

大學叢書

電學原理

上冊

裴濟亞丹姆斯著

楊肇濂譯

商務印書館發行

大學叢書
電學原理
上冊

裴濟亞丹姆斯著
楊肇燦譯

中華教育文化基金董事會
編譯委員會編輯

商務印書館發行

譯 者 誌

本書著作人裴濟 (Leigh Page) 爲美國電學權威之一，執教鞭於耶魯 (Yale) 大學，歷有年所，以其淹貫之學識，輔以久積之經驗，與其弟子亞丹姆斯 (N. I. Adams, Jr.) 合著此書，以爲繼普通物理學後研習電磁學之教本，全書大體謹嚴清晰，深入顯出，允稱善本，雖偶有含混之處，未能盡愜人意，如論電介質中應力之第十六段，卽其一例，然小疵不掩大醇，是在用是書者之善爲補充耳。

本書譯文所用物理學名詞，大都爲教育部二十三年一月所公布者，間有少數名詞於行文時感其不能適用者，或有爲公布名詞中所無者，則以私意另定之。

本書譯文力求忠實流暢，然晦澀欠妥之處在所不免，倘荷讀者指正，俾得於再版時加以改善，無任企幸。

本書付印後，印刷所因時局關係，未能以未校送譯者，文字標點多有訛誤，插圖地位未盡妥善，譯者所編英漢對照字彙亦未能排入，譯者謹與印刷所同致歉忱於此，所望讀者不吝指摘，期於再版時一一更正。

原書銅圖不適複製，承交通大學物理系暨中央研究院物理研究所惠假設備，攝影製版，理宜聲謝。

本書譯藁經王君書莊全部校閱一過，譯者深所銘感。

楊肇熾 二十九年四月八日。

原 序

著者們編輯本書的用意，是要備下一部初步的，適合於兩種人的需要的課本；一種是大學本科生，修畢了尋常在二年級中所授的普通的物理學和微積分學；第二種是已經深造的學生，對於電磁學這門重要課程，還想得着更透澈的訓練。為第一種人之用，取前十二章，即可編成一尋常分量的課程，不過第三章也許可以剔去。為便於先讀靜磁學，然後讀靜電學起見，我們把第一和第二兩章裏較為基本的推論，在第四章裏復述一遍。

電學量度的理論佔了不少的篇幅，因為我們相信一門講授的教程應當繼之以實驗室內的實習。雖然如此，我們傾重的要點，不在理論的應用，而在把正確的觀念灌注於讀者的心中。相對性原理——和電磁學的關係密切之至——本身固沒有說到，而其理論的觀點在本書裏是始終保持的。用不着說，物質的電子論是自始就採用的。高頻率電路和電磁波諸現象所佔的篇幅較尋常為多，因為在這電通訊時代中，這些都是人人大感興趣的事物。對於題旨之發揮，極力求其合於論理，並不因圖分析之減至最小限度，而忽略重要的推論。在本書多數章節後面附有悉心選就的習題。

L. P.

N. I. A., Jr.

耶魯大學，一九三一年二月。

各項電磁量之換算表

凡一量若用電磁單位量度，則以適當的英文字母於右下角綴下標 m 表之，若用靜電單位量度，則以同一字母綴下標 s 表之，若用實用單位量度，則以同一字母綴下標 p 表之。凡單位之具有公認的名稱者，於括弧內注之。

量	電磁單位	靜電單位	實用單位
距離	l_m (厘米)	$= l_s$ (厘米)	$= (10)^9 l_p$
時間	t_m (秒)	$= t_s$ (秒)	$= t_p$ (秒)
質量	m_m (克)	$= m_s$ (克)	$= (10)^{-11} m_p$
力	F_m (達因)	$= F_s$ (達因)	$= (10)^{-2} F_p$
功或能	U_m (爾格)	$= U_s$ (爾格)	$= (10)^7 U_p$ (焦耳)
功率	P_m	$= P_s$	$= (10)^7 P_p$ (瓦特)
電荷	Q_m	$= \frac{1}{3} (10)^{-10} Q_s$	$= (10)^{-1} Q_p$ (庫倫)
電場強度	E_m	$= 3 (10)^{10} E_s$	
極化強度	P_m	$= \frac{1}{3} (10)^{-10} P_s$	
電位移	D_m	$= \frac{1}{3} (10)^{-10} D_s$	
磁場強度	H_m (高斯)	$= \frac{1}{3} (10)^{-10} H_s$	
磁化強度	I_m	$= 3 (10)^{10} I_s$	
磁感應強度	B_m (高斯)	$= 3 (10)^{10} B_s$	
電位或電勢	V_m	$= 3 (10)^{10} V_s$	$= (10)^8 V_p$ (伏特)
電流	i_m	$= \frac{1}{3} (10)^{-10} i_s$	$= (10)^{-1} i_p$ (安培)
電阻	R_m	$= 9 (10)^{20} R_s$	$= (10)^9 R_p$ (歐姆)
電容	C_m	$= \frac{1}{9} (10)^{-20} C_s$	$= (10)^{-9} C_p$ (法拉)
電感	L_m	$= 9 (10)^{20} L_s$	$= (10)^9 L_p$ (亨利)

示例：設有 50 安培之電流，求其用電磁單位及靜電單位所表之數量。

$$i_m = (10)^{-1} i_p = 5 \text{ 電磁單位,}$$

$$i_s = 3(10)^9 i_p = 1.5(10)^{11} \text{ 靜電單位。}$$

所有用電磁單位表示之方程式對於實用單位同為適用，但從電磁單位變為靜電單位，則多數方程式即因而改其形式，參看第 108 段。 k 及 μ 皆為無因次之比率，故在一切單位制中皆相同。

電場強度往往用一種混合單位，即伏特/厘米來表示，此乃電位於一厘米內降落一伏特之電場。若令 E_p 表用此單位計算之電場強度，即有下一關係。

$$\text{電場強度} \quad E_m = 3(10)^{10} E_s = (10)^8 E_p \text{ (伏特/厘米)}$$

本譯本所採之大小數命名法如下：

兆 (mega)	$= (10)^6$
億 (hecto-kilo)	$= (10)^5$
萬 (deca-kilo)	$= (10)^4$
千 (kilo)	$= (10)^3$
百 (hecto)	$= (10)^2$
十 (deca)	$= 10$
單 (unit)	$= 1$
分 (deci)	$= (10)^{-1}$
厘 (centi)	$= (10)^{-2}$
毫 (milli)	$= (10)^{-3}$
絲 (deci-milli)	$= (10)^{-4}$
忽 (centi-milli)	$= (10)^{-5}$
微 (micro)	$= (10)^{-6}$

示例：1 兆歐姆 $= (10)^6$ 歐姆，1 微微法拉 $= (10)^{-12}$ 法拉。

目 錄

第一章 靜電學之基本定律	1
1. 吸引與推斥	1
2. 絕緣體與導體	3
3. 感應起電	4
4. 驗電器	6
5. 感應起電機	7
6. 庫侖 (Coulomb) 定律	9
7. 電場強度與電位	11
8. 高斯 (Gauss) 定律	16
9. 高斯定律之應用	19
10. 力線	23
11. 等位面	26
第二章 電介體與導體	31
12. 電偶極子	31
13. 極化電介質中之電荷密度	33
14. 電介質中電荷應用之高斯定律	37
15. 各向同性之電介質	40
16. 電介質中之應用	43
17. 電介質中之電場	49
18. 電容與容電器	53
19. 電位係數, 電容係數與感應係數	58
20. 電介質之吸收	61
21. 帶電系統之能量	63

22. 力與轉力矩	67
23. 靜電儀器	70
24. 電介質常數之測定	74
25. 實用單位	75
第三章 靜電問題之解答	77
26. 泊松(Poisson)方程式及拉普拉斯(Laplace)方程式	77
27. 拉普拉斯方程式之解答	80
28. 均強場中之球體	85
29. 均強場中之導電圓柱體	90
30. 電像	92
31. 球體與平面	96
32. 平行導線	99
33. 共軛函數	101
34. 共軛函數之例	104
第四章 靜磁學	107
35. 吸引與推斥	107
36. 磁之分子說	108
37. 庫侖定律	111
38. 磁場強度與磁位	113
39. 高斯定律	116
40. 磁偶極子	119
41. 磁殼	122
42. 磁介質中之磁荷密度	125
43. 磁介質中應用之高斯定律	128
44. 均勻磁化球	132
45. 磁屏	136

46. 磁場中之能量	139
47. 磁學儀器與量度	142
第五章 穩定電流	148
48. 電流與電勢	148
49. 金屬導電與歐姆(Ohm)定律	150
50. 單位之變換	154
51. 伏打(Volta)電池	155
52. 電阻之組合與克希荷夫(Kirchhoff)定律	158
53. 惠斯登(Wheatstone)電橋	163
54. 電阻箱與電阻標準	168
55. 電阻橋量度	171
56. 電位計	181
第六章 化學效應及熱效應	185
57. 電解	185
58. 電解液之導電係數	187
59. 電量計	190
60. 伏打電池之理論	192
61. 原電池	196
62. 蓄電池	198
63. 熱電	200
64. 熱電偶量度及熱電偶儀器	208
65. 接觸電位差	209
66. 熱游子之發射	210
67. 壓電與焦熱電	212
第七章 電流之磁場	213

68. 無向積與矢積	213
69. 安培 (Ampère) 定律	218
70. 簡單電路之磁場	223
71. 與電流路等效之磁殼	230
72. 安培定律之周路式	234
73. 圓電流之磁場	239
74. 電流計	242
75. 安培之磁說	249

第八章 游子在電場及磁場中之運動253

76. 運動方程式	253
77. 均強力場	254
78. 電子之電荷及質量	263
79. 霍爾(Hall)效應	266
80. 管內空間電荷	269
81. 放電管	274
82. 磁控游子管	277
83. 反磁性與柴曼 (Zeeman) 效應	280
84. 單極性感應	284

第九章 電磁感應289

85. 法拉第 (Faraday) 定律	289
86. 動生電勢	295
87. 有自感及電阻之電路	301
88. 有電容及電阻之電路	308
89. 有自感, 電容及電阻之電路	312
90. 交變電流	322

第十章 電流之相互作用328

91. 孤立電路之能量 328
92. 電流路系之能量 330
93. 剛體電路所受之力及轉力矩 333
94. 電感係數之計算 337
95. 電磁反作用之例證 343
96. 電流計之阻尼 348
97. 感應圈 353

第十一章 磁通量之量度360

98. 衝擊電流計 360
99. 格拉索 (Grassot) 磁通計 369
100. 磁標準 370
101. 材料之磁性 371
102. 磁性之量度 376
103. 磁路 385

第十二章 絕對標準及單位389

104. 電流之絕對量度 389
105. 絕對歐姆 391
106. 其他絕對量度 393
107. 靜電單位與電磁單位之關係 393
108. 基本方程式 397

第十三章 交變電流403

109. 簡單交流電路 403
110. 分支電路 406

111. 複量	408
112. 複量在交流電路上之應用	411
113. 電學數量之圖示	415
114. 交流網絡與克希荷夫定律	417
115. 交流量度儀器	420
116. 交流電機	423
117. 變壓器	428
第十四章 用常變電流所作之量度	433
118. 量度之型式及方法	433
119. 高電阻之量度	433
120. 交流電橋	435
121. 絕對量度	448
122. 高值自感之量度	452
123. 比較衝擊之量度	454
第十五章 耦合電路濾波器及遞電線	456
124. 耦合電路之型式	456
125. 自由振動之電感耦合電路	457
126. 受迫振動之電感耦合電路	472
127. 對數減縮量之量度	479
128. 濾波器	482
129. 遞電線	493
第十六章 電磁波	504
130. 電磁方程式	504
131. 場方程式之微分式	509
132. 電磁波	511

133. 電磁能與坡印亭(Poynting)通量	517
134. 完全導體對於電磁波之反射	521
135. 平面波在電介質表面上之反射及折射	522
136. 輻射壓力與電磁動量	526
137. 電磁振動器	530
138. 電磁波之圖示	538
第十七章 高頻率振動	541
139. 高頻率電路之特性	541
140. 電阻, 電感及電容	542
141. 真空管	547
142. 高頻率量度	552

電學原理

第一章 靜電學之基本定律

1. 吸引與推斥 起電現象是希臘人在公曆紀元前六百年就已經發見的，他們察見一塊琥珀經過摩擦之後，便獲得吸引輕微物體的性質。然而此後便無多大的進步，直到公曆一千六百年纔有人注意到帶電物體非但能吸引，並且還能推斥其他輕微物體，而又等到一七三五年，費哀(du Fay)方始領悟到有兩類區別很明的電。

這兩類電，一名陽電，一名陰電。取一根玻璃棒，用絲綢來擦，玻璃即得陽電(又叫玻璃電)，而綢得陰電。反之，取一根硬橡膠棒，用毛皮來擦，硬橡膠即得陰電，(又叫樹脂電)，而毛皮得陽電。我們之所以承認電有兩類，全是以觀察為根據，觀察所得的事實如下：兩根帶電的玻璃棒，或者兩根帶電的硬橡膠棒，都互相推斥，而帶電的玻璃棒卻吸引帶電的硬橡膠棒。古時實驗的結果可以歸納為以下兩條表性的定律：

(I) 同類電荷相斥，異類電荷相引。

(II) 兩電荷間的距離增加，則兩荷間互施之力減少。

我們已見如用絲綢擦玻璃棒，玻璃和絲綢都變為帶電體，但綢上電荷的記號與玻璃上的相反。這樁事實指示我們，所謂起電，乃是把相等相反的電荷分開，而不是創造電荷。說得詳細些，玻璃和絲綢，在本來不帶電的情形下，各含等量的陽電和陰電，對於任何第三電荷，一種記號的電施吸引，另一記號的施推斥，剛够互相抵消；這兩種物體一經互相摩擦，就可以說陰電從玻璃移到絲綢，或者陽電從絲綢

移到玻璃，或者說這兩種情形同時發生，亦無不可。倘使在玻璃和絲綢相擦之後，並不分開，而讓絲綢把玻璃緊緊包住，這宗組合並不顯帶電的證象，這就指示絲綢上的陰電抵消掉玻璃上的陽電，所以兩類電的數值亦必相等。我們揣測起電現象乃電的分開而非電的創造，也就因而確定了。

在理想上，我們儘管可以假設不斷的用絲綢去擦玻璃，直到把這個組合所有的陽電都移到玻璃上，所有的陰電都移到絲綢上，然而一經探討，便知道在實驗室裏所能得的任何方法，要想達到這宗極限狀態，還是差得很遠。實在說來，我們現在對於物質組織所得的知識明明指示我們：由顯著的物質所能得的最強的起電現象，其所代表的電的轉移，不過是受試驗的物體所含的電的微小部分。

而且，照後來敘述的實驗的結果看去，電之爲物，並非可以無限的分析下去，而是判然獨立的微物所構成的。帶陰電的元質點名爲陰電子，其電荷爲 -4.77×10^{-10} 靜電單位，其質量爲 9.0×10^{-28} 克。一切陰電荷所含的陰電子數都是整數。不過，一個陰電子的電荷微乎其微，我們縱然推想得到兩個陰電荷相差最小的量可以是一個陰電子的電荷，但這是尋常電學實驗所無從抉發的事實。

帶陽電的元質點通名爲質子，其電荷爲 4.77×10^{-10} 靜電單位，其質量爲 1.66×10^{-24} 克。質子的電荷和陰電子的電荷數值相等而記號相反，但質子的質量比陰電子的大 1850 倍，而比氫原子的質量則相差甚微。所以質子遠不及陰電子那麼活動。我們現在知道，凡原子都祇是質子和陰電子構成的，此外並無其他成分。氫原子最簡單，是由單個質子和單個陰電子所合成，而較重的原子則較爲複雜，其中含一微核，這核是由四個以上的質子和較少數的陰電子所構成，故核帶陽電，而在核的周圍又分佈有若干恰與這核上陽荷相等的陰電子，所以在正常狀態之下，原子的總陰電荷等於其總陽電荷。

陰電子既是較質子輕得多，所以也活動得多；從這事實就看得出起電現象的發生祇是由於陰電的轉移。贊助這個看法的證據極多，所

以我們儘可想見組織物體的陽原子核在物體中是固定的，而起電現象乃由於陰電子的缺乏或過剩。所以，拿絲綢擦玻璃，意思是使兩種不同的物質發生接觸，其結果是從玻璃表面上的原子把陰電子解摘下來，附着在絲綢表面上的原子之中。減去陰電子的結果是使玻璃變爲帶陽電，而由於陰電子的增加，綢上即帶陰電。

2. 絕緣體與導體 各種固體，依其電的性質，可以區別爲絕緣體和導體。絕緣體中的電子是緊緊的附着在原子上，祇有在表面上的電子，還要比較大的力，纔能解摘下來。絕緣體以後叫作電介體的時候較多，其特異之點就在薄片的電介體對於光是透明的，至少是半透明的。倘使我們取一絕緣體，譬如說玻璃棒，從其表面上的任何幾處地方把電子摘掉，使之帶電，剩下的電子，儘管是在因起電而生的電力作用之下，並不能重新分布。所以，在表面上某某幾處發生的電荷，仍然存留在該幾處。然而電介體並非全然不受電力的影響。要把每一原子中的電子完全解摘掉，固然不是容易做到的事，但這些電子，在電力作用之下，確經受微小的位移，並離其原來平衡的位置。在單個原子中，電子的位移雖然是太小了生不出可覺察的效應，但整個絕緣體所有的原子中的電子在同一方向的位移，就發生明決的效應；在許多靜電現象中。這些效應很是重要。

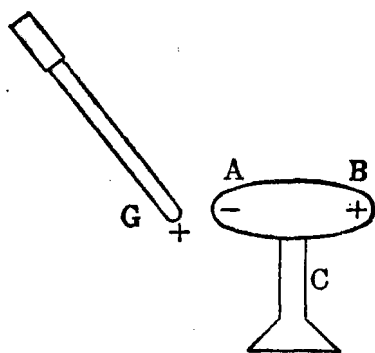
然而在導體中，情形就不同了，每一原子在尋常狀況中所有比較在外層的電子，一受了電力的影響，就從原子上解脫下來，而在固體裏漫遊，這些就叫作自由電子。所以，如果在導體面上由摩擦而生電荷，這些自由電子，受了吸引或推斥的力，就重行分佈，結果是發生的電荷不一定常是局處於原來的地位。人的身體既然不是很壞的導體，所以倘若有人在一導電棒上起電，而用手拿棒，電就不會留在棒上，而要流過實驗人的手，並經過他的身體，而傳達於地。如要把電留在棒上，這棒必須裝一絕緣的柄。除了極薄的片外，導體這一大類對於光是不透明的。金屬是電的最良導體，特別是銅，銀等類。以後還要說明，電的良導體便是熱的良導體，熱的良導體也便是電的良導體。

如安置兩個導體，使相接觸，則第一導體的自由電子若要經過交界面以入第二導體，並沒有多大的困難。但是，若要電子經由導體的表面以逃入相鄰的氣體或真空中，倒並不容易。祇有在特別的情形之下，例如加極強的電場，或用很高的溫度，或讓紫外光或 X 射線射在金屬上，電子纔會由金屬表面上發射到周圍的空間裏去。

其次，我們須提到導電液體中的一大要類，就是所謂電解液。在這宗液體內，受電力影響而自由運動的帶電質點，並非電子，而是帶電的原子或原子羣，叫作游子。這宗帶電體所帶的電，兩種記號都有；在電力作用之下，陽游子依一方向運動，陰游子即依相反的方向運動。最重要的電解液是鹽或酸在水中的溶液。

最後，我們要知道氣體也可使之導電，所用的方法很多，譬如使 X 射線或放射質的射線穿過氣體，或加熱使之達到火燄中的高溫度等法是也。在這宗情形下，電子是由尋常不帶電的原子或分子上鬆解下來，於是或自由運動，或重行附著於其他分子上。所以在氣體裏，我們有兩種記號的游子，在電力影響下，依相反的方向運動，直至這些游子因復合而變為中和或行抵一金屬電極為止。

3. 感應起電 祇須用絲綢在玻璃棒的一端摩擦，發生一陽電荷，以後但用下面所述的感應方法，即可在附近的導體上加添出無定數的電荷。我們假設一例如如下：一金屬棒 AB（第 1 圖），兩端磨圓，安放在絕緣架 C 上，這棒本來是不帶電的。若再取一經過摩擦的玻璃棒，將其帶電的一端 G 拿到金屬棒 A 端的附近，導體中的陰電子就被吸引到 A，金屬棒的 A 端即得一陰電荷，而 B 端即帶陽電。這樣產生的電荷叫作應電荷。若把玻璃棒移開，金屬棒就恢復



第 1 圖