

通 · 識 · 教 · 育 · 叢 · 書

物理縱橫

鄭啟明
王永雄
合著



物理縱橫

鄭啟明、王永雄 合著



中文大學出版社

鳴謝：NASA (封面及書脊，即圖3-15及11-13)；Jeff Hester and Paul Scowen (Arizona State University), and NASA (封面，即圖12-4)

《物理縱橫》

鄭啟明、王永雄 合著

通識教育叢書

叢書主編：張燦輝、梁美儀

© 香港中文大學 2005

本書版權為香港中文大學所有。除獲香港中文大學書面允許外，不得在任何地區，以任何方式，任何文字翻印、仿製或轉載本書文字或圖表。

國際統一書號 (ISBN)：962-996-016-8

出版：中文大學出版社

香港 新界 沙田・香港中文大學

圖文傳真：+852 2603 6692

+852 2603 7355

電子郵件：cup@cuhk.edu.hk

網址：www.chineseupress.com

Introduction to Physics (in Chinese)

By Cheng Kai-ming and Wong Wing-hung

General Education Series

Series Editor: Cheung Chan-fai and Leung Mei-yee

© The Chinese University of Hong Kong 2005

All Rights Reserved.

ISBN: 962-996-016-8

Published by The Chinese University Press,

The Chinese University of Hong Kong,

Sha Tin, N.T., Hong Kong.

Fax: +852 2603 6692

+852 2603 7355

E-mail: cup@cuhk.edu.hk

Web-site: www.chineseupress.com

Printed in Hong Kong

香港中文大學大學通識教育部

《通識教育叢書》

顧問

李沛良教授 (香港中文大學)

洪長泰教授 (香港科技大學)

張洪年教授 (香港中文大學)

勞思光院士 (台灣中央研究院)

楊綱凱教授 (香港中文大學)

編輯委員會

呂大樂教授 (社會學系)

周克勳教授 (化學系)

梁美儀博士 (大學通識教育部)

張燦輝教授 (大學通識教育部)

陸國榮博士 (中文大學出版社)

《通識教育叢書》總序

今日人類文明，已進入全球化的「知識社會」、「知識經濟」階段，知識成為推動社會發展最主要的動力。耶魯大學學者肯尼迪 (Paul Kennedy) 曾指出，為面對二十一世紀全球社會的來臨作好準備，我們必須注重三大因素，第一個因素就是教育。¹ 當代大學兼具教育、研究和服務社會的多元功能，在知識的保存、傳授、發展、創造和應用等方面，都起着決定性作用。在追求國際競爭力的全球化過程中，大學作為知識傳播、產生的重地，和高質素勞動力的泉源，應該、也必然扮演更重要的前沿角色。然而大學是否只滿足於作為「知識工業」，製造社會經濟發展所需的優質「人力資源」？這問題所涉及的，就是大學應培養怎樣的人才，和大學本身的理念。

上世紀的美國大學，因應學術愈來愈專門化，教育設計愈來愈依從「具理性邏輯的趨勢，率先推出通識教育，目的是彌補專業教育之不足，培養「全人」或「通人」。在理念上，通識教育的價值和重要性一次又一次地備受肯定，在二十一世紀的今日，它不但並未過時，而且受到愈來愈多不同地區的大學重視。社會上許多職業團體，也深覺社會發展日趨複雜，知識日新月異，當前專業教育的發展有越趨深化之勢，從而，學科之間的通攝，行業內工作的運籌，在在需要跨學科領

1. 其他兩個因素是婦女地位和政治領導。Paul Kennedy, *Preparing for the Twenty-first Century* (New York: Random House, 1993), p. 339.

域的識見。因此，擴展學生的視野，培養學生對課程以外的問題探索的興趣和能力，實為大學教育之要務。肯尼迪就曾進一步指出二十一世紀教育的意義「不只是在技術上『重新打造』勞動力，或造就專業階層……它意味着〔使人〕深入瞭解為甚麼我們的世界在轉變，其他的民族、文化怎樣感受這些轉變，我們彼此之間有何共通之處，以及是甚麼構成了文化、階級、國族的分歧。」² 這些課題，也正是通識教育希望學生關心、瞭解的課題。不過，必須指出的是，雖然在理念上通識教育不斷被肯定，在實際推行的時候，它卻往往被淡化甚至遭到忽視。有些在亞洲地區致力推動通識教育的大學，便曾有「沒有學生肯花精神去聽」、「沒有教授願意去教」和「沒有人願意去管」的「三沒有」之嘆。

香港中文大學自創校以來，便堅持大學所培育的人才，除了具有精專的知識，配合社會發展的需要外，亦應擁有現代「知識人」的素質：包括對自己民族學術文化有一定的瞭解，對人類知識文化有基本的認識，有獨立思考和判斷的能力，以及對真、善、美等價值有所追求和執着。因此，通識教育自始即為中文大學學制中不可或缺的有機組成部分。當然，隨着香港社會的轉變和大學發展的需要，香港中文大學的通識教育也不斷演變。當初純由書院負責的通識教育，在1986年發展為大學與書院通識並行；其後雖因學制由四年轉為三年，通識學分的要求，或有所減少，但提供通識科目的老師與學系卻不斷增加。時至今日，通識教育可說是唯一由全校師生共同參與的課程。

要確保通識教育科目的素質，確立通識課程的受尊重性 (respectability) 十分重要：我們必須清楚傳遞「通識並非膚淺、普通常識的代名詞」這訊息。香港中文大學通識課程的教授來自人文學科、工商管理學、社會科學、教育學、工程學、醫學與自然科學等不同領域，他們開設的通識科目都有專業的深度和修養。可是，要將專門學科的研究成果，作出準確而有洞察力的綜合，深入淺出地介紹給沒有

2. 同上註，p. 341.

背景知識的同學，引發他們作進一步的探索與反思，實非易事。怎樣創設與教授優質的通識科目，對老師是很大的挑戰。所可欣幸者，香港中文大學有一群對通識教育具真切的興趣，並認同通識的信念、勇於承擔的老師，在繁重的本科教研工作之外，熱心發展通識教材，不斷提高通識科目的教學質素。

現在大學通識教育部將這些老師的心血結晶編輯成《通識教育叢書》，由中文大學出版社陸續出版，初步涵蓋天文、物理、哲學、教育、文化、藝術、統計、大眾傳播等不同領域。這嘗試一方面可補通識科目教材缺乏的不足，同時也使老師的教學心得，廣為傳播，加強學科專業之間，專家學者與知識大眾間的溝通，並可收同儕觀摩的效果。在此謹祝願叢書的出版，能推動本校的通識教育，百尺竿頭，更上一層。

金耀基

(前香港中文大學校長)



序言

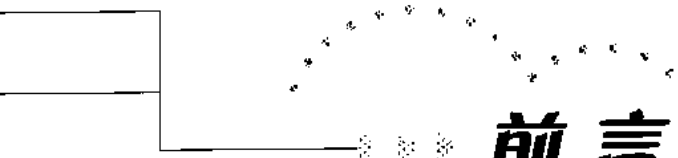
今年是世界物理年，在這特別的年份，鄭啟明和王永雄兩位博士獻給大家這本《物理縱橫》，可喜可賀。一百年前，愛因斯坦發表了五篇劃時代的文章，改變了人類對自然界的觀念，奠定了近代物理及隨之而來的技術革命的基礎。今天，電與磁、聲與光和人們之日常生活息息相關。受惠於相對論的航天技術使人類探索宇宙願望得以成真。量子效應為人類的進步開拓了新的空間。如何使廣大讀者領略科學的真與美，是對物理工作者的挑戰。

鄭啟明和王永雄兩位博士勇敢地接受了這一挑戰，聚集他們多年的教書心得，以生動活潑的語言，帶領讀者在絢麗多彩的物理世界裏周遊，領略大千世界的奧秘。兩位作者循循善誘，由淺入深，以淺顯的道理和有趣的例子，把許多學生視為困難的問題講明講透。閱讀此書，學生們一定會獲益匪淺。

本書作者鄭啟明博士和王永雄博士為香港中文大學物理系優秀教師，獻身教育多年，工作認真負責，深受學生們的歡迎，和他們共事，是我的榮幸。謹以此序，向大家推薦《物理縱橫》。

林海青

(香港中文大學物理系系主任)



前言

香港中文大學物理系多年來一直大力推動通識教育，並開設了數門通識科目，包括「物理科學概論」、「自然的秩序」、「氣象學概論」及「天文學」等，其中以「物理科學概論」一科歷史最為悠久。該科最初是由幾位物理系的前輩任教，到我們接手之時，由於修讀的學生來自不同的學系，所以課程內過於數學化的內容均被刪去，另加入好些日常生活的元素，目的是讓學生通過文字和圖畫來透視繁複數學演算背後的物理世界，並欣賞其中優美精妙的地方。這重新編排的課程就成了本書的藍本，而課程背後的精神也成為本書的寫作目的。

本書初稿早於四載前完成，但由於社會變遷急劇，科技日新月異，某些內容已經顯得落伍，所以書稿不得不作多番修訂，以配合社會的發展趨勢。期間，幸得中文大學出版社同寅及《通識教育叢書》兩位主編的體諒及鼓勵，筆者才能夠於繁重的教務之中勉強完稿。

本書雖名為《物理縱橫》，但讀者們千萬不要誤以為閱畢本書，即能縱橫馳騁於物理世界之中。在這裏，縱橫的意義有三：首先，縱橫者，乃二維平面最基本之兩向度。然而，物理學又豈能拘束於二維世界之中呢？愛因斯坦須用四維時空才能勾劃出相對論的世界，現今理論物理中最前沿的弦理論 (String Theory) 就更非用上十維不可！本書以縱橫為名，一方面說明兩位筆者的功力有限，對物理學只有平面的認識，未能帶領讀者一窺當今物理學的全豹。其次，講解物理其實可以透過不同媒介，除課堂外，還有影片、書本等。《物理縱橫》既然為一本書，而書乃平面紙張之集成，因此縱橫二字正好凸顯出所採用的

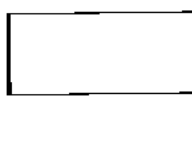
媒介。最後，縱橫也表明本書內容主要以兩部分為其經緯。首部分縱切物理學，介紹傳統物理學之各部門，內容包括科學哲學、古典力學、波動及聲音、電磁學及光學、狹義與廣義相對論、量子物理學。第二部分則以幾個物理專題橫切物理學，內容涉及物理學中的對稱、大氣中的水分與光學現象、熱帶氣旋與地震、天文物理。

本書得以出版實有賴多方面的協助。我們首先要感謝的是中文大學出版社編輯謝偉強先生，他的建議和校訂，使書中很多不善之處得以改正。同時，我們也要感謝中文大學物理系系主任林海青教授，能夠在百忙之中抽空為本書作序，是我們莫大的榮幸；而他在序中對我們的抬舉，我們實在愧不敢當。最後，我們必須感謝曾修讀過「物理科學概論」的同學，他們的建議驅使我們多年來不斷改進，令課程的設計精益求精。由於筆者才力有限，書中疏忽錯漏之處當如恆河沙數，惟望讀者多多見諒包涵，不吝指正。

特別鳴謝

啟明要感謝母親鄭玉蓮女士，感謝她含辛茹苦把我養育成人，教導我要做個有用的人。啟明也要感謝太太鄧珮嫻女士，感謝她願意與我攜手步上人生新的里程，使生命更臻完美。啟明更要感謝與我一起成長的家人、認識的朋友、遇過的學生和一起共事的同事，尤其是彭金滿博士和本書另一位作者王永雄博士，沒有他們的努力幫忙，《物理縱橫》的出版恐怕仍是遙遙無期！

永雄要感謝上帝讓我在物理的學習中窺見上帝創造的奇工。我也要感謝家人：父親王日雲先生、母親林玉華女士、妹妹王美儀小姐。我深深感激父母的養育之恩。由於父母的辛勞，我們一家人可以由九龍城的木屋區輾轉搬到今天這個四百平方呎的安樂窩。父母的愛讓我度過了快樂的童年，也滋潤了我的生命。我更要感謝未婚妻黃嘉莉小姐，是她教曉了我使用繪圖軟件；她無微不至的關懷是我熬過每段艱苦歲月的動力。



目 錄

《通識教育叢書》總序 (金耀基)	xi
序 言 (林海青)	xv
前 言	xvii

甲部 物理學概覽

第1章 科學哲學與方法	1
1.1 緒論 1	
1.2 何謂科學？ 1	
1.3 測量 2	
1.4 令人既敬且畏的數學 3	
1.5 科學方法 5	
1.6 波普爾的證偽論 7	
1.7 從對比中認識科學 11	
1.8 科學革命——庫因的觀點 13	
1.9 小結 17	
第2章 物理科學的革命——從古希臘到近代	21
2.1 古希臘的科學 21	
2.2 科學上的革命 21	
2.3 運動理論上的革命 22	

2.4 天文學上的革命 26

第3章 電與磁——從閃電到極光..... 33

3.1 甚麼是電？ 33

3.2 庫倫定律 34

3.3 導體、絕緣體及半導體 35

3.4 如何使物體帶電 36

3.5 電場 38

3.6 高斯定律 39

3.7 電屏蔽 40

3.8 電勢 41

3.9 磁性 41

3.10 磁石 41

3.11 磁場 42

3.12 電流與磁場 43

3.13 移動的帶電物體所感受到的磁作用力 45

3.14 電磁感應 51

3.15 麥克斯韋方程 52

第4章 聲與光——由音樂到色彩..... 55

4.1 聲音是甚麼？ 55

4.2 波動現象 55

4.3 聲音 63

4.4 光 70

第5章 狹義相對論 93

5.1 光的性質 93

5.2 以太的再生 94

5.3 愛因斯坦的革命 96

5.4 幾個思想實驗 97

5.5 相對論的各種觀念 107



5.6 相對論與電磁學 112

5.7 雙生子佯謬 114

第6章 廣義相對論..... 117

6.1 牛頓萬有引力定律所面對的困難 117

6.2 等效原理 117

6.3 引力使光線彎曲 119

6.4 彎曲的時空 120

6.5 引力與時間 121

6.6 引力和空間 122

6.7 引力紅移 123

6.8 引力波 123

6.9 黑洞 124

6.10 有關黑洞的幾個觀念 126

6.11 霍金輻射 128

6.12 廣義相對論的實驗驗證 130

6.13 廣義相對論的應用——GPS 132

第7章 量子物理學..... 137

7.1 量子物理學簡史 137

7.2 量子化 139

7.3 經典物理的危機一：光電效應 139

7.4 經典物理的危機二：原子的經典模型 142

7.5 波粒兩象性 144

7.6 測不準原理 147

7.7 薛定諤方程 148

7.8 哥本哈根學派對量子物理學的詮釋 150

7.9 隧道效應及元素的放射性 153

乙部 物理學專題討論

第8章 物理學中的對稱——大自然之美.....	161
8.1 對稱跟我們有甚麼關係？	161
8.2 物理中的對稱	163
8.3 對稱與守恒定律	167
8.4 自然界不遵守的對稱法則	170
8.5 對稱的破壞	171
第9章 大氣中的水分.....	173
9.1 引言	173
9.2 濕度與飽和蒸氣壓	173
9.3 大氣的穩定性	178
9.4 地形上提及雨影區沙漠	184
第10章 熱帶氣旋與地震.....	187
10.1 引言	187
10.2 地球簡介	187
10.3 熱帶氣旋之形成	191
10.4 熱帶氣旋的結構	195
10.5 熱帶氣旋的瓦解與數值研究	198
10.6 追蹤熱帶氣旋	198
10.7 特別專題——厄爾尼諾及拉尼娜	200
10.8 地球內部與引力的量度	203
10.9 地球內部與磁場的量度	204
10.10 地球地震學	204
第11章 日月星辰之一——太陽與太陽系.....	209
11.1 太陽	209
11.2 太陽系概觀	218
11.3 太陽系演化理論——原始星雲假說	238

.....

第12章 日月星辰之二——從星塵到超新星..... 241

12.1 恆星之誕生 241

12.2 恆星的演化 249

12.3 恆星之死 255

附錄 大師小傳——物理學家生平簡史 265

漢英詞彙對照及索引 275

英漢詞彙對照及索引 283

參考書目 291

編者跋 293



科學哲學 與方法

「實驗的數目不論有多少，都無法證明我是對的；

但只需一個實驗，便可以證明我是錯的。」

——愛因斯坦 (Albert Einstein)



1.1 緒論

本章是我們進入科學的第一步。我們會介紹何謂科學方法。讀者將會發現一件有趣的事情：原來當一個人（當然包括嬰孩）要了解身邊的事物時，都會很自然地用上了科學方法。所以可以說每個人都是一位科學家。我們亦會介紹卡爾·波普爾 (Karl Popper) 如何界定科學理論。波普爾認為任何好的科學理論都是一種禁令，告訴我們甚麼事情是不會發生的。此外，我們會簡述湯馬士·庫因 (Thomas Kuhn) 對科學史的看法。他認為，科學史與其說是知識的累積，倒不如說是一連串科學知識的革命。最後，在本章結束之前，我們會嘗試比較科學、藝術與宗教三者的內涵，以了解科學與其他領域之間的差異，從而加深我們對科學的認識。



1.2 何謂科學？

何謂科學？這個問題跟「何謂藝術？」、「何謂美？」一樣的難！根



據《牛津現代高級英漢雙解詞典》，「科學」一詞有以下含義：¹

knowledge arranged in an orderly manner, especially knowledge obtained by observation and testing of facts²

若要用兩個詞語來總結詞典的解釋，這兩個詞語就非「觀察」和「有條理的」莫屬了。即使詞典對「科學」所下的定義和讀者的意見可能並不完全相同，但我們相信，這兩個詞語已足夠反映科學在一般人心目中的印象。在進入下一小節之前，讓我們先指出：

1. 所謂「觀察」，並非單指「觀看」，而是包括「測量」。測量當然要牽涉數字，因此，數學對科學研究來說是十分重要的。
2. 科學既然是「有條理的」，科學研究就不能做得馬虎。科學家有嚴謹的規則去決定是否把一個命題接納為一個理論。



1.3 測量

科學家一般都同意，一項研究工作之優劣，跟「測量」做得好不好是有關的，因為我們對一件事物能夠了解多少，總跟如何測量它有關。以下兩個例子說明了測量對科學家來說是如何重要。

1. 炎炎夏日，你忍不住要大喊：「今天實在是熱得要命啊！」試猜猜一個科學家會怎麼說？他可能會說：「溫度是三十五度！」
2. 你身處購物商場內，看見無數顧客湧進來，就不禁要說：「啊！這商場內的人多得很哩！」一位科學家卻可能會這樣說：「這商場內有一萬人！」

¹ 《牛津現代高級英漢雙解詞典》，第三版。香港：啟思，1991。
² 作者試譯：有條理的知識，尤指從觀察與檢驗事實所獲得的知識。