

## B-1 物理學的誕生

當文字尚未發明時，人們是靠著傳說與神話，來描述對周遭環境的感受，當時大家普遍認為：世界是由一造物者或諸神所建立。但由於沒有文字記載，遂容易流於各說各話，而無彼此認同，又可互相交流的討論內容。

大約在西元前三千年，東西方的文字發明後，前人的經驗得以藉著文字記載而傳播開來，並逐漸流傳下去。西元前六世紀左右，西方的一位思想家泰利斯（Thales，約 585 B.C.，希臘人）第一次說出：

「世界是由水所造成。」

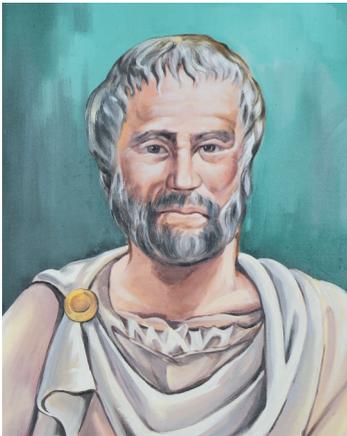


圖 B-1 亞里斯多德

而將人們的注意力，由天上的神轉移到地上的物質，並且認為周遭的自然是可藉著一些概念與合理的論證來描述和了解，這個時期也就被認為是物理學的誕生期。

經過差不多兩百多年的討論，最後由亞里斯多德（Aristotle，384 ~ 322 B.C.，希臘人）（圖 B-1）集其大成，主張萬物乃由「水、火、土、氣」——分別代表「乾、溼、冷、熱」等合成性質——的四種基本物質所形成（圖 B-2）。且此四元素是藉著變化（becoming）或運動（motion）來組成萬物，而運動可分為質的、量的與空間的三種變化。這些運動全依照物體之「目的」來完成其變化程序。本性為重之物，如水、土，它們的目的是宇宙的中心——地球，所以在釋放時，它們因要趨向目的，而會往下落。本性為輕之物，如火、氣或靈魂，它們的目的是天體，故會往上飄。而一位成人，他的目的是要成為一有智慧的人，所以他的生活為了要趨向此目的，則需要不斷地思考與學習，來完成其成長過程。



圖 B-2 希臘人認為物質是由四個基本元素組成

亞里斯多德「目的論」的學說，統合了宇宙學、物理學、哲學、神學、政治學與倫理學，使得其學說歷經一千八百年而不墜。在天文學上，托勒密（Ptolemy，約 130 A.D.，希臘人）（圖 B-3）使用了亞里斯多德以地球為宇宙中心的觀點，及行星的運動是遵照最完美的幾何圖形——圓的各種組合來呈現，成功地描述和預測行星運轉或逆行的軌跡（圖 B-4）。直到今天，我們依然可使用托勒密的地心模型，來詮釋所觀測的火星逆行路徑（圖 B-5）。這一直都是亞里斯多德與托勒密學說一大成功之處。



圖 B-3 托勒密

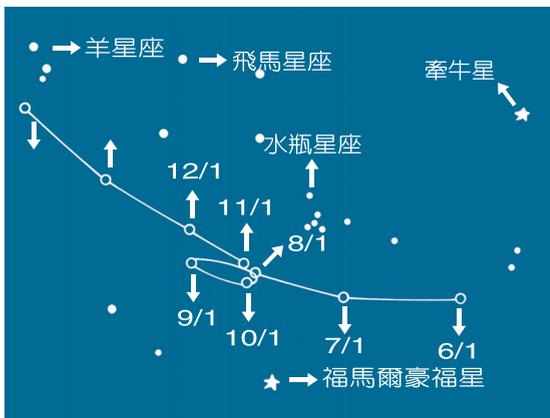


圖 B-4 行星逆行

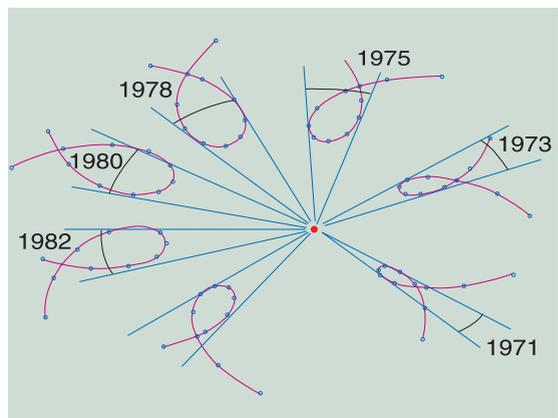


圖 B-5 近代火星逆行的軌跡與托勒密預測的軌跡相當吻合

## B-2 科學革命

西方受到十五、六世紀文藝復興的薰陶和影響，強調個人風格與想像力的發揮，天文學家哥白尼（圖 B-6）開始質疑托勒密，認為他的理論雖然與觀察符合，但他塞入了太多人為的、外來的「偏心點、大圓（均輪）、小圓（本輪）」的東西，而喪失了均勻性、對稱性、簡單性與完美性。於是提出了更為和諧、更具

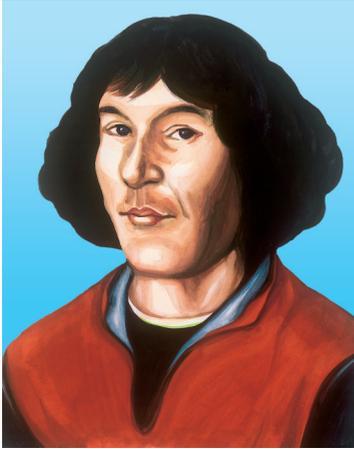


圖 B-6 哥白尼



圖 B-7 哥白尼日心模型  
(☀️ 太陽 (Sun) • 月球 (Moon))



圖 B-8 畢達哥拉斯

對稱，以太陽為宇宙中心的行星理論（圖 B-7）。不僅可與觀測值一致，而且在幾何與數學的描述上，比托勒密的學說更為簡潔與完美。

哥白尼是受到了哲學家畢達哥拉斯（Pythagoras，569 ~ 494 B.C.，希臘人，圖 B-8）與柏拉圖（Plato，427 ~ 347 B.C.，希臘人）的啟發認為：

「整個宇宙是由數所構成的。凡數學上為真的，在真實世界與天文學上，亦必為真。」

這種不以物體的性質與目的論，作為天文學的指導原則，而是完全以數學的完美與簡單性，作為天文學的基礎和依據，改變了西方一千多年來對自然的描述方式與思考方法，而讓人們生活在不同的思考世界裡，這種轉變就造成了科學革命。

當哥白尼的「天體運行論」印刷成書，被送到他手上時，他已病危，臥在床上。他並無法目睹他的數學宇宙觀開花結果。但他的創見已征服和影響了當時歐洲幾乎所有的聰慧之士。五十年後，伽利略接受了哥白尼所提倡的數學觀，首先使用全新的科學方法，來探討物體釋放後的運動（圖 B-9）。

### 1. 數學論證、提出假設

伽利略以嚴謹的邏輯與數學，推論出：

- (1) 重物與輕物一起釋放後，必會同時著地。
- (2) 任何物體下落的速度，若隨著距離增加而變大的話，則此描述將會產生矛盾結果。

他的清晰論證有力地駁斥了：因重物所具趨向地球的重性（heaviness），大於輕物的重性，而有重物速度應該較快之「目的論」原理。此外，落體速度若不能以距離來正確呈現，則到底該如何描述落體運動？一如哥白尼，伽利略認為自然界的現象應是盡量簡單的。他採用了中世紀所提的均勻加速觀念，大膽地用在落體運動上，並假設

落體速度  $v$  會與下落時間  $t$ ，成簡單的正比關係。

## 2. 設計實驗、檢驗原理

為了要讓人信服他所主張：大自然背後是以簡單的數學關係來呈現。他著手開始設計實驗，因實驗能提供最清楚正確的事實。但要量測瞬間的速度非常不易，他遂將其假設，做了進一步的推展延伸，得出

物體下落的距離  $s$  會與下落時間的平方  $t^2$ ，成正比。

而下落的距離，則可容易地量出。他並用水鐘（或水流量）克服了前人不知如何測量短暫時間的困難，而設計出精緻的斜面實驗，如圖 B-10。實驗結果顯示，球體下滑的距離的確與所經時間的平方成正比，完全支持了他的假設和推論。

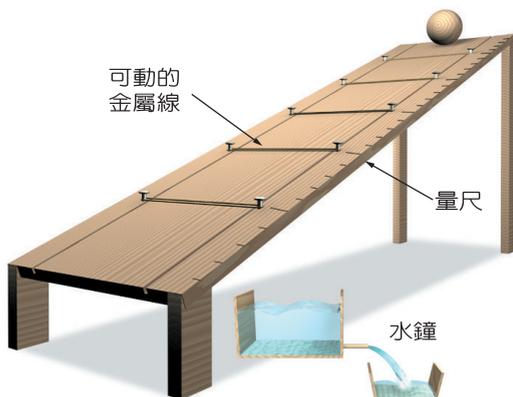


圖 B-10 斜面實驗

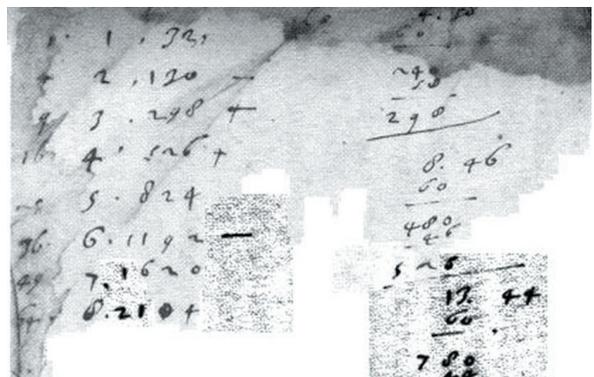


圖 B-11 伽利略手稿第一行為時間的平方，第二行為時間，第三行為斜面上的下滑距離（時間與距離單位未顯示）。

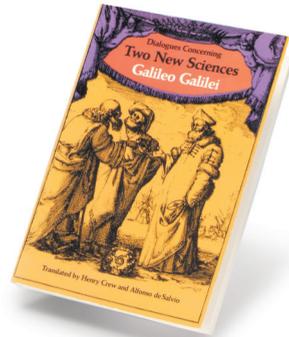


圖 B-9 伽利略著作——兩門新科學的對話

因此，亞里斯多德對物理學的描述必須被放棄，他想統合所有人類思想的要求也須被修正。從此，物理學在哲學與科學思維裡獨樹一格、快速發展，伽利略也開啟並奠定了物理學的新面貌。最後，他對如何認識大自然，向我們做了底下的提示：

「自然寫在宇宙這本大書上，而這本書是用數學語言寫成的。」

## B-3 機械論

當亞里斯多德的思想面臨崩解之際，哲學家與數學家笛卡兒提出：我們應該慎重地檢驗所學，重新地建構知識，不要將探討精神世界的方法，用來研究物質世界；反之亦然。他認為物質世界的探討，應該從最無疑義，最無法駁斥的基本事實出發。那就是：

- (1) 任何物質均由占有空間的質點所組成。
- (2) 自然現象可由物質質點的位置變化——運動來描述。

他於是嘗試著僅利用此兩概念：質點與運動，精巧地詮釋了許多自然現象，包括磁鐵的排斥與吸引、光的反射與折射。後繼者波以耳續用此法探討空氣，認為空氣是一種可呈現出彈性的物質，故會對器壁提供壓力，提出了密閉器內氣體體積與壓力的定量關係。他並稱這種探討物質世界的方法為機械論（mechanisms）觀點。

從十七世紀初，西方就是利用此兩方法：

伽利略 —— 數學

笛卡兒 —— 機械論

開創了物理學全新的領域。然而最初此兩方法彼此並不容易協調搭配，常會因使

用其中一種，而忽略或排擠了另外一種。一直到 1684 年，牛頓在他的巨著自然哲學的數學原理指出：

- (1) 質點的運動與所受的外界影響——作用或力有關。
- (2) 任意兩物體之間，普遍存在有一作用力，並可以數學形式表示出。

利用這些原則，他完美地統合了數學方法與機械論。並認為月亮繞地球運轉與蘋果落地，均出自同一原因，受到同一力量，而將天文學與落體運動圓滿地結合在一起（圖 B-12）。牛頓這種劃時代的貢獻，讓物理學的成功達到了顛峰，被認為是古典物理史上最偉大的科學家。

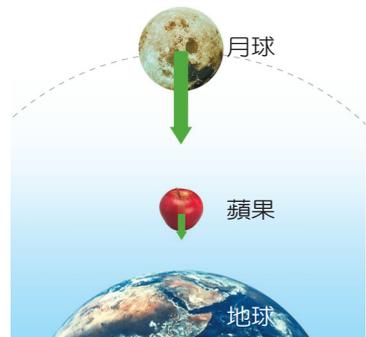


圖 B-12 蘋果與月球均會受到地球的吸引

## B-4 電磁學

雖然摩擦生電與磁石吸鐵現象，在西元前五世紀與中世紀時均已被發現。但直到 1800 年伏特發明電池，可提供穩定電流後，電學才開始迅速發展。法拉第於 1852 年利用鐵粉在磁鐵附近分布的情形，引入了磁力線與磁場的觀念；磁力線有其實在性，而力是透過遍布力線的空間——場，與遠方物體產生作用。

厄斯特在 1820 年於實驗室中偶然發現：通過電流的導線可影響附近的磁針（圖 B-13），亦即可生磁場。法拉第的直覺使他很快地提出了相反的質疑：磁場會不會產生電場？他後來設計出實驗，證實的確可以，但必須是磁場有所變化才行（圖 B-14）。因此法拉第統一了過去認為是分開的電和磁的現象，證明它們是單一更廣概念——電磁性（electromagnetism）——的不同表現。



圖 B-13 厄斯特實驗證實通過電流的導線會使磁針偏轉

馬克士威將法拉第與前人的實驗結果（圖 B-14）轉換成數學，且每一個方程式就代表了一個定律，寫出下列五個關係方程式：

1. 庫侖作用和電場觀念。
2. 沒有自由的磁荷。
3. 載有電流的導線可使另一帶有電流的導線產生力。
4. 磁場變化可生電場。
5. 電荷守恆。



圖 B-14 法拉第磁生電的實驗

但他發現此五個關係方程式放在一起後，出現了數學上的不一致。解決此難題可能是十九世紀物理學上一項重大的革命事件。

馬克士威看到電場有兩種來源——電荷與改變的磁場，但為何磁場另有一種來源——電流，**改變的電場可否生磁**？當他將此可能性加到上述實驗定律中時，這種數學的不一致便消失了。根據這個新方程式，**磁場與電場可以交互改變，且一直持續下去，並充滿和傳播在整個空間**。

他用數學關係式算出此電磁場交互改變的電磁波動，會以 $3 \times 10^8$ 公尺/秒的速度前進，而這正是當時光學實驗所量測出的光速。當時光的現象和理論雖然先發展，但由於它的直線前進的特性，以及光不需在任何介質中亦可傳播，而水波的傳播則需要介質，故使得牛頓受其自身機械論觀點影響，認為光是一種粒子，不是波動。到了十八世紀初的干涉與繞射實驗，才使光的波動理論取代了粒子理論。但光波到底是什麼性質的波，依舊是個謎。

馬克士威從他的定律下了結論：**光是在與引起電和磁現象相同的介質內，所做的一種橫向波動，所以光就是一種電磁波**。他用一種特殊的數學語言，將電磁和光統一了起來，這是一個綜合性的大成就，可與牛頓的引力學說媲美，所造成的影響同樣深遠。

## B-5 能量的轉化

牛頓所完成的力學方法，為物理學注入了新的生命與信念。人們對自然現象的許多其他領域，如：光、聲、熱、磁與電，累積了愈來愈多的經驗，大家也認為利用數學方法與機械論觀點，皆可對這些現象加以掌握與了解。

從 1840 年開始，焦耳與亥姆霍茲（Hermann von Helmholtz, 1821 ~ 1894，德國人）相繼證實，熱不是一種物質，而是一種運動狀態的改變，機械功與熱可以相互轉化。

著名的科學家克耳文於 1854 年在英國科學年會的演講時指出：焦耳對熱量轉變為功的發現，已“使物理學經歷了一次自牛頓時期以來”最重大的變革。自然界中的力，可以互相轉化是一項普遍的原理，且在轉化過程中，熱可透過功——力與距離的乘積，而與力學中的動能與位能建立起關係，並可加以定量計算。熱因此與動能、位能相當，而統稱為能量。能量物理學遂漸漸發展起來，能量也成為奠定物理學基石的最基本的概念。在二十世紀前古典物理學中的所有領域，就在能量這個概念下，彼此緊密地統合在一起。

## B-6 近代物理

克耳文勳爵在 1900 年所給的一篇展望新一世紀的發展的演講中，認為當時的物理體系已經相當完備，有如萬里晴空。但他也指出，在這晴空上有兩朵烏雲。其一是，試圖測定地球在太空（以太）中的絕對速度的實驗，得到了否定的結果。其二是，物體的比熱在低溫下均趨於零。這兩者都不是當時的物理論所能解釋的。

進入二十世紀時，這兩朵烏雲在物理世界中帶來了狂風暴雨。卜朗克在同一年所提出的量子論，最終解決了物體比熱問題，而以太的實驗，則由愛因斯坦在五年後所提出了相對論所闡明。這兩者構成了我們今天所說的近代物理。