

The World of Science Encyclopedia

牛頓

現代科技大百科

科學哲學——科學的本質



Newton

牛頓現代科技大百科 21 科學哲學

出版者 / 牛頓出版股份有限公司

負責人：高源清

原著作名稱 / What is Science?

原出版社 / Equinox (Oxford) Ltd.

譯者 / 張蕙芬

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6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 • 劉曼君 • 賴彩瑾 • 曾月卿

李傳楷

美術主編 / 洪家輝

美術編輯 / 陳素芬 • 傅華麗

封面企劃 / 陳融賢

The World of Science Encyclopedia

What is Science?

Author

Bernard Dixon

Editor

Bill MacKeith

Designers/Art Editors

Frankie Macmillan

Chris Munday

Niki Overy

Picture Researchers

Mary Fane

Alison Renney

Rose Taylor

Menna Williams

Design Consultant

John Ridgeway

Project Director

Lawrence Clarke

Contributing Editor

Dr Bernard Dixon

Principal Contributor

Professor A.J. Meadows

Advisors

Eugene Garfield

founder and president,

Institute for Scientific

Information, Philadelphia

Professor John Ziman

H.O. Wills

Professor of Physics,

University of Bristol

Other Contributors

Michael Allaby

Susan Blackmore

Paul Davies

Robin Holloway

Anthony Martin

Zhores Medvedev

John Newell

Artists

Alan Hollingbery

Kevin Maddison

Colin Salmon

Mick Saunders

David Smith

Del Tolton

Production

Joanna Turner

Clive Sparling

Index

Barbara James

John Baines

Media conversion

and typesetting

Peter MacDonald

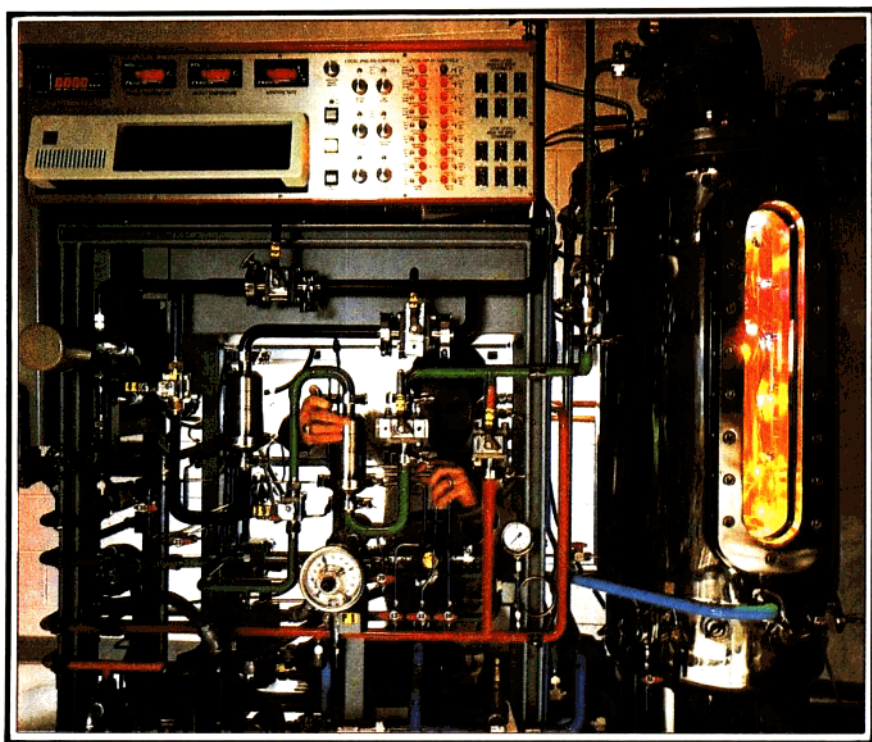
Ron Barrow

The World of Science Encyclopedia

牛頓

現代科技大百科

科學哲學



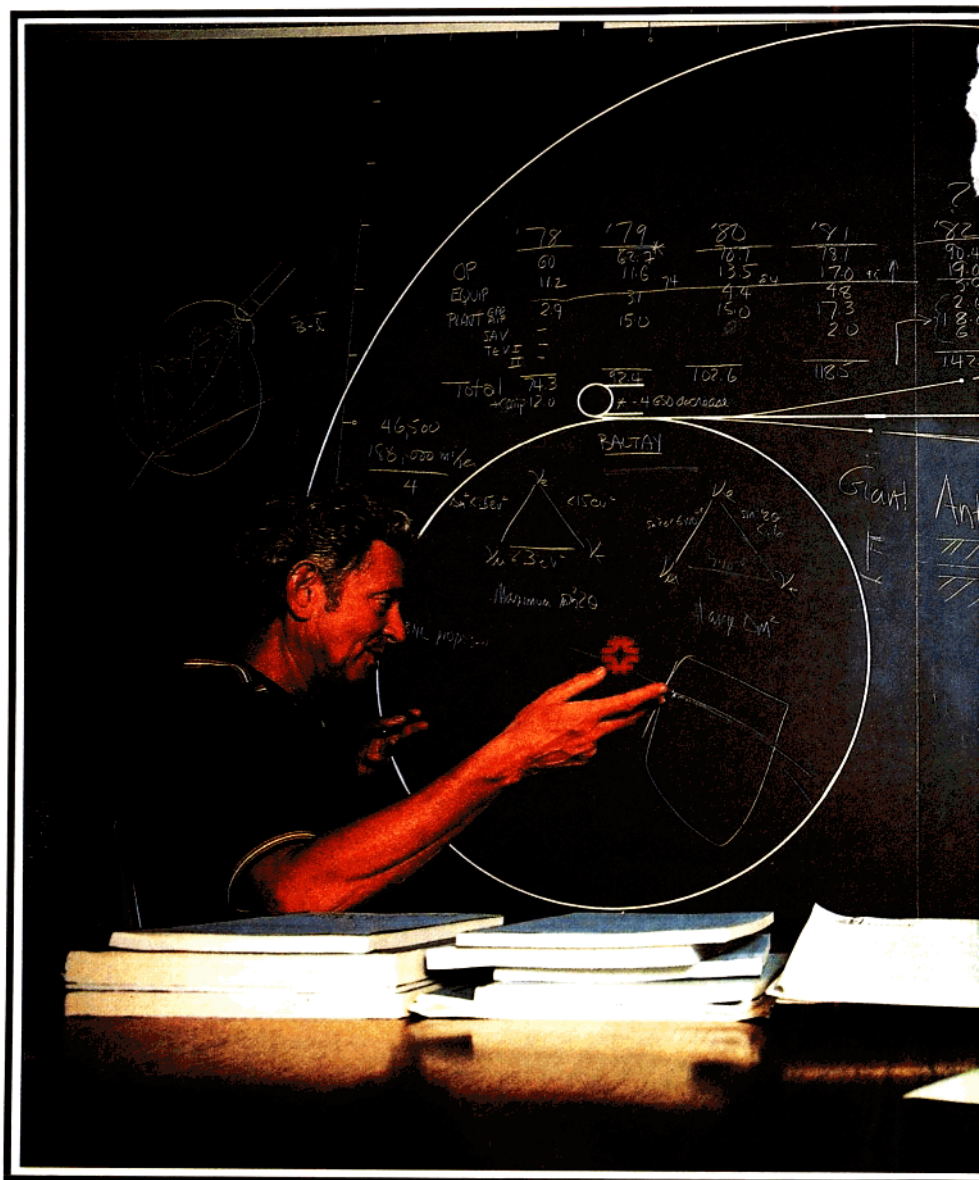
RW196103

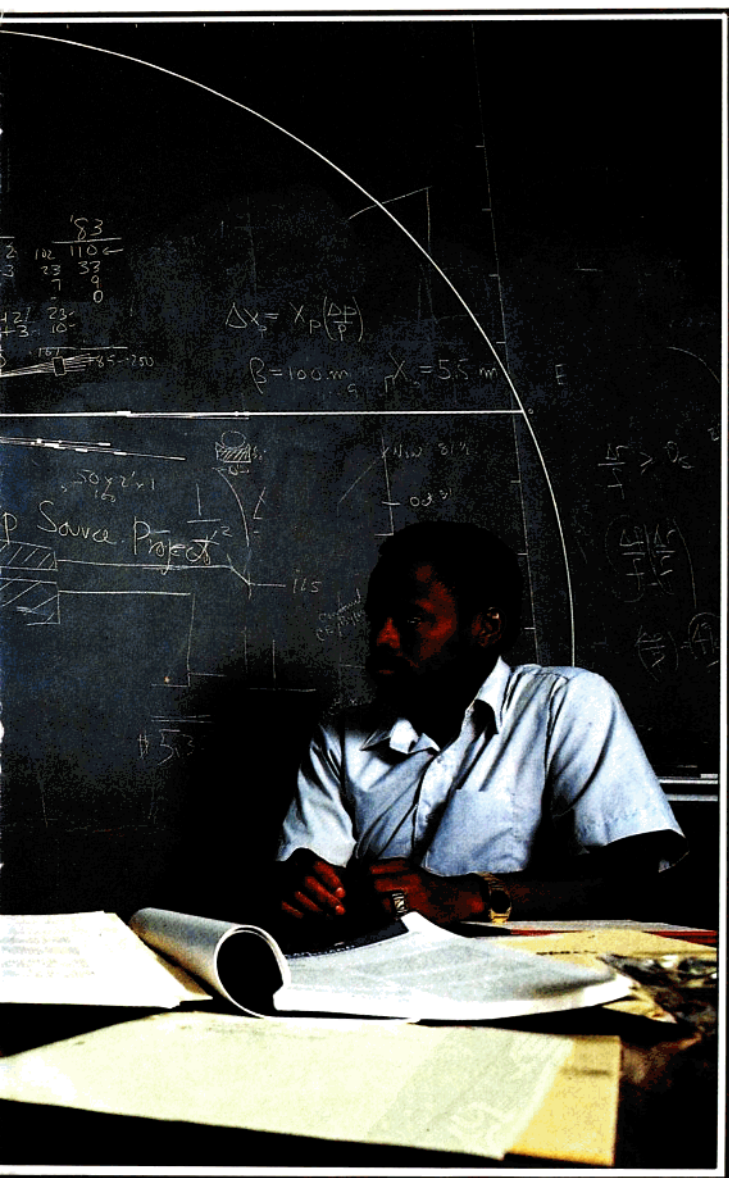
牛頓出版公司

1197014



21197014





目 錄

1	中心的傳統	5
2	經驗主義與實用主義	25
3	科學的類型	33
4	科學的思潮	47
5	未來的技術	57
6	科學的哲學基礎	63
7	科學的交流	71
8	科學的學會	85
9	客觀性和主觀性	99
10	科學和宗教	111
11	超科學	119
語 彙		126
索 引		128





中心的傳統

埃及和巴比倫的科學……古希臘的科學……以地球為中心的觀點……知識是如何傳遞下去的？……哥白尼的太陽為中心的觀點……科學上的大革命……生物學和化學……中國的科學……物理學成為科學的雛型……進入二十世紀……透視報導……柏拉圖和亞里斯多德……科學中的亞里斯多德學派的傳統……回教的科學……運動的研究……演化的觀念……年代學



▲科學的進展是經由理性的論證，但是許多科學家工作上的轉捩點卻是經由直覺的洞察力而來的。牛頓的直覺是用於將重力(gravity)想像成遠處的作用力，當牛頓產生合理解而且可以試驗的論證時，它就成為科學了。

▼許多哲學系統都會經應用到宇宙和內在世界之間的關係，雖然大都具有詳盡的解說，如下圖的十七世紀作品所示，但是這種想法並不合乎科學，它所依賴的是直覺的想像，而不是理性的討論或實驗。

科學和其詮釋世界的方式究竟有什麼不同呢？我們腦海中所浮現的答案有一些並不足以將科學和其他活動分別出來。例如有一種說法是科學所勾勒的世界是一致而連貫的，但是許多魔術的系統也是如此；同樣地，一位魔術師預測未來的能力也可能和科學家相去不遠。

科學的發展歷史對於我們了解有關科學的不同將有相當大的助益，這是因為第一，我們將得知所謂的「科學方法」(the scientific method)並不是單一的事項，而是由一系列的信仰和活動共同組成的；其次，雖然研究科學萌芽前的世界可以獲得某些進展，但是我們卻可以清楚地知道現代科學是在「科學方法」發展出來之後才出現的。

回顧西方科學的歷史中，在不同時期曾出現三種科學方法的要素，同時其發展也各不相同。第一個要素是觀察(或實驗)和理論的聯合角色，現代科學中觀察或實驗可以延伸成一般性的理論，然後加以試驗，再經過進一步的觀察或實驗而加以擴充，科學就是在實際操作和理論之間這一類的反覆相互作用下而獲得莫大進展。其次，大多數現代科學家都喜歡用定量的方式來表達他們的結果，也就是所謂的數學形式。最後，定量理論可以對未來事件做相當精確的預估。

外面是否有一個真實的世界呢？

科學方法(◆54頁)的應用包括觀察、實驗、定量結果以及對未來的預測(prediction)等，構成了過去和現在科學家最初信仰之一的基礎，即外面確實有一個真實的世界，而且對每一個人而言都是一模一樣的。

如果這是如此顯而易見的，那麼我們應該記住許多宗教和哲學都否認這種看法，科學家也不得不承認這是一種無法證實的假設，但是他們認為並沒有證實的必要。有關客觀世界存在的基本科學信仰，其爭論通常相當複雜，其反面則是另一個基本科學信仰，即世界是可以經由人類理性的應用而加以探索的。

大多數原始的世界神秘觀都認為其過程是非理性的，因此利用人類推理能力是毫無助益的，在人類開始理性地討論周圍的宇宙(universe)之前，人類的文明就已經相當發達。





▲古埃及的世界觀是由許多神祇的信仰所構成的。這些神祇與自然世界合而為一，自然界的相互作用則透過神祇的故事而加以說明。圖中娜特女神所握的是天上的太陽，並為許多古星符號所圍繞。此圖是在泰比斯的棺材底板上所發現的，約為西元第二世紀的作品。

古埃及人所勾勒的世界

所有的古文明都非常熱中於上方天空的探索，部分是因為宗教因素，從世界上任何宗教的觀點而言天堂都是存在的；另一部分的原因則是相當實際的，因為天的運行可以提供測量時間和位置的方法。

古埃及人 (ancient Egyptians) 流傳最廣的創世紀神話是太陽神「雷」(Re) 首先從土堆的多水渾沌狀態中出現，然後再用手淫或扯裂的方式創造出一對神——蘇(Shu)和泰夫尼特(Tefnet)，蘇和泰夫尼特產生了地神蓋伯(Geb)和天神娜特(Nut)，天神和地神結合又生下歐西里斯(Osiris)、伊西斯(Isis)、莎西(Seth)和奈夫底斯(Nephthys)。

古埃及人將天和地視為神的肉體象徵，一幅西元前一千年左右的圖畫就清楚地表示出天是娜特女神的身體，以手和腳置於地神蓋伯的身上，並呈拱形彎曲狀，蓋伯的身體就是地球。另一個古老的宇宙神話則是認為，地球的上空有一隻龐大而鑲滿星星的牛(哈瑟爾，Hathor)彎曲地臥伏著。

這些神話和神祇使得古埃及人將人類、自然和神的生活密切地聯繫在一起，這些圖畫很明顯地與科學無關，因此也無法從理性的角度來加以探討。

但是埃及人同時也從他們的天文觀察中發展出令人驚訝之優秀的日曆(calendar)，他們所決定的一年長度(三百六十五天)是一種定量的結果，我們是否應該將其視為科學呢？這裏我們必須相當小心，雖然埃及人的結果是定量的，但是它並不是從任何天體的理論推衍出來的，它純粹是一個實驗值(由觀察所獲得的，但是就觀察者而言，天體的運行速度很可能因觀察者的個人喜好而有所差異)，因此我們只能說埃及的天文學(astronomy)是完成了部分的定量觀察，但是其他則全然非科學的。

巴比倫人的觀點

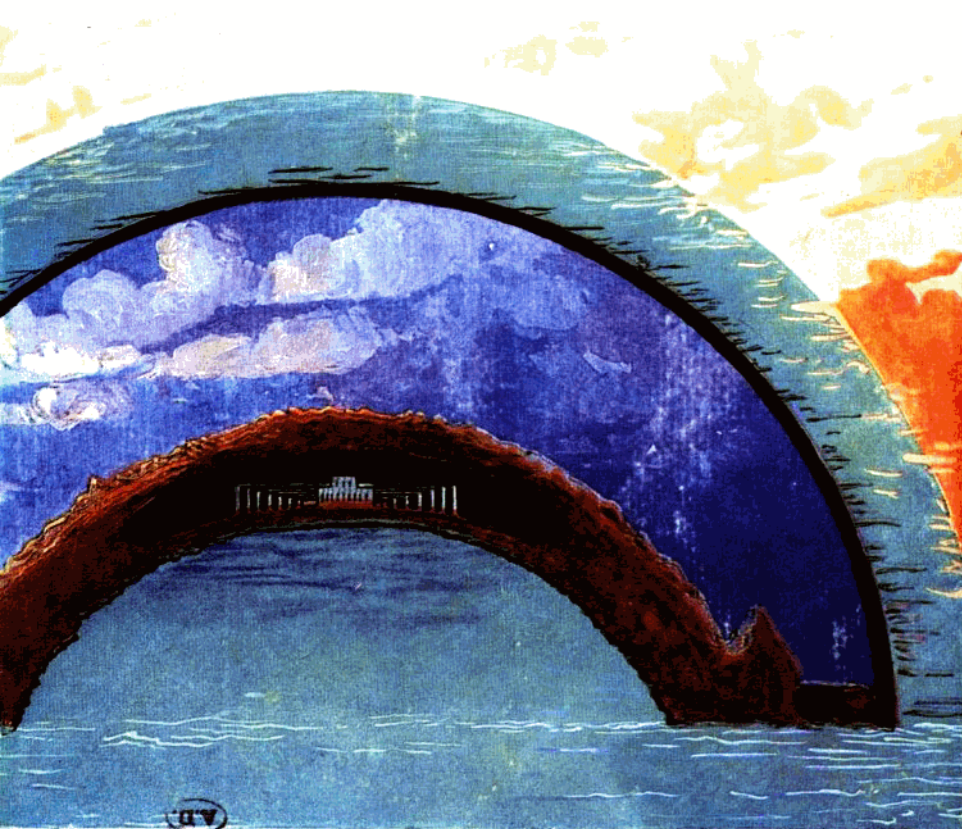
埃及人所勾勒的世界可以和幾乎同時的巴比倫人的觀點做一比較，巴比倫人認為天空是由碗倒扣在扁平的地球上所形成的，在盤狀地球的邊緣圍繞著海洋，海洋的遠處則聳立著高山，以作為天空圓頂的支撐。從某一觀點而言，這個看法和埃及一樣地不合乎科學，但是另一方面而言，它卻代表著向前邁進了一大步。因為世界不再是由未知神祇的身體所構成，而是由熟知的物體所形成的，因此從巴比倫人對世界的觀點是可以建立出雄偉的，但埃及人的看法卻是無法成型的。

巴比倫人同時也比較擅長處理理論和觀察，例如他們發現地球形狀的變化是因月球和太陽之間的相關位置所造成的，他們對這種現象的解釋顯示出他們已經從理論推演出月球(Moon)的光輝是來自太陽光的反射。他們在觀察方面的定量表示也遠超過埃及人，他們以相當複雜的數學式來表示太陽一年中在天空的運行路徑，結果相當精確而足以預測未來某一時間太陽的位置。明顯地，巴比倫人在天文學方面比埃及人更接近科學，但是他們對觀察的詮釋依然是以經驗為主的。





◀◀埃及人的數學技巧相當發達，遠超過他們的科學推理能力。這種數學技巧主要是源於他們對可耕地的測量。每年尼羅河氾濫之後可耕地都要重新丈量，同時為了滿足法老龐大的建築計畫，埃及的貨物和勞力都要經由組織化的課徵。粗略的幾何學以及計數方法發展出來之後，計算出來的土地面積便加以記錄，如西元前一六〇〇年的紙草（最左側），紙上還顯示了理論幾何學的發展雛型。



◀這幅十九世紀的畫試圖將巴比倫人所想像的世界重建，巴比倫人約與埃及人同一時期。上方包括神祇家園的天堂以及天堂之下的天海，太陽照亮了整個宇宙，它從東方的一個門冉冉上升，而後沈沒在西方的小洞。地球好比一個渾圓的高山，四周圍繞著海洋並漂浮其上，東方是日出的光明山脈，西方則是日落的黑暗山脈。聖島則位於西南方，漂浮在地球和天堂之間的海洋上。

畢達哥拉斯的追隨者

古希臘人所勾勒的世界一開始幾乎沒有任何進展，他們早期著名的思想家泰利斯(Thales, 640~546 BC)將地球視為漂浮在海水上方的大盤子，這種看法和巴比倫人相去不遠。不過不久就產生了一個最為重大的發展，畢達哥拉斯(Pythagoras, 570~500 BC)和他的追隨者從觀察中發現世界是由數學支配的，說得更清楚一些，就是由數字支配的。畢達哥拉斯學派原本就是一個神秘的團體，他們最重視守密，因此我們很難確知他們是如何獲得這個結論。不過他們似乎是從繃緊繩子的振動音調賴於成簡單整數比的繩長各段落開始的。這使得他們相信世界可以用數學的方式來加以形容，同時最好的詮釋往往在數學上也最為簡潔，這構成了現代科學的基礎。畢達哥拉斯學派最著名的幾何學發現——直角三角形三邊長度的關係——也同樣說明了這個觀點。幾何學(geometry，希臘字的含意是「地球的測量」)由字義上而言是與測量有關，同時大量應用了直角三角形，因此畢達哥拉斯學派是將日常生活的測量以簡單的數學關係式來深入探討。

物質的本性

自從畢達哥拉斯的時代之後，希臘世界就不時出現有關世界本性的新想法，問題是這些想法很少與實驗的測試相符，而當時也確實很難找到適當的測試方法，對於物質(matter)本性的爭議就是例子之一。許多希臘人都認為，所有物體都是由他們所熟悉的普通物質所混合而成的，其中最廣為接受的四大要素(element)包括土(earth)、水(water)、空氣(air)和火(fire)。但是有一些希臘人所持的觀點則截然不同，他們認為所有的物體都含有很小的粒子，也就是所謂的「原子」(atoms)，而物體的差異便是在於它們組成原子的不同。

這個原子理論(atomic theory)在今天看來也是非常現代的，但是它在古代世界裏的進展卻是非常有限。問題是在於這兩種理論都無法加以試驗，而至少物體的四大元素是大家已知的存在物質，原子則根本觀察不到。

►柏拉圖所建立的學園，哲學家可以聚於此地沈思或討論哲學的問題。以前認為希臘科學比較偏重推理，而不重視觀察或實驗的特色，是與希臘的經濟型態有關，奴隸負擔了所有的勞力工作，使得市民的生活相當悠閒，因此他們也偏愛理論，而不喜歡動手操作的實驗。但是近年來發現希臘人所造的複雜機器卻令人不得不對這個觀點再予斟酌，其中包括天文鐘(clock)在內。

▼在薩莫斯發現的羅馬時期錢幣上刻有指著地球的畢達哥拉斯。畢達哥拉斯對幾何學和音樂(music)的研究，使他發展出一套有關於關係和比例的複雜系統，這個源於希臘數學理性原則的系統，最後又回到神秘哲學的領域。



◀亞里斯多德的科學研究對以後的兩千年有著深遠的影響，他經由觀察鳥類和其他動物的外表和行為而建立一套重要的分類系統。左圖是西元十三世紀亞里斯多德著作的阿拉伯版本。



柏拉圖和亞里斯多德

對後代影響最大的兩位古代哲學家便是柏拉圖(Plato, 約427~347BC)和亞里斯多德(Aristotle, 384~322 BC)。柏拉圖延續了畢達哥拉斯學派(Pythagoreans)對數學的強調，他並不重視觀察，而花費許多精力在理論的洞察力方面。比柏拉圖稍晚一些的亞里斯多德則對數學不感興趣，而強調仔細觀察的重要性。

這兩種截然不同的方式在古代就已明顯地產生了對立的結果；當托勒密提出有關太陽系的複雜模型時(►10頁)，他依循著柏拉圖的方式，並以圓圈的組合而建立行星的軌道，這是密閉路徑的最完美形式。但是他所創造的行星路徑不可能是由固態球體的運動所造成，而亞里斯多德則經由觀察而認為地

球應該是球狀的。實驗並且有系統地與理論相互比較的想法仍然尚待發展。

亞里斯多德學派的繼承

亞里斯多德主張以觀察和推理的組合來建立連貫的世界觀，他的敘述試圖涵蓋所有的領域，從天文學、物理學、化學一直到生物學，但是其中他的貢獻最為斐然的則是生物學方面。

生物學的分類(classification)和定量分析(quantitative analysis)是同樣重要的，亞里斯多德清楚說明了分類工作應該如何進行，而且他的工作也影響深遠。因此雖然他在天文學和物理學方面的思想皆已被推翻，他在生物學方面的影響依舊深遠，時至今日我們仍能看到這些想法。

►根據托勒密對宇宙的看法，行星和其他天體都位於以地球為中心的同心圓上。這種想法結合了畢達哥拉斯學派的唯美性質，以及對太陽、月球和行星運動觀察的數學準確度。



▲亞歷山卓是希臘世界的知識中心，最著名的便是它的圖書館(上圖)，這裏收藏了數十萬卷的手稿，另一著名的地點則是燈塔。阿基米德在這裏工作，此外發明新式水鐘的泰西比歐斯，以及設計許多複雜機械玩具和發現噴射推進(jet propulsion)原理的赫倫(Heron)也都在這裏。



托勒密的模型

希臘對自然的檢定方式之優劣可以由他們在天文學方面的研究清楚地看出，不過天文學的發展是在希臘化後的埃及到達高峯，而不是在希臘的大陸或島嶼上。埃及被亞歷山大大帝(Alexander the Great)征服之後，就成為希臘帝國的一部分，因此開始接受希臘傳統思潮的洗禮，當亞歷山大帝國在他過世的西元前三二三年瓦解時，希臘文化依然保存下來。埃及是由亞歷山大帝的一位將軍——托勒密·蘇多(Ptolemy Soter)所掌管，他完成了亞歷山卓(Alexandria)港的建造，同時也建立了一個博物館和圖書館。亞歷山卓成為新的希臘文化傳播中心，同時某些領域的研究更達到希臘本土所沒有的高峯。例如希臘對於科學理論難以試驗，部分是因為適當設備的缺乏，如今則產生了相當複雜的導航和測量的天文儀器(instruments)。因此希臘世界最重要的科學成就，便是亞歷山卓的托勒密(Ptolemy，與國王無關)所發展出來的理論世界，在西元第二世紀中大致異彩。

托勒密異常複雜的計算首度推演出太陽系(the Solar System)的模型，同時也使得未來對行星位置的估計相當精確；此外，它所根據的是一個相當詳盡的太陽系理論，而並不至於只是從經驗推演而來。如此一來，它似乎是真正合乎科學原則的，但是很明顯地它無法達到訴諸觀察的目的，雖然這並無損於它的價值。托勒密以幾個基本假設(如地球是靜止的，行星在由圓弧所組成的軌道上運行)為始，同時在所有的計算中都利用這些假設。以現代科學而言，當他完成該研究工作時必須重新檢視一番，將結果和觀察相互比較，以確定這些假設；但是托勒密並沒有做這一類的工作，事實上，與他理論模型不符的觀察往往遭到忽視。

知識的傳遞

托勒密的工作被視為古代最偉大的知識成就之一，這可以從今天我們為托勒密發表結果的書定名中清楚地看出，其書名的意思是「最偉大的」(the Almagest)，是原來希臘標題的阿拉伯文縮寫；同時它的應用也清楚地反映出托勒密的觀念是如何傳遞到我們的手中。在托勒密之後的數世紀，西方歐洲逐漸衰微而進入所謂的「黑暗時代」(the Dark Ages)，羅馬帝國(the Roman Empire)的分崩離析以及回教的興起，使得日益興盛的地中海世界遭到中斷。西元二六九年的一次入侵使得亞歷山卓的圖書館部分遭到焚毀，西元四一五年它落入基督教徒的手中遭到更嚴重的破壞，直到西元六四〇年回教接管埃及之後，這個圖書館終於完全消失。希臘文化(Hellenistic culture)至此似乎已經完全消失，但是當西元七五〇年回教徒擴張下的首次入侵結束之後，對於自然世界的興趣又出現了一嶄新的局面(►13頁)。這一部分是因為受到希臘文翻譯成阿拉伯文的刺激所致，另一部分原因則是因為印度和中國新思想的大量湧入(►18頁)。逐漸地，不只是將托勒密的作品加以翻譯並且徹底了解，同時更擴展成一門專門知識。數學的情形也頗為類似，阿拉伯的學者在代數(algebra)和三角學(trigonometry)方面發展出許多新的方法，更在日後的科學發展上扮演重要的角色。

◀這幅十六世紀的畫描繪托勒密正在測量夜空，身旁站著指導的天文繆司女神，托勒密頭上所戴的皇冠使人誤認他與早期亞歷山卓的托勒密王朝有關。他對宇宙的看法一直主宰了一千年之久，直到哥白尼的著作出現之後才遭到挑戰。



▼狄奧斯科瑞狄斯(Dioscorides)是第一世紀亞歷山大軍隊裏的醫生，他所寫的藥典內容包括許多植物的特徵描寫以及醫學上的用途，同時也清楚說明如何保存這些植物。這本藥典對許多阿拉伯與文藝復興時代的藥師(pharmacist)和植物學者的影響都相當大。



文藝復興時代和哥白尼革命

來自阿拉伯世界的希臘知識更進一步透過新式大學而傳播開來，如巴黎大學和牛津(Oxford)大學。例如牛津的培根(Roger Bacon, 1214~1292)不只是使希臘知識重生，更進而推展以實驗來研究世界的想法。提出這種主張的危險性是可想而知的，培根也因而在監獄中度過好幾年，有一時期有關新知識應該如何，或者是否要融入基督教思想的問題一直懸而未決，直到亞奎納(Thomas Aquinas, 1225~1274)的出現事情才有了轉機。

亞奎納是一個富裕義大利家庭的最小兒子，他花費多年的歲月試圖找到古典知識的綜合方法，尤其是亞里斯多德的思想以及基督教神學(Christian theology)。起初他的嘗試似乎並不成功，因為他的工作遭到許多非難，但是在他過世之後的五十年左右，他的著述又再度被視為經典之作。亞奎納對自然世界所做的區別以及人類的救贖，為未來數世紀立下了基本的指引，前者正是古典知識所能教導我們的，而後者則是聖經和教堂的領域。接下來便是人類文明鼎盛的偉大時期之一，也就是十四世紀的義大利文藝復興(Renaissance)時代的來臨。

對古典知識所顯現出來的廣泛接受程度會造成兩種截然不同的結果，對大多數人而言，這種新知識是如此廣泛而是以形成必要的架構，因此所有增加的資訊都要設法融入其中。但是對於某些人而言，這種新知識的追求也刺激他們重新觀察周遭的世界，不只是補充古典世界所欠缺的，同時更進一步來探索它們的矛盾之處。後者有一部分是源自於亞奎納對古老資料所做的綜合努力，他是以亞里斯多德的思想做為基礎，並融入柏拉圖學派(Platonic)和畢達哥拉斯學派(▶8頁)。

波蘭傳教士哥白尼(Nicolaus Copernicus, 1473~1543)的數學素養非常優秀，他對於托勒密所勾勒的世界並不滿意，部分是因為他所觀察的行星運動和托勒密所推測的並不相符。哥白尼認為太陽系的中心應該是太陽而不是地球，他的研究方式是沿襲畢達哥拉斯學派，他們所要尋找的是基本的統一性(unity)，而不是對物體的表象毫無懷疑地接受。

哥白尼的理論表面上無大更易，但是他對已往勾勒的世界所提出的大膽修正，使得亞奎納在宗教和自然世界的研究之間所建立的平衡關係大為動搖。不只是聖經主張地球是靜止的，更重要的是，當時有關天堂和地獄的想法都是奠基在地球為宇宙中心的思想，哥白尼自然很清楚這個問題。因此直到西元一五四三年他過世之後，有關其思想的著作才正式出版，這位忠實羅馬天主教徒的書由一位新教徒一字不漏地看完。

整個文藝復興時代中改革(Reformation)的精神形成現代科學理性基礎的一部分。基本而言，改革者對科學和羅馬教廷都同樣不同情，尤其科學更會對宗教提出質疑，但是改革教會之間的分裂使得他們對言論和出版的控制執行上較為不力。就正面的影響而言，宗教改革的某些觀點對科學的發展是相當有利的，尤其是將奇蹟歸於聖經時代以及強調實利的研究更是大有助益，到了十七世紀整個氣氛更加適合科學的萌芽。



▲聖亞奎納所提出的是十三世紀最為完整的煩瑣哲學系統，將亞里斯多德的學說納入基督教的教義之中。他清楚地劃分理性和信仰之間的不同角色，由這兩者所獲取的知識是互補而又截然不同的種類。



▲▲回教科學對於古代的知識能夠延續到文藝復興時代是非常重要的，同時它本身也有許多重要的貢獻，其中包括植物學(botany)上圖是一二一八年的阿拉伯手稿，詳細描繪一種可以做為解毒劑的植物，有一些植物百科全書一直保存至今。

▲這個觀象儀是由阿拉伯天文學家發展出來的，以測量太陽、月亮、星球和行星的高度，這使得使用者可以估計時間，並且可以計算緯度和經度。這個裝置以環繞掛著，然後順著軸部分的指針直線方向觀測。

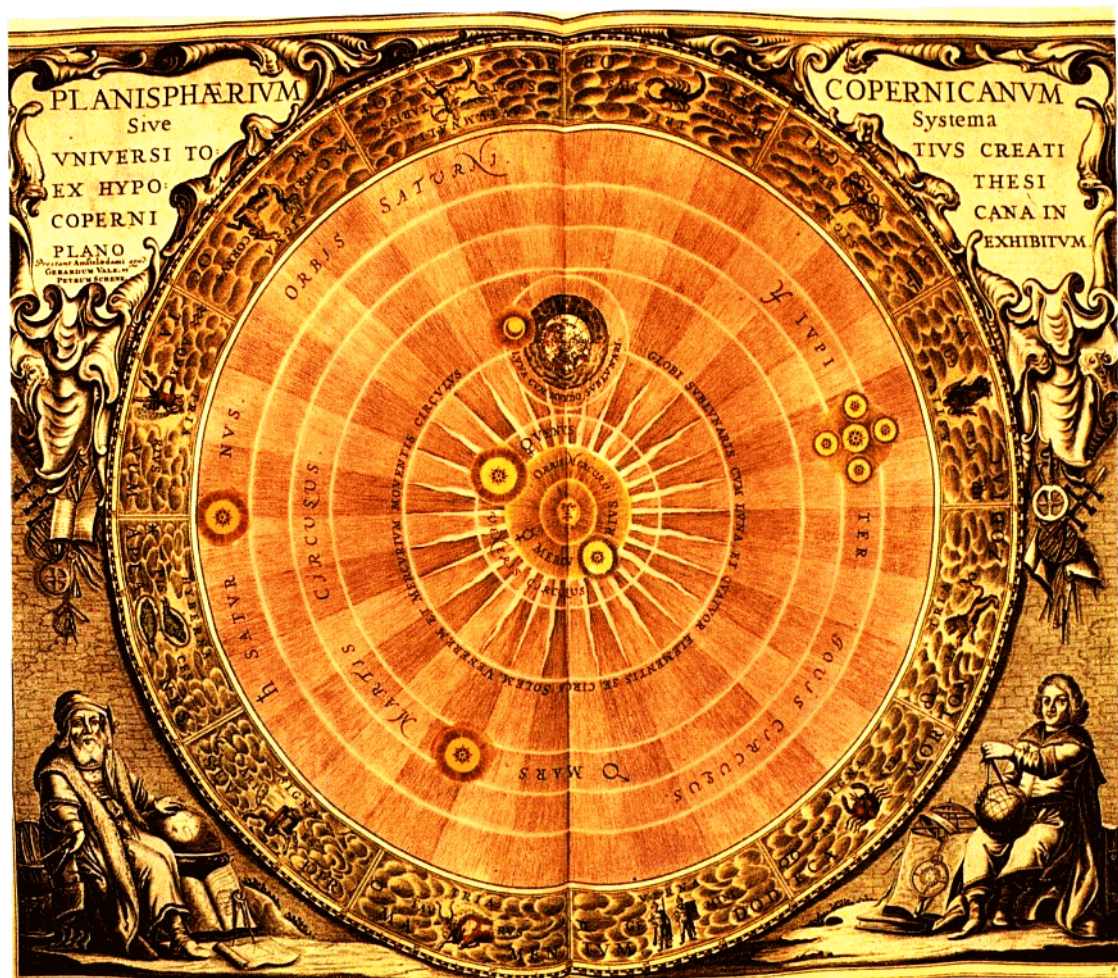
亞里斯多德如何到達「西方」？

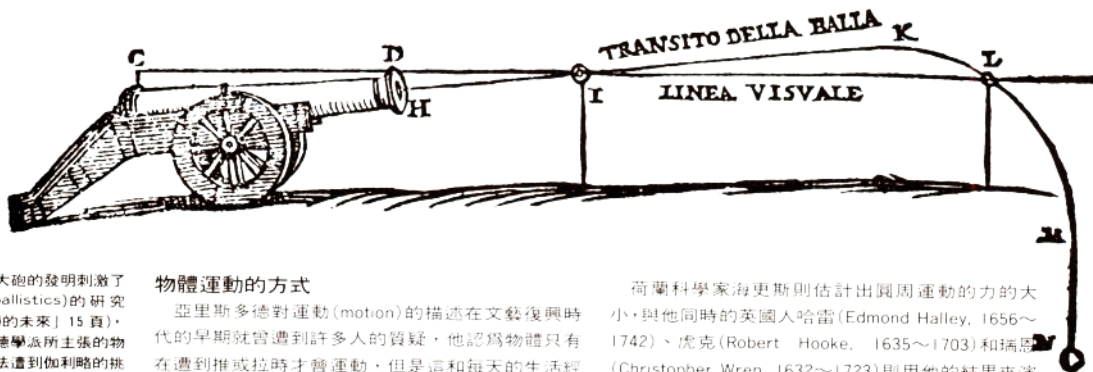
希臘的科學傳統由阿拉伯人繼承了下來，古希臘著作被翻譯成阿拉伯文並加以研究，阿拉伯人對其中的醫學、天文學和數學最感興趣。生活在西班牙和摩洛哥的羅蕭(Averroes, 即 Ibn Rushd, 1125~1198)在教書時提到亞里斯多德是「了解全部事實的人，他所了解的是人類能力的極致」；伊朗的西納(Avicenna, 即 Ibn Sina, 980~1037)則將亞里斯多德帶回至當時的現世，教導所有亞里斯多德的學說。

希臘的科學傳統也經由在阿拉伯西班牙(Arab Spain)和西西里上回教和基督教的接觸而逐漸傳至西歐，十二世紀和十三世紀中許多希臘科學的著作都由阿拉伯文翻譯成拉丁文，但是其中最重要的翻譯則是直接譯自希臘文。



◀哥白尼發展出太陽為宇宙中心的革命性理論，以便更為準確地預測行星的位置，並且簡化托勒密系統所需的複雜運算。他同時也認為這個以太陽為中心的想法較合乎美學，他的想法直到伽利略的大力鼓吹之後才廣為人知。





▲火藥和大砲的發明刺激了彈道學(ballistics)的研究(►「科學的未來」15頁)，亞里斯多德學派所主張的物體運動想法遭到伽利略的挑戰。亞里斯多德認為物體在自然狀態下是靜止的，當它受到推或拉時才會開始運動。相反地，伽利略則認為運動才是物體的自然狀態，物體運動和靜止的原因都同樣需要解釋，這種推理的過程使得伽利略發展出重要而且數學根據充分的力與運動的解釋。

物體運動的方式

亞里斯多德對運動(motion)的描述在文藝復興時代的早期就曾遭到許多人的質疑，他認為物體只有在遭到推或拉時才會運動，但是這和每天的生活經驗並不完全符合。當一塊石頭被丟入空中時，它離開去的人手中之後是什麼在推或拉這塊石頭呢？更進一步而言，運動的性質是相當簡單的，以簡單的儀器也能進行實驗時，並可以用簡單的數學式來做理論描述，運動的性質與當時熱門的科學問題都關係密切。

當義大利的伽利略進行有關落體的實驗時，住在布拉格(Prague)的刻卜勒則正在建立有關行星運動的實驗定律，而連繫地面實驗與天文觀測之重要的第一步，則是由法國哲學家笛卡兒所完成的。笛卡兒發現一旦物體開始運動之後，其行進的路徑往往是直線的，如果行星能夠繞著太陽轉，則太陽中心必定有某種使其偏向的力量存在，這就是所謂的重力(gravitation)。

荷蘭科學家海更斯則估計出圓周運動的力的大小，與他同時的英國人哈雷(Edmond Halley, 1656~1742)、虎克(Robert Hooke, 1635~1703)和瑞恩(Christopher Wren, 1632~1723)則用他的結果來演繹出太陽所釋出的力。但問題是行星運動的軌道並不是圓形的，直到牛頓才清楚指出這種吸引力可以產生橢圓形或圓形的軌道。

牛頓的成就對後代的影響非常深遠，這是現代知識首度清楚地超越了古代的遺惠，與牛頓同時代的人尤其對他能夠正確預測未來的能力大為折服，例如他計算出地球並不是一個完美的球體，而是有一點扁平。

但是牛頓同樣也留下一些疑問讓後代的人可以繼續探索，例如嚴格說來，他的結果只能應用在只有一個太陽和一個行星的太陽系，以後的科學家必須找出其他行星所會造成的不同影響與結果。這種經過一代又一代的系統化試驗以及延伸所得到的科學知識就是現代科學的一大特徵。

►伽利略將他的望遠鏡呈給威尼斯總督。在伽利略許多著名的成就當中，伽利略利用較早發明的荷蘭鏡片製成了第一個可以使用的望遠鏡。伽利略用他的望遠鏡觀測月球，更使他堅信太陽系是以太陽為中心的想法，因為月球上的山脈和火山口都清楚地反射著陽光。同樣重要的發現是伽利略發現了比裸視所能看到的還更多的星球，同時他亦發現木星(Jupiter)也有衛星的存在。他認為托勒密所計算出來的宇宙並不完美，但是羅馬教廷(Vatican)的反對者卻拒絕接受望遠鏡所提供的證據，他們不認為這些證據足以推翻已行之千年的觀點。



科學大革命

雖然哥白尼曾經啓發了一些追隨者，但是他的思想直到新觀察證實了已往所勾勒的世界與事實並不完全相符之後才有所進展。十六世紀末丹麥的觀察家第谷(Tycho Brahe, 1546~1601)發現行星能夠自由通過一些區域，而這些區域正是以前亞里斯多德認為充斥著透明固體的存在。

義大利科學家伽利略(Galileo Galilei, 1564~1642)所做的觀察更有力地證實了相同的觀點，他在西元一六〇九年發明了天文望遠鏡(telescope)，使得伽利略更容易注意到他眼睛所看到的和亞里斯多德所提出的論點之間的矛盾。雖然第谷和伽利略的觀察都無法直接證實哥白尼的想法，但是他們對於既成教條所造成的破壞卻為哥白尼的學說鋪好了路，當伽利略在他的著作中發表支持哥白尼的言論，他終於和羅馬天主教僧侶起了正面衝突(►「科學的未來」46頁)。十七世紀中科學的成長無可避免地向北蔓延，一直延伸到歐洲的大西洋沿岸。

伽利略的革新並不只限於天文學方面，亞里斯多德認為天體的運動和地球的運動是兩碼子事，但是伽利略卻發現這兩者的運動是相當類似的，同時他更進一步經由實驗以數學方式來表達這些運動。在這個研究過程中他觸及了十七世紀最為關鍵的科學問題之一：是否所有的運動類型都可以用數學方式來表示？如果可以，則所謂的數學方式又是如何呢？十七世紀的著名科學家大多對這方面的討論有所貢獻，如刻卜勒(Johannes Kepler, 1571~1630)、笛卡兒(René Descartes, 1596~1650)、海更斯(Christiaan Huygens, 1629~1695)以及許多其他科學家，但是綜合所有先前工作的最後一步則遲至十七世紀末才由牛頓(Isaac Newton, 1642~1726)完成。

牛頓在一六八七年所發表的「原理」(Principia)提出了統一的運動數學式(這本書的全名是「自然科學的數學原理」(the Mathematical Principles of Natural Philosophy))。這本書的名稱清楚地說明了現代科學原動力的源起，因為「原理」的問世而使得現代科學無可挽回地步入其註定的軌跡中。十七世紀的「自然哲學」是指以觀察、實驗和理論來研究自然，「數學原理」則告訴我們這種研究是可以定量的，同時數學也是表達宇宙的最佳語言。(因此自古希臘至今的兩道主流——有力的系統觀察和重要的數學(►8頁)——終於連成一氣了。

牛頓在建立新的統一世界觀方面的成就主要有兩大影響，第一，他所建立的模型不斷給予未來科學家許多啓示和靈感；第二，牛頓的工作也對非科學家的人類造成莫大的影響，他能夠準確預測未來的能力，使得一般人不僅將科學視為觀察世界的新方法，同時也對其主張深信不疑。

牛頓和德國的萊布尼茲(Gottfried Leibniz, 1646~1716)分別發展出一種新的數學，即現在稱為「微積分」(calculus, ►78頁)的部分，微積分可以直接應用在物體運動的定量討論上。十八世紀裏數學家對微積分的探索極為深入，使得人類對運動的本性有了更深的了解。自牛頓率先提出數學和科學研究應該並駕齊驅之後，數學方法與科學的發展便一直是攜手並進的。



▲牛頓通常被認為是引發科學大革命達到最高潮的始作俑者，他利用伽利略所洞察到的事實，並將它們歸納到他的三大運動定律(laws of motion)之一。從運動定律之中，他又提出重力理論，認識了重力的存在，並說明重力在宇宙運動中所扮演的角色。他在光學(optics)和光線方面的研究也成為現代光學的重要基礎。牛頓可能是第一位因為科學方面的成就而獲得特殊社會和政治地位的人，他後來成為下議院議員和造幣廠的主管。



1197014