

## 電力線分佈實驗

### 目的

藉由電力線的分佈情形，瞭解靜電荷之間的交互作用。

### 實驗方法

如圖 1 所示，使用一個裝有一對電極的碳質畫板，與串聯電阻並聯後接上電源，則碳質畫板上即有電位產生。再利用惠斯同電橋的原理（如圖 2）來測出等位點，連接所有點即成等位線；依此類推，可以描繪出其他的等位線，進而繪出電力線的分佈。

惠斯同電橋的原理：當電阻滿足下式時，則檢流計無電流，EF 兩點間為等電位。

$$\frac{R_{AE}}{R_{CF}} = \frac{R_{EB}}{R_{FD}}$$

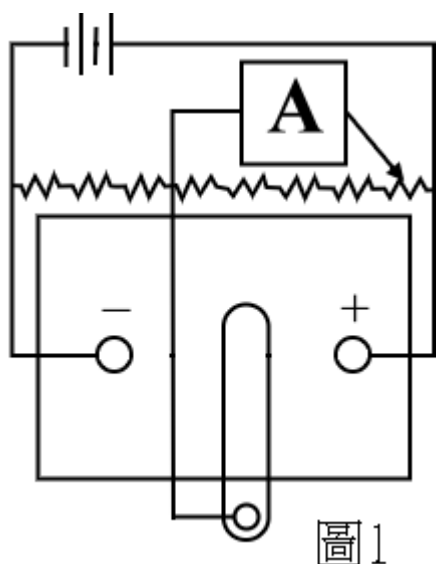


圖 1

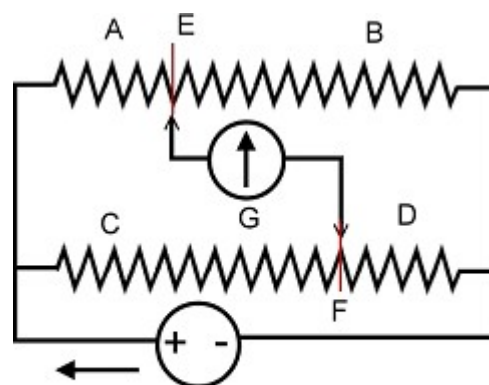


圖 2

### 原理

#### 一、電場

電場的強度定義為：將一極小的試驗電荷（test charge）置於一靜電場中，其單位電荷所受的力，即  $\vec{E} = \lim_{q_0 \rightarrow 0} \frac{\vec{F}}{q_0}$ ，其中，試驗電荷的帶電量必須足夠小（ $q_0 \rightarrow 0$ ），否則會影響到它原來所探測的靜電場的分佈。

## 二、電力線

為了方便看出電場的強度和方向，法拉第 (Faraday) 引入了「電力線」的觀念：一個自由電荷在電場中每一瞬間於該點所受的淨力方向形成的路徑即為電力線，而電場的方向即為電力線在該處的切線方向。圖 3(a)與(b)為正負電荷產生之電力線。

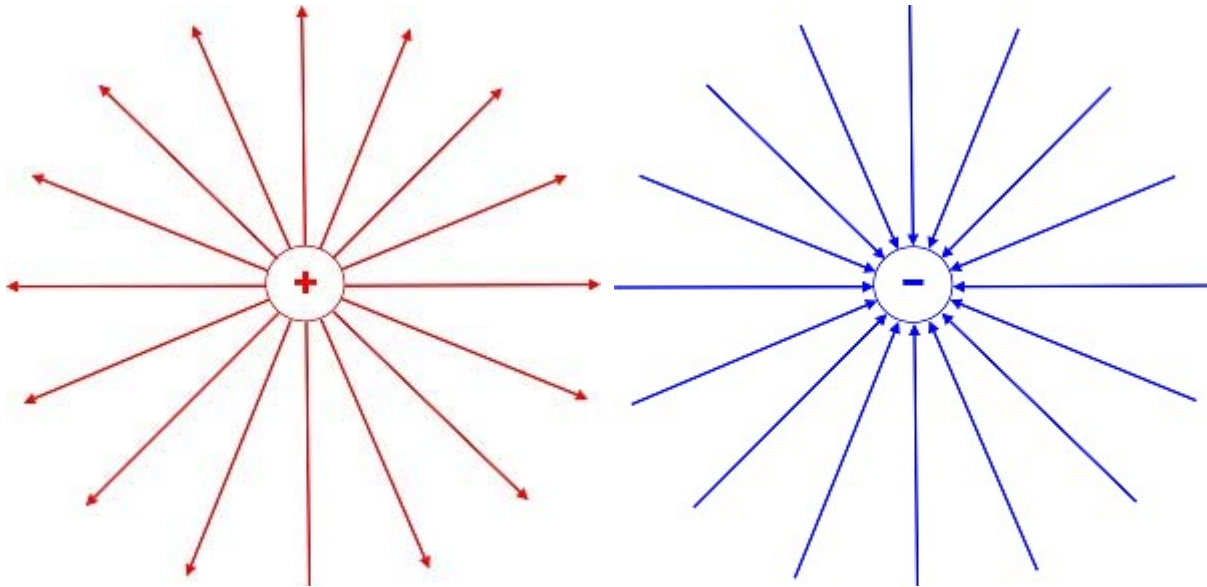


圖 3 (a)

圖 3 (b)

電力線的性質：(1) 正電荷，電力線指向外，如圖 3 (a)，負電荷，電力線指向內，如圖 3 (b)；(2) 電力線數目正比於電量的大小；(3) 電力線密度與電場大小成正比；(4) 電力線不可以相交；(5) 均勻電場的電力線是互相平行的。

## 三、電位差

欲在外加電場中移動試驗電荷，必須反抗電場而對電荷  $q_0$  作功  $W = \int \vec{F} \cdot d\vec{\ell} = \int q_0 \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$ 。定義  $U = -W$  為電位能 (Electric potential energy)。電場中某一點上單位電荷所受的電位能為電位

$$V = \frac{U}{q_0} = -\int \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$$

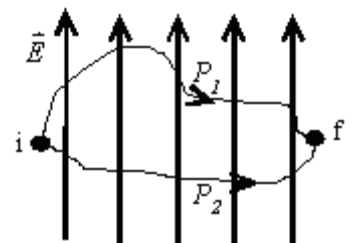


圖 4

如圖 4 所示，可以定義電場中任兩點之  $i$  和  $f$  間的電位差 (Electric potential different) 為

$$\Delta V = V_f - V_i = \frac{U_f}{q_0} - \frac{U_i}{q_0} = \frac{\Delta U_{if}}{q_0} = -\int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\frac{W_{if}}{q_0}$$

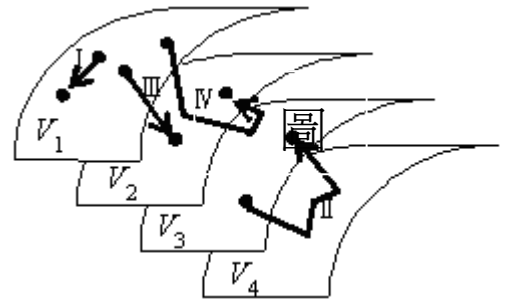
一般我們可以任意選擇參考零電位，大部分假設無窮遠處  $V_\infty=0$ ，則可以定義電位 (Electric potential) 為：將電荷  $q_0$  從無窮遠處內移到某一點  $f$  所作的功除以  $q_0$ ，即

$$-\frac{W_{\infty f}}{q_0} = \frac{\Delta U_{\infty f}}{q_0} = \frac{U_f}{q_0} - \frac{U_\infty}{q_0} = V_f - V_\infty = V_f = V$$

#### 四、等位面

電場中所有電位相同之點的軌跡稱為等位面 (equipotential surface)。如圖 5，有四個等位面，相對應於不同電位  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$ 。可對空間某區域之電場作一般的描述，其功用與電力線相同。

將試驗電荷  $q_0$  在等位面上任意移動不需做功，因為由上式，在等位面上  $V_i=V_f$ ，故  $\Delta V=0$ ，即  $W_{if}=0$ 。此亦可說明電位差與路徑無關，即使連接起點與終點的路徑不在同一等位面上。



#### 五、電力線與等位面的關係


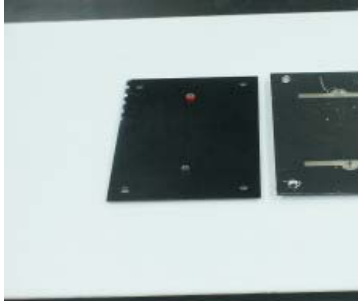

$\vec{E}$  是沿電力線的切線方向，等位面與  $\vec{E}$  正交。若和等位面沒有互相垂直，則  $\vec{E}$  必可在等位面上分解出一分量  $\vec{E}_{\parallel}$ ，因電荷在等位面上移動不需做功  $\int \vec{E}_{\parallel} \cdot d\vec{\ell} = 0$ ，故只有與等位面垂直的分量有功用，由此可知：電力線必與等位面（線）正交，只要畫出等位面（線），即可畫出電力線來。

#### 六、導體的電位

導體內的『自由電子』（電荷）並不屬於任何一個特定之原子，可以自由的移動。當導體於外界電場中，自由電子開始流動而造成電流，直到導體內每一點的電位都相等才停止流動，除非電源供應器一直供應電動勢，才能保持電流的連續不斷。

## 實驗儀器

【直流電源供應器、檢流計、電阻組】已結為一組、碳質畫板（底面電極形狀不同）x5、U型探針。

		
直流電源供應器、檢流計、電阻組	碳質畫板	U型探針

## 實驗步驟(請上物理系網站，預習實驗演示影片)

### 注意事項：

- 電極板板面應朝下，以避免刮傷板面。
- 勿將電極板的香蕉接頭插座拆下，以免損壞電極。

### A、電路的接法：

- 將畫板跟方格畫紙(由助教供應)固定在四顆螺絲下，再使用電線連接直流電源供應器與電阻組。
- 接著再連接畫板上的電極與之並聯。
- 最後將檢流計的一端連接到電阻〈不要與電極同一孔〉，另一端連接到U形探針即可。

### B.操作步驟

- 開起電源使用U形探針找出畫板上的點使檢流計值為0的地方，並在方格紙記錄該點。

- 2.更換檢流計一端所接電阻的位置將各種不同電壓的等位線全部描出。
- 3.再利用所有不同的等位線描繪出電力線
- 4.更換不同電極形狀的畫板，更換新方格紙，重複 1.2.3 步驟。

以下之問題可幫助同學對該實驗更深入思考。

- 1.請問本實驗目的為何？
- 2.本實驗的設計方法是利用何種原理來測量等位點的位置？並請簡述之。
- 3.為何找出等位線即可了解電力線分佈？
- 4.電力線與電場有何關係？
- 5.為何電力線不可以相交？並解釋為何靠近導體表面的等位線（面）平行於導體表面。
- 6.畫出下圖中兩相鄰電荷的電力線及等位線分佈圖。



- 8.請寫出操作本實驗應該注意的事項？
- 9.對照本實驗網頁中的圖 2 和實驗儀器設備，其中串聯電阻組、碳質畫板和 U 型探針各相對應圖 2 中的那部分？請指出。
- 10.本實驗的串聯電阻組有何作用？共有幾個電阻組成？
- 11.在步驟 1 中利用 U 形探針找出畫板上使檢流計值為 0 的地方時，也有可能是接觸不良而造成的，你如何分辨這是不是等位點？
- 12.此實驗示範影片中所描繪的等位線形狀你猜是那種形狀的電極呢？
- 13.在步驟 B1 中，為何要移動探針使得檢流計上的電流為零？
- 14.如下圖所示平面，左邊電力線間距為右邊的兩倍，若 A 點的電場大小為 40 NT/Coulomb，則 (a)一質子在 A 點所受之力為何？(b)B 點電場的大小為何？

