

從陀螺轉動探討轉動

摘要：

本實驗在尋找如何讓紙陀螺的轉動時間可以更長久，影響紙陀螺轉動的因素有哪些？再者，我們試著瞭解陀螺轉動的運動軌跡，其順時針轉動的運動軌跡和逆時針轉動有何差別，並將這些軌跡畫下來比較，另外，我們還觀察了陀螺轉動時，其周圍的空氣、物質是如何被擾動的。最後，一般市售的戰鬥陀螺，其構造的設計和我們的研究結果有何關聯等。以上這些，都是我們這篇研究想要探討的。

壹、研究動機：

放假時，弟弟總是喜歡和鄰居比賽戰鬥陀螺，看看誰的陀螺最厲害，轉得最久，看著他們的比賽，不禁讓我想到，如何才能讓陀螺轉得久，是要轉軸長或短呢？還是要轉動平面大或小？想著想著，這些問題一直困擾著我們，坐地空想不如實際行動，我們決定自己動手做實驗，自己找答案，展開這趟陀螺的探索之旅。(國中自然第五冊 3-3 槓桿原理與靜力平衡)

貳、研究目的：

- 一. 瞭解影響紙陀螺轉動時間的因素。
- 二. 瞭解紙陀螺轉動的運動軌跡與對周圍空氣、物質的擾動現象。
- 三. 瞭解戰鬥陀螺的設計與實驗結果的關係。

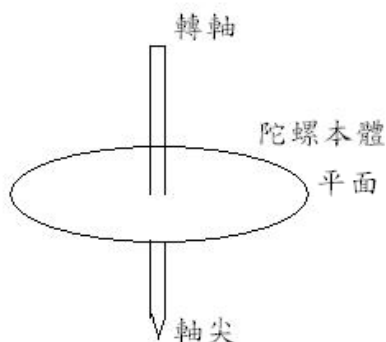
參、研究設備及材料：

				
紙板	碼表	免洗筷	紅墨水	圓規、剪刀、直尺、美工刀

肆、研究過程或方法：

一. 影響紙陀螺轉動時間的因素探討

(一)、 陀螺的構造說明



(二)、 陀螺本體的面積大小與轉動時間的關係

1. 控制變因：竹筷轉軸長 7cm；轉軸直徑 6.3mm；陀螺本體平面在轉軸的位置高度為 2cm。
2. 操縱變因：以不同直徑的圓面積為陀螺本體平面。



3. 將上述各種不同的紙陀螺轉動，觀察、測量並紀錄其轉動時間數十次。

(三)、 陀螺本體的形狀與轉動時間的關係

1. 控制變因：竹筷轉軸長 7cm；轉軸直徑 6.3mm；陀螺本體平面在轉軸的位置高度為 2cm。
2. 操縱變因：以面積相近，約為 12 cm^2 的不同形狀（圓形、三角形、正方形、長方形、六角形等）為陀螺本體平面。



3. 將上述各種不同的紙陀螺轉動，觀察、測量並紀錄其轉動時間數十次。

(四)、 陀螺的重量與轉動時間的關係

1. 控制變因：竹筷轉軸長 7cm；轉軸直徑 6.3 mm；陀螺本體平面在轉軸的位置高度為 2cm；陀螺本體平面圓直徑 9 cm。
2. 操縱變因：以面積相同，但質量不同的陀螺測試（以對稱的方式排列，每次增加 2 個壹圓銅板即 7.6 公克）。



3. 將上述各種不同的紙陀螺轉動，觀察、測量並紀錄其轉動時間數十次。

(五)、 陀螺本體的平面上是否有孔洞與轉動時間的關係

1. 控制變因：竹筷轉軸長 7cm；轉軸直徑 6.3 mm；陀螺本體平面在轉軸的位置高度為 2cm。
2. 操縱變因：在直徑為 7 公分的圓上分別裁 1、2、3、4 個孔洞為陀螺本體面。
3. 將上述各種不同的紙陀螺轉動，觀察、測量並紀錄其轉動時間數十次。



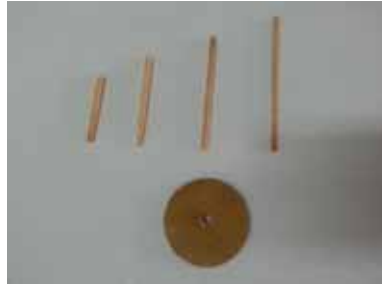
(六)、 陀螺本體在轉軸的不同高度與轉動時間的關係

1. 控制變因：竹筷轉軸長 7cm；轉軸直徑 6.3 mm；陀螺本體平面圓直徑為 7cm。
2. 操縱變因：在轉軸高 2、3、4、5、6cm 的位置放置陀螺本體面。
3. 將上述各種不同的紙陀螺轉動，觀察、測量並紀錄其轉動時間數十次。



(七)、轉軸長度與轉動時間的關係

1. 控制變因：轉軸直徑 6.3 mm；陀螺本體在轉軸的位置高度為 2cm；陀螺本體平面圓直徑為 7cm。
2. 操縱變因：分別取長度不同的竹筷為轉軸。



3. 將上述各種不同的紙陀螺轉動，觀察、測量並紀錄其轉動時間數十次。

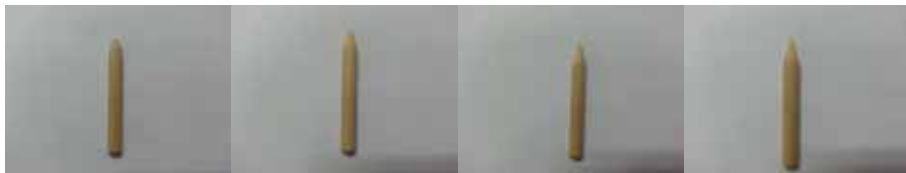
(八)、轉軸是否在平面上的圓心位置與轉動時間的關係

1. 控制變因：轉軸長度 7cm；轉軸直徑 6.3 mm；陀螺本體平面圓在轉軸的位置高度為 2cm；陀螺本體直徑為 7cm。
2. 操縱變因：將轉軸分別裝置在陀螺本體面的中心點、離中心點 1cm 處。
3. 將上述各種不同的紙陀螺轉動，觀察、測量並紀錄其轉動時間數十次。



(九)、轉軸軸尖粗細與轉動時間的關係

1. 控制變因：轉軸長度 7cm；轉軸直徑 6.3 mm；陀螺本體平面圓在轉軸的位置高度為 2cm；陀螺本體直徑為 7cm。
2. 操縱變因：分別將轉軸的尖端削成不同粗細的狀態。
3. 將上述各種不同的紙陀螺轉動，觀察、測量並紀錄其轉動時間數十次。

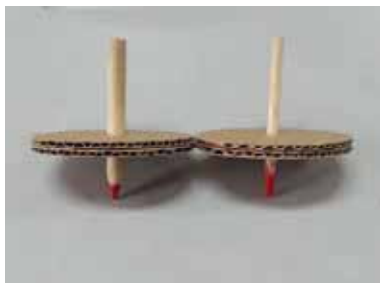


(十)、轉動接觸面的粗細程度與轉動時間的關係

1. 控制變因：轉軸長度 7cm；轉軸直徑 6.3 mm；陀螺本體平面圓在轉軸的位置高度為 2cm；陀螺本體直徑為 7cm。
2. 操縱變因：將轉動接觸面分別換成不同粗細的砂紙。
3. 將上述各種不同的紙陀螺轉動，觀察、測量並紀錄其轉動時間數十次。

(十一)、轉軸粗細與轉動時間的關係

1. 控制變因：轉軸長度 7cm；陀螺本體平面圓在轉軸的位置高度為 2cm；陀螺本體直徑為 7cm。
2. 操縱變因：用不同粗細的木條當作陀螺的轉軸。
3. 將上述各種不同的紙陀螺轉動，觀察、測量並紀錄其轉動時間數十次。



二. 探討紙陀螺的運動軌跡與氣流擾動

(一)、 運動軌跡

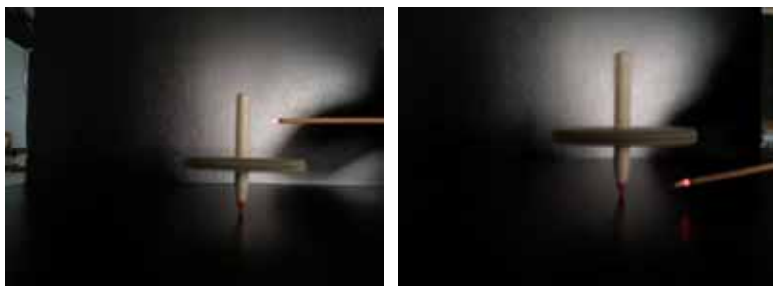
1. 將陀螺軸尖沾取少許紅墨水，在白紙上以順時針方向轉動陀螺，藉此將其運動軌跡畫下來。



2. 重複上述步驟 1 的實驗多次，觀察其運動軌跡的形式。
3. 將陀螺改以逆時針方向轉動，重複上述步驟。

(二)、 陀螺轉動對週遭空氣、物質的影響

1. 將點燃的線香擺放在以順時針方向轉動的陀螺本體平面上方及下方處，藉此觀察其對空氣擾動的型態。
2. 將陀螺的轉動方向改為逆時針方向，重複上述步驟。



(三)、 陀螺轉動對週遭物質的影響

1. 將細小紙屑撒向正在轉動中（順時針及逆時針轉動）的陀螺，觀察小紙屑遇到陀螺的改變。
2. 再將細小紙屑鋪放於桌面，將陀螺置於其中轉動（順時針及逆時針轉動），觀察小紙屑的改變。



三. 探討市售陀螺的設計與實驗結果的關係

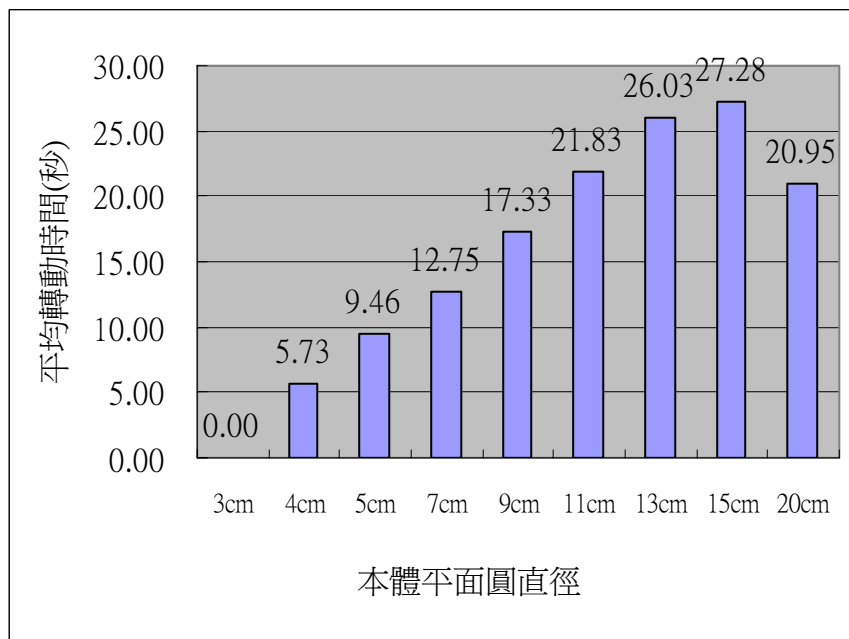
1. 試著將戰鬥陀螺拆解，看看其有哪些構造。
2. 試著將戰鬥陀螺的構造設計和我們的實驗結果相互對照，找出其關聯性。

伍、研究結果：

一. 影響紙陀螺轉動時間的因素探討

(一)、 陀螺本體的面積大小與轉動時間的關係

1. 陀螺本體面積大小與轉動時間關係圖：

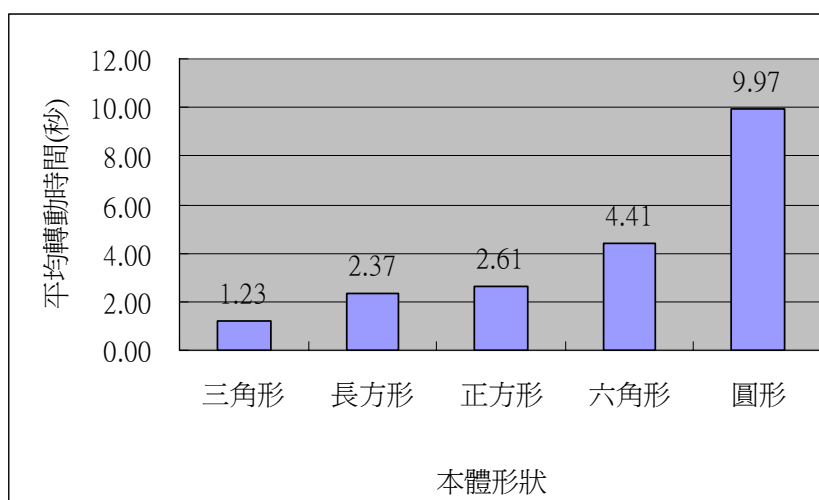


2. 陀螺轉動觀察：

- (1)、一般而言，陀螺的本體平面面積越大，轉動越穩定，不容易晃動，轉動的時間越長；但實驗時發現，圓直徑超過 13cm 之後的圓(未含 13cm)，轉動起來有些吃力，轉動的力道不易控制，各單次轉動的時間差異很大。
- (2)、本體平面面積越大的陀螺，即使剛開始轉動有一些小晃動，陀螺都能自我調整至穩定，維持很常的轉動時間。
- (3)、本體平面的圓直徑大到 20cm 之後的陀螺就很難轉動，需要很大的力量才轉得起來，因此，若是以和其他圓相似的力量去轉動它，常常一轉就劇烈晃動，不容易保持平衡而停止。
- (4)、本體平面面積越小的陀螺轉動時也容易晃動，轉動不穩定，容易因轉軸晃動而停止轉動，例如本實驗，當平面圓直徑小至 3cm 的陀螺，根本轉不起來。

(二)、 陀螺本體的形狀與轉動時間的關係

1. 陀螺本體形狀與轉動時間的關係圖：

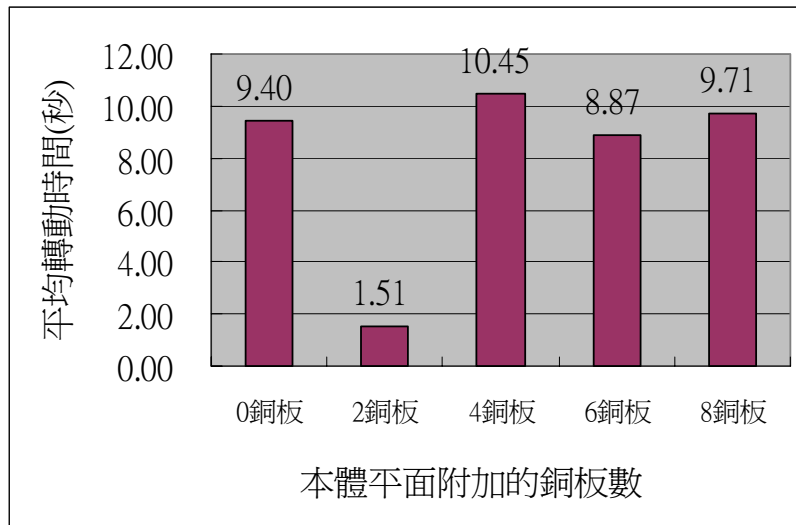


2. 陀螺轉動觀察：

- (1)、平面為三角形的陀螺幾乎轉不起來，若轉成功，其時間也只有 1 秒多；轉動時間最久的是圓形，其不同形狀的轉動時間由短至長依次為三角形、長方形、正方形、六角形、圓形。
- (2)、平面形狀越對稱，越接近圓形，陀螺的轉動時間就越長。

(三)、 陀螺本體的重量與轉動時間的關係

1. 陀螺本體重量（以銅板數代表）與轉動時間的關係圖：

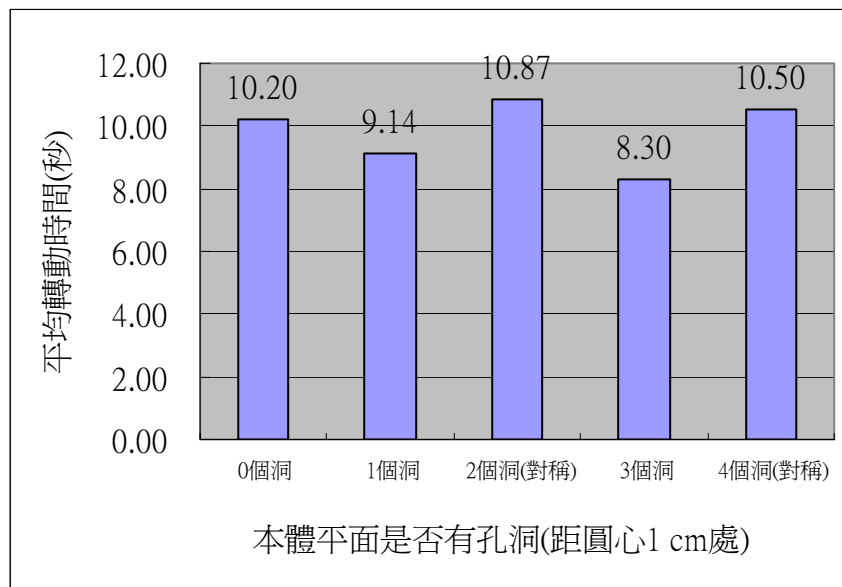


2. 陀螺轉動觀察：

- (1)、 含 2 個銅板的陀螺，本身很難保持平衡，幾乎轉不起來，1 秒多即轉動停止。
- (2)、 以含 0 及 4 個銅板的陀螺做比較，銅板數越多，即質量越大時，陀螺可轉出較多的時間。
- (3)、 含 6 個銅板之後的陀螺，因太重，想轉動起來需要較大的力道，因此，若是以和其他圓相似的力量去轉動它，常常一轉就劇烈晃動，不容易保持平衡而停止。

(四)、 陀螺本體的平面上是否有孔洞與轉動時間的關係

1. 陀螺本體平面是否有孔洞與轉動時間的關係圖：

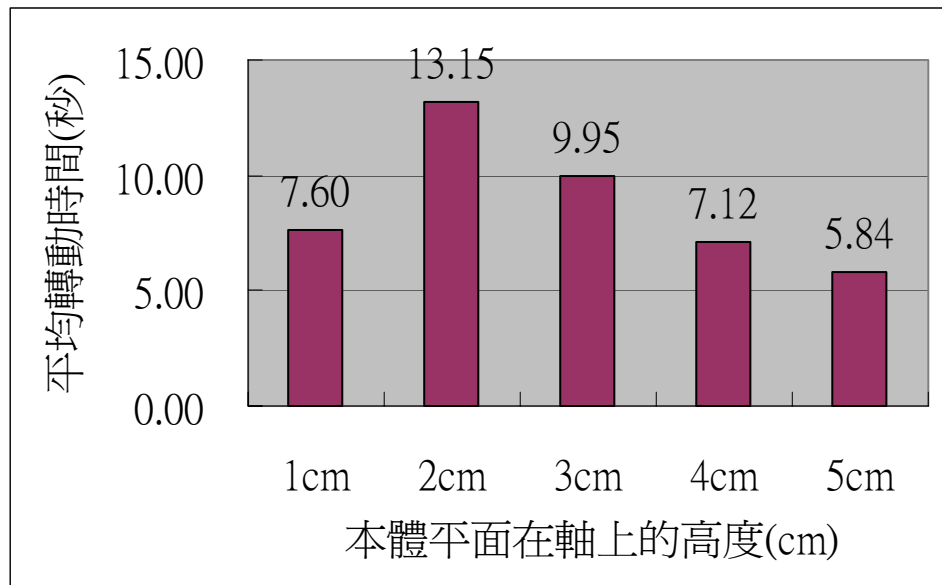


2. 陀螺轉動描述：

- (1)、陀螺本體平面上是否有動，和轉動時間長久無太大相關。
- (2)、轉動時間長久和對稱性的關聯較大，本體平面上的洞越對稱，轉動的時間越長久。

(五)、陀螺本體在轉軸的高度位置與轉動時間的關係

1. 陀螺本體平面在軸上的高度與轉動時間的關係圖：

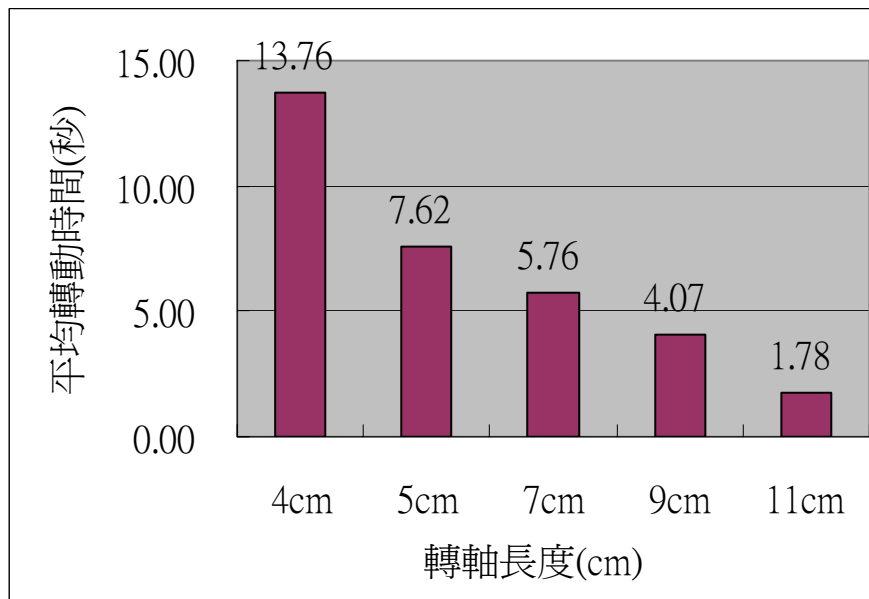


2. 陀螺轉動描述：

- (1)、本體平面在軸上的高度越高，轉動的陀螺越容易晃動，不容易平衡，轉動一下子就停止了。
- (2)、本體平面在軸上的高度越低，陀螺重心越低，轉動較平穩，轉動的時間也越長。
- (3)、但是，當本體平面在軸上的位置太低時，平面上相對較長的軸長反而會干擾陀螺自身維持平衡的能力，陀螺轉動時就容易因轉軸的劇烈晃動而停止。
- (4)、以本實驗為例，當平面上下的軸長比由 2:5 → 3:4 → 4:3 到 5:2 時，陀螺轉動的時間越來越長，但當比例變成 6:1 之後，陀螺的轉動時間就變短了。
- (5)、因此，本體平面在軸上的位置越低，即陀螺的重心越低時，雖然陀螺的轉動時間會較長久，但也要注意平面上的軸長不能太長，以免干擾轉動的平衡。

(六)、轉軸長度與轉動時間的關係

1. 陀螺轉軸長度與轉動時間的關係圖：

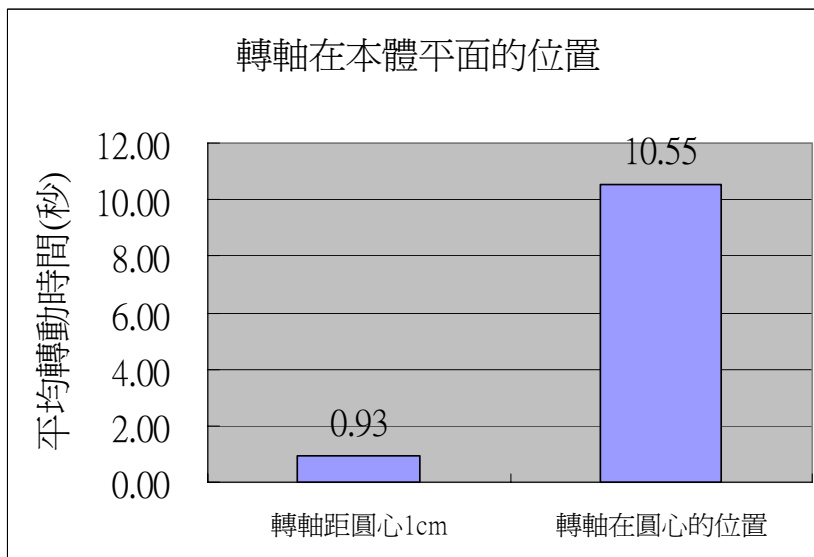


2. 陀螺轉動描述：

- (1)、陀螺的轉軸長度越長，轉動時間越短。
- (2)、陀螺的轉軸長度越長時，在本體平面上的軸長就越長，轉動的陀螺很容易晃動，轉軸會一直左右搖擺不定，不容易平衡，很快就停止不動了。

(七)、轉軸在是否在本體平面上的圓心位置與轉動時間的關係

1. 陀螺轉軸在本體平面上的位置與轉動時間的關係圖：

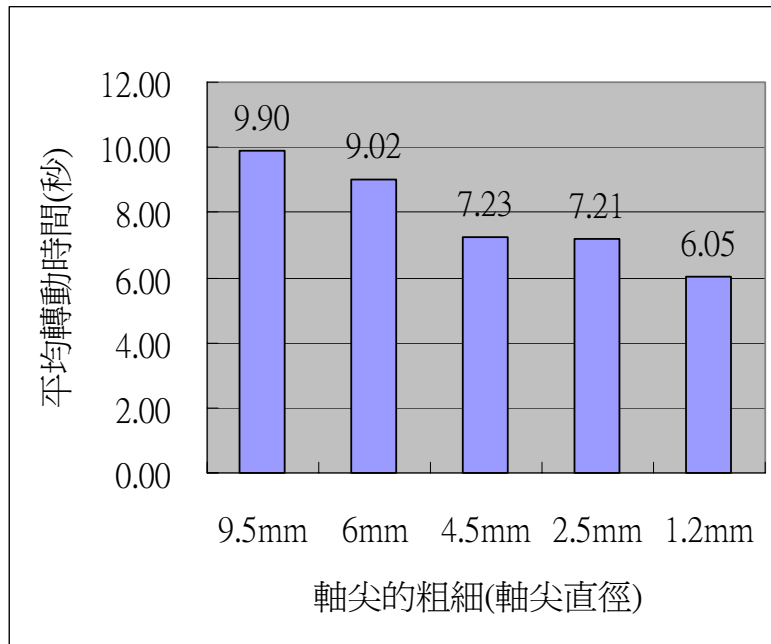


2. 陀螺轉動描述：

- (1)、轉軸若不在圓心位置上，陀螺就不容易保持平衡，很容易晃動而停止。
- (2)、若想要讓轉軸偏離圓心位置的陀螺能轉動，應要加裝另一重物，維持此陀螺轉動時的平衡。

(八)、轉軸軸尖大小與轉動時間的關係

1. 轉軸的軸間粗細與轉動時間的關係圖：

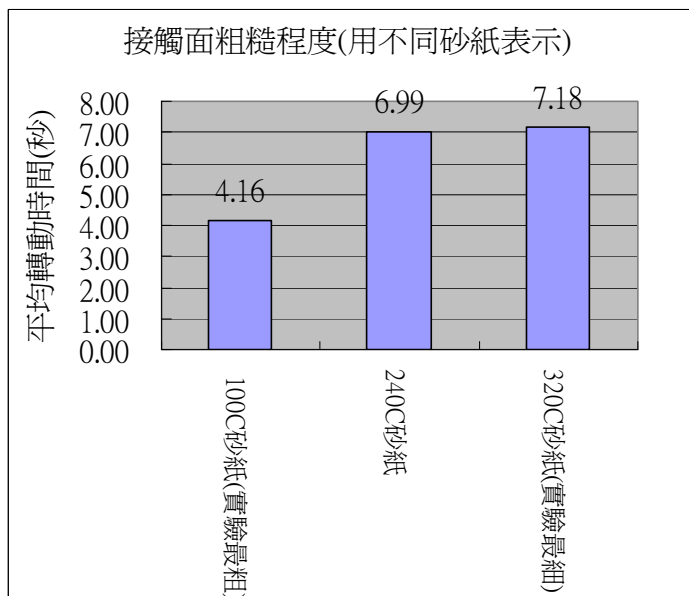


2. 陀螺轉動描述：

- (1)、由實驗中發現，轉軸的軸尖越細，轉動的時間越短；軸尖越粗，時間越長。
- (2)、軸尖越粗，轉動中的陀螺之轉軸越容易擺正而不晃動，轉動的時間也較長久；軸尖越細則反之。

(九)、轉動接觸面的粗細程度與轉動時間的關係

1. 轉動接觸面粗糙程度與轉動時間的關係圖：

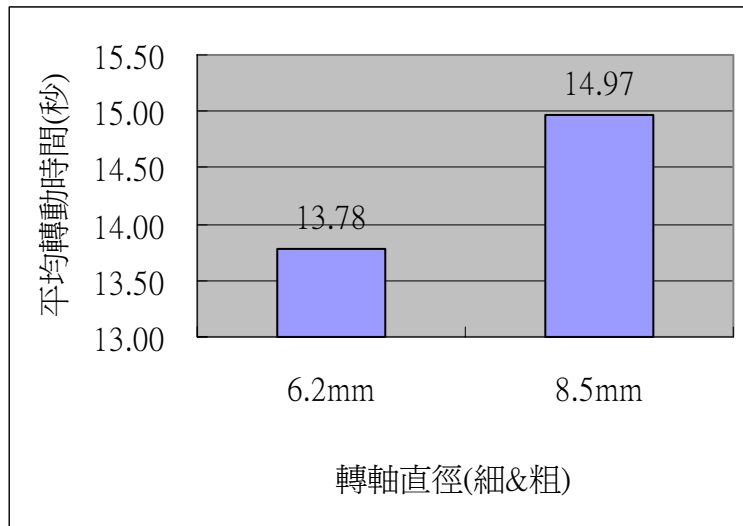


2. 陀螺轉動描述：

- (1)、接觸面的砂紙顆粒大，表面越粗糙時，陀螺的轉動時間較短；砂紙顆粒小，表面較平滑時，轉動時間較長。
- (2)、接觸面較粗糙時，摩擦力較大，容易阻止陀螺的轉動，故轉動時間較短。

(十)、轉軸直徑(轉軸粗細)與轉動時間的關係

1. 陀螺轉軸粗細與轉動時間的關係圖：



2. 陀螺轉動描述：

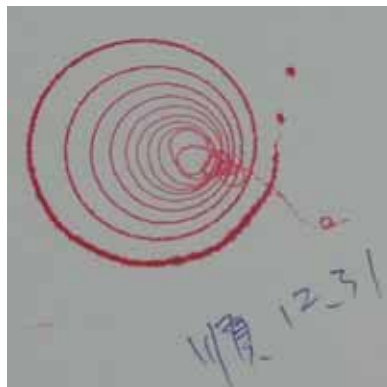
- (1)、轉軸越粗，轉動時間較長；轉軸越細，轉動時間較短。
- (2)、較粗的轉軸，較容易平衡，轉動時，轉軸較不容易晃動，故轉動的時間較長。

二. 瞭解紙陀螺的運動軌跡與對周圍空氣、物質的擾動現象

(一)、運動軌跡

1. 從眾多陀螺轉動圖形中，我們發現

- (1)、順時針轉動的陀螺圖形主要有兩種型態：



順時針旋轉成數個圓圈



向右移動成曲線

(2)、逆時針轉動的陀螺圖形主要有兩種型態：

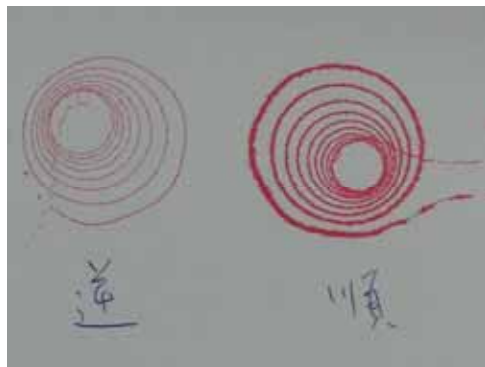


逆時針旋轉成數個圓圈

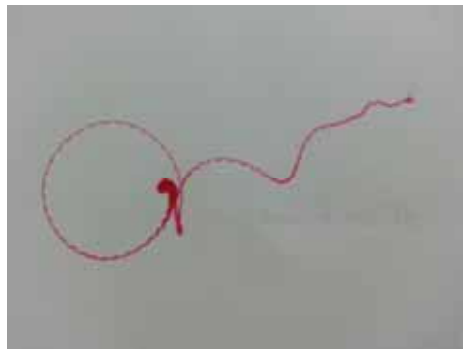


向左移動成曲線

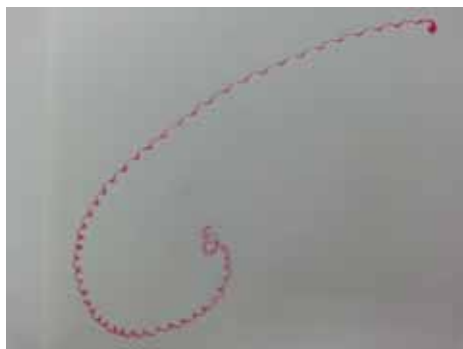
(3)、本體平面因傾斜而不斷搖擺的圖形型態



(4)、本體平面因傾斜而搖擺後再自我調整至平衡的圖形型態



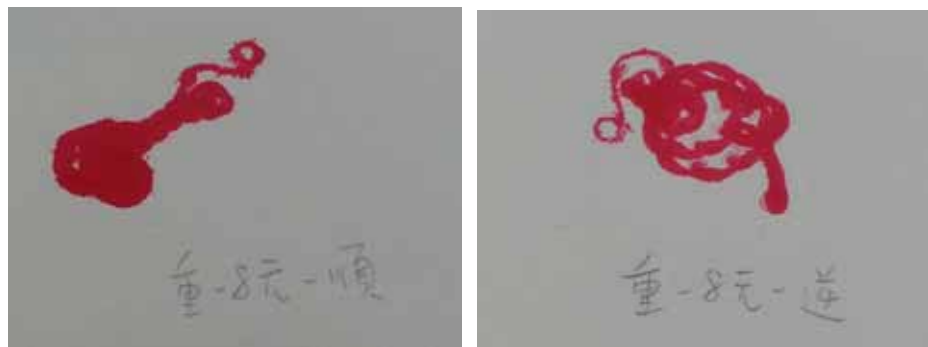
(5)、轉軸易晃動而搖擺的圖形型態



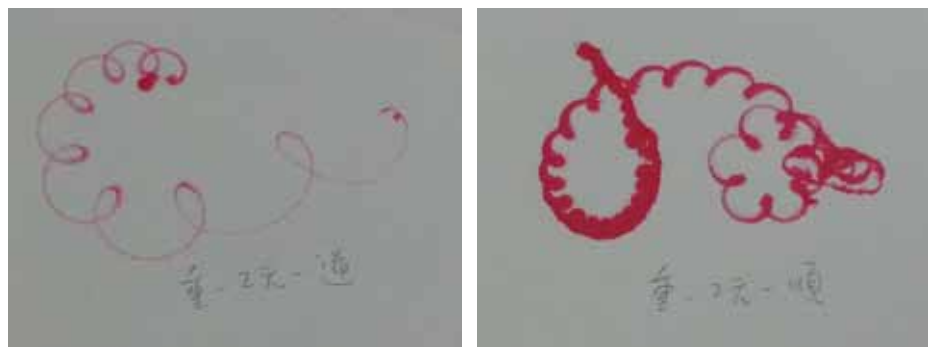
(6)、 陀螺本體平面面積大，陀螺的轉動範圍小的圖形



(7)、 陀螺本體質量大，陀螺的跑不遠的圖形



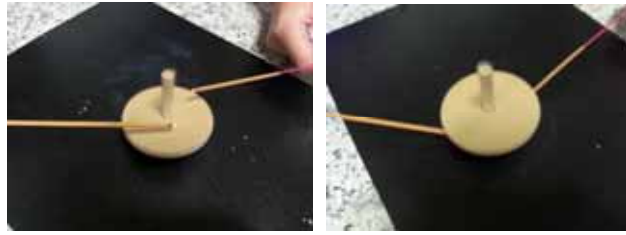
(8)、 陀螺本體質量不均衡，陀螺會嚴重晃動的圖形



(二)、 陀螺轉動對周圍空氣的擾動現象



1. 無論是順時針或逆時針轉動，將點燃的線香置於轉動中的陀螺平面上方，越靠近軸心時，原來向上飄的煙霧會被干擾而繞著轉軸飄。
2. 將點燃的線香置於轉動中的陀螺平面下方時，線香的煙霧會繞著軸心旋轉，線香越靠近軸心，旋轉越明顯；陀螺順時針轉時，煙霧跟著順時針轉，逆時針轉時，煙霧跟著逆時針轉。

3. 在陀螺平面下方看到的煙霧繞轉現象比上方處看到的明顯很多。





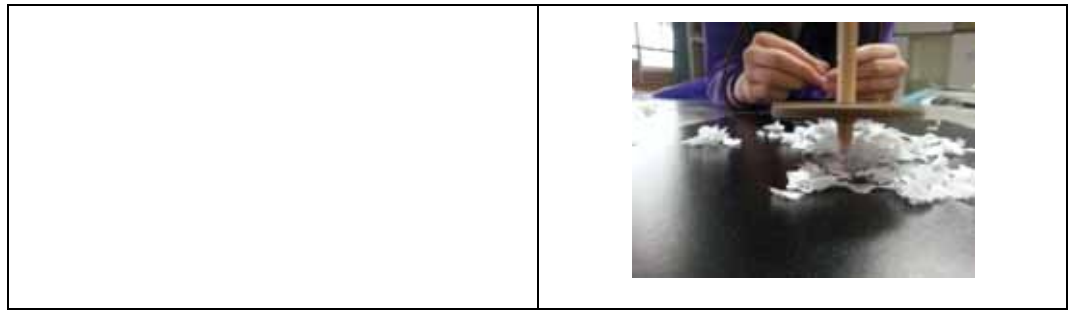
(三)、 陀螺轉動對周圍物質的擾動現象

1. 以小紙屑觀察

紙屑從陀螺上方灑下	紙屑先放在桌面上
<p>當小紙屑從轉動中的陀螺上方灑下時，紙屑遇到陀螺平面的瞬間會沿平面的切線方向被甩開，順時針轉或逆時針轉的情況相同。</p> 	<p>當小紙屑先置於桌面，再將陀螺放在紙屑上轉動時，紙屑的狀態並沒有改變。</p> 

2. 以小衛生紙屑觀察

衛生紙屑從陀螺上方灑下	衛生紙屑先放在桌面上
<p>衛生紙屑仍會被陀螺沿切線方向甩出。</p> 	<p>衛生紙屑會出現兩種情形</p> <p>(1) 稍微跟著旋轉一下，再被甩開騰出一圓形空間來。</p>  <p>(2) 被轉軸捲進去，紙屑纏繞著轉軸。</p>



三. 瞭解戰鬥陀螺的設計與實驗結果的關係。

(一)、 戰鬥陀螺的造型設計與我們的研究結果相符的有

1. 陀螺本體平面造型為圓形。
2. 陀螺除質量大外，會以圓錐體的形狀使其重心更低。
3. 陀螺本體平面上沒有轉軸，不會干擾其轉動。
4. 穩定性高、轉動得越久的戰鬥陀螺，其本體平面面積越大、重量越大。



陸、討論：

一、陀螺發射臺的省思

1. 我們試著以定滑輪、棉線、砝碼、免洗筷、木板及檯架等器材組裝發射臺，但卻一直不成功，其原因有
 - (1). 拉繩帶動陀螺轉動時，陀螺容易被拉繩拉走，無法定點轉動。
 - (2). 若製作一陀螺固定器，陀螺又易被卡住，不能轉動自如。



2. 因此，我們改以手動方式轉動陀螺，此法的難題是，如何控制每次轉動的力道？於是，每次相同主題的實驗都由同一人操作，盡量以相似的力道及手法轉動陀螺，轉動次數至少 30 次，再去除極端數值的實驗後，求其平均值為平均轉動時間。

3. 這個實驗的實驗數值應該可以表現出影響陀螺轉動時間的概況與趨勢。

二、製作紙陀螺的紙板、免洗筷等都以相同材質製作，避免因材料不同造成的實驗誤差。

柒、結論：

一、影響陀螺轉動時間的因素有形狀、面積、軸高、重量及施力的力道等，若想要陀螺轉的久，陀螺需符合下列幾個條件

1. 本體形狀以圓形最佳，面積越大越好。
2. 轉軸粗、不能太長，尖端不能太尖。
3. 重量大、重心低。
4. 玩陀螺的接觸面要光滑，摩擦力小。

二、戰鬥陀螺的構造設計，和我們的實驗結果相吻合。

三、陀螺轉動的運動狀態不同（即平面傾斜、轉軸歪斜晃動或平整等），其運動軌跡也不同，因此，我們可以反過來從陀螺運動軌跡圖推測陀螺的轉動概況。

四、轉動的陀螺會使周圍的空氣跟著旋轉，帶動煙霧、紙屑跟著運動。

捌、參考資料及其他：

- 一. 康軒文教事業。國中自然與生活科技第五冊 3-3 槓桿原理與靜力平衡（P.76-P.86）。103.02。
- 二. 康軒文教事業。國中自然與生活科技第四冊 5-5 食品科學（P.120-P.124）。102.02。
- 三. 台灣大百科全書（2014年3月22日）。「陀螺」。文化部。2014年3月22日，取自：<http://taiwanpedia.culture.tw/web/content?ID=14848>
- 四. 中華文化天地（2014年3月22日）。「陀螺」。2014年3月22日，取自：http://edu.ocac.gov.tw/culture/chinese/cul_chculture/vod08html/vod08_10.htm

附件：

實驗觀察紀錄表

(一)、 陀螺本體的面積大小與轉動時間的關係

(時間：2014.03.14，地點：實驗室，溫度：13℃，天氣：晴)

本體平面圓直徑(cm)	3	4	5	7	9	11	13	15	20
第1次	0.00	5.49	9.63	13.48	16.29	21.56	25.45	28.45	14.82
第2次	0.00	5.92	9.22	12.17	17.66	21.76	25.47	28.98	25.96
第3次	0.00	6.11	9.19	12.04	17.48	22.13	25.86	27.45	9.52
第4次	0.00	6.28	10.09	12.94	17.76	21.67	26.12	27.12	7.86
第5次	0.00	5.45	9.14	12.80	17.23	21.97	26.44	27.33	9.47
第6次	0.00	5.59	9.41	12.11	16.99	21.34	25.87	26.98	20.27
第7次	0.00	5.26	9.21	12.38	16.71	21.45	26.15	27.13	20.98
第8次	0.00	5.96	9.45	13.87	17.55	21.67	25.65	27.41	15.26
第9次	0.00	5.84	9.04	12.64	17.92	21.49	26.78	27.56	34.91
第10次	0.00	5.38	9.89	12.35	17.41	21.27	26.45	27.45	22.14
第11次	0.00	5.93	9.11	13.53	17.83	21.78	25.97	27.11	38.72
第12次	0.00	4.98	10.91	13.20	17.23	22.32	25.92	26.67	25.06
第13次	0.00	5.76	9.12	12.50	17.67	22.13	25.58	26.55	28.33
第14次	0.00	5.39	9.45	12.65	16.97	21.56	26.23	26.58	38.08
第15次	0.00	6.12	9.67	12.12	17.63	21.45	26.34	27.34	32.41
第16次	0.00	5.78	9.32	12.90	17.79	22.54	26.47	27.67	21.32
第17次	0.00	5.23	9.23	13.65	17.34	22.67	25.89	26.48	5.36
第18次	0.00	5.86	9.45	12.23	16.89	22.58	25.67	26.89	9.26
第19次	0.00	6.43	9.56	12.58	16.67	21.86	26.45	27.54	15.63
第20次	0.00	5.76	9.15	12.86	17.67	21.48	25.83	26.88	23.68
平均(秒)	0.00	5.73	9.46	12.75	17.33	21.83	26.03	27.28	20.95

(二)、 陀螺本體的形狀與轉動時間的關係

(時間：2014.03.17，地點：實驗室，溫度：16°C，天氣：晴)

本體形狀	三角形(邊長 =4.5*4.7*4.8cm)	長方形(邊長 =4*3.3cm)	正方形(邊長 =3.4cm)	六角形(邊長 =2.4cm)	圓形 (直徑=4cm)
第 1 次	1.32	2.53	2.44	4.08	9.03
第 2 次	1.20	2.60	3.23	4.42	10.13
第 3 次	1.06	2.18	2.66	4.24	9.90
第 4 次	1.09	2.45	2.01	4.36	9.32
第 5 次	1.26	2.00	2.33	3.95	9.87
第 6 次	1.10	2.50	2.85	4.58	9.54
第 7 次	1.11	2.28	2.98	4.52	9.86
第 8 次	1.25	2.66	2.76	4.85	9.04
第 9 次	1.38	2.58	2.52	4.45	9.47
第 10 次	1.46	2.01	2.65	4.74	9.61
第 11 次	1.23	2.35	2.32	4.69	10.26
第 12 次	1.32	2.48	2.65	4.18	10.01
第 13 次	1.20	2.16	2.18	4.09	9.68
第 14 次	1.09	2.52	2.74	4.27	9.58
第 15 次	1.59	2.05	2.95	4.51	10.32
第 16 次	1.21	2.11	2.25	4.58	10.68
第 17 次	1.08	2.35	2.85	4.21	11.02
第 18 次	1.14	2.66	2.65	4.38	10.36
第 19 次	1.24	2.45	2.54	4.57	10.85
第 20 次	1.32	2.54	2.62	4.59	10.96
平均(秒)	1.23	2.37	2.61	4.41	9.97

(三)、陀螺的重量與轉動時間的關係

(時間：2014.03.18，地點：實驗室，溫度：18℃，天氣：晴)

本體平面的重量(gw)	8.2gw (0 銅板)	15.8gw (2 銅板)	23.4gw (4 銅板)	31.0gw (6 銅板)	38.6gw (8 銅板)
第 1 次	9.39	1.25	10.25	8.58	6.85
第 2 次	8.62	1.26	10.36	8.41	6.28
第 3 次	8.52	1.98	10.58	8.69	10.58
第 4 次	8.98	1.58	9.58	9.25	8.52
第 5 次	8.78	1.45	9.65	8.75	12.85
第 6 次	9.58	1.87	10.27	8.25	10.85
第 7 次	9.64	1.96	11.02	9.56	9.12
第 8 次	9.28	1.41	11.56	9.01	8.45
第 9 次	9.68	1.36	11.85	8.78	13.58
第 10 次	8.89	1.95	11.75	8.62	9.58
第 11 次	8.99	1.25	9.85	9.58	8.45
第 12 次	10.58	1.02	9.25	10.12	12.05
第 13 次	10.69	1.03	10.58	8.42	7.89
第 14 次	9.89	1.45	10.64	8.78	9.58
第 15 次	9.85	1.58	10.85	8.25	8.12
第 16 次	8.57	1.78	10.84	9.74	10.58
第 17 次	8.28	1.46	10.69	9.10	9.63
第 18 次	9.68	1.02	10.48	8.37	13.25
第 19 次	9.85	1.85	9.58	8.17	9.58
第 20 次	10.28	1.62	9.45	8.92	8.45
平均(秒)	9.40	1.51	10.45	8.87	9.71

(四)、陀螺本體的平面上是否有孔洞與轉動時間的關係

(時間：2014.03.19，地點：實驗室，溫度：19℃，天氣：晴)

本體平面 是否有孔洞 (距圓心 1 cm 處)	0 個洞	1 個洞	2 個洞 (對稱)	3 個洞	4 個洞 (對稱)
第 1 次	10.25	9.81	10.58	7.46	10.51
第 2 次	10.36	8.33	11.16	8.46	9.84
第 3 次	10.21	9.32	10.25	8.14	10.02
第 4 次	9.89	8.46	10.89	8.18	10.06
第 5 次	9.84	9.99	11.87	8.52	10.66
第 6 次	10.25	9.73	9.42	7.32	9.62
第 7 次	10.89	9.06	10.52	8.41	10.37
第 8 次	10.54	9.87	11.73	8.20	10.42
第 9 次	10.32	9.29	10.82	6.69	10.51
第 10 次	10.25	9.21	10.87	9.98	11.40
第 11 次	10.01	9.15	11.27	8.89	11.25
第 12 次	10.21	9.73	11.88	9.00	10.30
第 13 次	10.00	8.38	10.21	8.34	10.08
第 14 次	10.28	8.26	10.86	8.24	10.78
第 15 次	9.99	7.09	10.67	8.98	10.21
第 16 次	9.57	9.05	10.05	8.43	11.08
第 17 次	10.58	9.31	11.87	8.21	10.75
第 18 次	10.21	9.89	10.89	7.45	11.39
第 19 次	10.01	9.07	11.65	8.98	10.54
第 20 次	10.24	9.88	9.95	8.21	10.29
平均 (秒)	10.20	9.14	10.87	8.30	10.50

(五)、陀螺本體在轉軸的不同高度與轉動時間的關係

(時間：2014.03.20，地點：實驗室，溫度：16°C，天氣：晴)

本體平面在軸上的高度(cm)	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm
第 1 次	7.00	13.83	10.06	7.32	5.20
第 2 次	7.71	12.42	10.42	6.66	5.00
第 3 次	8.76	13.85	10.40	7.87	6.55
第 4 次	9.37	12.65	9.71	6.97	5.86
第 5 次	8.36	13.98	9.99	7.62	5.98
第 6 次	9.00	12.87	10.89	7.54	5.24
第 7 次	9.14	13.86	9.32	6.90	5.31
第 8 次	5.25	13.68	10.23	6.89	5.75
第 9 次	7.82	12.69	9.32	7.50	6.81
第 10 次	8.63	13.16	9.93	6.97	5.29
第 11 次	6.51	13.98	10.06	5.47	5.90
第 12 次	8.23	12.27	9.68	5.72	5.31
第 13 次	6.45	12.79	10.34	6.87	6.35
第 14 次	6.58	12.90	10.56	7.98	5.85
第 15 次	7.21	13.45	9.45	7.57	5.30
第 16 次	7.26	13.53	9.67	7.93	6.75
第 17 次	7.59	12.59	9.37	6.78	6.31
第 18 次	7.85	12.45	9.78	7.56	5.87
第 19 次	6.39	13.76	10.32	6.98	5.97
第 20 次	6.85	12.34	9.45	7.21	6.13
平均(秒)	7.60	13.15	9.95	7.12	5.84

(六)、轉軸長度與轉動時間的關係

(時間：2014.03.24，地點：實驗室，溫度：16°C，天氣：晴)

轉軸長度 (cm)	4cm	5cm	7cm	9cm	11cm
第 1 次	13.28	8.34	5.04	4.83	2.66
第 2 次	14.68	7.48	6.28	4.64	1.94
第 3 次	13.00	7.78	6.01	4.09	1.80
第 4 次	12.60	7.86	5.95	4.50	2.07
第 5 次	14.74	7.46	5.90	4.42	1.93
第 6 次	13.93	7.26	5.48	4.58	2.15
第 7 次	13.09	8.56	5.50	4.30	1.28
第 8 次	13.41	6.90	5.83	4.77	1.47
第 9 次	14.50	7.06	5.45	4.88	1.34
第 10 次	13.48	7.53	5.80	4.41	1.90
第 11 次	13.70	7.13	5.98	3.50	2.08
第 12 次	13.43	6.72	5.27	3.80	1.49
第 13 次	13.23	7.97	5.34	3.54	1.86
第 14 次	13.63	7.83	5.64	3.18	1.46
第 15 次	14.94	7.22	5.63	3.12	1.43
第 16 次	14.23	8.12	6.32	3.76	1.76
第 17 次	13.25	8.94	5.98	4.21	1.90
第 18 次	14.08	7.34	5.67	4.56	1.56
第 19 次	14.25	7.90	6.34	3.00	2.05
第 20 次	13.78	6.98	5.87	3.21	1.45
平均 (秒)	13.76	7.62	5.76	4.07	1.78

(七)、轉軸是否在平面上的圓心位置與轉動時間的關係

(時間：2014.03.25，地點：實驗室，溫度：17°C，天氣：晴)

轉軸在本體平面的位置	轉軸距圓心 1cm	轉軸在圓心的位置
第 1 次	0.68	10.55
第 2 次	0.76	10.82
第 3 次	0.94	9.48
第 4 次	0.89	10.87
第 5 次	0.82	10.30
第 6 次	0.93	10.26
第 7 次	0.89	10.40
第 8 次	0.74	10.28
第 9 次	0.94	9.77
第 10 次	1.31	11.02
第 11 次	1.04	11.14
第 12 次	0.93	10.55
第 13 次	1.15	10.21
第 14 次	1.00	9.89
第 15 次	0.94	10.67
第 16 次	0.84	10.89
第 17 次	0.98	10.32
第 18 次	0.95	10.67
第 19 次	1.07	11.32
第 20 次	0.89	11.67
平均 (秒)	0.93	10.55

(八)、轉軸軸尖粗細與轉動時間的關係

(時間：2014.04.01，地點：實驗室，溫度：15°C，天氣：晴)

軸尖的粗細 (軸尖直徑)	9.5mm	6mm	4.5mm	2.5mm	1.2mm
第 1 次	9.79	9.91	6.78	7.58	5.26
第 2 次	9.81	8.38	6.88	7.70	5.65
第 3 次	9.99	9.45	7.18	7.73	6.34
第 4 次	9.05	8.58	7.81	7.24	5.56
第 5 次	9.31	9.41	7.40	7.59	5.76
第 6 次	9.09	8.68	7.98	7.77	5.88
第 7 次	9.24	9.89	7.24	7.63	6.35
第 8 次	10.90	9.58	7.70	7.88	6.31
第 9 次	10.74	8.38	7.66	7.56	5.89
第 10 次	10.64	9.38	7.89	6.78	5.47
第 11 次	9.60	9.07	7.25	6.55	6.72
第 12 次	9.45	9.12	7.95	6.42	5.77
第 13 次	9.67	8.30	6.98	6.84	5.88
第 14 次	10.45	9.65	6.45	6.78	5.89
第 15 次	10.24	9.53	7.34	7.34	5.85
第 16 次	10.35	8.45	7.21	7.87	6.78
第 17 次	9.45	8.32	6.56	7.35	6.45
第 18 次	9.56	8.89	6.73	6.76	6.66
第 19 次	10.23	8.95	6.43	6.34	6.79
第 20 次	10.43	8.47	7.26	6.55	5.78
平均 (秒)	9.90	9.02	7.23	7.21	6.05

(九)、轉動接觸面的粗細程度與轉動時間的關係

(時間：2014.04.02，地點：實驗室，溫度：16°C，天氣：晴)

接觸面粗糙程度 (用不同砂紙表示)	100C 砂紙 (實驗最粗)	240C 砂紙	320C 砂紙 (實驗最細)
第 1 次	3.58	6.12	7.45
第 2 次	3.24	7.41	7.67
第 3 次	3.70	6.44	7.36
第 4 次	4.61	6.54	6.59
第 5 次	4.70	7.41	7.97
第 6 次	4.48	7.35	7.67
第 7 次	4.85	7.90	6.76
第 8 次	4.24	6.16	6.19
第 9 次	4.12	6.85	6.31
第 10 次	3.88	6.93	6.09
第 11 次	4.56	6.37	6.27
第 12 次	4.23	7.52	6.87
第 13 次	4.67	7.70	7.69
第 14 次	4.59	6.81	7.87
第 15 次	3.79	7.16	7.38
第 16 次	3.69	7.98	7.56
第 17 次	4.22	6.77	7.66
第 18 次	4.21	6.57	7.89
第 19 次	3.95	7.05	7.12
第 20 次	3.87	6.74	7.22
平均 (秒)	4.16	6.99	7.18

(十)、轉軸粗細與轉動時間的關係

(時間：2014.04.07，地點：實驗室，溫度：14℃，天氣：晴)

轉軸直徑 (mm)	6.2	8.5
第 1 次	13.45	14.56
第 2 次	13.11	14.67
第 3 次	13.43	15.67
第 4 次	13.47	14.43
第 5 次	14.64	14.89
第 6 次	14.27	14.56
第 7 次	13.89	15.77
第 8 次	13.56	15.49
第 9 次	14.34	15.89
第 10 次	13.89	15.43
第 11 次	13.59	15.28
第 12 次	13.29	14.98
第 13 次	13.23	14.67
第 14 次	13.56	14.36
第 15 次	13.77	15.67
第 16 次	13.49	15.32
第 17 次	13.63	14.32
第 18 次	14.52	14.67
第 19 次	14.59	14.36
第 20 次	13.89	14.32
平均(秒)	13.78	14.97