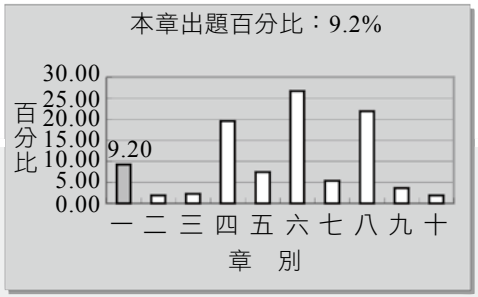
# 第一章 電的基本概念




## 私塾重點提示區

### 一、電子與質子

- ☐ 原子核由帶正電的質子與不帶電的中子緊密結合在一起而成。
- ☐ 電子帶有負電，其數目與質子相等，因此原子為中性不帶電。
- ☐ 質子的帶電量為 $1.6\times10^{-19}$ 庫倫，電子的帶電量為 $-1.6\times10^{-19}$ 庫倫。
- ☐ 帶有相反電性的物質相遇時會互相吸引；帶相同電性的物質會彼此排斥。

### 二、物體的導電性

- ☐ 原子的質子數目稱為原子序。
- ☐ 環繞在原子最外層的電子，稱為價電子，決定了物質的導電性。
- ☐ 價電子數小的元素導電性高，稱為導體。
- ☐ 價電子數高的元素不容易導電，稱為絕緣體。
- ☐ 有些非金屬物質因為分子構造特殊而具備導電性，例如，石墨。
- ☐ 導電性介於導體與絕緣體之間的物質稱為半導體，價電子數為 4。
- ☐ 習慣上電洞可視為一個粒子，其帶電量與電子相同，符號相反。

### 三、靜電與庫倫定律

- ☐ 產生靜電的方法有三種：摩擦起電、感應起電與接觸起電。
- ☐ 玻璃棒經由絲質布摩擦後會帶正電荷之靜電；而塑膠棒經由毛質布料摩擦後會帶負電荷之靜電。
- ☐ 感應起電的金屬棒兩端的電荷電量相等，極性相反。
- ☐ 半徑為 $r_A$、帶電量 $q_A$ 的金屬球與半徑為 $r_B$、帶電量 $q_B$ 的金屬球，兩金屬球接觸後的帶電量 $Q_A$、$Q_B$ 可由以下公式求出：

$$Q_A=(q_A+q_B)\times\frac{r_A}{r_A+r_B};\ Q_B=(q_A+q_B)\times\frac{r_B}{r_A+r_B}$$

□ 庫倫定律：兩帶電體所受作用力 F 與兩個帶電體的電荷量成正比，並且與兩者的距離平方成反比：

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

k 的值為 $9\times10^9$；單位：牛頓・公尺$^2$／庫倫$^2$。

## 四、電流與電壓

□ 電壓的定義，以 $W_{AB}$ 表示將電荷 q 從 A 移到 B 所作的功，可定義 B 點對 A 點的電位差 $V_{BA}$ 為：

$$V_{BA} = \frac{W_{AB}}{q}$$

□ 我們可由電子的移動速度 v、導線單位體積所含的電子數 n（也稱為電子濃度）與導線截面積 A 進一步得到電流的公式：

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{Ne}{t} = \frac{(nvAt)e}{t} = nevA$$

e 即電子的帶電量，其值為 $1.6\times10^{-19}$ 庫倫。

□ 電流是正性電荷的流動而非電子流，其極性與移動方向皆與電子流相反。

□ 正性電荷的速度近於光速，而電子移動的速度則稍慢於電流速度。

□ 如果電路中同時有電洞與電子流，則電流公式中的 Q 為電子之總電荷絕對值與電洞之總電荷值相加。

## 五、能量與功率

□ 功 W 是施力 $\vec{F}$ 與位移量 $\vec{S}$ 的內積，為一純量，單位為焦耳或 J，假定 $\vec{F}$ 與 $\vec{S}$ 的夾角為 $\theta$，則：

$$W = F \cdot S\cos\theta$$

□ 能量也可用燃燒物體使 1 公克水溫上升 1℃ 定義，其單位為卡（cal），根據實驗，卡與焦耳的關係式為：

$$1J = 0.24\text{cal}$$

□ 將一電子改變 1V 的電位差所需要的能量為：

$$1eV = 1.6\times10^{-19}J$$

□ 在日常生活中，我們用電的度數也使用能量來計量，其定義為使用 1000 瓦特電器 1 小時所消耗的能量：

$$1\text{ 度電} = 1\text{ 千瓦－小時} = 3.6\times10^6 J$$

# 內文教學區

## 一、電子與質子

物質能夠帶電是因為原子結構中的電子與質子。在原子模型中，原子是由原子核與環繞在其外的電子構成。**原子核是由帶正電的質子與不帶電的中子緊密結合在一起而成。電子帶有負電，其數目與質子相等，因此原子能保持中性不帶電荷。**在自然界中，這是一種穩定的狀態。**電荷的單位為庫倫。一個質子的帶電量為 $1.6\times10^{-19}$ 庫倫，而一個電子的帶電量為 $-1.6\times10^{-19}$ 庫倫。**兩者的值相同，符號相反。

**原子中只有電子能夠離開原子自由移動。**當電子受到外來能量吸引就有可能脫離原子核的束縛而成為自由粒子。此時，有兩個帶電的物質產生。掙脫的電子帶有負電，而**失去一個電子的原子則因而帶正電，稱為陽離子，我們以符號 $N^+$ 表示。**也有一種情形，原來不帶電的**原子因為捕獲了自由電子而帶有負電，我們稱為陰離子，以符號 $N^-$ 表示。**在大自然中，帶自由電子與離子皆處於不穩定狀態。**當帶有正電的物質與帶有負電的物質相遇時會相吸引而結合，而帶相同電性的物質則會彼此排斥。**

**範例 1.1**

**有一段銅導線的重量是 6.2 公克。已知一個銅原子所有質子的總帶電量是 $4.6\times10^{-18}$ 庫倫，與一個銅原子的質量是 $1.07\times10^{-22}$ 公克，試求出這段銅導線所有電子的總帶電量。**

**【解答】**

先求出導線所含的銅原子數目 N：

$$N=\frac{6.2\,g}{1.07\times10^{-22}\,g}=5.79\times10^{22}\text{ 個原子}$$

因此，導線所有質子的總帶電量為：

$$Q=4.6\times10^{-18}\times N=2.66\times10^{5}\text{ 庫倫}$$

而所有電子的總電量值與 $Q$ 相同符號相反，故答案為 $-2.66\times10^{5}$ 庫倫。

## 二、物體的導電性

自然界中的物質是由各種不同的原子構成，這些原子亦稱為元素。**我們用原子的質子數目，也就是原子序，來分辨不同的原子。**不同的元素有著不同的特性，因此構成了各種不同的物質。例如，金屬類的金由金元素構成，銀由銀元素構成，而銅則由銅元素構成。非金屬類的物質常常是由不同原子組合而成，例如，水由氫元素與氧元素組成，塑膠則由碳元素、氫元素以及其他元素組合而成。我們稱這種不同元素的組合為分子。

在討論物體的導電性時，我們比較關心各元素電子環繞原子核的方式。一般電子是以一層一層的方式環繞著原子核。**而環繞在原子最外層的電子，也就是價電子，決定了物質的導電性。價電子數小的元素因為它的價電子容易掙脫而導電性高，我們稱為導體。**一般金屬類元素的價電子數小所以是良導體，金、銀、銅等金屬的導電性依序是銀（Ag）> 銅（Cu）> 金（Au）。

而非金屬類元素或分子因為其外層電子不容易掙脫，**或是價電子數高而不容易導電，我們稱為絕緣體**，例如，玻璃、塑膠等；然而**非金屬物質也有因為分子構造特殊而具備導電性**，例如，石墨的組成元素是碳，不屬於金屬，卻也有導電性，因此也是導體。在電子電路應用上，導體與絕緣體都扮演重要角色。例如，電線需要絕緣性好的塑膠包覆才不會與另一條電線意外的通電，也就是通稱的「短路」。

**導電性介於導體與絕緣體之間的物質稱為半導體。價電子數為 4 的元素，例如，矽、鍺都有半導體的特性。**半導體在常溫導電性差，但**溫度升高或摻入雜質都可以使它們的導電性提高。**說到半導體，還有一個特性值得討論。那就是常與電子相提並論的「電洞」，在此以矽結晶來說明。矽結晶的結構是由矽離子作規則狀的排列，每個矽離子都與相鄰矽離子相互共用對方的電子而形成穩定狀態。這種共用電子的結合稱為共價鍵。這裡**每個共價鍵有兩個電子，如果因為外在能量而使其中一個電子脫離而留下了一個空缺，此空缺即稱為電洞。**當一個電洞形成常會吸引相鄰共價鍵電子來填補，而造成新的電洞，這種效果就好像電洞會移動一般，因此**我們習慣把電洞視為一個粒子，其帶電量與電子相同，符號相反。**

## 三、靜電與庫倫定律

這個部分介紹靜電的現象與庫倫定律，先看兩個摩擦起電的實驗。首先，我們用絲質布摩擦一根玻璃棒，然後再用絲質線懸吊這根玻璃棒，如圖 1.1 所示，另外我們同樣再以絲質布摩擦另一根玻璃棒，然後用它去靠近懸吊起的玻璃棒，我們會發現兩根玻璃棒會有互斥的力量產生。

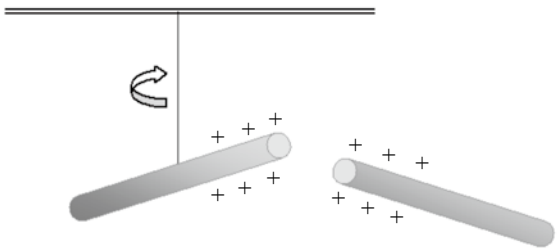


圖 1.1　摩擦起電實驗

第二個實驗我們以毛質布摩擦塑膠棒，同上一個實驗，將塑膠棒以絲質線懸吊，然後用另一根以毛質布摩擦過的塑膠棒靠近。我們將發現同樣有互斥的力量產生。然而，如果用先前摩擦過的玻璃棒去靠近塑膠棒，則兩者會相互吸引。

這兩個實驗的結果可用靜電來解釋。**當玻璃棒經由絲質布摩擦後會帶靜電，其電荷為正電；而塑膠棒經由毛質布料摩擦後會帶負電荷之靜電。**因為帶同性電荷之物體會互斥，而帶異性電荷之物體會相吸。像這種因為摩擦或其他方法（下一段將介紹）而產生保持在物體上的電，我們稱為靜電。

如果我們也用同樣的方法摩擦金屬棒，會發現難以使它帶靜電，這是因為金屬是導體，電荷容易從握者金屬棒的手流向大地（人體也是一種導電性佳的導體），我們稱之為「接地」。**為使金屬帶靜電可以用感應起電與接觸起電。**

感應起電的方法如圖 1.2 所示。我們用帶有正電的玻璃棒靠近以絲線懸吊的金屬棒，發現金屬棒靠近玻璃棒的一端感應負電荷而受吸引，另一端則帶有正電荷。根據量測，**受感應起電的金屬棒兩端的電荷電量相等而極性相反，因此金屬棒產生了電荷分離，其總電量仍保持為零。**此時如果玻璃棒移開，金屬又將恢復原來電荷未分離的狀態。

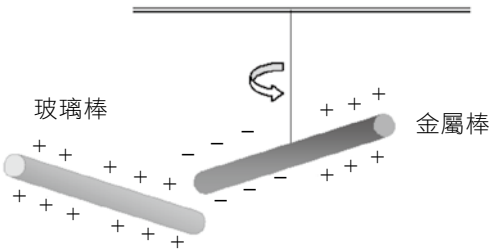



圖 1.2　感應起電實驗

為使金屬保持帶電，我們可以如圖 1.3 所示，將電荷分離的金屬棒一端接地。接地一端的電荷流向大地；而未接地一端的電荷仍存在。我們將玻璃棒與接地都移開，最後會得到只帶有一種極性靜電的金屬棒。

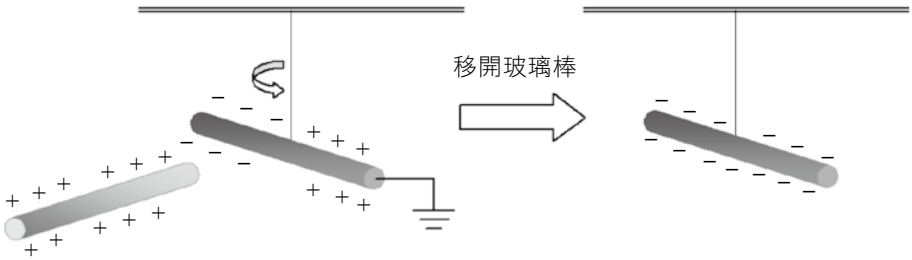



圖 1.3　將電荷分離的金屬棒一端接地並移開玻璃棒使金屬棒帶靜電

另一個使金屬帶電的方法是接觸起電。如圖 1.4 所示，**用帶正電的玻璃棒直接接觸懸吊的金屬棒。我們會發現金屬棒也同樣產生正電而與玻璃棒排斥。**如果把玻璃棒與金屬棒都換成金屬球，就是下一段要介紹的庫倫定律實驗。

另外，我們來看兩帶電球體接觸後電荷分布的方式。假設有一金屬球 A，半徑為 $r_A$，帶有電量 $q_A$；另有一金屬球 B，半徑為 $r_B$，帶有電量 $q_B$。經由推導，**兩金屬球接觸後的帶電量 $Q_A$、$Q_B$ 可由以下公式求出：**

$$Q_A=(q_A+q_B)\times\frac{r_A}{r_A+r_B}\,;\,Q_B=(q_A+q_B)\times\frac{r_B}{r_A+r_B} \qquad \text{（式 1.1）}$$

上述公式的推導超出本章範圍，我們只列出結果*，不過它所表示的意義是**球體的儲電容量與球半徑成正比。**

* 如果讀者想進一步深究可參考曹培熙，《基礎物理學 2/E（下冊） Halliday》第 27 章「電容器和電介質」。

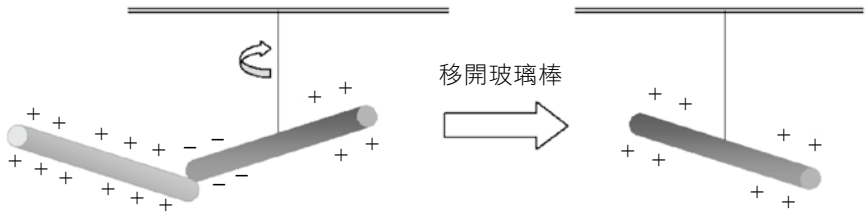



圖 1.4　接觸起電實驗

**範例 1.2**

**有一金屬球 A，半徑為 3 公分，帶有電量 $9\times10^5$ 庫倫；另外有一不帶電的金屬球 B，半徑為 6 公分，今將兩金屬球接觸後再分開，試計算金屬球 B 的帶電量 $Q_B$。**

**【解答】**

將數值代入（式 1.1）可求出 $Q_B$：

$$Q_B=\frac{6}{3+6}\times 9\times 10^5=6\times 10^5 \text{ 庫倫}$$

由前述實驗我們得知一個帶電體會對另一個帶電體產生作用力。物理學家庫倫經由實驗推導出**此作用力與兩個帶電體的電荷量成正比，並且與兩者的距離平方成反比。**我們可由以下公式表示此作用力 F：

$$F\propto\frac{q_1q_2}{r^2} \qquad \text{（式 1.2）}$$

$q_1$、$q_2$ 表示兩帶電體的電量，單位為庫倫。r 為兩者的距離，單位為公尺。庫倫經由實驗進一步求出可以使上式成為等式的常數 k：

$$F=k\frac{q_1q_2}{r^2} \qquad \text{（式 1.3）}$$

**（式 1.3）即庫倫定律，k 的值為 $9\times10^9$，其單位為牛頓－公尺$^2$／庫倫$^2$。**

當 $q_1$、$q_2$ 為相同極性，F 為正，表示排斥力；當 $q_1$、$q_2$ 為相反極性，F 為負，表示吸引力。

# 【實力養成區】

(　　) 1. 電子伏特（eV）可以是下列何種物理量表示之使用單位？
(A) 電量　(B) 電流
(C) 能量　(D) 電壓　【92 地特】

(　　) 2. 有關電位之敘述，下列何者為正確？
(A) 係一向量
(B) 愈靠近正電荷處之電位愈高
(C) 愈靠近負電荷處之電位愈高
(D) 具有方向性

(　　) 3. 下列何者是電壓的單位？
(A) 庫倫　(B) 焦耳
(C) 安培・秒　(D) 伏特

(　　) 4. 若一銅線每分鐘有 1.2 庫倫的電量通過，則其電流為多少安培？
(A) 0.02　(B) 0.03
(C) 0.04　(D) 0.05　【93 初】
▶▶【解析】
$I=\frac{Q}{t}=\frac{1.2}{60}=0.02$ 安培。

(　　) 5. 讓 $4\times10^{18}$ 個電子流過截面積為 0.1 $cm^2$ 的金屬銅線，若電流為 5 mA，則所需的時間為多少秒？
(A) 12.82　(B) 15.38
(C) 128.2　(D) 153.8
▶▶【解析】
$Q=ne=4\times10^{18}\times1.6\times10^{-19}=0.64$，$t=\frac{Q}{I}=\frac{0.64}{5\times10^{-3}}=128.2$ 秒。

(　　) 6. 某電器元件的輸入電壓及輸入電流分別為 110 伏特及 5 安培，而輸出電壓及輸出電流則分別為 88 伏特及 4 安培，則此元件的效率為下列何者？
(A) 80%　(B) 64%
(C) 32%　(D) 16%

1.C　2.B　3.D　4.A　5.C　6.B

▶▶【解析】

$\eta=\frac{P_{out}}{P_{in}}=\frac{88\times 4}{110\times 5}=\frac{16}{25}=64\%$ 。

( ) 7. 有甲、乙、丙三種材料，其價電子數依序分別為 1、4、8，何者較適合做絕緣體？

(A) 甲 (B) 乙

(C) 丙 (D) 無法判斷

( ) 8. 某一蓄電池內部原有 50 庫倫電量，充電 2 分鐘後，蓄電池之電量增加到 410 庫倫，則其平均充電電流為多少安培？

(A) 1.5 (B) 3

(C) 60 (D) 180 【98 鐵特、警特】

▶▶【解析】

$I=\frac{\Delta Q}{t}=\frac{410-50}{60\times 2}=3$ 安培。

( ) 9. 將 5 庫倫正電荷由 b 點移至 a 點，須作功 125 焦耳，若 a 點電位為 40 伏特，則 b 點電位為多少伏特？

(A) 65 (B) 40

(C) 25 (D) 15

▶▶【解析】

$W=qV_{ab}$，$V_{ab}=\frac{W}{q}=\frac{125}{5}=25$ 伏特，$V_b=V_a-V_{ab}=40-25=15$ 伏特。

( ) 10. 有一銅線，其流通電流為 16 安培，電子密度為 $10^{29}$ 個自由電子數／立方公尺，截面積為 0.1 平方公分，試求電子在銅線內之平均漂移速率約為多少公尺／秒？

(A) $16\times 10^{4}$ (B) $9\times 10^{8}$

(C) $4\times 10^{-8}$ (D) $1\times 10^{-4}$

▶▶【解析】

$I=nev_dA=10^{29}\times 1.6\times 10^{-19}\times v_d\times 0.1\times 10^{-4}$，$v_d=10^{-4}$ 公尺／秒。

( ) 11. 有一電荷帶有 $10^{12}$ 個電子，通過端電壓為 100 伏特之某元件，則作功約為多少焦耳？

(A) $1.6\times 10^{-5}$ (B) $3.2\times 10^{-12}$

(C) $6.25\times 10^{-19}$ (D) $3.6\times 10^{-20}$

▶▶【解析】

$W=qV=1.6\times 10^{-19}\times 10^{12}\times 100=1.6\times 10^{-5}$ 焦耳。



7.C 8.B 9.D 10.D 11.A

(　　) 12. 設有庫倫及庫倫兩個點電荷，相距 $r$ 公尺，其介質之介電係數為 $\varepsilon$，則兩電荷之作用力為多少？

(A) $F=\dfrac{Q_1 Q_2}{r^2}$　　(B) $F=\dfrac{Q_1 Q_2}{4\pi r^2}$

(C) $F=\dfrac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon r^2}$　　(D) $F=\dfrac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon r}$

(　　) 13. 導體中電子傳遞的速度與下列何者成正比？

(A) 導體截面積　　(B) 導體電子帶電量

(C) 電子數　　(D) 電流

▶▶【解析】

電流與電子傳遞速度 $v_d$ 的關係式為 $I=nev_dA$，$v_d=\dfrac{I}{neA}\propto I$ 。

(　　) 14. $10^{-2}$ 庫倫的電量，於 $10^{-3}$ 秒通過一元件，已知元件之壓降為 500 伏特，求此元件所消耗平均功率為多少瓦特？

(A) 5000　　(B) 7500

(C) 10000　　(D) 12500

▶▶【解析】

平均功率 $P_{av}=\dfrac{\Delta W}{\Delta t}=\dfrac{(\Delta q)\cdot V}{\Delta t}=\dfrac{10^{-2}}{10^{-3}}\times 500=5000$ 瓦特。

(　　) 15. 有 10 安培電流流過某一金屬導體，則 5 分鐘內約有多少個電子通過該導體之截面積？

(A) $1.6\times10^{19}$　　(B) $1.87\times10^{22}$

(C) $3.6\times10^{22}$　　(D) $6.25\times10^{22}$

▶▶【解析】

$I=\dfrac{\Delta Q}{t}=\dfrac{ne}{t}$，$n=\dfrac{I\cdot t}{e}=\dfrac{10\times5\times60}{1.6\times10^{-19}}\cong1.87\times10^{22}$ 個。

(　　) 16. 將 7460 牛頓的重物等速垂直上升 10 公尺需時間 10 秒，需相當於多少馬力數之功率：

(A) 10　　(B) 74.6

(C) 100　　(D) 149.2

▶▶【解析】

$P=\dfrac{W}{t}=\dfrac{F\cdot S}{t}=\dfrac{7460\times10}{10}=7460$ 焦耳，$\dfrac{7460}{746}=10$ 馬力。

(　　) 17. 有一台 10 馬力電動機，效率為 0.746，若接於 100 伏特之電源，則電

12.C　13.D　14.A　15.B　16.A　17.D

動機輸入電流為多少安培：
(A) 10　(B) 60
(C) 85　(D) 100　【98 初】
▶▶【解析】
$\eta=\frac{P_{out}}{P_{in}}=\frac{10\times 746}{I\times 100}=0.746$，$I=\frac{7460}{74.6}=100$ 安培。

(　) 18. 設兩個點電荷有 $Q_1$ 庫倫與 $Q_2$ 庫倫，相距 $r$ 公尺，則 $Q_1$ 電荷所受之作用力？
(A) 與 $r^2$ 成正比
(B) 與 $r^2$ 成反比
(C) 與點電荷所在介質之介電係數成正比
(D) 與 $Q_1$、$Q_2$ 乘積成反比
▶▶【解析】
$F=k\frac{Q_1Q_2}{r^2}\propto\frac{1}{r^2}$。

(　) 19. 電能之單位為何？
(A) 焦耳　(B) 瓦特
(C) 庫倫　(D) 法拉

(　) 20. 將 0.5 庫倫之正電荷由 A 點移至 B 點，須作正功 35 焦耳，若 B 點電位為 +30V，則 A 點電位應為多少伏特？
(A) −40　(B) −5
(C) 70　(D) 100　【97 鐵特、公路特】
▶▶【解析】
$W=qV_{ba}$，$V_{ba}=\frac{W}{q}=\frac{35}{0.5}=70$，$V_a=V_b-V_{ba}=30-70=-40$ 伏特。

(　) 21. 一台 5 馬力（hp）的電動機，連續以額定負載運轉 8 小時，若電費每度為 2.5 元，則應繳多少電費？
(A) 74.60　(B) 93.25
(C) 29.84　(D) 37.30
▶▶【解析】
$W=P\cdot t=5\times 746\times 8\div 1000=29.84$ 千瓦－小時，$29.84\times 2.5=74.6$ 元。

(　) 22. 一度電的能量相當於多少焦耳？
(A) 1　(B) 1000
(C) 3600　(D) $3.6\times 10^6$


18.B　19.A　20.A　21.A　22.D