

2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

☐國中組 ☐普高組 ☒技高組 成果報告格式

題目名稱：靜電真好玩

一、摘要

我們研究出一款低成本、易於組裝的「E-Detect」靜電偵測教學用教具，能判別物體所帶電荷的極性（正電或負電），兼具教學與科普推廣價值。設計過程中，參考國立自然科學博物館[1]與國立臺灣科學教育館[2]所提供的靜電現象資源，亦啟發我們釐清靜電與感應作用的概念，並構思出具備電性辨識功能的教學教具原型。裝置的主要設計是採用達靈頓電晶體放大電路，利用天線接收靜電感應的微弱電流，將其放大後藉此分辨物體帶電之性質，接近正電荷，遠離負電荷，都可以使 LED 燈與蜂鳴器發出訊號，使觀察者能藉此探究靜電現象。

二、探究題目與動機

有沒有在冬天脫毛衣時聽到「劈啪」聲，或不小心碰到別人時被電到？這些讓人嚇一跳的經驗，其實就是生活中常見的靜電現象[3]。我們平常會說「有靜電」，但靜電到底是什麼？為什麼會出現？要怎麼知道是正電還是負電？[4] [5]這些問題看似簡單，實際上背後有著許多電學的基本概念。我們查閱了自然科學博物館和科教館的線上教學內容，學習到靜電的形成原因與特性，也從中得到啟發，嘗試設計出能偵測物體是否帶電以及所帶電荷性質的裝置。

三、探究目的與假設

1. 探討摩擦起電與靜電感應現象
2. 設計與製作「E-Detect」靜電偵測裝置
3. 驗證物體帶電的電荷與靜電感應作用原理

四、探究方法與驗證步驟

利用使用生活中常見的物品來摩擦起電[6]進行靜電觀察實驗，並逐步驗證不同物體帶電後產生的反應差異。

實驗器材:氣球、資料夾、金箔驗電瓶、毛皮、靜電棒

實驗 1-1 氣球的靜電現象之觀察

觀察氣球與毛皮摩擦後，對於驗電瓶所產生的靜電反應，如圖 1 所示，在圖 1 (a)中，摩擦的氣球距離驗電瓶較遠的情況，在金箔還沒產生變化；在圖 1 (b)中，摩擦後的氣球靠近驗電瓶時，金箔因為氣球所帶的靜電而張開，呈現出驗電瓶受到帶電物體的靜電感應作用。



(a)將毛皮與氣球摩擦



(b)將摩擦後的氣球靠近驗電瓶

圖 1：氣球與毛皮摩擦所產生之靜電感應

實驗 1-2 料夾的靜電現象之觀察

觀察資料夾與毛皮摩擦對驗電瓶所產生的靜電現象，如圖 2 所示，在圖 2 (a)，摩擦資料夾距離驗電瓶較遠的時候，金箔還沒產生變化；在圖 2 (b)，摩擦後的資料夾靠近驗電瓶時，金箔因為資料夾所帶的靜電而張開，呈現出驗電瓶受到帶電物體的靜電感應作用。

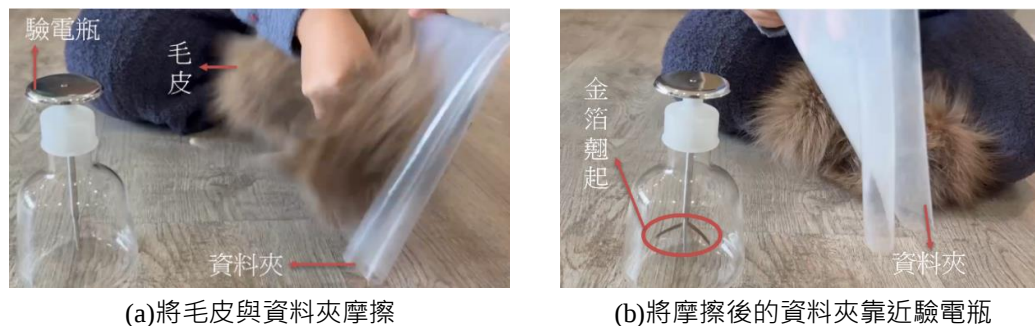


圖 2：資料夾與毛皮摩擦所產生之靜電感應

實驗 1-3 靜電棒的靜電現象之觀察

使用能產生正電荷累積的靜電棒，使驗電瓶所產生的靜電感應，如圖 3 所示，當靜電棒距離驗電瓶較遠的時候(圖 3 (a))，金箔還沒產生變化；在圖 3 (b)中，當靜電棒靠近驗電瓶時，金箔因為驗電瓶所帶的靜電而張開，呈現出驗電瓶受到帶電物體的靜電感應作用。

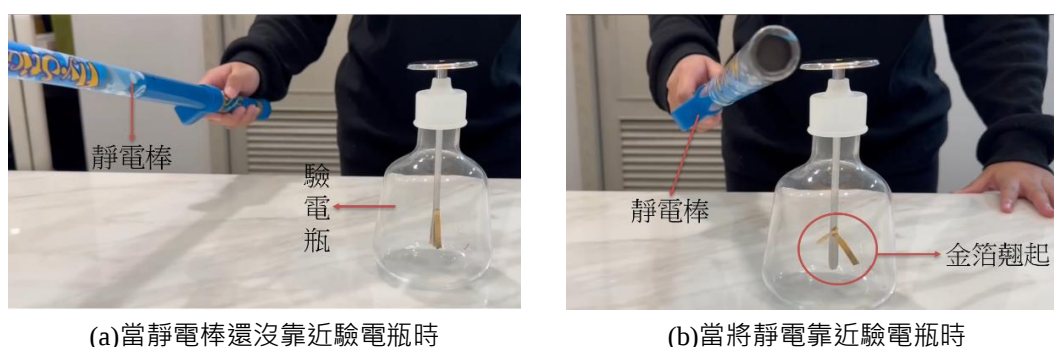


圖 3：已知為正電的靜電棒對驗電瓶所產生之靜電感應

將實驗 1-1~1-3 的觀察結果製作成表格

表 1 實驗 1-1~1-3 之觀察結果

實驗對象	驗電瓶反應	帶靜電之電性
氣球	金箔明顯張開	只知道帶電，電性未知
資料夾	金箔明顯張開	只知道帶電，電性未知
靜電棒	金箔明顯張開	已知帶電，並且帶正電

實驗 2 電荷電性分辨裝置製作

在實驗 1-1~1-3 中，我們發現，使用毛皮分別摩擦氣球與資料夾後，均能使驗電瓶的金箔張開，從而證明這些物體確實帶有靜電。但是，只能判定物體是否帶有靜電，無法直接區分靜電性質是正電還是負電；必須再利用與已知電性物體之間的異性電吸引或同性電排斥的關係，才能推測出物體所帶電荷的性質。因此我們進一步設計了「E-Detect」靜電偵測裝置，其主要設計規劃如下：

1. 能受到靜電感應[7]使導體內自由電子在受到外來靜電場[8]作用移動，而形成微弱電流
2. 採用達靈頓電路[9]構成的放大電路，將微弱電流放大，能夠以 LED 與蜂鳴器發出訊號
3. 利用表 2 中的製作材料與表 3 中的製作工具來製作

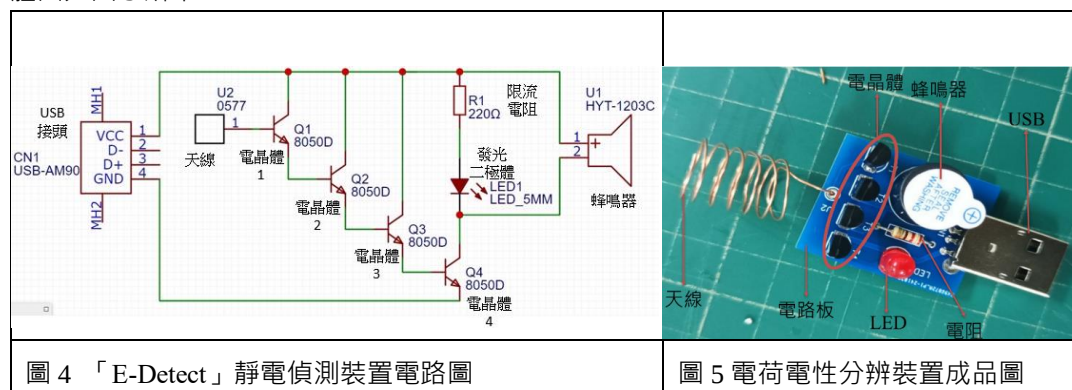
表 2 電荷電性分辨裝置製作材料

	品名	規格	數量	費用
1	電路板	35x25 mm	1 片	25 元
2	USB 接頭	USB 公頭	1 個	3 元
3	LED	5 mm 紅光	1 個	0.5 元
4	蜂鳴器	有源、12mm	1 個	10 元
5	銅線	2 mm、20cm	1 條	1 元
6	電晶體	S8050D(NPN)	4 個	4 元
7	電阻	220 歐姆	1 個	0.5 元

表 3 電荷電性分辨裝置製作工具

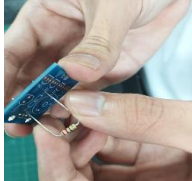
	品名	規格	數量	費用
1	電烙鐵	20W、尖頭	1	150 元
2	烙鐵架	含海綿	1	50 元
3	焊錫	融點185℃	1	30 元

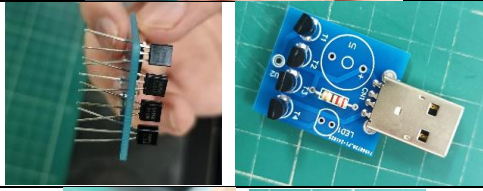
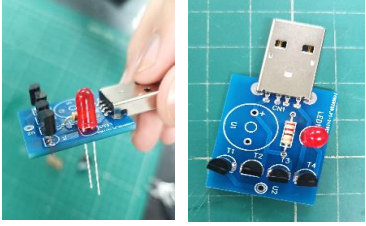
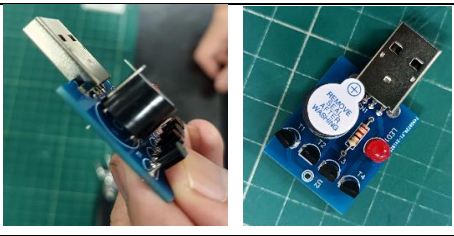
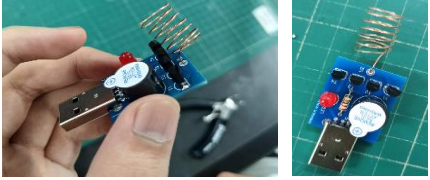
本裝置主要由 4 顆電晶體來放大天線所接受靜電感應後產生的微小電流，使微小電流靜過增益放大後，讓電流訊號達到足以被測量的程度，其中第四顆電晶體增益電流同時，也會使發光二極體跟蜂鳴器發出訊號。裝置整體以 USB 進行供電，其電路設計如圖 4 所示，裝置實體圖如圖 5 所示。



各個零件焊接至電路板上對應位置，其過程如表 4。焊接完成後，成品如圖 5 所示：

表 4 「E-Detect」靜電偵測裝置焊接過程

1. 焊接電阻 (1) 將電阻插上對應的孔 (2) 確認有貼齊電路板 (3) 翻到背面焊接、剪腳		
---	--	---

2.焊接 USB 接頭 (1)把六個接腳插上對應的孔 (2)稍微用力讓它扣住 (3)翻到背面焊接	
3.焊接電晶體 (1)稍微把接腳掰開 (2)把四個電晶體插上對應的孔 (3)翻到背面焊接、剪腳	
4.焊接 LED (1)將 LED 插上對應的孔 (2)注意 LED 的短腳要對應電路板上極性 (3)確認有貼齊電路板 (4)翻到背面焊接、剪腳	
5.焊接蜂鳴器 (1)將蜂鳴器插上對應的孔 (2)注意蜂鳴器的長腳要對應電路板上的正極 (3)確認有貼齊電路板 (4)翻到背面焊接、剪腳	
6.製作天線 (1)拿出銅線 (2)在筆上纏繞 2~4 圈 (3)剪掉多餘的銅線	
7.焊接天線 (1)將天線插上對應的孔 (2)翻到背面焊接、剪掉多餘的線 (3)把天線的方向朝前	

實驗 3-1 觀察氣球所帶靜電對本裝置產生之反應

利用摩擦後的氣球對本裝置產生之靜電反應，如圖 6 所示，圖 6 (a)中當摩擦後的氣球靠近本裝置時還未產生任何反應，在圖 6 (b)中當摩擦後的氣球遠離時本裝置的 LED 亮起並且蜂鳴器發聲。



(a) 當氣球靠近本裝置時



(b) 當氣球遠離本裝置時

圖 6 摩擦後的氣球對本裝置產生之靜電反應

實驗 3-2 觀察資料夾所帶靜電對本裝置產生之反應

利用摩擦後的資料夾對本裝置產生之靜電反應，如圖 7 所示，圖 7 (a)中當摩擦後的資料夾靠近本裝置時還未產生任何反應，在圖 7 (b)中當摩擦後的資料夾遠離時本裝置的 LED 亮起並且蜂鳴器發聲。

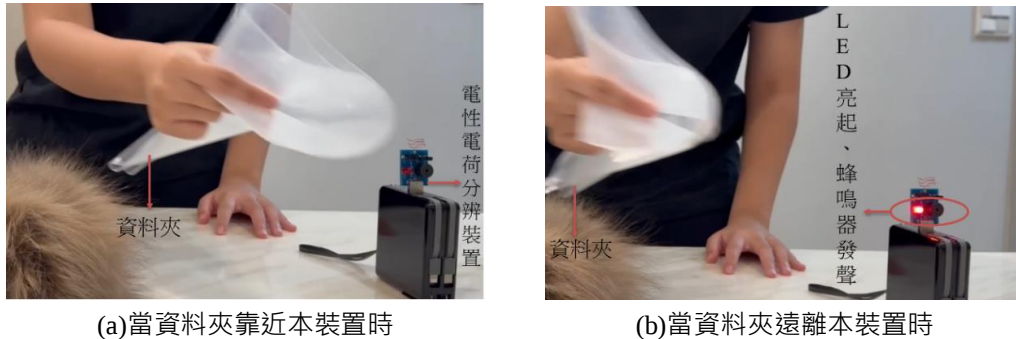


圖 7 摩擦後的資料夾對本裝置產生之靜電反應

實驗 3-3 觀察靜電棒所帶靜電對本裝置產生之反應

利用已知為正電的靜電棒對本裝置產生之靜電反應，如圖 8 所示，圖 8 (a)中當靜電棒靠近本裝置時本裝置的 LED 亮起並且蜂鳴器發聲，在圖 8 (b)中當靜電棒遠離時未產生任何反應。

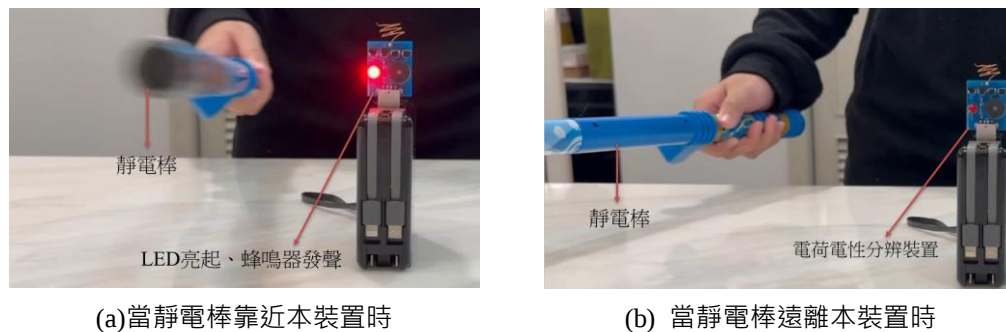


圖 8 已知為正電的靜電棒對本裝置所產生之靜電反應

從實驗 3-1~3-3 的觀察中我們發現到，摩擦後的氣球與資料夾以及靜電棒對本裝置所產生反應的時間點不同，氣球以及資料夾是在遠離時 LED 與蜂鳴器才產生反應，而靜電棒卻是在靠近時使 LED 與蜂鳴器產生反應。我們進一步分析這個現象，根據靜電力對電荷作用會造成電位能的變化，當導體靠近帶有正電荷的物質(高電位)，靜電力會吸引負電荷(電子)，過程中損失的電位能會透過電流釋放。由於電位定義為單位電荷具有的電位能，所以可以視為正電荷靠近高電位具有高電位能，透過電流往低電位流動來釋放電能[9]。因此當帶正電的靜電棒靠近時電流釋放的方向，如圖 9 所示。

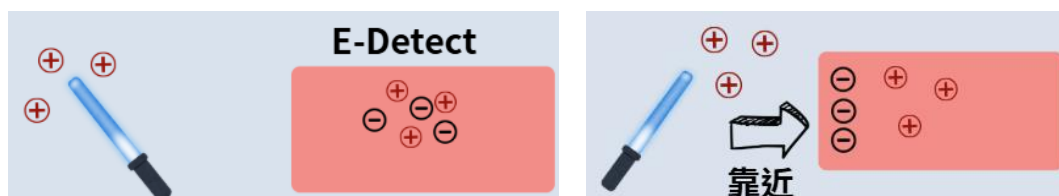


圖 9: 靜電棒靠近本裝置時電流釋放的方向示意圖

對於相反的帶負電荷的物體來說電流釋放的方向，如圖 10 所示，

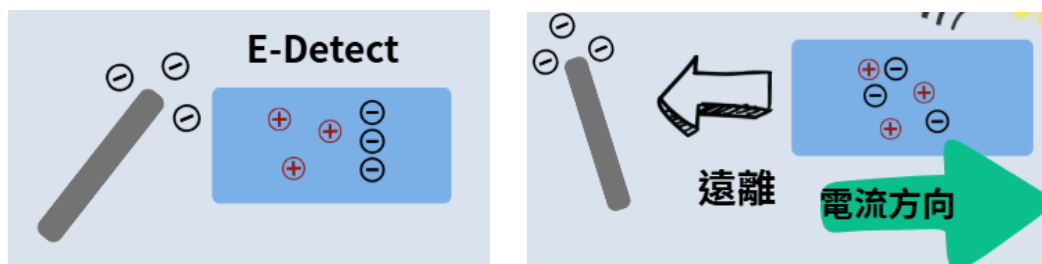


圖 10 負電荷物體遠離本裝置時電流釋放的方向示意圖

由此分析，我們可以將實驗 3-1~3-3 的結果整理成表 5。

表 5 實驗 3-1~3-3 之觀察與分析結果

實驗對象	靠近本裝置時的反應	遠離本裝置時的反應	帶靜電之電性
氣球	無反應	LED 亮起 & 蜂鳴器發聲	負電
資料夾	無反應	LED 亮起 & 蜂鳴器發聲	負電
靜電棒	LED 亮起 & 蜂鳴器發聲	無反應	正電

因此本裝置根據帶電物體接近與遠離產生的微弱電流變化，從而區分正、負電荷，進一步克服了傳統金箔驗電瓶僅能確認帶電卻無法辨別電性的不足。

五、結論與生活應用

這次設計的「E-Detect」裝置，是利用靜電感應的原理，搭配達靈頓電晶體的放大電路，成功將微弱的靜電訊號轉換為 LED 燈亮或蜂鳴器發聲的訊號。不只判斷是否帶電，更能分辨正負電性，補足傳統驗電瓶功能的不足。未來裝置也可以擴展應用在更多場景，檢測靜電荷、監測電磁波、保護電子設備、進行靜電科學實驗、強化工業靜電防護、電學原理教學，也可用來觀察環境中電場的變化，具有很高的教育與實用價值。

參考資料

- [1] 國立自然科學博物館. (n.d.). 物理世界. Retrieved April 6, 2025, from <https://www.nmns.edu.tw/ch/exhibitions/galleries/science-center/physical-world/>
- [2] 國立自然科學博物館. (n.d.). 資源影片：科學世界. Retrieved April 6, 2025, from <https://www.nmns.edu.tw/ch/learn/online-museum/science-video/ResourceVideo-000110/>
- [3] 國立台灣科學教育館. (n.d.). 科學攝影：自然主義者. Retrieved April 6, 2025, from <https://www.nmns.edu.tw/ch/learn/museum-education/naturalist/scienceimages/detail/SciencePhotography-05016/>
- [4] 國立自然科學博物館. (n.d.). 科學攝影：自然世界. Retrieved April 6, 2025, from <https://www.nmns.edu.tw/ch/learn/museum-education/naturalist/scienceimages/detail/SciencePhotography-08065/>
- [5] 國立臺灣科學教育館. (n.d.). [Video]. YouTube. Retrieved April 6, 2025, from <https://www.youtube.com/watch?v=yW->
- [6] M I Kornfeld, Frictional electrification, 1976 *J. Phys. D: Appl. Phys.* 9 1183
- [7] H. Wang, A. Hasanzadeh and A. Khaligh, "Transportation Electrification: Conductive charging of electrified vehicles," in *IEEE Electrification Magazine*, vol. 1, no. 2, pp. 46-58, Dec. 2013,
- [8] Huang, C.-Y., & Liang, C. (Eds.). (2023). 5-3 電場及電位 [Electric field and electric potential]. In *基本電學第一冊 [Basic Electricity, Vol. 1]* (技審字第 108164 號). 台科大圖書出版。
- [9] Sanyokita Singh, Braj Bihari Soni, Puran Gour . Review on Darlington Transistor for Recent Modern Application. *International Journal of Computer Applications*. 112, 10 (February 2015)