金屬導線或面板上交流電產生怪現象之研究及計時應用

國中組物理科第一名

高雄市立壽山國民中學

作　　者：張澤民、洪承龍
指導教師：邱俊義

一、研究動機

白紙上的硫粉，不經意地用手去擦拭意外地發現硫粉產生疏密條紋〝是不是實驗室交流電壓 220 伏特電場內所引起的〞展開研究。

二、研究目的

㈠交流電在金屬導線或面板上產生疏密條紋狀怪現象之研究？

㈡可否藉此疏密條紋能具體又直觀的解釋交流電的意義？

㈢疏密條紋可以應用到測量時間嗎？

1. 測量彈簧振動週期 *2.* 測量自由落體運動時間。

三、研究設備及器材：略

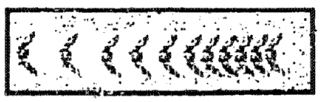
四、研究過程及實驗結果

實驗㈠：使用交流電源延長線多孔插座：交流電源 (110V A.C) 。

結　果：*1.* 延長線上傳輸導線上之白紙硫粉沒有呈現出疏密條紋排列。

2. 較粗之傳輸導線上之白紙硫粉，有呈現出疏密條紋排列。

3. 手指抹動愈快時疏密條紋間距大，反之手指抹動較慢時，疏密條紋間距小，且當手抹動較爲等速時條紋等間距，手抹動較不等速時條紋呈現較不等間距。（圖示）

速度（大-小）

不等速度

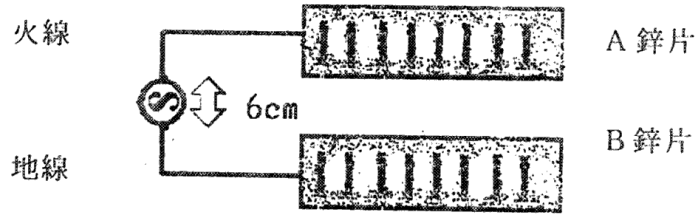
4. 手執硬紙片去抹動硫粉呈現出的疏密條紋較手指抹動爲直如圖示：



實驗㈡：改用 AB 兩塊鋅片（長 20cm 寬 6cm ）來取代兩傳輸導線。（銅片、鋅片、鋁片皆可，若將硫粉直接撒在金屬片上以鋅片較佳，因爲硫粉較易附著在鋅片上）

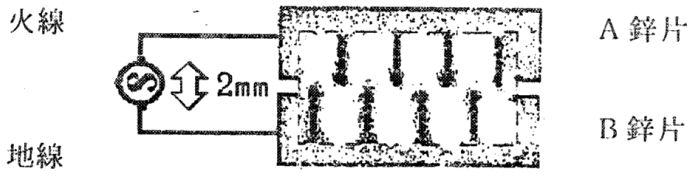
結　果：*1.* AB 兩鋅片間距 6cm 上其硫粉經手執硬紙片抹動後，均產生清晰的疏密條紋。（分別各自抹動）

圖示：



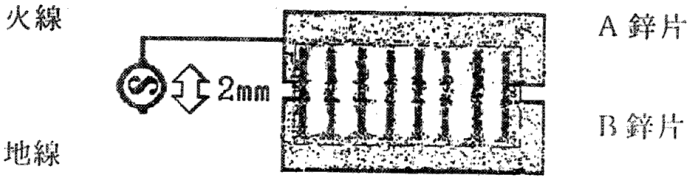
2. AB 兩鋅片間距 2mm ，但 A 鋅片上硫粉的密部和 B 鋅片上硫粉的疏部相間。（手執一張較寬硬紙片可同時抹動 AB 兩鋅片上硫粉）

圖示：



3. 當 B 鋅片不接交流電源時， A 鋅片上的硫粉密部和 B 鋅片上硫粉密部並列一致。（ B 鋅片爲斷路）

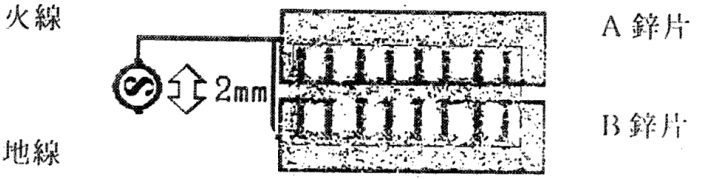
圖示：



實驗㈢：用 AB 兩塊鋅片（長 20cm ，寬 6cm ），但是 AB 兩塊均接交流電源火線端（兩鋅片間距 2mm ）舖上一張白色紙。

結　果：*1.* AB 兩鋅片間距 2mm ，但 A 鋅片上硫粉的密部和 B 鋅片上硫粉的密疏部並列一致。（ AB 兩塊均接交流電源火線端）

圖示：



2. 不同點：發現 AB 兩鋅片間距 2mm 處，白紙上硫粉並未產生疏密條紋，但是實驗㈡之 2.3 間距 2mm 處有疏密條紋。

實驗㈣：A 鋅片長 20cm 寬 6cm ， C 鋅片長寬約爲 2cm 。（一小塊）

過　程：*1.* A 鋅片接上交流電源火線端，取一鱷魚夾一端接 A 鋅片，另一端

接C鋅片（即C 鋅片也接火線端），手執硬紙片和C鋅片抹動A鋅片上的硫粉。（只有硬紙片和硫粉摩擦）

2. A鋅片上均勻撒上硫粉，但不接上交流電源，取一鱷魚夾一端接交流電源火線（或地線），另一端接C鋅片，同上，手執硬紙片和C鋅片隨同抹動A鋅片上的硫粉。

結　果：1. A鋅片上不產生疏密（C鋅片隨同抹動）同實驗㈢。

2. A鋅片上產生疏密條紋。

實驗㈤：承㈣的實驗設計，我們以人爲導體取代C鋅片。

過　程：1. 左手碰觸A鋅片，右手執硬紙片抹動A鋅片上之硫粉。

2. 左手離開A鋅片，右手執硬紙片再抹動A鋅片上之硫粉。

3. 左手碰觸A鋅片，換〝另一個人〞的手執硬紙片抹動硫粉。

4. 同3.，但我的右手去碰觸〝另一個人〞的手（左手依然碰觸A鋅片），觀察變化。

5. 同1.，在我的右手臂上平鋪一張紙，均勻撒上硫粉換〝另一個人〞手執硬紙片抹動硫粉，觀察變化。

結　果：1. A鋅片上不產生條紋。

2. 左手離開A鋅片又產生疏密條紋。

3. A鋅片上產生疏密條紋。

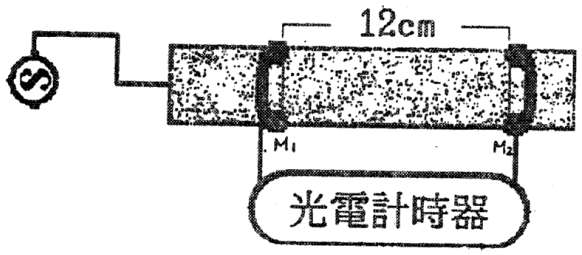
4. A鋅片上不產生疏密條紋。

5. A鋅片白紙上產生疏密條紋。（在人體右手背紙上之硫粉）

實驗㈥：將交流電源電壓改換成直流電壓12V，操作同上圖示：略

結　果：鋅片上不再因手執硬紙片的抹動硫粉，而產生疏密條紋。

實驗㈦：測量硫粉密部和密部之間的發生時間，裝置如圖示：



光電計時器

過　程：1. A鋅片長20cm寬6cm接上交流電源一端（火線端、地線端皆可），並在A鋅片上均勻撒上硫粉。

2. 在A鋅片上設定12cm的間距並用筆劃上兩條線M1M2如上圖。

3. 在A鋅片這兩條線(12cm)上方裝置光電計時器，即兩個光電計時器間距12cm，手執硬紙片抹動A鋅片上之硫粉（儘量等速抹

動）並計算出 M1 和 M2 之間的密部條紋間距數 L 1 及光電計時器所測得的時間 T1 ，並改變手抹動速度。

結　果：*1.* 證明硫粉密部和密部之間發生時間爲 1/60 = 0.0166 。（秒）

2. 台灣區的交流頻率爲 60Hz ，週期爲 1/60 = 0.0166 。（秒）

五、原理分析及實驗討論
因爲篇幅關係部份重要討論略。

原理分析：認識家庭交流電：交流頻率 60Hz 電穩壓爲正弦形變更。

參考資料：大學物理，張桐生譯　中華書局（略）

實驗討論：略

硫粉的疏密條紋是如何產生的呢？我們假設了三個理由來解釋其發生的原因：

1. 硫粉的疏密條紋受到交流電場 E 極化後，硫粉和交流電場產生的吸或斥力，而經手的抹動後引起的。

2. 疏密條紋是因硫粉經手執硬紙片摩擦後，硫粉產生靜電變成帶電體後和交流電場 E 產生吸或斥力引起的。

3. 疏密條紋是因電磁波產生駐波，而經手的擾動硫粉而引起。

討論：*1.* 硫粉受交流電場 E 極化後，產生疏密條紋。

①我們選取幾個特定時刻來討論 AB 兩鋅片接上交流電源後： A 鋅片上電荷分佈情形：以下圖略

（ㄅ）t = 0 秒 (I = 0)　　（ㄆ）t = 1/480 秒

（ㄇ）t = 1/240 秒 (I 最大）　　（ㄈ）t = 3/480 秒

（ㄉ）t = 1/120 秒 (I = 0)　　（ㄊ）t = 5/480 秒

（ㄋ）t = 6/480 秒 (I 最大）反向電流　（ㄌ）t = 7/480 秒

（ㄍ）t = 1/60 秒 (I = 0)　　（ㄎ）t = 9/480 秒

（ㄏ）t = 10/480 秒　　（ㄐ）t = 11/480 秒

（ㄑ）t = 12/480 秒 (I = 0)

②設硫粉硫分子是受上述 A 鋅片上電荷極化後，硫分子在（ㄅ）→（ㄉ）時刻靠近 A 鋅片端被極化成負電荷，硫分子和鋅片產生吸力，且以 t = 1/240 秒時吸力最大硫分子在（ㄉ）→（ㄍ）時刻靠近 A 鋅片端被極化成正電荷，硫分子和鋅片也產生吸力，且以 t = 6/480 秒時吸力最大。

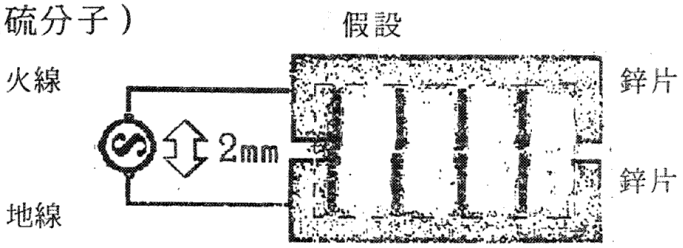
③假如硫粉經手抹動時，因 t = 1/240 秒，硫粉和 A 鋅片的吸力最

大，硫粉是密部條紋，在 1/240 秒＜6/480 秒因吸力較弱，硫粉呈疏部條紋，但在 t = 6/480 秒時，硫粉和 A 鋅片的吸力又最大，硫粉又呈密部條紋，那麼相鄰兩密部條紋的間隔時間該爲：

6/480 秒－ 1/240 秒＝ 1/120 秒 ..... （不合）

此推理結論和實驗八相鄰兩密部條紋間隔爲 1/60 秒不合。

④若疏密條紋是因硫粉受電場極化產生的，那麼 AB 兩鋅片上的疏密條紋應該是一致的，如圖。（因爲 AB 兩鋅片上電荷，各自極化硫分子）



⑤假設疏密條紋是硫粉受到電場極化產生的，那麼我們輕敲鋅片（或鋅片上白紙）時，並在硫粉上方給予一個風擾動，應該他會出現疏密條紋，但是經我們實驗多次，並未產生疏密條紋。

⑥經由④⑤⑥的推論實驗，我們得到一個結論：就是硫粉疏密條紋應該不是受鋅片上的交流電場極化而產生的。

討論 *2.*：硫粉是先經硬紙片摩擦後變成帶電體後和交流電場 E 作用，產生疏密條紋。

①取硫粉棒一根和硬紙片輕易摩擦後，再用金箔驗電器檢查後，硫粉棒確實變成帶電體。（帶負電）

②我們再以幾個特定時刻來推理：當硫分子經摩擦後形成帶負電的電體時，硫分子在 t = 1/240 秒（硫分子和 A 鋅片異同種電荷）時吸力最大，經手的抹動硫粉呈密部條紋後，在 1/240 秒＜t＜1/120 秒，吸力減弱，在 1/120 秒＜t＜1/60 秒，硫分子又受到斥力（硫分子和 A 鋅片同種電荷）以 6/480 秒斥力最大，至 t＞1/60 秒又轉爲吸力。由以上分析得知：即在 t＞1/240 秒後吸力減弱時，緊接著斥力增加，硫粉漸呈疏部條紋，直至 t = 10/480 秒，硫分子受到吸力又最大，又呈最密部條紋，那麼相鄰兩密部條紋的間隔時間該爲：

10/480 秒－ 1/240 秒＝ 1/60 秒 ..... （合）

此推論和實驗（八）相鄰兩密部條紋間隔 1/60 秒吻合。

③硫粉經摩擦形成帶負電帶電導體後，能解釋實驗㈡之 *2.* 產生的現象： AB 兩鋅片間距 2mm 同時接上交流電源兩端產生疏密相間條

紋分析 t = 1/240 秒時。（I 電流最大）

A 鋅片（正電荷最密集）：硫分子帶負電。（在 A 鋅片上方吸力最大，經手抹動產生密部條紋）

B 鋅片（負電荷最密集）：硫分子帶負電。（在 B 鋅片上方斥力最大，經手抹動產生疏部條紋）

分析：t = 6/480 秒時（I 反向電流最大）

A 鋅片（負電荷最密集）：硫分子帶負電。（在 A 鋅片上方斥力最大，經手抹動產生疏部條紋）

B 鋅片（正電荷最密集）：硫分子帶負電。（在 B 鋅片上方吸力最大，經手抹動產生密部條紋）

由以上的推論：AB 兩鋅片（間距爲 2mm 時）當接上交流電源後，AB 兩鋅片條紋確實相間排列和實驗㈡結果同。

④ㄅ它能解釋實驗三之 1，AB 兩鋅片均同時接交流電源火線端，AB 兩鋅片同電位瞬間電荷分佈情形均相同，經抹動後硫粉條紋在 AB 兩鋅片上是並列的。（間距 2mm）

ㄆ它能解釋實驗三之 2，AB 兩鋅片（鋅片上平舖一張白紙）間距部份 2mm 上之硫粉，並沒有生疏密條紋，因爲硫粉爲負電帶電體在 AB 兩鋅片電場內受到合力 = 0。（AB 兩鋅片爲同電位）

⑤它能解釋實驗㈣，手執小塊 C 鋅片，因爲和 A 鋅片同電位，帶電硫粉在 AC 鋅片電場內合力 = 0，同實驗三之 2，以致小塊 C 鋅片隨同硬紙片的抹動，硫粉不產生條紋。

⑥一個實際迴路，其交流電場效應完全和電容器及傳輸導線相同，所以硫粉產生疏密條紋情形，亦同實驗㈤之結果。

⑦硫粉經摩擦形成帶負電帶電體後，也能解釋實驗㈠，手指抹動的速度會影響疏密條紋的間距。

⑧經由①～⑧得知：硫粉是先經硬紙片摩擦後變成帶電體後和交流電場 E 作用，產生疏密條紋。

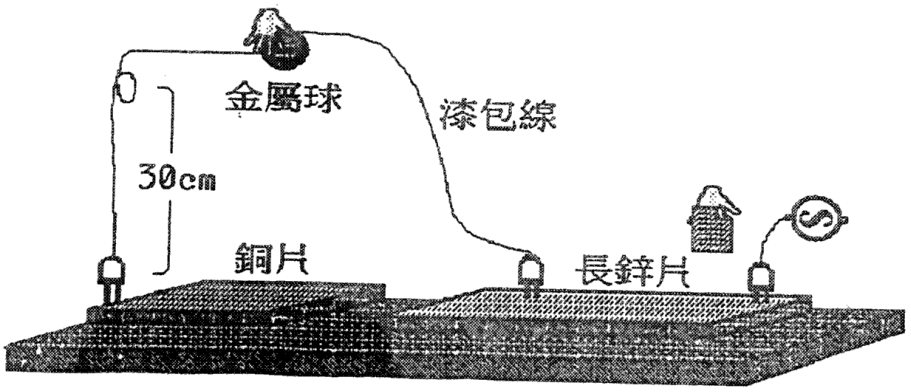
推論 *3.*：指導老師提出是否可能是由電磁波駐波產生疏密條紋。

假設硫粉是經由駐波產生，可以確認的是在交流頻率不改變之下 (f = 60Hz)，其密部和密部間距應該固定的，但是我們的實驗㈠顯示結果是：手抹動快慢會影響疏密條紋間距，從這裡可以得知：疏密條紋不應該是由駐波發生。

六、計時應用

㈠應用一：測量自由落體落地時間（右手不須要等速抹動）

1. 裝置：



①長 100cm 寬 8cm 的鋅片一片（銅片鋁片較光滑，但可以平舖一層白紙即可，均勻撒上硫粉）接上交流變壓器，如圖：

②取一鐵球焊接上一極細漆包線，漆包線另一端接長鋅片。

③取一厚銅塊作爲鐵球落地接觸板，並用長導線一端接銅塊，另一端接人體。（任何位置）

④操作者（人體）右手執硬紙片抹動長鋅片硫粉後，隨即左手執鐵球距銅塊 30cm 處釋放。

2. 計時原理：

①人體左手執鐵球未釋放前和長鋅片同電位，所以右手在抹動時，硫粉沒有疏密條紋。

②當左手釋於鐵球時，人體和長鋅片無接觸，所以長鋅片上的硫粉又出現疏密條紋。

③當鐵球碰撞到厚銅板時，原銅板和人體接觸，出現鐵球厚銅板、人體三者均和長鋅片相同電位，所以抹動硫粉又沒有疏密條紋。

得知：觀察並計算出長鋅片上硫粉的密度條紋數間距數 L 。

如圖：



第一次落地　　彈跳　　長鋅片

自由落體時間 t = (L) × 1/60 秒

3. 結果：數據表略，數據分析得 g 值爲 974.32cm/ 秒 2 高雄壽山。

㈡應用二：測量彈簧振動週期（略）計時原理：略

七、結論

㈠承推論 2 ，硫粉疏密條紋是因爲硫粉經硬紙片的摩擦後成爲帶電體，在交流電場作用下而產生的。

㈡傳輸導線或電容器以及實際迴路在交流電壓作正弦型的變更下，在其上方的硫粉經手的抹動後，均會受交流電場的作用而產生疏密條紋。（在交流電場作用範圍內都會發生）

㈢藉著硫粉的疏密條紋讓我們具體又能直觀出交流電的意義。

㈣應用於計時，操作方便，準確度高，而且最重要是計時應用裝置可以和待測物體完全分離，甚至測量待測物時間的開始和結束和計時鋅片有同步的優點。

八、參考資料

㈠國中、高中理化。

㈡大學物理，張桐生譯。

㈢交流電用書。

㈣物理教學中國物理學會。

㈤電磁學　亞東書局。

評語

是在金屬板上舖敷一薄層硫粉，經抹動形成負帶電體即可在交流電場內形成與交流頻率同步的疏密條紋。因此可以直接看到交流頻率，創意甚高。此法也可應用於測量時間，亦具有應用價值。