

2023 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

普高組 成果報告表單

題目名稱：驚嚇的「萊頓裡」_靜電與水溶液作用之研析

一、摘要

在此探究作品中，主要是利用液體受到靜電作用時，電荷會重新分布排列，將液體裝在萊頓瓶裡，施以數秒的靜電充電後，就能先暫時儲存電荷，最後產生驚嚇的放電效果。

首先在液體偏轉實驗中，我們觀察到水中含有不同離子數量、溶質分子大小、分子結構等都會對偏轉角度產生影響，整體而言，多羥基醣類水溶液偏轉角度最大，約為水的 2 倍。其次在萊頓瓶充放電實驗中，我們觀察到當萊頓瓶裡面放置 1M 的葡萄糖水溶液，以靜電棒充電約 15 秒後再進行放電，可產生約 25605.12V 的高電壓。眾多生活中常見的水溶液，以雙醣溶液所產生的電壓是最大的，放電的電壓下降情形也較平穩和緩。醣類水溶液是非電解質，不能導電，但在萊頓瓶中卻可扮演良好的儲存電荷角色！或許將來，我們能綜整這兩個實驗結果，將其改良，若能將生活中常見會發生靜電的地方，利用裝置將靜電收集儲存起來，那或許就不只是驚嚇整人效果，而是可以運用在民生用電或工業用電，以解決目前遇到的缺電難題，讓這些靜電和電能發揮屬於他的價值。

二、探究題目與動機

在國中時，上到靜電單元，我們全班曾手牽手被理化老師所準備的靜電棒與萊頓瓶電的哇哇叫，那是兩個包覆有鋁箔紙的 700 mL 大小的手搖飲塑膠杯子，相疊在一起。到了高中，上到水溶液單元時，化學老師也拿了一個約僅有 50 mL 包有鋁箔紙的滴瓶與靜電棒，想說那麼小，就跟同學自告奮勇來挑戰，誰知小瓶子電人的能力居然比國中時的大瓶子還痛！！這真是



奇怪。後來發現老師的滴瓶外面一樣是包有鋁箔紙，但滴瓶內居然只是裝著不會導電的純水，那怎會這麼電人？這真的引發我們的好奇心。若換作是裝有日常生活中的一些不同種類的液體，是否會有更驚人的效果呢？但是又不能總是拿來電人，有沒有可能有什麼方式可以來量測這萊頓瓶的放電情形？

之後也曾在物理課的影片中，看過拿一顆被摩擦過的氣球靠近從水龍頭流出的水柱時，水柱會轉彎，結果居然也出現在化學考卷的考題中：下列哪些溶液會轉彎？這跟化學課堂所學到的極性非極性分子是否有關係？若將這些溶液或溶劑一樣裝在萊頓瓶內，呈現的放電效果是否會有不同？跟它們是極性非極性，亦或電解質或非電解質，到底有沒有關係？

在與老師討論後，我們決定設計一些實驗，一來觀察數種日常生活中的液體所形成的液柱在靜電棒附近的偏轉行為，二來測量以靜電棒靠近裝有不同種類液體的萊頓瓶之放電情形，嘗試解釋這些液體在萊頓瓶中所扮演的角色，以及為何會造成小小瓶子卻有大大電人的效果。

三、探究目的與假設

(一) 目的：

1. 觀察並比較日常生活中常見的不同種類液體，在受到靜電場的影響下，其變化與偏轉現象。液體種類分成下列數項：(1)水溶液飲料 (2)油類 (3)醣類水溶液
2. 利用自製裝置測量萊頓瓶放電的電壓變化。比較裝有不同種類液體之放電情形。

(二) 假設：

- 假設 1：靜電棒靠近液體時的偏轉情形，會跟液體的偶極矩有關係
- 假設 2：萊頓瓶中裝有液體時，放電情形會與液體是否為電解質或者極性有關係

四、探究方法與驗證步驟

(一) 研究設備與器材

1. 液體偏轉實驗：

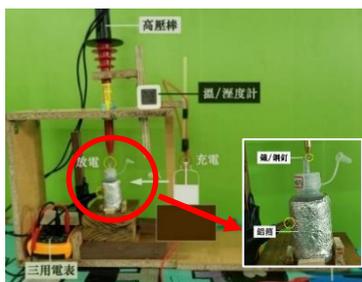
- (1) 實驗器材：改良之靜電棒、待測溶液(水溶液飲料、油類、醣類水溶液等)、拍攝器具、自製液體偏轉測量裝置(紙箱、滴定管、滴定管夾、回收溶液用盆子)，如圖(一)。
- (2) 數據分析：利用 Tracker 分析錄影影像，分析偏轉情形，並用 Excel 整理繪製圖表。

2. 萊頓瓶充放電實驗：

- (1) 實驗器材：改良之靜電棒、萊頓瓶(塑膠瓶、待測溶液、金屬釘、鋁箔、絕緣膠帶)、溫/溼度計、拍攝裝置、自製放電電壓測量裝置(廢棄木材、高壓測試棒、三用電表、電線、高壓絕緣手套)，如圖(二)。
- (2) 數據分析：錄下三用電表上的數值，並運用 Excel 繪製放電時電壓變化圖。



圖(一) 自製液體偏轉裝置圖



圖(二) 自製萊頓瓶測量放電電壓裝置圖

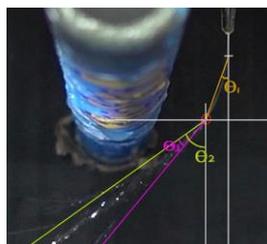
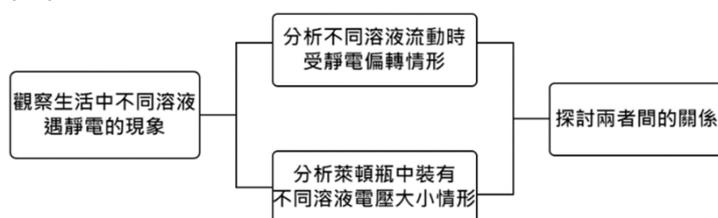


萊頓瓶充電



萊頓瓶放電

(二) 研究架構



- θ1：液體之偏轉角度
- θ2：液體之最大角度
- θ3：液體之偏轉範圍

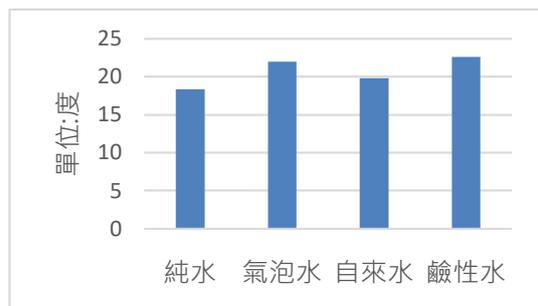
(三) 研究方法

1. 液體偏轉實驗

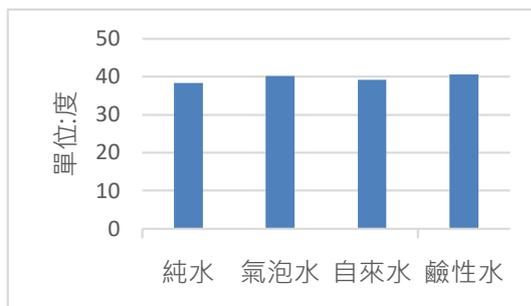
觀察生活中不同種類液體遇到靜電的偏轉情形，並探討原因。實驗步驟如下：

- (1)把自製的裝置放在不同條件下 (2)將 10mL 液體裝入滴定管 (3)開啟錄影 (4)打開靜電棒與滴定管 (5)用 Tracker 測量角度分析數據，並用 Excel 整理 (五次取三次平均)

『實驗一：探討生活中常見不同水溶液飲料遇靜電偏轉情形』



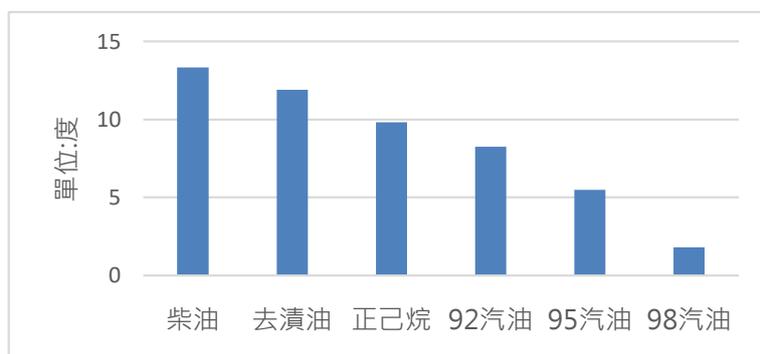
圖(三)不同水溶液飲料之偏轉角度



圖(四)不同水溶液飲料之偏轉範圍

結果可發現偏轉角度與範圍：氣泡水=鹼性水>自來水>純水。這是因為氣泡水中含有較高濃度的二氧化碳氣泡，鹼性水含有較多的氫氧根離子，由於在酸性或鹼性下其中有一部份種類的離子都比水多所以偏轉較大，而自來水中又含有較多氯化物、鈣、鎂等離子比較容易受靜電影響，所以又比純水還要大，只要水中含有較多不同種離子、酸鹼度都會影響其偏轉大小。

『實驗二：探討生活中常見不同油遇靜電偏轉情形』

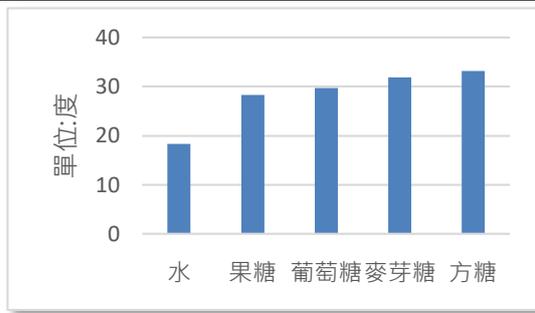


圖(五)不同油之偏轉角度

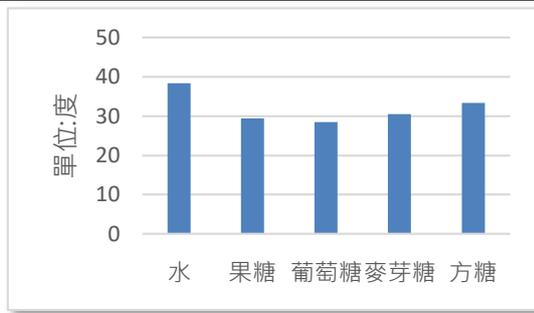
結果發現除了柴油與去漬油，其餘汽油等偏轉角度均小於 10 度。雖然這類液體屬於非極性，但在靜電存在下，仍會有些微靜電-誘導偶極力，因此仍有小角度偏轉，並非完全沒有受到影響。柴油、去漬油、正己烷分子較大，分子之間之分散作用能力較強，在靜電的作用下，分子會產生電荷分布不均的現象，使液體較容易發生偏轉，而無鉛汽油因為添加了更多複雜的成分，在靜電作用下，各成分電荷分布也就必較不一致，才會造成其偏轉角度較小。

『實驗三：探討生活中常見不同醣類溶液遇靜電偏轉情形』

結果發現不同水溶液，其偏轉角度：方糖>麥芽糖>葡萄糖>果糖>水，但是偏轉範圍：水>醣類水溶液。因為醣類為多羥基溶質，含有較多的羥基官能團，也就是有較高的極性，雙醣的羥基官能團又比單醣多，所以偏轉角度較大，但因為醣類的結構比較穩定，分子間彼此相互排斥力較小，所以偏轉範圍才會比較小；果糖與葡萄糖、麥芽糖與方糖為同分異構物，因此結構上還是有些微差異，因此跟靜電棒的作用結果有異。但大致結果並無太大差別。

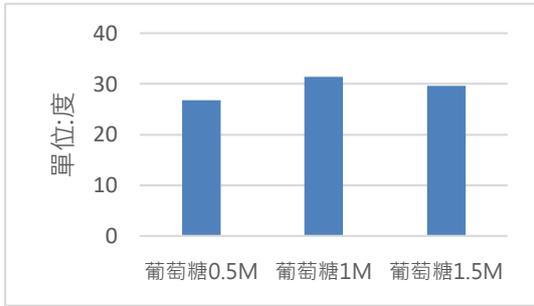


圖(六)不同醣類水溶液之偏轉角度

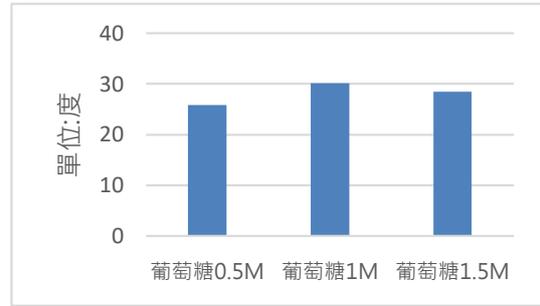


圖(七)不同醣類水溶液之偏轉範圍

『實驗四：探討生活中不同濃度葡萄糖水溶液遇靜電偏轉情形』



圖(八)不同濃度葡萄糖水溶液之偏轉角度



圖(九)不同濃度葡萄糖水溶液之偏轉範圍

結果可發現偏轉角度和範圍為：1 M>1.5M>0.5M，嘗試解釋此結果，葡萄糖濃度增加，使得分子與靜電棒之間作用力增強，偏轉角度和範圍變大，但在更高濃度 1.5M時，角度反而較小，是因為同樣靜電下所能影響的分子有限，可能趨於飽和，而分子間距離又變更短，容易拉回原位，再加上靜電容易被眾多分子平均掉，所以才會造成這特殊結果。

2. 萊頓瓶充放電實驗：

我們進一步將萊頓瓶裡面裝滿一些生活中常見的溶液，利用改良後的靜電棒對其充電，再以自製的放電裝置，測量萊頓瓶的放電電壓。實驗步驟如下：

- (1)把自製的裝置放在不同溫/濕度條件下
- (2)改變萊頓瓶不同變因：瓶中溶液種類、充電時間
- (3)使用靜電棒進行充電(萊頓瓶上面的釘子接觸連接至靜電棒之導線並充電)
- (4)將木塊推至高壓棒下方，使釘子觸碰高壓棒，同時鋁箔觸碰左側導線
- (5)觀察並錄影記錄三用電表顯示之電壓數值及放電曲線
- (6)觀看錄影影像，並用 Excel 紀錄數值，畫出放電曲線(五次取三次平均)
- (7)比較各種不同變因下的差異。

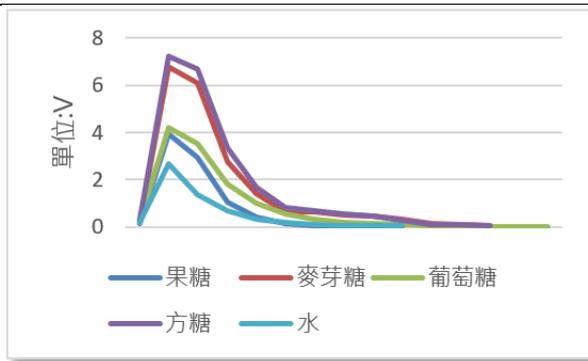
在做此實驗，為了避免危險，每次實驗都會帶高壓絕緣手套進行操作。

公式：高壓測試棒承受電壓+三用電表電壓=萊頓瓶實際電壓

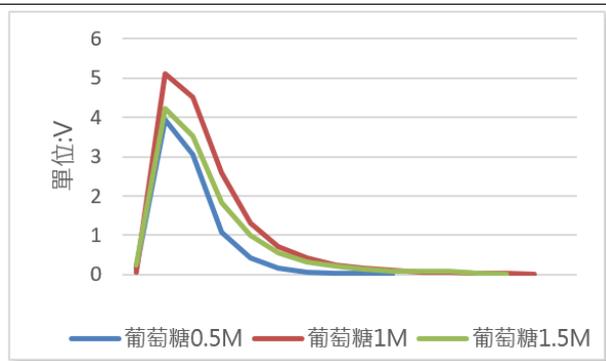
$(10^9/200000) \times \text{電表上數值} + \text{電表上數值} = \text{萊頓瓶實際電壓}$

『實驗五：探討生活中常見不同醣類溶液電壓大小』

『實驗六：探討不同濃度葡萄糖水溶液電壓大小』



圖(十)不同醣類溶液電壓變化圖



圖(十一)不同濃度葡萄糖水溶液電壓變化圖

實驗五結果可以發現在相同濃度 1.5M 下，其放電電壓為：方糖 > 麥芽糖 > 葡萄糖 > 果糖 > 水，此結果與液體在靜電作用下的偏轉角度一致；而醣類溶液能維持較久的高電壓，不會急遽下降，萊頓瓶所儲存的電荷能在醣類水溶液中有較佳的穩定輸出。我們猜測因為醣類分子結構中含有多個羥基官能團，因此具有較高極性，所以電壓會較大；雙醣中又有較多羥基官能團所以會比單醣大，而其醣類結構又較穩定，又因為每個醣類結構又不太一樣，所以其電壓變化值都還是會有些差異。

經由公式計算：萊頓瓶的最高電壓整理於下：

液體	水	果糖	葡萄糖			麥芽糖	方糖
			0.5M	1M	1.5M		
最高電壓 (V)	13302.66	19753.95	19753.95	25605.12	21154.23	33956.79	36057.21

實驗六結果可以發現：葡萄糖濃度在 1M 時電壓最大，其次是 1.5M，最後才是 0.5M，而電壓下降的速率是差不多的，但並不是濃度越大電壓就越大，萊頓瓶外的鋁箔大小會影響電荷儲存有飽和情形。

五、結論與生活應用

(一)結論

(1)液體所形成的穩定流動液柱，在靜電作用下會偏轉，其偏轉角度或範圍大小，會受到液體本身的偶極矩影響，簡單來說就是極性越大的液體，其偏轉角度就會越大。而非極性液體，依舊會受到靜電作用發生瞬間作用力，會有小角度偏轉，不會完全不偏轉。

(2)液體的濃度也會影響其偏轉角度，但並不一定濃度越大偏轉角度就越大。溶液裡有各種不同離子也會影響偏轉角度。

綜合以上兩點，我們可以改變液體的性質或與外在靜電的作用力大小，來控制液柱流動的偏轉角度與方向，進而做實際運用。

(3)萊頓瓶中裝有不同種類液體後進行充電數秒，會影響其放電電壓大小。可能因素有液體本身的偶極矩、液體種類與濃度。極性越大的液體電壓越大，是因為靜電會使鋁箔的內外側產生相等但相反的電荷，而極性溶液更容易使電荷分離，因而可以儲存電荷。雖

然醣類水溶液非電解質，無法幫助水溶液導電，但因為萊頓瓶是利用外電路的自由電子來進行放電，瓶裡的液體所扮演的是電荷儲存角色，而不是幫助導電，所以運用萊頓瓶的儲電時，可以加一些醣類液體在萊頓瓶裡，讓其放電電壓平穩，較不易造成電器傷害。

(二)生活應用

(1)在經過此次研究的實驗後，我們觀察到許多溶液在過程中產生的瞬間靜電量及電壓數值大小是十分可觀的，未來如果能有關的變電及儲電裝置，或許就有辦法將此生活常見的「電」轉換成民生用電，以解決台灣的缺電現象。

(2)在閱讀文獻時，我們也發現：在聚合物中，此種極性物質間的交互作用是可以使其更加地穩定，基於這個基礎上，目前也發展出了靜電紡絲此種材料，由於它們的特殊物理和化學性質，靜電紡絲被廣泛應用於許多不同的領域，像是製造高分子材料，且因其非常細的直徑和高表面積，靜電紡絲可以提供較現在的材料更好的化學和物理性質。

(3)因大部分溶液遇到靜電都會偏轉，可以把這個特性運用在日常生活需要改變水流方向的時候，例如：讓尿液轉入小便斗，能減少尿不準的問題。

六、參考資料

一、Sobereva. (2019, October 21). 談談如何衡量分子的極性. 計算化學公社.
<http://bbs.keinsci.com/thread-14971-1-1.html>

二、John, D. (2021, February 9). The Leyden Jar: A Colonial-Era Capacitor. EDN.
<https://www.edn.com/the-leyden-jar-a-colonial-era-capacitor/>

三、施養鑫、孫凡耘、陳宏碩。第五十四屆全國中小學科學展覽會，高中組化學科-有沒有這麼「極」。國立新竹高級中學。