

高等学校教学用书

物理学教程

第二卷 上册

Н. Д. 巴巴列克西主编

高等教育出版社

高等学校教学用书



物 理 学 教 程

第二卷 上册

Н. Л. 巴巴列克西主编
朱竹林 刘国楨译

高等  出版社



本書係根據蘇聯國家技術理論書籍出版社（Государственное издательство технико—теоретической литературы）出版的 Н. Д. 巴巴列克西（Н. Д. Панаевский）主編的“物理學教程”（Курс физики）第二卷 1948 年版譯出的。原書經蘇聯高等教育部審定為高等工科學校及國立大學物理—數學系教學參考書。

本書（第二卷）暫分上、下兩分冊出版。

本書上冊（第四編）由大連工學院普通物理教研室朱竹林（第一章至第七章）劉國楨（第八章至第十三章）譯出。

物 理 學 教 程

第二卷 上冊

Н. Д. 巴巴列克西主編

朱竹林 劉國楨譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

（北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號）

國光印刷廠印刷 新華書店總經售

書號 13070·40 開本 650×1168 1/32 印張 10 11/16 字數 256,000

一九五五年五月上海第一版

一九五七年一月上海第五次印刷

印數 12,001—13,500 定價（8）¥ 1.20

第二卷上册目錄

第四編 電學

第一章 緒言	1
§ 1. 麥克斯韋以前時期的電學	1
§ 2. 麥克斯韋理論	2
§ 3. 電的原子	3
§ 4. 電子理論	5
§ 5. 電磁場	7
§ 6. 微觀與宏觀的基本概念之間的關係	9
§ 7. 導體	10
§ 8. 電介質	11
第二章 電場	13
§ 1. 靜電學	13
§ 2. 庫侖定律, 電荷的單位	14
§ 3. 電場強度	17
§ 4. 電力線	18
§ 5. 導體上電的平衡	20
§ 6. 電荷的靜電感應	23
§ 7. 電介質的極化	25
§ 8. 極化, 介電常數與電感應	29
§ 9. 均勻電介質中的電場	33
§ 10. 感應通量, 高斯定理	37
§ 11. 帶電球體、圓柱體與平面的電場	40
第三章 電位, 電場的能量	45
§ 1. 電力的功	45
§ 2. 電位	47
§ 3. 電位單位	50
§ 4. 等位面	50
§ 5. 電場強度與電位差的關係	52
§ 6. 電容	55
§ 7. 電容的單位	57
§ 8. 平面電容器的電容	58

§ 9. 電容器的串聯與並聯	60
§ 10. 電場的能量, 能量的體密度	61
§ 11. 電場的有質動力	64
§ 12. 靜電計	68
第四章 恆定電流	72
§ 1. 電流發生的條件	72
§ 2. 電流強度, 電流強度的單位	73
§ 3. 歐姆定律	75
§ 4. 電阻的單位	77
§ 5. 電流密度	77
§ 6. 電流電路中電位的分佈	78
§ 7. 基爾霍夫定律	81
§ 8. 基爾霍夫定律的幾種應用	83
§ 9. 焦耳熱	87
§ 10. 電流電路中的能量轉變	91
§ 11. 導體外的電場	93
第五章 金屬體中的電流	95
§ 1. 電子的導電性	95
§ 2. 歐姆定律	97
§ 3. 電阻隨溫度的改變	100
§ 4. 超導電性	102
§ 5. 導熱性與導電性之間的關聯	103
§ 6. 焦耳-楞次定律	105
§ 7. 熱電子的發射	106
§ 8. 接觸電位差	108
§ 9. 熱電現象, 塞貝克現象	111
第六章 電解質中的電流	115
§ 1. I 類和 II 類導體, 離子的導電性	115
§ 2. 溶液中分子的離解, 奧斯特瓦爾德定律	115
§ 3. 離子的遷移率, 對於電解質的歐姆定律	119
§ 4. 電解, 副化學反應	122
§ 5. 法拉第定律	124
§ 6. 電子的電荷	127
§ 7. 伽伐尼電池	129
§ 8. 電極的極化, 標準電池	133
§ 9. 蓄電池	135

第七章 氣體中的電流 138

- § 1. 氣體的導電性 138
- § 2. 高壓下被激的導電性 139
- § 3. 高度真空中被激的導電性，電子管 142
- § 4. 陰極射線 146
- § 5. 自激的導電性，電離電位 149
- § 6. 高壓(通常壓力)下的放電，無聲放電 152
- § 7. 稀薄氣體中的放電 157

第八章 磁場 165

- § 1. 前言 165
- § 2. 磁荷 166
- § 3. 磁場強度及其單位 168
- § 4. 畢奧-薩伐爾定律 170
- § 5. 電流磁場的例子 174
- § 6. 洛倫茲力 175
- § 7. 由陰極射線在電磁場中的偏移以測定電子的荷質比 177
- § 8. 磁場的有質動力 179
- § 9. 在磁場中的通電流的導線框 182
- § 10. 電流相互作用的有質動力 186
- § 11. 磁場強度的環流 190
- § 12. 螺線管的磁場 193

第九章 物質內的磁場，磁質 195

- § 1. 物體的磁化 195
- § 2. 磁感應，磁質中的磁場強度 196
- § 3. 順磁性、抗磁性及鐵磁性 199
- § 4. 順磁質與抗磁質的磁化 201
- § 5. 在均勻磁質中的電流的磁場 203
- § 6. 基於磁荷概念的磁場理論 204
- § 7. 永磁鐵與螺線管 207
- § 8. 非均勻磁質中的磁場，磁感應通量 210
- § 9. 電流之間及磁鐵之間的有質動力 214
- § 10. 地磁 216
- § 11. 磁滯 218
- § 12. 磁路 223

第十章 電磁感應，準穩電流 229

- § 1. 電磁感應 229
- § 2. 導體在磁場中運動而引起的電動勢 230

§3. 感應電動勢與有質動力	234
§4. 在磁場中轉動的導線框	236
§5. 變電流	237
§6. 在固定導體中的電磁感應	242
§7. 準穩電流	244
§8. 電流的互感應	246
§9. 自感應	248
§10. “電動”能	250
§11. 傅科電流	252
§12. 在有電阻與電感的電路中的電流	254
§13. 有效電流強度、有效電動勢與有效電壓	258
§14. 交流電的功率	262
§15. 兩個具有電阻及電感的電路的感應耦合	267
§16. 轉動的磁場	271
第十一章 ✓ 麥克斯韋理論	273
§1. 電磁現象的基本定律	273
§2. 位移電流	275
§3. 非封閉電路內的變電流	281
§4. 終結的意見	283
第十二章 電振盪	286
§1. 在有電容器的電路內的準穩電流	286
§2. 有電感、電容與電阻的電路	288
§3. 沒有電阻時的自由電振盪	289
§4. 有阻尼的自由振盪	293
§5. 強迫振盪，共振	295
§6. 交流電路的電阻	299
§7. 電的自振盪系統，電子管發生器	303
§8. 電子管放大器	307
第十三章 電磁波	310
§1. 電磁波的輻射	310
§2. 赫茲振盪器，輻射器的波區	312
§3. 電磁場的能通量	314
§4. 電磁波的壓力	318
§5. 電磁波的顯現與研究	320
§6. 無線電訊	324
電學量與磁學量的單位制	328

第四編 電學

第一章 緒言

§ 1. 麥克斯韋以前時期的電學 現今的電學知識所涉及的各種現象範圍是很廣泛的。它不僅是許多物理理論的基礎，而且也是像電工與無線電技術那樣重要的實用領域的基礎。

當然，電學知識的這種成果並不是一下子就取得了的。這門知識的發展基本上可以分成三個階段：積累事實並確立電磁現象的若干基本定律而尚未聯繫成爲一個系統的麥克斯韋以前的時期，麥克斯韋理論時期與電子理論時期。

關於電的知識是起始於某些物體在摩擦後帶電的發現——被毛皮或絲絹所擦過的這些物體上出現吸引輕物的能力。這是由英國的一位物理學家威廉·吉爾伯特所發現的，並已在他 1600 年所發表的大著“論磁鐵”中描述過^①。後來對帶電物體相互作用的觀察發現電有兩種，稱爲“正電”與“負電”。帶同種電的物體相互推拒，帶異種電的物體相互吸引，這個規律也被確定了。第一個對電的吸引力與推拒力進行量的研究的是庫倫(1785 年)，他並且確立了這類力的作用定律。基於這個定律電學便可以運用電荷或電量的明確概念。

1789 年伽伐尼曾以青蛙肌肉的收縮進行了一個有名的實驗，不久伏打(1792 年)對於這個現象作了解釋，認爲其原因是在於一種特殊的“電的激發力”，這種力發生於異類金屬的接觸處，並在它

① 琥珀有這樣的性質在古希臘時就已經知道了。吉爾伯特在許多別的物體上也曾發現有這樣的性質，並稱之爲帶電。這個名字是從希臘字“электрон”(意爲琥珀)得出來的。

們的裏面引起“伽伐尼”電流，或者，如果用我們現在所說的語句，那就是在於一種接觸電位差的緣故。這樣便發現了“伽伐尼”電池與電荷的運動——電流。

在上面提到的吉爾伯特的“論磁鐵”的研究中，又總結了當時已知的全部有關磁學的知識。天然磁鐵（磁鐵礦 Fe_3O_4 ）的存在遠在古希臘時（法列斯，公元前 600 年）便已知道了。

在吉爾伯特以前，人們已經知道關於磁的極性。吉爾伯特確定了磁與電的推拒和吸引按其本性是完全不同的，而磁學與電學在一個很長的時期裏——兩百多年——仍然沒有聯繫起來。

電流對磁針作用的發現（奧斯特，1820 年）在電學理論上開展了新的一頁——關於電流帶有磁性的學說，這種學說使磁學可包括到電磁現象的統一理論中去。在這個時期中，對於電流及其性質方面研究得非常緊張。歐姆、安培、沙伐爾與畢奧的研究，都屬於這一時期；而法拉第的科學活動也在這時期開始了。

在法拉第的科學遺產中有兩個發現佔有特殊的地位：第一，電流的感應現象（1831 年），是整個電工學的基石，同時也是全部電學的基礎之一；第二，電解現象（1834 年），是引向物質電結構的研究道路上的第一步，也是電化學的基礎。還有關於電場與磁場的觀念也是屬於法拉第的，這些力場圍繞在帶電體，磁化體以及有電流流過的物體的四周，同時表現在這種物體間的相互作用上。法拉第設想，電場和磁場是一種無所不透的沒有重量的介質——電磁以太——的特殊（變了形的）狀態。

§ 2. 麥克斯韋理論 麥克斯韋的理論產生於上一世紀的六十年代中。

這個理論概括了以前所發現的宏觀物體間電磁相互作用的定律，並且使這些定律成爲一個嚴整的系統。

電磁場理論係堅實地成爲電學基礎的麥克斯韋理論的主要成

就。把電場與磁場間的關係完全揭露並把這兩種場所遵從的定律（麥克斯韋方程式）從數學上表述出來的也正是麥克斯韋。

由麥克斯韋理論得出的基本推論之一便是：所有電磁場的變化都不是瞬時傳播的，而是有一個遲滯，在從空間的一個區域到鄰近的另一個區域時，是以有限的速度傳播的。這個速度等於麥克斯韋方程式中某一恆定的係數，其數值可由電學的測量決定。用這種方法求出來的數值與用光學方法量得的光速互相符合。這個情況對於麥克斯韋來說曾是創立光的電磁理論的一個直接啓發，而關於這個理論在以前僅祇有一些大膽猜想（安培，法拉第）的意見。這樣一來，光學便成了電學中的一個組成部分了。

電磁波存在的實驗證實與用電學方法獲得它的可能（赫茲，1887年）是麥克斯韋理論的決定性的勝利。現代的無線電技術便是依於這種波的利用。

可是麥克斯韋理論祇是現象的理論，它把物體的電和磁的性質視作是由實驗給定了的，而沒有提到這些性質的本質問題，沒有提到這些性質對分子與原子的物質結構的關係問題，這是一方面，另一方面也沒有提到對分子與原子本身的電結構的關係問題。

當在法拉第的電解定律中已在電荷與物質的聯系的存在上含有了直接啓示的時候，電學是不能不去研究這種聯系而停留在原先理論上的。爲了闡明電解以及許多較晚發現的電磁現象（包括光學的現象），麥克斯韋理論便顯得不夠了。

§3. 電的原子 差不多一直到十九世紀末年，電還是被想像成爲一種無重量的液體（流體）。

關於電的流體是粒狀的抑是連續的問題，那時還沒有實驗的依據。這個問題在某些方面基於各種間接的有時甚至是幼稚的考慮曾經有過解決。例如佛蘭克林把電的流體（“電火”）視爲微細的顆粒，理由是電“甚至在最緊密的物質質點間穿過，也沒有顯著的

阻力”。

電的份體在自然界中存在的觀念是基於法拉第發現的電解定律上的。也正是基於這些定律，1881年赫姆霍茲才首先肯定地敘述出關於電荷不連續性(原子性)的假說，關於有最小且不可分割的電量的存在的假說。從這時起，古典電子理論便開始有了很大的發展，它衝破了麥克斯韋理論的藩籬，並在很多方面預示了電荷不連續性的直接實驗證實。許多這樣實驗的發現：如真空中的電子流，即“單純形態的電”(陰極射線)，極隧射線，熱體的電子發射(熱發射)，物體受光照射時的電子發射(光電效應)，稀薄氣體的導電，電-光現象和磁-光現象，以及放射性，都是電子理論的實驗基礎。所有這些現象都無可置辯地證明了原子與分子的電結構以及電荷的原子性與不連續性。

任何正電荷與負電荷都含有整數個不可分割的基元份體，這在今天已堅實地被認為是確定的了。每個這樣的份體(基元電荷)總是與物質的質點結合着。載荷基元負電荷的質點叫做電子。實驗指出，所有電子都是一樣的(不僅電荷一樣，而且電子的其他已知性質也都一樣，在特殊的情況下，當運動速度相同時，其質量也一樣)，與其原先的歷史沒有關係。每個電子的質量約比氫原子的質量小1838倍。基元的電量為 $(4.8025 \pm 0.0010) \times 10^{-10}$ 絕對單位(參見第二章，§2)。

原先祇知道一種基元正電荷的載荷者，即是氫原子的核或質子。質子的質量比電子的質量大得多，幾乎等於氫原子的質量。就電荷的絕對值而言，電子與質子是相等的。

不太久以前(1932年)還發現了一種基元正電荷的載荷者，其質量等於電子的質量。這種質點叫做正電子。

在一段相當長的時期內物理學界中統治着一種信念，認為電荷的存在，至少是最小電荷量的存在，是物質最細小(基元的)質點

的不可或缺的性質。可是實驗證實的並不是這樣。近乎與正電子同一時期，發現了具有和質子質量相同的質點，可是它不帶有電荷。後來知道，這類質點在原子核的構造中起着重大的作用，叫做中子。它們並不像最初所想像的那樣是一種質子和電子的緊密結合體，它們是一種基元的質點。

在原子和原子核物理發展很快的最近年代中，還發現了一些其他帶電的和中性的基元質點。

§ 4. 電子理論 古典電子理論的出發點是：物質的原子是一種由電的基元質點所構成的複雜組合。某些早先的理論也曾採用過關於電荷不連續性的假說與關於物質的電構造的假說（韋伯等）。洛倫茲的電子理論之所以不同於它們的是在於，它包括了麥克斯韋的電磁場理論：基元電荷產生遵從麥克斯韋定律的電磁場，同時這個場的本身反轉來對電荷也表現有很強的作用。所以在洛倫茲的電子理論中是把一切電場變化的傳播速度是有限的這一概念作了有機的引入，而上面提到的麥克斯韋以前的“電子”理論却是設想電力和磁力傳遞到任何距離都是瞬時發生的。

電子理論本身的任務就是要從組成物質的基元電荷的分佈、運動與相互作用來解釋物質的電的性質。

因之可以把電子理論分成下面幾個部分。

第一部分，是藉助於基元電荷所產生的電磁場（微觀的場，或簡稱為微場）研究出來的關於這些基元電荷以及它們相互作用的學說。

第二部分，是關於物質構造，關於在不同物質（例如導體與絕緣體）中並當不同物態時基元電荷所處情況的一定的假說。

第三部分，是從微電荷和微場到平均統計量的轉渡過程，這種統計量是表徵宏觀電荷以及宏觀物體的相互電磁作用的，因而，那就是說，是轉渡到我們在大多電學實驗中以及在電的實際運用中

所直接處理的量的過程。根據上面所講的，不難知道，電子理論與麥克斯韋的現象的理論之間有着怎樣的關係。

直接基於宏觀的實驗，麥克斯韋理論運用了宏觀的電荷與電場。而電子理論從電磁現象的微觀形象出發導出相應的量。這時，顯然地，在麥克斯韋理論與實驗相符合的地方，電子理論也應該導出同一的結果。尤其是，在同樣的問題（例如，大部分電工與無線電技術的問題屬之）上，可以而且也應該直接地運用麥克斯韋的現象的理論，而不必深入到這些現象的微觀的基礎上去。

可是電子理論對麥克斯韋理論未能包含的一些宏觀現象也應該給以解釋。在這方面，電子理論已獲得了極大的成功。

整個系列光學現象（光的色散與吸收，塞曼效應，偏振面的磁旋以及許多其他的現象）的解釋充實了光的電磁理論。用物質的電結構的觀點曾揭示了那些在麥克斯韋理論中表徵物質電、磁性質的現象“常數”（介電常數，磁導率，電導率）的意義，並表明了在哪種情況以及什麼樣的意義下它們才真正是常量。基於現代電真空技術的稀薄氣體中的電流學說已得到了堅實的理論上的支持。

可是在本世紀初古典電子理論踏入了大的困難時期。我們準備把這些困難的敘述留到本書的這一編和以後諸編的相當章節中去講。在這裏我們祇想講一下，正是古典電子理論困難的克服引起了物理學上的變革。這個變革發生在二十世紀的前二十五年中，它一方面與相對論的產生關聯着，另一方面與量子論及波動力學的產生也關聯着。

自然，這個變革並不意味着古典電學的“廢棄”。就像以往一樣，隨着新理論的產生與新現象的發現，便改變了很多基本的概念與理解，並明確了古典物理理論的運用界限。在這個界限的範圍之內，古典理論仍然保持其完整的效用。

麥克斯韋理論和古典電子理論的情形就正是這樣，尤其是，全部電工和無線電技術的基礎地方保持着沒有任何改變。關於物質原子的電的結構觀念，非但沒有絲毫動搖，相反地，却更加擴大並

深入了。不但如此，古典電子理論關於物質的結構與其中電過程的機構的許多具體概念，基本上在現代物理學中也保留了下來。

因此我們可以用現代電的學說來正確地理解古典電子理論，至少是它的主要原理部分。

因之本書這一編仍就古典電子理論來講述，當然，古典電子理論，在它可能受到限制的地方，是不能丟開現象的看法的。

§5. 電磁場 就像已經講過了的，在任何地方發生的電的過程，影響到遠離的物體，並不像麥克斯韋以前所設想的那樣是瞬時的，而是有一遲滯；也就是說，電磁的相互作用是以有限速度傳播的。所以，這個相互作用的傳遞是一個“從點到點”傳遞的空間中的物理過程（近距作用），而不是直接由一個物體傳到另一個物體的過程（超距作用）^①。

我們還知道，電磁場具有能量，它可以從空間的一個地方傳移到另一個地方，也可以依準確的當量轉變為另一形態的能量（反轉來進行也可以）。這時，物質的電的構造使得電磁場的能量具有非常的“能动性（подвижность）”和“靈活性（гибкость）”：電磁場能量可以直接轉變為我們所已知的任何形態的能量。

此外，電磁場還具有慣性（動量），電磁波會擠壓所遭遇的物體，這種波的單向發射器曾經受反方向的“反衝”等等。

所有這些都證實了電磁場的物理真實性，證實了它不是一種輔助的和形式的數學概念，而是一種客觀存在的實在。

現代的電的學說，一方面是與物質電結構學密切結合着，另一方面是與為電荷所產生並作用於這些電荷上的電磁場理論密切結合着。

① 超距作用很自然地是電的學說從牛頓的萬有引力理論引用過來的。直到現在，萬有引力的傳遞仍然是認為瞬時的。祇有在使萬有引力定律更精確的普遍相對論那裏才以新的語句敘述了：萬有引力也被發現是近距作用，是以有限速度傳播的。

如像已經講過的，法拉第把電場與磁場引進了物理學，認為電場與磁場是某種無重量的和無所不透的介質——電磁以太——的狀態。以太的概念在現今的電的學說上究佔有什麼樣的地位呢？提出這個問題是很自然的，因為現在有時候也還採用這個概念。

談到以太，一般上都關聯到它長遠歷史根源的概念，而這個概念是已被現代物理駁斥了的。

光的電磁理論破毀了以太的雙重性：光的機械論之前的傳以太與法拉第的電磁以太是相同的。可是這並未取消了以太的機械解釋的問題。這個有“最老蜘蛛”的——力學的——威望為其支柱的機械立場，在物理學上，連同整個上一世紀在內，統治了約兩百年。在光的電磁本性確立之後的幾十年中，許多想把電磁以太解釋為機械介質的徒勞無功的企圖，許多想把電磁學納歸於這樣介質的力學，亦即是想由力學定律獲得麥克斯韋理論基本定律的徒勞無功的企圖，仍在繼續着。所有這些企圖的一連串的失敗，正證實了這個機械的項目顯然是沒有原則性根據的，也說明了電磁現象的特殊性是反映在麥克斯韋的理論之中。可是在這個理論中，以太與物質之間仍無鮮明的界線：麥克斯韋理論中的以太祇是絕緣實物（電介質）中的一種，電力作用於以太上，正好像作用於其他電介質上一樣。發展麥克斯韋理論使之適合於運動物體，赫茲便很自然地得到了他的假定：充滿於任何物體所佔體積內的以太，在物體運動時，完全“跟隨”着後者，也就是伴隨着物體一塊兒運動。

電子理論在所謂有重量物體的動力學與以太的動力學之間劃了一條分界線；按照這個理論，以太是絕對靜止的（不跟隨物體），是不感受力的作用的。力祇作用在電荷上以及由這些電荷所構成的物體上①。

但是，採用了靜止以太的假說，電子理論仍然設想相對於以太的靜止與運動的概念還有意義。電磁以太與實物的介質在這一點上仍舊保有着某種類似。特殊相對論指出，不僅是實物的介質的動力學與以太格格不入，就是運動學也與以太不相適合：對以太一般不加以靜止和移動的概念，“相對於以太的速度”一語已沒有任何的物理含義。

物理學應該一步一步地放棄掉把以太硬加上實物的介質（固體的，液體的或氣體形式的）所具有的任何性質。以太觀念已被剝奪了所有的物理的含義——在較廣的或較深的電磁場概念中的含義。

① 有關以太運動的各種假定的建立將於以後再講（光學，第二十一章）。

在電磁場被視為狀態的時候(類似於速度場,也就是流動液體的狀態,或類似於應力場,也就是固體變形的狀態,等等),那麼,很自然地,關於狀態的物質體現者——以太——的概念便是必需的了。

但是物理在最近幾十年發展的結果(光量子的發現)把場不視為別的而視為狀態這一理解已不是不可避免的了。電磁場本身現在在我們面前扮演着一種特殊的物質形態,這一物質形態以電磁場這樣的形態而同時存在,就像實物一樣。因而以太的觀念就喪失了它的所有必要了。

§ 6. 微觀與宏觀的基本概念之間的關係 藉助於極普遍同時又很簡單而顯明的物質電結構的概念得以解釋物質的電與磁的主要性質。依據這些簡單的概念能夠以統一的觀點解釋廣泛的各種宏觀的電磁現象。這就是說,上述的概念是正確地反映了真實物體構造的主要特徵。

從微觀的觀點看,物體的電中和(不帶電)狀態就是在每一夠大的體積元中平均地含有等量的正、負基元電荷。“平均地”的意思是指,我們不計較某一體積中電荷數目上非常微小而且很快的變化(起伏)。這些變化的發生是由於這些電荷參與了無規則的熱運動所致。

對於個別的原子與分子而言,“中和”一詞僅用於這些質點在準確地含有等量正負基元電荷的情形下。由於這種平衡的破壞而具有過剩正電荷或負電荷的原子或分子稱為離子。除開過剩電荷的符號外,離子是由其價數來區別的,即是,如果離子的電荷等於 n 個基元電荷,也就是 n 個電子或質子的電荷,那麼這個離子便被稱為是 n 價的,當然, n 會是一個整數。

物體的帶電狀態是正負微電荷(電子與離子)抵償的大量破壞,也就是在該物體中(或在物體的某一部分中),為了某種緣故,

形成了一種符號的微電荷超過了另一種符號的微電荷。

如果微電荷除了雜亂的熱運動之外，不經受任何別的一往直前的運動，那麼由宏觀的觀點看，我們便獲得了靜的狀態——宏觀電荷的不變性和不動性。如果除去熱運動之外，微電荷還參與了大規模的規則的一往直前的運動，那麼我們便獲得了宏觀的電流。此時還可以區別開對流電流與傳導電流①，前者是宏觀的電荷與帶電體一塊兒移動，後者於微電荷相對於物體作有規則的一往直前的運動時發生。

§ 7. 導體 如像已經知道了的，所有的物質按其關於傳導電流的情況可以分成兩類——電導體與電解質（絕緣體）。電阻率的大小是此時區分的標準。關於電阻率以後將講到。上述兩類的分法不是絕對的，因為實際上並沒有任何明顯的界線：所有物質都介乎理想導體（電阻率等於零）與理想電介質（電阻率無限大）之間。可是，這種區分是適當的，因為：一方面在實用上，由於種類繁多的實在物質，它們的電阻率有很大的差別；另一方面在理論上，由於在有較大與較小電阻率的物質中，微電荷所處在的情況也有原則性的差異。

依據電子理論，導體的特徵是其中有極多的自由微電荷存在。自由電荷是這樣的電子與離子，它們可以很容易地在物體中移動。其結果是使得導體中的宏觀電荷具有易動性，或更準確點說，具有很小的電阻率。

全部金屬，以及具有有金屬光澤的金屬化合物均屬於導體。銀、銅、金是最好的導體。

金屬中的自由微電荷就是由金屬原子中分離出來的電子。相應的原子其餘部分——衆多的正離子——結合成晶體點陣，好像形成了金屬物質的骨架。自由電子擠在這點陣裏就好像氣體一

① 分子電流（極化電流與安培電流）我們以後在第九章與第十一章中再講。