

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

最佳(鄉土)教材獎

040103

凡得格拉夫起電器之製作與研究

學校名稱：國立新莊高級中學

作者： 高一 林沅德 高一 林浩德 高一 林聖哲 高一 黃士哲	指導老師： 張凱婷 呂俊毅
---	---------------------

關鍵詞：凡得格拉夫起電器 電離 電壓

凡得格拉夫氏起電器之製作與研究

壹、 摘要：

本研究，從自製 Van De Graff generator(本文之後皆簡稱為 VDG)開始，利用手邊能取得的東西，找到合適的 VDG 材料。之後，控制一些變因，找出影響帶電金屬球殼電壓的因素，藉以調控電壓。

貳、 研究動機：

基礎物理課老師拿 VDG 的照片給我們看，看到頭髮相斥的樣子覺得很有趣，像爆炸頭。那時學校還沒買 VDG，所以我們想要用平常就能購買到的材料製造出一台便宜又維修方便的 VDG。

使用 VDG 時，雖然沒有危險，但常會被靜電嚇到，而且被電到很痛，所以我們想找到安全但刺激的玩法。研究靜電的一些現象更有助於更加瞭解大自然閃電的過程，值得我們深入探討研究。

參、 研究目的：

- 一 找出合適的組裝方式
- 二 找出能調控電壓的方法
- 三 研究影響 VDG 帶電的因素
- 四 徹底瞭解 VDG 帶電的過程、物理原理

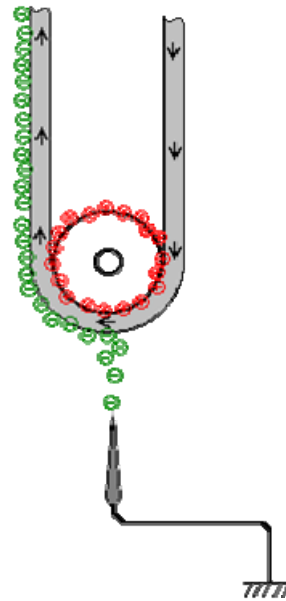
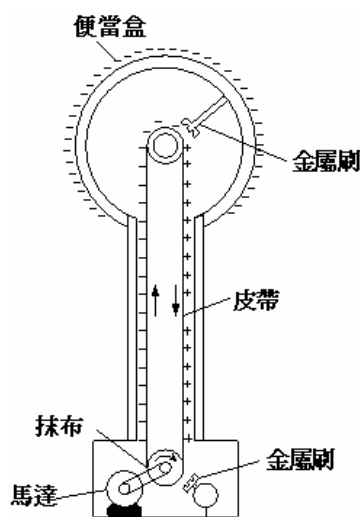
肆、 研究器材與裝置：

器材	規格	數量
輪軸材料		
海綿	一般	1 條
<u>抹布</u>	人造纖維	1 條
防塵紙	一般	數張
鐵棒	直徑 2 公分	1 根
吸管	直徑 1 公分	1 根
筆管	直徑 1 公分	1 根
塑膠滾輪	直徑 4 公分	1 個
<u>金屬培林滾輪</u>	直徑 1.5 公分	4 個
連接支架材料		
木頭	一般	數根
塑膠水管(灰色)	直徑 10 公分	1 根
大寶特瓶	2 公升	數瓶
<u>壓克力板</u>	10 公分×40 公分	4 塊
金屬刷材料		
<u>電線</u>	一般電器插頭剪下來的	數條
傳動帶（皮帶）材料		
硬塑膠片	厚 0.5mm	1 塊
綠色桌墊	厚 3mm	1 塊
機車綁貨用黑色橡皮帶	厚 2mm	1 條
輕便雨衣	黃色輕便薄型	1 件
尼龍繩	一般	數條
氣球	長條形	數個
膠帶	透明膠帶、封箱膠帶、雙面膠帶	數卷
<u>透明塑膠薄膜</u>	0.1mm	數張
金屬球		
<u>便當盒</u>	直徑 15 公分	1 個
<u>金屬漏斗</u>	上直徑 15 公分，下直徑 8 公分	1 個
其他		
馬達	廢棄電風扇	1 台
	<u>變速馬達</u>	1 台
<u>靜電驗電器</u>	日本製(測量範圍 100~10 萬 V)	1 台

表(一)(註：灰底字為目前所用的材料)

伍、 研究方法：

一、研讀參考文獻整理出大致上的發電原理



圖(一) VDG 裝置簡圖

圖(二)下金屬刷與下滾輪電離示意圖

- (一) 皮帶與下滾輪摩擦使滾輪帶正電
- (二) 下滾輪帶許多正電後，會使下金屬刷感應負電
- (三) 雖然皮帶與下滾輪摩擦獲得一樣多電量，但因為皮帶電荷分布於整條皮帶，所以下滾輪會累積較大的電壓。下滾輪與下金屬刷之間，產生強烈的電場
- (四) 強烈的電場使空氣分離成導電的離子
- (五) 帶正電的離子被下滾輪排斥，被下金屬刷吸引
- (六) 帶負電的離子被吸向下滾輪，累積在皮帶上
- (七) 游離後的空氣離子，如圖二所示
- (八) 皮帶運轉使得大量的負電被帶往上滾輪
- (九) 皮帶具有的負電荷使上金屬刷感應出正電，皮帶和上金屬刷之間的感應電場若夠強，將游離上金屬刷和皮帶之間的空氣
- (十) 空氣游離後，帶正電的空氣離子受皮帶負電吸引而附著在皮帶上，帶負電的空氣離子被上金屬刷捕捉，並往便當盒上累積，產生電壓

二、根據原理所需，準備材料及裝置。

- (一) 用便當盒代替金屬球殼，使用銅電線去皮作為金屬刷
- (二)、皮帶的動力來源：第一代與第二代起電器用電風扇馬達；第三代起電器用可變速馬達
- (三)、由於上滾輪和皮帶摩擦後須不帶電或帶負電，而下滾輪和皮帶摩擦後要帶正電，VDG 才能正常運作，因此我們嘗試一些材料：
 1. 上輪軸材料：金屬滾輪、吸管、筆管、塑膠輪
 2. 下輪軸材料：海綿、抹布、防塵紙
 3. 皮帶材料：綠色硬塑膠、綠色桌墊、黑色皮帶、輕便雨衣尼龍繩、氣球、膠帶、透明桌墊
- (四)、一開始中間的支架，為了組裝方便及便於偵錯，使用木頭做開放性的支架。後來使用寶特瓶，起電效果有顯著改善，第二代起電器使用塑膠水管，到第三代為求穩固，加工壓克力板和木板成現在的構型
- (五)、之後，在試轉的過程中測量各部位的電壓，藉此討論影響起電效果的因素，並更換材料，找出如何配置有較好的效果

三、找出能影響起電器起電的變因，並逐一操作改變

完成 VDG 之後，為瞭解及測試什麼變因會改變起電器的效果，我們使用靜電電壓計測量，它的探測頭能測得當時所在位置的電位，並且有”萬伏特”及”千伏特”和”百伏特”三種檔位，透過這種電壓計能讓我們讀出金屬帶電球殼周圍的電位值。開啓 VDG 讓馬達運轉後，由靜電電壓計讀數我們可知道便當盒的電壓快速增加，增加到一穩定值不再上升時，此電壓為我們取用的測量值。



圖(三)靜電電壓計

- (一) 改變電壓計和球殼的間距，瞭解電位在空間中的分佈
- (二) 不同濕度，起電器各條件都保持一樣，觀察比較電位的分佈
- (三) 探討馬達檔速不同對於起電效果的改變
- (四) 探討上下金屬刷寬窄是否有影響
- (五) 探討上金屬刷距皮帶遠近的影響
- (六) 將一接地金屬探針靠近金屬球殼，觀察電壓計量得之電壓

陸、 研究過程：

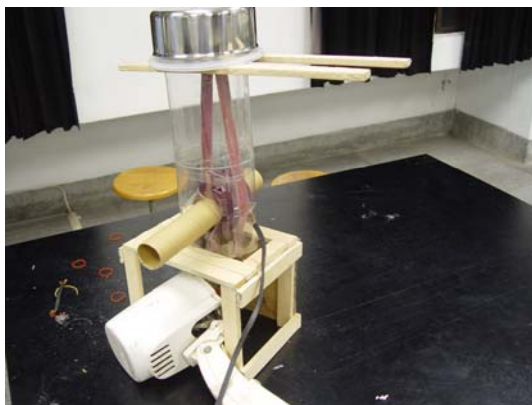
一、組裝過程中的嘗試錯誤

- (一) 找出摩擦後會帶正電的下滾輪、帶負電的皮帶、不帶電或帶負電的上滾輪
- (二) 皮帶：
 - 1.綠色硬塑膠帶：起電效果好，但硬塑膠帶太脆、易斷
 - 2.綠色桌墊布：起電效果不明顯、太厚，不容易轉動
 - 3.尼龍繩：起電效果好，但會被馬達捲入
 - 4.氣球連接：起電效果好，但有彈性連接不易
 - 5.橡膠皮帶：皮帶不是直線狀，一邊有弧度，運轉會卡住無法轉動
 - 6.輕便雨衣：起電效果差，太軟，難固定
 - 7.膠帶包尼龍繩：效果好、易轉。缺點是要手工製作，會磨出小碎屑
 - 8.透明薄塑膠墊：帶電性高、容易運轉。裁切方便
- (三) 滾輪材料選擇：
 - 1.下滾輪：摩擦後電壓比較(皆帶正電) 抹布>海綿>除塵不織布
 - 2.上滾輪：摩擦後電壓比較
 吸管(負電)>筆管(負電)>金屬滾輪>塑膠滾輪(正電)，但金屬滾輪比吸管牢固
- (四) 中間支架：需要絕緣體
 運轉中支架的電壓 木板>水管>壓克力板>寶特瓶 寶特瓶是0，但太軟
- (五) 金屬球：

實驗中發現便當盒的扣環是尖銳的(尖端處易放電)，拆扣環後，電壓明顯增加

(六) 下方固定架：木板+熱融膠

(七) 我們把支架和底座加工，堅固的支撐使得不必花大部份時間在修理



圖(四)第一代起電器



圖(五)第二代起電器



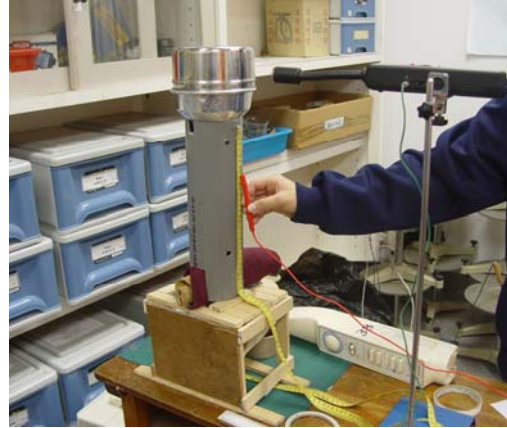
圖(六)第三代起電器

二、金屬球殼與接地線之間的空氣距離(D_i)與測量金屬球殼電壓(V₁)的關係

(一)、步驟：

1.改變D_i=0~13 cm，固定電壓計和球殼間距，測量電壓

2.不同溼度下，重複步驟 1

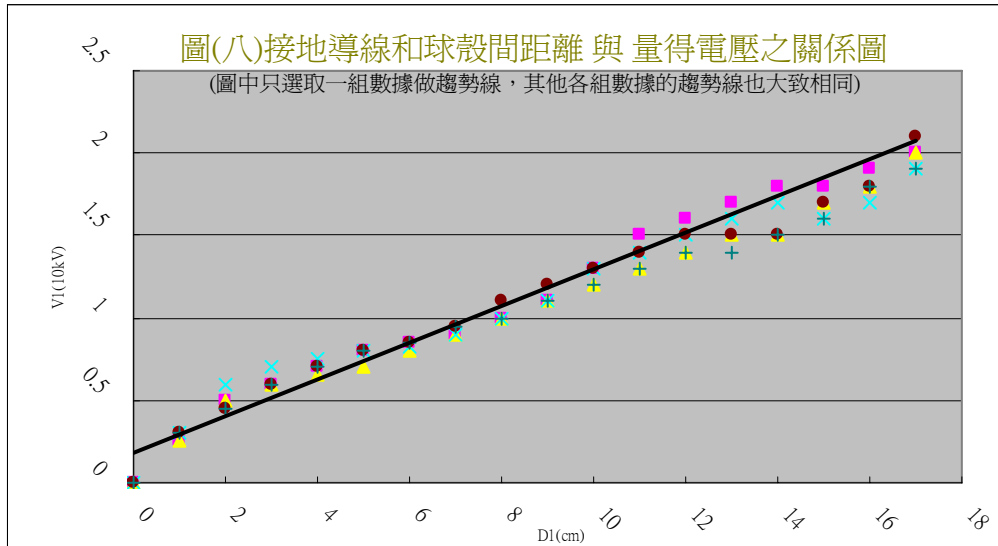


圖(七)接地導線靠近

(二)、結果：

V ₁ \ 溼度	58%	56%	55%	55%	54%	53%
D _i (cm) 0	0	0	0	0	0	0
1	0.25	0.25	0.3	0.3	0.3	0.3
2	0.5	0.5	0.6	0.43	0.45	0.45
3	0.6	0.6	0.7	0.62	0.6	0.6
4	0.7	0.65	0.75	0.7	0.7	0.7
5	0.8	0.7	0.8	0.85	0.8	0.8
6	0.85	0.8	0.83	0.9	0.85	0.85
7	0.9	0.9	0.9	0.9	0.95	0.95
8	1	1	1	1.1	1.1	1
9	1.1	1.1	1.1	1.4	1.2	1.1
10	1.3	1.2	1.3	1.5	1.3	1.2
11	1.5	1.3	1.4	1.6	1.4	1.3
12	1.6	1.4	1.5	1.7	1.5	1.4
13	1.7	1.5	1.6	1.7	1.5	1.4
14	1.8	1.5	1.7	1.8	1.5	1.5
15	1.8	1.7	1.6	1.9	1.7	1.6
16	1.9	1.8	1.7	2	1.8	1.8
17	2	2	1.9	2.1	2.1	1.9
				以上單位：10KV		
				溫度：23°C		

表(二) 調控電壓外接尖頭導線數據—不同溼度下距離與最大電壓的關係



(三)、 D_1 與 V_1 ，在測量範圍內，發現大致成線性關係

(四)、不同濕度下做出來的趨勢線斜率，無太大的變化，而斜率所代表的意義留待稍

後討論

溼度	58%	56%	55%	55%	54%	53%
斜率	0.11	0.10	0.09	0.11	0.10	0.09

表(三)不同溼度 V_1 與 D_1 的斜率

三、探討上金屬刷與皮帶之間的空氣距離(D_2)與測量金屬球殼電壓(V_2)之關係

(一)、步驟：

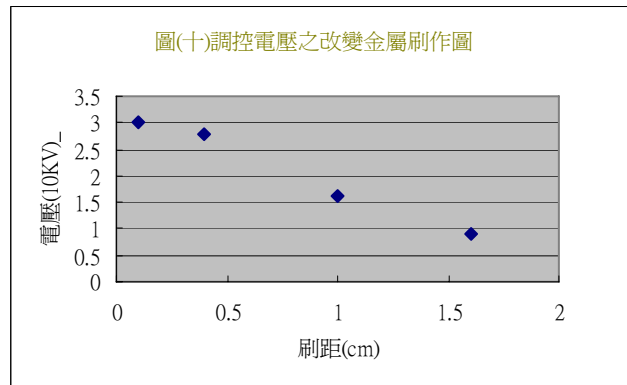
1. 分別調整上金屬刷與皮帶間距分別為 0.1、0.4、1.0、1.6cm，固定靜電電壓計位置於 10cm 處
2. 測電壓，重複 1



圖(九)調控電壓之改變金屬刷距

(二)、結果：

電壓計距離球殼 10 公分	
金屬刷距(cm)	電壓(萬伏特)
0.1	3
0.4	2.8
1	1.6
1.6	0.9



表(四)調控電壓之改變金屬刷數據

四、調控電壓操作之三-----馬達運轉轉速(定性分析)

用可變檔位的馬達調控，其他變因不變，經閃頻儀測量：檔位 10 為 350rpm、20 為 1000rpm、30 為 1900rpm、40 為 2500rpm，此數值亦為估計，非準確值

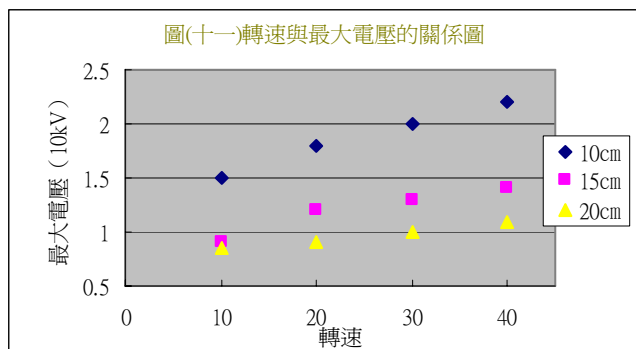
(一)、步驟

- 1.將檔位調至 10
- 2.固定靜電電壓計與便當盒殼的距離分別為 10 cm、15 cm、20 cm
- 3.測量便當盒殼的電壓（ V_4 ）
- 4.改變檔位，重複 1-3

(二)、結果：

溫度 27.8°C 溼度 49%

距離	10 cm	15 cm	20 cm
轉速	測得電壓(單位：10KV)		
10	1.5	0.9	0.85
20	1.8	1.2	0.9
30	2	1.3	1
40	2.2	1.4	1.1



表(五)不同轉速下的電壓

五、測量上部皮帶所帶電壓與馬達轉速的關係

在之前小實驗中，推測便當盒的可達之電壓，與 I 充和 I 放的動態平衡有關，這部分我們想知道轉速是否影響上部皮帶的電壓，影響電離能力使 I 充改變。

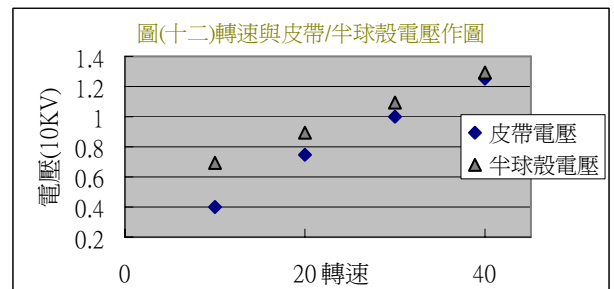
(一)、步驟

- 1.將檔位調至 10
- 2.外接一條接地導線於便當盒
- 3.測量便當盒內部皮帶的電壓 (V_5)
- 4.改變轉速檔位 10-40，重覆步驟 1~3

(二)、結果：

28.8°C 52% 測距=10 cm

轉速檔位	皮帶的電壓	半球殼電壓
10	0.4	0.7
20	0.75	0.8
30	1	0.9
40	1.25	1



表(六)不同轉速下的皮帶與半球殼的電壓

六、帶電VDG的電位與位置關係(驗電器測的之 V_6 與距離 R 之關係)

我們改變電壓計和球殼之間的距離，來理解電位如何分佈

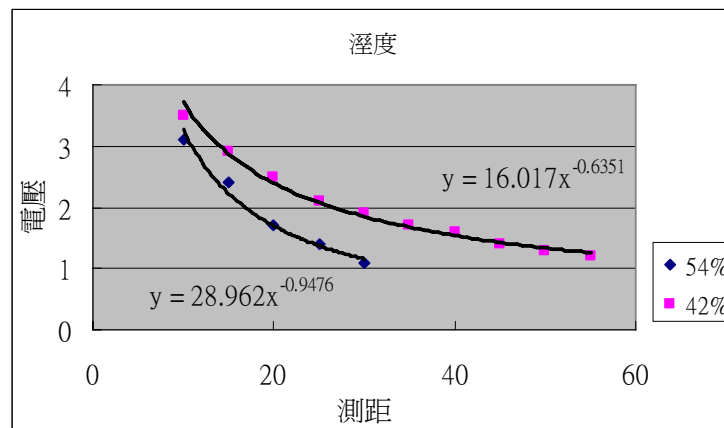
(一)、步驟：

- 1.調整靜電電壓計距離 VDG 的距離 R
- 2.讀取電壓計數據
- 3.改變距離，重新讀取

(二)、結果：

23.3°C	濕度 54%	23.8°C	濕度 42%
測距(cm)	電壓(單位：10KV)	測距(cm)	電壓(單位：10KV)
10	3.1	10	3.5
15	2.4	15	2.9
20	1.7	20	2.5
25	1.4	25	2.1
30	1.1	30	1.9
35	1	35	1.7
		40	1.6
		45	1.4
		50	1.3
		55	1.2

表(七) 帶電 VDG 的電位與位置關係數據(不同溼度)



圖(十三) 帶電 VDG 的電位與位置關係圖(不同溼度)

P.S.這是同一天完成的實驗，操作變因為溼度的變化，如果不同天做這項實驗，我們沒辦法保證所有的變因都一樣，可能因為抹布潮濕或皮帶疲勞以及其他變因產生干擾，所以只有兩組線可比較。

七、探討上下金屬刷寬度對於電壓強弱的影響(定性分析)

組裝起電器時也有一個疑問，金屬刷的寬度是否對起電效果造成影響

(一)、步驟：改變上下金屬刷的寬度，觀察電壓

(二)、結果(電壓單位 10KV)

測距 10cm	皮帶寬 4cm	溫度 28.9 度	溼度 46%
轉速檔位	上寬下寬	上寬下窄	上窄下窄
10	1.4	2.4	1.8
20	1.5	2.9	2.6
30	1.6	3.2	2.9
40	2	3.5	3.2

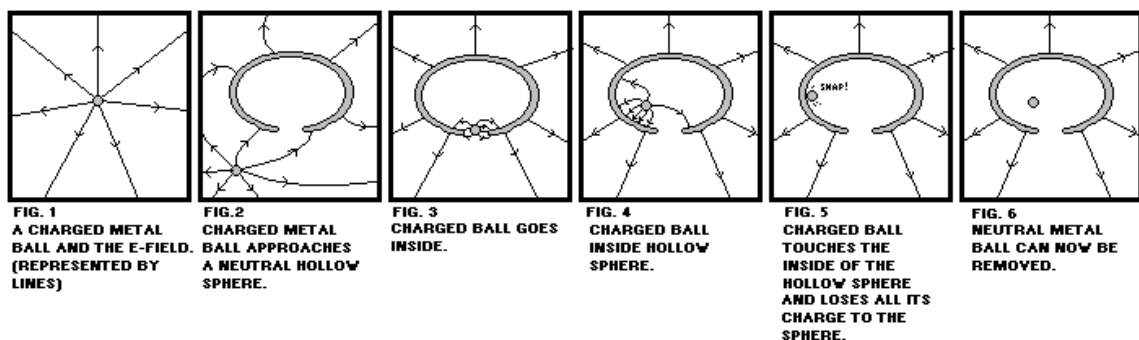
表(八) 帶電 VDG 的電位與金屬刷寬窄

柒、 討論：

一、由嘗試過程，我們認為 VDG 的最佳組裝方式

(一) 中間支架 封閉與開放：VDG發電是由電離空氣收集電荷。所以中間支架如果採用開放式，電離的空氣會因為氣流而逸散，後來的構型將整個支架用水管包覆，果然獲得較好的效果，最後第三代使用既可觀察到內部又可包覆的透明壓克力板。

(二) 上滾輪在便當盒內外的差別：上部同樣是極化作用使空氣分子電離，電離後的空氣分子將經由金屬刷收集，如果讓電離的位置在便當盒內則可增加收集機會，那麼就算沒有被金屬刷收集到，也可藉由Faraday Icepail Effect收集到電荷，增加便當盒的電壓。



圖(十四) Faraday Icepail Effect 現象示意圖

- (三) 若上下滾輪帶有相同電性：實驗中上滾輪用塑膠滾輪；下滾輪用不織布，與皮帶摩擦後兩滾輪皆正電，使便當盒帶的電性亦為正電但電壓約 1.5KV 一直無法突破。猜測：如此一來上皮帶和上金屬刷間電場會沒那麼強，可能是便當盒電壓無法增加的原因
- (四) 便當盒是否乾淨：便當盒和導線連接的部份若無仔細清理，會影響導電性，丙酮擦拭後效果不錯。
- (五) 支架的材料：使用塑膠等絕緣體支撐才能得到更好的帶電效果，若使用木頭或紙有可能因為內含水份，加上高電壓而成導體將電荷傳走。
- (六) 金屬電刷的形狀與距離：用金屬刷的尖端正對著皮帶，收集電荷效果最好。金屬刷的寬度為上金屬刷寬、下金屬刷窄的效果最佳，下金屬刷窄可使附著於皮帶上的電荷集中，皮帶與上金屬刷之間的電場增加，電離能力上升， $I_{充}$ 增加。而上金屬刷較寬則接觸的空氣範圍增加、電離機會增加，所以平均的電離量增加，使 $I_{充}$ 增加。

二、導線與便當盒之間的空氣距離(D_1)與便當盒電壓(V_1)的關係

(一)、 $I_{充}$ 與 $I_{放}$

- 1.皮帶運轉過程中，若轉速固定，同一時段電離的量也是穩定的，所以我們假設VDG供電量是穩定的(稱之 $I_{充}$)
- 2.周遭空氣水分子會放電，外接一條導線也會導致空氣電離放電，各種放電的效果和稱為 $I_{放}$
- 3.根據參考資料 $I_{充}$ 與 $I_{放}$ 是定值，其數量級為($0.1 \mu A$)，當便當盒有穩定電壓時， $I_{充}=I_{放}$ 是本實驗中的假設。礙於實驗器材的限制，我們無法測得如此微小的電流值，所以無法將其量化

(二)、空氣電阻為線性

- 1.外接一條導線使空氣電離放電，導線另一端接地電壓為零。空氣柱兩端電壓

差 $\Delta V=V_1-0=V_1$ 。

2.數據發現 D_1 正比於 V_1 。又 $V_1=IR$ ， I 為 $I_{放}$ 我們視其為定值， R 為空氣電阻。

3.由 $D_1 \propto V_1 \propto R$ ， $R = \rho \frac{D}{A}$ ，我們將空氣電阻模擬為一線性電阻，實驗是用同一根接地導線，故將空氣電阻截面積視為相同。

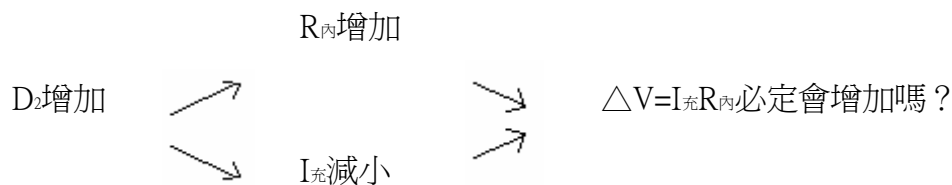
4. $V_1 = IR = I\rho \frac{D_1}{A}$ ， $\frac{V_1}{D_1} = I \frac{\rho}{A}$ ，由實驗數據分析 V_1 - D_1 圖的斜率，與溼度的關係，在不同的溼度下(5%範圍內)，斜率大致都相同。我們認為一旦空氣被電離，電離空氣能夠導電的能力遠大於只具極性的水氣能導電的能力，所以電離空氣的 ρ 可視為定值。

三、由內部結構來看起電機制

在區賽我們原本認為

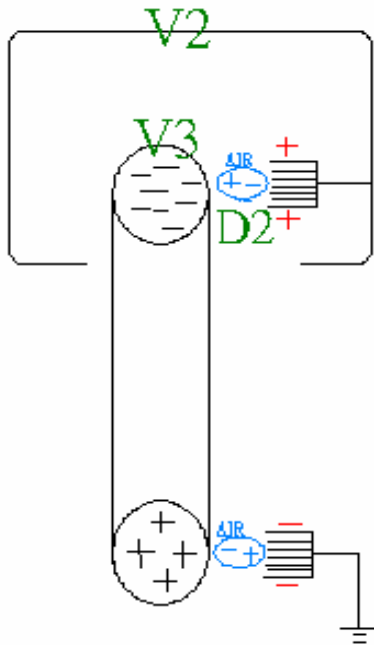
內部金屬刷與皮帶間的空氣距離 D_2 與便當盒電壓 V_2 是相關的。令於上滾輪處測得的皮帶的電壓為 V_3 ，外部便當盒的電壓為 V_2 ， $\Delta V=V_3-V_2$ 。已知 $D_2 \propto \Delta V$ ， $V_2=V_3-\Delta V$ ， D_2 越大 $\rightarrow \Delta V$ 越大 $\rightarrow V_2$ 越小。

但之後的實驗過程知 V_3 是穩定的，且當轉速越大， V_2 與 V_3 均會隨之增加，又 $V_3 < V_2$ 。此外如果用空氣電阻的想法來看內部 ΔV 會等於 $I_{充}$ 乘與內部的電阻 $R_{內}$ 嗎？如果答案是肯定的，那當 D_2 越大會致使 $R_{內}$ 增加，也會使電離的能力減小 $I_{充}$ 減小，而兩個總合的效應必定會使 ΔV 增加嗎？而 V_2 又會不會影響 $I_{充}$ ？



這樣的新發現使我們不禁重新思考動態平衡的機制。馬達檔速越大 $\rightarrow V_3$ 增加 \rightarrow 電離能力越強 $\rightarrow I_{充}$ 大 $\rightarrow V_2$ 越大 $\rightarrow I_{放}$ 越大。平衡的條件是 $I_{充}=I_{放}$ ，然而在

平衡的機制中， $I_{放}$ 和 V_2 會影響 $I_{充}$ 嗎？幾經思考之後我們否定了這個可能，推翻了原本的想法。



圖(十五)電離工作示意圖

電離空氣的量也就是我們模擬的 $I_{充}$ ，主要是源於靜電感應產生的電場，而地面和便當盒電位對 $I_{充}$ 的影響相對而言是比較小的。所以我們大膽的推論：

2.電離的能力與 $I_{充}$ 有正相關的關係。

3. D_2 、 V_3 、馬達檔速會影響電離能力進一步影響 $I_{充}$ 。

四、以 $I_{充}$ 和 $I_{放}$ 的觀點來看調控電壓

(一)、外部：影響 $I_{放}$

1.接外部導線，減少空氣距 D_1 → 空氣電阻下降 → 瞬間 $I_{放}$ 增大 → $I_{放}$ 大於 $I_{充}$ → 便當盒上的累積電荷減少 → 便當盒上的電壓(V_1)下降 → $I_{放}$ 減小 → 重複至 $I_{充}=I_{放}$ ，反之亦然。

2.此為一回饋機制，改變空氣距會影響原本的平衡狀態，而重新達到一動態平衡。便當盒電壓會隨著空氣距的不同影響電離速率($I_{放}$)，但取得新平衡時 $I_{充}=I_{放}$ 。

(二)、內部：影響 $I_{充}$

1.內部的空氣距(D_2)越短、馬達轉速越大使便當盒內皮帶的電壓 V_3 越大，兩者皆會讓上金屬刷與皮帶所形成的電場較強，電離的速率較大，也就是 $I_{充}$ 較大。

2. 充電的機制為：穩定的 $I_{充}$ → 於便當盒上開始累積電荷 → 便當盒的電壓上升 → $I_{放}$ 增加 → 至 $I_{充}=I_{放}$

3. D_2 較短或馬達檔速增加，電場較強電離能力增加， $I_{充}$ 較大，所以從開始充電到穩定($I_{充}=I_{放}$)的時間較長，於便當盒上累積的電荷較多，故便當盒電壓 V_2 與 V_4 也較大。

(三)、 $I_{充}$ 與 $I_{放}$ 於平衡的機制中， $I_{充}$ 會主動依給予的檔速， D_2 來取得平衡，而 $I_{放}$ 則是被動的，平衡時須等於 $I_{充}$ 。

五、溼度會影響摩擦起電的效果，也會影響絕緣體的帶電效果，但電離的空氣幾乎不受到溼度的影響。在同一時段同一起電器的電離空氣電阻率 ρ 近乎定值。

捌、 結論：

一、VDG 各組件的最佳材料：

(一)、皮帶選定(薄塑膠膜) 運轉向上時帶負電；向下時不帶電

(二)、上滾輪選定(鐵管)，組裝前與皮帶摩擦不帶電，組裝後因負電累積帶負電

(三)、下滾輪選定(抹布)摩擦後帶正電

(四)、中間支架選定(壓克力板)略帶負電，但堅固

(五)、便當盒選定(沒有扣環的便當盒)帶負電

二、發現可外接導線藉由空氣柱的長度來調控便當盒的電壓

三、影響 VDG 的起電因素：內部金屬刷的距離、上下金屬刷的寬度與馬達的檔速

四、用外插法獲得便當盒的表面電壓：藉由研究方法第五點，探討距離 R 對量到的電位 V_6 關係圖，可求得趨勢線，反推出如果是測量距離金屬殼表面 1cm 的電位，所得到的數值可到 10 萬等級的伏特數，使用這種的回推方法，是因為探測頭一但太接近造成放電的話，量出來的電壓就是被干擾到的值了。

玖、 未來發展

一般市售的 VDG，包括我們學校這學期所添購的，都沒辦法拆開來研究，如今我們已經徹底瞭解這台機器的原理，如果需要幫忙修理或是更換耗材的話都能幫上學校的忙。另外，第三代起電器更是能穩定起電和教學演示兼顧，整台機器最貴的地方就是馬達，但總價不會超過兩千，比起廠商報價一台 VDG 要六、七萬新台幣要便宜許多，未來也許能推廣我們的組裝方法，讓許多學校都能自製起電器，讓大家都體會到靜電的樂趣。第四代起電器能往小型化以及可量產化發展，希望有朝一日能看到我們的起電器在各大文具行百貨五金行電子產品量販店都買得到。

本次實驗中一直沒辦法量到的 I 充與 I 放，以及帶電球殼表面所帶之電壓，未來應該能發展出間接的測量方法，或是一些靜電力學的方法，來量度或計算我們所做 VDG 之電壓。

拾、 參考資料

一、論文：

- (一)、劉朝福 92年8月 電學教學演示用教具：便宜的VDG起電器之製作研究
- (二)、劉剛 2004年 空氣微小間隙放電的伏距特性
- (三)、蒙普佳 2004年 用環狀尖端放電管線流器將雷電轉換成電暈放電進行防雷的設想

二、圖書單行本

- (一)、林明瑞 等著 物理上冊 南一出版社
- (二)、David Halliday 等著 Fundamentals of PHYSICS WILEY

三、參考網站

- (一)、William J. Beaty 1996 Taming your Van de Graaff Generator
<http://amasci.com/emotor/vdgtame.htm>
- (二)、William J. Beaty 1996 SOME VAN DE GRAAFF SPHERE THEORY
<http://amasci.com/emotor/icepail.html>
- (三)、William J. Beaty 1996 VAN DE GRAAFF MACHINE: Belt and Rollers
<http://amasci.com/emotor/belt.html>

【評語】 040103 凡得格拉夫起電器之製作與研究

1. 能利用鄉土材料組成凡得格拉夫起電器，最高電壓可高達數萬伏特，難能可貴。
2. 製作略嫌粗糙，如集電高壓部份若能以金屬球取代便當盒更佳。
3. 取材鄉土材料且配合教材，故頒予鄉土教材獎。