

165723

瓦·彼·杜伯夫

# 物理學教程

(講義)

第二冊

電學

高等工業學校參考教材

東北工業部教育處出版

1953年

425

33  
~~420.77~~ 616/4425 (苏) 41571  
~~4425~~ T2K38 165723  
V.C.

# 目 錄

## 第 三 部 份

## 電 學

### 第 一 講 緒 論

- § 1 電在近代技術上以及在我們周圍物質世界的認識中的作用..... 1
- § 2 電學發展歷史概述 M·B·羅蒙諾索夫的研究..... 2

### 第 一 編 靜 電 學

- § 3 庫倫定律 介質的影響 ..... 10

### 第 二 講 電 場

- § 4 電場 電場強度 ..... 12
- § 5 點電荷的電場強度 ..... 12
- § 6 偶極子的電場強度 ..... 13
- § 7 偶極子的相互作用 ..... 16
- § 8 電感強度 ..... 17
- § 9 電力線 ..... 17
- § 10 電感通量 奧斯特洛格拉茨基—高斯定理 ..... 20
- § 11 奧斯特洛格拉茨基—高斯定理的應用 ..... 21
- § 12 兩帶電平行平板相互作用的力 ..... 24

### 第 三 講 電 位

- § 13 電場中功與路徑的形狀無關 ..... 25
- § 14 電荷的位能 電位 ..... 26
- § 15 電荷在電場中移動的功 ..... 27
- § 16 電場強度和電位間的關係 ..... 28
- § 17 等位面 ..... 29

|                      |    |
|----------------------|----|
| § 18 帶電球的電場的電位 ..... | 31 |
| § 19 電位的測定 .....     | 32 |

#### 第 四 講 電場中的導體和介電質

|                              |    |
|------------------------------|----|
| § 20 導體上電荷的分佈 .....          | 34 |
| § 21 感應起電 .....              | 35 |
| § 22 靜電屏 .....               | 36 |
| § 23 介電質的極化和這個現象的原理 .....    | 37 |
| § 24 介電質的極化係數 .....          | 39 |
| § 25 壓電現象 .....              | 40 |
| § 26 變電體 庫爾恰托夫和富爾的研究工作 ..... | 41 |

#### 第五、六講 電容 電場的能量

|                          |    |
|--------------------------|----|
| § 27 電容 .....            | 42 |
| § 28 容電器 .....           | 44 |
| § 29 容電器電容的計算 .....      | 45 |
| § 30 容電器的聯接 .....        | 50 |
| § 31 容電器的構造 .....        | 52 |
| § 32 帶電容電器的能量 .....      | 53 |
| § 33 電場的能量 電場的能量密度 ..... | 54 |
| § 34 電場是電能的負載者 .....     | 55 |

### 第 二 編 直 流 電

#### 第 七 講 電流概論 金屬導電的電子理論

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| § 35 電流及其產生條件 .....            | 56 |
| § 36 金屬導電的電子理論 .....           | 56 |
| § 37 電流的方向 電流強度 電流密度 .....     | 57 |
| § 38 適用於一段電路的歐姆定律 .....        | 59 |
| § 39 電源 電動勢 適用於閉合電路的歐姆定律 ..... | 61 |
| § 40 適用於一段不均勻電路的歐姆定律 .....     | 64 |
| § 41 電阻與溫度的關係 .....            | 65 |

|                 |    |
|-----------------|----|
| § 42 超導電性 ..... | 66 |
|-----------------|----|

## 第八講 含有分路的電路 電流的能量

|                           |    |
|---------------------------|----|
| § 43 克希荷夫定律 .....         | 67 |
| § 44 導體的串聯和並聯 .....       | 68 |
| § 45 電流的功及功率 .....        | 70 |
| § 46 楞次—焦耳定律 .....        | 71 |
| § 47 電流熱效應的應用 羅堆根電燈 ..... | 72 |

## 第九講 金屬接觸時的現象

|                        |    |
|------------------------|----|
| § 48 電子從金屬逸出所需的功 ..... | 74 |
| § 49 接觸電位差 伏打定律 .....  | 75 |
| § 50 熱電現象 熱電池 .....    | 77 |

## 第十講 電解質中的電流

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| § 51 電解 電解質導電 溶液的離解 副反應 .....           | 80 |
| § 52 法拉第定律 離子的電荷 .....                  | 82 |
| § 53 電解在技術上的應用 B.C.雅可必的發明 (電鍍和電鑄) ..... | 84 |

## 第三編 電 磁 學

### 第十一講 磁 學

|                          |    |
|--------------------------|----|
| § 54 天然磁鐵和人造磁鐵 .....     | 86 |
| § 55 磁化現象的物理實質 .....     | 87 |
| § 56 磁力的庫倫定律 導磁係數 .....  | 88 |
| § 57 磁力線 磁場強度和磁感強度 ..... | 90 |

### 第十二講 電流的磁場

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| § 58 奧斯特的實驗 螺旋法則 安培的假說 ..... | 93  |
| § 59 比奧—沙伐定律 .....           | 96  |
| § 60 電流強度的電磁單位 .....         | 99  |
| § 61 運動電荷的磁場 .....           | 100 |
| § 62 愛享華爾德測定運動電荷磁場的實驗 .....  | 100 |

|      |                |     |
|------|----------------|-----|
| § 63 | 磁荷環繞電流移動的功 磁通勢 | 101 |
| § 64 | 螺線管內部的磁場強度     | 102 |
| § 65 | 電磁鐵            | 103 |

### 第十三講 磁場對電流的作用

|      |                      |     |
|------|----------------------|-----|
| § 66 | 安培公式                 | 104 |
| § 67 | 電流間的相互作用             | 105 |
| § 68 | 均勻磁場對閉合電流線圈的作用 電流的磁矩 | 107 |
| § 69 | 電流在磁場中運動時的功          | 109 |
| § 70 | 磁場對運動電荷的作用           | 110 |
| § 71 | 電子的荷質比               | 112 |

### 第十四、十五講 電 磁 感 應

|      |              |     |
|------|--------------|-----|
| § 72 | 法拉第的實驗       | 115 |
| § 73 | 電磁感應基本定律的推導  | 116 |
| § 74 | 楞次法則         | 117 |
| § 75 | 渦流           | 118 |
| § 76 | 互感應          | 118 |
| § 77 | 自感應          | 120 |
| § 78 | 磁場的能量        | 122 |
| § 79 | 電能的遠距離輸送 變壓器 | 123 |

# 第一講 緒 論

§ 1. 電學在近代技術上以及在我們對周圍物質世界的認識上的作用 關於電及其獲得和性質的學說的發展，使人類發明了最廣泛地運用自然力的方法。的確，差不多現在在地面上進行着的一切巨大的機械工作都是靠電能來做的：工廠裡的车床，火車，無軌電車，起重機都用電動機來開動。作為光源和熱源來說，電的作用是很大的。晚間，城市和機場都用電燈的光來照明。大量的金屬在電爐中熔解。由於電的研究的結果，發現了現在廣泛地在醫學和技術方面應用着的，看不見的，能穿透物質的倫琴射線。最後，在克服地球上各地間距離的輝煌勝利：電話，無線電通訊，電視——所有這一些都是在電學知識的基礎上實現的。藉助於電氣裝置，遠距離的人可以開動並操縱着極複雜的機械。可以說，一切作為二十世紀技術的特徵的，在技術上與過去的世紀相區別的，一切近代技術上的“奇蹟”，包括原子能的應用，都是由於電學範圍內的發明而實現的。

在開闢了通向微小的堡壘——原子核的道路以後，學者們便證明了：在原子核中蘊藏着大量的能量，同時指明這種能量是可以應用的。

正如大多數的發現和發明一樣，原子能的發現開闢了兩種應用的可能性：一種是以創造為目的，另一種是以破壞為目的。很可惜地，這種新的科學成就以原子彈的形式作為一種巨大的破壞力量出現了。美帝國主義者在反對蘇聯以及各人民民主國家的戰爭中使用原子彈來威脅；以使用原子彈來威脅為自己的獨立而戰鬥着的愛好自由的朝鮮人民。但是我們深信，由於人民為和平、民主和社會主義制度而鬥爭的結果，這種破壞性的使用所造成的危險即將消除，而把這個發現使用於人類的幸福上將得到勝利。在蘇聯已經開始了原子能的和平使用，這種和平使用在將來將具有如此重大的意義，我們可以毫不誇大的談到新紀元——原子世紀，共產主義社會偉大的技術的力量。

不僅在技術上，同時也在自然界中常常遇到電力的強大表現：雷和電，北極光。

由此可知，每一個受了教育的人都必須獲得電現象研究工作方面的成功和作為電氣化的基礎的那些觀念的發展。物理課程中的電學部份便為這個目的開闢了道路。

任何一個高等工業學校的學生必須特別好地精通電學課程，因為沒有那一門工

工程師的專業不或多或少地與電的應用發生密切的關係。

要做一個有創造力的，能隨意運用電能的專家，（不是只會按現存的方案和圖樣來工作的專家）只有在很好地掌握了電學課程的基礎上才有可能，這是沒有什麼疑問的。

電的現象的研究，除了在使所有技術部門完全電氣化的問題上具有重大的意義外，在我們對周圍物質世界的認識當中過去和現在也都起着很重要的作用。藉助於精密的觀察，準確的測量，和天才的概括，以及許多研究電的現象的工作者的著作，創立了物質構造的電學理論。藉助於學者們勇敢而機敏的實驗，實現了多少世紀長遠的年代裡煉金術士們的幻想，並且用人工的方法創造了從前對於門德列也夫系統所不知道的新原子。原子核的構造的問題，原子核物理學，有許許多多的物理學家在研究，供給我們許多關於物質的組成中所包含的基本質點的新數據。在這些成功當中最出色的地方之一便是屬於蘇聯物理學家的。

**§ 2. 電學發展的歷史概述** *M. B. 羅蒙諾索夫的研究* 我們已經看到了電在技術上以及在對物質深刻的認識上，有着非常重大的意義。

很顯然的，電的學說這種重要的作用不是一下子取得的。在這個學說的發展中基本上可以分成三個時期：第一個時期始於古代而終於十九世紀中葉。這是一個積累事實和確立許多電的現象的基本定律的時期，但是這些定律還沒有聯繫成一個統一的系統。

第二個時期是與 1860 年發表的馬克士威的理論有關的，而第三個時期便關係到十九世紀和二十世紀之間發生的電子理論。

**電學發展的第一時期** 最初電的知識的發展是很慢的。

大約在 2500 年以前希臘的哲學學者法立斯偶然注意到，譬如說用毛皮摩擦過的琥珀得到吸引輕微物體如毛髮，羽毛，碎稻草等的性質。

這個有趣的事實在許多世紀的時間內始終是孤立着的；在整個中世紀的時期內也有許多人知道這個事實，但僅僅引起別人的驚訝。

一直到 1600 年左右，這個現象被英國的一位醫生吉爾培特推廣了。他在著作“論磁鐵”中描寫了一些實驗，根據這些實驗有一些其他的物質如玻璃，硫黃，松香也具有琥珀的性質：如果把它們摩擦過之後，它們便吸引輕微的物體。處於這個狀態的物體便稱為電化了的或帶了電的，原為希臘文“電子”就是指琥珀的意思。其他的物質，金屬和一切潮濕的物體，按照吉爾培特的觀察不能帶電並且被稱為不帶電的。可是不到一百年後（在 1729 年）格來對吉爾培特的觀察作了另一種解釋：金

屬在摩擦時也帶電的，但是電可以沿着金屬傳導。當我們手裡拿着一根摩擦過的金屬棒時，摩擦所生之電便分佈在整個棒上和整個我們的（包含有溫氣的）身體上，有時還分佈在房子的地板上和牆壁上。所以電比在琥珀上時表現得微弱得多，在琥珀上時電祇停留在摩擦過的地方。物體不是按照它們自己帶電的本領，而是按照它們傳導電的本領來區分的。物體可以分成兩類，即導電體和絕緣體。

若金屬安置在絕緣柄上，那麼它的電不致傳出去而金屬仍保持是帶電的。

與格來同時代的人賽弗作了很重要的發現——他們實驗確定了兩種電：一種是玻璃與呢絨摩擦過後玻璃上所帶的，另一種是松香或者硬膠皮與呢絨摩擦過後，松香或硬膠皮上面的電。相同的帶電物體互相排斥，帶不同電的物體互相吸引。因為這兩種電的作用彼此相反，所以把它們稱為正電和負電是最方便的了。因而用呢絨摩擦玻璃所生的電叫做正電，而松香或硬膠皮的電叫做負電。

如果用呢絨摩擦玻璃使玻璃帶正電，那麼這塊呢絨本身同時也帶了同樣程度的負電。

摩擦硬膠片時，硬膠片上顯負電，呢絨得正電。摩擦決不能產生一種符號的電，而祇是在互相摩擦的物體之間將相反的兩種電荷分開。當這兩種相反的電荷再結合在一個物體中的時候，它們互相抵消，同時一切電的性質也沒有了。

M·B·羅蒙諾索夫關於大氣電的研究是十八世紀中葉的事。A·B·羅蒙諾索夫最初是與里赫門教授一同做實驗的。

在羅蒙諾索夫和里赫門的屋子里設置了以前被稱為電機的儀器，現在最好叫它們為不接地的避電針。儀器就是一根將近兩米長的鐵條，置於屋頂上，從底被打掉了的瓶子裡穿過來，鐵條的一端接一鐵絲。鐵絲絕緣地引到室內，鐵絲的一端自由地懸一鐵尺，而鐵尺的上端懸一絲線，當鐵絲內有電時，絲線與鐵尺便分離開來，在有雷電的時候，它便“跟着手指移動”，從鐵尺上可以引出火花來。

1753年7月26日，在一次觀察的時候里赫門教授不幸地死於自鐵尺放出的球形閃電之下。羅蒙諾索夫仍不顧一切地繼續着他的實驗。在1753年11月在公開院會發表演說叫做“米哈依爾·羅蒙諾索夫所倡議的關於空氣的由電力中發生出來的現象的講話”。

這個講話的主要重心在於他所提出的空氣中電的形成的理論。

空氣的水平運動——風不產生電，而空氣的鉛直運動，即上昇和下降的氣流則由於蒸氣質點的摩擦可以產生電。

在1856年羅蒙諾索夫寫了一本巨著“用數學方法研究出來的電學理論”，這本書中得到了這樣的結論，認為電是運動很快的以太質點。

羅蒙諾索夫的研究對電的學說的發展具有特殊的意義，而他所敘述的某些思想還超過了他的時代。

庫倫（在1785年）進行了關於電的吸引力和排斥力的第一個量的研究。他確定了這些力的作用定律。基於這個定律，電的學說便可以應用電荷或者電量的明確概念。

在1789年格爾范尼曾經作了一個有名的關於青蛙肌肉收縮的實驗。不久伏打（在1792年）對這個現象作了解釋，認為這是由於一種特殊的“激電力”的緣故，這種“激電力”發生在兩種不同的金屬的接觸處，並在金屬中引起電流，像我們現在所說的，就是由於一種接觸電位差的緣故。這樣便發明了“電池”和電荷的運動——電流。

這裡還要提一下優秀的俄國學者，俄國電工學的創始人彼得洛夫·華西里·弗拉奇米洛維奇（1761—1843）院士的研究。

在B·B·彼得洛夫的時候許多最大的電池組中，有一個是他做成的，包含4200個銅鋅組合。B·B·彼得洛夫藉助於這個電池組，做過許多不同的實驗。

1802年發現電流通過炭極時產生電輝現象的功績是要歸之於彼得洛夫的。在過去這個發現錯誤地被認為屬於英國的學者台維，因為台維指出這個現象是在1810年就是說在B·B·彼得洛夫發現的八年以後。彼得洛夫所發現的現象後來被稱為伏打電弧，而更正確的應稱為彼得洛夫電弧。

B·B·彼得洛夫第一個得到了電弧，仔細地研究了它的性質：他確定了這種電弧用於照明的原則上的可能性，同樣也可能用於金屬的熔解與焊接。彼得洛夫電弧的這些性質是廣泛地被應用在近代電工學的各個部門。

在上面所提到的吉爾培特“關於磁鐵”的研究中已經給當時所有關於磁學的知識作了總結。自然磁鐵（磁鐵礦）的存在還是在遠古時的希臘人便已經知道了。（紀元前600年的法里斯）。

到吉爾培特的時候人們已經知道了關於磁的極性。吉爾培特確定了磁和電的排斥和吸引依其本性來說是完全不同的，同時磁學在很多的時間內——兩百年以上——一直是與電學互相孤立的。

電流對磁針的作用的發現（奧斯特1820年）開始了電學理論的新頁——關於電流的磁性的學說。它把磁學也包括在電磁現象的統一理論中。電流及其性質的研究在這個時期是特別緊張的。在這時期中有歐姆，安培，沙伐和畢奧的經典研究。同時期，法拉第的科學活動也開始了。

在法拉第的科學研究中有兩個發現是有着特殊的地位的：第一，電流的感應現

象(1831年)，這是全部電工學的主要基礎，也是整個電的學說的基礎之一；第二，電解現象(1834年)，這是引向物質的電的構造理論道路上的第一步和電化學的基礎。還有關於電場和磁場的觀念也是屬於法拉第的，這些力場圍繞在電化了的，磁化了的和有電流流過的物體周圍，也表現在它們中間的相互作用力上。

法拉第假想，電場和磁場是某種對任何物體都有穿透力的，無重量的介質——電磁以太——的特殊(變了形)的狀態。

俄國物理學家  $\Theta \cdot X \cdot$  楞次(1804—1865)和  $B \cdot C \cdot$  雅可必(1801—1874)的著名的研究也是屬於這一個時期的。

$\Theta \cdot X \cdot$  楞次院士的主要研究是關於電磁學方面的問題。他發現了電磁感應在導體中所產生的電流的方向的定律。這個定律在電學中大家是很熟悉的，叫做楞次法則。

$\Theta \cdot X \cdot$  楞次與焦耳彼此獨立地，同時用比焦耳更精確的實驗，確定了電流的熱效應的定律。這個定律在物理學中也是很熟悉的，名叫楞次—焦耳定律。

$B \cdot C \cdot$  雅可必院士的主要功績便是電鍍的發明。 $B \cdot C \cdot$  雅可必不愧被稱為俄國電化學的創始人。

$B \cdot C \cdot$  雅可必第一個造成了電動機並且曾用它來開動船和車輛。

$\Pi \cdot H \cdot$  雅布羅赤珂夫發明了第一個實際上適用於照明的熾熱燈。 $\Pi \cdot H \cdot$  雅布羅赤珂夫還和  $\text{И} \cdot \Phi \cdot$  烏薩根最先把變壓器用到實際中。 $\text{М} \cdot \text{О} \cdot$  杜力夫—杜布洛鄂夫斯基第一個在實際中引用三相電流。 $H \cdot \Gamma \cdot$  斯拉夫揚諾夫和  $H \cdot H \cdot$  賓那爾杜斯發明了電鐸。

**電學發展的第二時期** 在過去一世紀六十年代馬克士威理論的創立是物理學中另一個很大的進步。

這個理論綜合了以前所發現的物體相互間電磁作用的許多定律，並且使這些定律成為一個嚴整的系統。

馬克士威理論的主要成就，已經很鞏固地成為電學的基礎的，便是電磁場論。

馬克士威完全找到了電場與磁場間的聯系，還用數學構成了這些場所遵從的定律(馬克士威方程式)。

從馬克士威理論所推出的主要結果之一便是：一切電磁場的變化都不是利那間傳播過去的，而有一個遲滯，從一個空間到隣近一空間去時，是以一定有限的速度傳播的。

這個速度等於馬克士威方程式中的某一常數。而且可以用電的測量來求出它的數值。這樣求出來的數值與用光學方法測出的光的速度相符合。這一個情況對於馬克士威說來便是創立光的電磁理論的一個直接的啓發。關於這個理論以前僅僅是一些大胆的猜想。這樣一來光學便成了電學中的一個組成部份了。

馬克士威理論有決定意義的成功便是實驗證實了電磁波的存在和用電的方法得到電磁波的可能（赫芝1887）。近代無線電工學便有賴於這種波的應用。而無線電工學的創始人是俄國的學者亞歷山大·斯切潘諾維支·波波夫。

有名的俄國物理學家，莫斯科大學教授彼得·尼古拉耶維支·列別傑夫（1866—1912）的名字是和這解釋舊現象預言新現象的光的電磁理論的發展相關聯着的。Л·Н·列別傑夫主要的科學功績便是1900年關於光對固體和氣體的壓力的實驗測量，這個壓力還是在上一世紀七十年代裡馬克士威便已經從理論上預言了的。Л·Н·列別傑夫的這些實驗都具有高度的準確性與精密度。它們是物理學中實驗技術的典範，同時還會給予全世界的學者很深的印象。由於Л·Н·列別傑夫的研究馬克士威的光的電磁理論得到了普遍的承認。

Л·Н·列別傑夫所作過的光壓力的測量成了研究天文學中若干重要問題，尤其是研究慧星理論的基礎。

Л·Н·列別傑夫在物理學方面還做了許多別的實驗工作，其中包括地磁和短波方面的研究。

在本世紀初莫斯科大學教授А·А·愛享華爾德得用實驗證明了運動着的電荷，像電流一樣，也能產生磁場。

但是馬克士威理論把物體的電和磁的性質看作是從實驗所得到的，而沒有提出關於這些性質的本性，關於它們一方面與物質的分子和原子構造，另一方面與分子和原子本身電的構造的關係的問題。

電的學說是不能停留在這個理論上的，它沒有考慮到電荷與物質的關係，而在法拉第的電解定律中對這個關係的存在却已有了直接的指示。爲了說明電解現象，同樣地說明許多以後發現的電磁（包括光）現象，馬克士威理論便不夠了。

**電學發展的第三時期（電子理論）物質構造的電的理論** 差不多直到十九世紀末期，電還是被看成某種無重量的液體。

當時關於自然界有基之電量存在的這個觀念已經奠定在法拉第電解定律的基礎之上。也正基於這些定律，在上一世紀的八十年代，學者們都主張對於電也存在有一種分割的極限。

從這個時候起電子理論便開始有了很大的發展，它克服了馬克士威理論的狹隘性，並且預言到了許多電荷不連續性的直接實驗證明。許多這樣的實驗發現真空中的電子流（陰極射線），極透射線，白熱物體的電子放射（熱放射），光榮是屬於俄國斯捷列托夫教授的，物體受光照射時的電子放射（光效應），稀有氣體導電，光電現象和光磁現象，以及放射性等都是電子理論的實驗基礎。所有這些現象無可置辯地證明了電的微電性和不連續性，同樣也證明原子與分子的電的構造。

在十九、二十世紀之間，在許多基本發現的基礎上建立了物質構造的電的理論。

我們將簡單地介紹一下近代物質構造的電的理論的基礎，同時有了這個理論再來估計一下以前研究的現象的科學家所得到的那些原理和結論。

電是每個原子組成中的一種物質形式，當然也是分子組成中的一種物質形式。

在自然界中存在着兩種的（麥弗的觀點）。任一種電的量我們稱為電荷。電荷的相互作用表現在同性電荷互相排斥異性電荷互相吸引的形式上。每一個中性原子，即不表現電的性質的原子，包含着等量的兩種電——正電和負電（還保留着這老的名詞）。這些電荷是由相互間的吸引力維持住的。一種電，譬如說正電對第三者電荷的作用絲毫不差地與另一種電荷，即負電荷相反的作用相抵銷。正電荷集中在原子中央很小的體積，（ $r=10^{-13}$ 厘米）所謂原子核上。帶正電的原子核同時又是原子主要的質量的所在。在原子核周圍一個比較大的距離上（ $r=10^{-8}$ 厘米）有負電質點——電子在轉動，好像行星繞日的轉動一樣，它的質量很小，約比氫原子質量小1840倍，但具有等量的電荷 $4.8 \times 10^{-10}$  靜電單位的電量。

這個電荷是自然界中存在着的最小的電量，電的原子。如此，電子的電荷便是不變的常數。

• 在普通中性的原子中，原子核的正電荷等於所有電子負電荷的總和。

各種元素的原子，其原子核的質量和電子的數目各不同。最簡單的原子為氫原子。它含有原子核和一個電子。氫的原子核稱為質子。

質子帶有與電子相等的電荷，即 $4.8 \times 10^{-10}$  靜電單位的電量。質子的電荷是正電量可能的最小的量，就像是正電的電子。

不久以前（1932年）在實驗的特殊情況下曾經還發現了一種基本的正電荷的攜帶者——正子或正電子。這種質點具有與電子相等的質量和與電子電荷等值的正電荷。

在一個很長的時間內物理學界統治着一種信念，認為電荷的存在是物質的基本

質點的不可分割的性質。但是實驗證明並不如此。大約與正子同時，還發現了許多具有與質子相同的質量，但沒有電荷的質點。這些稱之爲中子的質點，是基本的質點，就是說它們不是質子與電荷的緊密結合，像最初所想像的那樣。

就在中子發現之後，1932年蘇聯物理學家，現在莫斯科大學教授D. D. 伊凡年克提出了原子的原子核係由質子和中子所組成的見解。

這種想法已經得到了完全的證實，原子核是由質子與中子組成的，這一點，現在可以說是完全確定了。同時質子的數量是與繞原子核轉動的電子數相等。

原子外面的電子主要地決定了原子的化學性質，稱爲價電子。

若有一個或數個自由電子離開了原子，則原子帶正電，因爲原子裡面正電量比負電量多了。

剩下的這個東西稱爲正離子。

丟失這些電子可以獨立存在，有時與中性分子相結合而形成負離子。游離作用可以由各種不同的原因而發生；那便是原子和分子的熱運動，紫外線，X射線的放射以及放射性物質的放射，溶劑的作用（在電解質中），機械的摩擦等。

熱運動和放射性輻射隨時隨地都有。所以在物體中經常地進行着游離的過程。但與此同時又進行着相反的離子和電子重新結合（化合）成中性分子的過程。在游離與化合作用之間造成一種平衡，結果在物體中除了中性分子以外還有一些正離子和負離子，同樣也有一些電子。整個物體仍爲中性，因爲其中正電荷和負荷電的量相等，同時它們是不規則地混雜在一起。

在金屬（和其他固體的導體）中這個游離和化合的過程特別容易發生。這裡面外圍電子與原子之間作用的力很微弱，以致在熱運動的影響下，平均在兩個相連的原子之間的空間中分出一個或兩個電子。這些“自由”電子在原子與原子中間以高速度在移動，可以重新參加原子的組成，又再從那裡跑出來，這樣地繼續循環。自由電子的運動完全與氣體分子的運動相似。這種電子“雲”，由於運動的完全不規則，包含着跑得快的和跑得慢的電子以及中間速度的電子。

這些電子在金屬中的運動就像毫無阻礙似的。

整個的金屬是中性的，因爲自由電子的負電荷和它們暫時與之分離了的原子的正電荷是相等的。

使一個導體帶負電，這就是說給它以超過於中性導體中已經有了的電子數的電子。同時這些電荷由於同性電荷相排斥的性質和電子自由移動的能力，必須位於導體的表面。

使導體帶正電就是說中性的導體上取出某些電子來。

導電性是由自由電子的存在所決定的。

在另外一類物體即絕緣體中，由於原子內部構造的特殊，外圍電子對原子核的吸引力相當大，故游離作用困難得多了，同時實際上電子就不能與原子核相脫離，也不能在原子核之間移動。所有這種情形下的電子叫做束縛電子。

如果在絕緣體的表面某處因為從外面帶來了許多電子而產生了過剩的電子，那麼這些電子也將與一定的分子互相束縛起來，同時負電荷也將只集中在表面上的這個地方而不致傳送到其他部份去。

另一方面，如果從絕緣體上取去某些束縛電子，即減少它們的正規數目，則所產生的正電荷仍將為局部的，而整個其他的表面分子仍維持其正常狀態。這樣在絕緣體的個別的表面部份可能得到靜止的電荷而仍維持周圍表面的正常狀態。這種情形特別是在兩個絕緣體相摩擦的時候便可以看到。由於摩擦的結果便發生了束縛電荷與某些分子的原子核相脫離的現象。

在原子構造的某些情形中，原子不僅能夠在其組成中保持其固有的電子，甚至還能吸引而且很牢固地維持一些多餘的電子，而成為負離子。這些多餘的電子是與兩個相摩擦物體中之一個從他一個物體（其中電子與原子核間的吸引力較弱的）分子中取出；或者更正確些說分出來的。這樣第一個物體便得到過剩的電子而帶負電，第二個物體失去一些電子而帶正電。

順便提一下，我們很早就有可能觀察和研究電的現象完全是由於絕緣體有保持電荷的性質。另一方面，正如我們所知道的，導體的性質使我們能夠經常地應用電能。如是雖然這兩種性質是完全對立的，而人類卻可以從中得到益處。

同樣也得指出來，由於多餘的或不足的電子的質量極其微小（電子的質量  $m = 9.1 \times 10^{-31}$  克）無論是正電荷或負電荷實際上並不改變物體的質量。

作為一個例子，我們已經解釋過摩擦生電的現象。而一般可以說，所有的起電現象或者與電子在一個物體中的移動有關：在一個地方電子的濃度增大了，而在另一個地方則對應地減少了；或者與電子由一個物體到另一個物體的轉移有關。

如此我們得到這樣一個普遍的原理，帶電現象必然發生於一個物體的兩部份上或者是兩個物體上，其中之一失去某些電子，而另一個物體便恰好獲得這些電子。

從這裡便得到結論：自然界總的電量是保持常定的，一切物體的電化過程，或者是一切電的獲得的過程，不是別的，就是電荷的重新分佈的過程。因為重新分佈就是在任何情形下電子必須脫離吸引它們的原子核（離子），故一切的電的獲得都伴隨著功的消耗。因而一切獲得的電量便是相當的電能量的儲藏。

一切用來分離相反的電荷，從而使兩物體帶電的裝置便叫做發電機。

如是，可以說，所有的發電機都是某種能量的消費者並將這種能轉化為電能。

在這個短的電學歷史的探討和直接從電子理論出發的物質構造的近代電的理論的基本原理分析的結尾，指出在本世紀初對於電子理論會出現了一個極其困難的時期是很適宜的。這些困難的克服便形成了二十世紀前廿五年當中所發生的變革，同時這種變革一方面聯系到相對論的發生，另一方面也聯系到量子力學和波動力學的發生。

當然這個變革並不意味着古典的電的學說的“廢除”。依照平常的慣例，隨着新的理論的建立和新的現象的發明，許多基本的概念和觀念都有了改變，而且也更加明確了古典物理理論應用的界限。

在這些界限的範圍之內古典的理論還保留其充分的作用。

馬克士威的理論也好，古典電子理論也好，情形就是如此的。特別是這些理論沒有任何變更，而仍舊是幾乎一切電工學和無線電學部門的基礎。關於物質原子的電的構造的觀念絲毫沒有動搖，相反地，還擴大而深入了。更有甚者，古典學電子理論關於物質的構造以及其中許多電磁作用的原理的一些具體概念基本上在近代物理中也還保留着的。

所以所謂近代的電的學說，我們有充分的權利來理解古典的電子理論，或者至少也可以理解成爲它的基本原理，高等工業學校中的這部份課程的敘述便是依靠這些基本原理的。

## 第一編 靜電學

§ 3. 庫侖定律 介質的影響 雖然帶電的物體的力的作用是電荷的性質的最鮮明的表現，同時，像我們所知道的，成了電的發明的根源。可是這個力的作用的數量方面的研究却還拖延了很長的一個時間。

1785年法國人庫侖做了一種用來測量微小的力的儀器，他的著名的“扭秤”。庫侖用這個儀器來作電的相互作用的數量的測量並且發現了一個定律，這個定律以後便稱為庫侖定律。

這個定律說：兩帶電的質點之間作用力的方向沿着聯結這兩點的直線，而這個力的大小正比於這兩點的電荷大小的乘積，反比於它們相互距離的平方。

如果用  $q_1$  和  $q_2$  來表電荷的大小 (圖 1),  $r$  表其間的距離, 而  $F$  表作用於每一電荷上的力, 則庫倫定律可寫成

$$F = \alpha \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

其中  $\alpha$  為比例常數, 其數值與測量  $q_1$ ,  $r$  和  $F$  所選擇的單位有關。

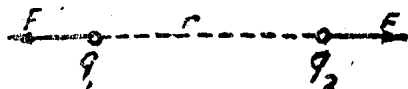


圖 1

我們規定以這樣一個電荷, 它對於相距一厘米, 大小與之相等的另一電荷有一達因的作用力, 為電量的單位。

將這個條件用算式來表示, 當  $r = 1$  厘米,  $F = 1$  達因時,  $q_1 = q_2 = 1$ 。同時, 在我們這樣選定了單位之後, 便有  $\alpha = 1$ , 只要將  $q_1$ ,  $r$  和  $F$  之值代入公式便可知。

用我們所採取的單位來表各個量時, 庫倫定律便可以寫成

$$F = \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (\times)$$

而這樣確定的電的單位稱為絕對靜電單位或電量的靜電單位, 因為它是從長度, 質量和時間的基本絕對單位, 同時基於靜電學的定律導出來的。

一般說來, 電量的靜電單位用於必須涉及比較小的電荷的靜電學中。

在主要用於計算電流的實用單位制中, 我們用一個數量多得多的電荷, 即庫倫來作電量的單位。

1 庫倫  $= 3 \times 10^9$  靜電單位電量

我們將要指出公式  $(\times)$  是表示介質中相互作用定律的普遍公式

$$F = \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2} \quad (1)$$

的特例。

係數  $\epsilon$  稱為介電常數, 在空氣中和真空中其值為 1。對於其他的一些介質則大於 1。譬如酒精的介電常數  $\epsilon$  為 26.4, 汽油為 2, 水為 81, 玻璃從 4 到 7, 硬橡膠為 3, 雲母為 6 等。

最後我們還要着重說明: 應用庫倫定律來計算帶電體間的作用力, 只有在帶電體的大小在某種程度上是很小, 同時相互之間的距離比較大的時候才可以; 在這種情形下就連物體的形狀也不起什麼作用。在其他的情形中, 雖然適用於點電荷的庫倫定律仍不失為這些計算的出發點, 但是計算相互作用力的方法却複雜多了。

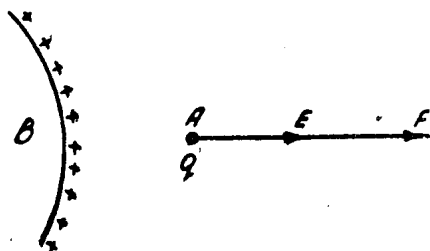
## 第二講 電 場

§ 4. 電場 電場強度 物理學中的力場是指顯示某些力的作用的空間。

因此，我們在靜電學中有電場；在磁學中有磁場；最後，到處都有萬有引力場。

電場是可以顯示電的力作用的空間。

爲了顯示電場的存在並決定在場中不同點所作用的力的大小，通常取一帶電荷  $+q$  的“試驗”小球，將其置於場中各不同點以測定作用於其上之力。所求得的力  $F$  以電荷除之便得到在該點一個與試驗小球之電荷無關的數量。這個表示電場的數量稱爲電場強度以  $E$  表之。



如果在帶電體  $B$  (圖2) 所產生的電場中的  $A$  點，帶電荷  $q$  的試驗小球受到力  $F$  的作用，則該點的電場強度等於

$$E = \frac{F}{q} \quad (2)$$

電場強度是電場的最重要的特性之一。

圖 2

電場強度是描述電場的一個向量。其大小等於作用在位於電場中某一點的單位正電荷上的力，而方向則與力的方向相同。

很顯然的，在場內不同點可能有不同的電場強度。

§ 5. 點電荷的電場強度 試求在距離  $r$  處  $A$  點，點電荷  $q$  的電場強度 (圖 3)。在這點放一個試驗電荷  $q_0$ 。求作用於試驗電荷上的力。依庫侖定律這力等於

$$F = \frac{qq_0}{\epsilon r^2}$$

欲求電場強度，可將試驗電荷的大小除這個力

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{qq_0}{\epsilon r^2} : q_0 \quad \text{或} \quad E = \frac{q}{\epsilon r^2} \quad (3)$$

點電荷的電場強度與距離的平方成反比，同時其方向係直線  $r$  的方向，即與力的方向一致。