

科學圖書大庫

# 費因曼物理學

(第一部 上冊)

譯者 陳順強 校閱 黃振麟

徐氏基金會出版

## 我們的工作目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，尤為社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啓發，始能為蔚為大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員林碧鏗氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。為欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

W-28/17

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於為國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尚在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

**自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；**

**旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；**

**大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者**

主動地精選最新、最佳外文學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良發行系統，善任傳播科學種子之媒介。尚祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啟

中華民國六十四年九月

## 費因曼序

這些講演都是前年和去年我在開特屈 ( Caltech ) 對物理系大一和大二同學講的。當然，這些講演並非一字不變的照錄，它們已經被重新編校過了。這些講演只能說是整個完整課程的一部分。當時來聽講演的學生約有 180 名，每週上課兩次。然後他們再以 15 到 20 人分作一組，在助教的指導下上演習課。除此之外，他們每週還上一次實驗課。

我們的主要目標是希望一直維持這些到開特屈來的極優秀同學們的濃厚興趣。他們在來這裏以前已經聽到不少關於物理是如何的有趣和令人興奮，如相對論，量子力學及其他一些非常新穎的觀念。可是以往每逢我們兩年一貫的課程結束後，很多人會變得非常沮喪。因為他們覺得老師們對一些很宏偉，很新穎的新觀念講得太少了。他們以為只學習些有關斜面 ( inclined planes ) 和靜電學 ( electrostatics ) 等問題是很失望的。因此，使天賦很高的同學能夠永遠熱衷於學習是我們的一項重要目標。

這些課程不是概略性，而是完全正式的。它的對象是對物理有興趣的優秀同學。而且我也相信，即使是最優秀的同學也無法對所有講演全部融會貫通。因為除了主要課程外，我們還加了許多其他方面的應用問題。在我講解時，如果有新的意念湧出，要是能由同學們學過的觀念或式子導出時，我就試着把他們導出；要是目前沒法證明我就只把他們加進去解釋一下。在講演開始時，我假定同學們在高中時已經學過了一些基本知識——譬如說幾何光學 ( Geometrical optics ) 、簡單的化學觀念等等。我的講演並沒有一定的次序或範圍，事實上直到我要在課堂上開講時，我才把那次的內容作最後的定案。講演中穿

插的舉例是對某一問題誘導性的討論。我總是先介紹一些它的特殊性質，再作完整的推導或講解。

目前存在的一大困擾是這部教材仍在試驗階段，沒有反應來表示它到底好不好，我私下感覺至少第一年的課程很適合。但是第二年的課程就很難講了。第二年開始時我首先講解電磁學。這部門我想除了用老方式外，實在想不出有什麼別的更理想的方法。在第二年快結束時，我本想講一些有關物質的性質的東西。但結果只概述了一些如基態方式 ( fundamental modes )，擴散方程式的解 ( solutions of the diffusion equation )、振動系統 ( vibrating systems )、正交函數 ( orthogonal functions )……。也就是只講了一些通常叫作「物理的數學方法」( the mathematical methods of physics ) 的東西。因此在第三冊的量子力學中我就補介紹了一些原先想講的內容。

一般的看法量子力學儘可在三年級時講授。但很多來聽講的學生只是想獲得一些物理知識以備在其他方面應用。而通常講述量子力學的方式使大多數這些同學無法接受，因為那種講法需要太多的時間。而結果是這些電機或化工方面的同學學了一大堆微分方程的運用，而在實際工作上極少用到。所以我想採用一種新方式使得即使沒學過偏微分方程 ( partial differential equations ) 的同學也能了解。而這對一個念物理的人而言我覺也是一種很新穎的方式—跟以前相反的方式—這點你們可由課程中體會。到最後時間不足了，我只能把能量帶 ( energy bands )、振幅的空間依賴性 ( spatial dependence of amplitudes ) 大致提一下。

對於為什麼沒有關於如何解題的講演我回答是：那些只是記憶的工作。雖然我在第一年有過三次講演講如何解題，本書也未把他們編入。

至於到底這些講演是否成功？我自己的看法是不樂觀的。雖然有些很多跟學生一起研討的先生們似乎不完全同意。其中大概只有十或二十個學生才能幾乎完全了解。這些學生的思考方式和態度必是一流的，Gibbons曾說過：「如果不是興趣盎然的學習，不能產生很好的

效果。而這種興趣盎然的學習是很少見的。」

我一直不希望有同學完全跟不上。我想有一個辦法是很理想的，就是再引述一系列的例題以說明講演中的觀念。例題能補充講演的不足，而且使教材更逼真，更完整，在腦中的觀念也因一再運用而更加根深蒂固。另外我想除了一個學生和一個好的老師直接密切合作以外，沒法使教學得到最大效果。要是只呆坐着聽講或只作一些老師交待的題目收效必不大。但目前學生人數遠超過老師，就只能求其次，或許我的教材對此能有所貢獻。

一九六三年六月

Richard P. Feynman



# 前 言

這套書的內容是以 R.P. Feynman 教授於 1961 ~ 62 學年度在加州理工學院所作的物理入門的講演為主。所有在開特屈 (Caltech) 的大一和大二學生都有兩年的入門課程，而頭一年所教的就是本套書的第一冊；後來在 1962 ~ 63 年的時候，所接著講的即是第二冊和第三冊。在這些講演中很清楚的介紹了一些基本而重要的觀念。

由於高中數學課程的改善，使此地大一學生的數學能力愈來愈強。再加上近數十年來物理學的迅速發展，一套嶄新的入門課程是非常迫切需要的。因此鑒於他們良好的數學程度並希望多介紹一些最新的知識，我們希望能把這套課程編得更具深度，更有趣，更能代表今日的物理。

在編輯這套課程的時候，對於其大致的內容及教授的方法等，我們徵詢了許多其他教授的意見以求其盡善盡美。其中有些部分是經過詳細討論才決定的，但是大家都一致同意我們這新課程的改編不能只是換湯不換藥，或者根本改頭換面的重寫。而是以折衷的新式方法來編寫，並且以一系列的講演為中心，其頻率約每週二到三次，而實驗也應與課程密切配合。於是，此課程的粗略藍圖就此訂下，當然，這只不過是一個大略的腹案而已。

至於課程的大綱以及實施等問題，我們曾考慮過很多方案，當然它們之間有不少相似的地方。課程內容的編纂經過是這樣的：參加這工作的有許多人，每人各負責一部分課程資料的收集及撰寫。雖然在起初大家覺得這許多人的共同工作是否能使課程前後銜接，觀點一致？因為每個人的觀念和看法是有些不同的。但結果終究完成了這

項工作。

鑒於我們工作的結果，不但編寫了一套與眾不同的物理教材，而且很可能是舉世無雙的。這使 Sands 教授極為鼓舞，他建議費因曼教授準備並講授這套教材，然後用錄音帶紀錄下來，再經謄寫及整理而編成此書。

起先大家以為整理及編輯的工作不會很繁重。頂多加入一些圖、表；或改正一下文法及語句就行了。大概只要一兩個研究生，用他們的課餘時間就可完成。可是，事實上全不盡然。後來才發現要由原來的講演改寫成文字，還要使讀者能夠看懂和了解，得花很大的工夫。何況有時還要校訂那就更費時費力了。結果，這已不是一兩個研究生所能勝任的工作了，事實上每篇演講都要一個訓練有素的物理學家花費十到廿個小時的時間去詳細編校。

因為編輯工作的艱難及爲了要儘快把教材發給學生，使得這教材的「潤色」工作未能盡善。因此，我們只能希望這套教材沒有錯誤而且立刻可用，並不期望它成爲一個完美的定稿。因為學生的急迫需要，而且其他的學院也有許多教師和學生對此教材感到興趣，所以我們決定不等它作進一步的修改就先行付梓。事實上，由於各種條件的限制，更進一步的改編可能永遠不會實現了。目前，我們還沒有要把它編得更完美或排列得更合邏輯的想法。我們只計劃對未來的課程稍作修改。不過我們希望它的形式及內容能不斷的改變及更新。

除了這課程主要部分的講演外，也該供給學生們一些合適的習題以增加他們的解題經驗和能力。另外我們也應提供一些合適的實驗使得他們在實驗室中接觸到的東西能與課堂上講的東西互相印證。雖然這兩方面我們並未做得十分理想，但也有很大的改進。當講授課程的時候，我們也作了一些題目，準備把它們略加補充後作爲下年度的習題。然而，目前我們對這些習題仍不滿意，因為我們懷疑這些習題在教材的應用上是否有足夠的廣度及深度以使得學生們在作完這些題目後，能信任自己有解題的能力。這些習題我們另行出版以便能經常修正。

爲配合新教材，H.V. Neher 教授設計了一些實驗。其中有不少



是藉氣墊而使摩擦力減至極小以便測量運動。譬如：一種新的直線空氣槽，可以精密測量一度空間的運動，碰撞及諧運動 (harmonic motion)；另有一種由空氣支持及空氣推動的馬克士威爾陀螺，藉這種陀螺可以研究加速的轉動運動 (rotational motion) 及迴轉旋進 (gyroscopic precession)，章動 (nutation) 一即地軸的微動等等。相信以後我們還會不斷地發展新的實驗。

這個課程改編計劃是在 Leighton, Neher 及 Sands 三位教授的指導下完成的。正式參與此計劃的物理、數學、天文方面的有 G. Neugebauer, R. M. Sutton, H. P. Stabler (在 1961 ~ 62 時，他離開了 Williams College, Williamstown Mass.) F. Strong, 及 R. Vogt 等教授；工程方面的有 T. Caughey, M. Plesset, 及 C. H. Wilts 等教授。在這裏我們對於曾協助此改編計劃的所有人士表示由衷的謝意。尤其是福特基金會的經濟支持，予我們幫助甚大，否則此計劃很難獲得實現。

Robert B. Leighton

一九六三年七月

# 目 錄

## (第一部—上冊)

費因曼序

前 言

<b>第一章 運動中的原子</b> .....	<b>1</b>
1-1 引 言 .....	1
1-2 物質是由原子構成的 .....	4
1-3 原子的各種作用 .....	9
1-4 化學反應.....	13
.....	19
<b>第二章 基礎物理</b>	
2-1 引 言 .....	19
2-2 1920年以前的物理學.....	23
2-3 量子物理.....	29
2-4 原子核及質點.....	34
<b>第三章 物理與其他科學間的關係</b>	
3-1 引 言 .....	41
3-2 化 學.....	42
3-3 生物學.....	43
3-4 天文學.....	52
3-5 地質學.....	55
3-6 心理學 .....	56

3-7 它怎麼會變成這個樣子？ .....	57
-----------------------	----

#### 第四章 能量不減

4-1 何謂能量？ .....	61
4-2 重力位能 .....	64
4-3 動能 .....	71
4-4 其他型式的能量 .....	72

#### 第五章 時間和距離

5-1 運動 .....	77
5-2 時間 .....	78
5-3 短時間 .....	80
5-4 長時間 .....	82
5-5 時間的單位和標準 .....	85
5-6 長距離 .....	87
5-7 短距離 .....	91

#### 第六章 機率

6-1 機會和可能性 .....	97
6-2 起伏現象 .....	100
6-3 無規行走 .....	105
6-4 機率的分佈 .....	110
6-5 測不準原理 .....	115

#### 第七章 萬有引力理論

7-1 行星的運動 .....	119
7-2 刻卜勒定律 .....	120
7-3 動力學的發展 .....	122
7-4 牛頓引力定律 .....	123
7-5 萬有引力定律 .....	128

7-6	卡文迪西的實驗	134
7-7	萬有引力是什麼？	135
7-8	萬有引力理論與相對性理論	139

## 第八章 運動

8-1	運動的描述	141
8-2	速率	145
8-3	速率可視為一導數	151
8-4	距離可視為一積分	153
8-5	加速度	155

## 第九章 牛頓動力學定律

9-1	動量和力	161
9-2	速率和速度	164
9-3	速度的分量，加速度和力	165
9-4	什麼是力？	167
9-5	動力學方程式的意義	168
9-6	動力學方程式的數值近似解	170
9-7	行星運動	173

## 第十章 動量不滅

10-1	牛頓第三定律	179
10-2	動量不滅	181
10-3	動量不滅的實驗證明	186
10-4	動量和能量	192
10-5	相對性動量	194

## 第十一章 向量

11-1	物理學中的對稱性	197
11-2	平移	198

11-3	旋 轉.....	201
11-4	向 量.....	205
11-5	向量代數.....	207
11-6	用向量表示牛頓定律.....	211
11-7	向量的無向量積.....	213

## 第十二章 力的特性

12-1	力是什麼？.....	219
12-2	摩擦力.....	223
12-3	分子力.....	227
12-4	基本力場.....	229
12-5	假想力.....	235
12-6	核子力.....	237

## 第十三章 功與位能

13-1	落體的能 量.....	239
13-2	重力所作的功.....	244
13-3	能 量 的 總 和.....	248
13-4	大物體的萬有引力場.....	251

## 第十四章 功與位能 (結論)

14-1	功.....	257
14-2	拘束運動.....	260
14-3	保守力.....	260
14-4	非保守力.....	265
14-5	位與場.....	267

## 第十五章 特殊相對論

15-1	相對性原理.....	273
15-2	羅倫徹轉換.....	276

15-3	邁克爾孫、摩黎實驗.....	277
15-4	時間的轉換.....	281
15-5	羅倫徹減縮.....	285
15-6	同時性.....	286
15-7	四元向量.....	287
15-8	相對論性的動力學.....	287
15-9	質能相當性.....	290
<b>第十六章 相對論性的能量和動量</b>		
16-1	相對論與哲學家們.....	293
16-2	雙生子矛盾.....	297
16-3	速度的轉換.....	298
16-4	相對論性的質量.....	302
16-5	相對論性的能量.....	307
<b>第十七章 時 空</b>		
17-1	時空的幾何構造 .....	311
17-2	時空間隔 .....	315
17-3	過去現在和未來 .....	317
17-4	四元向量的進一步討論 .....	319
17-5	四元向量的代數 .....	323
<b>第十八章 兩度空間中的轉動</b>		
18-1	質 心 .....	327
18-2	剛體之旋轉運動 .....	331
18-3	角動量.....	336
18-4	角動量的守恒.....	339
<b>第十九章 質量中心和轉動慣量</b>		
19-1	質量中心的性質.....	343

19-2	質量中心的位置.....	348
19-3	轉動慣量的求法.....	350
19-4	轉動動能.....	355

## 第二十章 空間裏的轉動

20-1	三度空間中的力矩.....	359
20-2	應用向量乘積的轉動方程式.....	366
20-3	迴轉器.....	367
20-4	固體的角動量.....	372

## 第二十一章 諧振盪器

21-1	線性微分方程.....	375
21-2	諧振盪器.....	376
21-3	諧運動和圓周運動.....	380
21-4	起始條件.....	382
21-5	受迫振動.....	384

## 第二十二章 代數

22-1	加法和乘法.....	387
22-2	逆運算.....	389
22-3	抽象化和普遍化.....	390
22-4	無理數的近似運算.....	392
22-5	複數.....	398
22-6	虛指數.....	402

## 第二十三章 共振

23-1	複數與諧運動.....	407
23-2	有阻尼的受迫振盪器.....	410
23-3	電共振.....	414
23-4	自然界中的共振.....	418

**第二十四章 瞬變**

24-1	振盪器的能量 .....	425
24-2	阻尼振動 .....	428
24-3	電的瞬變 .....	431

**第二十五章 線性系與複習**

25-1	線性微分方程式 .....	437
25-2	解的疊加 .....	440
25-3	線性系中的振動 .....	445
25-4	物理界的相似性 .....	447
25-5	串聯與並聯的阻抗 .....	450

**第二十六章 光學：最短時間原理**

26-1	光 .....	453
26-2	反射與折射 .....	456
26-3	費馬的最短時間原理 .....	457
26-4	費馬原理的應用 .....	462
26-5	費馬原理的更精確的陳述 .....	467
26-6	究竟它是怎樣作用的 .....	469

**第二十七章 幾何光學**

27-1	引言 .....	473
27-2	球面的焦距 .....	474
27-3	透鏡的焦距 .....	479
27-4	放大作用 .....	482
27-5	複合透鏡 .....	484
27-6	像差 .....	485
27-7	鑑別率 .....	487



# 第一章 運動中的原子

- 1-1 引言
- 1-2 物質是由原子構成的
- 1-3 原子的各種作用
- 1-4 化學反應

## 1-1 引言

我們撰寫這一套物理教程時的看法和基本原則是這樣的：我們假定本書的讀者將來會成爲一位物理學家。但至於各位將來會不會成爲物理學家當然還在未定之天。然而我們在準備課程時非如此假定不可。如果你想以研究物理爲終身事業的話，那麼你該念的東西太多了：這兩百年來在物理界飛快進展下積聚的知識，多得會使你想到在未來的四年中怎麼能夠學得了？而多少戴上方帽子的物理系畢業生，他所懂得的物理知識，跟累積到現在的全部物理知識比起來，簡直是九牛一毛，少得可憐！

奇怪的是，儘管前人搞出了這麼一大堆知識，但這些知識却能歸納成幾個非常簡單的形式——「定律」( law )。然而，要歸納出這些定律，却必得對科學的某一部門與另一部門之間的關係有週密的了解才行。因此，緊跟著這節引言，本書的前三章將敘述物理學與其他科學之間的關係、諸科學彼此之間的關係、科學的意義等。以使各位對這些學問稍有認識。

你也許會問：爲什麼我們不乾脆在第一頁就把所有的基本定律一條條的寫出來，再說明它們在何種情形之下如何運用，如同我們學歐氏