

The World of Science Encyclopedia

牛頓

現代科技大百科

宇宙科學(I)——太陽系



Newton

牛頓現代科技大百科 1 宇宙科學 (I)——太陽系

出版者 / 牛頓出版股份有限公司

負責人：高源清

原著作名稱 / The Solar System

原出版社 / Equinox (Oxford) Ltd.

譯者 / 洪家輝

發行所 / 牛頓出版股份有限公司

地址 / 臺北市和平東路二段107巷25-1號一樓

電話 / 7061976 • 7061977 • 7059942 • 7062470

郵撥 / 1179402-3 牛頓出版股份有限公司

製版 / 詮盛印刷股份有限公司

印刷 / 仲一彩色印刷股份有限公司

單冊定價 / 新臺幣 750元

初版 / 1989年3月15日

出版登記證 / 局版臺業字第3139號

法律顧問 / 林樹旺律師

● 版權所有 • 翻印必究 ●

本書如有缺頁、破損、裝訂錯誤，請寄回本社更換。

Printed in Taiwan, R.O.C. 1989

總編輯 / 劉君祖

科學主編 / 陳育仁

科學編輯 / 高孟忱、劉豐君、賴彩瑾、曾月卿

李傳楷

美術主編 / 洪家輝

美術編輯 / 彭淑容、陳素芬、石鳳琪

封面企劃 / 陳融賢

The World of Science Encyclopedia

The Solar System

The Authors

Iain Nicolson
Patrick Moore OBE

Senior Editor

Lawrence Clarke

Art Editor

John Ridgeway

Editor

Peter MacDonald

Designers

Ayala Kingsley
Niki Overy

Picture Editor

Linda Proud

Picture Researchers

Milly Trowbridge
Lynda Poley
Judy Aspinall
Anne Hobart(US)

Production

Alan Peebles

Index

Sandra Raphael

Editorial Assistant

Charlotte Van Rooyen

Advisors

Professor Jack Meadows
University of Leicester
Professor Martin Rees
University of Cambridge

Artists

Robert Burns
Kai Choi
Paul Doherty
Chris Forsey
Mick Gillah
Kevin Maddison
Coral Mulah
Mick Saunders

N61/48

The World of Science Encyclopedia

牛頓

現代科技大百科

宇宙科學(I)——太陽系



RW197 / 01



The World of Science Encyclopedia

牛頓

現代科技大百科

宇宙科學 (I) —— 太陽系



牛頓出版公司

1196994

1671GHA



21196994

圖片說明(1~8頁)

- 1 一個典型的旋渦銀河
NGC2997
- 2~3 星雲集團——蛇夫
座 ρ 星
- 4~5 一個黑暗星雲——
馬頭星雲
- 7 船底座 γ 星附近之星雲
的彩色處理照片
- 8 彩色處理後之太陽日冕
放射的情形





目 錄

引 言	6
太陽系	
1 行星及其軌道	9
2 觀測行星	21
3 行星的內部構造	33
4 行星的地表形態	41
5 行星大氣層	57
6 衛星和行星環系統	73
7 小行星與彗星	89
太陽	
8 太陽的內部	97
9 太陽的外層	105
10 太陽的影響	113
11 太陽系的起源	121
語 彙	130
索 引	132

引言

天文學被視為是科學領域裏最古老的學科，許多重要的天文觀測工作，包括一些對近代天文學仍有其重要性的成果在內，早在數千年前就已經完成了。隨著時間的推移，所不同的是研究天文學的動機。直到上個世紀為止，大部分的動機是來自於確定時間的需要（為農業、宗教服務等等）以及確定位置的需要（為導航和測量土地等等），所有這些目的可說都是很實用的。除此之外，追溯到十七世紀，天文學的範圍和占星術有很大的重疊，並且可以看出，過去幾代的天文學家對於整個範圍都有著許多重要的工作。

進入二十世紀後，這些應用大部分都消失了，譬如，人們幾乎總是用時鐘來判定時間，現在可以做到比由天文測定所得的結果具有更大的精度。話雖如此，但在本世紀內，天文學的進展仍非常快，也有著比過去更多的專業和業餘天文學家活躍在這個學術領域裏。這是什麼原因呢？

天文學的迷人之處

這些實際應用的興起之初，研究天文學是為了對人類所居住的這個宇宙能有所了解。甚至在早期，人們就對天文學感到振奮與興趣。最偉大的古代天文學家之一——托勒密曾說過：

「我了解自己的生命短暫且終會作古，可是當我環視聚集著無數星球的天空時，我就不再認為是處在地球上，而是和天神宙斯相鄰而坐，盡量享用諸神的供品。」

近代天文學家也會以不同的措辭來表達這個相同的感覺，很少人會不為天文學的迷人之處所感動。雖然許多天文學上的發現對於人們的日常生活並沒有直接的影響，但長久以來，它們仍一直被視為新聞事件。十八世紀末，侯西勒（William Herschel）發現了後來命名為天王星的一顆行星，立刻使他聞名於世，英王喬治三世即為此來資助他，讓他能夠拋棄樂師的工作，而成為一個專職的天文學家。侯西勒獲得支持來從事自己在天文學上的研究工作，其中的一個要求就是他必須讓他的資助人知道發生在天空中的任何事情。

天文學家們如今遵循著侯西勒的傳統，受雇來發現更

多有關宇宙的現象，而不只是提出實用的意見。這中間所改變的是資助的性質，絕大多數的天文學家現在是接受國家提供的款項，即由納稅人而非由個人來支持。近代的天文學家認為，讓今天的納稅人獲知他們所支持而令人興奮的成果，和以前去告知私人贊助者的情形同樣地重要。

當然，有更多的人對天文學產生興趣，必定會使其發展遠景更為美好。然而，納稅人通常並不會直接表示他們的錢是如何來運用的，就當前的財政趨勢而言，這多少使天文學易受責難。一方面，只有國家能提供足夠的資金來購置近代天文學所需的昂貴儀器；另一方面，天文學因為缺乏實際的應用，也成為財政刪減的一個明顯靶子。對天文學真正迷人之處所做的解釋是：它很完美地倖存至今。

從過去獲取教訓

從歷史上的觀點來說，天文學不僅是最古老的學科之一，同時也是第一個合乎近代科學觀念的學科。目前當大部分人在談論科學時，即認為它是一種綜合觀察、實驗和理論三者，有系統地來產生新知識的活動。特別有一種說法，認為科學是一種能夠來解釋有關我們周遭世界的種種，同時也能預測未來將發生某些事物的過程。在十七世紀的西歐，天文學就達到了解釋和預測的階段，在往後的幾個世紀裏，其他科學也相繼地發揮了這種作用。科學家和歷史學家長久以來都極想知道關於空間和時間有什麼特別之處，並嘗試提出許多可能的答案，其中有的對近代天文學還是很有關係的。例如，十七世紀的歐洲允許不同國家的科學家之間從事比較容易的通訊，因此在今天仍被視為天文學必不可少的。

由此得知，在早期天文學為其他科學鋪平了道路；當它們發展之後，天文學卻很難從它們那兒學到什麼。在十九世紀試圖了解宇宙時，就必須和物理學與化學的新發展緊密地結合，即使正今天也是如此。因此，天文學家有時在區別「天文學」和「天體物理學」時，認為前者是有關天體的位置和運動，而後者是涉及到它們的物理和化學性質。正如本書所要表明的，此兩分支是緊緊

地結合在一起的，但其中也顯示今天的天文學家更為關心天體物理學上的研究。那麼當代有關天文學上的大疑點是些什麼類型的問題，諸如『宇宙是如何起源的？』『太陽系是如何創始的？』之類的問題。要來解答此類問題，就必須要先取得經過廣泛研究後所獲得的資料，而我們目前可說仍只是處在預備解決的初期階段。

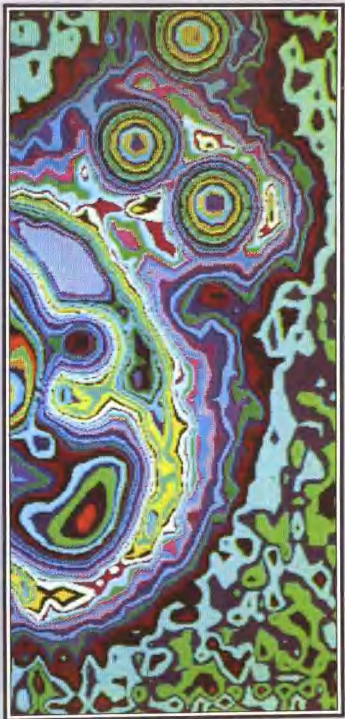
本書的二個原則

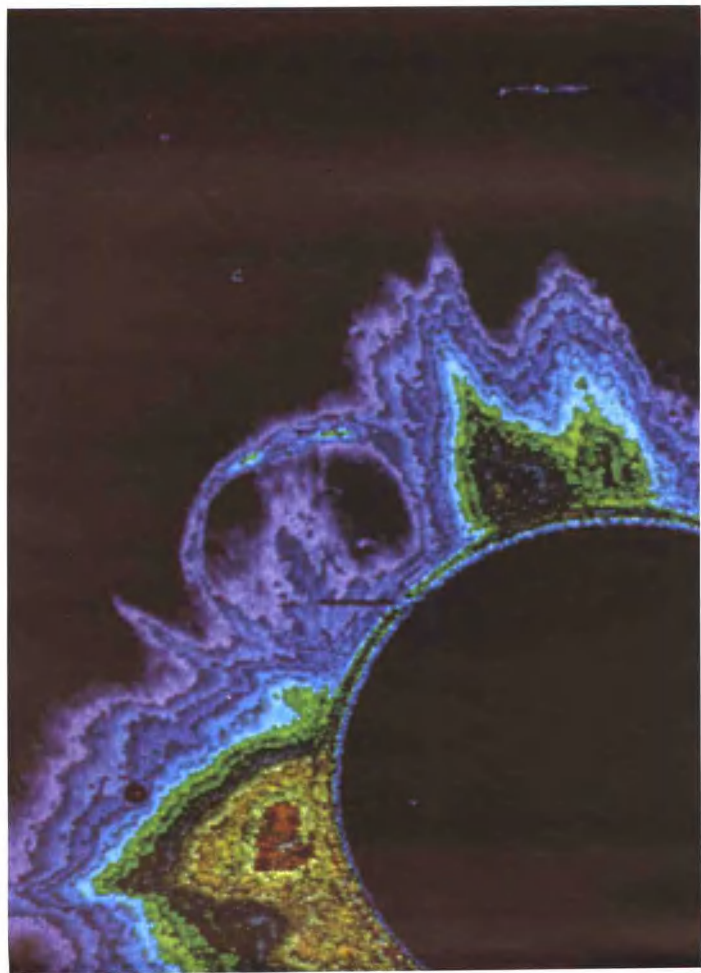
姑不論這些問題的複雜性，宇宙本身仍是一個含蘊豐富可供人們研究的課題，這其中有兩條指導我們的基本原則，第一，我們所知不多的宇宙大抵隨距離的延伸而逐步增大，距離地球愈近的物體也愈明亮，我們也能從它們獲得更多的訊息。第二，宇宙以一種有系統的方式來組成，先從我們所處的太陽系來看，是由諸行星所組成；再從大一點的範圍來看，太陽和其他許多星球一起組成銀河系；接著，本銀河系又和其他銀河系共同組成本局部的星系團；餘此類推。

上面第一個原則所揭示的是，當你著手學習天文學時，最好的方法是先從本太陽系內開始，然後再把目標逐步向外拓展。第二個原則意指我們應該就目標相似類型做一主題性的比較。本書所要展示的即在反映這兩個原則，當你審視目錄時，將發現本書的安排以太陽系為首，再有規則地向外延伸直到宇宙的盡頭。在此同時，書中亦將每個階段中的不同物體集中起來，以便看出有關它們在宇宙中所顯現的面貌。

自然地，本書向你展示的圖片盡量採用最現代化的方式處理，但這個顯然不是故事的目的。在天文學的發展歷程中，觀測天文現象受到若干的局限，其中最嚴重的限制就是我們必須從覆蓋在地球表面的大氣雲幕下來探索宇宙。而近代的一些發展成果，已經使我們能突破這許多限制，因此，今天的天文學知識也正以前所未有的腳步快速增長。

在本書的許多地方會有寫著「太極新焦點」的標記，即表示在你有生之年，將有新的發現。天文學可以被認為是科學中最古老的一門學科，同時也是二十世紀中變化最為迅速的科學。





行星及其軌道

地球、太陽與太陽系的登場……行星運動的描述……水星和冥王星的特殊軌道……地球型行星……木星型行星……行星資料的比較……行星的衛星……日蝕和月蝕現象……透視報導……地球形狀及位置的早期推測……哥白尼、伽利略以及其他近代天文學的創立者……行星的最新發現

地球是顆以一年繞行一周的軌道，環繞太陽這顆非常普通的中年最遲運動的小型行星，共有九顆行星繞著太陽運轉，其中的七顆行星也有自己的衛星在周圍繞行。這些行星，衛星再加上一大羣小天體及某些氣體、微塵粒子，共同組成了太陽系(Solar System)。

太陽是一顆能自行發光的氣體球，直徑有一百三十九萬二千公里，是地球直徑的一百零九倍，並且幾乎是本系這顆最大行星的十倍。而太陽的質量為地球質量的三十三萬倍，大約是所有行星加起來總質量的七百四十倍。正因為太陽的質量如此之大，所以它具有強大的引力，並藉此控制著在其引力範圍內的所有行星和較小天體的各種運動，而使整個太陽系聚在一起。

從距離太陽最近的行星算起，依次是水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星，有些天文學家相信遠在冥王星軌道的外側可能還存在著第十顆行星。小行星(asteroids)是最大的較小天體，主要運行於火星和木星軌道之間。每顆行星的運行軌道並非圓周，而是呈橢圓形，因此在每年繞行期間，和太陽的距離並非固定，最接近太陽的一點稱為近日點(perihelion)，距離最遠的一點稱為遠日點(aphelion)。地球和太陽的平均距離是一億四千九百五十九萬七千八百七十八公里，這個距離即是所謂的天文單位(AU, astronomical unit)，是一個用來比較行星軌道極有用的判斷標準。其他行星和太陽的平均距離，範圍可從水星的0.39個天文單位到冥王星的39.4個天文單位。冥王星的距離變化在29.6至49.2個天文單位之間，當它位於近日點時，甚至比海王星還更接近太陽。



▲為一四九三年發行於維倫堡有關托勒密系統的精緻圖畫，顯示出太陽是位在金星和火星之間以環繞地球的軌道運行著。五十年後，地球位於宇宙中心的觀念即開始受到嚴厲的挑戰。

從平坦地球到圓形地球

當一個人隨意環視周圍的景物，考慮到諸如山丘和谷等等的表觀的不規則面貌時，一定想不到科學上曾假定地球是平坦的。而對早期文明諸國來說，俯視自然地認為地球不但是平坦的，而且是靜止不動的，整個天空即環繞著它，並且每二十四小時旋轉一圈。甚至早期的希臘哲學家也相信地球位於宇宙的中心，平坦且不會旋轉。一般認為希臘第一位偉大科學家的泰利斯(Thales of Miletus, 西元前624~537)，就以地球是個像軟木塞一樣浮在水面上的扁平盤子之說法來教學生。

希臘人最後認知到地球必為球體的事實，是經過觀察所得出的必然結果。例如，從亞歷山卓可以看到昴星老人星(Canopus)，但是在雅典卻因為從未升至地平線而無法看到。此外，當地球的影子落在月球表面時，即形成月蝕現象，它看來呈圓狀，所以地球表面也一定是彎曲的。能夠接受這種觀念，就向前邁出了重要的一步，然而，希臘人仍未能將地球從宇宙中心的位置解脫出來。

以地球為中心的宇宙

少數哲學家實際上曾向這個以地球為中心的「地心說」(geocentric)宇宙觀挑戰，阿里斯塔克斯(Aristarchus of Samos, 西元前310~213)即大膽地提出地球以一年的週期環繞太陽運行的說法，然而他無法拿出任何證明，這個以太陽為中心的「日心說」(heliocentric)理論，許多世紀以來還為人所蔑視。希臘人代之而起的是發展出一個所謂「本輪」(epicycle，亦稱圓轉圓)的理論，認為由於圓形是個完整的形式，而且只有真正的完美才能存在於天空中，因此所有的天體必須在完整的圓上運行。可是，很明顯地，人們從很早以來就知道，和天上的星星相比對，諸行星並非以平穩、規律的狀態在運動著。因此，希臘人又假定即便一顆行星環繞地球運行，它本身也在做本輪的運動，這個本輪的中心又以一個完整的圓環著地球運行。當愈來愈多的不規則現象出現時，就必須再加上更多的本輪，直到整個托勒密系統(Ptolemaic system)變成一個複雜的宇宙迷宮為止。

這個以活躍在西元一五〇年左右的最后一个偉大天文學家托勒密(Ptolemy)的名字來命名的托勒密系統，儘管有其複雜性，還是持續了數世紀之久，因為它並沒有和觀測所得的證據相抵觸，而且也沒有出現可用来駁斥它的理由。

阿拉伯世界的傳統

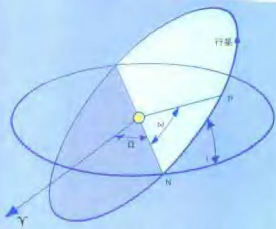
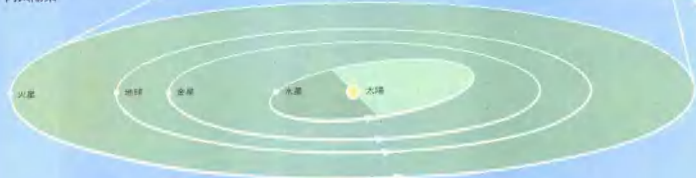
一直到七世紀阿拉伯文明興起之後，系統性的觀測工作才再一次地展開，當時，它主要是做為占星學(astrology)上的用途。而直至十七世紀為止，占星學仍被視為一門真正的科學。阿拉伯人建造了改良型的測量儀器，並且非常精確地計算出已知行星的視運動(apparent motion)。最新且最精巧的專門研究用的天文臺也於一四三三年由烏魯貝格(Uluğ Beyh)在撒馬干(Samarkand)建造完成。

除了水星和冥王星之外，所有行星的軌道可說幾乎都在同一個平面上。

外太陽系



內太陽系

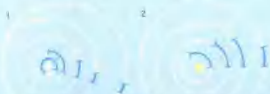


▲一個行星軌道的方位測定是經由三個角度來描述的：(1) i (傾角)，為介於地球軌道面(黃道面)和行星軌道面間的角度；(2) Ω ，為介於太空中的一個特定方向(γ)和行星軌道從南至北通過黃道的一點N之間的角度；(3) ω ，為介於N點和行星最靠近太陽的近日點P之間的角度。

雖然所有的行星均以橢圓軌道來運行，但其中大部分軌道都幾乎是圓形的。一個橢圓延伸的程度，即其偏心率是由介於零(就一個圓形來說)和一(就一個拋物線來說)之間的數目來表示的，偏心率愈大，這個橢圓也愈向外延伸。在諸行星當中，水星和冥王星各具有偏心率為0.206和0.250的明顯橢圓形軌道。所有這些軌道中最橢圓的就屬彗星的軌道，幾乎所有彗星的軌道都延伸到最遠的行星外側。大多數的天文學家相信，在距離太陽大約四萬個天文單位的軌道上，有一個巨大的彗星聚集區。

所有行星都以同一方向繞著太陽由西向東運行，這種運動叫做順行(direct motion)。大部分行星的軌道位於不超過地球軌道面——黃道(ecliptic)幾度的範圍內。同樣的，水星和冥王星又是兩個例外的情形，它們的軌道各自和黃道呈7°和17°的傾斜。某些小行星有更大的傾斜軌道，此外，長週期彗星的軌道傾角可以從零度到180°。那些具有比90°更大傾角軌道的天體，是以逆行(retrograde

►這兩圖顯示出五顆外行星在十年內運行的距離1，以及四顆內行星在一個月內運行的距離2。



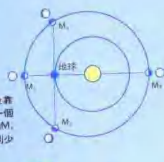
►金星在運行到太陽東邊時，它在太陽之後才西沉至地平線下，而當它來到太陽西邊時，則比太陽早升起。太陽和金星間的最大觀測角度是在 V_1 和 V_2 點上。

►金星在 V_1 時，其黑暗面向著地球；在 V_2 時，則其光亮面向著地球。而在 V_1 和 V_2 時，呈現出來的是個「半月形」的位相。



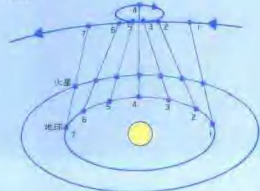
V_1 : 下合
 V_2 : 西大距
 V_3 : 上合
 V_4 : 東大距
 M_1 : 衝
 M_2 : 方照 (亦稱弦)
 M_3 : 上合
 M_4 : 方照

►火星在 M_1 的位置時最靠近地球，看起來就像是一個十分明亮的圓盤。在 M_2 和 M_3 的位置附近時，只能看到少許的位相。



motion)的軌道運動的，也就是其運行方向和行星相反。

運行軌道在地球軌道之內的水星和金星稱之為內行星(inferior planets)，因為它們的運動速度比地球快，所以會在地球和太陽之間週期性地出現趕上並超過地球的情形。當其運行至這個位置時即稱為下合(inferior conjunction)。由於此二顆行星的軌道傾角，使得它們在處於下合時，雖然偶而會從太陽表面經過而出現凌日(transits)的情形，但通常則剛好在太陽上方或剛好在下方通過。平均來說，水星在一百年內會出現十三次凌日的現象，金星的凌日現象則更罕見，上一次出現是在一八八二年，下一次則要到二〇〇四年才會再發生。行星在通過下合之後，即朝太陽西邊移動，並且可以在日出前的天空中看到。太陽和行星之間的角度稱為距角(elongation)，水星的最大距角為28°，金星則為47°。從那之後，距角開始縮小，直到行星通過太陽後面來到上合(superior conjunction)的位置，接著，它再次在太陽東邊出現。



▲此圖顯示出地球和火星在軌道上的位置順序，對火星在天空中的視運動也同時表出。相對於做為背景的星球來看，大部分的時間裏，火星是從右到左做順行運動；但是當地球的運動追上火星接近衝的位置時，火星即出現向後運動的逆行現象，而在天空劃出一個圓圈。

除了金星之外，每顆行星都以相同的方向繞著自己的軸旋轉。

那些在地球軌道外側運行的行星就是所謂的外行星(superior planet)，它們的移動速度比地球還慢，在一定時間內會被地球追上。這種情形出現時，太陽、地球和行星三者排列成一直線，地球位居中間，我們說這顆行星即位於衝(opposition)的位置；也因為它此時最靠近地球，且整個晚上都會得到，所以也在最佳的觀測位置上。行星通過衝的位置即落在地球之後，最後來到太陽後方的上合位置，緊接著再一次出現在太陽東邊，在清晨的天空中可以從地球上看到。從太陽、地球和行星排列成一直線時起，到下一次出現同樣排列情況時為止所經過的時間，也就是出現在兩次上合或兩次衝之間的時間，稱為這個行星的會合週期(synodic period)。

地球型行星

太陽系裏四顆最內部的行星因為有著一些和地球同樣的特徵，例如它們主要都是由多種岩石礦物和金屬組成，且是密度較高的小天體，所以統稱為地球型行星(terrestrial planet)。水星直徑不到地球直徑的百分之四十，它繞其旋轉軸自轉(rotation)一圈的時間需要58.7天，是其公轉軌道週期87.97天的三分之二，因此形成了一些隨季節不同而呈現出來的徵態。金星差不多和地球同樣大小，然而卻是一個炎熱且極不適宜居住的世界，終年為雲層所覆蓋著。金星以運行的方式每二百四十三天繞行自己的軸旋轉一圈，地球是第三顆行星，表面大部分為水所覆蓋著，並且是所知唯一擁有生命存在的行星，它有著一顆大約為其直徑四分之一的大衛星——月球。火星的直徑約為地球的一半，而其質量只有地球的十分之一，是個有稀薄大氣的寒冷世界，雖然如此，它是除地球本身以外的行星中，惡劣條件最少的一個。即使這樣，現在看來火星似乎並不像真能夠維持甚至是生命最基本形式的存在。

木星型行星

接下來的四顆大型行星，因為在各方面都和木星相類似，所以常被稱為木星型行星(Jovian planet)。木星型行星的密度比地球型行星少很多，並且主要由氫和氦組成。木星的直徑是地球直徑的十一倍，而其質量也達地球質量的三百一十八倍，更是其他行星質量總和的2.5倍。木星的自轉週期在赤道部分只有九小時五十分鐘，是任何行星中最短的，也因為其自轉速度極快，使得它的赤道部分鼓起而兩極部分顯得扁平，赤道直徑比兩極直徑多了大約有八千五百公里。土星和太陽的距離幾乎有木星和太陽距離的二倍，其直徑是地球直徑的九倍，質量則為地球質量的九十五倍，平均密度比水還小。土星的自轉速度也很快，因此赤道部分也有顯著的鼓起。然而，土星最顯著的特徵是它那廣闊、複雜的土星環系統。

下一個行星是天王星，它和太陽的距離是地球和太陽距離的十九倍，直徑是地球直徑的四倍，公轉週期大約八十四年。海王星的大小和天王星類似，但質量稍微小一點，且密度秘密得多。海王星距離太陽三十個天文單位，離行軌道一周需要一百六十四年。冥王星是已知行星中的最後一顆，雖比月球還小，但伴隨著一顆相當大的衛星夏龍(Charon)。冥王星環繞太陽一周需要二百四十八年。

科學革命家

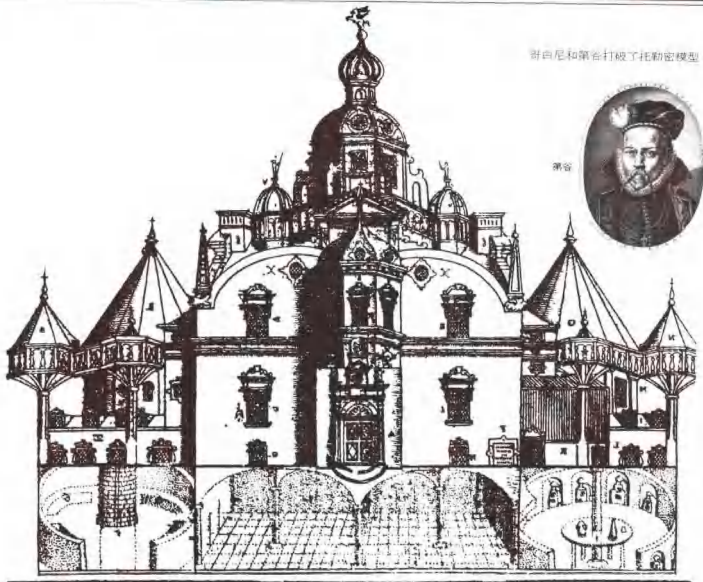


▲哥白尼，十六世紀的本國作品。

▼以太陽為中心的哥白尼系統是於一五四三年哥白尼逝世而不久發表的。馬丁路德(Martin Luther)宣稱「這個傻子是想要去推翻整個天文學」他的話可說是教響的代表性反應。



哥白尼和第谷打倒了托勒密模型。



哥白尼

一直到托勒密死後經過約十四個世紀，才有一位波蘭傳教士哥白尼(Mikołaj Kopernik, 1473~1543)，向來是以他的拉丁名字 Copernicus 著名)對其地心理論產生極大的懷疑。在哥白尼傳教生涯初期，即開始對托勒密理論產生懷疑，並且了解到只要把地球從太陽系的中心位置移開，而以太陽來取代它，就可以克服許多反對此理論的理由。哥白尼的名著「天體公轉論」(On the Revolutions of Celestial Sphere)大概完成於一五三〇年前後，可是，由於他了解教廷對於有關認為地球不是宇宙中最重要物體的任何觀念都持敵對的態度，所以他並不想將此書發表。哥白尼的書終於在一五四三年刊行於世，雖然當時的發行人歐辛德(Osiander)並沒有徵得哥白尼的同意，仍在書中加了一篇前言，大意是說哥白尼並不企求他的理論能全盤被接受，而只是期望在行星運動的數學計算上有所助益而已。他的理論確實形成了一股很強的反對聲浪，但他的確也有著許多的錯誤，尤其是他仍堅持完美的圓形軌道概念，使得他的理論幾乎和其所取代的理論同樣帶來麻煩。

第谷

緊接著的重要人物是丹麥天文學家，也是科學史中幾當多采的人物第谷(Tycho Brahe, 1546~1601)。第谷在學生時代曾參與一次決鬥而喪失掉部分鼻子，再以金、銀和鍍製成的假鼻來取代。當第谷於一五七二年在仙后座(Cassiopeia)觀測到一顆超新星(supernova)時，即被天文學所吸引。他接受丹麥王朝的支持，在波羅的海的芬島(Hven)上建造了一個天文臺。雖然沒有望遠鏡，但是卻有那個時代最好的測量儀器，除了非常精密地測量出行星的運動外，在一五七六至一五九六年間，他也製作了一個精確的星球總錄(star catalog)。由於火星具有一個沒有地球和金星軌道那樣圓的軌道，所以他對火星的種種現象格外注意。

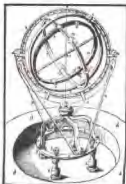
第谷明白過去的托勒密系統完全無法發生作用，他未曾相信地球是會移動的，因此提出了一個折衷系統，按照他的說法，當太陽本身環繞地球運行時，其他行星則繞著太陽運行。第谷突然在一六〇一年逝世，其觀測工作則留給他的最後一個助手，一個叫做開卜勒(Johannes Kepler, 1571~1630)的德國人來繼續進行下去。



第谷

▲位於芬島上第谷的天文臺，他大部分的重要工作都在此地完成。第谷於一五九六年離開丹麥之後，這個天文臺就從未再使用過。

▼這個黃道渾天儀(zodiacal armillary sphere)是第谷的一個觀測儀器，可用來觀測及追蹤行星和星球的運動情況。



實際觀測和神論的抗爭



▲伽利略——當時的一張肖像。

▼左邊是伽利略的塗彩作品，顯示出月球的各種位相。右邊為其筆記和素描，是有關於一六—三年一月二十八日的海王星紀錄。伽利略以它為一顆固定不變的星球。



▲這二支由伽利略製造的望遠鏡，具有一個十七弧分 (arc minute) 的視界。左邊這一支的倍率為十四倍，右邊這一支則為二十倍。

伽利略

早在一六〇八年以前，荷蘭就已發明了望遠鏡，當這個消息傳到帕度亞(Padua)大學的數學教授伽利略(Galileo Galilei, 1564~1642)耳邊時，他即自己製作了一架。伽利略用自製的望遠鏡在一六〇九至一六一〇年間的冬天進行首次的觀測，並獲得一連串驚人的發現。他看到月球上的山嶺，也看到了木星的四顆衛星，每一件事都讓他更加確定了自己認為太陽是太陽系中心的信念。其中尤以觀測到木星的衛星這件事更為重要、毫無疑問的，那四顆衛星圍繞著木星運轉，因此在行星系統裏一定還存在不止一個的運動中心。此外，關於金星的位相也是一個疑問。根據古老的托勒密理論，金星不可能出現從新月形到滿月形的完整連續位相，然而事實的確是這樣的。即使伽利略的說法不正確，這個事實也證實了托勒密的理論無疑地仍是錯的。

伽利略將其種種發現寫在「星宿使者」(Sidereus Nuncius, 英文為The Starry Messenger)一書上發行，雖然某些教會人士仍持懷疑的看法，但其觀點卻能廣為人們所接納。當伽利略於一六一一年來到羅馬時，不只受到一位對他有影響力的老友紅衣主教巴貝里尼(Barberini)的歡迎，羅馬馬教堂也歡迎他的到來。在那期間，伽利略從威尼斯搬到佛羅倫斯，並成為比薩大學的首席數學家和大公身邊的哲學顧問。然而對他來說，這卻是一項錯誤的決定，因為佛羅倫斯的學術風氣遠不如威尼斯的來得自由。

伽利略的敵對者。康地教僧侶路西尼(Tommaso Dacchini)在寫給宗教法庭的控告信函中，敘述他看到伽利略給其朋友凱斯特利(Castelli)的信。羅馬的一位紅衣主教貝拉明(Bellarmino)對於有關移動中的地球理論有如下的敘述：「……使我們的聖潔信仰受到傷害，並使得神聖不可冒犯的聖經被認為是虛假偽造的。」一六一六年，羅馬教皇保羅透過貝拉明命令伽利略停止講授移動中的地球的異論。

當巴貝瑞尼紅衣主教成為教宗烏爾班八世(Pope Urban VIII)時，整個情況才為之改變。伽利略於一六三〇年以介於三個人物間的對話形式完成了一本主要著作，書中的三個人分別是：偏愛哥白尼理論的薩維亞提(Salviati)、反對哥白尼理論的辛普利西奧(Simplicio)，以及大致保持中間論調的沙格雷多(Sagredo)。辛普利西奧被塑造造成一個看來非常純真甚至滑稽的人物，因此，「對話錄」(Dialog)一書實際上是用來公開宣傳一個以太陽為中心和地球會移動之理論的作品。伽利略將書稿送到羅馬，交由宗教法庭審閱，最後終於在一六三二年發行於世。

然後情況突然大變，教宗烏爾班八世完全不同於過去的紅衣主教巴貝瑞尼，竟認為他受人愚弄。事實上，伽利略筆下的辛普利西奧即指的是他。上了年紀的科學家旋即被召回羅馬，明曉地以一個捏造的罪名予以逮捕，並接受審判，然後定罪。伽利略在被監禁於其別墅內受到嚴密監督後，於一六三三年被迫承認地球圍繞太陽運行的錯誤理論，公開宣布放棄自己的主張，並在該地度過餘生。

►伽利略發明了一種稱為木星儀(Joviliabe)的裝置來計算木星衛星的位置，其中四顆最大的衛星以帶有數字的圓圈來表示。

▼伽利略關於木星和其四顆最大衛星的描述。

