

大學用書

譯 註

特夫物理學

(第八版)

張開圻 譯註

下 冊

上海求益書社 印行

譯 註

特 夫 物 理 學

理 工 科 學 生 適 用

(第 八 版)

Duff : Physics

(8 th. Edition)

張 開 圻 譯 註

下 冊

求 益 書 社

印 行

大學用書

譯註夫物理學

Duff: Physics

下 冊

定價國幣 元

版權所有 翻印必究

原 著 者 A. Wilmer Duff 等

譯 註 者 張 開 圻

發 行 所 洪 昌

發 行 所 求 益 書 社

總 發 行 所

求 益 書 社

上海(11)福州路三七七號

中華民國三十七年十一月初版

電磁學

Reginald J. Stephenson 著

聲學

A. Wilmer Duff (主編者) 著

光學

E. Percival Lewis 著

下冊目錄

電磁學

靜電學.....	281
磁學.....	320
電流.....	338
磁感應.....	357
固體之電阻.....	368
熱電.....	379
電磁感應.....	395
發電機及電動機.....	411
電磁波.....	424
氣體導電.....	440
放射現象、物質之組成.....	453
習題.....	464

聲學

熱之本性及傳播.....	471
樂音.....	480
樂音之來源.....	490
聲之速度.....	498
聲學之應用.....	499
習題.....	504

光 學

光之通性.....	507
光之速度.....	515
光之本性.....	520
光之反射.....	525
折射與分散.....	534
透鏡.....	543
其他折射現象.....	551
干涉.....	555
繞射.....	558
光學器械及測量法.....	568
輻射能之發射及吸收.....	579
吸收光譜之效應.....	591
輻射及原子結構.....	596
光之雙折射及偏化.....	600
光之量子論.....	615
習題.....	619
附表.....	625
補充習題.....	631
附註.....	653
索引.....	656

電 磁 學

著者 Reginald J. Stephenson 博士
Chicago 大學

363. 因環繞吾人之周圍，電之應用廣大，故對於電之現象多少均能習知。例如電車及電動機顯示能用電以供給機械功率。電熱器及電燈表示如何能用電以生熱及光。無線電為電之應用中更為顯著者。

凡此種種及包括其他電器之原理，即組成電及磁之科學，或即知識之一部。此種科學之實際應用，大規模而言，雖均較為近代所有者，但其開始則可上溯古代。若欲將全部知識得一簡單之陳述，則依事實及原理發見歷史之先後，頗覺不便。因欲由起始以得研究之便利時，對於較早之觀察及研究，依據若干近代之發見更為顯明也。

靜 電 學

364. 最早之觀察 靜電學 (Electrostatics) 為電磁學之一分科，專門論及電荷相對於觀察者靜止時(不計內部運動)之現象。電之得為吾人所習知者，僅由其作用而得，且僅論及此點而尚未涉及電之為何之問題。

此等作用中最早觀察記錄之一，為希臘七個“聖哲”之領袖 Thales，約於紀元前600年所作。彼知琥珀或黑玉(jet)之一片與毛皮相擦時，有吸引羽毛及稻草屑等輕物體之性質。此種報告常為其

他作者沿襲其文，雖歷二千餘年以上，實無新作可以增入。直至紀元 1600 年 Elizabeth 皇后之御醫 William Gilbert，方發見許多物有同樣之性質；且由希臘文對於琥珀之字 *elektron*，創電 (*electric*) 之一字，以敘述此種現象。約於五十年後，電之英文字 *electricity* 用作此種作用原因之名詞。自此發見後，對於此門之研究進步甚速，一時曾僅視為玩具者，竟變成極重要之工具。

現在已知一切固體在適當狀況下，如與若干適宜之物質相摩擦，均可帶電 (*electrified*)。凡二種不相似之物，接觸為重要之事；摩擦僅為接觸更緊之作用。琥珀與毛皮相擦而帶電，玻璃與綢布相擦亦可帶電。所起之問題，即在任何主要各點中，琥珀及玻璃上各帶之電是否不同。此可由下列之簡單實驗以求其答案。

365. 正電荷與負電荷 設將琥珀或玻璃棒之一端用手握住，而用一適宜之物擦其他端之部分，則僅於所擦之部分變成帶電。設一琥珀棒 *A* 之一端 *a* (圖 228) 已與毛皮摩擦而帶電，於是將此棒用輕繩懸住，俾得自由轉動。設再用同法帶電之第二琥珀棒 *B* 之 *b* 端接近 *a* 處，如圖中所示，則 *a* 必離 *b* 而動，顯示 *a* 及 *b* 互相排斥。但設將綢布擦過之玻璃棒代替 *B* 棒，則 *A* 之帶電端必與玻璃棒互相吸引。

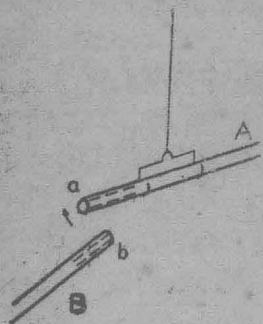


圖 228

由此實驗可知帶電有二種不同之狀態，而視為二種不同之電。因在若干情況下，顯示相反之性質，故為便利計，名之曰正電與負電。至於何者為正，何者為負，無關重要；但於習慣上常名與毛皮擦過之琥珀上所帶之電為負，而名與綢布擦過之玻璃上所帶之電為正。此種應用於電荷之正電及負電之名詞，首為 Benjamin Franklin 所創，惟彼所用者與現用之法相反。

由是可利用懸住之琥珀棒，以試驗如硫磺、火漆、硬橡皮等各

種帶電之物體，而將其分類成正電或負電之帶電。但在每類中，電荷之種類特摩擦物及被摩擦物二者之性質而定。

現已論及者，僅設想硬物被若干軟物如綢布或毛皮之摩擦而帶電，然亦可推知摩擦物亦必顯示若干電之效應，此可由實驗而得，即用懸棒之法以試驗，可顯示在各例中，當二物互相摩擦時，一物帶正電，另一物必得一負電。

在此種方法中所試驗之各物體，均為分子所組成，而分子均含有原子，故欲說明此等電之現象，若將物理學家關於原子內部之構造，在近代之研究，加以簡單陳述，必可有莫大之一助，惟陳述之證明需待以後方知。

366. 原子之構造 任何元素之一個原子，為能參加一化學變化中一最小之中和點。元素共有九十二種（註——現已有九十七種），例如氫、銀、鈦等。由物理學家之研究，已證明一中和電性之原子，可再裂成正負二部分。

一原子之負電部分，含有微小獨立之相似各部分，謂之電子（electrons）。電子為物質之公共組成物，由任何來源取得之電子，其質量與電荷均相同。一電子之質量甚小，約為最輕氫原子質量之二千分之一，若化成克數，約為 9×10^{-28} 克。正常原子既為中和電性，故每一原子必含有足量之正電，以與各電子負電荷之總量相中和。

正電荷與負電不同，集中於原子之中心，謂之原子核（nucleus）。因各電子對於一原子之質量，所關甚微，故在實際上，核必含有聯繫於原子質量之全部。一核或一電子之直線長度，依可推測之結果知屬甚微，約為全原子中長度之十萬分之一，或為 10^{-5} 。

由是可知原子為微渺電子之結構，現可認為由一帶正電荷之重中心核，依若干距離處，環有各電子所組成，電子有適宜之數，其總負電荷足與核上之正電荷相中和。不同元素之原子，不僅對於質量或重量互有不同，且其繞中心核外之電子個數及排列亦各不

同。關於原子構造之詳細敘述及此處陳述之證明，當俟後述之 (§§ 449, 540, 729)。

367. 導體與絕緣體 吾人習知各物中如銅銀等一切金屬，與琥珀或玻璃等比較，普通均為熱之良導體。概言之，凡為熱之良導體者，亦為電之良導體。由此可推測電子必兼有熱及電之傳導之任務。然此種觀念之困難點，尙未能完全解決 (§329)。

凡如金屬等之良導體，均為原子外方之電子有自由脫離核引力之各物，在適宜之情形下，電子可動過導體之全部。此種“自由”或傳導電子，在導體中可以移動之難易，視不同之各物而有異；由銀或銅之良導體至如溼木之不良導體間，可列一傳導之次序。

其他方面各物，如玻璃、琥珀、蜂蠟等，實際均不能傳電者，謂之絕緣體 (insulators or dielectrics)。此種物中無自由或傳導電子，所有各電子均牢固束縛於原子中。然一絕緣體原子中之電子可以設法移去。例如玻璃與綢布摩擦所遇之情形，由玻璃棒之原子中，電子可除去，而移至綢布。因玻璃缺少電子或負電荷，故結果留得正電荷，同時綢布上有過量之電子，即顯示一負電荷。此等電荷不能在綢布或玻璃上移動，而存留於絕緣體之表面上，成為電之各小部。可知玻璃與綢布相摩擦並非產生電荷；此手續僅將原子中已有之電荷易於分開而已。

由此說明，可知玻璃棒上所有正電荷之量應等於綢布上負電荷之量。如何由實驗以證明此結果，將於後述之 (§381)。

368. Coulomb 之電力定律 二電荷相互間之吸引或推斥之力，曾由法國物理學家及工程師 Coulomb 於 1785 年以實驗而測定。其結果曾為多數學者所證明。設有二相同之點電荷 (point charge)，其電量為 Q_1 及 Q_2 之任何電荷之單位數，使二者在真空中相隔 r 厘米，則相互間推斥之力 F ，與二電荷之乘積成正比，而與二者間距離之平方成反比。故在真空中及用適宜之電荷單位，即得

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

設 Q_1 及 Q_2 均爲同號(均爲正號或均爲負號), 則 F 之值爲正而力爲排斥; 反之, 設二者有相反之號, 則 F 爲負而力爲吸引。

設將二物體上之電荷放在某種絕緣介質(insulating medium)中, 則其間之力較在真空中時爲小。此介質之作用欲計入上式時, 可加入一因子 K , 稱爲介質常數 (dielectric constant or specific inductive capacity)。故二電荷 Q_1 及 Q_2 在介質常數爲 K 之一介質中, 相隔 r 厘米, 其間之力爲

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{K r^2}$$

由此等方程式, 可推知真空之介質常數必爲 1。空氣或任何氣體在平常壓力時, 介質常數之數值幾近於一, 故除最真確之研究外, 常可取作一。本書中無特別指示時, 亦將取其值爲一。

數種介質之介質常數

介 質	K	介 質	K
純水.....	81	硬橡皮.....	2.72
玻璃.....	9.9—5.5	空氣.....	1.0006

對於任何介質中 K 之數值, 似可由二帶電體間力之測定以推得, 即先在真空中測力, 再將二者放在欲推之介質中測力, 然後求得。但介質之範圍應較二帶電體間之距離爲長, 實驗時有困難處, 而不能得甚真確之結果。欲達此目的, 應用其他十分真確之法, 需俟後述之 (§396)。

369. 電量之單位 由 Coulomb 定律, 可得一方法, 以確定單位電荷 (unit charge), 或即單位電量 (unit quantity of electricity) 之定義, 即將方程式 $F = \frac{Q_1 Q_2}{K r^2}$ 中, 使每項等於一即可。故

設 $F=1$ 達因, $r=1$ 厘米, $K=1$, 其意即爲二電荷置在真空中, 而 $Q_1=Q_2=1$, 則得電荷之靜電單位 (electrostatic unit of charge), 或簡稱爲 1 e. s. u. 凡一電荷在真空中與一相等而相似之電荷, 相隔 1 厘米, 而有 1 達因之推力者謂之電荷之靜電單位。

一電子之電荷, 可由以後敘述之方法 (§400) 推得, 而爲 4.803×10^{-10} e. s. u. 故需 2.08×10^9 個電子方能得 1 e. s. u. 之總電荷。

電荷亦如質量、長度或時間之有各種單位, 而有其他單位, 即電荷之電磁單位 (electromagnetic unit of charge), 或簡作 1 e. m. u. 及稱爲庫侖 (Coulomb) 之實用單位。此等單位以後當有適當之定義, 現先將其與電荷之靜電單位間列出關係如下:

1 電荷之 e. m. u. = 3×10^{10} 電荷之 e. s. u.

1 庫侖 = 3×10^9 e. s. u. = 0.1 電荷之 e. m. u.

此二個電荷之單位均較電荷之靜電單位爲甚大, 惟先宜注意者, 即 3×10^{10} 每秒厘米爲光在真空中速度之數值。

370. 電場 電荷間力之 Coulomb 定律, 與物質質點間之 Newton 萬有引力定律 $F=G m_1 m_2 / r^2$ 頗相似, 即二者均爲平方反比律也。任何物質之周圍既有引力場 (gravitational field), 故任何電荷之周圍即有電場 (electric field)。地球面上之引力場可由施於單位質量 1 克上之 g 達因力而量度, 故同樣在任何區域中之電場, 可由施於單位電荷上之 E 達因力而量度之。

凡在任何一點處電場強度 (strength or intensity) E 之數值, 適等於一單位正電荷放在該點上, 所受電場施與之力。故設有一 Q e. s. u. 之電荷放在電場強度 E e. s. u. 中 (譯註——本書對於電場強度均用 e. s. u. 即普通之達因), 則電場施於此電荷上之力爲 EQ 達因 (可與引力場中作用於質量 m 上之力爲 mg 達因相比較)。

在真空中與一 $+Q$ e. s. u. 相距 r 厘米處一點之電場強度, 必爲 $E=Q/r^2$ e. s. u., 實際上空氣中之近似值亦相同 若在介質常數

爲 K 之一介質中，則與一 $+Q$ e. s. u. 相距 r 厘米處之電場強度爲 $E = Q/Kr^2$ e. s. u.。

電場強度既爲每單位電荷所受之力，電荷雖爲無向量，而力則爲有向量，可知電場強度必爲一有向量，即其數量與方向二者均爲已知，方能完全表出。故二個或二個以上電場強度之合成，必用向量法。

例如 B 處有 $+10$ e. s. u. 之電荷(圖 229)， C 處有 -8 e. s. u. 之電荷存在時(在真空中)，求 A 處電場強度，若 $AB=5$ 厘米， $AC=4$ 厘米而 BAC 爲直角。

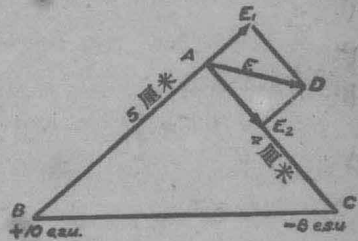


圖 229

則 $E_1 = +\frac{10}{25} = +0.40$ e. s. u. 由 B 向 A

$E_2 = -\frac{8}{16} = -0.50$ e. s. u. 由 C 向 A 或 $+0.50$ e. s. u. 由 A 向 C

此二個電場強度之合成，可用向量合成之平行四邊形定律以推得，而爲 $E=0.64$ e. s. u.。其與 AC 所成方向角之正切值爲 $0.40/0.50 = 0.80$ 。

371. 電力線 由電荷浸入之介質在電之現象上占有重要性質之事實，使前世紀英國大科學家 Faraday (1791—1867) 得導出力線(lines of force)之概念，以作電場之圖示。每一力線之繪出，認爲線上任何一點通過之方向，即表示該點電場強度之方向，而用一矢頭表出之。此種概念，可在一絕緣板上放二個帶電體，並在板上散佈石膏晶粉(硫酸鈣)以顯示之。晶粉在電場中成帶電狀態，一端爲正而他端爲負，若將板輕擊，則粉末必依力線而排列。此種表出之各線，即示出二電荷間電場之一截面。

一點電荷之力線係由點電荷向外擴散之輻射線(圖 230)。二不

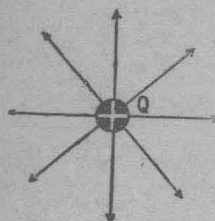


圖 230

同之點電荷及相同之二點電荷，其間力線之形式，如圖 231 及 232。各圖中之力線端雖似可附着至空間任意各點，而導入力線性質上之誤解。但應知力線之一端，附在正電荷上，而他端必附在負電荷上，故每一線為依電場之方向，連接二相反電荷間之連繫線。

Faraday 認為電場中之介質，存在於應力之狀態，而此應力即屬於力線之物理性質。圖 231 及 232 係表示沿線有張力，如彈性帶而線之側方有相互推力。故二不同電荷間之引力，得認為由於線上張力而發生，二相同電荷間之推力，則為線間旁壓力之原因。

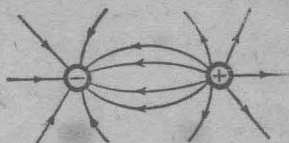


圖 231

力線之概念，驟視之似於電之觀念中並不需

要，但實則不然。蓋由以後之陳述，將知 Maxwell 如何由算學以說明 Faraday 之觀念，得導出光之電磁說，及電磁波之可能產生。而導得無線電報也。凡為電工程師者，如無電力線之概念及文字，必將無所適從矣。

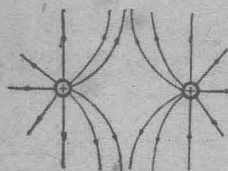


圖 232

372. 力線與電場強度 前述之力線，僅得一敘述以顯示電場中力之普通本性。

所用一力線之名詞，可在電場中經過任何點處繪出，而此種線之數目並無止。且每一力線僅指示線上任何一點之磁場方向，而未能顯示磁場強度。然若將此方法稍加變更，則亦能將方向及強度同時表示。所謂變更者，即將可繪之可能各力線，加以限制之數目也。

試首將最簡單之例而論，設在真空中 O 點有一點電荷 Q (圖 233)。與 O 相距 a 之 A 處電場強度為 Q/a^2 。若以 O 為中心，經 A 而繪一球面 S ，則由 Q 發出之各力線均與球面垂直，欲得 O 點發

出之可能力線，均勻分佈，以確定線之限止數目，可認為 A 處與力線垂直每平方厘米之面上，通過力線之數目，適等於其處電場強度之數值。例如在 A 處之電場強度若為 5 e. s. u.，則每平方厘米中有 5 線通過（圖 234）。此時所稱力線之名詞，即有限制規定線之意義。若欲求通過 S （圖 233）力線之總數，可將面積 $4\pi a^2$ 乘磁場強度 Q/a^2 ，則得 $4\pi Q$ 。在此結果中 a 之數值無關，且力線之選擇如

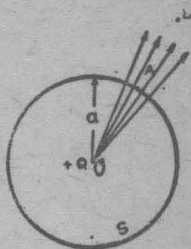


圖 233

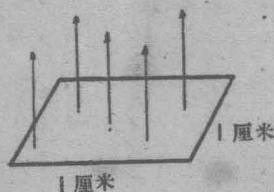


圖 234

取任何其他點 B 處開始，則必得同一結果，可知由一電荷 Q 均勻分佈之線，若繪出 $4\pi Q$ 之數目，則電場中任何點之電場強度，即為每平方厘米通過之線。總之對於力線之規定，即 Q 在真空中發出之力線數為 $4\pi Q$ 。

上述點電荷在真空中之一例，僅為簡單者。若在介質常數為 K 之介質中，則亦可同樣計算；惟因一點處之強度為 Q/Ka^2 ，故點電荷 Q 發出力線之總數必為 $4\pi Q/K$ 。此二例之規定，均根據平方反比律。若平方反比律並不真確，則用力線表示電場強度之此種方法，亦屬不可能矣。

對於任何數之點電荷或任何電之分佈，其合成磁場亦可用同理表示。數學上雖甚複雜，但結果亦相同。設每一電荷發出之力線均認為 $4\pi Q/K$ ，則任何一點處之強度，必與垂直於電場之單位面積通過之力線數相等。

此種表示電場強度之圖示法雖甚合用，但遇 $4\pi Q/K$ 之數值甚小而線不能認為均勻分佈時，則不能應用，必用直接計算之方法 (§370) 方可。

373. 電位 欲用摩擦玻璃棒之方法使銅棒或任何金屬棒帶電，必不能奏效，但將銅棒附裝一絕緣柄而以法蘭絨擦之，亦可證明

棒上有電荷。若以手觸棒，則所生之電荷即經手及人體而入地。

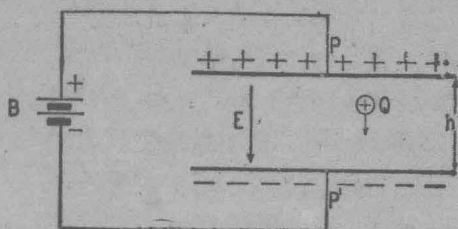


圖 235

電之流動頗與一物體向地面落下之情形相似。自由落體常由高位能處向低位能處運動 (§65)，落下時如無水平速度，物體必沿一重力線 (gravitational line of force) 而動至地面。同樣，一電荷在電場中必沿一力線，向電位能 (electric potential energy) 較低處流動，或有運動之趨向。地面上一小區域中之引力場得認為均勻，故對電場與引力場相似者，應先討論之，當易於明瞭。

一均勻電場之發生，可將一電池組 B 接至二金屬板 P 及 P' 而得 (圖 235)。設電池供給於 P 板者為正電荷，而於 P' 板上者為負電荷，則此等電荷即在兩板間產生一均勻電場，場中力線對稱的與二板垂直 (近板邊者除外)。設其電場強度為 E e. s. u.，則 $-Q$ e. s. u. 之電荷放在場中所受之作用力為 QE 達因。若此電荷由 P 至 P' ，沿一力線而移動，則場必對之作功，而電荷減少 $Q Eh$ 爾格之電位能， h 為二板間之距離。欲使電荷由 P' 回至 P ，而恢復其所失之位能，必需等量之功。此種情形與 m 克之一物體在地球引力場中落下 h 厘米之距離，所作之功 mgh 爾格，及將物體重行上昇所需等量之功，頗為相似。

欲表示電場中之流動趨向，為便利計，應有一名詞。所用之名詞即為電位 (electric potential)。其意為每單位電荷所有電位能之簡寫，惟更需得一真確之定義。

374. 電位差 一電場中兩點間之電位差 (potential differ-

ene), 即為將一單位正電荷, 由一點移動至他點所作之功。欲得此定義更明瞭之意義, 可再設想由一電池組帶電之二個平行導板(圖236)。板間每一力線由一正電荷發出而終止於一負電荷。設一正電荷沿力線 ab 由 a 移動至 b , 則場中對之作功, 而其位能減少。若為一單位電荷, 則場中所作之功為 Eh , h 即

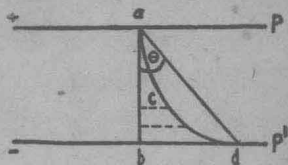


圖 236

等於 ab , 而此量亦為由 a 至 b 所減少之電位。欲使其由 b 回至 a , 必賴外力, 需費 Eh 之功, 而此功即為由 b 至 a 所增加之電位。

再設想一單位正電荷由 a 至 d , 而 ad 直線與 ab 成一角度 θ 。此時作用於電荷之力為 $E \cos \theta$, 而所作之功為 $E \cos \theta \times ad$, 但因 $ad \times \cos \theta = h$, 故功量亦為 Eh 。由此可顯知沿一曲線路徑 acd 所作之功亦必為 Eh , 蓋於計算功量時, 曲線之任何短段, 均相當於在 ab 上之射影也。

現可知在 P 板上之任何一點及在 P' 板上之任何一點, 不論點之位置如何, 其間電位差均相同。故可總稱為兩板間之電位差, 而用 $V-V'$ 表示之。

論及之問題既為電位之差數, 故可任意認定電位, 係相對於取作零電位之一便利點而言, 與山之高度, 相對於海平之意實相同。零電位之通常最便利取法, 即為觀察者所居地面一部分之電位, 但在若干例中, 取一不同之零電位較為便利 (§377)。

電位或電位差為一無向量, 因僅指定每單位電荷之功量, 而無任何特殊方向, 與地形學中地平不含任何特殊方向之意義相同。

電位梯度 (potential gradient) 之名詞亦常應用。其義為在某方向中每單位距離之電位差。例如沿 ab (圖 236) 之電位梯度為 $(V-V')/ab$, 即為 Eh/h , 或等於 E 。若在其他任何方向中, 如沿 ad 之電位梯度, 則為 $(V-V')/ad$, 因 ad 等於 $h/\cos \theta$, 故沿 ad 之電位梯度為 $E \cos \theta$, 或即 E 在 ad 方向中之分力故在任何方向中之電