

Richard P. Olenick
Tom M. Apostol
David L. Goodstein / 著
傅昭銘、陳義裕 / 編譯

從力學看天下

看力學與熱學如何闡釋日常的生活現象

The Mechanical Universe
Introduction to Mechanics and Heat

Richard P. Olenick
Tom M. Apostol
David L. Goodstein／著
傅昭銘、陳義裕／編譯

從力學看天下

看力學與熱學如何闡釋日常的生活現象

The Mechanical Universe
Introduction to Mechanics and Heat

從力學看天下：看力學與熱學如何闡釋日常的生活現象 / Richard P. Olenick, Tom M. Apostol, David L. Goodstein 著；傅昭銘，陳義裕編譯。
-- 初版。-- 臺北市：百禾文化資訊，臺大出版中心，2012.05
面；公分。
譯自：The Mechanical Universe：Introduction to Mechanics and Heat
ISBN 978-986-88345-0-7(平裝)

1.物理學 2.力學 3.熱學

330

101009116

從力學看天下：看力學與熱學如何闡釋日常的生活現象

原書名 The Mechanical Universe: Introduction to Mechanics and Heat
作者 Richard P. Olenick, Tom M. Apostol, and David L. Goodstein
編譯 傅昭銘、陳義裕

執行編輯 吳育燐
文字編輯 林旻柔
美術編輯 蕭志文
封面設計 點墨數位資訊服務有限公司

發行者 百禾文化資訊有限公司
負責人 林迺玫
出版者 百禾文化資訊有限公司、國立臺灣大學出版中心
印製 卡樂彩色製版印刷有限公司
出版年月 2012年5月
版次 初版
定價 新臺幣 800 元整

展售處 百禾文化資訊有限公司
臺北市信義區 110 基隆路一段 396 號 7 樓
電話：(02)2720-1755 傳真：(02)2722-0959
<http://www.e-harvest.com.tw> E-mail: service@e-harvest.com.tw
國立臺灣大學出版中心
臺北市 10617 羅斯福路四段 1 號
電話：(02)2365-9286 傳真：(02)2363-6905
臺北市 10087 思源街 18 號澄思樓 1 樓
電話：(02)3366-3991~3 轉 18 傳真：(02)3366-9986
<http://www.press.ntu.edu.tw> E-mail: ntuprs@ntu.edu.tw

ISBN：978-986-88345-0-7

著作權所有・翻印必究

THE MECHANICAL UNIVERSE: INTRODUCTION TO MECHANICS AND HEAT by RICHARD P. OLENICK, TOM M. APOSTOL AND DAVID L. GOODSTEIN

Copyright: ©1985, 2007 BY CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

This edition arranged with CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS through Big Apple Tuttle-Mori Agency, Inc., Labuan, Malaysia

TRADITIONAL Chinese edition copyright: 2012 HARVEST CULTURE COMMUNICATION LTD.

All rights reserved.

譯序

「科學的足跡」是部富含科學史哲意境的物理課程影集系列。本書原著英文名稱為 *The Mechanical Universe*，若直譯其名則為「力學世界」，是搭配「科學的足跡」影集而編撰的物理教科書，教材內容貫穿整個物理學的始終乃至力學世界。編寫特色是在每個章節的開始段落，簡介並回顧該章所涉及內容的物理歷史背景與發展軌跡，並於教材中穿插敘述著名物理學家生平事蹟及其卓越貢獻，以充滿哲理的生動科學逸事啟迪思維，對物理概念的發展歷史作出精闢的引導說明，循全書脈絡乃實至名歸為「從力學看天下」。

本書原著作者古德斯坦（David L. Goodstein），是加州理工學院（California Institute of Technology）的教授，在他的倡議及安勒伯格／公共廣播協會計畫（Annenberg/CPB Project）基金的資助下，編製了「科學的足跡」影集及撰寫教科書，也記錄了大學的物理教學改革理念。本教科書涵蓋了一般大學的普通物理課程，包含力學、熱力學、電磁學、光學與近代物理等，作者以人性化啟引物理思維的風格，以相關歷史背景開展、導引、發展各單元的主題，用系統化的精闢論述啟迪思維及建構概念。不僅特闢獨立章節介紹，並且在內文中循序鋪述提供發展理論模型所需的微分、積分與向量等數學工具。穿插在章節裡的例題或問題則有助於提升物理概念的理解程度。

本書可以當作大學物理課程教科書使用，亦可作為大學或資優高中學生自修之用，或可搭配「科學的足跡」影集系列，提升教學或自習效益。「科學的足跡」影集共 52 集，每集三十分鐘，內容涵蓋一般大學普通物理學的課程。每集影集的開頭與結尾，通常以古德斯坦教授在課堂中，以幽默口吻陳述具啟發性的科學史哲事蹟，引領學習者進入物理世界。影集中穿插有歷史情景鏡頭，係考證了歷史文獻，模擬中古歐洲時代背景，將科學家在學院中從事研究的場景重現，以戲劇方式呈現物理理論發現的歷史，引人油然而生思古效法前賢之意。影集中配合模擬動畫及實驗，深入淺出剖析物理概念或公式。

綜觀物理教材發展，早期的內容偏重在科學知識本身，之後發展成將教材融入科學情意與技能，或與科學史哲融合。據此理念背景的教學或學習模式，並不是以科學知識當作為教學或學習目的，而是要掌握科學方法與科學精神，使學習者藉由探索思維過程來學習科學知識、情意、技能。在本書及影集中，引述許多物理重要概念發展的原文或原稿資料，不僅可掌握事件發展的準確描述，亦有助於體會科學發展的探索、科學發現的思想形成或演變的過程、及了解物理模型建構歷程與思維方法。

在國內已有許多大專校院及中學使用「科學的足跡」影集作為教學應用或提供學習參考。原文書籍在國外廣為教學使用，本書乃提供中文使用者作為教學應用或自學參考。此書編譯過程中承蒙林自奮、許華書、趙宇強等教師協助校閱部分內容及提供建議，在此謹致感謝。譯者於教學和研究之餘完成中文譯本，雖力求完整，但疏漏難免，敬請各界先進、教師和讀者，不吝指正並惠賜意見，至為感激。

譯者謹識

序

一、一般介紹

「科學的足跡」包含了五十二個半小時的電視影集，以及 I、II 兩冊的教科書。可以說它與以前在物理學（或任何其他學科）中進行過的改革試驗都不太一樣。這裡似乎有必要對這些成果的來龍去脈說上幾句話。

在 1937 年，由密立坎、沃森及羅勒編寫出一本熱門的導論教材後，加州理工學院開始對物理教學有所貢獻。密立坎是加州理工學院的創始人、校長、第一位諾貝爾獎得主，他在各方面的表現都堪稱典範，本書第 12 章記述了他的功績與對他的讚揚。沃森是教務長，他和羅勒都是卓越的教師。

1961 年，費曼開始教授加州理工學院的物理導論課程，他不僅是在歷史上占有重要地位的科學家，還是一位幽默的、非常受歡迎的教師。費曼的授課被忠實地記錄了下來，經過改編後出版了三卷教材，這套教材被公認為是絕無僅有的自然科學經典著作。

加州理工學院的物理教學與各校的自然科學教學一樣，都經歷不斷的變革，在古德斯坦教授的倡導下，加州理工學院對大一物理注入了新的活力，最著名的產品就是「科學的足跡」，轟動了整個校園。此時，原是科學研究基本工具的陰極射線管有了新的應用——電視；事實上，大多數的家庭中都有電視。人們想到了：我們是否可以利用電視，像推銷除臭噴霧劑和淡啤酒等商品一樣，將物理學的樂趣介紹給大眾呢？

當愈來愈多人想要利用電視進行物理教學時，曾任美國駐英大使的出版家安勒伯格送了個大禮，表示支持利用電視來進行大學程度的教育課程。通過安勒伯格／公共廣播協會計畫的名義，安勒伯格傳播學院和公共廣播協會最終提供了近 600 萬美元的基金，以支持「科學的足跡」這個影集。這就是《從力學看天下》這本書的由來。

二、給學生

本書各章都與「科學的足跡」系列影集相對應，也可以無須配合電視影集，單純的視為一本物理學教材，並按傳統的方式進行教學。我們希望學生仔細閱讀每一章，觀看每個影集至少一次，並且利用設置本課程的學校所提供的指導、講授、練習，以及其他的幫助來獲得學分。

在此要提醒各位讀者，《從力學看天下》並不依循美國大學傳統的教學方式，除了利用電視之外，我們在物理學、歷史、哲學以及社會脈絡的形成，以及數學的奠基處等關係上，都採取了一些非正統的看法。要特別說明的是，讀者需要具有一定程度的數學水平與計算能力。

我們假定每位使用《從力學看天下》的學生在代數與三角函數都有中學以上的程度，這對於了解與體認物理學在歷史上的出現是至關重要的，因為那畢竟是物理發展的固有部分。這些能力包括了導數（第2與第3章）、向量（第5章）、微分的逆推（第6章）、積分（第7章），和整本書都會用到的解析幾何以及微分方程式。以上的清單看起來好像是在恫嚇你，但是我們確切的相信，它們都會以某種方式協助你把握書中的材料，也會對你的吸收有很大的助益。

而美國大學的傳統物理課程，試圖只用代數和三角，而不用微積分來教物理。這種課程絕大多數都如義務役徵兵制一樣聲名狼籍。我們認為，這並不是老師或是學生的錯，而是不當的刪除了支持物理學所不可或缺的數學所致。我們誠摯地希望，使用《從力學看天下》的學生能把微積分當做數學素養的一部分（正如我們希望他們能夠更進一步的去探討這裡所提出的歷史與哲學問題），不過對於這堂課程的目的——研習物理學——而言，上述的數學已經足夠了。

大多數此課程中的重要概念在電視系列片中均有介紹，但若只是看幾遍影片，並不會比在教室中聽幾堂課學到更多。掌握物理學需要你身心積極的投入，去問問題、去回答問題，尤其重要的是要解決問題。本書各章均附有範例和問題，就是希望在你的學習過程中，能夠扮演重要的角色。

從1543年哥白尼出版了《天體運行論》到現在，發生了一系列的事件，而18世紀的宇宙觀點可謂其高潮，這一系列的事件便是《從力學看天下》的骨幹；無論人們有沒有發現，從那時候開始，宇宙在實際上已成為人類知性活動的基礎。我們堅決的認為，對人類知識革命的透徹了解，是任何真正教育的關鍵。而以創新的方式來提供這種知識，就是《從力學看天下》的目的。

三、給教師和管理人員

我們期望那些提供《從力學看天下》為一門大學課程的學校，能夠根據實際的情況和偏好，以各種不同的方式來使用電視影集和教科書。電視影集可以通過接收天線或有線電視在家裡觀看、在教室裡集中放映，也可利用學校的設備以方便學生隨時隨地觀看，甚至全部都做。然而，我們希望不要有學校以為這門課程不需要活生生的、有血有肉的大學物理教師。對於大多數學生來講，物理學不能單靠書本，也不能光靠電視。

「科學的足跡」計畫沒有包括實驗的部分，這不是說我們認為物理實驗課程不重要或不有趣，而是我們認為，由我們來提供實驗課程未免太不切實際。我們希望每間學校能自行決定，如何安排物理學習中關於實驗的部分。

本書適用於修習過以基本代數與幾何為本的大學物理課程學生。書中微積分的計算就像向量，以及力學的其他部分一樣，都是課程的主題。舉例來說，第2章中「導數」這個數學概念，就在解釋瞬間速率和加速度這個物理概念的時候，自然而然的被帶了出來。第3章雖然更進一步闡述了導數的性質，但不至於變成一堂微積分課程——既然本書是物理學教材，而不是數學教材，我們只討論微積分中直觀、且與物理概念緊密相連的部分。例如在第7章裡面，積分被定義為面積，我們就隨意地使用面積的直觀概念來推導出積分其他相應的屬性；但如果是一本數學教科書的話，會更嚴格的將積分定義為數（總和的極限），然後再以積分來定義面積。從數學家的觀點來看，焦點當然會擺在數學，物理學家與物理學的關係亦是如此。

以下的說明也許能幫助您規劃教程。大部分所需的數學都包含在第3章（導數）、第5章（向量）、第7章（積分）以及第9章（圓周運動），這些數學穿插在各章深奧且重要的物理概念（例如第4章的慣性）中，並不需要像數學課一樣花那麼多時間練習。而且，第2章與第6章也概略說明了這些在後續章節會提到的數學概念（分別為導數與積分）。

第6章似乎別有重任，因為除了牛頓定律，這裡還介紹了一些簡單的微分方程式以及它們的解答。但其實，第4章不僅早已為此預先做好準備工作，也已經暗示對牛頓定律的應用將會是後續章節的主題，一直到第12章裡的密立坎油滴實驗。

其後的是關於能量（第13、14章）、熱、物質、熵（第15至第18章）、動量守恒（第19章）、簡諧運動（第20至第22章），以及角動量（第23、24章）。我們可以複習一下第9章（圓周運動），其中有一部分就是為了第23、24章（角動量）而設計；至於第22章（波）則是預先為本書續集中有關波動的章節做準備。

誠如我們一開始所說，每個電視影集都對應了本書某一個章節，這在目次中也看得出來。然而，就算學校提供，第 15 至第 18 章（熱力學）這幾集影集通常也不會在「科學的足跡」第一個學期時就播放，而是在播完「能量與穩定性」（第 14 章／第 14 集）之後，接著播出「動量守恒」（第 19 章／第 15 集）。之所以要將這些書中的文本材料，排除在電視影集以外，是因為有些教師希望能夠開一堂同時包含力學與熱學的課程。

第 25、26 和 27 章需要花點精神，在此我們利用牛頓定律解決了克卜勒的問題；但實際上，克卜勒第一定律已在第 23 章得出，第三定律卻是要等到第 29 章才會推得。對橢圓軌道的演繹與分析是真正的挑戰，這裡也是學生們掌握「科學的足跡」的關鍵，所以我們在第 28 章先致力於討論如何漫遊太空。

在《從力學看天下》全書中，我們用歷史讓物理學更為人性化。我們當然不會期望學生們都能記得各個具體的人名和日期，也不會期望他們都能記住詳細的公式和常數。《從力學看天下》並不能保證對每個學生都能有所幫助，我們只希望它能夠對學生的教育貢獻一份力量。

四、致謝

如果沒有那些熱情工作、樂於奉獻的許多同仁所付出的辛勤努力，《從力學看天下》的書本以及電視影集是不可能產生的。

首先是加州理工學院的弗羅茲奇教授，他是理工姐妹篇的主要作者，對本書有著無法估量的貢獻。

特別感謝《從力學看天下》地方顧問委員會：帕薩迪納城市大學物理學的米勒教授、加州州立科技大學聖路易斯奧比斯波分校物理學的布朗教授、加州理工學院噴氣推進實驗室技術部成員塔布斯、聖塔巴巴拉城市大學數學的霍茲教授、以及，休斯航空公司首席科學家（已退休）伍德伯里。他們仔細閱讀了本書的每個章節，並提出了許多指教，我們因此受益於他們重要的教學經驗。

此外，還要感謝：奧斯勒（卡加利大學）、古德斯坦（加州理工學院）和衛斯特曼（加州大學洛杉磯分校）等幾位傑出的歷史學家，他們閱讀並評論了本書的部分章節；《從力學看天下》的成員堪姆貝爾（散德貝克社區大學）和布林（噴氣推進實驗室）；薩拉契曼（惠特學院）；以及 1983 至 1984 年加州理工學院的新鮮人。

除上述外，書中的問題是由加州理工學院的木頓和沃瓦所提供，並由他們以及同是

來自加州理工學院的西歐普希斯和米吉克確認了這些問題的精確性。

在計畫祕書比加爾克傑出的管理下，作者的文句、方程式、錯誤以及校改，都獲得了有耐心且精確的修正，並由科納丘、古德斯坦和卡爾薩輸進了電腦。所有的工作都在安勒伯格／公共廣播協會計畫（「科學的足跡」的贊助者）的菲爾德、劍橋大學出版社的特拉那和萊昂內殷切的督導下完成。我們尤其高興的是，出版了牛頓《原理》一書的劍橋大學，決定跟進《從力學看天下》的腳步。貝蒂，「科學的足跡」電視影集的執行製作，在本書成書過程中的每個關鍵時刻都參與了討論並提供了協助。格蘭特和哈什對「科學的足跡」計畫的各個部分，包括本書各篇章的草稿，都做了廣泛且正式的評估，這些努力在最後都得到了回報。哈理森為我們尋找了許多圖片以及它們的來源。

最後，要特別感謝《從力學看天下》的計畫主管德爾森，他非凡的組織才能、技巧，以及強迫性的憂慮，讓整個計畫得以順利的進行。

Contents

目次

譯 序	i
序	iii
第 1 章 《從力學看天下》引言（影集第 1 集）	001
第 2 章 落體定律（影集第 2 集）	011
第 3 章 微 分（影集第 3 集）	033
第 4 章 慣 性（影集第 4 集）	061
第 5 章 向 量（影集第 5 集）	073
第 6 章 牛頓定律（影集第 6 集）	101
第 7 章 積 分（影集第 7 集）	117
第 8 章 蘋果和月球（影集第 8 集）	143
第 9 章 圓周運動（影集第 9 集）	159
第 10 章 力（影集第 10 集）	177
第 11 章 引力、電與磁（影集第 11 集）	201
第 12 章 密立坎油滴實驗（影集第 12 集）	211
第 13 章 能量守恆定律（影集第 13 集）	227
第 14 章 能量與穩定性（影集第 14 集）	247
第 15 章 溫度和氣體定律（影集第 45 集）	265
第 16 章 自然熱機（影集第 46 集）	279
第 17 章 熵（影集第 47 集）	305

第 18 章	探索低溫（影集第 48 集）	319
第 19 章	動量守恆（影集第 15 集）	333
第 20 章	簡諧運動（影集第 16 集）	353
第 21 章	共 振（影集第 17 集）	371
第 22 章	耦合振子和波（影集第 18 集）	383
第 23 章	角動量（影集第 19 集）	401
第 24 章	陀螺儀（影集第 20 集）	423
第 25 章	克卜勒定律和圓錐曲線（影集第 21 集）	441
第 26 章	解決克卜勒問題（影集第 22 集）	459
第 27 章	能量和偏心率（影集第 23 集）	469
第 28 章	太空航行（影集第 24 集）	487
第 29 章	結語以及黑洞（影集第 25 集）	501
第 30 章	天體的和諧：《從力學看天下》綜述（影集第 26 集）	513
附錄 A	國際單位制	521
附錄 B	換算因數	523
附錄 C	代數、幾何與三角公式	525
附錄 D	天文數據	527
附錄 E	物理常數	529
索 引		531

1

CHAPTER

《從力學看天下》引言

太陽靜置於整個天體的中心。有誰能在這座極為瑰麗的殿堂，將這盞燈放置在另一個更好的地方，同時也能照亮萬物呢？有人稱之為宇宙之光，另有人稱之為宇宙的靈魂，還有人則稱之為宇宙的統治者。的確，這些說法並無不當。特里斯梅基斯忒斯稱之為看得見的上帝；梭福克勒斯的耶勒克特拉稱它為明察萬物者。的確，太陽彷彿坐在帝王寶座上，統治著環繞它的星星家族。

——哥白尼，《天體運行論》（1543）

1.1 哥白尼的革命

我們很難想像，過去人們的思維，曾經堅信地球位處於宇宙的不動中心，且天體和諧地繞著宇宙中心運轉。古希臘人堅持繼承中世紀的這種觀點，特別是古希臘人的觀念被定型在柏拉圖（Plato）和亞里斯多德（Aristotle）的著述，其觀點闡述人們無足輕重的處於這宏偉的宇宙系統，即便人們居住在這個宇宙中心。

亞里斯多德學派認為自然世界由火、氣、水和土四種基本元素所組成。每一種元素都企圖尋求其自然的位置，例如：火焰在空氣中跳躍，氣泡在水中上升，雨水從天空落下，岩石墜回地面等。整體世界是如此地井然有序，每種元素力圖返歸以宇宙中心的殼層位置。但即使像亞里斯多德描述四元素所組成那井然有序的世界，他也不認為地球是完美的。地球與棲息在它上面的居民一樣，也會遭遇死亡和腐爛。只有天空才會保有永恆完美，因為那裡是寧靜和不變的。

月球、行星、太陽和恆星等水晶球體位於火這個層面上。每個星體都是固定在其球面上的軌道，並在天空作圓周運動。圓周運動是柏拉圖認為所有宇宙星體應該遵循完美形狀的理想路徑；有了這樣的構想，宇宙就變得簡單，恰可完全以中世紀工匠們所構造的巨鐘來描述。因此，天體運動就像時鐘運轉，有規律且永恆完美，像人們印象中地球並沒有衰退的現象。

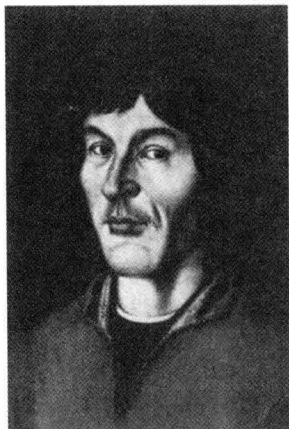


圖 1.1

哥白尼。(Courtesy of the Polish Cultural Institute in London.)

如此宏偉規畫的天象圖，是人類感知周遭環境而努力作出的一種描述。它嘗試尋找對自然現象作出簡單且包羅萬象的解釋。直到近世紀，人們開始提出質問亞里斯多德世界觀所不能回答的問題。

本書的目的是要了解古典力學（classical mechanics；又稱經典力學）如何形成——為了回答那些新問題而崛起的科學。人類思想發展史上沒有比它更為重要的發現了。由於古典力學的發現，使得亞里斯多德的殿堂倒塌，並在其廢墟上升起了人們對宇宙中位置的新觀點，並取代了其地位。因此在開始學習物理之前，讓我們介紹幾位開展科學革命故事的主要英雄。

首先介紹哥白尼（Nicolaus Copernicus），他是一位羞澀的修道士。其革命肇始於他的著作：《天體運行論》（拉丁文書名：*De Revolutionibus Orbium Coelestium*，英文書名：*On the Revolutions of the Celestial Spheres*），此書發表於他去世的那年，即 1543 年。在這本書中，哥白尼把太陽「凝固」在天空中，而讓地球繞著太陽運動。

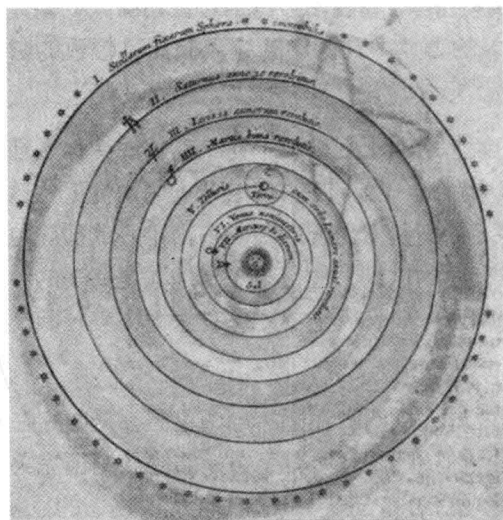


圖 1.2

哥白尼的《天體運行論》書中所示的日心說天體系統圖。
(Courtesy of the Archives, California Institute of Technology.)

哥白尼為了嘗試簡化亞里斯多德的宇宙模型，他把太陽放置在宇宙的中心位置，並以一圈圈的圓型軌道來描述行星的複雜運動。這樣的模型，無異於將地球貶降為一顆普通的行星，與其他五顆行星一樣繞著太陽轉動。地球繞著太陽轉動的學說大大地擾亂了學術界，就像 revolution 的字義產生急劇性改變。因此，不僅是得到地球繞著太陽轉動，也還引發殖民地反抗大英帝國的革命。¹

雖然哥白尼的想法最終改變了西方人們對世界的看法，但是最初他的書是被忽視的，後來更被看作是外道邪說。第一位掌握住這位革命思想的科學家之一的是克卜勒（Johannes Kepler）。克卜勒在哥白尼死後隔了一代才出生，他生於 1571 年，卒於 1630 年。克卜勒是位修道士，卻熱衷地執信日心說系統（Sun centered system）。他將看似複雜的行星運動數據套用到哥白尼模型去分析，終於得到了一組能精確描述行星運動的數學方程。他的結果是如此完美而令人驚訝；行星永不休止地以橢圓軌道圍繞著太陽運動。



圖 1.3

克卜勒。(Courtesy of the Archives, California of Technology.)



圖 1.4

伽利略。(SCALA/Art Resource, N.Y.)

17 世紀初，望遠鏡的發明為亞里斯多德世界觀的棺木敲下了最後一根釘子。伽利略（Galileo Galilei）用最新發明的望遠鏡去觀探天空。他發現一些未曾預料的觀察，其中例如：圍繞木星轉動的衛星，直接證明地球不一定是所有天體運動的中心。透過他大量的實驗與對自然現象的敏銳洞察，伽利略以其天才鞏固了哥白尼開啟的日心系統學說，加速了亞里斯多德唯象學說（Aristotelian phenomenology）的崩潰，並以古典力學學說取而代之。

就像早先的希臘人那樣，隨著力學的新興發展，科學家們想要發明一種包羅萬象能夠描述解釋所有觀察到現象的學說。在力學發展史上，牛頓（Isaac Newton）爵士的成就是所有其他科學家無能出其右者。牛頓剛好誕生於伽利略死的那年，即 1642 年。牛頓匯集討論天上與地上的規律，並將它們整合在一起，創立了宏偉的力學原理。他所建立的物理學，一直到 20 世紀初，尚無人能挑戰其原理。

1 譯註：revolution 具有轉動和革命雙關語意。



圖 1.5

牛頓。(Courtesy of the Mansell Collections.)

1.2 單位和因次

科學史課題上的一個重大發現是將觀察到的物理世界與數學產生關聯。首先發現數學與物理世界運作關聯的是畢達哥拉斯學派（Pythagoreans），由希臘哲學家畢達哥拉斯（Pythagoras）及其門徒在公元前 5 世紀建立。當時，是《伊黎亞德》（*Iliad*）和《奧迪賽》（*Odyssey*）最終形成的時候，正是孔子在世的時代，也是希臘人開始探究自然界，而不是向先知尋求答案的時候。這種數學與物理的關聯主要是由天文學家們所保留下來，他們知悉行星和恆星間的依循規則，能由數學式子和圖表所預測。然而，這時期的人們相信天體的定律，無論如何，決不與支配地球上物理世界的定律有關。儘管畢達哥拉斯與門徒得悉地球上的物理事件可依循數學定律，但後來的亞里斯多德和柏拉圖的觀點得勢地支配了希臘人的思想，並支配了西方思想將近 2000 年，因此畢達哥拉斯的觀點也被遺忘了。

以數學語言來描述自然現象的量化自然科學，是在中世紀末重新開始，大約同時期有複式簿記（double-entry bookkeeping）的發明。複式簿記是用來追蹤那時繁榮商務的重要工具。雖然學者們仍然爭論著，這兩個重大發現之間，何者啟發了另一者，但不論何者先出現，無庸置疑的，商業行為和自然科學對量度單位的標準化都有其共同需要。整個歷史過程中，為了農業和商務的秩序之故，建立時間、距離及重量的通用單位是政府的重要職責。而縮減標準量度單位來增加稅賦是公認腐敗政府的特徵之一。美國托兒所的兒歌「傑克與吉爾」（*Jack and Jill*）²的歌詞中，就有與嘲諷膨脹量度標準相關的文字。

不同的政府，不論誠實與否，受其管轄的量度單位很少相同。量度單位的採用通常以方便和傳統為基礎，例如現在美國使用的英里（mile，原文來自 *milia*，原意為千），曾經是羅馬軍團的一千個標準大步。碼（yard）是人的鼻子到其伸直手的指端距離（圖 1.6）；英呎（foot）則明顯是足部長度；英吋（inch）是拇指從關節到指尖的長度。

2 譯註：詳查 [http://en.wikipedia.org/wiki/Jack_and_Jill_\(nursery_rhyme\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Jack_and_Jill_(nursery_rhyme))。

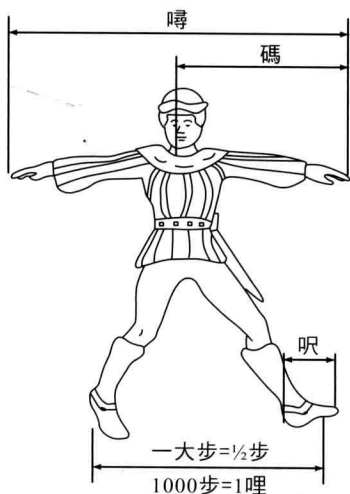


圖 1.6

古代英制長度單位示意圖。

例 1：計算 24 碼為多少英吋。

解：1 碼等於 3 英呎，1 英呎等於 12 英吋，再進一步使用底下的換算步驟，將碼轉換成英吋。

$$24 \text{ yd} = 24 \text{ yd} \times \left[\frac{3 \text{ ft}}{1 \text{ yd}} \right] \times \left[\frac{12 \text{ in}}{1 \text{ ft}} \right]$$

或

$$24 \text{ yd} = 864 \text{ in}$$

最後消去單位，留下英吋作為單位。科學家通常使用這種相消法進行單位換算。

拿破崙 (Napoleon) 征服歐洲所遺留下的事物之一是新制單位，那不是基於傳統和奇想，而是基於冷靜與精確的法國邏輯和十進位制。縱然如此，法制系統也是完全基於人的尺寸，以及生命的基本要素——水的性質上。例如，長度的主要單位是公尺或米 (meter, 簡寫 m)，它約略為 1 碼，它不是切分腳和拇指，而是將公尺分成十等分，稱作公寸或分米 (decimeter, 簡寫 dm)，將公尺百等分，稱作公分或厘米 (centimeter, 簡寫 cm)，將公尺千等分，稱作公厘或毫米 (millimeter, 簡寫 mm) 等。質量的單位是公克 (gram, 簡寫 g)，是 1 立方公分 (cm³) 水的質量。體積的單位升 (liter, 簡寫 L)，是 1000 cm³，所以 1 升的水具有 1 kg 的質量……。上述這些物理量被定義下來以後，從此就不再隨其他國家而改變。目前已由國際協議而確定下來，除了美國之外，其他國家幾乎都使用該制定。這種體制被正式稱為**國際單位制** (Système international d'unités) 或簡稱為 SI 制。美國公民若要學習自然科學或工程學或要在歐洲及加拿大購物，就必須學習單位的轉換；即從死去國王的腳為基準的單位，轉換成 SI 制的長度標準單位——鉑銥合金棒上的兩個刻痕間距 (即一公尺)。³

3 譯註：該鉑銥合金棒現在被保存在法國塞夫勒 (Sèvres, France) 的地下冷凍儲藏室中。