

屏東縣第 61 屆國中小學科學 展覽會

作品說明書

科別:物理科

組別:國小組

作品名稱:陀螺，抓住摩擦力與轉速

關鍵詞 :測量、摩擦力、轉速

編號：A2055

摘要

本研究著重於兩種「測量」。第一在於影響陀螺轉速的摩擦力，並在測量的過程中，發覺誤差來源，進而製作不同的摩擦力測量儀，從不同途徑取得陀螺與不同接觸面的摩擦力數據；第二在於使用社團課學習的積木程式搭配自然與資訊老師教我們的 Arduino 控制板和一些電子元件(光敏電阻、強力磁鐵、線圈)，試圖去自製一組陀螺轉速偵測儀，取得陀螺在不同接觸面轉速的變化幅度。最終將摩擦力和轉速變化去做比較，試著去分析哪一種陀螺摩擦力測量方法和轉速變化趨勢會比較像，也能夠更了解摩擦力對於陀螺從轉到倒下過程更圖像化的影響。

壹、研究動機

60 年的老學校即將面臨廢校，身為末代的科展小組…我們就在思考最後一年的學校，有哪些值得留念的事蹟或課程?打陀螺這件事對現代的小孩來說很新鮮，但是對那些中老年人來講卻是一個很懷念的事。所以我們想要用社團課學的程式來測量，達到過去和現代的結合，我們也希望能夠利用這項實驗更加了解陀螺接觸地板的摩擦力對旋轉的影響，讓這間學校可以像一顆旋轉漸慢的陀螺很榮耀地退休。

貳、 研究目的

- 一、利用掛重的調整，測量出陀螺與不同接觸面的磨擦係數，進而推導出摩擦力。
- 二、利用光敏電阻、雷射筆或強力磁鐵、線圈，搭配電腦程式，測量出陀螺轉速的變化。
- 三、探討陀螺摩擦力的大小與轉速變化幅度的關係。
- 四、探討不同摩擦力測量方法的優劣，與過程中需要注意的誤差細節。
- 五、從測量轉速的結果，探討電腦程式軟硬體的靈敏度。

參、 研究設備與器材

一、實驗的主角們:

(一) 陀螺 7 個

(二) 氧化鋁砂紙粒度 60、氧化鋁砂紙粒度 100、西卡紙、護貝紙、木板紙

二、測量的工具:

(一) 高架摩擦力測量儀:

1. 六年級自然滑輪教具組
2. 彈簧秤
3. 塑膠量杯
4. 木板兩片
5. 黏土
6. 滴管
7. 特製可裝陀螺的外方內圓木板



高架測量儀正視圖



高架測量儀俯視圖

(二) 低架摩擦力測量儀:

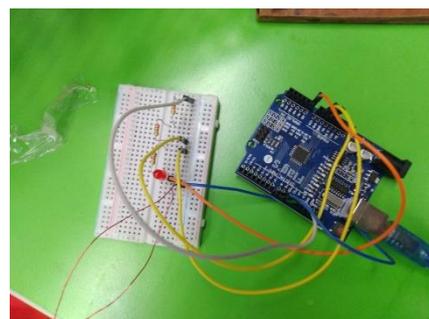
1. 陀螺釘子 3 個
2. 裝重物個盒子
3. 機關王機木
4. 滑輪棉線
5. 螺帽 8 個



低架測量儀側視圖

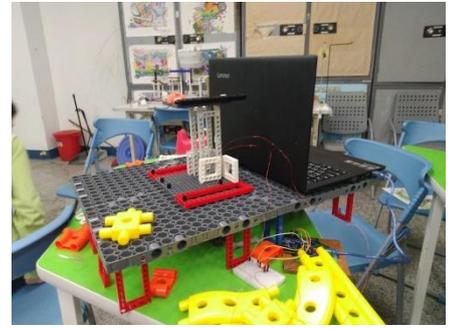
(三) 自製轉速測量儀:

1. 筆記型電腦安裝 mBlock 程式
2. Arduino 控制板
3. 麵包版、光敏電阻等電路元件
4. 強力磁鐵、雷射筆



(四) 自製打陀螺的架子:

1. 機關王的積木
2. 機關王的軌道
3. 加固的裝置



高架的平台可以在底部放置光敏電阻，在高處放置雷射。

肆、 研究過程與方法

我們的研究過程主要分為三個部分，第一個是摩擦力的測量方法，第二個是轉速的測量方法，第三個是兩種測量結果的互相比較。

一、摩擦力的測量:

我們要測量民俗陀螺最下面的釘子和接觸面的摩擦力，我們一開始想直接用彈簧秤來測量，把彈簧秤勾在陀螺身上，無論勾在陀螺的上半部或下半部，甚至是釘子的部分，陀螺都會不穩而倒下，無法測量到陀螺和接觸面移動產生的摩擦力(因為在移動前，就因為重心不穩而倒下了。)

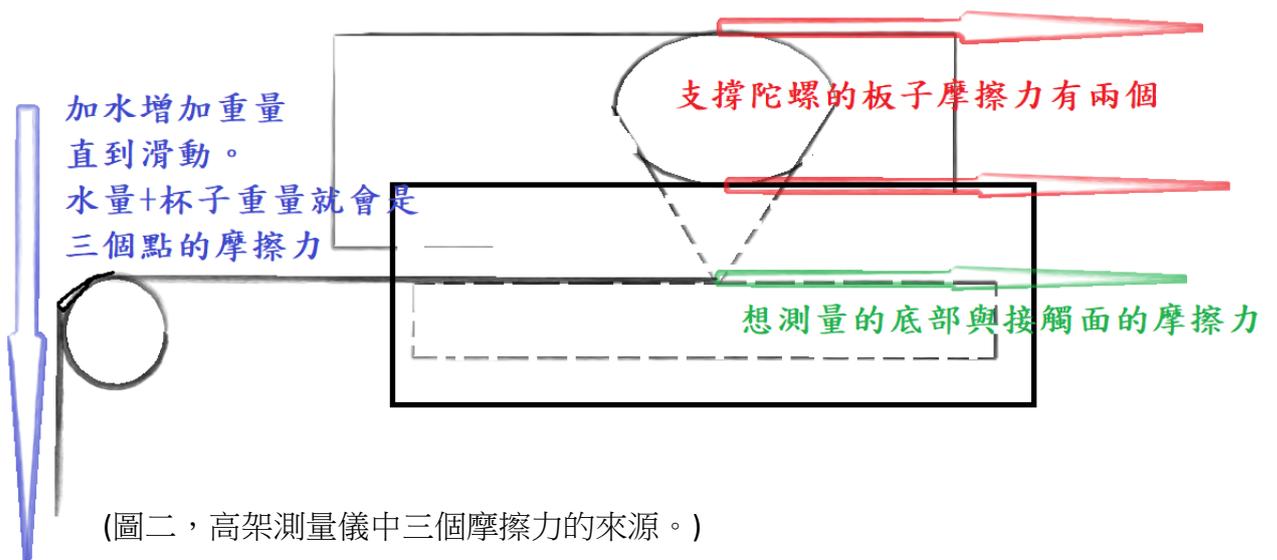
為了克服直接量測陀螺摩擦力會倒下的問題，我們想了三種方法:

(一) 高架摩擦力測量

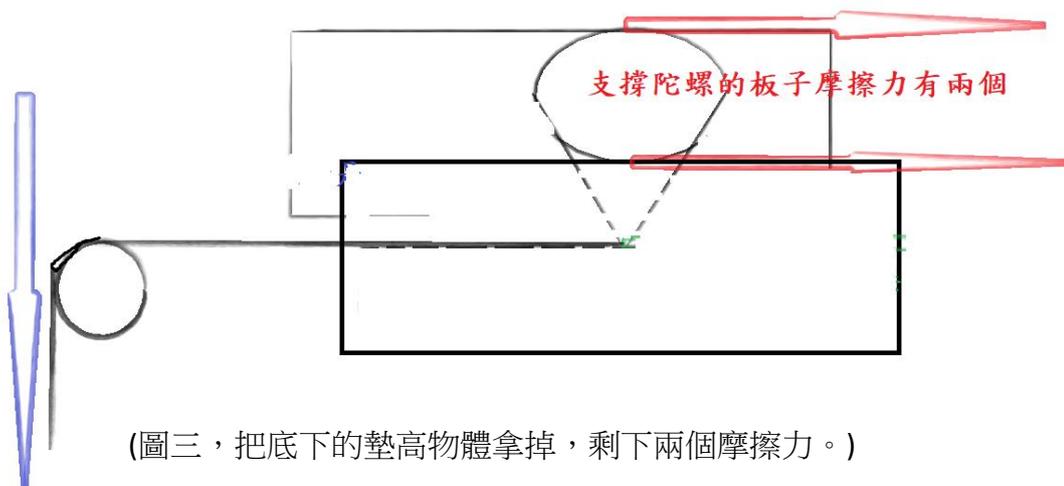
我們設計了一個架子，可以讓陀螺平衡地在架子上滑動，但我們發現有三個摩擦力，一個是陀螺底部和接觸面的摩擦力，另外兩個是陀螺架子支撐住陀螺的摩擦力。



(圖一，高架測量儀。)



於是我們就分兩次測量，一次是測量三個摩擦力，另外一次是測兩個摩擦力，最後把陀螺底部和接觸面的摩擦力去減掉陀螺架子支撐住陀螺的摩擦力，就可以知道陀螺釘子的摩擦力。



當我們把墊高物拿掉後，就剩下兩個摩擦力，也可以用一樣的方法測量到摩擦力，只要把兩次測量的數值相減，就可以得到陀螺與接觸面的摩擦力(綠色箭頭)。

其實以上裝置有個誤差，把墊高物拿掉，支架要支撐更多陀螺的重量，摩擦力可能會不一樣，因此我們也保留墊高物，但加水，使得摩擦力減小(詳細在後面討論)。

(一) 低架摩擦力測量法:

我們用的高架測量法有一個很致命的缺點，就是我們一開始打算要用兩次測量，透過相減來取得底部和接觸面的摩擦力，但我們發現第一次測量與第二次測量架子所承受的重量不一樣，原因就在於三個摩擦力的實驗有可以墊高的東西，但是兩個摩擦力的實驗沒有，所以無法測量到非常準確，所以我們想直接測量摩擦係數。

摩擦係數的概念，五年級自然課時，老師有額外帶我們做個實驗，那時我們把彈簧秤放在砂紙上，輕輕拉動，可以看著彈簧秤上的數值漸漸增加直到滑動。而且每一次測量都在彈簧秤上多放一個螺帽，最後作圖，發現摩擦力和重量的關係是斜直線，也就是說，兩倍的重量，會有兩倍的摩擦力!!

$$\text{摩擦力} = \text{重量} \times \text{摩擦係數}$$

1. 單一陀螺釘子打鐵測量法:

我們在意的是陀螺釘子和接觸面的摩擦力，可是釘子上的木製陀螺實在太重又太大，使得重心很容易不穩(只有旋轉的時候才會穩，老師說這跟腳踏車要往前走才不會倒的原理一樣)，於是我們把陀螺的釘子拆卸下來，但其實釘子的形狀設計，會是站得很不穩，我們想說學校所處的村莊名叫:「打鐵」，雖然村里已經沒人在打鐵，但為了體現村子的精神，我們嘗試把釘子打成扁平狀，以利站穩量測。

我們拆卸了三個釘子，但後來發現難以敲平而作罷。

2. 三個陀螺綁起來測量法:

既然一個陀螺會倒下，我們試著把兩個陀螺綁在一起，發現還是會倒下，直到第三個陀螺綁在一起後，陀螺就可以站著了!(很像三輪車不用轉也能站著)



(圖四，三個就能站很穩的陀螺團。)

只要將測量的結果，除以三，就可以得出一個陀螺的摩擦力了。

3. 三個陀螺釘子車子載重測量法:

第二個「三陀螺綁在一起法」有一個小問題，因為陀螺太重，所以掛重物的過程很不順利，也難以測出不同重量下的摩擦力，求出摩擦係數。我們決定再把三個陀螺的釘子拆卸下來，用這三個釘子做成一個三「釘」車，車子可以載重物，測出摩擦力。



(圖五，三個就能站很穩又可以載重的三釘車。)

低架測量的改良:

我們把裝置架設好，開始測量，老師前來檢查時，發現我們犯了一個大錯誤。由於我們把滑輪架高了，因此拉車的棉線不是水平的，所以掛重的水，力量有一

部分把力量分到重量的方向往上拉，老師說其中的換算過程牽涉到高中才學的三角函數，詢問我們是否要重做，或是學習三角函數。由於用滴管一滴一滴水測量實在太勞累，我們決定挑戰看看三角函數。結果學習了 10 分鐘我們就打消念頭，認真把棉線重新拉水平，再次測量。



(圖六，力量分散的測量法。)

改良



(圖七，力量水平的測量法。)

二、轉速的測量:

轉速的測量我們分為兩個部分說明，分別是硬體與軟體。

(一) 硬體:

1. 光敏電阻雷射測量儀:

購買的 Arduino 元件包裡有附上光敏電阻，用雷射光照光敏電阻時，它的電阻大小會改變，使得電流在那邊被阻擋的程度不一樣，我們可以在陀螺上黏一片紙，使它每旋轉一圈，擋住光敏電阻上方的雷射光，以此方法計算陀螺轉的圈數。



(圖八，光敏電阻測量法。)



(圖九，黏紙片的陀螺。)

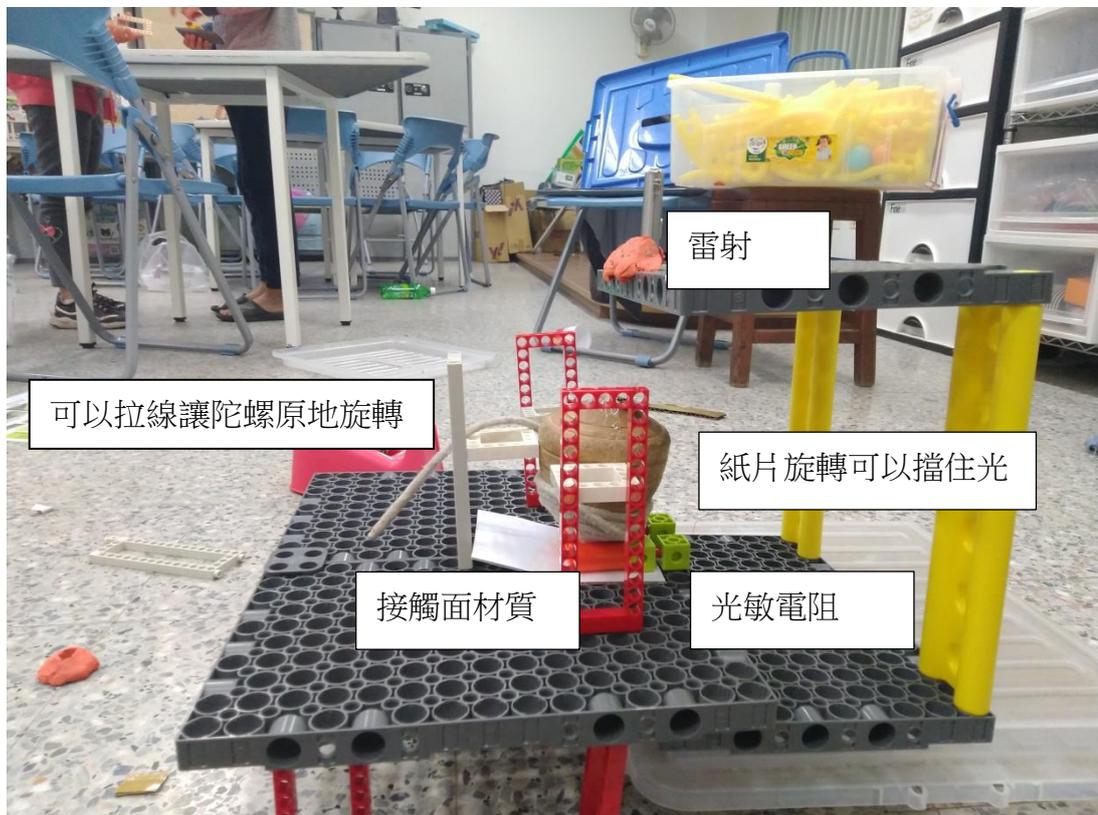
2. 法拉第線圈磁鐵測量儀:



(圖十，法拉第測量法。)

自然課有學到通電的線圈會產生磁場，而老師曾示範磁場的改變也會讓線圈產生電流。我們在陀螺上黏一塊強力磁鐵，並在陀螺上方固定一個線圈，使得陀螺每旋轉一圈，會讓線圈感應出一次電流，以此方法計算轉速。

3. 打陀螺的機台架子:



(圖十一，拉動線可讓陀螺轉動。)

(二) 軟體:

Arduino 的程式 python 過於困難，幸虧機器人社團的積木程式可以搭配使用，以下說明步驟:

1. 初始設定:

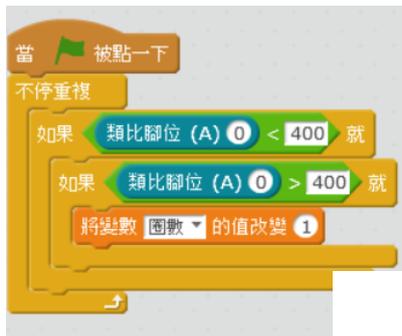
(1)類比腳位:

在 mblock 程式設定一個「類比電位」的量測，也就是把杜邦線接到光敏電阻的一個腳，它會量測出一個數字，而這個數字會因為光敏電阻被雷射光照射而大幅改變。

(2)圈數計算:

本來設定當類比腳位測量到的數字大於 400 時(也就是擋住光時)，就讓圈數這個變數加一，後來發覺，這樣的設定會使得擋住光的時間內，「不斷重複」的積木程式，會讓圈數繼續跑。

其中一個組員想到一個妙招，先設定類比腳位量測的數字小於 400 時(不被擋住的狀態)，才開始用「不斷重複」去偵測數字是否大於 400(被擋住)，如此以來就能避免圈數重複計算的窘境。



(圖十二，圈數計算的程式積木。)

(3)轉速計算:

一開始的想法，是使用兩個清單，一個放圈數，另一個放計時器，最後再把兩筆資料匯到 Excel，去計算轉速，可是這麼做的問題，在於電腦一次要處理兩個清單，而且計時器跑的速度每 0.01 秒一個，電腦無法負荷...也就是圈數的計算會沒辦法精確處理。負責程式設計的組員，又想到一個絕妙好招來克服!他乾脆讓圈數的清單，改成每 1 秒插入一次，再把圈數歸

零，也就是清單的數字每秒會出現一次，代表的是 1 秒內轉幾圈，如此就能夠很輕易地看出陀螺轉速的變化。



(圖十三，轉速計算的程式積木。)

2. 把轉速清單匯出到 Excel。
3. 以橫軸為秒，縱軸為圈數，作圖分析。

伍、 研究結果

一、高架摩擦力測量:

實驗對象	3點水量(ml)	2點水量(ml)	3點摩擦力(g)	2點摩擦力(g)	1點摩擦力(g)
西卡紙光滑面	104	50	165	115	50
木板表面	110	50	175	115	60
護貝過的紙	130	50	194	115	79
西卡紙粗糙面	160	50	225	115	110
粒度100砂紙	180	50	245	115	130
粒度60砂紙	320	50	385	115	270

(表一，高架摩擦力測量。)

紀錄水量後，在將 ml 換成 g，且加上杯子的重量，可以得到實際的摩擦力。

3 點摩擦力(支撐架的兩點加上陀螺釘子的點)減去 2 點摩擦力(支撐架的兩個點)就會得到 1 點摩擦力(陀螺釘子接觸面的那一點)

二、低架摩擦力測量:

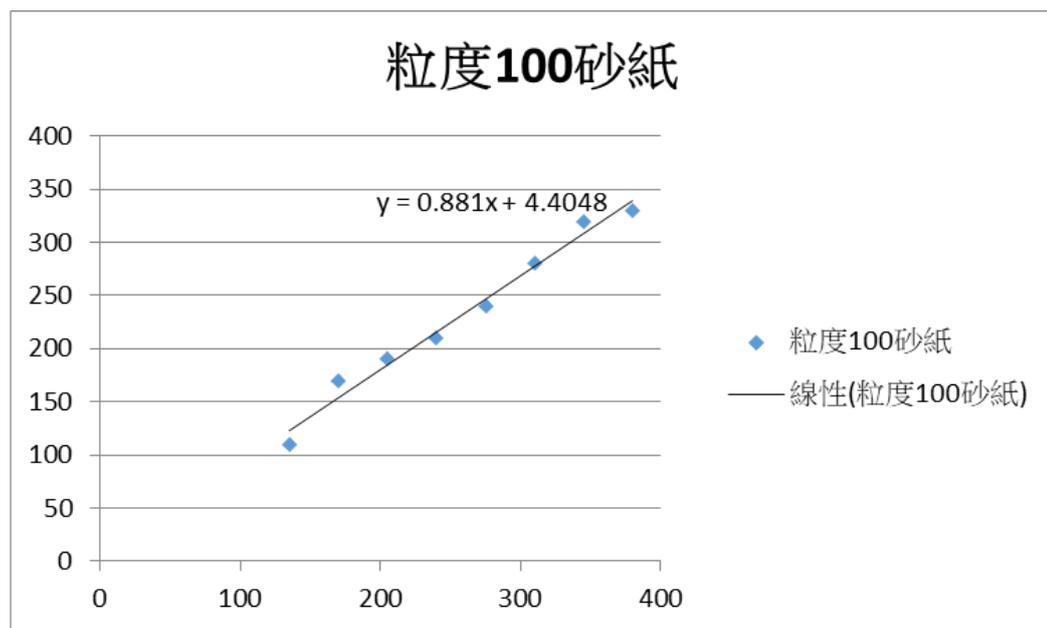
螺帽數	螺帽+車重(g)	粒度100砂紙(g)	粒度60砂紙(g)	西卡紙(滑面)(g)	西卡紙(粗面)(g)	木板(g)
1	135	110	130			
2	170	170	170			
3	205	190	190			
4	240	210	220	140	100	100
5	275	240	240	150	110	120
6	310	280	270	160	120	130
7	345	320	310	170	130	150
8	380	330	340	200	140	160

(表二，低架摩擦力測量。)

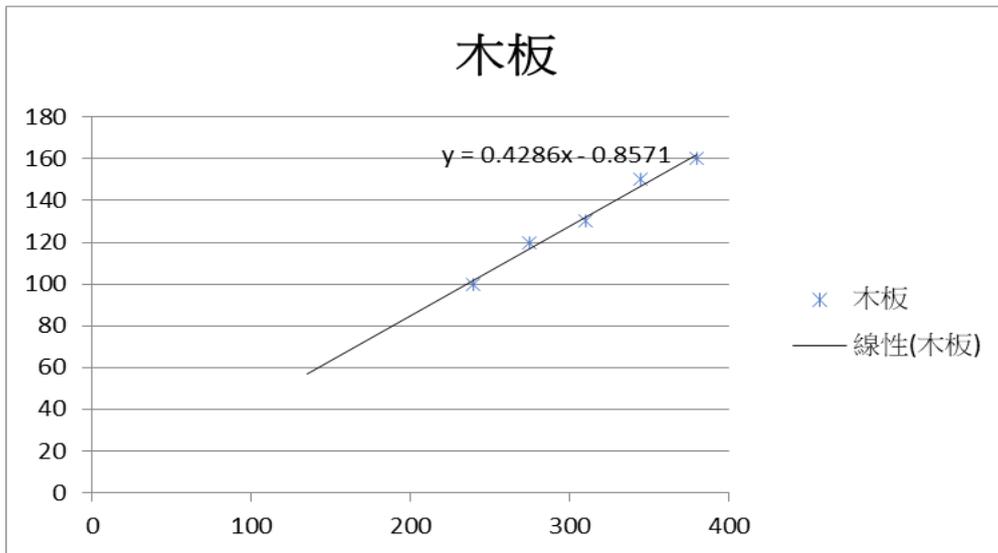
我們使用低架和三個陀螺釘子做成的小車，來不斷加重以量測不同的摩擦力，這樣我們就可以透過 $\text{摩擦力} = \text{重量} \times \text{摩擦係數}$ ，得出摩擦係數，再從摩擦係數推論陀螺重量時的摩擦力。

其中西卡紙和木板在螺帽小於 4 顆的時候沒有數據的原因，是他們本身的摩擦力太小，還沒放螺帽，就會被空水杯拉下去。以下將各別作圖來看摩擦係數。

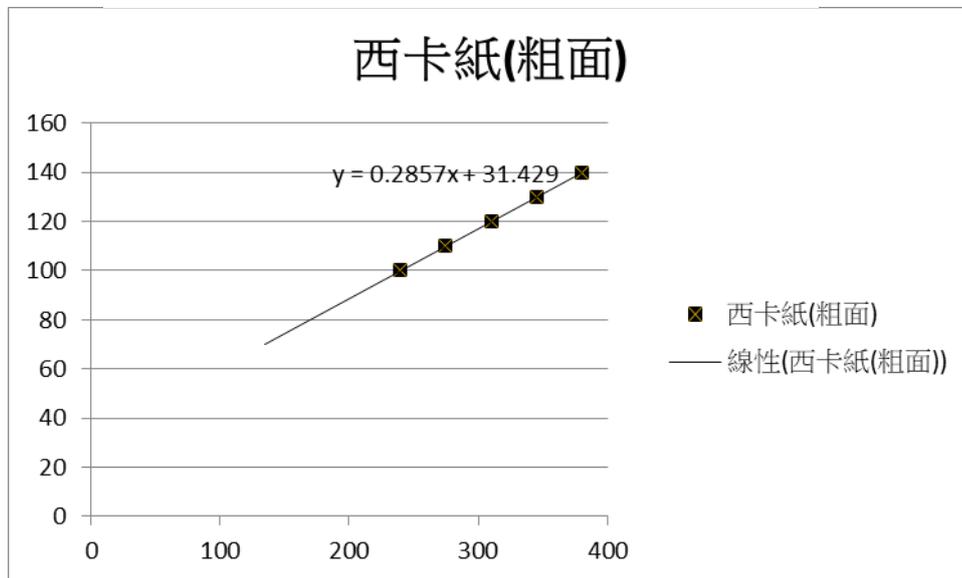
我們使用「趨勢線」，會得出公式，然後橫軸重量 x 對應的斜率就是摩擦係數



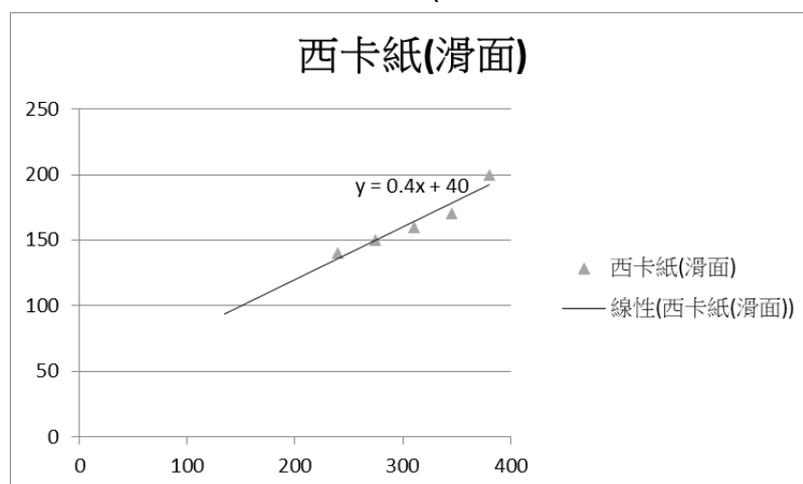
(圖十四，粒度 100 砂紙的摩擦係數大約是 0.881)



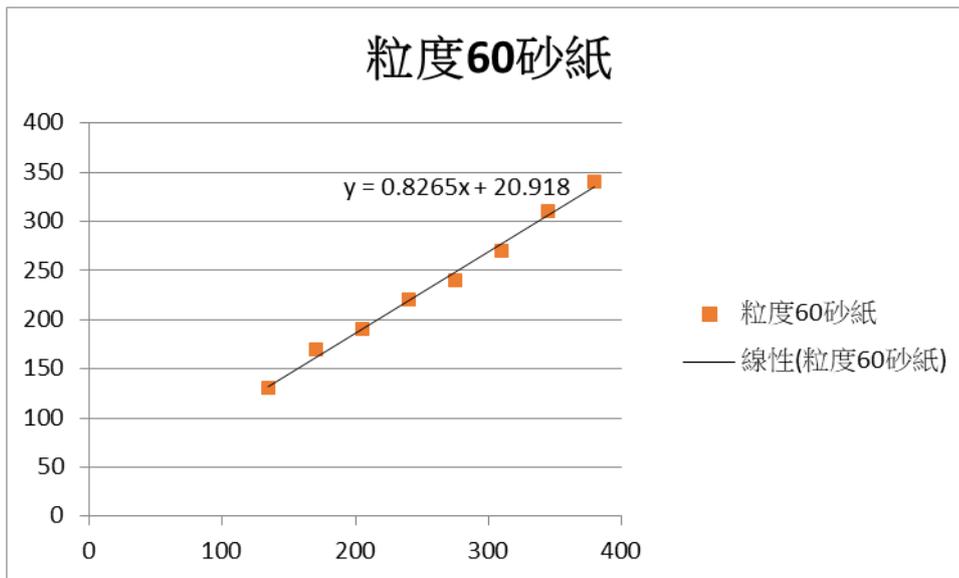
(圖十五，木板的摩擦係數大約是 0.4286)



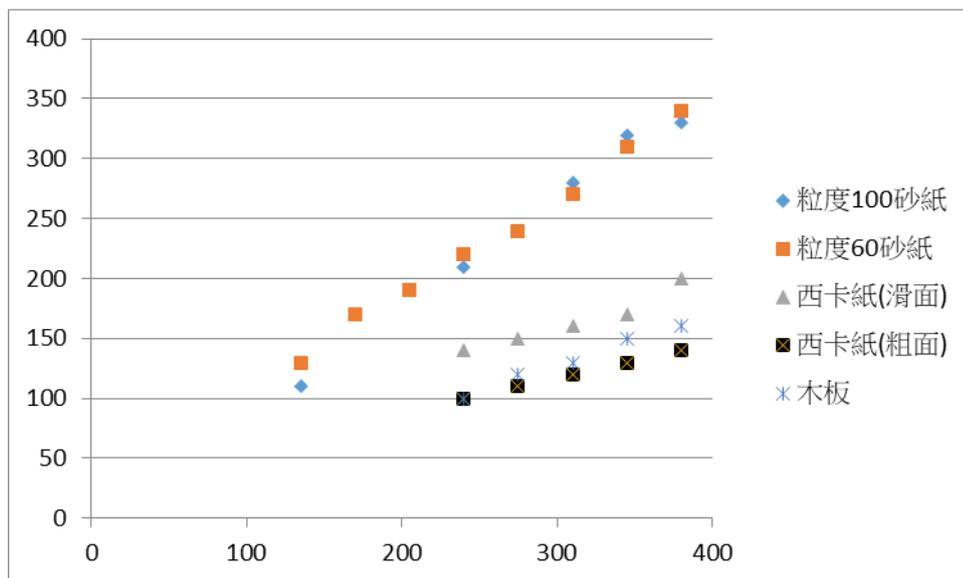
(圖十六，木板的摩擦係數大約是 0.2857)



(圖十七，木板的摩擦係數大約是 0.4)



(圖十八，木板的摩擦係數大約是 0.8265)



(圖十九，綜合比較)

	摩擦係數	換算摩擦力(g)
西卡紙粗糙面	0.2857	85.71
西卡紙滑面	0.4	120
木板	0.4286	128.58
粒度60砂紙	0.8265	247.95
粒度100砂紙	0.881	264.3

(表二，摩擦係數換算成摩擦力。)

陀螺重量 300g，所以乘以摩擦係數得到摩擦力。

三、三顆螺摩擦力測量

	三顆陀螺(g)	計算後的一顆(g)
木板	335	111.6666667
粒度100砂紙	740	246.6666667
粒度60砂紙	760	253.3333333
護被紙	353	117.6666667
西卡紙粗糙面	543	181
西卡紙滑面	650	216.6666667

(表四，三顆陀螺的數據與換算)

陸、 討論

一、 摩擦力測量的統整

	三釘車方法	三陀螺方法	三點減兩點法
西卡紙粗糙面	85.71	181	110
西卡紙滑面	120	216.6666667	50
木板	128.58	111.6666667	60
粒度60砂紙	247.95	253.3333333	270
粒度100砂紙	264.3	246.6666667	130
護貝紙	無數據	117.6666667	79

(表五，三種方法的比較。)

高架摩擦力(三點減兩點)和三陀螺摩擦力的測量方法，僅有粒度 60 的砂紙數值分別為 253.3 和 270，其他的數值差異都超過 25g 重。

三顆陀螺的摩擦力都比高架測量法大很多。為了分析三點減兩點和三陀螺哪個誤差比較大，就得透過摩擦係數的換算得知。

發現三釘車和三陀螺有較多相似點。其準確度以木板、粒度 60、粒度 100 的砂紙最為準確，差距都 17g 以內。

所以高架測量(三點減兩點)的誤差最大，因為兩種砂紙的力量差距快兩倍，推測是因為陀螺重量被撐起，導致壓下去重量較不均勻或比較小，粒度的影響會不如摩擦力定律的預期。(也就是釘子的接觸比較不正常)

三點減兩點的支撐架，也可能因為使用過度而磨損。

二、轉速測量的反思

由上可見，我們經過數度的改造，仍舊沒有成功測出轉速。

(一)陀螺難以成功打在接觸材質上，使我們得先把陀螺打在磁磚地板，再把材質往下面塞入，可

這個動作往往會嚴重影響陀螺轉速。

(二)另外使用陀螺架子，陀螺受到的摩擦力更多樣，旋轉的狀況也無法持續難以比較差異。

(三)而儀器偵測的部分，我們使用手在光敏電阻附近揮動，確實可以紀錄圈數，最多可紀錄至一

秒「手動」揮5下的靈敏度，可當陀螺高速旋轉時，我們尚未有足夠的時間釐清為何光敏電

阻難以詳細紀錄圈數；而法拉第定律的測量方法，最大的問題在於感應出的電流太小，因此

靈敏度非常低，磁鐵轉很快有時候感應得到，有時候不行，狀況很不穩定。

柒、結論

一、 摩擦係數越大，量測的準確度越高(也就是無論用何種量測法，得到的數字都很接近)，可能是因為大部分的影響都落在係數大的接觸面上了。

二、 釘子接觸的重量，會嚴重影響測量結果，推測接觸的重量在很微觀的接觸面，會有許多不同接觸的情形發生，導致我們的高架測量誤差極大

三、 轉速測量的軟硬體設定不適合測量不穩定又快速的旋轉物體。或是我們有很多技術層面沒克服。

我們這次的實驗著重在「怎麼量測」，過程中不斷有新發現，也更知道一個不穩定的物體，測量起來是多麼複雜，因為當它穩定旋轉的時候，任何測量對它的干擾都很大(突然放砂紙)；然而當它靜止時，又沒有我們需要的轉速測量。以實驗設計而言，摩擦力測量的方法以摩擦係數最準；而光敏電阻的量測也比法拉第定律方便。

常常為了測量一個數值，而跑出其他誤差。而轉速測量也牽扯到有幾秒計算一次圈數，一直修正，還是沒辦法有預期的結果。

捌、 參考文獻資料

- 一、 陳乃恩、陳冠閔、顏子庭、黃建泓、陳麒文、張 懿(2019)。百發百中-以力學分析影響陀螺擲準因素與改良。全國科展第 59 屆。
- 二、 楊舒喬(2018)。繩奇摩力。全國科展第 58 屆。
- 三、 林妤珊、余昕螢、張詠翔(2017)。旋舞者---陀螺旋轉軌跡之探討。全國科展第 57 屆。