系**，距離約 **200 萬光年**，目前能偵測最遠的星系，距離超過 **100 億光年**。
- 庚、通常鄰近的幾十億至幾千億顆恆星與星際氣體及塵埃組成**星系**，數十個至數千個星系組成**星系團**，數十個星系團又組成**超星系團**。

C、宇宙中常用的天文單位：

(1) 光年(ly)：

甲、光行進一年所走的距離。

乙、 $1 \text{ ly} = (3 \times 10^8) \times 86400 \times 365 = 9.5 \times 10^{15} \text{ m} = 9.5 \times 10^{12} \text{ km}$

(2) 天文單位(AU)：

甲、地球到太陽的平均距離，即為地球繞太陽橢圓形軌道的長軸半長。

乙、 $1 \text{ AU} = 1.5 \times 10^{11} \text{ m} = 500 \text{ 光秒}$ 。

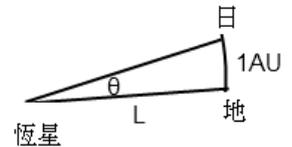
(3) 秒差距(pc)：

甲、1 秒差距 ≈ 3.26 光年。

乙、地球到太陽的距離：恆星到地球的距離

$$= \frac{1 \text{ AU}}{L} = \frac{1}{3600} \text{ 度} = \frac{1}{3600} \times \frac{\pi}{180} \text{ (rad)}$$

$$L = 1 \text{ AU} \times 3600 \times 180 \div \pi = 1.5 \times 10^{11} \times 3600 \times 180 \div \pi = 3.1 \times 10^{16} \text{ m} = 3.26 \text{ 光年}$$



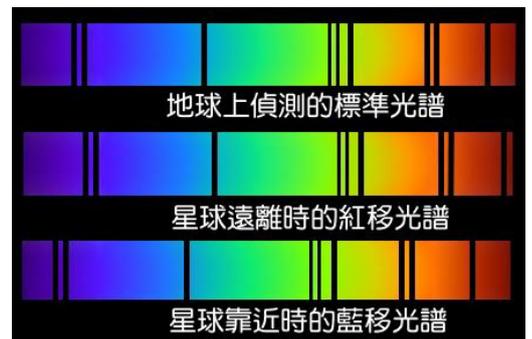
D、哈伯定律：

(1) 紅位移現象：

甲、天文學家分析星球的光譜，可以推測恆星表面的組成元素。

乙、天文學家發現遙遠星系的星光，在可見光範圍的吸收光譜，有向波長大或頻率低的紅光偏移的趨勢，將此現象稱為紅位移；當星球運動的速率愈快時，偏向的位移愈明顯。

丙、紅位移為都卜勒效應的結果，表示星系正在遠離我們。

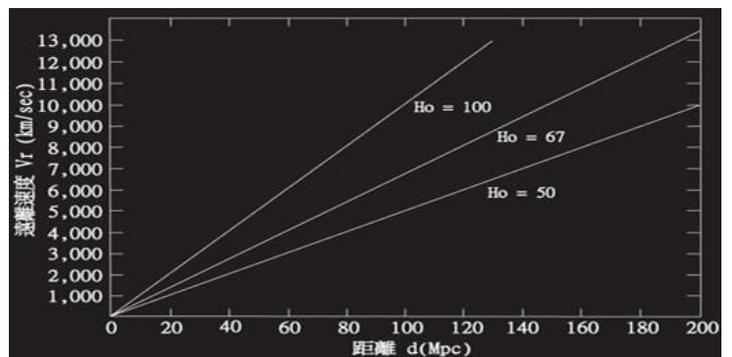


(2) 哈伯定律：

甲、1929 年，美國哈伯發現：從各方向所觀察到的遙遠星系，皆遠離地球，而光譜紅位移的現象，隨著星系與地球間距離的增大而變大，因此提出哈伯定律：

1. 星系至太陽的距離(d)與星系遠離的速率(v)成正比，稱為哈伯定律。

2. 關係式： $v = H_0 d$



v：星球遠離速率

d：星球與地球距離

$$H_0 \text{：哈伯常數} = \frac{22 \text{ km/s}}{100 \text{ 萬光年}}$$

即：每增加 100 萬光年，星系的遠離速率會增加 22 km/s。

每增加 326 萬光年，星系的遠離速率會增加 70 km/s。

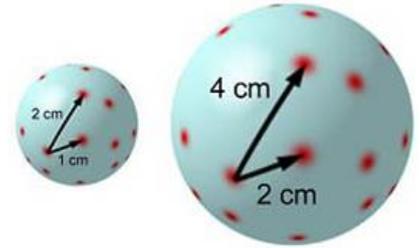
每增加 100 萬秒差距，星系的遠離速率會增加 70 km/s。

(3) 宇宙膨脹：

甲、哈伯定律顯示星系之間的相對運動為互相遠離，亦即整個宇宙如同吹氣中的氣球，正在膨脹；而各星系間的距離處於膨脹的狀態。

乙、星系在膨脹的宇宙中就好比在氣球表面上的紅色標記。當氣球膨脹時，兩個星系遠離對方的速度與它們之間的距離成正比。

丙、宇宙年齡指宇宙從誕生到目前所經歷的時間。假設宇宙膨脹的速率為定值，則依哈伯定律發現， $v=H_0d$ ，則 $T=\frac{d}{v}=\frac{1}{H_0}$ = 宇宙年齡，



現， $v=H_0d$ ，則 $T=\frac{d}{v}=\frac{1}{H_0}$ = 宇宙年齡，

$$T = \frac{326 \text{ 萬 ly}}{70 \text{ km/s}} = \frac{326 \times 10^4 \times (9.5 \times 10^{15} \text{ m})}{70 \times 10^3 \text{ m/s}} = \frac{3.1 \times 10^{22} \text{ m}}{7 \times 10^4 \text{ m/s}} = 4.4 \times 10^{17} \text{ 秒} = 1.4 \times 10^{10} \text{ 年}$$

略估宇宙年齡約為 140 億年。

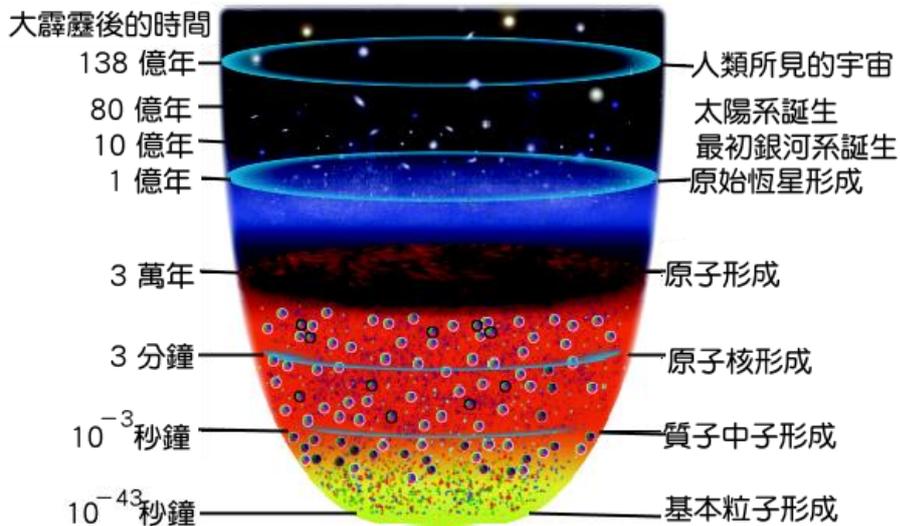
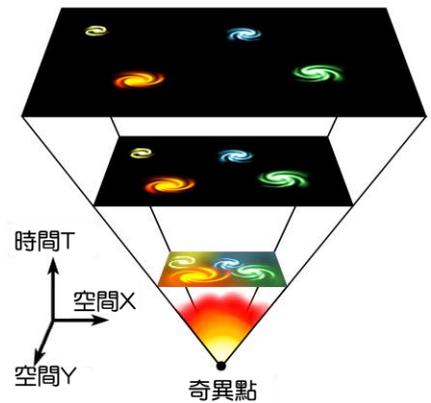
例1. 「哈伯定律」在宇宙中，是說明下列哪一種現象？

- (A) 宇宙在最初時為溫度極高密度極大的一團火球，在瞬間產爆炸 (B) 星球發射光譜中最大強度的波長與絕對溫度成正比 (C) 距離地球愈遠的天體，遠離速率愈快，且遠離速率與距離成正比 (D) 距離地球愈遠的天體，遠離速率愈快，且遠離速率與距離平方成正比 (E) 宇宙中距離地球愈遠，蘊藏黑暗物質與黑暗能量愈多。

(二) 宇宙起源：

A、大霹靂宇宙說：

- 由於宇宙正在膨脹，科學家推測若將時間倒流，宇宙空間將比現在的距離還短。
- 俄國加莫夫於 1946 年提出『大霹靂宇宙說』，認為宇宙在最初為密度極大(10^{15} g/cm^3 以上)、溫度極高(大於 10^{12} K 以上)的一團火球，在某一瞬間產生大爆炸，而後宇宙的空間隨著時間逐漸膨脹，一直至今。
- 大霹靂說的過程：

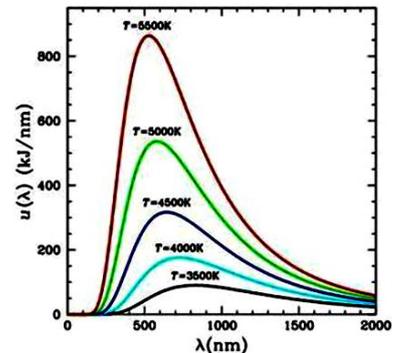


- 甲、宇宙誕生：宇宙起源於高能量、高密度的奇異點，瞬間產生大爆炸，生成了時空。
- 乙、粒子生成(宇宙誕生初期)：
- 1.大霹靂發生的 10^{-5} 秒後，宇宙溫度降到 10^{10} K(約為太陽核心溫度的 1000 倍)。
 - 2.巨大能量形成基本粒子，如夸克及電子等。
 - 3.大霹靂發生的 3 分鐘後，夸克在極高溫下，合成質子和中子，而質子、中子高速碰撞，經核融合成氫核 ${}^1_1\text{H}$ 、氦核 ${}^2_1\text{H}$ ，再經核融合成為氦核；此二元素大約占了全宇宙元素質量的 75% 及 25%。大霹靂理論可以圓滿解釋這個數據。
- 丙、原子生成(宇宙誕生 30 萬年)：
- 1.宇宙溫度降到約 4000 K，電子與原子核停止游離狀態，組成穩定的中性原子。
 - 2.宇宙背景輻射逐漸減弱，不再與物質交互作用。
 - 3.溫度逐漸降低，輻射波長逐漸增加。
- 丁、引力結合(宇宙誕生 100 萬年)：
- 1.溫度降至更低，電磁力與萬有引力的持續作用下，逐漸形成星球、星系。
- 戊、宇宙成形：(宇宙誕生後 20 億年)：
- 1.原始恆星出現，宇宙大致成形，各星系隨著宇宙膨脹，依然持續遠離。
 - 2.除了最原始的氫、氦以及其他輕元素外，這世界上其他的物質元素都是恆星製造出來的。

B、宇宙微波背景輻射：

(1) 維因位移定律：

- 甲、宇宙間的星球本身發光，而不反射其他光源，如同黑體輻射一般，因此可將恆星視為黑體。
- 乙、1893 年，維因發現，黑體輻射能量輻射光譜中，具有最大能量的波長為 λ_{\max} ，會隨著溫度 T 的增加而減少，利用此關係，可測得光源的表面溫度。
- 丙、關係式： $\lambda_{\max} T = \text{定值} = 2.9 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ 。



(2) 宇宙背景輻射：

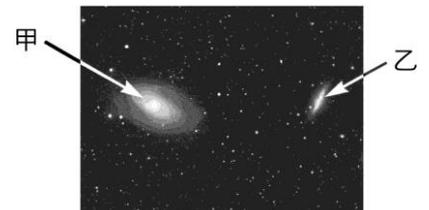
- 甲、宇宙形成時，殘存的能量充滿在整個宇宙中，這些輻射，稱為宇宙背景輻射。
- 乙、如今宇宙的溫度降至約 2.7K，此時相對應的電磁波輻射為微波波段，因此一般稱 2.7K 的宇宙背景輻射為宇宙微波背景輻射。
- 丙、目前所測得的背景輻射波長為 1 mm，因此相對應的溫度：
 $1 \times 10^{-3} \times T = 2.9 \times 10^{-3} \Rightarrow T = 2.9 \text{ K}$
- 丁、1964 年，潘則斯、威爾遜意外地從天線接收到四處瀰漫，且強度極弱的背景雜訊，後來發現，這個雜訊為宇宙大爆炸後殘留的熱輻射所造成；此值與理論值預測相差不多，且背景輻射分布極為均勻。
- 戊、宇宙背景輻射為支持大霹靂說最有利的證據之一。

【比較】：二十世紀中宇宙學發展最重要的兩個學說：

- (1)宇宙膨脹論：遠處星系光譜的紅位移現象。
- (2)大霹靂說：
 - 甲、宇宙膨脹論。
 - 乙、宇宙 2.7K 微波背景輻射。
- (3)氫核與氦核的總質量佔宇宙間所有元素質量的 75 % 與 25 %。

- ____ 1. 若電磁波輻射光譜中具有最大能量強度的波長 λ ，對應絕對溫度 T ，其關係式為 $\lambda T = 2.9 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ 。假設宇宙大爆炸後的三十萬年，輻射溫度為 4000K ，試推算此時的輻射波長為多少埃(\AA)？
(A)725 (B)900 (C)3625 (D)7250 (E)9000。
- ____ 2. 新聞上聽過中央氣象局發布「獵戶座流星雨」。所謂「獵戶座流星雨」指的是？
(A)造成流星的外太空塵來自「獵戶座」 (B)流星未燃盡的碎塊將掉入「獵戶座」 (C)太陽表面噴發的物質集中在獵戶座的方向 (D)流星發生的月份是「獵戶座」 (E)產生流星的輻射點來自於獵戶座。
- ____ 3. 恆星都會發出光芒，其發光的原因為何？
(A)其內部正進行著氫分裂成氦的核反應 (B)其內部正進行著氫融合成氦的核反應 (C)其內部大量放射性元素持續放出高能量 (D)其內部熱源使電子躍遷至高能階軌域，電子重回低能階軌域時放出光芒 (E)內部的熱源，導致星球表面物質不斷燃燒。
- ____ 4. 下列哪一項是宇宙膨脹學說的依據？
(A)分析遠處的星系所發射的光譜線，發現普遍都有偏向紅光的趨勢 (B)在地球上觀測銀河系內的恆星，發現並非剛好以北極星為中心在環繞 (C)分析遠處星系所發出的光譜線，發現所有的波長都有變短的現象 (D)觀測到太陽表面的溫度有逐年下降的趨勢。
- ____ 5. 在地球上觀測太陽系內的行星運動，會發現有行星逆行的現象，此現象應如何解釋？
(A)行星在軌道上的運行方向會隨時間改變 (B)行星在遠處做半徑很小的圓周運動 (C)行星邊做小半徑的圓周運動，邊繞太陽公轉 (D)地球與其他行星公轉速率不同所造成的視覺效應 (E)行星繞行太陽的方向，與其他行星繞行太陽的方向相反。
- ____ 6. 有關哈伯定律敘述，何者正確？
(A)恆星的光譜紅位移量正比於恆星與地球的距離 (B)星系距離地球的距離愈遠，遠離地球的加速度愈大 (C)星系離地球愈遠，遠離地球速度愈快 (D)宇宙膨脹速度正比於星系的大小 (E)恆星離地球愈遠，遠離地球速度愈慢。
- ____ 7. (85 推甄) 距離地球 600 公里高空環繞地球的哈伯望遠鏡進行太空觀測，下列何者錯誤？
(A)因不停的環繞地球，故可以持續進行觀測 (B)在太空中，可以紫外線波段進行天文觀測 (C)能降低大氣擾動影響或散射光所造成的干擾 (D)可獲得遠比地面上觀測較清晰的影像。

【題組】(93 學測) 右圖是一幅使用哈伯望遠鏡拍攝的影像，呈現甲、乙兩個星系與散布在圖面上的恆星。試根據右圖回答第(1)、(2)題：



- ____ 8. 有關影像中的恆星與甲、乙兩星系的敘述，哪一選項正確？
(A)恆星分別屬於甲或乙星系 (B)恆星與甲、乙兩星系都屬於我們銀河系 (C)甲、乙兩星系不屬於我們銀河系，而是與我們銀河系差不多的系統 (D)甲星系屬於我們銀河系，乙星系則不是。
- ____ 9. 下列有關地球與甲、乙兩星系遠近的敘述，哪一選項正確？
(A)甲星系比較近，因為所有星系體積大小都差不多 (B)甲星系比較近，因為距離愈遠的星系，我們觀測到的體積愈小 (C)乙星系比較近，因為距離愈遠的星系，我們觀測到的體積愈小 (D)無法由圖得知，須由其他方法才能判斷星系的距離。