

投稿類別:物理類

篇名:

鉛筆筆跡導電因素之探討

作者:

鄭恆安。國立師大附中。高一 1509 班

指導老師:

陳智勝

壹、前言

一、摘要

本研究針對 2B、3B、4B、5B、6B、7B、8B 的鉛筆繪製石墨導線，進行同次數但不同寬度、厚度及測量時施予導線的正向力。我們在這研究中發現石墨線的電阻值與寬度的影響較厚度大、正向力與導線電阻值呈負相關，接著趨向穩定。根據上述結果，能藉由上述操縱變因使得石墨導線的電阻能下降，對未來我們實現簡單、便宜的萬用電路設計奠下基礎。

二、研究動機

石墨，是少數可以導電的非金屬，可是它的可塑性並不高。雖然鉛筆筆跡也能導電，可是它的電阻太大以至於不好利用。如果能找出方法來降低鉛筆筆跡的電阻，或許自製手繪電路將指日可待。針對筆芯的相關科展發表，「如果你願意一層一層地剝開我的「烯」- 由分析鉛筆筆跡提出有效產生石墨烯的方法」、「畫出來的電線－鉛筆線導電性質探討」，此兩篇作品主要透過量測筆芯的導電性，得出鉛筆畫出來的線符合電阻定律、鉛筆種類會影響鉛筆線的電阻，石墨含量越高者，畫出來的鉛筆線其電阻會越小。但並未探討同鉛筆線在測量時施予導線不同正向力與電阻的關係。

三、研究目的

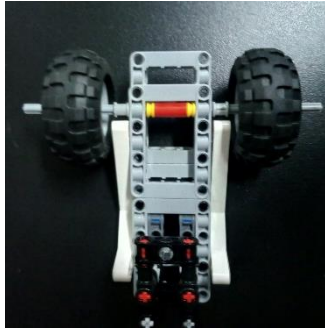
- (一)探討不同長度之鉛筆線與電阻的關係。
- (二)探討不同種類鉛筆所畫出的線與電阻的關係
- (三)探討塗相同次數但不同寬度、厚度之鉛筆線與電阻的關係。
- (四)探討同鉛筆線在測量時施予導線不同大小的電線與紙張接觸正向力與電阻的關係。

四、研究方法

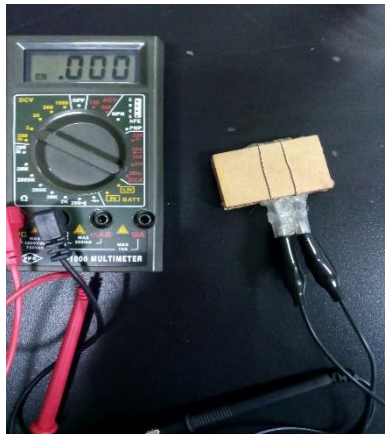
- (一)驗證鉛筆線符合電阻定律。
- (二)驗證石墨含量越高者，畫出來的鉛筆線其電阻會越小。
- (三)改變寬度、厚度，但次數固定，了解改變其導電特性之變因。
- (四)改變不同正向力，了解其改變導電特性之變因。

五、研究器材

(一) 定力器



(二) 測量器(三用電表、鱷魚夾)



(三) 鉛筆



(四) 水平儀



(五) 砝碼



貳、正文

一、實驗原理

(一)石墨導電原理

石墨具有層狀的平面結構。層內每個碳原子的週邊以共價鍵連結著另外三個碳原子，排列方式呈蜂巢式的多個六邊形，每層間有微弱的范德華力。由於每個碳原子均會放出一個電子，那些電子能夠自由移動，因此石墨屬於導電體。而鉛筆的成分主要是石墨，因此鉛筆筆跡導電與石墨密不可分。

(二)鉛筆 B 數與石墨含量關係

不同種類的鉛筆所含有的含碳量有不同的比例，B 代表深度，其前面的數字愈高，所畫出來的線就愈黑，也就是筆芯的含碳量愈多。當石墨含量越高，其導電度應該越好，電阻應該越小。

Hardness	9H	8H	7H	6H	5H	4H	3H	2H	H	F	HB	B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B
Carbon (%)	41	44	47	50	52	55	58	60	63	66	68	71	74	76	79	82	84	87	90	93
Clay (%)	53	50	47	45	42	39	36	34	31	28	26	23	20	18	15	12	10	7	5	2

圖一：不同鉛筆所含的碳與黏土之比例
(圖一來源：取自 <https://reurl.cc/pdgdRx>)

(三)電阻定律

$$R = \rho L / A \quad (\rho \text{ 是電阻率，與材質特性有關, } L \text{ 是長度, } A \text{ 是截面積})$$

二、實驗設計

(一)探討不同長度、不同 B 數造成鉛筆線與電阻的關係。

以 2B、3B、4B、5B 的鉛筆分別畫 1cm、2cm、3cm、4cm 的線，用三用電表 測量其電阻值。個別分析相同鉛筆 B 數、不同長度與相同長度所塗的鉛筆線，的電阻值的差別

2.以 2B、3B、4B、5B 的鉛筆分別畫 1cm、2cm、3cm、4cm 的線，用三用電表測量其電阻值。個別分析固定長度的鉛筆線，不同深度的電阻值的差別。

(二)探討測量鉛筆線電阻時不同大小的電線與紙張接觸正向力與電阻的關係

當測量器在測量時，在上方加上砝碼增加電線與紙張接觸的正向力。觀察三用電表上的讀數變化與砝碼造成的電線與紙張接觸的總正向力的關係

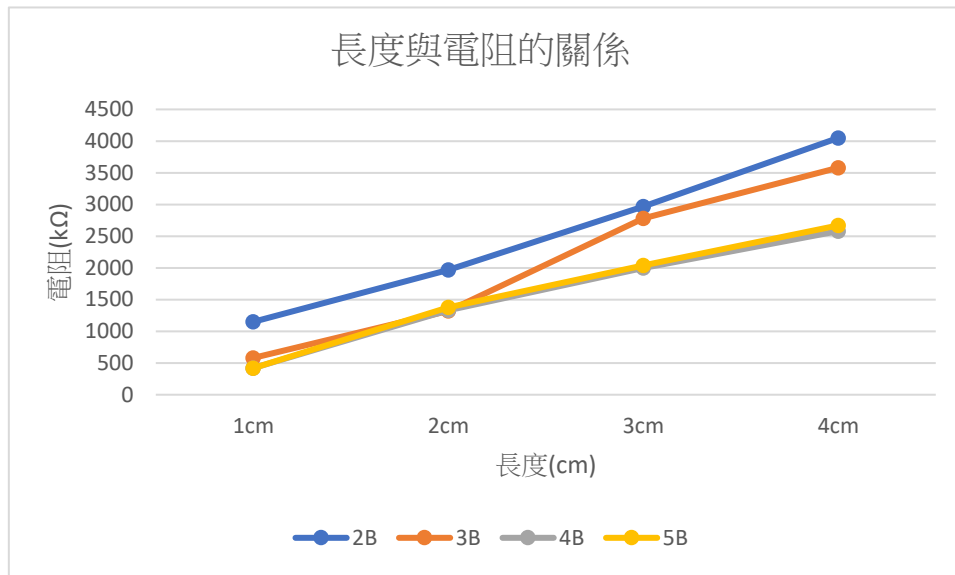
三、實驗結果

(一)鉛筆線與長度關係

	2B	3B	4B	5B
1cm	1150	580	420	420
2cm	1970	1320	1330	1380
3cm	2970	2780	2000	2040
4cm	4050	3580	2580	2670

表一：鉛筆線的長度與電阻的關係

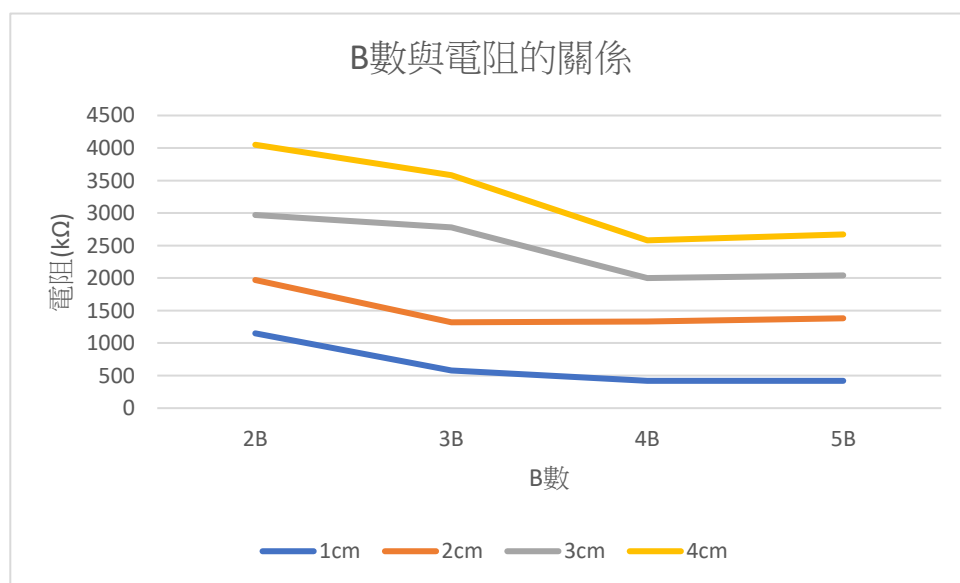
(表一來源：研究者繪製) 單位：k Ω



圖二：鉛筆線長度與電阻之關係圖

從實驗(一)數據中可得知，當我們固定鉛筆種類，可以發現鉛筆線的電阻由大到小為 4cm 的電阻 \rightarrow 3 cm 的電阻 \rightarrow 2cm 的電阻 \rightarrow 1cm 的電阻，由此可知當鉛筆種類固定時，鉛筆線越長電阻越高。符合電阻定律 R 正比於 L 的特性。

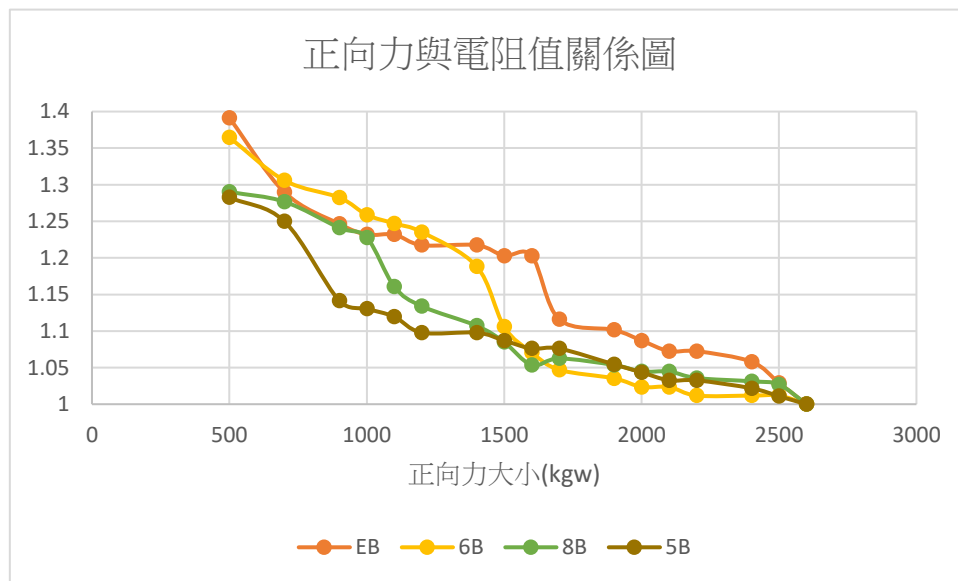
(二)鉛筆的種類對電阻的影響



圖三：鉛筆 B 數對電阻值的影響

從實驗(一)的數據中(表一)可以發現，當固定鉛筆長度時，可以看到電阻由大到小依次為深度 2B 的電阻→深度 3B 的電阻→深度 4B 的電阻→深度 5B 的電阻。且由圖七即可看出當鉛筆中 B 數越大(石墨含量越高)，電阻越小。

(三)測量時電線與紙張接觸的正向力對電阻值的影響



圖四、正向力對電阻值的影響

圖四，是電阻正規化(Normalization of resistance)後的結果，就是將原本測量到的電阻值除以該 B 數電阻所能達到的最小值後所繪製的圖形。而從此圖可發現它會呈現趨於定值的漸近線。原理可能有 1.因為石墨是單層片狀結構堆疊而成的，當施加電線與紙張接觸的正向力時，石墨層會漸漸疊在一起因此電阻會下降，而當所有石墨層都疊在一起時，就會呈現定值。2.因為測量時是以導線接觸，所以可能也與導線與石墨層的接觸面積有關。

參、結論

因為原本要參加 IYPT 物理辯論賽造就我通往物理專題的道路。在選題目時，因為鉛筆跡導電看似非常神奇，因此我選擇它做為我的研究主題。起初以為只是畫畫鉛筆、量測電阻，沒想到理想與實際竟是如此遙遠。首先為了控制下筆力道，我花約兩個多月的時間終於完成工具。接著便開始實驗鉛筆線與長度關係、鉛筆的種類對電阻的影響、以及測量時電線與紙張接觸的正向力對電阻值的影響。發現以下三點結論。

1. 電阻值與鉛筆線長度呈正比
2. 鉛筆的 B 數越深、石墨含量越多，電阻值越小
3. 測量時電線與紙張接觸的正向力越大，電阻值越小，但會有極限值存在

肆、感想

經過這個專題，我更深刻了解到科學家們造福人類的偉大，也體認到失敗為成功之母深刻的涵義。唯有從錯誤中不斷的修正、學習，才有可能向成功踏出一小步。最重要的是學習真正做學問的態度、為之後奠下良好的基礎，從發想問題、到想出可能的控制變因、再針對變因設計實驗並執行，及最後的理論支持、解釋。

伍、未來展望

希望之後能針對實驗(三)測量時電線與紙張接觸的正向力對電阻值的影響的理論解釋更清楚，之後可能會針對以下兩點設計實驗看看哪一個影響比較大？或是個別測驗出兩種影響力的大小是多少。

1. 電線與紙張接觸的正向力愈大導致石墨間空隙愈小，進而降低鉛筆線的電阻
2. 電線與紙張接觸的正向力愈大導致導線與石墨接觸面積愈大，進而降低鉛筆線的電阻

陸、引註資料

- 一、如果你願意一層一層地剝開我的「烯」－由分析鉛筆筆跡提出有效產生石墨烯的方法。彰化縣科學展覽會。

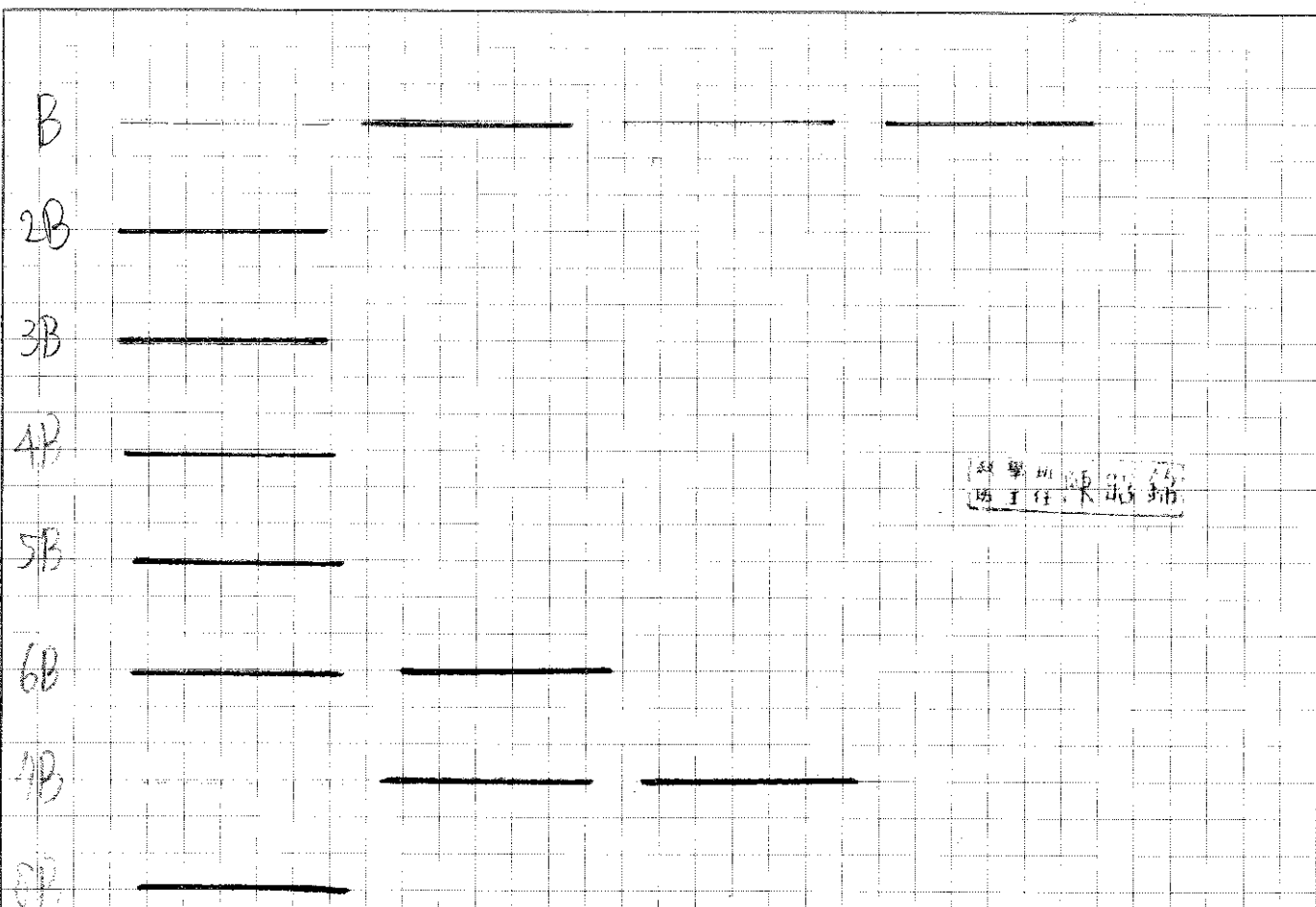
<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2020/03/2020032509261329.pdf>

- 二、IYPT 2020 Problem 10 Conducting Lines Demonstration. 。

<https://www.iypt.org/>

- 三、邱渝軒、許家睿(2020)。畫出來的電線－鉛筆線導電性質探討。

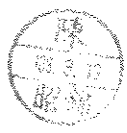
<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2020/03/2020032509261329.pdf>



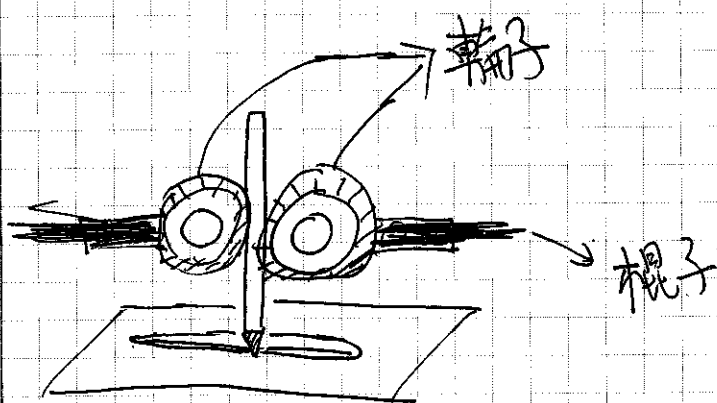
電阻值與長度

	1格	2格	3格	4格
B	540	1330	2910	4050
2B	1150	1970	2910	4050
3B	580	1320	2780	3580
4B	420	1330	2000	2580
5B	420	1380	2040	2670
6B	70	150	210	290
7B	180	360	540	670
8B	30	70	100	130

結論: B, 6B 的電阻值
偏差較大, 因為
電阻會與 B 數成反比



1. 下筆強度對筆跡之電阻的影響
2. 量測的力道對電阻值的影響
3. 鉛筆跡厚度
控制鉛筆下筆力道機器



1. 下筆強度

推論：電阻值應和強度成正比 因為力道越大，筆跡就越深

2. 厚度

推論：電阻值應和塗的次數成正比，塗越多便能把空隙補齊

3. 量測力道

推論：尚未得出

TITLE / 標題 機器結構圖

DATE / 日期

BOOK No. / 編號

3



(製造實驗器材)

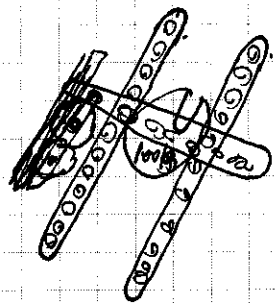


TITLE / 標題

DATE / 日期 2020/3/19

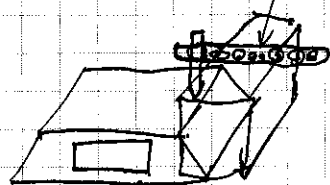
BOOK No. / 編號

探討砝碼對下筆力道的關係



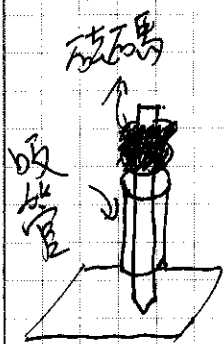
1. 加 100g 砝碼在桿子正中央發現下筆力道加 5g
2. 滑動桿子使鉛筆在紙上畫時磅秤讀數不一致

加砝碼數不一致



sol. 在夾鉛筆的地方改為加吸管並可在吸管上方鉛筆的部分加重

why. 因為直接夾鉛筆砝碼的重量並不會完全施力到紙上，而且固定鉛筆高度，可能會導致鉛筆之後不夠長碰到紙張



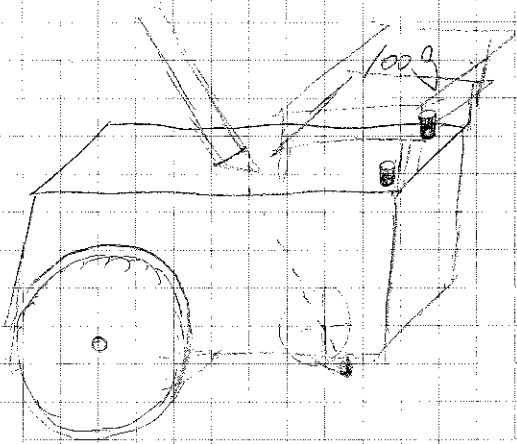
問題: 1. 當鉛筆上加砝碼時, 推動滑軌重心偏移
導致鉛筆滑掉

2. 砝碼無法保持平均施力在筆上

3. 吸盤與鉛筆間空隙過大導致鉛筆筆跡跑掉

⇒ sol: 上網找到鉛筆硬度計, 因此自製鉛筆
硬度計

設計圖




利用槓桿原理使得加上的重量可以等量加在筆上

實驗方法:

1. 先用水平儀使機器保持水平
因為若每次的角度不同則同一重量產生在筆上的力不同
2. 砝碼要放在同一地方, 實測則放在前面時
 $50g \Rightarrow 35g$, 後面則是 $10g$

遇到問題:

1. P19 頁的記錄便可知道, 目前 $100g, 200g$, 25 次, B 所畫出的線電阻太大無法測量
sol: 從 2B, 3B 開始測量或加大重量
2. 當機器上放 $200, 300g$ 的砝碼畫線時會突然往其中一邊翻覆。
因為原本的設計是將砝碼放在最前面而砝碼的重心會在原本 
筆尖, 輪子所形成的三角形的外面。
sol: 將砝碼移入三角形內, 但同樣 $100g$ 所產生的力只剩下 $30g$

3. 當在同一筆跡上用三用電表測量數次後便測不到電阻值。

因為用三用電表測量時，尖端會將粉墨刮去，導致數次後電阻會大，所以量不到。

sol: 可能可以用排針連接在探針上，並用膠帶固定使探針不斷刮去石墨粉，並可用重物壓，並觀察重量對電阻值的影響。



TITLE / 標題

DATE / 日期

BOOK No. / 編號

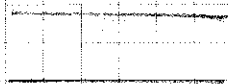
9

100g砝碼, 25次, 施在紙上的力 = $2 \times 35 \div 90gW$

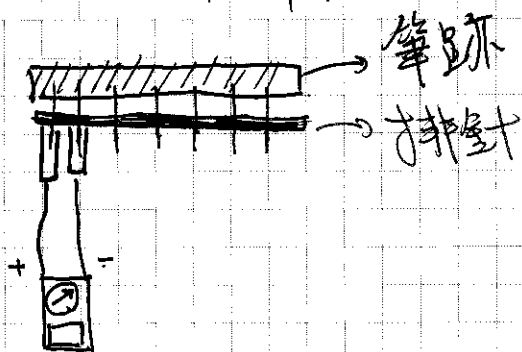
B 电阻太大

200g砝碼, 25次, 施在紙上的力 = $4 \times 35 \div 140gW$

B 电阻太大



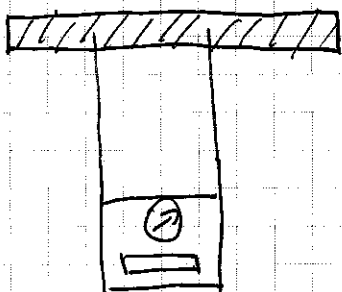
1. 運用排針, 杜邦線來測量



缺點: 只能連相鄰的兩支針, 因為若沒取相鄰的針中間的針會造成測量的誤差

(2) 當施力在排針上時, 也會施力在紙面上、桌面上

2. 將電線直接黏在筆跡上

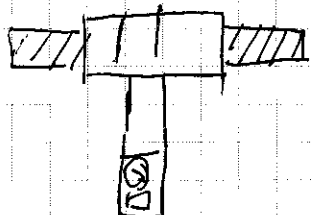


缺點: 無法重複測量不同筆跡

(2) 同 (1.2)

3. 將電線綁在一木塊上

經過測試後尚行, 但需要極大的力才能量到電阻





1、發現用機器在紙上畫的時候很容易跑掉

改善：發現輪子在紙上的摩擦力小，較易滑動
因此改為輪子在桌面上，而不是紙上

2、电阻太大不易量

改善：可以多畫幾條運用电阻並聯來降低电阻

3、放磁碼空間太小

改善：調整鉛筆方向增大空間

(三條) 串联 → 測量時, 下筆力道 0.5kg
 粗 10 次, 正向力 1kg, 1.1cm ⇒ 电阻呈线性, 每一段為 62(20k)
 一條 = $62 \times 3 = 186(200k)$

4B

發現 3B 量完後, 移開裝置 再重新測量發現电阻太大
 無測量, 要再加重量才能量

可能原因: 太重導致石墨斷裂

解決辦法: 不要重複量同一條, 畫三次, 量三次取平均

FB: 來回10次, 下筆力道 0.5kg, 測量時正向力 1kg

⇒ 3條 62(k)

2條 39(u)

1條 24(u)

測量時正向力 (2條)

0.5kg 55(M)

1kg 40(u)

1.5kg 31(M)

這次測量, 重複仍然可以量到电阻, 所以斷裂理論應該是不存在的。可是發現 3條电阻、2條电阻、1條电阻之間不成比例, 推測應該是电阻之間的空隙較大時, 正向力無法全部壓在电阻上, 而會分散到紙張, 因此电阻值就不成比例。



DATE / 日期 5/14

BOOK No. / 編號

TITLE / 標題

這次在做實驗時，數據時有時無，推測
是因為石墨分布不均



EB: 來回10次, 力道0.5 kg, 正向力1 kg \Rightarrow 0.15 (20M) ^(三條)

二條: 1.62 (2000k) 六條: 0.92 (2000k) ~~三條~~

約2:1,

從上推測筆跡應是歐姆導體, 电阻寬度 $\times 2$
电阻值 $\times \frac{1}{2}$

但目前並無相當好的重覆性

發現: 筆跡寬度影響程度 \rightarrow 筆跡厚度影響程度
因此之前較大的誤差應為上述發現所造成的



6/4

找教授, 討論專題方向

施力	次數	條數	正向力	電阻
500g	10	3	500	1936 (k Ω)
500g	10	3	1000	274 (k Ω)
500g	10	3	1500	257 (k Ω)
500g				3, 3
				3, 28
				3, 23
				3

正向力(g) 電阻(k Ω)

500	70
700	66
900	64
1000	63
1100	62
1200	59
1400	44
1500	43
1600	42
1700	43
1900	42
2100	40
2500	40

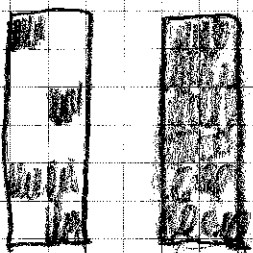
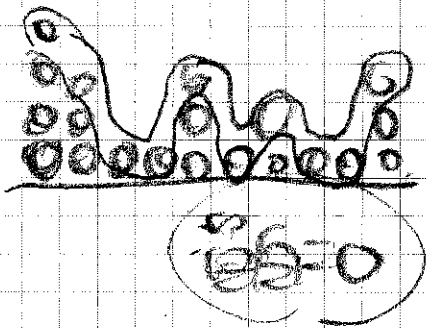
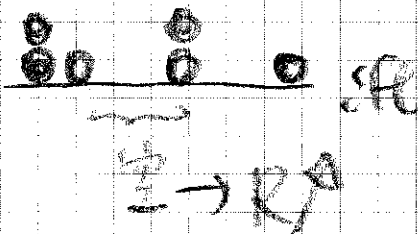
針對之前發現寬度影響程度 > 厚度，推論為原有碳粉的摩擦係數 < 紙張的，因此碳粉量也就不同

目前都是探討同一段筆跡電阻值與正向力的關係
 前推測則是正向力改變碳粉間緊密程度



次數可能與電阻值之關係

側面



正向力與電阻影響之原因，及石導電原因的探討
已完成實驗數據·繪圖，理論仍在研究