

富蘭克林馬達

周鑑恒

磁場和電場在空氣中所造成的效應完全不同，電場很強時很容易電離空氣而引起放電現象，磁場則不然。因此，日常生活用到的大小馬達，都利用線圈通電造成磁場，藉磁力轉動，即使日本新幹線超特快列車上所用的大功率馬達（高達幾十萬匹馬力），也是靠磁力推動。然而，隨著微機械之蓬勃發展，微馬達也漸受重視，因為微機械總好用一般馬達作為動力。當馬達的尺寸越縮愈小，繞線圈產生磁場的方式漸漸變得困難重重。相反的，直接了當利用電荷之間的庫倫力轉動馬達的簡單設計，反而更為實用可靠，而這樣的設計並非新的創作，早在富蘭克林研究電學時，製作出運用相似原理的轉輪。

眾所週知，避雷針是富蘭克林的主要發明，而避雷針之所以能夠導引雷電是靠尖端放電，所謂尖端放電是因為尖端附近的電場較強，於是電離空氣，空氣被電離後產生正離子和電子，倘若尖端為正極，電子於是被尖端吸收，正電尖端附近的空氣於是帶有許多正離子，這些正離子被正電尖端斥開，不斷進行這個過程，即造成正極尖端附近一直發放正離子的現象。同理，倘若尖端為負極，負極尖端附近就會一直發放負離子。

如果能把空氣分子放大，以輕巧的小金屬物件代替，再把此金屬物件以不導電的絲

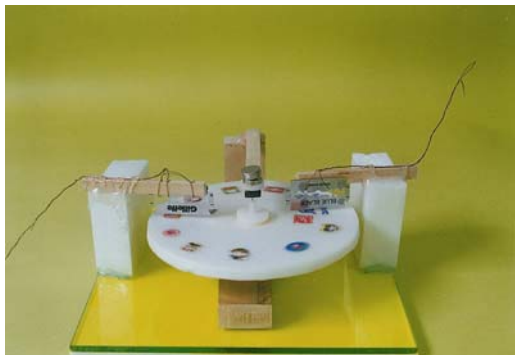
線懸吊起來，並置於兩電極之間，使其起始之受力平衡，金屬物件於是盪向某極，例如正極，金屬物件撞到正極後帶正電，立即受正極斥開，同時受對面的負極吸引，於是撞向負極，撞及負極後帶負電，又重複相似的過程，結果就是，金屬物件來回斷敲擊正、負極。富蘭克林製作了這種裝置，裝置的兩電極製成鐘型，分別接地和避雷針，將要雷擊前，兩電極帶高壓靜電，金屬物件即不斷敲鐘，警示即將打雷。這種裝置即稱之為富蘭克林鐘。

富蘭克林馬達和富蘭克林鐘的原理完全一樣，只不過是金屬物件不循原軌跡在正負極之間來回擺盪，而是循圓形軌跡在正負極之間繞旋而已。

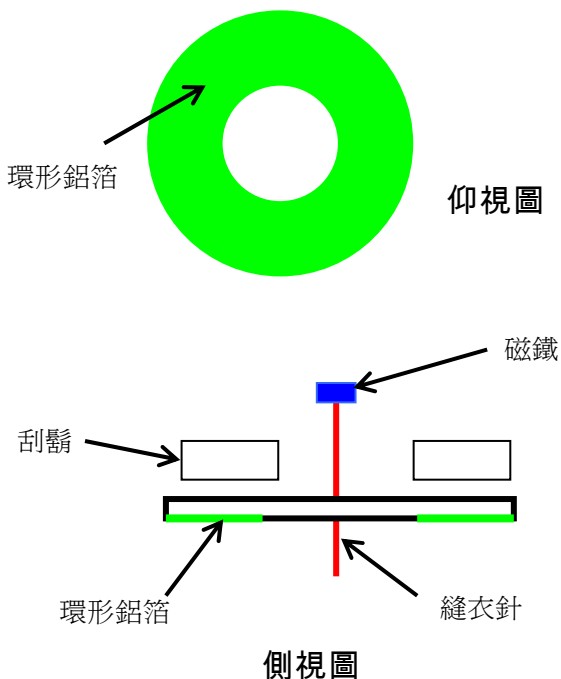
本文介紹的富蘭克林馬達實驗，除了有關上述同性電荷相斥，異性電荷相吸之外，還涉及摩擦起電、尖端放電、等中小學課程中即提到的電學原理。演示之效果，與摩擦檯板或尺，以吸引小紙片；金箔驗電瓶感電使金箔張開的效果雷同，十分適於在中小學中演示。

圖一為製作過程精度要求較高的富蘭克林馬達，轉子由一珍珠板製成的圓盤構成，圓盤下面貼上一環狀鋁箔（見圖二），圓盤圓心垂直插入一根針尖朝上的縫衣針作為轉軸，針尖由磁鐵吸住懸吊整個圓盤，以使

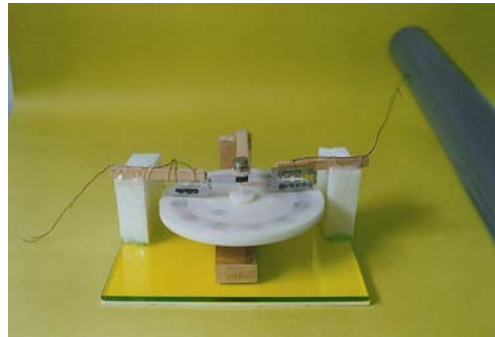
阻撓圓盤旋轉的摩擦力造成的力矩減至最小，圓盤上方 3 公釐處左右各有一刮鬚刀片，左側刮鬚刀以銅絲接地，右側刮鬚刀以銅絲作為集電器，這具特別改良的富蘭克林馬達，十分靈敏，只須以尼龍和羊毛混紡的布料摩擦 PVC 管，再使帶電的 PVC 管接近與右側刮鬚刀相連的銅絲，此富蘭克林馬達就會旋轉（見圖三）。



圖一 珍珠板製成的富蘭克林馬達之實物攝影。



圖二 珍珠板製成的富蘭克林馬達之仰視和側視圖。



圖三 珍珠板製成的富蘭克林馬達運轉的情形。

若要準備材料與學生一同動手製作，提高學生的學習興趣，則可稍加變化設計，只用日常生活用品，製作一具富蘭克林馬達，此富蘭克林馬達之設計經筆者改良，製程簡單，成功率大增。於 2003 年「物理教學與演示研討會」工作坊中，與會的中小學教師，在毫無預習，亦無書面講義，只憑口頭解釋實物的情形之下，費時一至一個半小時，有百分之八十的成功率。

用到的材料如下：

- 一、美勞用的珍珠板；
- 二、水晶杯（7-11 有售，即郊遊、聯誼飲宴時用的塑膠杯。杯口直徑 7 cm、杯底直徑 4.5 cm、高 8.5 cm，便利超商有售，亦可向飲料小店索取）；
- 三、任何一支筆端凹陷的筆（墨水用盡的廢棄筆即可）；
- 四、烹飪用的鋁箔；
- 五、書局有售的貼紙圖案；
- 六、PVC 水管一截（長約 50 cm，直徑約 6~7 cm）；

七、尼龍和羊毛混紡的布一塊。

八、剪刀、雙面膠、膠帶、強力膠等。

富蘭克林馬達之製程非常簡單。首先，將改良式的圖釘（美式圖釘）從水晶杯底部圓心垂直穿入，將鋁箔剪成六塊 $2.4 \times 2.8 \text{cm}^2$ 的長方形，分別用強力膠黏在靠近杯口的地方。再把筆端凹陷的筆凹陷朝上，用雙面膠垂直豎立黏在珍珠板上（珍珠板比較不容易受濕氣影響，使絕緣效果變差）。將水晶杯倒扣，以杯底圖釘頂在豎立的筆上，如圖四所示，使杯子能輕易自由轉動，再把漂亮的貼紙也黏在靠近水晶杯口的地方，一方面裝飾得五彩繽紛，一方面降低水晶杯重心，改善平衡。再用厚紙製成兩側靠近水晶杯的碑牌狀物體，把剪成鋸齒狀的鋁箔用強力膠貼在其上，一邊的鋁箔接地，另一邊的鋁箔懸空的那一端也剪成鋸齒狀，用尖端放電接收 PVC 管上的電荷。最後，此碑牌狀物體亦用雙面膠固定在珍珠板上，就大功告成。



圖四 水晶杯製成的富蘭克林馬達之實物攝影。

摩擦尼龍和羊毛混紡的布和 PVC 管，使帶電的 PVC 管接近（接觸）一側懸空的鋁箔，另一側鋁箔確實接地，富蘭克林馬達即

不停旋轉（見圖五）。此外，還有兩種特別有趣的玩法：（一）先使萊頓瓶（註）充電，再一手拿起萊頓瓶，一手摸著碑牌上的鋁箔，同時把萊頓瓶上之集電旗接觸另一側碑牌上的鋁箔，利用身體作為迴路，富蘭克林馬達也會轉個不停。（二）用一長導線以鱷魚夾連接碑牌上懸空的鋁箔，另一側碑牌上的鋁箔則確實接地，長導線另一端用鱷魚夾夾住一剪成鋸齒狀的鋁箔，摩擦尼龍和羊毛混紡的布和 PVC 管，使帶電的 PVC 管接近（接觸）長導線遠端的鋸齒狀鋁箔，遠遠的經過電線使富蘭克林馬達轉動。



圖五 水晶杯製成的富蘭克林馬達運轉的情形。

這具富蘭克林馬達有許多別出心裁的創意空間，但以下三點是改良之要點：

一、黏在兩側碑牌狀厚紙上的鋁箔，靠近水晶杯的一端都要剪成鋸齒狀，尖端無須接觸，只利用尖端放電，即可將電荷傳導到水晶杯上的鋁箔，完全無礙水晶杯轉動。鋁箔接地的一端和鋁箔懸空的一端，也都剪成鋸齒狀，以利電流通。此外碑牌狀厚紙之形狀俯視時應如圖六所示，以增加旋轉的力矩。

二、將美式圖釘從水晶杯底部圓心垂直穿

(下轉第 14 頁)