

大學物理學

$$F=ma$$

第一冊

編著者 李 怡 嚴

東華書局印行

大學物理學

第一冊

編者

李怡嚴



參與執筆者

石育民	李俊弘	郭義雄
呂錦文	李義發	陳振益
李正雄	沈樸	楊鼎彬

東華書局印行



版權所有・翻印必究

中華民國五十六年十月初版

中華民國六十七年十二月七版

大學
用書 **大學物理學** (全四冊)

第一冊 定價 新台幣七十元整
(外埠酌加運費匯費)

編著者 李 怡 嚴
發行人 卓 鑫 森
出版者 臺灣東華書局股份有限公司
臺北市博愛路一〇五號
電話：3819470 郵撥：6481
印刷者 中 臺 印 刷 廠
臺中市公園路三十七號

行政院新聞局登記證 局版臺業字第零柒貳伍號
(56033)

自序

很多年來，我國大學的普通物理學，都是用英文書籍作為教本的。這些教科書也曾屢經變動，如十餘年以前的 Duff，稍後的 Sears & Zememsky，和近來的 Halliday & Resnick 等等。這些教科書本來在美國就非常通行，因此，也就順理成章地被移到中國來。

最近，由於物理學以及其他科學的急速進展，許多人都感覺到對於這些科學的基礎教育，有作革命性改進的必要，就物理學來說，改革的重點，主要的是注重各種基本概念的灌輸，使學生們能盡量接受現代的新概念而不致於發生誤解，且不致於浪費時間於無用的題材上；使他們有充分的基礎，以後可以對較高深的物理學或其他相關的自然科學作進一步的了解與研究。至於以前在物理教科書內佔有相當多篇幅的題材：如透鏡組合、靜電、浮體、各種槓桿等等，本來是歷史上的殘留，如果要仔細去追究，也未嘗不會有趣味，並且也未嘗不費時間，然而，這些東西對於物理學基本概念的了解，並沒有多大的幫助。因此，近年來的新教科書，都已經將這些題材相對地減少，以避免時間的浪費，並且還避免由這些題材所可能造成的錯誤概念。

就美國來說，在十一二年前，即已開始改革中學的物理學教材。其後，為了接續中學物理學課程的改革，並且提高大學的物理學程度，曾有 Commission for College Physics (簡稱 C. C. P.) 的設立，以研究大學內各種物理學課程的內容與教法，並且還有許多嘗試性質的普通物理學教科書出現，主要的有 C. I. T. 的 Feynman, Leighton, & Sands 所著的 Lectures on Physics; Kittel, Purcell 等人所編的 Berkeley Physics Course (五本); 以及 M. I. T. 的 French 等人所著的 Physics—A New Introductory Course 等等。這些教科書經過數年的試驗，大致相當成功；當然也有不滿人意的地方。一般來說，後出來的書總比前出的要有改進。(如最近出版的 Alonso & Finn:

2 大學物理學

Fundamental University Physics 就相當理想。)這些教科書的內容選擇，表現着一個公共的想法，就是先化一年半至兩年的時間去打基礎，然後，就直接分門講授物理學的各部門，而省卻了許多“中間課程”。在這種風氣的影響之下，近來用傳統方式編寫的教科書，也吸收進去不少的現代材料。(如 Halliday and Resnick 的 Physics for Students of Science and Engineering 的最新增訂版。)

我國在二年前已經採用了高中物理學的新教材，當然，大學的物理學程度，也應該相對應地提高才是。不過，我國大學物理學主要課程的名稱，都是被教育部限制住的。普通物理學為一學年。後面再接以中間程度的分門課程，如理論力學，電磁學，熱學，光學，近代物理學等。當然，我們可以加多普通物理學所需要的學分數，以便接受上述的教材；然而，對中間課程的學分數，我們並無權去作對應的減少。因此，這樣做只有增加學生的負擔。經過考慮以後，我們試圖採取折衷的辦法，在普通物理學的一年課程內，參照上述的教科書，完全採取它們的精神，而對其材料，則只採取一部分最重要的，使可被包容於一年之內，另一方面，也對應地提高中間課程的程度。這樣的安排，曾經在清華大學嘗試過兩年，初步的結果是，同學們的物理學程度的確是被提高了，可是他們都讀得非常辛苦，關鍵在兩方面。一方面是，由於我們找不到一本教科書適合上述的安排，因此教師們也不能跟着一本教科書來教，而必須從數本書中抽取材料，結果是同學們需要同時看幾本書，雖然在教材方面對各書有所取捨，可是，由於每本書都有它本身的完整性，因此，同學們還是得看幾本書的全部，因此，也就多化幾倍精力。另一方面，同學們初由中學升入大學，不太習慣閱讀英文書籍。他們往往花費了很多時間在查生字等解釋詞句方面。爲了要解決這兩個問題，我和幾位同事都感覺到有用中文來編寫一本合用的普通物理學教科書的必要。

適應大學一年級生的需要，只是我們編寫這本書的動機之一。另外一方面，中學自從改了新教材以後，中學的物理學教員們也需要有一本完善的參考書，比較詳細地敘述物理學的各種基本概念，以便他們在講授中學課程的時候，能講得更深入，我們也把這個使命作爲編寫這本大

學物理學的動機之一。

另一方面，有這樣一本書無疑地也可以供給以前讀過物理學的人一個溫習的材料。我們儘量使這本書所包含的物理學原理齊全，以便一部分讀者在爲了準備考試或者其他原因而需要溫習物理學時，可以用這本書作一個指引。

另外，當然還有一個並非次要的動機。我們總覺得，如果要使科學在中國生根的話，至少基本的教科書應該是用中文寫的。現在當然還不可能完全做到這一個地步，可是總得有一個開始，我們願借這一本作爲一個提倡。

由此可知，這本書的編寫，是含有多重目標的。大致來說，它必須可以被各種程度的大學一年級（不一定是物理學系）的物理學課程採作課本；它也必需有足够的獨立性與明瞭度，使自習與溫習的讀者們也能得益。雖然，在清華大學已用差不多的題材試教過二年，我們對於這本書的題材的取捨與編排，仍會傷過相當的腦筋。就敘述的方式來說，本來照物理學最自然的次序，應該先講基本粒子，以及其交互作用，由此導出各種場（尤其是電磁場與重力場），然後再講到粒子間的力學——量子力學以及其古典的極限。然後到原子核以及原子的構造與性質，然後再講物質集體的現象，熱學與統計物理，物質的各種態的性質，以及振盪與波動等等。這樣的敘述法，雖然顧及了物理學的一貫性，可是，不但其著重之點與物理學對其他科學的應用大異其趣，而且如果要維持這種貫串性的完整，我們必須加進許多複雜的計算和推演。並且實際上，我們對這種連串的结构雖然已知道一個大致的輪廓，可是還有許多不清楚的地方。例如，關於基本粒子之間的表現以及其交互作用的研究目前就可以說還在起步的階段。因此，既然貫串性不能被維持，則這種敘述方式，也就失去其優越性。另外有一種比較理想的方式，是美國 CCP 所推薦的，共分五個部分 1. 力學，2. 場與交互作用（主要的是電磁場與重力場），3. 波動，4. 量子物理與次原子物理（Subatomic Physics），5. 熱與統計物理。其內容的取捨着重在每一部分的基本原理，並且在可能範圍之內，求各部分的連貫。（這種敘述法，“Berkeley Physics

Course”與“Fundamental University Physics”均已採用。)這種方式雖然相當理想,可是卻只適宜於一個三學期或四學期的課程;如果勉強改進兩學期的話,或是在講電磁學的時候,難免會中斷,或是必需把力學與電磁學二個重要的部分都放在上學期,令人有頭重腳輕之感,因此,我們在這本書中所採取的敘述方式,在次序方面較所推薦的方式更近傳統一點,那就是,在講完了力學以後,就接之以熱與統計物理,以及聲波,這樣可以充當上學期的課程;至於電磁,電磁輻射,與次原子物理,則改到下學期去,(如果沒有時間的話,次原子物理可以被略去一部或全部。)這樣的次序雖然是不太自然,可是也不會發生多大的困難。在統計物理中,我們可以暫時不管電磁場的理論,而只用半現象性的公式去表現分子間的作用力,因而說明各種觀念。唯有量子現象對統計物理的影響,須要在後面補充。至於特殊相對論,我們將它分開來放在力學與電磁學內;特殊相對論本來就應該屬於那些部門的。

在這本書內,我們盡量注重各種物理的基本觀念,並用它們去闡述基本的物理理論,其推論,以及其應用範圍。讀者們如果能夠把握這些,則以後不論應用到那一方面,都可收得心應手之效。另一方面,雖然在敘述中不得不將物理分成幾部門,在整本書內,我們還是一再強調各部門的牽連性,以使讀者們可以對物理學得到一個整體的觀念。

爲了適應各種用處,有些章或節在第一次讀的時候,可以跳過去,而不會影響連續性,在章內可以略去的節,我們會在節名上用星號去表示出來。有些章全章都可以被略去,請看下面的敘述。

這本書共有三十六章,其大致的內容如下:

首先,是一篇緒言,將物理學的基本內涵作一簡單性的敘述,並且還兼述物理學的方法。

從第一章到第八章,是一般所謂“力學”的範圍。

第一章是運動學,在這一章內我們定義並敘述空間,時間,速度,與加速度等種種觀念。

第二章主要是敘述過牛頓的運動定律,並且連帶也引入質量,力,與動量等觀念。伽利略不變性相當地被強調。

第三章主要解釋能量的觀念，尤其是引入“位能”與能量守恒。

第四章着重在敘述質點組的運動，並且有系統地建立線動量與角動量等種種的觀念，以及其守恒性。

第五章談及剛體的運動，繼續討論角動量，並引入了慣性矩的觀念。

第六章談及簡諧振動，以及與簡諧振動有關的週期性運動。

第七章主要是討論重力場，以及軌道運動 (Orbital motion)。

第八章講特殊相對論的基本概念，與原理，以及相對論力學。

上面八章大多是力學的基本原理，也有一些簡單的應用。第九章至第十一章，以及第十二，十三兩章的一部分，是屬於一般所謂熱學的範圍。第九章敘述熱動學，簡介熱動學的三個定律，並且建立熱動參數之間的關係。本來，各種熱動參數有其統計上的意義，可是十九世紀的熱動學本身也是一套相當完美的推理過程，值得讀者們去學一次。

第十章講氣體的分子運動論，並重新從統計的觀點去看各種常觀的熱動參數，第十一章是第十章所述觀念的一些簡單的應用。

第十二章、第十三章，是由力學與熱學的觀點去探討流體與固體的性質。在有些節內，我們把流體與固體看成分子的集合；有些地方，我們將它們看成爲一種可變形的連續體。

第十四章介紹波動以及與波動有關的許多重要概念。然後，在第十五章內，我們討論聲波以及其性質。

從第十六章起，到第二十五章爲止，是屬於電磁學的範圍。

第十六章引介電荷與電場的觀念，及其性質。

第十七章是接續着第十六章，利用電場的性質去定義電位，且利用電位去簡化對電場的計算。附帶地，我們也談及靜電場的能量。

第十八章介紹電極化的觀念，並且討論在介電質內的電場的表現。

第十九章敘述電流以及由電流所引起的磁場，以及其性質。

第二十章緊接着上一章所講的磁場性質，去定義向量位，並簡介關於向量位的計算。

第二十一章開始連接電場與磁場這兩個觀念，這一章主要的內容

6 大學物理學

是電磁感應。

第二十二章約略地描述磁場在各種物質內的表現。

第二十三章大約地介紹一下基本的電路，敘述電路的成份以及其原理，兼及電磁震盪。

第二十四章綜合前面所述的電場與磁場的性質，以及其互相之間的關係，再加進（這是馬克士威爾的功勞）位移電流的新觀念，而綜合成四個馬克士威爾方程式。（二個純量方程式，二個向量方程式。）這一章的後半部分敘述電磁場的相對性（符合特殊相對論），以及電磁場的共變表示方式。

第二十五章利用前面所述電磁場的性質，去導出電磁波的表現與性質。

從第二十六章起到第二十九章，一般是屬於光學的範圍，然而實際上我們所講的是廣義的光學，也就是電磁波的各種性質。

第二十六章講電磁波的干涉現象，這是波動的特性之一。

第二十七章講光波的折射與繞射，第二十八章講光波的極化，這三章內大致已包含了電磁波的重要性質與原理。

第二十九章是講電磁波在波長短（當然是比對其所接觸的物體而言）時的一個極限，在這種情形下，其波動性質不顯著，這就成了一般的所謂“幾何光學”。在這一章內我們並引進了富爾瑪原理。

從第三十章起到第三十五章為止，是對量子物理以及以原子物理的一個簡單介紹。

第三十章敘述量子論的起源，以及各種簡單而重要的量子現象。

第三十一章主要是講原子結構的模型（波爾模型），以及原子光譜。

第三十二章簡介量子力學的基本原理，物質波的性質，以及不確定原理。

第三十三章敘述X光，散射過程，以及放射性（自然的與人工的），兼及同位素（這一章比較混雜一些）。

第三十四章簡介原子核的性質，以及有關其構造的理論與模型，以及簡單的原子核反應。

第三十五章簡介各種基本粒子，注重於其性質，以及其分類；並簡介強交互作用與弱交互作用。

除了這個第三十五章之外，在前面還有四個數學的附錄，使讀者們能有足夠的數學工具去了解各項推演。

附錄甲敘述向量的各種代數運算方法。

附錄乙歸納微積分的運算技術，雖然大一有微積分的課程，可是在這本書的一開始就要用到，不能不先把這種運算的技術學會。

附錄丙敘述向量微積分的運算，以及重要的積分定理。這一個附錄對物理的很多部分都是非常重要的。

附錄丁簡述一些簡單微分方程的解法。這在一些簡單的應用方面(尤其是振盪與波動)，是非常需要的。

這四個數學的附錄，所講的只是數學的技術，而沒有顧及其數學本身的謹嚴性。由於有了這四個附錄，讀者們只要有高中的數學與物理學的程度(新教材)就可以開始讀這本書了。

對於自修或複習的讀者，我希望他們能多化一點時間，將這本書從頭看到尾，不要放過例題，並且盡量地做習題，以期收到最大的效益。如果時間不夠的話，則在第一次看的時候，可以專顧 0~7, 9, 16~23, 26~27, 29 各章。(除去有些可以略過的節)

這本書也可以被採用作各種程度的教科書，我們推薦下面數種安排方式。

對於不是物理學系的學生，或是理解力稍差的學生，我們建議一個三學分一年的課程，其章數之安排如下：

上 學 期		下 學 期	
章	時數	章	時數
數學教材(附錄甲、乙、丙)	9	16~23	35
0~7	36	26~27	10
9	5	29	4
<hr/>		<hr/>	
共	50	共	49

8 大學物理學

對於物理學系理解力較強的學生，我們建議一個四學分一年的課程，其安排之方式如下：

上學期		下學期	
章	時數	章	時數
數學教材 (附錄甲~丁)10		14~15	8
0~8	34	16~25	39
9~13	19	26~29	15
<hr/>		<hr/>	
共	63	共	62

這個課程的安排要比前面一個教得快一些，至於第三十章至第三十五章，如果也要教到的話，或可擴充普通物理學為五個學分而把第十五章以前作為上學期的課程（這樣時間可以稍微寬暢一點）。或是採取一個三學期的計劃，每學期三學分，其安排如下：

第一學期		第二學期		第三學期	
章	時數	章	時數	章	時數
數學教材					
(附錄甲~丁) 10		10~13	15	23~25	12
0~8	34	14~15	8	26~29	15
9	4	16~22	27	30~35	23
<hr/>		<hr/>		<hr/>	
共	48	共	50	共	50

每章後面都附有習題，這些習題對於正文的了解很有幫助，希望不要忽視。我們建議在講課的時間之外，每星期復有兩小時的演習課程，由助教回答學生的疑問，並督促學生們解答習題，使學生們能真正地理解課程的內容。

在編寫這本書的時候，國立編譯館正在開始增訂與修訂物理學名詞的繙譯，許多新名詞都還沒有訂定標準的譯名。對譯名的選擇，我們盡可能採用原已習用的，其不妥當的，以己意改之。以前沒有譯名的，一部分採用自最近出版的“物理學名詞彙編”（陳明鑑校訂），一部分也以

己意爲之，總是求其適當。

我們參考了不少英文書。這些書籍的名稱，我們當作參考書目列於本書的最後。在那裡我們還介紹一些書籍，讀者們可以繼續這本書去閱讀。

這本書由於參與執筆的人相當多，並且由於需要，出版時間非常匆促，因此前後的慣例與符號，難免會有不符合的地方。有些地方，也許會描述得不清楚甚至有錯誤。希望讀者不吝指教，以期以後改進。

我要感謝許多位同事對這本書出版的關懷。我要感謝林杉勇先生貢獻了許多寶貴的意見，並幫助校對，最後，我要感謝東華書局願意出版這本書。

李 怡 嚴

五十六年九月三十日於國立清華大學

大學物理學

第一冊 目次

附錄 數學的工具

(甲) 向量代數.....	2~18
§ 甲-1 向量的定義	§ 甲-2 向量的運算
§ 甲-3 向量的分量	§ 甲-4 基向量的變換
§ 甲-5 極向量與軸向量	§ 甲-6 複變數和相量
(乙) 微積分術.....	19~39
§ 乙-1 導數	§ 乙-2 特殊函數的導數公式
§ 乙-3 微分與不定積分	§ 乙-4 偏微分與隱函數
§ 乙-5 定積分以及其應用	§ 乙-6 函數的無窮級數展開
(丙) 向量的微分和積分.....	40~69
§ 丙-1 導言	§ 丙-2 純量函數的梯度以及算符 ∇
§ 丙-3 散度和旋度	§ 丙-4 ∇ 算符在曲線坐標下的表現
§ 丙-5 向量函數的積分	§ 丙-6 向量積分的定理
§ 丙-7 向量積分定理的應用	
(丁) 簡易微分方程之解.....	70~94
§ 丁-1 定義和術語	
§ 丁-2 解常微分方程的一些特例	

2 大學物理學

- § 丁-3 起始條件
- § 丁-4 一次線型微分方程
- § 丁-5 二次常係數均勻線型微分方程
- § 丁-6 二次常係數非均勻線型微分方程
- § 丁-7 線型偏微分方程的簡介

緒 言 95~114

- § 0-1 古典物理
- § 0-2 物理學的內涵
- § 0-3 物理學與其他科學的關係
- § 0-4 物理學的分法

第一章 運動學 115~148

- § 1-1 空間與時間
- § 1-2 時間的量度與標準
- § 1-3 長度的量法與標準
- § 1-4 一維運動
- § 1-5 平面運動
- § 1-6 向心加速度與切線加速度
- § 1-7 相對速度與相對加速度

第二章 牛頓運動定律與伽利略不變原理 149~198

- § 2-1 牛頓運動定律
- § 2-2 參考坐標系
- § 2-3 伽利略變換與伽利略不變原理
- § 2-4 線動量守恒律
- § 2-5 力的種類
- § 2-6 牛頓力學的適用範圍
- § 2-7 轉動坐標系

第三章 能 量 199~237

- § 3-1 功
- § 3-2 功率
- § 3-3 動能
- § 3-4 保守力
- § 3-5 位能
- § 3-6 能量守恒
- § 3-7 保守力場內的直線運動

第四章 質點組之運動238~304

- | | |
|-----------------------|----------------|
| § 4-1 質量中心 | § 4-2 質量中心之運動 |
| § 4-3 線動量守恒律 | § 4-4 二質點的相對運動 |
| § 4-5 一質點的角動量 | § 4-6 質點組的角動量 |
| § 4-7 對任意原點的轉矩方
程式 | § 4-8 角動量守恒律 |
| § 4-9 質點組的動能與內能 | § 4-10 碰撞 |

第五章 剛體動力學305~352

- | | |
|------------------|----------------|
| § 5-1 導言 | § 5-2 無限小角度的轉動 |
| § 5-3 剛體的角動量 | § 5-4 慣性矩的求法 |
| § 5-5 轉動剛體的運動方程式 | § 5-6 剛體的轉動能 |
| § 5-7 進動 | § 5-8 剛體靜力學 |

第六章 諧 振353~404

- | | |
|------------------------|------------------------|
| § 6-1 導言 | § 6-2 簡諧運動 |
| § 6-3 簡諧運動質點的能量 | § 6-4 單擺 |
| § 6-5 複擺和扭擺 | § 6-6 兩簡諧運動的重疊
——同向 |
| § 6-7 兩簡諧運動的重疊
——正交 | § 6-8 耦合振盪系統 |
| § 6-9 阻滯振盪 | § 6-10 強迫振盪 |
| § 6-11 共振 | |

附錄 數學的工具

在下面數十頁內所講的，都是在這本書裡要用到的數學，讀者們如果對其中一部分已經熟悉的話，可以略過那一部分不看；否則的話，我們希望讀者對這個附錄多花一點工夫。（我們建議讀者，先看這個附錄，再去看正文。）因為確實地熟悉這些數學的工具，對於了解物理學，是有很大的幫助的。

在這個附錄內，我們的目標是介紹在基本的物理學內所用到的數學的技術。所以在有些地方，我們雖也給予證明，可是總不能如純數學書籍那樣地詳盡與謹嚴；在有些地方，我們甚至只能引述一些結果，而省略去其證明。這也是無可如何的事，因為如果要將這裡所述的數學工具都給予詳細而謹嚴的推演的話，則這個附錄本身就要成爲一本厚書。希望讀者先把握那些技術，以供物理學上的應用；至於那些謹嚴的結構與推演，則到以後讀純數學的時候再去探究。

(甲) 向量代數

§ 甲-1	向量的定義……	3
§ 甲-2	向量的運算……	3
§ 甲-3	向量的分量……	6
§ 甲-4	基向量的變換……	9
§ 甲-5	極向量與軸向量……	13
§ 甲-6	複變數和相量……	16