

2022 年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

高中 (職) 組 成果報告表單

題目名稱：滴水也能發電-凱氏起電器的靜電作用

一、摘要：

我們使用了三種裝置，但無論是調節濕度或是重新裝水，其產生的電量都不穩定，欲使實驗室環境與外界相同，皆需隔一大段時間，當環境與外界相同，當下做出來的實驗電流較大，而在其後實驗測得的電流幾乎都會變小甚至是零。

本實驗除探討凱氏起電器能產生的電量以及隨著時間變化的電流量以外，也提出幾個會造成實驗與理想有所偏差的原因。

二、探究題目與動機

空污，是現今社會的隱形殺手，且根據統計，台灣約有 80% 的人被過敏所擾，許多人會打開空氣清淨機，其中一種清淨機是使用靜電集塵技術，讓帶正電荷的懸浮粒子，和機器裡釋放的負電荷相吸後落入集塵板，藉此達到過濾效果，同是過敏兒的兩人便以此題目為發想，欲以此題目進行研究，不過在考慮到經費、材料等問題後，最終決定以同樣能產生靜電且生活中鮮少有人聽過的凱爾文起電器作為研究題材。

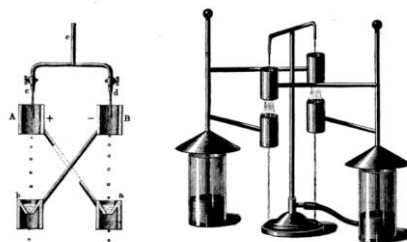
三、探究目的與假設

一、簡介開爾文起電器原理

兩個桶中，任何一個桶帶有微小的電荷，都足以開始充電過程。因此假設，右桶含有微小的正電荷，因左環也連接到了右桶，它也具有正電荷。由於庫倫靜電引力，左邊的水流會因受左鐵環上正電荷感應，而帶些微負電荷。當攜帶負電荷的水滴落入左桶時，就會將電荷傳到左桶及與它相連的右環上。

一旦右環有了負電荷，就會吸引正電荷到右邊的水流中。當水流滴落時，水滴會攜帶正電荷到帶正電荷的桶中，使得桶中的正電荷更多。而這個正向回饋過程會使兩側的桶和環不斷累積正（負）電荷，進而產生電流。

右圖(一)為凱爾文起電器的原型



圖(一)

二、計算電流公式

下面為推導計算最大電量與放電時間關係之公式

由公式得到，放電量與時間的關係如下

$$I(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = Q_0 \cdot -\left(\frac{1}{RC}\right)e^{-\left(\frac{t}{RC}\right)} = -\left(\frac{Q_0}{RC}\right) \cdot e^{-\left(\frac{t}{RC}\right)}$$

電容放電量與放電時間呈指數函數關係。

三、目的：

1. 紀錄觀察定量清水下所能產生靜電的大小
2. 計算最大電量和放電時間的關係

四、假設：

1. 濕度越大，能測得的電量越小(濕度大，電荷會因水的導電性從空氣中逸散)
2. 所測得的最大電量越大，放電時間越長
3. 如有接電阻，則放電時間較無接電阻長

四、探究方法與驗證步驟

一、器材

我們使用自製凱氏起電器做實驗，裝置如右圖(二)、圖(三)

起電器本體使用：

矩形塑膠盆、金屬(不鏽鋼)環*2、鋁箔碗*2、鱷魚線*2、金屬架(不鏽鋼)、木棍、絕緣膠帶、固定設備用黏土，另在第二代有將塑膠盆替換為滴定管(圖三)

測量工具使用：

三用電表、麵包板(免焊萬用電路板)、電容(規格：1000/16)、電阻(規格：1k Ω)

輔助工具使用：靜電起電棒(用途：使其一鋁箔碗帶微量正電荷、測試三代裝置通路)



圖(二)



圖(三)

二、實驗步驟

1. 將設備安裝就位
2. 用容量瓶盛裝 250ml 的水倒入塑膠盆中，觀察滴水現象直到停止滴水
3. 取下連接電容的鱷魚夾，把電容接到三用電表上
4. 錄影紀錄放電過程(三用電表之數據)並分析數據

三、推測影響實驗可能因素

1. 由於電荷的增加，水流中淨電荷的自身排斥，平穩的水流可能會分出許多分叉，若水流在環的附近破碎為水滴，水滴可能會被吸引到環上，將其上所帶電荷傳到帶相反電荷的環，從而減少系統另一側的電荷，且因同性電荷相斥，桶產生的靜電力將會阻止水滴落下，並使水滴飛濺而遠離桶。
2. 由於水會導電，因此若物體的表面附著許多水分，就會變成容易導電的狀態，一旦空氣中的水分變多，靜電會透過空氣中的水分被導向他處，而此實驗會用到大量水，且

水會因為滴至碗內及受碗內同性電荷影響而噴濺，此現象影響能收集到，並能測得的電量。

3. 在二代裝置(滴定管裝置)中，我們認為結果不理想的原因是兩根管子沒有相通，導致水的離子無法流通，同性電荷累積而無法互相供應、交流，造成電流量不足，故無法測得數據。

四、實驗過程

第一代實驗裝置

此組裝置的電路板上並沒有接上電阻，僅有接上電容，表(一)為記錄的數據，由此表可觀察到，不同天的第一次實驗所測得的最大電量幾乎都會明顯比較大，後面則漸漸變小，甚至是 0。每天的第一次實驗，室外的相對濕度與呈現出的最大電量大致呈現負相關，當相對溼度較低，所能測得的最大電量會較大。從表(一)中也可發現每天第二次以後的數據並不如第一次好，相對溼度和最大電量間也沒有表現出特別的關聯性，可知第二次以後的數據應該有其他變因影響。X 表示無紀錄之數據

日期 (Y/M/D)	時間	氣溫(°C)	相對濕度(%)	最大電量 (μ A)	放電時間 (秒)	外接電阻 (K Ω)	電容規格 (μ F/V)
2022/01/06	14:15	20.9	65	1.8	X	0	1000/16
2022/01/06	14:27	20.9	65	0.1	X	0	1000/16
2022/01/13	14:01	21.9	47	70.0	X	0	1000/16
2022/01/13	14:12	21.9	47	6.0	X	0	1000/16
2022/01/13	15:47	18.3	64	0.1	X	0	1000/16
2022/01/21	9:28	19.1	80	4.8	X	0	1000/16
2022/01/21	11:02	22.9	62	0.3	X	0	1000/16
2022/01/24	9:24	19.3	94	0.3	1.8	0	1000/16
2022/01/24	9:36	19.6	94	0.2	0.8	0	1000/16
2022/01/24	9:44	19.7	90	0.7	4.2	0	1000/16
2022/01/24	10:19	20.3	90	0.0	0	0	1000/16
2022/01/24	10:55	20.9	85	0.0	0	0	1000/16

下表(二)是第一代裝置接上電阻的數據，但無法從中看出一些關聯性。

唯一可從表(一)和表(二)中觀察到的是，接上電阻後的放電時間明顯有延長，如標示顏色部分。

表(二)

日期 (Y/M/D)	時間	氣溫(°C)	相對濕度(%)	最大電量 (μA)	放電時間 (秒)	外接電阻 ($\text{K}\Omega$)	電容規格 ($\mu\text{F}/\text{V}$)
2022/01/24	11:27	21.5	85	0.7	17.2	0.983	1000/16
2022/01/24	11:36	21.7	85	0.0	0	0.983	1000/16
2022/01/25	9:31	18.9	86	0.1	0.9	0.983	1000/16
2022/01/25	9:43	19.2	84	0.2	2.2	0.983	1000/16
2022/01/25	9:51	19.2	84	0.0	0	0.983	1000/16
2022/01/25	10:06	19.5	82	0.7	16.9	0.983	1000/16
2022/01/25	10:24	20.3	79	7.0	9.6	0.983	1000/16
2022/01/25	10:32	20.2	78	0.2	1.6	0.983	1000/16

第二代實驗裝置

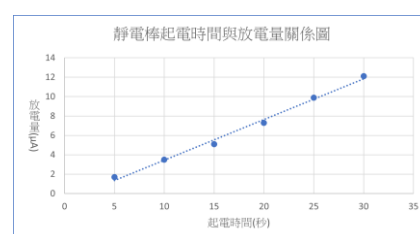
由於在測試階段裝置中兩孔的水流流速不一，我們改使用滴定管方便控制水流速度。在不同天做了五組實驗後，察覺滴定管裝置是不可行的，除了第一次的數據外，其餘皆為0，如表(三)，可見結果並不理想。

表(三)

實驗次數	時間	氣溫(°C)	相對濕度 (%)	最大電量 (μA)	放電時間 (秒)	外接電阻 ($\text{K}\Omega$)	電容規格($\mu\text{F}/\text{V}$)
2022/01/27	9:50	20.1	87	2.8	6.9	0.98	1000/16
2022/02/07	9:48	18.3	71	0	0	0.98	1000/16
2022/02/07	9:54	18.3	71	0	0	0.98	1000/16
2022/02/07	10:17	18.9	69	0	0	0.98	1000/16
2022/02/07	11:46	20.6	66	0	0	0.98	1000/16

第三代實驗裝置

經過討論，我們決定重新設置設備，回到最一開始的裝置，並保留木製支架，但在改良完成後的初期實驗還是沒有良好數據，於是我們使用靜電棒測試裝置通路，結果靜電棒充電時間與放電時間呈現正比關係，右圖(四)為測試結果，表示裝置電路並沒有問題，最有可能就是電荷感應問題，我們認為污垢是很重要的會影響感應



圖(四)

的一點，因此將黏有膠垢的塑膠盆及卡上水垢的鋁箔碗替換成新的，並小心控制使從塑膠盆兩孔流出的的水流流速一致

重新設置後做出的結果如下表（四），從表中能看到，數據明顯高平常非常多，但同一天內也大致呈現出越來越小的趨勢。

實驗次數	時間	氣溫(°C)	相對濕度 (%)	最大電量 (μA)	放電時間 (秒)	外接電阻 (KΩ)	電容規格(μF/V)
2022/03/03	17:25	23.6	75	8.9	10.8	0.98	1000/16
2022/03/03	17:45	22.9	77	5.3	11.2	0.98	1000/16
2022/03/03	17:56	22.5	78	1.9	6.1	0.98	1000/16
2022/03/05	14:16	26.8	64	30.2	14.6	0.98	1000/16

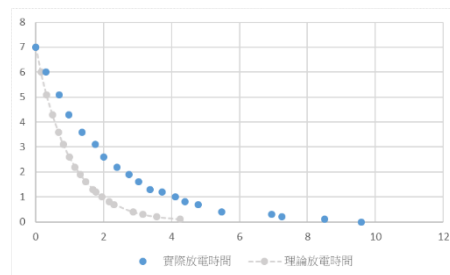
五、結論與生活應用

一、探討定量清水下不同設備對電量的影響

1. 使用頂部水槽未相連的設備（滴定管），其電量較頂部相連（塑膠盆）小
2. 首次實驗數據皆較大，範圍落在 30-1000μA，其後的數據漸趨於零

二、計算電容放電量和放電時間的關係

1. 電容放電量隨時間變化大致呈現指數函數變化
灰色為公式推得的理論放電時間，藍色為實驗結果
2. 溫度越高，單位時間的放電數值就越小
3. 無電阻之數據擁有較大放電量



三、造成實驗結果偏差之因素

1. 破碎的水滴受到帶電鐵環的吸引，碰觸到鐵環而使電無法集中於鋁箔碗，且受鐵環吸引的水流會分岔，噴濺至碗外，使電荷更難集中。
2. 當空氣濕度變大，靜電會透過空氣中的水分被導向他處，造成電荷散佚。
3. 觀察到每天第一次做的實驗數據優良，之後實驗數據卻銳減，或近乎為零，推測與實驗前後的空氣濕度變化有關。
4. 由於同側的水流及鋁箔碗所帶電荷相同，因此在水滴落下時會產生排斥作用，使水產生較大的噴濺，進而造成電荷損失。
5. 一開始使用的鐵架會感應水中的電荷，使測量結果產生偏差。

四、如何減少實驗偏差

1. 實驗中實驗者，尤其身著容易起靜電之材質衣物者須盡可能遠離裝置，避免因身體靜電造成電荷流失。
2. 支撐起電器的支架必須為絕緣體（本次實驗使用木頭做支架），避免因感應造成支架帶電，進而影響結果。
3. 盡量讓空氣保持乾燥，避免因溼度增加造成電荷從空氣中散逸。
4. 實驗進行中，避免使因電荷干擾而噴灑的水滴滴到麵包板。
5. 水流停止時須立即拔除電線接上三用電表，避免電容儲存的電逆流回裝置。
6. 在使用三用電表測量電容存電時，不可使電線同時碰觸正負極，以避免電荷中和。
7. 做完實驗必須將實驗器材清理並擦拭乾淨，避免產生硬水水垢以影響實驗成果。

五、未來遠景：

1. 凱爾文起電器之應用及改良
2. 讓更多人認識凱爾文起電器

參考資料

臺灣 2008 年國際科學展覽會佳作-水滴中的靜電現象

<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=113&a=6822&fld=&key=&isd=0&icop=10&p=1&sid=3301>

部分資料擷取自維基百科 <https://zh.wikipedia.org/wiki/>

凱爾文起電器原型圖片取自維基百科

氣象觀測資料·臺南測站觀測資料·取自交通部中央氣象局 <https://www.cwb.gov.tw/V8/C/>