

理论物理第三册

电 磁 学

吴大猷

科学出版社

理论物理第三册

电 磁 学

吴大猷 著

科 学 出 版 社

内 容 简 介

本书为著名物理学家吴大猷先生的著述《理论物理》(共七册)的第三册。《理论物理》是作者根据长期从事的教学实践编写的一部比较系统全面的大学物理教材。本册内容共分七章:第一章,静电学, Coulomb 定律;第二章,静电学,场位理论;第三章,磁学与稳定电流;第四章, Maxwell 方程式;第五章,电磁波,激发与传播;第六章,微观的电力学;第七章,电磁场之 Lagrangian 形式。在多数章节之后还附有附录和习题供读者研讨和学习。

本书根据台湾联经出版事业公司出版的原书翻印出版,作者对原书作了部分更正。李政道教授为本书的出版写了序言,我们对原书中一些印刷错误也作了订正。

本书可供高等院校物理系师生教学参考,也可供研究生阅读。

理论物理第三册

电 磁 学

吴大猷 著

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1983年8月第一版 开本: 850×1168 1/32

1983年8月第一次印刷 印张: 8 7/8 插页: 2 平 4

统一书号: 13031·2286

本社书号: 3126·13-3

定价: 布面精装 3.00 元
压膜平装 2.35 元

54/204

序言

吳大猷先生是國際著名的學者，在中國物理界，是和嚴濟慈、周培源、趙忠堯諸教授同時的老前輩。他的這一部《理論物理》，包括了“古典”至“近代”物理的全豹。1977年初，在台灣陸續印出。這幾年來對該省和東南亞的物理教學界起了很大的影響。現在中國科學院，特別是由於盧嘉錫院長和錢三強、嚴東生副院長的支持，決定翻印出版，使全國對物理有興趣者，都可以閱讀參考。

看到了這部巨著，聯想起在1945年春天，我初次在昆明遇見吳老師，很幸運地得到他在課內和課外的指導，從“古典力學”學習起至“量子力學”，其經過就相當於唸吳老師的這套叢書，由第一冊開始，直至第七冊。在昆明的這一段時期是我一生學物理過程中的大關鍵，因為有了紮實的根基，使我在1946年秋入芝加哥大學，可立刻參加研究院的工作。

1933年吳老師得密歇根大學的博士學位後，先留校繼續研究一年。翌年秋回國在北大任教，當時他的學生中有馬仕俊、郭永懷、馬大猷、虞福春等，後均致力物理研究有成。抗戰期間，吳老師隨北大加入西南聯大。這一段時期的生活是相當艱苦的，但是中國的學術界，還是培養和訓練了很多優秀青年。下面的幾

段是錄自吳老師的《回憶》一書：

“組成西南聯大的三個學校，各有不同的歷史。……北京大學規模雖大，資望也高，但在抗戰時期中，除了有很小數目的款，維持一個‘北京大學辦事處’外，沒有任何經費作任何研究工作的。在抗戰開始時，我的看法是以爲應該爲全面抗戰，節省一切的開支，研究工作也可以等戰後再作。但抗戰久了，我的看法便改變了，我漸覺得爲了維持從事研究者的精神，不能讓他們長期的感到無法工作的苦悶。爲了培植及訓練戰後恢復研究工作所需的人材，應該在可能情形下，有些研究設備。西南聯大沒有此項經費，北大也無另款。……我知道祇好儘自己個人的力量做一點點工作了。……請北大在崗頭村租了一所泥牆泥地的房子做實驗室，找一位助教，幫着我把三稜柱放在木製架上拼成一個最原始形的分光儀，試着做些‘拉曼效應’的工作。

“我想在二十世紀，在任何實驗室，不會找到一個拿三稜柱放在木架上做成的分光儀的了。我們用了許多腦筋，得了一些結果。……

“1941年秋，有一位燕京大學畢業的黃昆，要來北大當研究生隨我工作，他是一位優秀的青年。我接受了他，讓他半時作研究生，半時作助教，可以得些收入。那年上學期我授‘古典力學’，下學期授‘量子力學’。班裏優秀學生如楊振寧、黃昆、黃授書、張守廉等可以說是一

個從不易見的羣英會。……

“1945 年日本投降前，是生活最困難的時期。每月發薪，紙幣滿箱。因為物價飛躍，所以除了留些做買菜所需外，大家都立刻拿去買了不易壞的東西，如米、炭等。……我可能是教授中最先擺地攤的，……抗戰初年，託人由香港、上海帶來的較好的東西，陸續的都賣去了。等到 1946 年春復員離昆明時，我和冠世的東西兩個手提箱便足夠裝了。”

就在 1946 年春，離昆明前吳老師還特爲了我們一些學生，在課外另加工講授“近代物理”和“量子力學”。當時聽講的除我以外，有朱光亞、唐敖慶、王瑞駘和孫本旺。

在昆明時，吳老師爲了北京大學的四十週年紀念，寫了《多原分子的結構及其振動光譜》一書，於 1940 年出版。這本名著四十多年來至今還是全世界各研究院在這領域中的標準手冊。今年正好是中國物理學會成立的五十週年，科學出版社翻印出版吳大猷教授的《理論物理》全書，實在是整個物理界的一大喜事。

李政道

1982 年 8 月

寫於瑞士日內瓦

總序

若干年來，由於與各方面的接觸，筆者對臺灣的物理學教學和學習，獲有一個印象：（一）大學普通物理學課程之外，基層的課程，大多強納入第二第三兩學年，且教科書多偏高，量與質都超過學生的消化能力。（二）學生之天資較高者，多眩於高深與時尚，不知或不屑於深厚基礎的奠立。（三）專門性的選修課目，琳琅滿目，而基層知識訓練，則甚薄弱。

一九七四夏，筆者擬想以中文編寫一套筆者認為從事物理學的必須有的基礎的書。翌年夏，得褚德三、郭義雄、韓建珊（交通大學教授）三位之助，將前此教學的講稿譯為中文，有（1）古典力學，包括 Lagrangian 和 Hamiltonian 力學，（2）量子論及原子結構，（3）電磁學，（4）狹義與廣義相對論等四冊。一九七六年春，筆者更成（5）熱力學，氣體運動論與統計力學一冊。此外將有（6）量子力學一冊，稿在整理中。

這些冊的深淺不一。筆者對大學及研究所的物理課程，擬有下述的構想：

第一學年：普通物理（力學，電磁學為主）；微積分。

第二學年：普通物理（物性，光學，熱學，近代物理）；高等微積分；中等力學（一學期）。

第三學年：電磁學（一學年）及實驗；量子論（一學年）。

第四學年：熱力學（一學期）；狹義相對論（一學期）；量子力學（引論）（一學年）。

研究院第一年：古典力學（一學期）；分子運動論與統計力學（一學年）；量子力學（一學年）；核子物理（一學期）。

研究院第二年：電動力學（一學年）；專門性的課目，如固體物理；核子物理，基本粒子；統計力學；廣義相對論等，可供選修。

上列各課目，都有許多的書，各有長短。亦有大物理學家，集其講學精華，編著整套的書，如 Planck, Sommerfeld, Landau 者。Landau-Lifshitz 大著既深且博，非具有很好基礎不易受益的。Sommerfeld 書雖似較易，然仍是極嚴謹有深度的書，不宜輕視的。筆者本書之作，是想在若干物理部門，提出一個綱要，在題材及著重點方面可作為 Sommerfeld 書的補充，為 Landau 書的初階。

筆者深信，如一個教師的講授或一本書的講解，留給聽者或讀者許多需要思索、補充、擴展、涉獵、旁通的地方，則聽者讀者可獲得較多的益處。故本書風格，偏於簡練，課題範圍亦不廣。偶以習題的方式，引使讀者搜索，擴大正文的範圍。

筆者以為用中文音譯西人姓名，是極不需要且毫無好處之舉。故除了牛頓，愛因斯坦之外，所有人名，概用西文。*

* 商務印書館出版之中山自然科學大辭典中，將 Barkla, Blackett, Lamb, Bloch, Brattain, Townes 譯為巴克納，布拉克，拉目，布勞克，布勞頓，湯里士，錯誤及不準確可見。

本書得褚德三，郭義雄，韓建珊三位交通大學教授之助，覃
越（清華大學）教授的校閱，筆者特此誌謝。

吳大猷

1977 年元旦

本冊前言

本冊題材選定的構想，是為大學普通物理的電磁學部份之後，研究院電動力學（J. D. Jackson 的書的水準）之前，作一個由淺入深的電磁學入門。

有些書是從 Maxwell 電磁場方程式為出發點，計算 E , D , H , B 等函數而不先予這些量的來源和物理意義。電磁學究竟是物理學而不是數學，這樣看電磁學是不能令習物理者滿意的。本冊試着由現象的觀點及數學的觀念，清晰的定義上述的電磁量；在概論中先指出電磁學頗擾人的各單位制的來源和它們間的關係。

第二章的場位理論，目的是介紹古典的應用數學的一部。在電磁學中，學習正交函數如諧函數等，可能比在另外“應用數學”一類的課程為自然且有效些。電磁學和電動力學，自然和狹義相對論有極密切的關係，但如祇草率的把電磁學寫成 Lorentz 變換的協變形式而不詳解釋相對論的意義，則是無甚意義之舉。故本冊中不講 Lorentz 變換；本書第四冊甲部狹義相對論中將詳述之。

末章應用 Lagrange 和 Hamilton 動力學方法於電磁場，係古典場論。在這裡祇是一個數學形式，但對量子場論，這是一個起步點，故本冊附了一個短短的介紹。

本冊由交通大學郭義雄教授譯成中文，特此致謝。

目 錄

概論

1. 引言	1
2. 電荷之 Coulomb 定律	2
3. 磁極之 Coulomb 定律	2
4. 由電流所產生的磁場之 Biot-Savart 定律	2
5. 兩帶電流—導體間作用力之 Ampere 定律	3
6. 單位制	4
(1) 有理化靜電單位 (c. g. s.)	6
(2) 有理化電磁單位 (c. g. s.)	7
(3) Gaussian 制	8
(4) 有理化 m. k. s. a. 制	8
第一章 靜電學: Coulomb定律	13
1. 自由空間之電場E與電位V	13
2. 群體電荷之能量	18
3. 靜電平衡中之導體	20
(1) 電荷分佈定理	20
(2) 電位, 電容, 電感之係數等	26
(3) 導體群之能量	30

(4) 導體位移時所需之功	32
4. 電介質 (Dielectrics)	34
(I) 極化現象 (polarization)	34
1) 電極化率 (electric susceptibility)	34
2) 由極化分佈 P 所產生之電位; Clausius-Mossotti 式	37
3) 位移場 D 之邊界條件	39
4) 電介質中之電場 E	41
(II) 電介質中之場能	45
1) 電介質中之機械力 (mechanical force)	46
2) 電介質中之應力 (stress)	48
習 題	54
第二章 靜電學; 場位理論 (The theory of potential)	59
1. 邊界值問題之唯一性定理 (uniqueness theorem)	60
2. Poisson 方程式之解: Green 函數	64
3. 像法與倒轉法 (methods of image and inversion)	70
4. Laplace 方程式; 諧函數 (harmonics)	74
(I) Legendre 係數等	76
(II) 聯附 Legendre 係數 (associated)	91
5. Laplace 方程式; Bessel 函數	100
6. Laplace 方程式; 楕球座標	108
習 題	115
第三章 磁學與穩定電流	123

1. 真空中靜荷學.....	123
2. 磁介質中靜磁學.....	126
3. 靜磁場能量.....	129
4. 穩定電流等所產生的磁場; Biot-Savart 定律.....	131
5. Ampere 定律; 兩電流線圈間之作用力	135
6. 電流所產生之向量位 (vector potential) 與磁矩 (magnetic moment)	140
7. 穩定電流的磁場之能量; 感應係數; 磁通量 (flux) ...	146
8. 歐姆定律 (Ohm); Joule 定律	148
習 題.....	151
第四章 Maxwell 方程式	159
1. Ampere 定律與 Maxwell 之位移電流	159
2. Faraday 之電磁感應定律	161
3. Maxwell 方程式	162
4. 由向量位 A 與純量位 ϕ 所表示之 Maxwell 方程式	164
(1) Lorentz 關係式.....	166
(2) 規範變換 (gauge transformation)	167
(3) 以向量位 A 和純量位 ϕ 所表示之 Maxwell 方程式	168
5. 波動方程式之解; 延後與超前之電位 (retarded and advanced)	170
6. 電磁場之能量與應力.....	174
7. Maxwell 方 之空間與時間對稱性	178
習 題.....	182

第五章 電磁波：激發與傳播 (generation and propagation)	189
1. 電偶與磁偶之輻射	189
(1) 電 偶	189
(2) 磁 偶	194
2. 電磁波之傳播	197
(1) 均勻電介體	197
(2) 均勻導電介質	199
3. 反射與折射	202
4. 空心金屬管中之電磁波；波導 (wave guide)	206
(1) 橫磁波 (transverse magnetic wave) (TM)	208
(2) 橫電波 (TE)	209
(3) 橫電磁波 (TEM)	210
5. 緩慢變化之電磁場	211
(1) 有電阻與電感之線路	212
(2) 有電阻、電感與電容之線路	213
6. 趨膚效應 (skin effect)	215
第六章 微觀的電動力學	219
1. 微觀的場方程式	219
2. 常電磁場中電荷運動	223
(1) 均勻磁場中運動	223
(2) 穩定電場中運動	224
(3) 垂直交叉均勻磁場和電場的運動	225

(4) 緩漸不變性 (adiabatic invariants)	225
3. 原子內之電子在磁場的運動	228
(1) Larmor 定理	228
(2) Larmor 旋進 (precession)	230
(3) 逆磁性 (diamagnetism)	231
4. 振盪中之電子; 輻射與減幅 (radiation and damping)	232
5. 波譜線之 Lorentz 寬度	236
6. 色散理論 (theory of dispersion):	238
高空電離層中電子密度之量定	292
第七章 電磁場之 Lagrangian 形式	245
1. Lagrange 方程式	245
2. 正則方程式	247
3. Lagrangian 形式之電磁場方程式	249
4. Hamiltonian 形式之電磁場	252
5. 電磁場之 Fourier 表象 (representation)	255
索 引	259

概 論

1. 引言

不管是學生或是教師在學習電磁學時，常常因為有各種不同的單位而發生極大困擾。在使用不同單位時，不僅電磁物理量之數值隨着單位有所差異，且其因次也截然不同。雖然，爲了避免上述之困擾，吾人當然可從頭到尾持用一種單位，而將其他略去不管。但是，當在參閱其他書籍或文獻時，則發現必需深切地瞭解各種單位間的關係。所以作者認爲在介紹本題材主要內容之前，吾人必須將平常使用之單位制、定義及來源等一一解說清楚。

凡一物理定律，乃係若干物理觀念（量）間之函數關係。有時物理定律中之物理觀念早已有定義；但常常一個觀念—其正確意義與單位—需由實驗定律予以定義之。如電磁理論中之電場 E ，磁場 B ，以及 D 和 H ，乃是依據實驗定律如 Coulomb 定律，Ampere 定律和 Faraday 定律等，而定義的。本節裡，吾人將先接受這些定律，說明其各如何爲各不同單位制中電磁量定義之基石。

2. 電荷之Coulomb定律

兩電荷 e_1, e_2 之間作用力，與其距離 r 平方成反比，此定律在1776年由 H. Cavendish發現，在1785年由 Coulomb建立之

$$F = \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (O-1)$$

常數 ϵ_0 之值，視 e, r 和 F 所取之單位而定。倘若 e 尚未由其他方法予以定義，則 ϵ_0 之選擇也可決定 e 之單位。若電荷量 e 已有定義，則每單位時間之電荷稱為電流 I 。而電場 E 則為每單位電荷所受作用力。這是所謂靜電制單位 (*e. s. u.*)。

3. 磁極之Coulomb定律

約在 1785 年Coulomb 也建立了磁極之間作用力與距離平方成反比之定律，(該磁極為細長磁棒之端極，而不是孤立單極)

$$F = \frac{\mu_0 p_1 p_2}{4\pi r^2} \quad (O-2)$$

常數 μ_0 之值乃視其他量之單位而定，或如已先選擇一值 μ_0 ，則可用來決定磁極強度 p 之單位。一旦 p 已有定義，則磁場 B 可定義為每單位磁極上之作用力。

注意：(1) 和 (2) 式，若無進一步發展，它們是毫無關係的。

4. 由電流所產生的磁場之Biot-Savart定律