中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

031604

我擦、我擦、我擦擦擦--摩擦力與滑動速度對摩擦帶電之影響

高雄縣立鳳山國民中學

作者姓名：
國二 簡志恒 國二 許丞寬 國二 鄭伊琳
國二 楊于逸

指導老師：
謝侑霖

高雄縣第四十五屆全國中小學科學展覽會
作品說明書

科　　別：理化科

組　　別：國中組

作品名稱：我擦、我擦、我擦擦擦 －
摩擦力與滑動速度對摩擦帶電之影響

關 鍵 詞：　摩擦帶電　、　靜電　、　摩擦力

編　　號：

我擦、我擦、我擦擦擦 – 摩擦力與滑動速度對摩擦帶電之影響

壹、 摘要

爲了瞭解物體互相摩擦後的帶電情形，本實驗使用摩擦力實驗裝置及量測系統，以鐵金屬(Fe)及鐵氟龍(PTFE)爲試片材料，在乾摩擦條件下探討摩擦力、滑動速度對摩擦帶電的影響。

實驗結果顯示，PTFE/Fe 的配對下 PTFE 的表面電位極高，而 Fe 的表面電位幾乎量測不到。此外，在相同的滑動速度下，摩擦力愈大帶電量亦會隨著變大，表面電位約與摩擦力的 1.65 次方成正相關。而在摩擦力固定下，帶電量也會隨著速度的增加而增加，表面電位約與滑動速度的 0.77 次方成正相關。

根據實驗結果，我們提出摩擦帶電與試片表面摩擦溫度有關，表面溫度愈高，對電子吸附能力愈強，可以試片得到較大的表面電位。

貳、 研究動機

自然與生活科技第五冊第四章第一節，在此單元中提到摩擦帶電的現象，使我們對於此現象產生好奇，開始對摩擦帶電做更深入的研究，並對以前有關摩擦帶電的研究做整理，並且提出問題，計劃我們的研究方向。過去有關摩擦帶電的研究如下：

一、實驗條件：以往的研究主要是探討材料以及溼度對摩擦帶電的影響。教科書中提到，將不同的材質的物體如毛皮、玻璃、絲絹、塑膠相互摩擦會產生靜電的現象。靜電的現象也跟溼度有關，因此冬天會比夏天容易產生靜電。

二、實驗方法：過去量測靜電的方法是使用驗電器，僅能做定性分析，未能精準量測帶電量大小。

靜電的現象使我們感到很有趣，也很好奇，除了材料與溼度之外，還有沒有其他的因素會影響摩擦帶電呢？兩物體互相摩擦時，施力大一點、速度快一點不知對帶電量的影響有多大？因此我們開始設計實驗，並使用表面電位計進行量測，對於摩擦帶電做定量的分析，希望能找到負荷與滑動速度對摩擦帶電量的關係。

參、 研究目的

一、設計摩擦帶電實驗裝置及量測系統。

二、探討使表面電位歸零的方法。

三、在不同的負荷下，求出在摩擦過程中的速度、加速度及摩擦係數，並探討摩擦力與滑動速度對摩擦帶電的影響。

四、探討使表面電位上升的原因。

肆、 研究設備及器材

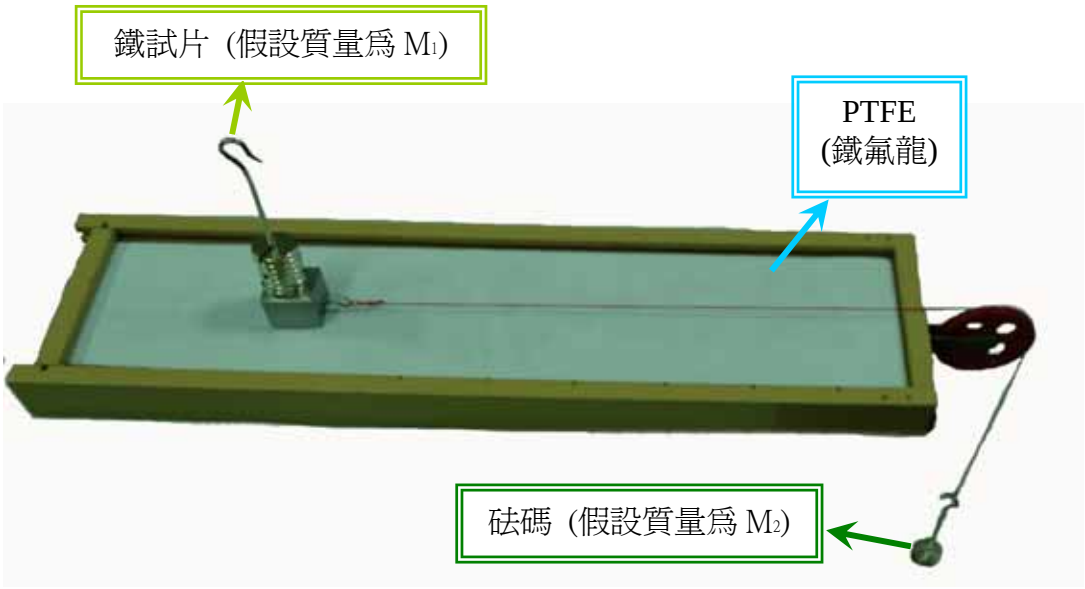
一、實驗裝置：(如圖一)

鐵試片（上試片）、鐵氟龍 PTFE 平面材料（下方摩擦面）、砝碼、摩擦力實驗裝置

選擇試片材料的原因：

鐵氟龍(PTFE)：表面電位極易上升，容易量測到表面電位上升的現象。

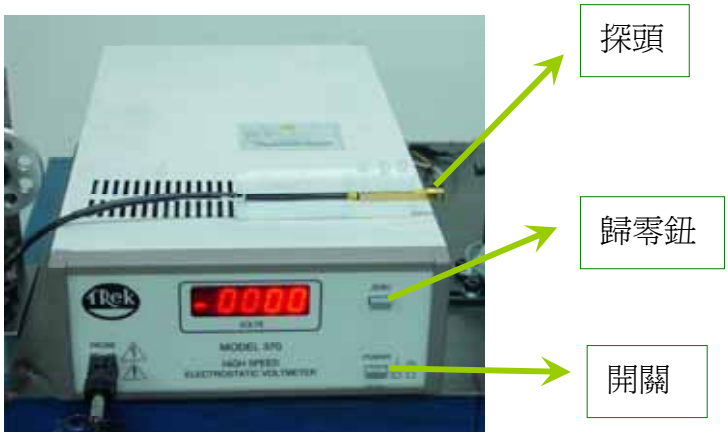
鐵試片：表面電位幾乎爲零，因此不會對 PTFE 表面電位造成影響。



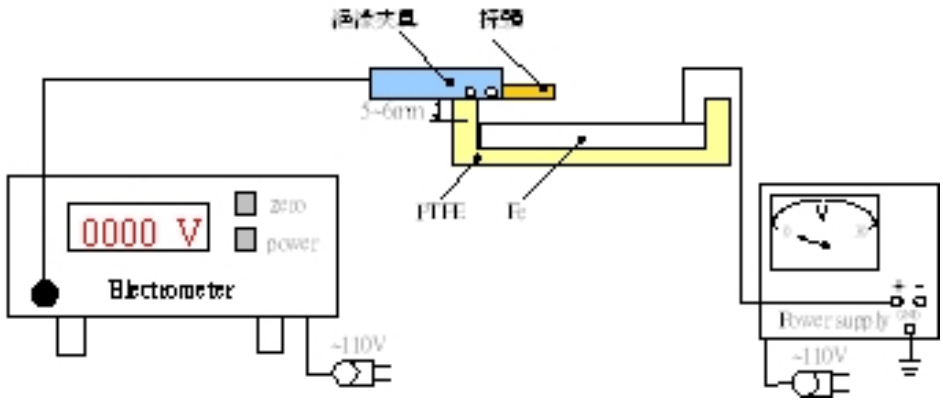
圖一、實驗裝置

二、量測儀器：表面電位計　(如圖二)

此台非接觸表面電位計的原理是利用摩擦電荷存在的電場來計算表面電位，量測表面電位之前，必需作歸零校正(如圖三)。此儀器含有高度補償精度的功能，即使量測表面之探頭有點變動，仍可正確量測出表面電位。



圖二、表面電位計



圖三、表面電位計歸零意示圖

伍、 研究方法與步驟

一、試片表面處理

爲了避免表面粗糙度對摩擦帶電造成影響，因此在實驗前須對試片進行研磨，讓每次實驗的試片表面狀態皆能一致。研磨砂紙使用號數依序爲 80、100、240、400、800、1000 號。

二、試片表面電位歸零

要達到實驗數據的可信度，表面電位歸零是一件極爲重要的步驟，但在高表面電位的情況下，要讓試片歸零必須放置三天以上，非常浪費時間，我們也試著在試片表面加上金屬，但效果依然不佳。在嘗試過各種使表面電位歸零的方法後，最後找到擦拭酒精的方法可使表面電位快速下降。由於酒精的揮發速度快，可以快速將電荷帶走，因此在實驗前，在試片上塗上酒精，讓表面電位迅速歸零。

三、實驗裝置水平校正

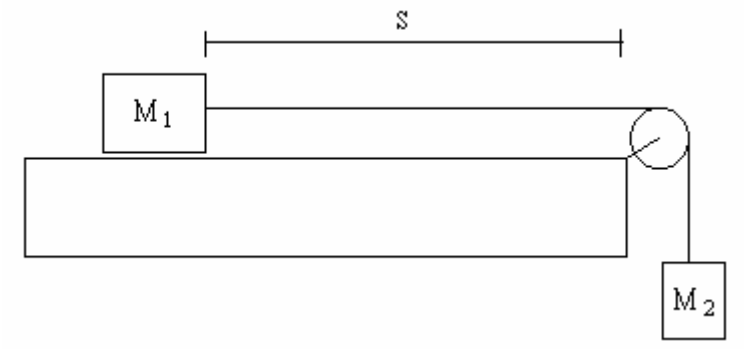
以水平儀對實驗裝置做水平校正，避免實驗裝置歪斜而造成誤差。

圖三、鐵佛龍表面電位歸零

圖四、實驗裝置水平校正

四、 各參數的計算

(一) 加速度 a 的計算

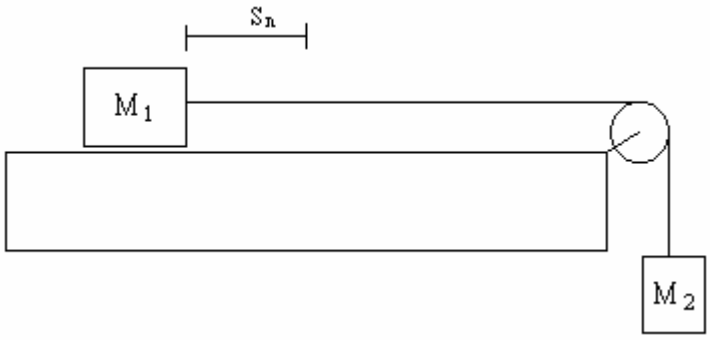


已知全段距離爲 S，初速度爲零，滑動全程的時間爲 t
則加速度 a 的計算如下：

$$S = \frac{1}{2}at^2$$

$$a = \frac{2S}{t^2} \qquad \text{-------(1)}$$

(二) 經過各點速度Ｖ的計算



已知滑動距離爲 S_n，則該點速度爲 V 的計算如下

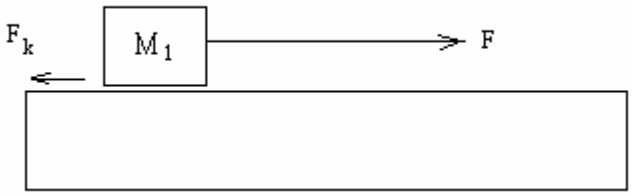
$$V^2 = 2aS_n$$

$$V = \sqrt{2aS_n}$$

將 (1) $a = \frac{2S}{t^2}$ 代入上式

$$V = \sqrt{\frac{2 \times S_n \times 2S}{t^2}} = \frac{2}{t}\sqrt{S_n S} \qquad \text{-------(2)}$$

(三) 摩擦力的計算



已知鐵試片質量爲 M_1，砝碼質量爲 M_2

假設繩子的的力爲 F，鐵試片與鐵氟龍表面的摩擦力爲 F_k

則

$$F - F_k = M_1 \times a$$

$$F_k = F - M_1 \times a \qquad \text{-------(3)}$$

又

$$M_2 g - F = M_2 a$$

$$F = M_2 g - M_2 a = M_2 (g - a) \qquad \text{代入 (3) 式}$$

則

$$F_k = M_2 (g - a) - M_1 a \qquad \text{-------(4)}$$

假設摩擦係數爲 μ

$$M_1 g \times \mu = F_k$$

$$\mu = \frac{F_k}{M_1 g} \qquad \text{-------(5)}$$

五、量測表面電位

(一) 量測表面電位之前，必需作歸零校正。

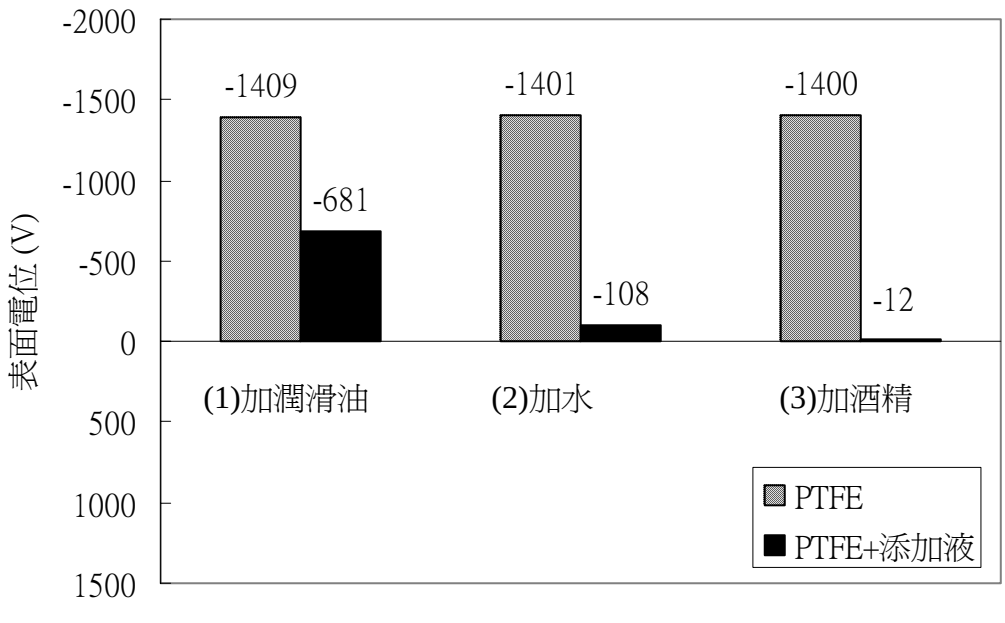
(二) 量測表面電位的方法，是將探頭在量測點上方大約 5mm 的地方進行量測，當電位計數字達穩定時，即爲該點的表面電位。

六、實驗流程

實驗前的準備
1. 試片的研磨
2. 清洗試片
4. 安裝試片
5. 實驗設備水平校正
實驗開始
1. 改變操作參數 （M1及M2）
2. 進行實驗
量測實驗收據
1. 測量時間
2. 測量表面電位（表面電位計須先歸零校
處理數據
1. 計算加速度
2. 計算各點速度
3. 計算摩擦力
結果討論
1. 摩擦力對表面電位的影響
2. 滑動速度對表面電位的影響
實驗結束

陸、 研究結果

一、探討試片表面添加液體對表面電位的影響

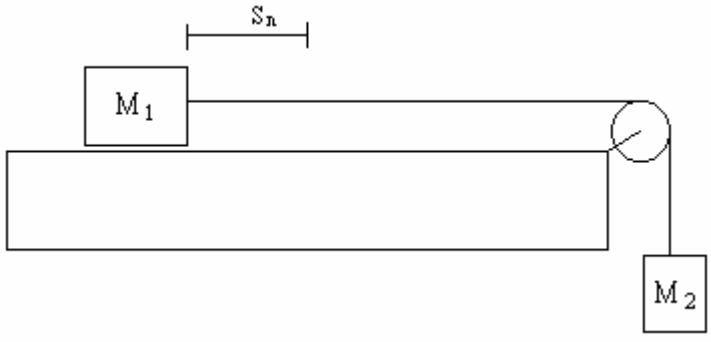


圖五： 添加液對表面電位之影響

爲使每次實驗的初始條件相同，故在實驗前須將試片的表面電位歸零。我們試著在帶有電荷的試片上塗上不同的液體，探討對表面電位的影響。分別在試片表面加上潤滑油、水、以及酒精，由圖一的結果可知，在試片表面塗上酒精可以表面電位迅速下降，因此本實驗在實驗開始進行前，皆以酒精擦拭試片表面，使試片表面電位歸零。

A. 研磨一小片鐵氟龍試片，使其表面帶有電荷	B. 反覆摩擦鐵氟龍表面，使表面電位上升約 1400 伏特	C. 在鐵氟龍表面擦拭酒精，使表面電位迅速下降	D. 將鐵氟龍靜置幾分鐘後，表面電位即可歸零

二、各種條件下對表面電位的影響



如圖所示，參數分別如下：

1. 控制參數：
   M_1：滑動試片質量，單位爲 kg
   M_2：施加負荷的質量，單位爲 kg

2. 量測參數：
   t ：時間，指試片滑動全程所需的時間 (全長爲 0.5 公尺)，單位爲秒
   V：鐵氟龍的表面電位，單位爲伏特

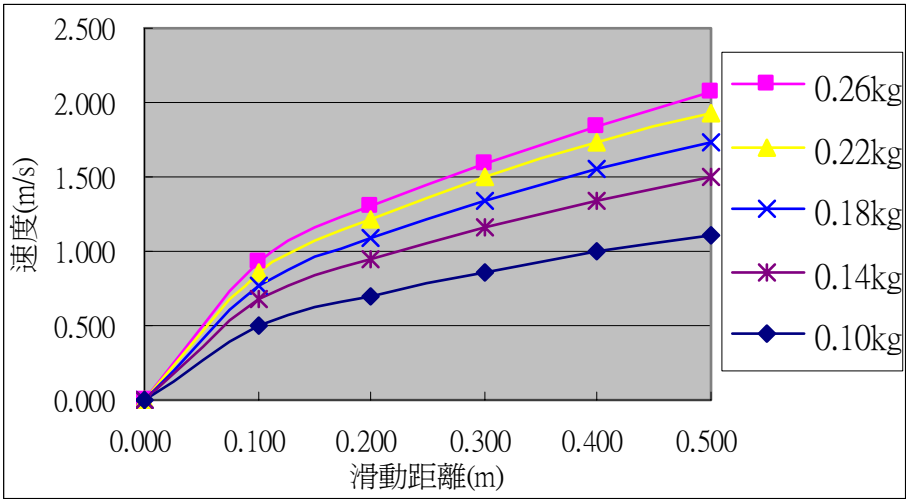
3. 計算參數
   a ：鐵試片的加速度，單位爲 公尺/秒^2
   F_k ：摩擦力，單位爲 牛頓
   μ ：摩擦係數
   $V_{0.1}$：S_n= 0.1 公尺時試片的滑動速度，單位爲 公尺/秒
   $V_{0.2}$：S_n= 0.2 公尺時試片的滑動速度，單位爲 公尺/秒
   $V_{0.3}$：S_n= 0.3 公尺時試片的滑動速度，單位爲 公尺/秒
   $V_{0.4}$：S_n= 0.4 公尺時試片的滑動速度，單位爲 公尺/秒
   $V_{0.5}$：S_n= 0.5 公尺時試片的滑動速度，單位爲 公尺/秒

以下實驗結果爲 M_1= 0.2kg、0.22kg、0.24kg、0.26kg、0.28kg、0.3kg 的情況下，所量測及計算的數據。

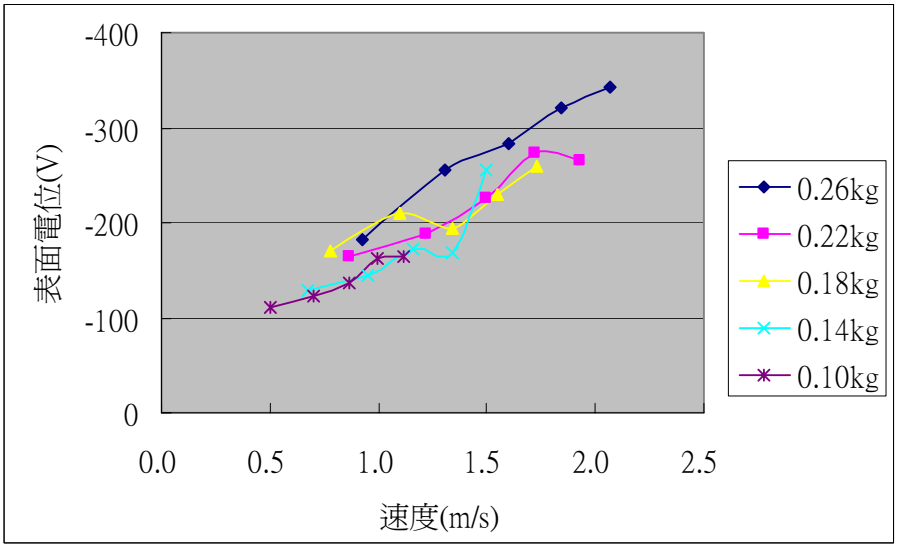
試片經過表面的摩擦後，我們量測鐵試片及 PTFE 的表面電位，發現鐵試片的表面電位幾乎量測不到，因此我們只針對 PTFE 的表面電位的變化作分析。

（一） M_1= 0.2kg 條件下的實驗數據 （摩擦力約爲 0.63 牛頓）

M_2	t	a	$V_{0.1}$	$V_{0.2}$	$V_{0.3}$	$V_{0.4}$	$V_{0.5}$
0.08	1.34	0.517	0.335	0.473	0.580	0.669	0.748
0.1	0.90	0.905	0.498	0.705	0.863	0.997	1.114
0.12	0.76	1.205	0.592	0.837	1.025	1.184	1.324
0.14	0.67	1.624	0.671	0.948	1.161	1.341	1.499
0.16	0.62	1.994	0.727	1.028	1.259	1.453	1.625
0.18	0.58	2.163	0.775	1.096	1.342	1.550	1.733
0.2	0.54	2.440	0.822	1.163	1.424	1.645	1.839
0.22	0.52	2.595	0.862	1.219	1.493	1.724	1.927
0.24	0.50	2.905	0.892	1.262	1.546	1.785	1.996
0.26	0.48	3.079	0.923	1.305	1.598	1.845	2.063



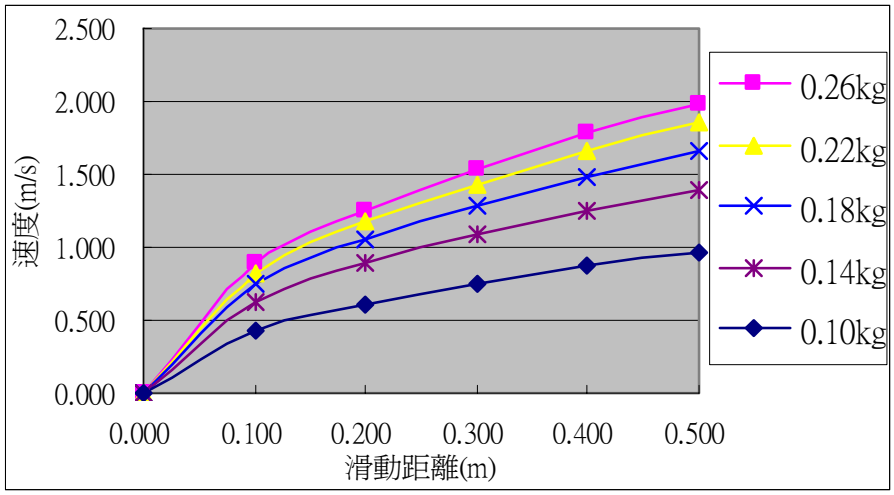
圖六、 M1= 0.2kg，不同 M2 下滑動距離與速度之關係



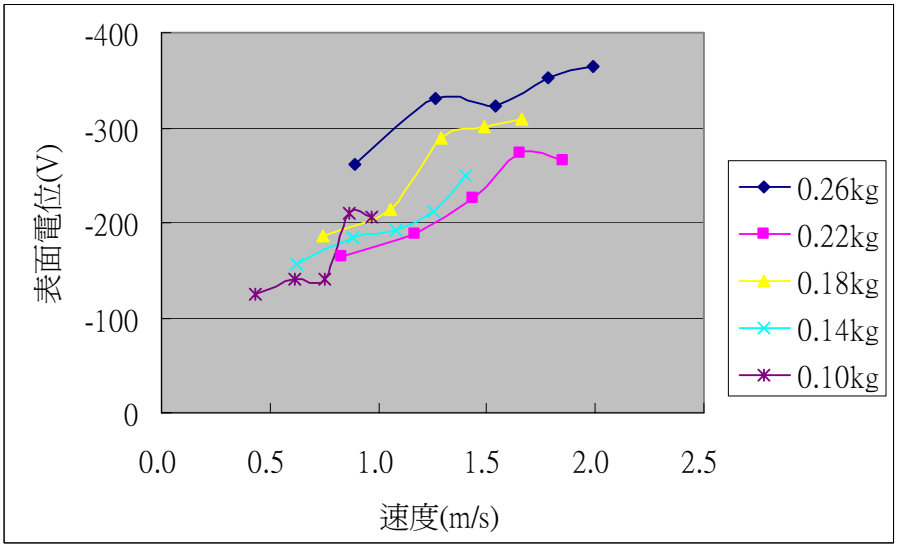
圖七、 M1= 0.2kg，不同 M2 下滑動速度與表面電位之關係

（二） M_1= 0.22kg 條件下的實驗數據 （摩擦力約爲 0.69 牛頓）

M_2	t	a	$V_{0.1}$	$V_{0.2}$	$V_{0.3}$	$V_{0.4}$	$V_{0.5}$
0.08	1.87	0.285	0.239	0.338	0.413	0.477	0.534
0.1	1.03	0.940	0.434	0.613	0.751	0.867	0.970
0.12	0.83	1.455	0.539	0.763	0.934	1.079	1.206
0.14	0.72	1.955	0.625	0.884	1.083	1.250	1.398
0.16	0.65	2.402	0.693	0.980	1.200	1.386	1.550
0.18	0.60	2.766	0.744	1.052	1.288	1.488	1.663
0.2	0.57	3.116	0.789	1.116	1.367	1.579	1.765
0.22	0.54	3.425	0.828	1.170	1.434	1.655	1.851
0.24	0.52	3.707	0.861	1.218	1.491	1.722	1.925
0.26	0.50	3.961	0.890	1.259	1.542	1.780	1.990



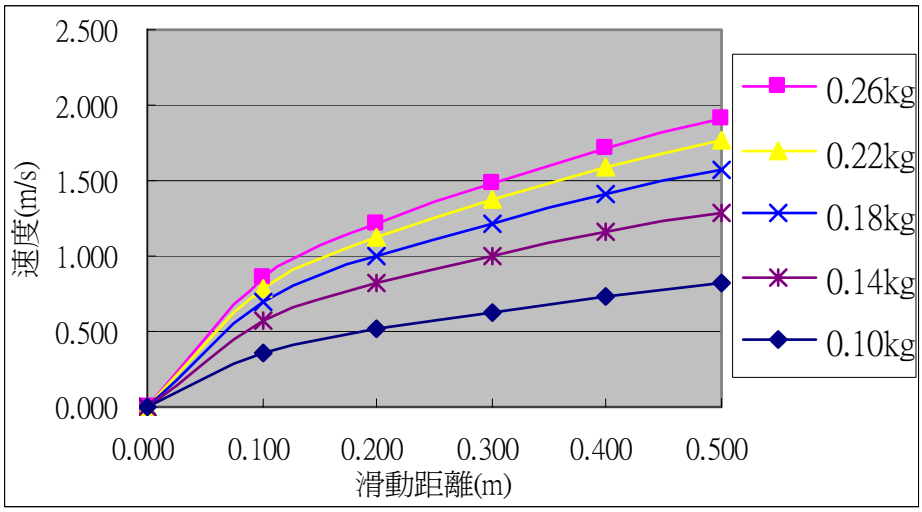
圖八、 M1= 0.22kg，不同 M2 下滑動距離與速度之關係



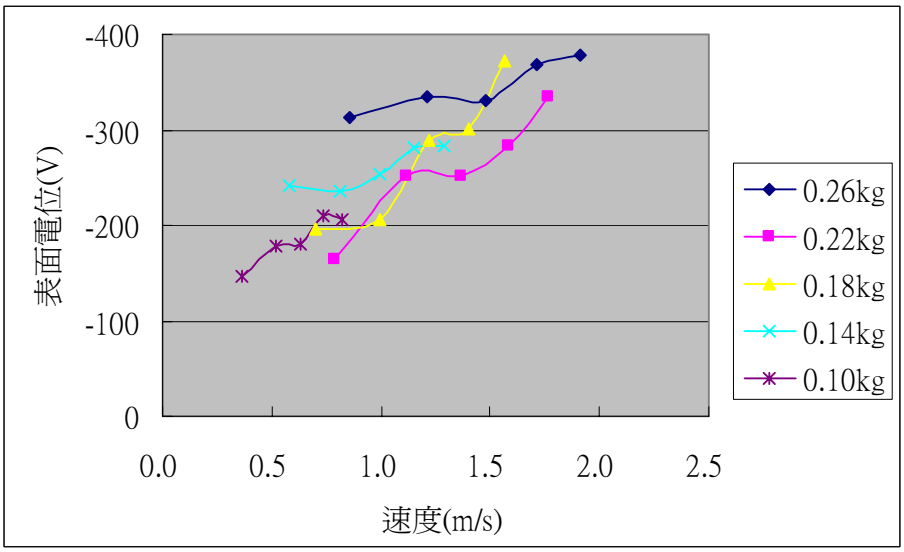
圖九、 M1= 0.22kg，不同 M2 下滑動速度與表面電位之關係

（三） M_1= 0.24kg 條件下的實驗數據 （摩擦力約爲 0.75 牛頓）

M_2	t	a	$V_{0.1}$	$V_{0.2}$	$V_{0.3}$	$V_{0.4}$	$V_{0.5}$
0.1	1.22	0.669	0.366	0.517	0.633	0.731	0.818
0.12	0.92	1.189	0.488	0.690	0.845	0.975	1.090
0.14	0.78	1.661	0.576	0.815	0.998	1.153	1.289
0.16	0.69	2.085	0.646	0.913	1.119	1.292	1.444
0.18	0.64	2.464	0.702	0.993	1.216	1.404	1.570
0.2	0.60	2.792	0.747	1.057	1.294	1.495	1.671
0.22	0.57	3.127	0.791	1.118	1.370	1.582	1.768
0.24	0.54	3.381	0.822	1.163	1.424	1.645	1.839
0.26	0.52	3.657	0.855	1.209	1.481	1.710	1.912



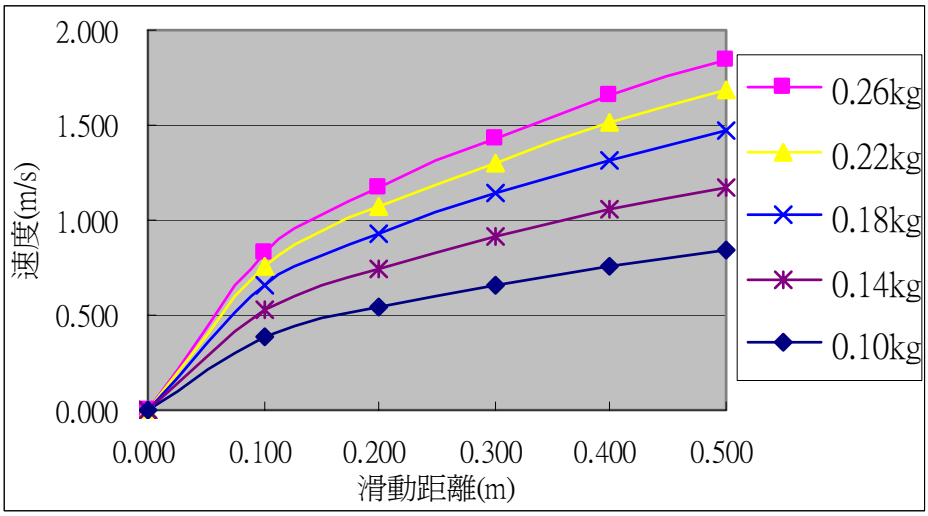
圖十、 M1= 0.24kg，不同 M2 下滑動距離與速度之關係



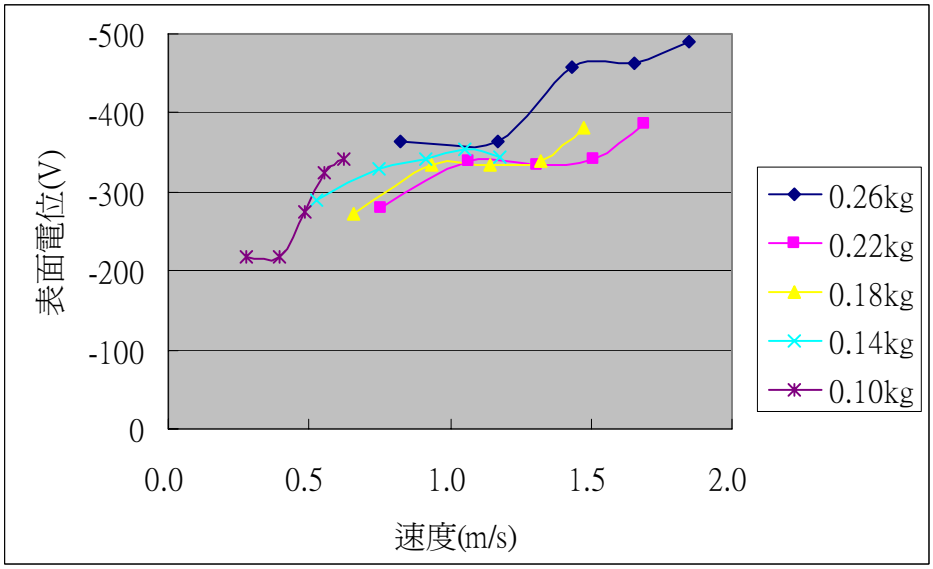
圖十一、 M1= 0.24kg，不同 M2 下滑動速度與表面電位之關係

（四） M_1= 0.26kg 條件下的實驗數據 （摩擦力約爲 0.82 牛頓）

M_2	t	a	$V_{0.1}$	$V_{0.2}$	$V_{0.3}$	$V_{0.4}$	$V_{0.5}$
0.1	1.61	0.387	0.278	0.393	0.482	0.556	0.622
0.12	1.05	0.916	0.428	0.605	0.741	0.856	0.957
0.14	0.85	1.385	0.526	0.744	0.912	1.053	1.177
0.16	0.75	1.792	0.599	0.847	1.037	1.197	1.339
0.18	0.68	2.179	0.660	0.934	1.143	1.320	1.476
0.2	0.63	2.527	0.711	1.005	1.231	1.422	1.590
0.22	0.59	2.846	0.754	1.067	1.307	1.509	1.687
0.24	0.56	3.134	0.792	1.120	1.371	1.584	1.770
0.26	0.54	3.406	0.825	1.167	1.429	1.651	1.845



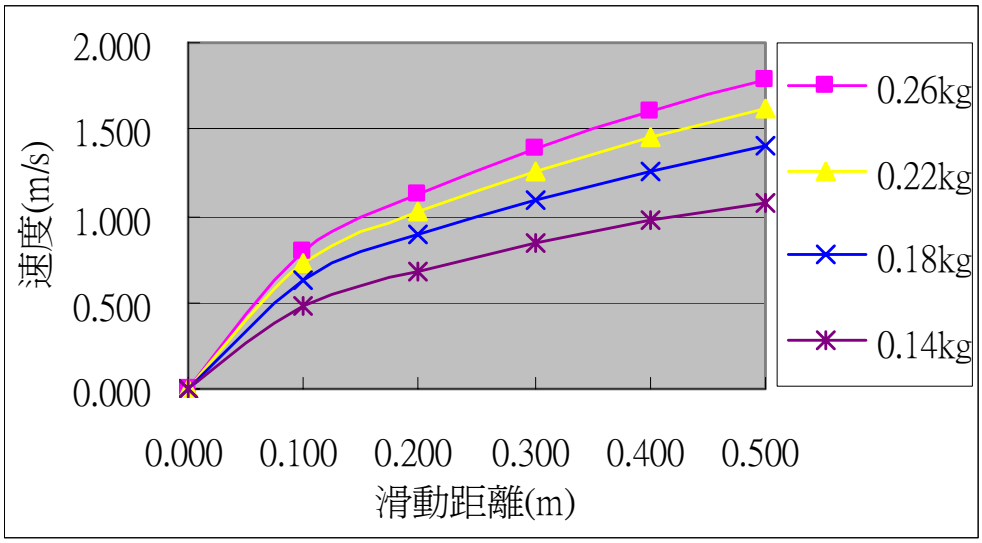
圖十二、 M1= 0.26kg，不同 M2 下滑動距離與速度之關係



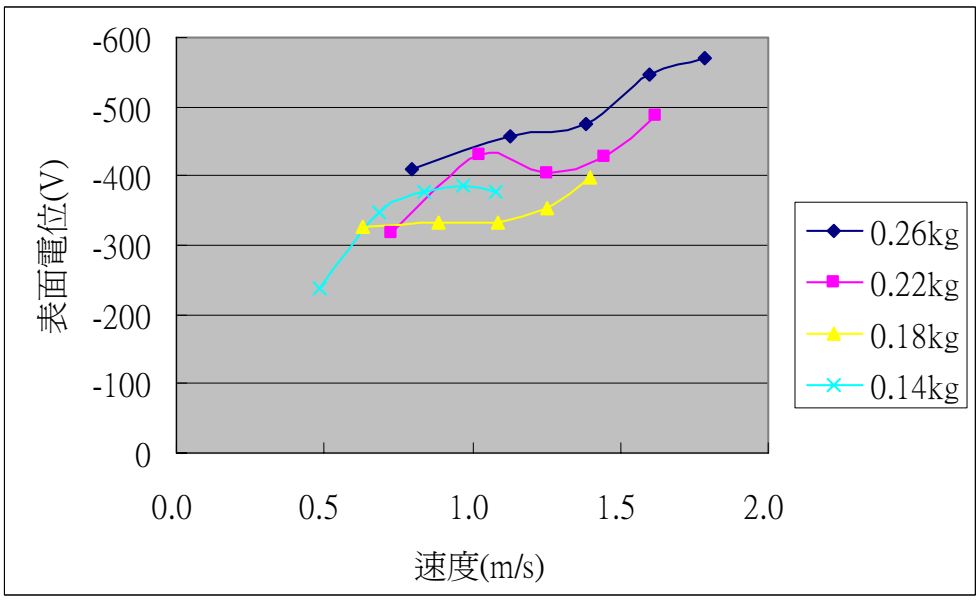
圖十三、 M1= 0.26kg，不同 M2 下滑動速度與表面電位之關係

（五） M_1= 0.28kg 條件下的實驗數據 （摩擦力約爲 0.88 牛頓）

M_2	t	a	$V_{0.1}$	$V_{0.2}$	$V_{0.3}$	$V_{0.4}$	$V_{0.5}$
0.12	1.19	0.704	0.375	0.531	0.650	0.750	0.839
0.14	0.92	1.169	0.484	0.684	0.838	0.967	1.081
0.16	0.79	1.599	0.566	0.800	0.980	1.131	1.265
0.18	0.71	1.962	0.626	0.886	1.085	1.253	1.401
0.2	0.66	2.305	0.679	0.960	1.176	1.358	1.518
0.22	0.62	2.627	0.725	1.025	1.256	1.450	1.621
0.24	0.59	2.914	0.763	1.080	1.322	1.527	1.707
0.26	0.56	3.189	0.799	1.129	1.383	1.597	1.786



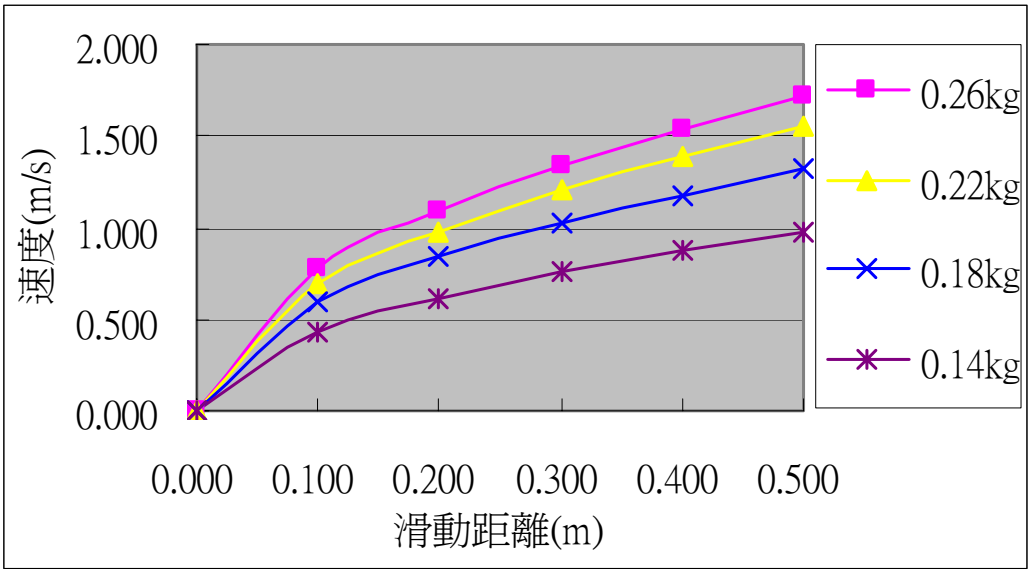
圖十四、 M1= 0.28kg，不同 M2 下滑動距離與速度之關係



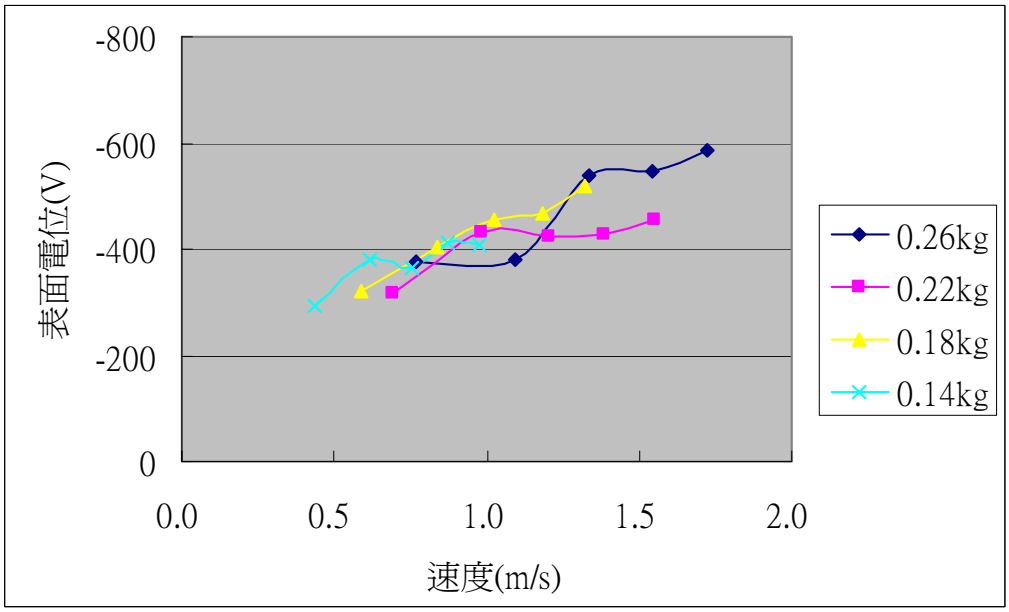
圖十五、 M1= 0.28kg，不同 M2 下滑動速度與表面電位之關係

（六） M_1= 0.3kg 條件下的實驗數據 （摩擦力約爲 0.94 牛頓）

M_2	t	a	$V_{0.1}$	$V_{0.2}$	$V_{0.3}$	$V_{0.4}$	$V_{0.5}$
0.12	1.40	0.511	0.320	0.452	0.554	0.639	0.715
0.14	1.03	0.947	0.435	0.615	0.754	0.870	0.973
0.16	0.86	1.363	0.522	0.739	0.904	1.044	1.168
0.18	0.76	1.746	0.591	0.836	1.023	1.182	1.321
0.2	0.69	2.097	0.648	0.916	1.122	1.295	1.448
0.22	0.64	2.405	0.694	0.981	1.201	1.387	1.551
0.24	0.61	2.700	0.735	1.039	1.273	1.470	1.643
0.26	0.58	2.975	0.771	1.091	1.336	1.543	1.725

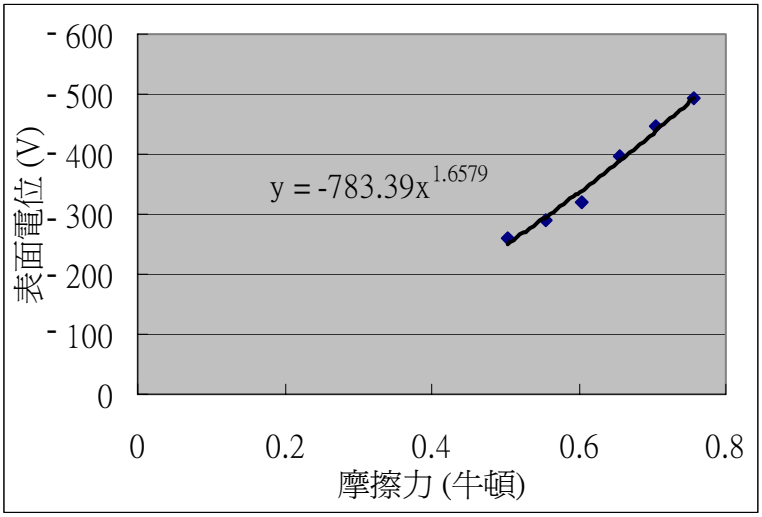


圖十六、 M1= 0.3kg，不同 M2 下滑動距離與速度之關係

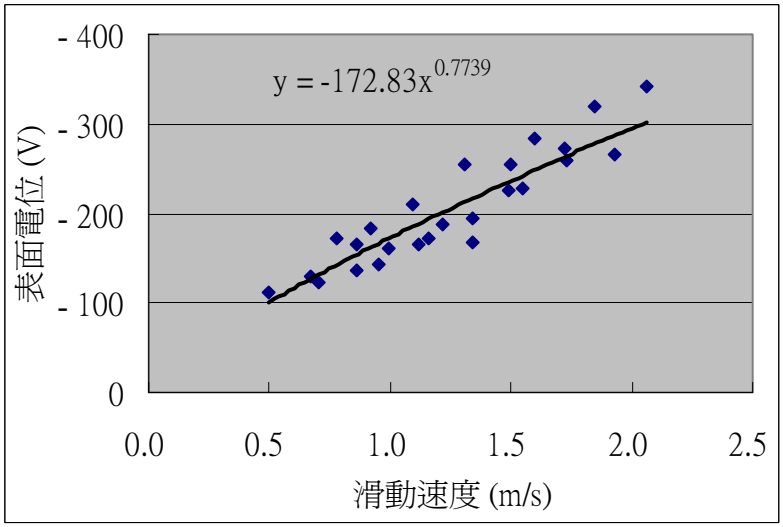


圖十七、 M1= 0.3kg，不同 M2 下滑動速度與表面電位之關係

（七） 綜合結果



圖十八、 速度爲 1.5(m/s)，摩擦力與表面電位之關係



圖十九、 M1=0.2kg (摩擦力約爲 0.5 牛頓)，滑動速度與表面電位之關係

柒、 討論

一、探討表面電位的變化

在帶有電荷的試片上，分別在試片表面塗上潤滑油、水、以及酒精，由實驗結果可知，在試片表面塗上酒精可以讓表面電位迅速下降；水次之；而潤滑油最慢。由三種液體的揮發性來比較，酒精揮發最快，水次之，潤滑油最慢，揮發性愈大，則較容易將試片的表面電荷散佈到空氣當中，使表面電位迅速下降。

二、改變 M_1 與 M_2，探討摩擦力及加速度的變化

由實驗結果得知，在 M_1 固定，只改變 M_2 的情況下，幾乎對摩擦力不造成影響，可知動摩擦力爲一定值，而加速度則會隨著 M_2 增加而變大。

此外，M_1 增加則摩擦力也跟著變大，且成比例關係，根據兩者關係可求得摩擦係數。理論上動摩擦係數爲一定值，但實驗結果得到摩擦係數的值不是很穩定，可能的原因如下：

(一)實驗誤差：試片的平面度及粗糙度皆會影響摩擦力，我們盡量在實驗前將試片表面經過研磨處理，使每一次的條件皆相同。此外實驗所用的定滑輪亦有摩擦力，我們則是添加潤滑油，盡量使滑輪的摩擦力減小。

(二)人爲誤差：在量測滑動時間方面，我們是以 5 組碼錶同時量測，再取其平均值，因此難免造成人爲的誤差，建議可改用光學式儀器，可避免掉人爲誤差。

三、探討摩擦力對表面電位的影響

根據之前結果，摩擦力會隨著 M_1 增加而變大，且成比例關係。我們改變不同的 M_1 做實驗，探討摩擦力對表面電位的影響。根據實驗結果，M_1 愈大，即摩擦力愈大，試片表面的摩耗較嚴重。若在相同的滑動速度之下做比較，摩擦力愈大，則表面電位的上升愈大，根據迴歸曲線分析，表面電位約與摩擦力的 1.65 次方成正相關。

四、探討滑動速度對表面電位的影響

在 M_1 固定的情況下，摩擦力幾乎不改變，只有速度會對表面電位造成影響，而改變 M_2 時，在相同的速度下表面電位會隨著 M_1 增加而略爲增大，但影響不明顯。而由實驗結果可以發現，在相同的摩擦力下，滑動速度愈快則表面電位的上升愈大，根據迴歸曲線分析，表面電位約與滑動速度的 0.77 次方成正相關。

五、 綜合討論與未來展望

(假設一)：表面電位與作功有關，作功愈大，表面電位上升愈高

根據**討論三**的結果，摩擦力愈大則表面電位愈高，因此我們提出假設一，輸入的功愈大則輸出的能量也會愈大，此能量會反應在表面電位上。根據 W=FxS (功 = 作用力 x 位移)，在相同的滑動距離下，摩擦力愈大則作功愈大，使得表面電位上升。

(假設二)：表面電位與功率有關，功率愈大，則表面電位上升愈高

(修正假設一)

若根據假設一，若表面電位與作功有關，則在相同的摩擦力與滑動距離下，速度的大小將不會影響表面電位。但根據**討論四**的結果，滑動速度亦會影響表面電位，因此我們提出了假設二，表面電位與功率相關。也就是在摩擦力與滑動距離相同之下，作功相同，但速度愈快，經過的時間愈短，則功率就愈高，因此使得表面電位上升。

(假設三)：表面電位與摩擦面的溫度有關，功率愈大，則表面電位上升愈高

在假設一的論點，摩擦力愈大，則作功愈大，摩擦力所造成的熱能就愈大。產生相同的摩擦熱之下，若滑動速度愈快，摩擦面沒有充足的時間冷卻，使得摩擦面的溫度上升較快。

若接觸面溫度愈高，則材料對電子的吸附力愈高，因爲會使得表面電位上升。

(未來展望)：

限於實驗設備，我們沒有辦法對於提出的假設作驗證，但提出了一個研究方面，未來可以針對摩擦熱對於摩擦帶電做實驗，甚至可以精密儀器以微觀來觀察材料的變化以及電子的移動情形。

捌、 結論

一、導體不易產生摩擦帶電，而絕緣體容易產生摩擦帶電。

二、物體的表面電位，會隨著表面液體的揮發而流失。

三、在相同的滑動速度下，摩擦力愈大則表面電位的上升愈大，根據迴歸曲線分析，表面電位約與摩擦力的 1.65 次方成正相關。

四、在相同的摩擦力下，滑動速度愈快則表面電位的上升愈大，根據迴歸曲線分析，表面電位約與滑動速度的 0.77 次方成正相關。

玖、 參考資料

一、國中理化第五冊第四章第一節，南一書局，93 年 8 月。

二、基礎電磁學，吳劍秋 編著，全華科技圖書公司 印行，1998 年。

三、網路資源

http://www.iosh.gov.tw/data/f17/sdse015t0018.htm

http://www.bud.org.tw/answer/9903/990328.htm

http://www.epochtimes.com/b5/5/1/12/n777487.htm

http://home.pchome.com.tw/sport/060104/new_page_28.htm

http://www.nani.com.tw/big5/content/2003-02/06/content_18418.htm

http://pck.bio.ncue.edu.tw/pckweb/database/pckchem/new11-1.htm

http://www.epochtimes.com.tw/bt/5/1/12/n777487.htm

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會

評　　語

國中組 理化科

031604

我擦、我擦、我擦擦擦--摩擦力與滑動速度對摩擦帶電之影響

高雄縣立鳳山國民中學

評語：

1. 實驗數據整理完整。
2. 這個實驗屬於基礎性的研究，因此討論的部份很重要，如圖 18、圖 19 可以討論數據點外插後與橫軸相交所代表的意義。
3. 滑動試片本身的粗糙度是否影響表面電位的產生，可多加探討。
4. 本實驗的應用部份可多加思考。
5. 整體而言，這是一個很用心的研究值得讚美。