

LIFE 自然文庫

宇宙



生活自然文庫

宇宙



叢書:

航海的人們
第二次世界大戰
人類的行爲
世界原野奇觀
世界各大城市
縫紉的藝術
人類的起源
時代生活園藝百科全書
生活攝影叢書
世界烹飪叢書
時代生活藝術文庫
人類的偉大時代
生活科學文庫
生活自然文庫
家庭實用叢書

專輯:

生活雜誌精粹
生活的電影世界
生活在戰爭中
嬰兒是怎樣製成的
瀕臨絕種的動物
攝影的技術

SERIES:

THE SEAFARERS
WORLD WAR II
HUMAN BEHAVIOR
THE WORLD'S WILD PLACES
THE GREAT CITIES
THE ART OF SEWING
THE EMERGENCE OF MAN
THE TIME-LIFE ENCYCLOPEDIA OF GARDENING
LIFE LIBRARY OF PHOTOGRAPHY
FOODS OF THE WORLD
TIME-LIFE LIBRARY OF ART
GREAT AGES OF MAN
LIFE SCIENCE LIBRARY
LIFE NATURE LIBRARY
FAMILY LIBRARY

SINGLE TITLES:

BEST OF LIFE
LIFE GOES TO THE MOVIES
LIFE AT WAR
HOW BABIES ARE MADE
VANISHING SPECIES
THE TECHNIQUES OF PHOTOGRAPHY

生活自然文庫

宇宙

大衛·伯爾格米尼
與時代 - 生活叢書編輯合著

紐約 時代公司出版

作者

大衛·伯爾格米尼(David Bergamini)是一位傳教團體建築師之子。他父親由於本身的職務而能帶着家小到遠東的許多地方居住。伯爾格米尼生於東京，在中國渡過了童年。第二次世界大戰爆發時，他年僅十三歲，正住在菲律賓。他被關進集中營後，用了大量時間學習數學，這使他產生了對天文學的強烈興趣。戰後，他前往達特茅斯，主修英文，兼修數學；並於1949—1951年領取羅德茲獎學金來進行研究生的課業。他在專門從事寫作之前，曾有10年時間，任《時代》雜誌科學部記者和編輯。他發表過一些科學論文，是“生活科學文庫”中《數學》及“生活自然文庫”中《澳洲的土地和野生動物》兩書的作者。此外，伯爾格米尼的著作還有《日本帝國的陰謀》及《艦隊覆滅記》，這後一本書是他根據自己在菲律賓所渡過的戰爭年代之中實際生活寫成的，深具動人的力量。

封面說明

一團遙遠的星雲因含有大量的氫而看起來呈現紅色，隱藏在星雲深處一顆星的輻射使這星雲的氣體閃閃發光。該星雲形狀頗似北美大陸，因此被稱為北美洲星雲。

編輯顧問

本書中文版編輯顧問廖慶齊，香港大學文學士，曾任香港皇仁書院副校長及沙頭角官立中學校長。從事天文觀測多年，為美國變星觀測者協會及月球行星觀測者協會會員，擅長天文攝影術，曾赴各國考察天文事業。兼任香港大學校外課程部的天文學導師，現任香港市政局太空館參事。

目錄

原序	7
1 神話式的設想和錯誤概念	9
2 對宇宙進行探測	31
3 行星、隕星和彗星	63
4 太陽的傳記	85
5 我們的星系是甚麼構成的	106
6 星的誕生與死亡	129
7 銀河之外	145
8 空間、時間與宇宙	169
附錄	186
參考書目	187
索引	188
誌謝	192

時代 - 生活叢書

中文版

編輯：徐東濱

副編輯：蕭輝楷

助理編輯：張柱

編輯助理：嚴慧

本書譯者：時代公司 蘇明璇

出版者：時代公司

Authorized Chinese language edition

©1977 Time Inc. Reprinted 1978.

Original U.S. English language edition

©1962 Time-Life Books Inc. All rights reserved.

原序

以往一個世紀中攝影術的進步，為好奇的人類帶來了一種心愛的寶物。不僅如此，這些進步已經改變了科學和藝術的許多方面。如果天文學家仍然只靠肉眼來尋求宇宙知識，那麼甚至儘管有望遠鏡透鏡和反射鏡來幫助眼睛、想要多好就有多好地探查遙遠的星系並弄清宇宙化學，所得的知識也會是相當貧乏的。的確，如果沒有進步的攝影術，像本書這樣以優美圖片來論述宇宙根本不可能。

我們停下來好好地沉思一下，是不是可能有些用於探究小宇宙和大宇宙的未知工具，經過改進之後，能像一個世紀之前的攝影術去除遮擋肉眼的大部份障礙那樣，驚人地突破無知這個障礙呢？不用攝影術的射電望遠鏡以及光電管會不會就是這樣的工具呢？現在，有那麼多的未知，而且還有更多的未可知——對於我們目前的智力和感官機能來說不可能知道的。我們到哪裏尋求突破呢？是到動物心理學裏，還是到全新的數學領域裏、對人類個性的研究裏、亞電子學裏、消除迷信和不合理的成果裏？

探索宇宙的人們面前呈現出美好的前景；但是如果沒有光學化學方法給予大力幫助和指導研究，並使本書有關它們的動人故事得以面世的話，那麼前景該會是多麼的蒼白乏味。

我們手頭有一些照片錄下了本星系的上百萬顆星。另外一些照片在摸索宇宙邊際時，發現了數以千計的其他星系。我們所能探究的空間-時間裏面住着的星系數目，是我們這個擁擠的行星上人類數字的十倍。這麼多星系，真夠讓每一個人分一個！

哈洛·夏普萊
哈佛大學



離地球 3,000 光年遠處，有一堆不透明氣體的陰雲，遮蔽了麒麟星座的一部份。它隱藏着尚未解開的疑團。這堆氣體雲怎樣到達那裏？雲的背後又是些甚麼？我們可能永遠不會知道。

1

神話式的設想 和錯誤概念

處身於二十世紀後期的我們，生活在一個人類從事最重大冒險的時代中：人開始試着飛離自己的誕生地地球，前往浩瀚無涯的宇宙。說不定在這種人類精神最終的探索得以完成之前，天上的星星就已燃燒殆盡，而生命以及宇宙本身也都逐漸消亡掉了。不過即使真有這麼一天的話，那也將是在數十億年之後。目前，對宇宙的探索正以小小的步伐進行着：攀登月球諸山，穿透金星濃霧，甚至於可能邁步於火星上的紅褐色荒漠。今後數百年內，成批的移民或許會出發遠征其他星球，經歷幾代才完成航程。今後數千年內，地球上人類的子子孫孫，或許會散處到各個星球，以致與本土同胞相隔絕的程度，遠超過以往大移民時期徙居美國佛吉尼亞州的英國人和徙居波利尼西亞諸島的亞洲大陸人。

這個人類表現出勇氣和智慧的时代，正出現在人對地球以外的大宇宙的概念比以往更深愧無知之際，真有點出乎意料。人類原本一度堅信整個宇宙（日、月、各行星和無數恆星）繞地球而轉，而如今已經知道地球不過是無數星系中的一個星系內的一顆普通恆星屬下的一個頗為小巧的行星而已。人只是剛開始積累第一手的宇宙知識（就連對近處的月球也是這樣），不過已依靠對太空深處

各種現象的觀測，以及對其所見作出謹慎推論，了解了宇宙空間的許多極大奧秘。未來的經驗豐富的太空航行人員憶述起在其他行星上所見的日落或月景時，將顯得老練無比。此時此地的天文學家們，雖然還沒這麼勇敢，也沒離開過地球，却已經概略地窺測到宇宙的全貌和動人景象。從事這項工作的大膽的科學家們一直把追探宇宙的輪廓看成是一種引人入勝的探險活動。

自最古的史前時期起，人就曾注視夜空中似乎雜亂無章的景象，並且面對看到的閃爍天體的形貌沉思着。文字發明以前，人已為許多天體命名；各種道德系統成型以前，他就在膜拜太陽、月亮；沙漏或滴漏（水鐘）創製出來以前，他就注意到天體的運動，記錄下日、月、季節和年份的數目。對於游牧民族和航海人員，天上的星星是指點方向的路標；對於農民和牧人，月亮的盈虧和太陽一年一度的旅行是下種和雨季來臨時節的預報。最早的天文學，在因為它所致力的目標而贏得“科學”這個雅號的很久以前，是一門實用性很突出的學問。在為它作出的努力當中產生了许多門科學——畢達哥拉斯的幾何學，牛頓的動

星圖

本頁和下頁兩圖所示為北半球和南半球可見的較亮星座。大黑體字為星座名，而小黑體字則為個別星名。北方天空最顯著的特點北斗七星，實際上是大熊星座的一部份。兩圖中所見橫亘天空的淺色雲帶就是所謂的銀河。



力學，愛因斯坦的物理學和宇宙論。

人到達太空船發射台的路途並不平坦。許多如今看來屬於常識的觀念在當初看來正好相反。這些觀念同肉眼看到的景象互相抵觸，需要成堆的艱難推論和沒個完的、用粗糙儀器所作的夜間觀測，才能夠予以證實。在最早的觀測者眼中，天空是一個大圓拱頂，晚上散設着閃爍的小火點。太陽每天橫越拱頂，在東方的海上露頭，鑽進西方的大洋睡覺。顏色淡淡的月亮是夜空中最亮的天體，看上去像是陰性的東西，盈虧的周期是29天。

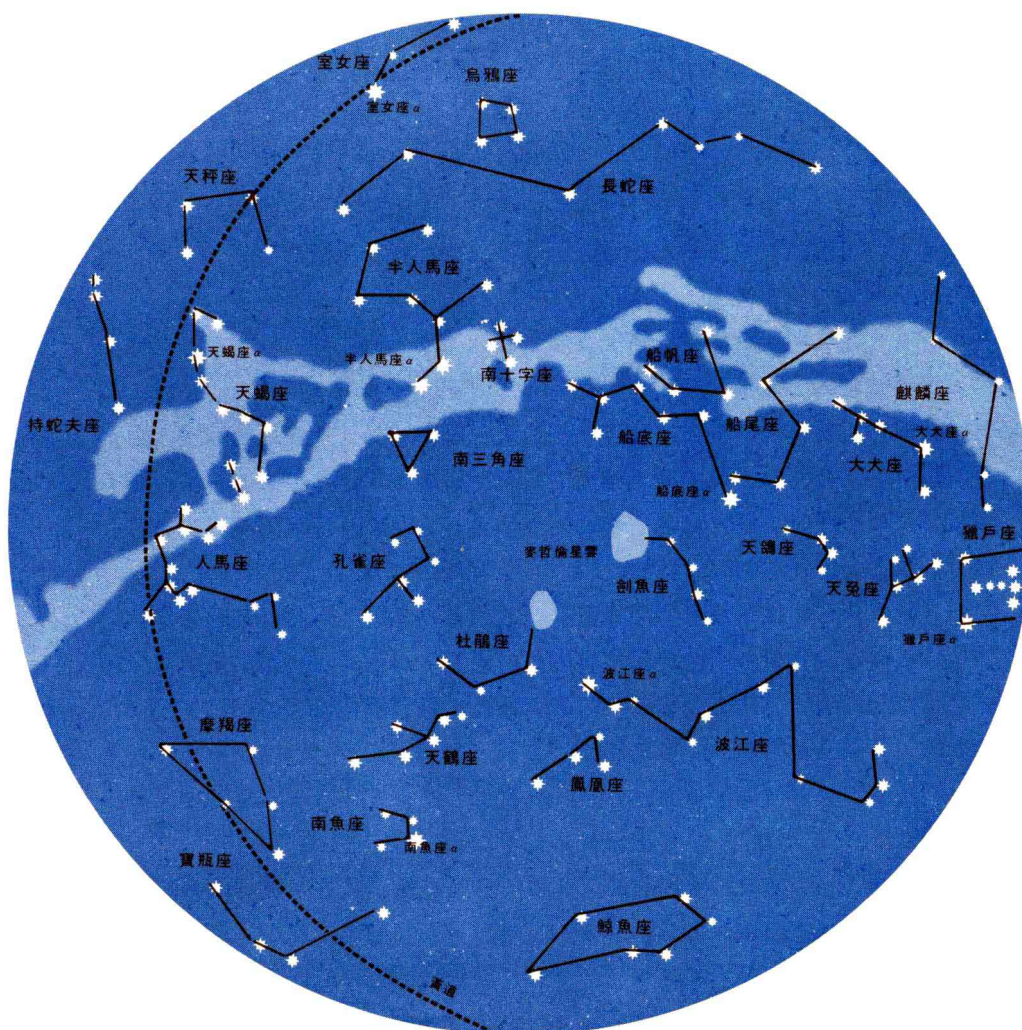
但是就連描畫這麼簡單的一幅天空圖，也曾遇到過種種困難。一個人只要帶着一根直桿子，便能看出太陽每天橫越天空的途徑不是一成不變的。此外，四季的輪迴帶來了寒、暑與旱、澇。月亮重複消光次數的計算，有助於推算這些季節變化，不過只能算個大概，並不精確：用月亮來估算春汛或秋雨的來臨日期可能失之過早或過遲。經過不知多少世代的耐心計算，才發現十二個陰曆月不是正好等於一年，而是短了十一天。還有，發生日、月蝕的時候，白晝光

一些最亮的星

人在地球上能用肉眼看到的7,000顆星之中以下表所列的25顆星最亮，它們按視亮度由高到低排列。視亮度和真亮度不是一回事。例如天鵝座 α 星（天津四星）實際是這些星中最亮的，但它離我們太遠了，所以按其視亮度只能屈居第十九。括號內是中國對這些星的傳統稱呼及俗稱，有些很美。

星名	真亮度 (太陽為1)	距離 (光年)
大犬座 α （天狼星）	23	8.7
船底座 α （老人星）	1,500	98
半人馬座 α （南門二）	1.5	4.3
牧夫座 α （大角星）	114	36
天琴座 α （織女一，織女星）	55	27
御夫座 α （五車二）	150	45
獵戶座 β （參宿七）	60,000	900
小犬座 α （南河三）	7.2	11.3
獵戶座 α （參宿四）	15,000	520
波江座 α （水委一）	718	118
半人馬座 β （馬腹一）	10,400	490
天鷹座 α （河鼓二，牛郎星）	11.4	165
南十字座 α （十字架二）	5,000	370
金牛座 α （畢宿五）	164	68
室女座 α （角宿一，天門）	1,800	220
天鵝座 α （心宿二，大火）	9,500	520
雙子座 β （北河三）	34	35
南魚座 α （北落師門）	13.7	23
天鵝座 α （天津四）	60,000	1,600
南十字座 β （十字架三）	6,000	490
獅子座 α （軒轅十四）	164	84
大犬座 ξ （弧矢七）	9,500	680
天鵝座 λ （尾宿八）	1,800	310
雙子座 α （北河二）	36	45
獵戶座 γ （參宿五）	4,000	470

注：表中星若為一個雙星或一個多星聚星時，所列亮度為主要子星的亮度。





托勒密(公元140年前後在世),生於埃及的希臘天文學家,最先將宇宙圍繞着位於其中心的穩定地球而運行的理論系統化。這一學說見於他所著、在整個中世紀被奉為經典的《偉大論》。



阿基米德(公元前287-212),生於希臘、住在賽拉丘斯的數學家兼天文學家,曾系統闡述齒輪、滑輪和槓桿作用定律,和浮力等於物體排開液重的定律,並且首先能熟練運用天文數字。

明的主宰或黑夜柔和的明燈慢慢消逝,接着重新復原,這又該怎麼講?

更令人困惑的是:那些閃閃發光的星星全部很巧妙地固定在旋轉的蒼穹上;“那些”,指的是除了五個漂泊的流浪者即我們所知肉眼可見的水星、金星、火星、木星和土星以外的所有各星。在某些時候,甚至就連恆星那樣嚴謹的團體,也會增加一個似乎是全新的成員(現在稱之為新星或超新星),從黑暗中閃爍出光芒,在它逗留的短短幾個星期或幾個月中,亮到甚至使人能夠在白晝注意到它,然後再一次消逝於黑暗之中。

隨着文明的進步,有些人能畢生致力於研究這些和其他的天空奧秘。很古時的美索不達米亞的僧侶保持日、月及各個行星運動的詳細統計記錄,能在不明白月蝕原因的情況下大略預測出月蝕。他們繪出了太陽每年橫越天穹途徑(今稱為黃道面)的圖。他們準確計算出兩次滿月之間的時間略多於於29 $\frac{1}{2}$ 天。他們又建造了一些七層塔,大概用於敬奉日、月和五大行星,當時敵視這種崇拜的希伯來俘虜把這種塔叫做巴貝爾塔,使它名垂千古。

所有舊大陸(歐亞非三洲)的古老文明中在精確觀測方面,只有中國人足以與美索不達米亞人媲美。中國人遠在公元前2137年就曾記錄下日蝕,而且曾建造了大量的天文台。在新大陸(美洲)的瑪雅人也是古時出色的天文學家。他們採用的曆法,在許多方面都比我們目前通用星期、月份、年和閏二月為29天的這一系公曆方便。他們預測日、月蝕,並標計出太陽年和太陰月的長,精確度相當驚人。可惜我們只能辨認瑪雅人的數碼,而不能認出他們的文字,所以對他們天文知識的整個範圍,至今仍不了解。

所有古代文明中我們稱之為天文學的學問,總是與占星學、迷信和原始的宗教携手並進的。最早的使用科學方法的天文學家出現於希臘。希臘人擁有一種極珍貴的科學財富——幾何學,他們一直使它同天文學一齊發展,成為令人驚嘆的智力工具。最早的希臘天文學學派的成長,不是在希臘本土,而是在特洛伊以南今日土耳其沿海一帶的希臘諸城。這個學派採取的概念也是最正確的。早在公元前600年,邁里特斯城的哲學家泰爾斯就曾設想到地球是圓的。兩個世紀以後,畢達哥拉斯的門徒堅持說地球是球形的,同時還運動着穿越空間。可惜,畢達哥拉斯的門徒把他們的出色推論和神秘的命理學混淆起來了。他們有證據證明天空中有九種不同的圓周運動:這九種是恆星的、五大行星的、地球的、月亮的和太陽的。但是在他們看來,九是一個“不完整的”數目,於是乎他們捏造出一個老是停留在世界另一側遠方、使世人——至少是希臘人——永遠看不見的“反地球”,從而把總數湊成十。

柏拉圖(公元前427—347)對於天文學的各種見解,代表了那時困惑與不帶偏見的態度。柏拉圖在他的哲學事業開始時,曾設想過諸神駕着閃光的戰車越過天空。後來,他懷疑過地球到底是扁的還是圓的。他終於認定地球是圓的,月蝕時地球在月亮上投影的形狀是有力的證據,但是在這最初他認定地球是一

切事物的中心，是靜止不動的。然後他越來越感覺到如果說地球繞軸自轉，還可能循一條軌道公轉，似乎與證據更相吻合。據史學家普盧塔克所記，柏拉圖最後到了老年時，“非常內疚，為的是把地球放在宇宙的中心，其實它本不配放在這地方……因為這個正中而且最崇高的地方應該留給更有價值的東西。”

亞歷山大大帝征服埃及之後，希臘的文化之都從雅典移到埃及的亞歷山大港，持地球運動說的這派天文學者繼續提出異常正確的理論。塞摩斯的阿里斯塔克斯（公元前310—230）滿懷信心地堅稱地球自轉、公轉，同時並非宇宙中心，結果被視為異端，遭到嚴厲抨擊。塞留庫斯觀察到潮汐與月相有關。厄拉托西尼（或譯埃拉托色尼）依靠在夏至那天正午從相距 500 哩的兩個地點觀測太陽所得的結果，進行比較並計算出地球的圓周長。不過，對於大多數希臘人來講，像十八世紀英國詩人華滋華斯所寫的“地球整日價轉個不停，還帶着大、小石頭和樹林”那種想法始終是荒謬的邪說。至於那些富於想像力的希臘人，已瞥到一眼太陽系的真象，却沒能對他們的第一流的天文學家觀測所得作出有條理的數學解釋，以支持其主張。

保守的日常觀星者逐漸採納了一套更為一致、但也更為複雜的對他們所看到的天空中各種運動的說明。他們的理論由希帕克斯總其成，作出有系統的闡述。希帕克斯是所有希臘天文學家中最審慎、最科學化者之一，於公元前 150 年左右在羅德斯和亞歷山大港工作。據他的觀測和計算，球形的地球是靜止的；日、月和諸行星主要圍繞地球轉動；同時那些天體又在繞地球運行中以這個大圓環為中心作其他的圓周運動。

如今看來，若說像一顆行星這麼龐大的實體竟會以空曠天空中的一個點為其所有運動的焦點，確實荒唐；但在掌握重力的概念以前，它如同別的臆測一樣似乎是合理的。希帕克斯的複雜幾何學的長處，在於它當時能正確說明古代天文學家觀測到的各種運動，並作出可能的預測。逆行——天空中一顆行星看上去轉動慢下來、直到靜止而後自行循原路倒退時的行為——之類的奧秘，全可以用希帕克斯的圓周體系或者叫“本輪與均輪”說，從幾何學上作預測。他的體系於公元 140 年前後由托勒密加以完善，成為一部天文學全書即托勒密的名著《偉大論》，流傳於整個中世紀時期。這個體系經得起此後十三個世紀的觀測的考驗，也就夠好的了。希帕克斯的體系就這樣由於托勒密的加工，從而變得如托勒密體系一般，聞名於穆斯林（回教）世界，後來又聞名於歐洲。

種種重大的技術困難阻擋住希臘人的眼光，並幫助了托勒密體系，使它在正統學術衰退、野蠻人對學術漠不關心的若干世紀黑暗時期中，從沒受到挑戰。這些困難之中最大的兩個是時間和數目。時間成問題是因為沒有真正精密的量度時間辦法。正確測定了行星在午夜時分的位置而不能確知當時是不是正好時值午夜，到底能有什麼用呢？數目成問題是因為古人沒有表達它的好方法。羅馬人和亞歷山大港希臘人所用的記數法，看來幾乎無法表示天文學上的最小數



哥白尼 (1473 - 1543), 波蘭天文學家，曾宣稱太陽是我們的太陽系的中心，地球以及其他行星都圍繞着它運行，因而引起了科學、宗教和文化各個方面的革命，震動了整個中世紀歐洲。



開普勒 (1571 - 1630), 受到哥白尼學說影響的德國天文學家。他發現行星軌道是橢圓形的，而行星接近太陽時運行速度加快，遠離它時則減慢，開普勒也是研究、改進望遠鏡的專家。

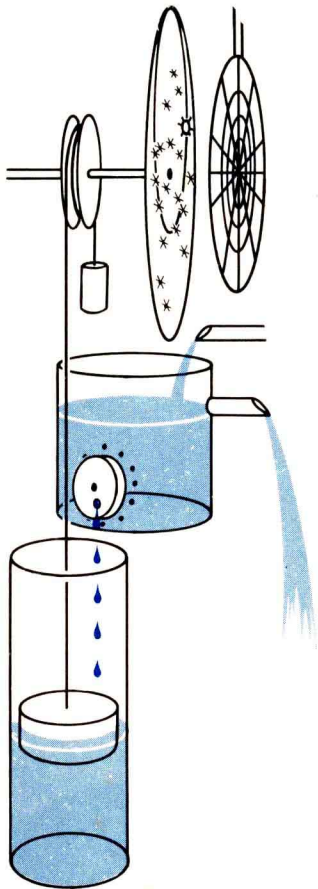
量。如到月球的哩數用羅馬數字來記得寫成 CCXXXMMMMMMMMCCCCLVII，而不是 238,857。當然，照今天眼光看，這樣的困難可能不過是記數太笨的一個小小麻煩，但在當年對古人却是一大智力障礙。只有最晚的偉大的希臘科學家之一，賽拉丘斯的阿基米德（公元前 287-212），能夠十分熟練地運用龐大的數字。關於槓桿、滑輪、齒輪和水力學的數學定律——也就是許多日常應用的機械原理——多半是阿基米德加以整理後提出的，從這個事實能夠覺察到他的發明創造是多麼偉大突出。據說阿基米德曾抗拒一支羅馬艦隊達三年之久，他依靠用來作戰的機器將巨大的石塊向敵艦拋擊過去，或者把它們整個地抬出水面，往西西里島上的懸崖上猛撞。敵方的羅馬將軍馬塞琉斯稱他是“這個用我們的船像用杯子那樣，從海裏往外舀水的、幾何學上的百手巨人。”

至於有關大數目的問題，阿基米德就他所看到的那類困難，專心地撰寫了一篇題為《沙粒計算法》的學術論文。他寫道：“有人認為沙粒的數目大到無窮無盡……也有人雖不認為它無窮盡大，也覺得還沒有一個數字，能夠為大到足以超過沙粒數的數目命名……但是我將試着證明……由我命名的各個數字之中……有些不但超過了質量相當於填滿地球所用那麼宏大的沙的數目……還超過了質量相當於宇宙那麼宏大的沙的數目。”希臘人所使用的最大數字單位為萬（10,000）。阿基米德靠一連串匠心獨運的、用麻煩的數字所作的計算，來證明他想像中的宇宙所能包含的少於下列數字的沙粒數目：一萬個一萬自乘七次，然後乘以一千個一萬。今天，數學家們以數字 1 後跟隨 63 個 0（或者是 10^{63} ）來表示這個龐大的數目。

像 10^{63} 這樣大的數字，直到今天仍足以應付我們所知的宇宙。比方說，當代最大的望遠鏡，也不過能看到約 10^{67} 立方哩（1 之後有 67 個 0）大的空間的邊際。能夠裝進像地球那麼大的一個球體中的電子，數目最多也只是約 10^{63} 個。現代人設想這些個極大或極小的東西，還是用阿基米德式的數字；而且雖然現在能很容易地表達這些數目，可是除非像阿基米德那樣重新用心計算過，否則不可能真正體會到它們之大。

中世紀對天文學所作的主要貢獻是：由於鐘的發展和阿拉伯計數制的被接受，時間問題得到了解決。實際上，阿拉伯數字根本不是在阿拉伯、而是在印度改進到完善程度的。大約在公元 500 年，印度人開始在印度使用 10 數（十進位制）計數法，其中每一數字的位置顯示它所代表的是 10 的幾次方，而其空位則以零為標記。這種新的計數法由印度往西傳到回教世界，又通過貿易和征戰而於 1100 年前後傳到基督教世界各國首都。

基督教世界在得到更好用的數字同時，又從阿拉伯人那兒得到他們的托勒密以前希臘人天文學著作最早的翻譯本，還得到許多阿拉伯人所創造的天文名詞，其中包括天頂、天底和年曆等名稱。有些重要的儀器也是學着回教徒倣製的，不過最重要的時鐘的主要發展却似乎是在歐洲完成的。最初的機械鐘出現



古時的滴漏（水鐘）或漏壺有一個難題，就是如何能以不同速度運行。因為古人以日出至日落為一天，這使每小時的長短，會隨一年四季的不同而改變。有一個巧妙的改變水鐘速度、從而調整每小時長短的辦法，就是在上頭的水壺側壁，裝置一個輪子，輪上鑿個小洞，水只能從小洞流出。人們根據不同季節的晝夜變化，校轉輪子，使小洞位置也發生高低的改變。當洞轉到最低點時，壺水對它壓力高，水滴出的速度就較快；當轉至最高點時，水就滴得較慢，這是因為洞後壺水的壓力減少了。下面壺中的浮標依水滴的速度上昇而指示時間。浮標也可以用來轉動一幅星圖，各星座的位置（也隨季節而變）可從安在它前面的固定格柵（極座標）判讀出來，相當精巧。

於13世紀末。它的走動不是靠發條而是靠重錘帶動，所以不大精密。甚至到了1450年，哥白尼之前意大利天文學家中最出色的托斯卡內利，仍是除了能記下他作觀測時最接近的時辰還有日期之外，再也不能作出更確切的任何說明。

到了1500年，天文觀測技術的進步，使古老的托勒密理論陷入困境，不得不接納各種新的事實。把最終的那顆炸彈投進這個天體體系的人，是波蘭天文學家尼古拉斯·哥白尼(1473—1543)，同時他已盡其所能，使這種行動看來不過是在為托勒密體系上鏽的部份加點滑油的樣子。哥白尼把地球拿開，將太陽放在所有行星軌道的中心。但是他依舊表示這些軌道是圓的，而在許多情況下也仍然沿用托勒密的本論說。一直到他生命將盡、已是一個受人尊敬的、衰老的僧正時，他才將自己觀測所發現的發表出來。

哥白尼的一切預防措施全白費了。馬丁·路德罵他是蠢人，指責他的學說是反聖經而不可容忍的。教宗保祿三世傾向於比較寬容的態度，但是許多主教和樞機主教都贊成馬丁·路德的意見。與哥白尼同道的科學界人士自然挺身而出為他辯護，結果其中有一位被處以火刑燒死，其他的也都經受到挫折障礙，被斥為異端以致身敗名裂。哥白尼學說成為一個非常棘手的神學的問題，以致16世紀最善於觀測的天文學家第谷·布拉赫根本不願接受它。然而，第谷搜集整理的到那時為止最精確的資料，其實只是證實哥白尼體系的無可置疑。

當伽利略(1564—1642)在1609年最先用望遠鏡觀測天空時，發現哥白尼體系就展現在他眼前。他見到木星的周圍環繞着四個衛星，這分明是只有一個衛星的地球不可能為天體羣中傑出份子的證據。伽利略利用他的望遠鏡，也觀測到金星的似月諸相。托勒密體系無法解釋金星接近太陽時呈現滿盈發光相的事實，而只有認為金星能繞太陽遠的一邊運行的哥白尼理論可以說明它。由於這些觀測，伽利略成為哥白尼的熱誠信徒，以致被宗教法庭迫令、由他本人宣佈放棄其學說，法庭並把他軟禁終身，他以沉默來抗議這些。

時至下一個世代，教會對太陽是宇宙中心之說的反對逐漸消退。在居住着新教徒的北方，約翰尼斯·開普勒(或譯凱普勒，1571—1630)繼第谷·布拉赫而起。他據第谷觀測成果，說明行星運行軌道並不是希臘人所重視“完整”、準確的圓形，而是略成橢圓形，太陽位在這橢圓的一個焦點上。這就是開普勒三定律的第一定律。開普勒運氣不錯，又有才能，獨力發現了太陽系三基本定律。第二定律說明行星於循橢圓形軌道運行中，在離太陽近時比離得較遠時速度快些。第三定律是行星繞太陽運行周期的平方與其軌道長軸的立方成正比。

開普勒三定律連同伽利略在力學上開創性的工作成就，為牛頓的萬有引力定律奠定了基礎。艾薩克斯·牛頓(1642—1727)發現這一定律時僅22歲。他後來寫道：“我當時推斷，使行星運行不會越軌的力量，必定與行星同它所環繞中心之間的距離的平方成反比。”其後又過了22年，牛頓才在他所著《原理》一書中發表自己的成套理論。這一來所有的問題都告水落石出。使行星繞日運行保

羅馬數字

羅馬人所用難以弄妥的數字使哪怕是簡單的乘、除都發生困難，這倒不是因為所涉及的數學運算，而是因為數字所佔篇幅之大，正如同下例所示：

X X VI (26)
X II (12)

羅馬人用組成 X II (12) 的三個數碼分別乘以組成 X X VI (26) 的四個數碼，看樣兒就夠麻煩的：

X 乘 XXVI:
X 乘 X = XXXXXXXXXX 或 C (100)
X 乘 X = XXXXXXXXXX 或 C (100)
X 乘 V = VVVVVVVVVV 或 L (50)
X 乘 I = IIIIIIIII 或 X (10)

I 乘 XXVI:
I 乘 X = X (10)
I 乘 X = X (10)
I 乘 V = V (5)
I 乘 I = I (1)

I 乘 XXVI:
I 乘 X = X (10)
I 乘 X = X (10)
I 乘 V = V (5)
I 乘 I = I (1)

相加合計: CCLXXXXVVII
或
CCCXII 等於 312

持住與太陽有一定距離的軌道的力量有兩種，即慣性和重力，在這軌道上，行星飛離太陽的慣性趨勢正好與太陽對它的重力吸引使它接近的趨勢互相平衡。

牛頓看出，不僅是太陽、所有的天體都依照其所含物質的量（質量）發揮出重力。他看出使地球上高處物體下墜的就是地球的質量產生出的重力。他能夠算出地球的質量對月球的吸引力，從而解釋出月球為什麼能在那麼遠的地方、那麼快地繞地球運行。同時牛頓闡明，月球質量本身也有吸引力，反過來吸動地球表面的液體而使海洋發生潮汐。各個行星的質量，地球的形狀（兩極扁平下去），甚至至於炮彈的彈道，都無不遵守牛頓關於重力的數學規律。

牛頓死後，他的各種觀念和他發現的方程式征服了這個世界。人類知道了天空的那些球體在絕對的、靜態的外太空的體制之內自轉公轉，毫無例外地完全服從於牛頓的運動定律。根據牛頓的理論計算，應該存在兩顆只憑肉眼沒法看見的行星即海王星和冥王星，也終於被發現了。關於光和其他電磁波、關於化學以及關於原子物理學的各種定律，都陸續亮相了，這在很大程度上是由天文學的問題促成的。太陽在宇宙圖上的位置，已經被證實不比從前所說地球的位置更為居中，而是帶同它的所有行星朝向天鵝星座奔馳。它的軌道的中心竟然是一個巨大的、星星組成的輪的中樞，有時候大家自豪地稱這個輪為“我們的”星系，有時候却又稱為銀河。在這個難以想像的體系範圍之外，還發現了數以百萬計的其他星系，這些星系距離我們實在太遠了，就連最近的一個傳到地球的光在出發時，人類也還沒有具備人性的智慧呢。

在人類知道有這些其他的星系或者在理解到得應付這些極大的距離之前，已經開始有人對牛頓的美妙方程式提出疑問，這些方程式像希臘幾何學一樣，看來也不過是近似值而已。後來發展出的種種修正，與牛頓設想的光和其他電磁輻射在靜態空間中的傳播有關。艾伯特·愛因斯坦（1879—1955）設法改寫了傳統的力學，並且根據有關光的新事實改正了它的方程式。他從事這項工作時，預言了幾種特殊現象，稍後只短短幾年就被觀察到，以證實他的相對論。

說不定相對論也會因為發現的各種現象日益增多而終須加以修改，正像它已修改過牛頓的力學一般。不過，相對論所造成牛頓正統學說的改變是微小而巧妙的，其性質是改進多於革命性的推翻。現代天文學家可以大膽預言，我們現在有的宇宙圖象、這本書以後各章的解釋說明，基本上沒什麼錯。

這並不意味着天文學漸臻完美無缺了。宇宙之大，實在是無垠的，而人類所知，又實在是有限的，尚待探查的領域極廣，正如牛頓晚年所說：“我不知道世人怎麼看我，但是我看我自己只不過是個在海邊玩耍的小孩，一會兒拾起一顆比普通的更光滑的石子，一會兒又撿到一個比普通的更美麗的貝殼，真理的汪洋大海就在我面前，而我却完全沒發現它。”