

高等學校教學用書

電學原理

上 冊

И. Е. ТАММ 著
錢尙武 趙祖森 譯

商 務 印 書 館

53.61
713
1:1

V.C. 10

高等學校教學用書



電 學 原 理

上 册

И. Е. 塔 姆 著
錢 尙 武 趙 祖 森 譯



商 務 印 書 館

53.61
713
2:1

460

高等學校教學用書



電 學 原 理

下 冊

И. Е. 塔 姆 著
錢 尚 武 趙 祖 森 譯



商 務 印 書 館

本書係根據蘇聯技術理論書籍出版社(Государственное издательство технико-теоретической литературы)出版的塔姆(И. Е. Тамм)著“電學原理”(Основы теории электричества)1949年版譯出。本書1946年版經蘇聯高等教育部審定為綜合性大學物理系電動力學課程參考書。

電 學 原 理

上 冊

錢尙武 趙祖森譯

★版權所有★

商 務 印 書 館 出 版

上海河南中路二一號

(上海市書刊出版業營業許可證出字第〇二五號)

新 華 書 店 總 經 售

商 務 印 書 館 北 京 廠 印 刷

(51771A)

1953年9月初版 1955年1月8版

版面字數287,000 印數8,501—10,500

定價¥17,000

本書係根據蘇聯國立技術理論書籍出版社 (Государственное
издательство технико-теоретической литературы) 出版的塔姆(И. Е.
Тамм)著“電學原理”(Основы теории электричества) 1949 年版譯
出。本書 1946 年版經蘇聯高等教育部審定為綜合性大學教材。下冊前
兩章是趙祖森同志譯的，後兩章及其他是錢尙武同志譯的，最後由錢
尙武同志校訂。

電 學 原 理

下 冊

錢尙武 趙祖森譯

★版權所有★

商 務 印 書 館 出 版

上海河南中路二一一號

(上海市書刊出版業營業許可證出字第〇二五號)

新 華 書 店 總 經 售

商 務 印 書 館 北 京 廠 印 刷

(51771 B)

1954 年 3 月 初 版

版 面 字 數 255,000

1955 年 1 月 再 版

(7 月 第 2 次 印) 8,001—9,000

印 張 10 1/16

定 價 (7) 洋 1.27

電 學 原 理

緒 論

按照近代的觀點，一切物體的原子都是由帶電粒子——比較輕的、帶負電的電子，和比較重的、帶正電的原子核——所組成的。我們覺得在電的方面爲中性的物體是不帶電的，祇是因爲包含在物體中的諸電子的負電荷等於包含在物體中的諸原子核的正電荷，因而異號電荷的影響彼此相消（至少，在距離比中性物體中各別電粒間的距離爲充份大的地方）。電荷的重新分配，特別是電流，是由電粒的移動所引起的，這些電粒中大部分是電子而不是原子核，因爲在化學元素的原子中總包含有某些數目的“外”電子，這些電子和重的中心原子核的聯繫較弱，因而比較容易和原子核脫離。

無論是原子核，或者是電子的幾何大小，比起原子和分子中這些粒子間的平均距離來都是這樣的小，以致在考察極大多數的物理現象和化學現象時，可以將原子核和電子都看作質點，而以一定的電荷和一定的質量表徵出來。至於原子核怎樣由更簡單的粒子（質子和中子）所構成這一問題，祇在較窄範圍內的物理現象，關係到我們所不討論的原子核物理學領域現象才有意義。也祇有在這一現象領域中，決定於原子核內諸粒子（質子和中子）的相互作用的所謂原子核力才有意義。

從上述的概念出發，近代物理學的任務是，去決定所有在自然界中遇到的物質的電的構造（包含在物質中的電粒子的數目、排列和運動特性），並從電荷相互作用的基本定律推出物理現象和化學現象的定律。必須作爲唯一的例外的是那些重力和原子核力起主要作用的現象

為祇有這些力不能歸結為電荷的相互作用。

解決上述問題的第一步，應該是去闡明電荷相互作用的定律和電磁場的定律。極大多數在實際上所用的觀察方法和量度方法，要用它們來發現單個電力的存在，是太粗糙了。利用這些儀器所能觀察到的最小的電荷，也要包含到數十億個電粒子。這些粒子，彼此相隔的距離是微乎其微的。當我們這樣來總合地或宏觀地^①研究規模可以直接觀察的電現象時，我們可以完全不考慮到電的粒子構造並用連續分佈的電荷這一概念，而不致在結果中引起多大的誤差；換句話說，我們可以認為電荷連續地、不間斷地填滿物體的帶電區域(所謂“體電荷”)。用這種方法來簡化我們的問題時，我們祇是仿效力學的範例。因為有質體力學的研究，在考慮到物質的原子構造時，會遇到很大的數學困難，所以彈性論、流體動力學和空氣動力學都利用連續分佈的物質這一理想的概念，在一定的，而且十分廣闊的範圍內，類似的替換是完全合理的，而在研究連續媒質時所得的結果是適用於構造不連續的真實物體的。

遵循電動力學發展的歷史進程，我們首先敘述電磁現象的宏觀理論，這個理論是以電荷的連續分佈這一概念作為基礎的，在積累了一定數量的知識後，我們就轉入微觀理論基本概念的平行敘述上，微觀理論是以考慮到電的粒子構造作為基礎的(所謂“電子論”)，並將表明，總合現象的近似宏觀定律是從各基本現象更精密的微觀定律推出的。然而，同時必須注意到微觀理論的任何完善的和嚴密的敘述不可避免地應該以現代形式的量子理論作為憑藉。因為我們不能假定讀者已澈底通曉量子力學，我們不得不在基本上祇敘述那些在經典物理(量子理論以前的)範圍內可以充份精密地研究的微觀理論問題。

在第七章中我們重又局限於研究場的宏觀理論，以便在所得結果的基礎上去表述這一理論諸基本原理的完整系統(它們的那些主要部

① 希臘文“μακρος”的意思是大的或“堆積的”。

分的表述包含在所謂麥克斯韋方程式中)。這些基本原理或“假設”在電動力學中所起的作用和牛頓的“公理”在經典力學中所起的作用相同。特別是，宏觀電動力學這些基本假設的正確性（像牛頓公理的正確性一樣）最令人折服的證明不是藉歸納方法（這種方法祇能依靠來尋求基本規律，然而不能靠它去嚴密地證明這些規律的正確性）而是靠從理論得出的並包括宏觀電磁場所有規律的全部推論和實驗的一致。在第七章中我們研究某些這樣的推論，特別是和電磁波有關的推論。

最後，在第八章中我們研究運動介質中的電磁現象，這祇限於介質速度比光速為小的情況。

* *

*

在物理學的那些俄國和蘇聯學者有着特殊貢獻的部門中，電學是其中之一。但是在物理學通史及電學史的許多專著中俄國科學所起的歷史性的作用反映得十分不夠。因而在開始電學理論的教程之前即使是簡略地敘述一下俄國學者在這一方面最重要的功績也是完全合適的。

在這簡述中，我們決不企求敘述的完備，而祇想指出某些主要的標識。同時，祇能限於構成本書主要內容的那些問題，即宏觀電動力學的問題。而電子論的問題，以及電學一般學說的諸特殊部門在本書中祇是局部的牽涉到，因為研究它們的歷史發展就會使我們離主題太遠。

在十八世紀之前所有關於電的知識幾乎不外乎是：因摩擦而帶電的諸物體相互排斥或相互吸引。在十八世紀中，發明了萊頓瓶，奠定了研究天電的始基，發現了電的生理影響（伽伐尼）。

天電的發現，或者，說得更精確些，雷雨的雲是帶電的和閃電是電的火花實驗證實是在 1752 年。

在次一年彼德堡的院士——物理學家黎赫曼已着手不接地避雷針的實驗。

1753 年的夏天偉大的俄國學者 M. B. 羅蒙諾索夫(1711—1765)做了“雷的機器”的實驗。經過幾個月以後，M. B. 羅蒙諾索夫在科學院的公開會議上宣讀了“論由電力而產生的空氣現象”，他用上升和下降的空氣流中“水汽小粒子的摩擦”來解釋天電。

在那個時代，電的現象通常歸之於特殊的、沒有重量的電“流體”的作用(一種流體或兩種流體——單流體說和兩流體說)。和當時大多數物理學家不同，M. B. 羅蒙諾索夫不用沒有重量的流體去解釋電現象，而認為電和光一樣，是由以太的運動所引起的(它的論文“用數學方法研究的電學”就是討論這一問題的)。

在十八世紀電的理論的發展中彼得堡的 Ф. 愛賓諾斯院士(1724—1809)起着顯著的作用，特別是，他第一個解釋了靜電感應並用實驗證明了他的解釋的正確性，用這種實驗的方法感應起電第一次得以實現。

伏打電池的發現是電學發展中極重要的一步。伏特關於這一發現的第一次報導是在 1800 年，而在 1802—1803 年中彼得堡醫學——外科科學研究院的教授 B. B. 彼特羅夫用“極為巨大的電池組”做了一系列的，以謹慎和深思熟慮著稱的實驗。在這些實驗中特別重要的是他首先發現和記述了後來被稱為伏打弧或電弧的現象。很長一段時間人們錯誤地將這一發現歸功於戴維，而他僅祇在 1810—1812 年間才發現和描述了電弧的現象。在得到電弧之後，B. B. 彼特羅夫詳細的研究了它的性質，並指出用電弧來照明和熔化及銲接金屬的可能性。到現在電弧的這些實際應用起着很重要的作用。

1815 年 B. B. 彼特羅夫被選為科學院院士。他在科學院中的繼承者是約內瓦城(現今的塔安城)人 Д. X. 楞次(1804—1865)，他是那個時代最傑出的物理學家之一。1831 年法拉弟發現了電流的電磁感應現

象，而在 1832—1833 年中 $\Theta. X.$ 楞次就做了一系列非凡的實驗，在這些實驗中他不僅闡明了感應電流的強度和銜鐵繞組的線匝數（電流就是在這一繞組中感應而生的），和銜鐵的截面等等的關係，並同時發現了確立起導體在磁場中運動時感應而生的電流的方向和導體作這一運動時所發生的有質動力的方向之間相互關係的定律（見 § 79）。這個楞次定律，由於它的一般性和簡單，直到今日還保有它的全部意義。

祇有想像當時科學的情況才能够了解，在電磁感應現象發現後的次一年這一定律的發現是多麼大的成就。要知道在 1834 年物理學家李奇還曾主張和楞次定律恰好相反的定律的正確性；而在 1839 年楞次不得不用實驗來證明感應電流的性質和“伏打及伽伐尼”電流的性質是相同的，因而駁斥了物理學家載·拉利夫等人相反的論斷。

在楞次其它的工作中必須特別指出他的非常精密而全面的關於電流放熱的研究。楞次的這些研究確立了三年之前焦耳所發現的定律的正確性；它們的意義是這樣的大，以致這一定律（見 § 35）公道地說應該稱為焦耳-楞次定律。

楞次的某些工作是和卓越的發明家——電工技師 B. C. 雅可必（1801—1874，1839 年他開始在科學院工作）一起做的。B. C. 雅可必建造了世界上第一架磁電機，這一磁電機在 1838 年得到實際的應用：它推動載有 14 個人的小船沿尼瓦河逆流而上。就在這同一年，B. C. 雅可必發明了電鍍——整個電化學的始祖。

十九世紀後半葉電學的發展是和以近距作用原理為基礎的新的電的理論——電磁場論的產生和為爭取這一理論的被承認而進行的鬥爭非常緊密地聯系在一起。

一羣傑出的莫斯科物理學家——A. P. 史托列多夫 H. A. 烏莫夫，И. H. 列別捷夫——不僅一開始就堅決地站在新理論的立場上（這一理論完全符合他們在物理上的世界觀），並且在為新學說爭取勝利的鬥爭中起着極重要的作用。

莫斯科大學教授 A. Γ. 史托列多夫(1839—1896)以其光電效應和氣體放電方面的工作最為著稱，他在這方面的工作確立了這些現象的基本定律。然而光電效應和氣體放電屬於超出本書範圍之外的電學部門。因而我們敘述 A. Γ. 史托列多夫某些別的工作。

史托列多夫的第一件實驗工作是用比早先所用的更為精確的方法去量度電磁單位和靜電單位的比值。這些量度的重要性在於：整個光的電磁理論奠定在上述兩單位之比等於光速的假定上。史托列多夫的量度給出和光速接近的數量；可惜他沒有能將量度進行到底。

在史托列多夫之前各種物質的磁化率是以圓柱形樣品或在最好的場合，以近似的橢球形樣品來研究的。史托列多夫首先以環狀的樣品來測量鐵的磁化率，這樣就避免了樣品末端的去磁作用(1871年)。用這樣的方法史托列多夫發現了非常重要的事實，即，磁場強度增大時鐵的磁化率起先也增長。達到一最大值，然後開始減小。史托列多夫進而指出，如果在以橢球形樣品所作的某些舊的量度中在結果的處理時考慮到去磁因子，那麼這些量度和他自己的量度就得到一致。

磁化曲線的重要性(特別是對電工學)和 A. Γ. 史托列多夫這些研究的意義是十分明顯的。上述的工作是 A. Γ. 史托列多夫在 1872 年用來考受博士學位的論文。

經過兩年之後還是在莫斯科大學中，H. A. 烏莫夫以“能量在物體中的運動方程式”為題來考受博士學位。作者這樣地表述他的任務：“能量從一個媒質元到另一個媒質元的傳輸的定律祇是對於特殊的運動形式才經確定。本文的任務是根據普遍原理去建立能量在媒質中運動的學說”。從能量守恆律及能量在空間定域的觀念出發，H. A. 烏莫夫引入非常重要的新的概念（這一概念我們現在以術語“能量流”來表示）而寫出能量運動的普遍定律，用近代的符號來寫這一定律是

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -\operatorname{div} \mathbf{s},$$

式中 w 是能量密度，而 S 是能量流^①。作者本人祇將他的理論應用到彈性論和流體動力學的問題中；然而他的工作具有非常大的方法論的意義而作為進一步研究的基礎，特別是，作為坡印亭在 1887 年所表述的電磁能量運動定律的基礎。不導電媒質中的坡印亭定理在形式上和烏莫夫方程式一致；然而，坡印亭必須要確立電磁能量流矢量和電場強度及磁場強度的關係。

最老練的實驗家——物理學家 II. H. 列別捷夫(1866—1912)繼承 A. T. 史托列多夫和 H. A. 烏莫夫擔任莫斯科大學物理講座。他第一次用實驗證明了光壓的存在(1900 年，見 § 103)，在實驗中他克服了從疊合於其上的更強烈的副效應(特別是輻射度的效應)中確實地區分出微弱的光壓效應時所遇到的極大的困難。這一非凡的工作使他名滿全球。

必須強調，II. H. 列別捷夫這一工作的結果對於整個電的學說具有極大的、原則上的意義。例如，著名的英國物理學家愷耳文(B. 湯姆孫)說過，他不承認光壓而和麥克斯韋門爭了一輩子，祇有列別捷夫的實驗才使他降服。

值得注意的是，在 II. H. 列別捷夫用實驗證明光壓的存在的前一年，另一位俄國學者——由列夫斯基(戴特斯基)大學的教授 A. 沙多夫斯基——從理論上預言光的另一種特殊的機械作用的存在：使光的偏振面轉動的物質應當從光得到某一轉動衝量(見 § 104)。A. 沙多夫斯基所預言的這一微細的效應直到 1936 年才被美國人貝特用實驗證實。

除了列別捷夫在光壓上的光輝的工作以外，必須指出他對電磁波在介質中折射的研究，在研究中他應用了波長不過 6 毫米的電磁波。後來在他的領導下 A. P. 科利(1909)改進了激發波的方法，因而得到微電磁波在液體中散射的有價值的數據。

大約在這幾年(1903—1904)，II. H. 列別捷夫的朋友，莫斯科的

① 烏莫夫不用 S 而到處寫 $v w$ ，這兒 v 是能量運動速度。能量流概念的這一詳細規定遠不總是許可的，然而要擺脫這一點並不困難。

物理學家 A. A. 愛享瓦耳德做了一系列很精巧的，運動物體中電磁現象的實驗研究。A. A. 愛享瓦耳德的這些實驗（在 § 111 和 § 113 中將詳細地加以描述）推翻了赫芝經典理論的推論而在相對論的實驗基礎中起了很重要的作用。

和這些物理性質的研究同時，不得不指出電工學的發展。在電工學許多最重要的部門中俄國電工學家是開路先鋒。最初實際可用的、電照明的源泉是 П. H. 雅不羅其可夫（1847—1849）的電燭；和 A. H. 羅特金（1847—1923）的白熱燈，M. O. 多利佛-多不羅夫耳斯基（1862—1919）第一架三相發電機和電動機等等是俄國電工學家的勞績。

無線電報是俄羅斯的光輝的發明。

1895 年 5 月 7 日在彼得堡水雷士官班的教授 A. C. 波波夫第一次表演了不用電線傳送莫斯電碼符號。在同一年他已經能在幾十米的距離傳送信號，而在次一年（1896 年）世界上第一次的無線電報已經在 250 米的距離被他所傳送了。這樣就產生了近代的無線電工學。

大家都知道，無線電技術不僅具有頭等的實用價值，並且在無線電波區域內的研究具有很大的純科學的價值。說到這裏應該指出現今仍健在的莫斯科大學教授 B. K. 阿爾卡捷夫在 1913 年所開始的一系列的工作，他細心地研究了鐵磁體的磁導率和頻率的關係，因而在這一現象中確立了許多普遍的規律。

在我們電的學說在俄國發展的簡短的敘述中，我們接近了偉大的十月社會主義革命的時代。在蘇維埃的時代物理在我國發展的速度是異常地加快了，科學研究的範圍和規模有着驚人的增長。

同時電的一般學說已分化成許多專門的部門。實質上，可以認為，到這一世紀的二十年代一般宏觀電動力學的結構已基本完成，而研究工作的中心轉移到電子論，物質構造、或電學專門部門（無線電工學、氣體放電等等）的領域中。這類問題的闡明超出本書範圍之外，因而這類問題的歷史簡述也超出本書範圍。畢竟不得不強調，蘇聯物理學

家不僅有許多第一流的發現，而且在許多重要的部門中在世界上佔有領導地位。

作為一個例子可以指出關於無線電波傳播的一系列光輝的工作，(Л. И. 曼特耳西塔姆，Н. Д. 巴巴列克西，В. А. 夫外丁斯基，В. А. 福克，М. А. 列昂托維奇等人)。或關於鐵電現象大規模的探討(И. В. 哥爾查多夫 И. И. 科別科，В. М. 伍耳等人)等等。

物理發展、特別是電學各部門發展的蘇聯階段在紀念十月革命三十周年的許多文章中都有闡明^①，我們介紹讀者去找這些文章來看。

① 物理科學的成就 XXXIII 卷第1-4期，XXXIV 卷第1期，XXXV 卷第3期。

上册目錄

緒論 三六〇八/四 (1-9)

第一章 真空中固定電荷的電場 1

§ 1 庫倫定律 1

§ 2 電場 5

§ 3 高斯定理 7

§ 4 帶電面的電場 10

§ 5 電場中的導體 15

§ 6 電場的源頭、面散度 18

§ 7 電力的功、功和路程形狀的無關性、矢量 E 切線分量的連續性 23

§ 8 靜電場的勢 27

§ 9 電容、電容器 33

§ 10 靜電勢的梯度、力線 37

§ 11 柏松方程式和拉普拉斯方程式 41

§ 12 體電荷和面電荷的勢 45

§ 13 靜電學的典型問題 52

§ 14 偶電層 55

§ 15 電荷的相互作用能 60

§ 16 電場的能量 64

§ 17 有質動力 70

§ 18 從能量表示式決定有質動力 73

§ 19 電體系的不穩定性、約束 78

第二章 電介質 82

§ 20 電介質 電矩和中性分子的電勢 介質的電極化 82

§ 21 自由電荷和束縛電荷、有電介質存在時電場的勢、電極化和電場的關係 86

§ 22 電感應矢量、任意媒質中場的微分方程式、感應線 90

§ 23 均勻電介質中的電場 95

§ 24	電介質存在時場的直接計算(在最簡單的情況下).....	98
§ 25	物理量的微觀值和宏觀值	102
§ 26	藉助於微觀場的平均來推得電介質中場的方程式	105
§ 27	兩類介質、似彈性偶極子	108
§ 28	作用在偶極子上的場和平均場的區別	111
§ 29	分子電矩為恆量的介質的極限、介電常數和溫度的關係	115
§ 30	介質內的電場能	121
§ 31	和介質電極化相關聯的能量轉換、電場的自由能	124
§ 32	電介質內的有質動力	131
§ 33	體積力的歸結為張力	137
§ 34	電場的張力張量	142
第三章 恆定電流		150
§ 35	金屬中的電流、歐姆定律和焦耳定律、電壓	150
§ 36	電流密度、歐姆方程式和焦耳方程式的微分形式	154
§ 37	電流穩定的條件、連續性方程式、電流管	157
§ 38	外來電動勢、似線電流、克希霍夫第二定律	161
§ 39	電路中的能量轉換、接觸電動勢	166
§ 40	金屬電子論的基本觀念、托爾曼實驗	173
§ 41	導電性的電子論、經典理論的困難、索莫菲理論	177
第四章 恆定電流的有質動相互作用和它們的磁場(當磁化媒質不存在時)		185
§ 42	電流的磁場	185
§ 43	電流元的相互作用、電動常數	189
§ 44	從線電流到截面非無限小電流的過渡	193
§ 45	羅倫茲力	196
§ 46	磁場的矢勢	201
§ 47	磁場的微分方程式、磁場強度的環流	205
§ 48	勢場和無散場、電場微分方程式和磁場微分方程式的對比	207
§ 49	電流磁場中的邊界條件、面電流、面旋度、無限長螺線管的場	208
§ 50	閉合電流在磁場中所受的有質動力、電流在外磁場中的勢函數	214

§ 51	電的有質動相互作用、互感係數	218
§ 52	自感係數、電流組的總勢能	223
§ 53	磁力線	227
§ 54	渦旋(磁)場的拓撲學、假想壁障	231
§ 55	磁殼·它們和電流的等效性	235
§ 56	電流的磁矩、元電流和磁偶極子	241
§ 57	元電流的場和元電流所受的力的直接決定	244
§ 58	有關磁的本性的各種觀念的進化、電子的自旋	251
§ 59	絕對(高斯)單位系統和其他的單位系統、電動常數	255
附錄	矢量分析	J
	矢量分析中最重要公式	37
	習題解答	40