

科學圖書大庫

大學物理學(下)

譯者 吳劍秋 校閱 黃振麟

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

大學物理學(下)

譯者 吳劍秋 校閱 黃振麟

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會
監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有

不許翻印

中華民國六十九年三月三日初版

大學物理學(下)

基本定價 6.00

譯者 吳劍秋 國立台灣大學物理碩士
校閱 黃振麟 國立台灣大學物理系教授

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686
發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 15795號
承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話9719739

目 錄

第二十四章	庫侖定律	1
第二十五章	電場與高斯定律	12
第二十六章	電 位	36
第二十七章	電容及介質之性質	59
第二十八章	電流，電阻及電動勢	79
第二十九章	直流電路與儀器	109
第三十章	磁 場	130
第三十一章	帶電流導體上的磁力	147
第三十二章	電流之磁場	159
第三十三章	應電動勢	176
第三十四章	電 感	196
第三十五章	物質的磁性	209
第三十六章	交流電	231
第三十七章	電磁波	251
第三十八章	光之本性與傳播	264
第三十九章	在平面上之反射與折射	279
第四十章	單一反射或折射面形成之像	292
第四十一章	透鏡與光學儀器	312
第四十二章	干涉與繞射	340
第四十三章	偏 振	371
第四十四章	光子、電子與原子	388
第四十五章	原子、分子與固體	414
第四十六章	原子核物理學	430
單數題答案	452

第二十四章 庫侖定律

24-1 電 荷

古代希臘人早在西曆紀元前 600 年，便知道琥珀與羊毛摩擦後，會具有吸引輕物的性質。在今日來描述此一性質，我們說琥珀被起電 (electrified)，或具有電荷 (electric charge)，或被帶電 (electrically charge)，這些稱謂導源於希臘字 elektron，它原指琥珀的意思。任何固體物質，可經由與任何其他物質的摩擦而帶有電荷。因此，一輛汽車在運動時，因其通過空氣而帶電；一張紙張通過一印刷機運動時而帶電；一把梳子在梳過乾燥的頭髮後而帶電。實際上，相互密切的接觸，便會使物體帶電，而摩擦祇不過是提供更多的表面點，使其作較佳的接觸。

通常用作示範的是硬橡皮棒與毛皮。若將此兩者摩擦後，並把橡皮棒置於一裝有薄紙細屑的盤中，則有許多紙屑將首先黏附於棒上，但在數秒鐘後又會飛離，起先的吸附作用將於第 27 章中予以解釋，而隨後的排斥作用，是由於在兩物體間存在一個力，祇要此兩物體是以相同的方式而帶有電。假設有兩個很小且很輕的通草球，分別以細微的絲線懸掛而相互隔得很近。則它們首先將被一根帶電的橡皮棒所吸引，而黏附於棒上。一會兒之後，此兩小球便被橡皮棒所推開，而且它們也彼此排斥。

一個相類似的實驗，是利用一根玻璃棒與絲綢摩擦，也可得到同樣的結果；兩通草球與此帶電玻璃棒接觸而帶電後，則不但被玻璃棒所排斥，而且也彼此排斥，在另一方面，當一個會與帶電橡皮棒接觸後的通草球，被放置於一個會與帶電玻璃棒接觸後的通草球近處時，則此兩球將互相吸引，故我們導致的結論是，電荷有兩種——與毛皮摩擦後橡皮棒所帶有的，稱為正 (positive) 電荷。上面所描述有關通草球的實驗，導得的基本結果為(1)同電荷相斥，(2)異電荷相吸。

這些排斥與吸引的電力之起源有別於萬有引力，而在我們所將論及的大多數場合中，電的排斥與吸引力都遠大於萬有引力，因而後者可以完全忽略不計。

除却吸引與排斥力之外，在電荷間還發現有決定於它們相對運動情形的其它力。這些力便是之以有磁現象的原因。多年以來，一對磁鐵棒間的排斥或吸引作用，是基於存在有與電荷相類的磁性實體之理論來解釋的，這類磁性實體稱為“磁極 (magnetic pole)”。不過，一個熟知的事實是，磁效應也可在一根通有電流的導線周圍被觀測到，但電流祇是電荷的運動，現在知道所有磁效應均起因於電荷的相對運動。故磁與電並非兩獨立的事物，而

是由電荷性質所引起的相關現象。

假若經毛皮摩擦之橡皮棒接觸懸空之通草球，則該橡皮棒與通草球均帶負電。現在若將該毛皮持近通草球，球將被吸引，顯示該毛皮帶正電。所以當橡皮棒被毛皮摩擦時，兩物質帶相反之電荷。這現象當任何材料被任何相異之材料摩擦時均發生。所以，玻璃帶正電，而摩擦玻璃之絲絹則帶負電。這強烈地顯示電荷並非被產生出來或創造出來，而獲得電荷的過程乃是由於從一物體傳遞(transferring)某種東西至另一物體，故一物體中該東西過剩而另一物體中該東西不足。直至十九世紀末該東西才被發現是由甚小甚輕之帶負電粒子所組成。此粒子即今日所知之電子(electron)。

24-2 原子構造

原子(atom)這字是由希臘字 atomos 導演而來，意指不能再分。這名稱不適當簡直不用說了。所有的原子或多或少均是次原子粒子之複雜排列，而有多種方法將一些這種粒子分離，或則單個或則成群。

這些構成原子之基石的次原子粒子是以下三者：帶負電的電子，帶正電的質子(proton)，以及中性的中子(neutron)。電子的負電和質子的正電大小相同，而從未發現有更小的電荷。一個質子或一個電子的電荷為根本的，自然的電荷單位。

所有原子中的次原子粒子均以相同的普遍方法排列。質子與中子經常形成一緊密堆集的群體，稱為原子核(nucleus)，由於質子之故原子核帶正電。若將原子核想成大約為球形，則其直徑是 10^{-14} 米之數量級。在原子核之外，與其相距甚遠處，有電子。電子數與原子核中之質子數相等。若原子未被擾動，電子沒被移離原子核之周圍，則整個原子而言是電中性。亦即，原子核和電子所具同樣大小之正電和負電相加為零，就如相等之正數和負數相加為零一般。假如一個或多個電子被移去，則所餘帶正電之結構稱為正離子(ion)。負離子乃是獲得一個或多個額外電子之原子。失去或獲得電子之過程稱為游離(ionization)。

丹麥物理學家波耳(Niels Bohr)於1913年所提出之原子模型中，電子被描繪成以圓形或橢圓形軌道旋繞原子核運動。後來的研究指出電子以散佈的電荷分佈代表較正確，其分佈是由量子力學的原理支配，我們將在第四十四章中討論之。然而，波耳模型對於認識原子構造上仍然有用。波耳模型所描繪之軌道，亦即電子電荷分佈，其直徑決定原子整個的大小，其數量級為2或 3×10^{-10} 米，亦即約為原子核直徑之一萬倍。一個波耳原子即是一個小規模之太陽系，但以電力取代了萬有引力。荷正電之中央原子核相當於太陽，而由於電力吸引繞原子核運動之電子則相當於因受萬有引力影響而繞太陽運動之行星。

質子與中子之質量幾乎相等，約為電子質量之1840倍。所以，實際上原子之所有質量均集中在原子核中。因為一千克分子之單原子氫含有 6.02×10^{26} 個粒子，而其質量為1.008公斤，故一個氫原子之質量為

$$\frac{1.008 \text{ 公斤}}{6.02 \times 10^{26}} = 1.67 \times 10^{-27} \text{ 公斤}$$

除了氫原子為唯一之例外，所有原子均由三種次原子粒子所組成。氫原子之原子核只有一個質子，在其外面只有一個電子。因此，在氫原子之所有質量中， $\frac{1}{1840}$ 分之一是電子之質量，其餘則為質子之質量。取至三位有效數字時，

$$\text{電子質量} = \frac{1.67 \times 10^{-27} \text{ 公斤}}{1840}$$

$$= 9.11 \times 10^{-31} \text{ 公斤}$$

$$\text{質子質量} = 1.67 \times 10^{-27} \text{ 公斤}$$

並且由於質子質量和中子質量約為相等，所以

$$\text{中子質量} = 1.67 \times 10^{-27} \text{ 公斤}$$

在氫原子中，構造最簡單之原子乃是氦。其原子核包含兩個質子和兩個中子，其核外電子有兩個。若此兩個電子失去，則該帶兩正電荷之氦離子，亦即氦原子核本身，常被稱為 α 一粒子 (alpha particle)。再其次一元素為鋰，它的原子核中有三個質子，故原子核具三單位正電。在未被游離之狀態下，鋰原子有三個核外電子，各種元素有不同的質子數，因此其原子核所荷正電亦異。在本書末所附元素表中，亦即所謂週期表 (periodic table) 中，各元素各佔一格。每格各有一數目，稱為原子序數 (atomic number)。

原子序數代表原子核中的質子數。在未被擾動的狀態下，亦代表核外電子數。

每個物體均包含數目甚大之帶電粒子，在其原子之原子核中有帶正電之質子，在原子核外有帶負電之電子。若質子之總數與電子之總數相等，則該物體整個而言是呈電中性。

欲令一物體之負電過多，我們可加一些負電於中性物體，亦可由該物體移去一些正電。同樣地，若加一些正電或移去一些負電，則可使成正電過多。在大多數情況下，是負電 (電子) 被加入或移去，而一帶正電之物體乃是因失去某些正常含量之電子。

一物體之“電荷”乃是指其過多的電荷而已。該過多的電荷一般僅佔總正電或總負電之甚小部份罷了。

24-3 金箔驗電器及靜電計

帶電之通草球可用以檢驗另一物體是否帶電。較靈敏之測試可用金箔驗電器 (leaf electroscope) (圖24-1)。兩薄條的金葉或鋁箔 A 接於金屬棒 B 之一端，該棒穿過一以橡皮或琥珀或硫磺製的支持物 C。其週圍的盒子 D 用以避免氣流，盒子上有窗口用以觀察箔葉。當驗電器之球形柄觸及帶電物體時，箔葉獲得同號之電荷而互相排斥，其張開角度之大小即代表所收到電荷之量。

若將電位差數百伏之電池之一端接於驗電器之盒子，則箔葉將張開，就如它們被經接觸起電之物體充電一般。這兩種過程所給予箔葉之電荷種類並無差異，一般而言，靜電和

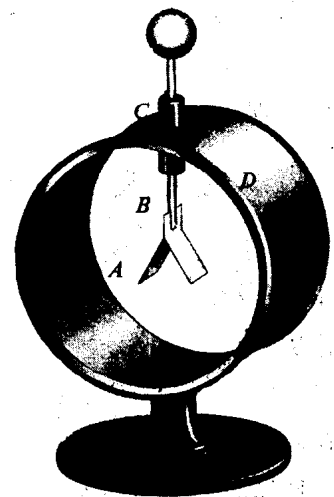


圖 24-1 金箔驗電器

電流並無區別。“電流 (current)”一詞乃指電荷之流動，而“靜電學 (electrostatics)”主要是涉及靜止電荷間之交互作用。在兩種情況中的電荷本身均為電子或質子之電荷

近代電子學已製成稱為靜電計 (electrometer) 之儀器，它利用電子放大器以達到較上述簡單之金箔驗電器更大之電荷測量靈敏度，並且能作電量的精確定量測量。

24-4 導體與絕緣體

令銅線之一端接於驗電器之球形柄，另一端以玻璃棒支撐着，如圖 24-2 所示。如將帶電之橡皮棒接觸銅線之遠端，則驗電器中的箔葉將立即張開。所以，沿着該線或穿過該線有電荷之傳遞，該線稱為導體 (conductor)。如利用絲線或橡皮筋代替銅線，重作上述實驗，則驗電器無此種偏離發生，故絲線或橡皮筋稱為絕緣體 (insulator) 或電介質 (dielectric)。電荷經一材料之運動將在第二十八章中作較仔細之研究，但以我們現在的目的而言，我們只說大部份之材料落入上述兩類之一即可。導體容許電荷通過，而絕緣體則非。

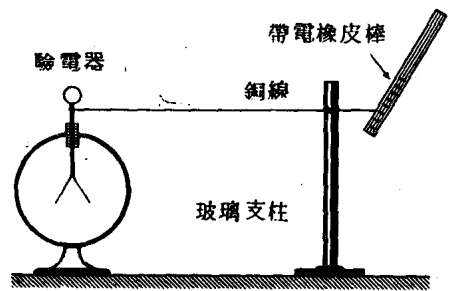


圖 24-2 銅是導體

金屬一般為良導體，而非金屬則為絕緣體。金屬之正價及其在溶液中能形成正離子之事實顯示金屬原子很容易失去一個或多個外層電子。在如銅線等之金屬導體中，一些外層電子自各原子剝落而能自由地經過整個金屬運動，就如氣體分子能在裝滿沙粒之容器中通過沙粒間隙運動一般。事實上，這些自由電子常被稱為“電子氣” (electron gas)。荷正電之原子核及其餘之電子則在原位保持固定。相反地，在絕緣體中則無自由電子，或者充其量也只有極少自由電子。

接觸起電之現象並非只限於橡皮和毛皮，或一般而言應說是絕緣體間。任何兩相異之材料間，或多或少都呈現該效應。但很明顯地，導體必須以絕緣柄支持，不然其上所生之電荷將很快漏掉。

24-5 感應起電

當以接觸之方法使金箔驗電器帶電時，例如以經毛皮摩擦過之橡皮棒接觸之，則一些橡皮棒上的額外電子就傳遞到驗電器上，使橡皮棒上所剩的負電荷較少。然而，有另外一種使用該橡皮棒使他物帶電之方法，在這方法中橡皮可給予異號之電荷而其自身所具電荷一點也不損失。這過程稱為感應起電 (Charging by induction)，示如圖 24-3

在圖 24-3(a) 中，兩個中性的金屬球互相接觸，兩者均以絕緣支架支撐着。當帶負電之橡皮棒接近其中一球而不碰到時，就如圖 (b) 所示，金屬球上的自由電子便被排斥而稍微游動離開該棒向右。由於電子不能逃離該兩球，一些過剩的負電荷便積集於右表面。這使左

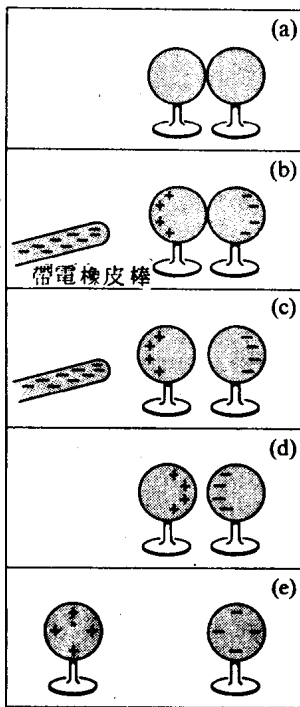


圖 24-3 由感應起電，兩金屬球獲得相等而符號相反之電荷。

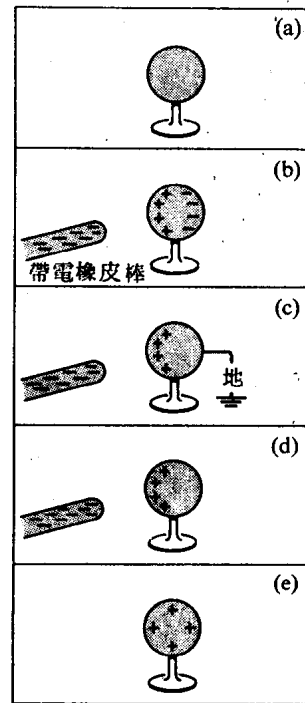


圖 24-4 由感應起電，使單一金屬球帶電。

球之左表面負電荷不足，亦即正電荷過剩。這些過剩的電荷稱為感應電荷 (induced charge)。

這並不是指球上所有自由電子均被驅至右球表面。當一有感應電荷產生時，它們亦施力於球中之自由電子。在上述情況中，這力是向左（被負的感應電荷排斥而被正的感應電荷吸引）。在甚短之時間中，該系統便達到平衡狀態，此時球內部之任何點之電子所受帶電棒之向右力，恰為感應電荷所施之向左力所平衡掉。

當橡皮棒持在其近處時，所生感應電荷一直保留在球表面上。當橡皮棒移去時，球中之電子雲便移至左方而恢復原先之中性狀態。

若當橡皮棒尚在其近處時，將兩球稍微分開，如圖 (c) 所示。如現在將棒子移去，如圖 (d) 所示，則我們可得兩個帶有相反電荷的金屬球，其電荷互相吸引。當這兩球分開至大距離時，如圖 (e)，該兩電荷即變成均勻分佈。必須注意到的一點是：自步驟 (a) 至 (e) 中，該帶負電荷之橡皮棒並無電荷之損失。

在圖 24-4 中自 (a) 至 (e) 之步驟應該是無需解釋的。在此圖中，單個金屬球（在絕緣支架上）因感應而帶電。在 (c) 中該標以“地”之符號僅指金屬球接地（導體）。故地取代了圖 24-3 中之第二球。在步驟 (c) 中，由於接以導線或人以手指接觸該球，其上之電子經導線或濕皮膚被排至地上。因此地上獲得負電荷，其大小與留在球上之感應正電荷相等。

假如在球上之可移動電荷為正，則在圖 24-3 和 24-4 中所發生之過程也能解釋得同樣好。或者，事實上，縱使正負電荷均可移動亦然。雖然，現在我們知道實際上在金屬導體中

之可移動電荷為負電荷，通常還是以正電荷移動來描述這些過程為便。

24-6 庫倫定律

第一個對荷電體間作用力定律作定量研究成功的是庫倫 (Charles Augustin de Coulomb) (1736-1806) 於 1784 年之工作，他利用來量力的扭秤便是十三年後卡分地西 (Cavendish) 用來量萬有引力的形式。庫倫發現兩“點電荷”(point charge) 間相吸或相斥之力乃與其間之距離之平方成反比。而所謂點電荷乃指荷電體之尺寸遠小於其間之距離 r 。

其力之大小亦與每個物體上之電量有關。物體之淨電可以該物體上過剩之電子數或質子數敘述。實用上，物體上之電荷却是以較每個電子或質子之電荷大得多的單位表出。我們將用符號 q 或 Q 代表物體上之電荷，以後再談電荷單位之定義。

在庫倫那時代，電荷之單位尚未定義，甚至連將所給電荷和一單位比較的方法亦未發展出。雖然如此，庫倫設計出一種巧妙的方法以證出荷電體所受或所施之力如何決定於其電荷。他推論說若一荷電球形導體與另一未荷電之同樣導體接觸，則前者所帶之電荷，由於對稱之故，將為兩導體所均分。因此，他有了獲得所給電荷的一半、四分之一等等的方法。他的實驗所得的結果與以下結論符合：兩電荷 q 與 q' 間之力乃與其電荷之乘積成正比，故兩點電荷間之力之大小的完整式子為

$$F = k \frac{qq'}{r^2} \quad (24-1)$$

其中 k 為比例常數，其大小由 F 、 q 、 q' 及 r 所用之單位決定。(24-1) 式為今日所知之庫倫定律 (Coulomb's law) 之數學陳述。亦即說：

兩點電荷間之相吸或相斥力與其電荷乘積成正比而與其間距離之平方成反比。

庫倫定律之最佳證明乃基於其所推論出之許多結論之正確無誤，而非由點電荷之直接實驗，因其精密度不高。

兩質點間之力經常沿其連心線作用。電荷 q 和 q' 為代數量，它可為正值或負值以對應於正和負兩種電荷之存在。(24-1) 式可得所有情況下交互作用力之大小；正值的 F 對應於同號電荷間之斥力，負值則對應於異號電荷間之吸力。在兩情況中，力均遵守牛頓第三定律； q 作用於 q' 之力與 q' 作用於 q 之力大小相等方向相反。

庫倫定律與牛頓萬有引力定律形式相同，後者為

$$F = G \frac{mm'}{r^2}$$

庫倫定律中之電力常數 k 對應於萬有引力常數 G 。

如在電荷間之空間有物質存在，則因介乎其間之介質分子電荷之重新分佈，作用於兩者之淨力將改變。以後再描述這種效應。在實用上，這定律能用在空氣中之點電荷，因為縱使

在大氣壓下，空氣的效應也只是將真空中力量的值改變約兩千分之一而已。

在本書內涉及電的現象的各章中，我們將無例外地使用mks制單位。mks制電的單位包括所有熟習的電單位，如伏、安、歐、及瓦。cgs制亦常被用到，尤其在科學工作方面較商業及工業方面為多。但並無英制的電單位。這也是所以要捨棄英制而普遍採用米制的許多原因之一。無疑地，米制終將獲得全世界的採用。

除了三個mks制的基本單位（米，仟克，秒）外，現在我們必須加入第四個，亦即電荷的單位。此單位稱為一庫侖（coulomb）（1C），而整個系統便稱為mksc制。在此制中，電的常數 k 是

$$k = 8.98755 \times 10^9 \text{ 牛頓} \cdot \text{米}^2 \cdot \text{庫侖}^{-2}$$

$$\approx 9 \times 10^9 \text{ 牛頓} \cdot \text{米}^2 \cdot \text{庫侖}^{-2}$$

以後，在談到電磁輻射時，我們將指出 k 和光在真空中的速率緊密相關，光速為

$$c = 2.998 \times 10^8 \text{ 米/秒}$$

很特殊地

$$k = 10^{-7} c^2$$

當然，此關係並非偶然，而是導因於電流單位之定義，此又關連到電磁場之交互作用，這將在以後討論。

在本書不用之cgs制電單位中，常數 k 被定為一，沒有單位。這樣便定義出電荷的單位，稱為靜庫（Statcoulomb）或esu（靜電單位）。轉換因子是

$$1 \text{ 靜電單位} = 2.998 \times 10^9 \text{ 庫侖}$$

電荷的“自然”單位乃是一個電子或質子所具之電荷。到現在為止，所測得此電荷 e 之最精密值為

$$e = 1.60219 \times 10^{-19} \text{ 庫侖} \approx 1.60 \times 10^{-19} \text{ 庫侖}$$

因此，一庫侖便代表約 6×10^{18} 個電子所具總電荷。讓我們作一比較，地球上人口約為 3×10^8 人，然而每邊一公分之立方銅塊却含有約 8×10^{27} 個自由電子。

【例題一】 α -粒子是兩次游離之氦原子核。其質量 m 為 6.68×10^{-27} 仟克，其電荷 q 為 $+2e$ 或 3.2×10^{-19} 庫侖。比較兩個 α -粒子間之靜電斥力與萬有引力。

靜電力 F_e 為

$$F_e = k (q^2 / r^2)$$

而萬有引力 F_g 為

$$F_g = G (m^2 / r^2)$$

靜電力與萬有引力之比為

$$F_e / F_g = k / G \cdot q^2 / m^2 = 3.1 \times 10^{35}$$

顯然地，萬有引力比起靜電力為可忽略。

【例題二】氫原子之波耳模型由一帶 $-e$ 電荷之電子繞一帶 $+e$ 電荷之質子作圓形軌道運

動。電子與質子間之靜電引力供給向心力以保持電子在其軌道上。因此，若 v 為軌道速度，則

$$k \left(\frac{e^2}{r^2} \right) = m \left(\frac{v^2}{r} \right)$$

在波耳理論中，電子只能在一些指出的軌道中之一運行。最小半徑的軌道乃是其電子具有角動量 L 為 $h/2\pi$ 者。其中 h 為一普通常數，稱為普郎克常數 (Planck's Constant)，等於 6.626×10^{-34} 焦耳一秒，所以，

$$L = m v r = \frac{h}{2\pi} \quad (24.2)$$

當上兩式消去 v 後，我們發現

$$r = \frac{h^2}{4\pi^2 k m e^2} ;$$

而當代入數值後，我們發現第一波耳軌道之半徑為

$$\begin{aligned} r &= 5.29 \times 10^{-11} \text{ 米} \\ &= 0.529 \times 10^{-8} \text{ 厘米。} \end{aligned}$$

因此所得結果和其他對氫原子尺寸之估計甚相符合，其他估計係得自其與理想氣體行為之偏差、液態及固態氫之密度、以及其他的觀測等。

【例題三】 在圖 24.5 中，兩相等之正電荷 $q = 2.0 \times 10^{-6}$ 庫侖與第三電荷 $Q = 4.0 \times 10^{-6}$ 庫侖互相作用。求作用於 Q 上總力之大小與方向。

關鍵的字是總 (total)；我們必須計算每一電荷作用於 Q 之力，然後求各力之向量和 (vector sum)。利用分量最易達成這點。圖上表出上方電荷 q 作用於 Q 之力。由庫侖定律，

$$\begin{aligned} F &= \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ 牛頓-庫侖}^{-2} \text{-米}^{-2}) \times (4.0 \times 10^{-6} \text{ 庫侖}) (2.0 \times 10^{-6} \text{ 庫侖})}{(0.5 \text{ 米})^2} \\ &= 0.29 \text{ 牛頓} \end{aligned}$$

此力之分量為：

$$F_x = F \cos \theta = (0.29 \text{ 牛頓}) \left(\frac{0.4 \text{ 米}}{0.5 \text{ 米}} \right) = 0.23 \text{ 牛頓}$$

$$F_y = -F \sin \theta = (0.29 \text{ 牛頓}) \left(\frac{0.3 \text{ 米}}{0.5 \text{ 米}} \right) = 0.17 \text{ 牛頓}$$

下方電荷 q 施出之力大小相同，但方向不同。由於對稱之關係，我們知其 x 分量和上方電荷相同，但其 y 分量則相反。因此，

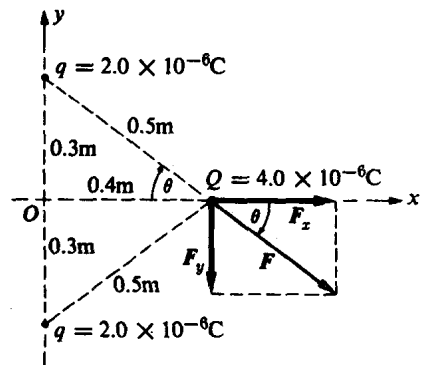


圖 24.5 F 為上方電荷 q 作用於 Q 上之力。

$$\Sigma F_x = 2(0.23 \text{ 牛頓})$$

$$= 0.46 \text{ 牛頓}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

作用於Q之總力為水平，大小為0.46 牛頓。倘若下方電荷為負，則此題之解答有何不同？

24-7 電之交互作用

由於物質是由荷電粒子所構成，故在物質構造之各方面，電之交互作用扮演著中心且主要之角色並不足為奇。在分子中或在固態晶格中維持原子在一起之力，膠之附著力，表面張力之相關力—所有這些基本上都是電的本性，由組成交互作用原子之荷電粒子間之電力而產生。其詳細之行爲之完整描述需要新的力學原理及量子力學觀念之介紹，我們將在第四十四章中討論。然而，庫侖定律及由於電荷相對運動所新增之效應仍然描述了所包括的基本電之交互作用。

然而，只靠電之交互作用並不足以了解原子核之構造。原子核由互相排斥之質子及不帶電荷之中子構成；爲使原子核穩定，必須有其相吸性質之新增力量，以便在電斥力下仍能維持它們在一起。此種在原子核外看不到新種類的交互作用稱爲核力 (nuclear force)；涉及原子核穩定或不穩定的許多現象均以電斥力和核吸力之消長而定。這些將在第四十六章中作詳細的討論。

問題

- 24-1 倘若其間欲得 10^{-10} 牛頓之斥力，則兩相距 3 厘米之小球各應帶若干過剩之電子？
- 24-2 兩小球均帶正電，其總電荷爲 4×10^{-8} 庫侖。若當相距 0.1 米時，其間斥力爲 27×10^{-5} 牛頓，則各個小球上之電荷各若干？
- 24-3 6.02×10^{23} 個單原子氫之原子質量爲 1 克。若將氫原子之電子移離其原子核，而使其間引力等於原子之重量，問應移開多遠？
- 24-4 在 1 克分子之氫原子中，其質子之總共正電荷爲若干庫侖？
- 24-5 若一克分子氫原子之所有正電荷集成一單電荷，所有負電荷亦集成一單電荷，當其間距離爲 (a) 1 米 (b) 10^7 米 (與地球直徑差不多)，試求其相互作用之力若干？
- 24-6 α 一粒子由兩個質子和兩個中子束縛在一起而形成。兩個 α 一粒子相距 10^{-16} 米，亦即在和原子核之尺寸差不多之距離時，其間之斥力若干？
- 24-7 兩個質量爲 1 千克之銅球，相距 1 米
- 每個球含若干電子？
 - 若欲得 10^4 牛頓 (約爲 1 噸) 之吸力，則應將若干電子自一球移至另一球？
 - 上小題中之電子數佔每小球上電子總數之幾分之幾？
- 24-8 在每邊長爲 0.2 米之正方形之三個角上各有一個 2×10^{-9} 庫侖之點電荷。試求其作用於另一點電荷之合力之大小與方向如何？但該點電荷爲 -1×10^{-9} 庫侖，且置於 (a) 正方形

之中心。(b)正方形之第四角。

24-9 空氣中有相距 8 厘米之兩電荷，各為 10^{-9} 庫侖。若有 5×10^{-11} 庫侖之第三個電荷，與前兩電荷之距離均為 5 厘米，試求前兩電荷施於第三電荷之力之大小與方向。

24-10 兩大小均為 q 之正電荷，置於 y 軸上之 $y=+a$ 及 $y=-a$ 兩點。同大小之第三個正電荷置於 x 軸上某處。

- 第三電荷若置於原點時，其所受力為若干？
- 第三電荷之 x 坐標為 x 時，其所受力之大小與方向如何？
- 當 x 之值在 $+4a$ 和 $-4a$ 之間時，描繪第三電荷所受之力為 x 之函數。將向右之力畫向上，向左之力畫向下。
- 當 x 為何值時，該力為極大？

24-11 一大小為 q 之負點電荷置於 $y=+a$ 處之 y 軸上，而一同大之正電荷置於 $y=-a$ 處。第三個為同大之正電荷，置於 x 軸上某處。

- 第三電荷若置於原點處，則其所受力之大小及方向如何？
- 第三電荷之 x 坐標為 x 時，其所受力如何？
- 當 x 之值在 $+4a$ 和 $-4a$ 之間時，描繪第三電荷所受之力為 x 之函數。

24-12 兩質量為 10 克之小球，各以長 1 米之絲線連結之，並同懸於一點。當兩球具有相同之負電荷時，各線與鉛垂線之夾角為 4° 。

- 圖示各球上所受各力。
- 求各球電荷之大小。

24-13 某體積 1 立方厘米之金屬球，具有質量 7.5 克，且含 8.2×10^{23} 個電子。

- 欲使兩個這種球間之靜電斥力抵消萬有引力，則每球應移去若干電子？但假設球間距離夠大，球上電荷可視為點電荷。
- 所移去之電子數為總自由電子數之幾分之幾。

24-14 在原子氫之波耳模型中，質量 9.1×10^{-31} 千克之電子於半徑為 5.29×10^{-11} 米之圓形軌道上繞質子運行。質子所具之正電荷大小與電子上之負電荷相同，而其質量為 1.67×10^{-27} 千克。

- 電子之徑向加速度為何？
- 其速度為何？
- 其角速度為何？

24-15 一克的單原子氫含 6.02×10^{23} 個原子，每個原子含一具電荷 -1.60×10^{-19} 庫侖之電子及一具電荷 $+1.60 \times 10^{-19}$ 庫侖之質子。

- 若所有這些電子均置於地球北極而所有質子均置於地球南極，則兩群電荷間相互作用之總引力為若干？地球之直徑為 12800 千米。
- 若有第三群正電荷，其大小與前述一極上之一群者同，若置於赤道上之一點，則所受 (a) 中電荷作用力之大小與方向如何？試圖示之。

24-16 原子核之尺寸為 10^{-14} 米之數量級。假設兩 α - 粒子相隔為此距離。

a) 每一 α - 粒子所受另一粒子之力為何？

b) 每一 α - 粒子之加速度為何？(要數值之數據請看第 24-6 節之例題 1)

24-17 問題 24-11 中之相等而相反之電荷對，稱為電雙極。

a) 在問題 24-11 中之第三電荷，當其 x 坐標比距離 a 大得多時，其所受之力乃反比於其至電雙極中點距離之立方。試證之。

b) 若第三電荷置於 y 軸上，其 y 坐標比距離 a 大得多時，其所受之力亦反比於其至電雙極中點距離之立方。試證之。

24-18 兩相等之正點電荷相距 $2a$ 。其連心線中點處有一平面垂直它。此平面上有點電荷移動，其所受力為極大值時之點的軌跡，由於對稱之關係，是一圓。試計算該圓之半徑。

24-19 一具有正電荷 q_1 之小球以絕緣線懸掛著。第二球具有負電荷 $q_2 = -q_1$ ，保持在第一球右方水平距離 a 處。(距離 a 較球徑為甚大) (a) 圖示懸球最後平衡時所受各力。(b) 你若有具正電荷 $q_3 = 2q_1$ 之第三球，最少找出兩點以便安置此球，使第一球能夠鉛垂懸掛著。

第二十五章 電場與高斯定律

25-1 電場

圖 25-1(a) 代表兩帶正電之物體 A 及 B ，其間有電斥力 F 。就如萬有引力一般，此力為“超距作用”之形式， AB 之間不需存在任何物質，就能令其感受到。沒人知道“為何”這是可能的一荷電體行為如此乃是實驗事實。然而，以下的想法是有用的。每個荷電體修正了其週遭空間之事物狀態，使其狀態與該荷電體不存在時者在某方面有所不同。因此，令 B 移去。點 P (觀圖 25-1(b)) 為 B 原先落坐之空間點。我們說荷電體 A 產生或建立了 P 點之電場 (electric field)，若現在將荷電體 B 置於 P 點，我們認為電場加力於 B ，而非物體 A 直接加的。因為在 A 週遭任何點， B 均可感受到力，故電場存在於此空間之任意處。

我們同樣可認為物體 B 建立了電場，而作用於物體 A 之力乃是由 B 之電場所施予。

對於在任一點電場存在之實驗檢測乃是簡單地置一被稱為檢驗電荷 (test charge) 的物體於該點。若有力 (電產生的) 作用於該檢驗電荷，則有電場存在於該點。

若有電力施於某點上之荷電體，則稱該點處有電場存在。

因為力是向量，電場亦為向量場 (vector field)，當電力之大小及方向述明後，電場之性質亦被決定。我們定義某點之電場 E 為正的檢驗電荷在該點所受之力 F ，除以其電荷之大小 q' 。故

$$E = \frac{F}{q'}$$

(25-1)

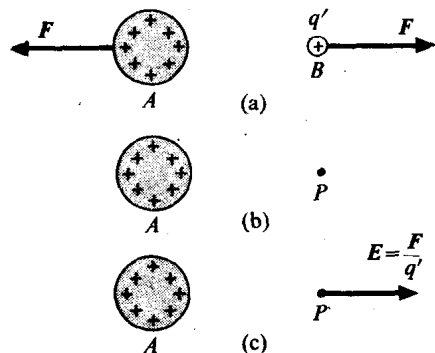


圖 25-1 帶電體之週遭是一電場。

而 E 之方向即 F 之方向。所以得到

$$F = q'E$$

作用於負電荷 (如電子) 之力，乃與電場之方向相反

電場有時稱為電強度 (electric intensity) 或電場強度 (electric field intensity)。在 mks 單位系統中，力之單位為牛頓，電荷之單位為庫侖，電場之單位便是牛頓每庫侖 (1 NC^{-1})。電場亦可以其他單位表示，後面再定義。

我們電場的定義中有一問題，在圖 25-1 中，由於檢驗電荷 q' 所作用之力，會改變 A 之

電荷分佈，尤其當物體為電子可自由移動之導體時更甚。因此，當 q' 存在時 A 週遭之電場並不與 q' 不在者同。然而，當 q' 甚小時， A 上電荷之重新分佈亦甚小；故此困難可由以下對電場之定義作修正而避免。電場乃是當檢驗電荷 q' 趨近於零時，每單位電荷之檢驗電荷所受之力之極限值：

$$E = \lim_{q' \rightarrow 0} \frac{F}{q'}$$

若在導體中存在著電場，則導體中之各電荷均受其力之作用。由此力引起之自由電荷之運動稱為電流 (Current)。反之，若導體中無電流，因此自由電荷不動，則導體中之電場為零。

在多數情況下，電場之大小與方向各點不同。若在某區域內電場之大小與方向不變，則電場在此區域內稱為均勻 (uniform)。

【例題一】 當 100 伏電池之兩端接到相距 1 厘米之兩塊大平行板時，兩板間區域內之電場甚近於均勻，而其電場強度 E 為 10^4 牛頓/庫侖。假設我們有此強度之電場，且其方向垂直向上。計算電子在此電場中所受之力，並與電子之重量相比較。

$$\text{電子電荷 } e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ 庫侖}$$

$$\text{電子質量 } m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ 千克}$$

$$F_{\text{e.l.e.}} = eE = (1.60 \times 10^{-19} \text{ 庫侖}) (10^4 \text{ 牛頓/庫侖}) \\ = 1.60 \times 10^{-15} \text{ 牛頓}$$

$$F_{\text{grav}} = mg = (9.1 \times 10^{-31} \text{ 千克}) (9.8 \text{ 牛頓/千克}) \\ = 8.9 \times 10^{-30} \text{ 牛頓}$$

所以，電力對重力之比為

$$\frac{1.60 \times 10^{-15} \text{ 牛頓}}{8.9 \times 10^{-30} \text{ 牛頓}} = 1.8 \times 10^{14}$$

我們可見，重力是可忽略的。

【例題二】 若由靜止釋放，則例題 1 中之電子在經過 1 厘米後，將獲得速度若干？其動能將為若干？所需時間長若干？

因為力量是定值，故電子以等加速運動，等加速為

$$a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m} = \frac{1.60 \times 10^{-15} \text{ 牛頓}}{9.1 \times 10^{-31} \text{ 千克}} \\ = 1.8 \times 10^{15} \text{ 米/秒}^2$$

在經過 1 厘米後，或 10^{-2} 米後，其速度為

$$v = \sqrt{2ax} = 6.0 \times 10^6 \text{ 米/秒}$$

其動能為

$$\frac{1}{2}mv^2 = 1.6 \times 10^{-17} \text{ 焦耳}$$