

嘉義市第 37 屆中小學科學展覽會

作品說明書封面

科 別：物理科

組 別：國中組

作品名稱：陀螺不倒翁－探討倒立陀螺倒立旋轉的影響因素

關 鍵 詞：陀螺、倒立旋轉

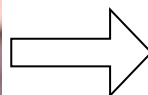
編 號：

壹、動機：

我們在跟著鄭大師玩科學的網站上看到一個有趣的影片，叫做旋轉彈珠，覺得很有趣，想要進行研究，但是後來發現這個題目可以延伸到另一個更深入的題目，叫做倒立陀螺，在影片中有人用了籃球大小的一個圓木板，在邊邊挖個比半徑還小一點的洞，然後洞朝上，旋轉木板，我們原本以為重的部分會保持在下方，輕的一端會在上面，結果洞會在旋轉時自己轉到下面去，讓我們大為驚奇，我們就決定用木板挖洞來研究其中的原因。



圖一、倒立陀螺

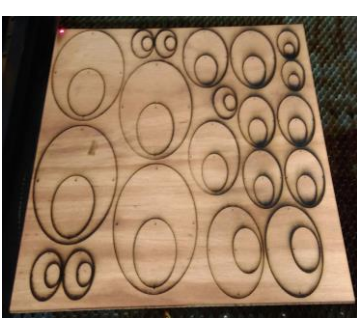


圖二、跟著鄭大師玩科學網站上的影片，挖洞的木板旋轉後洞會移動到下方

貳、目的：

- 一、 探討陀螺厚度對於站立時間的影響
- 二、 探討旋轉初速度對於陀螺旋轉倒立的影響
- 三、 探討洞的大小對於陀螺旋轉倒立的影響
- 四、 探討洞的位置對於陀螺旋轉倒立的影響
- 五、 探討洞的形狀對於陀螺旋轉倒立的影響
- 六、 探討陀螺的大小對於陀螺旋轉倒立的影響
- 七、 探討不同洞的數量對於陀螺旋轉倒立的影響
- 八、 探討不同接觸面材質對於陀螺旋轉倒立的影響
- 九、 探討特殊設計的陀螺對於陀螺旋轉倒立的影響

參、器材與設備：

		
雷切機	木板	攝影機
		
快乾膠	彩色筆	迴紋針
		
老虎鉗	尖嘴鉗	

肆、實驗步驟與方法：

我們先討論可能影響陀螺站立情況的因素，覺得主要的影響因素有：木板的厚度、旋轉的初速度、洞的大小、洞的位置、陀螺的大小、洞的形狀、洞的數量、接觸面材質等。所以我們設計不同的陀螺，請老師幫我們用 3mm 厚的木板以雷射切割的方式切好，然後我們再自己黏出不同厚度，做出我們要用的陀螺。

為了判斷旋轉的速度，我們用攝影機拍攝陀螺的轉動，並且先在陀螺的一面以彩色筆在木板四個定位點上做記號，方便由影片中判斷洞的位置和旋轉的圈數。

並且為了黏出不同厚度的陀螺，我們們在四個邊各做了一個很小洞的定位點，當我們要將兩片或三片陀螺黏起來時，先用老虎鉗將迴紋針剪出小鐵棒，插入四個定位點，再用雙面膠將木板黏住，然後等到乾了以後，拉一拉看有沒有黏緊，確定沒有問題，再把小鐵棒用尖嘴鉗夾出。



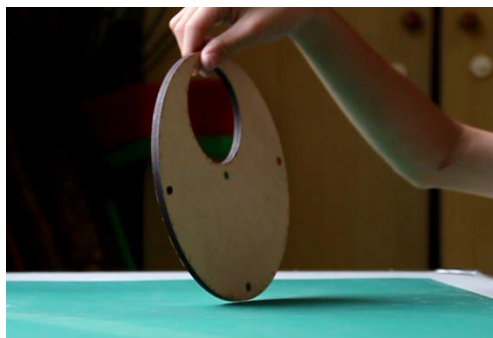
圖、請人切出各種木板



圖、彩色筆在木板四個定位點上做記號

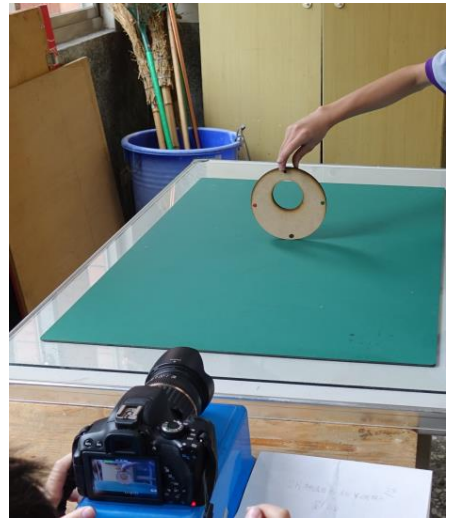


圖、虎鉗將迴紋針剪出小鐵棒，插入四個定位點，再用快乾膠將木板黏住，尖嘴鉗夾出小鐵棒



圖、攝影機對準陀螺，將陀螺洞朝正上方，進行實驗

我們的實驗方法是將攝影機對準陀螺，將陀螺洞朝正上方，並設定錄影模式為每秒 60 張影片，利用手動的方式旋轉陀螺，每一個變因的一個條件分別做 15 次，再將影片放到電腦中撥放，進行分析，我們將陀螺開始旋轉的時間設為 t_1 ，旋轉 1 圈後的时间設為 t_2 ，洞由上方轉到低於陀螺圓心時間設為 t_3 ，接下來陀螺回保持洞在下方持續旋轉，可是快要倒下去前，洞會再轉到上方來，我們將洞升到超過陀螺圓心時設為 t_4 ，並將陀螺倒下不動的時間設為 t_5 ，我們想探討陀螺旋轉時洞在下方的時間佔所有旋轉時間的比例，所以就是 $(t_4 - t_3)$ 除以 $(t_5 - t_1)$ ，並且將洞在陀螺圓心下方稱為倒立。也就是在探討倒立時間佔旋轉時間的比例。



開始(t_1)



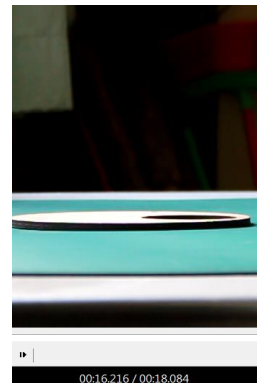
旋轉 1 圈(t_2)



洞開始低於圓心(t_3)

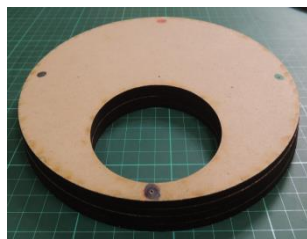


洞開始高於圓心(t_4)

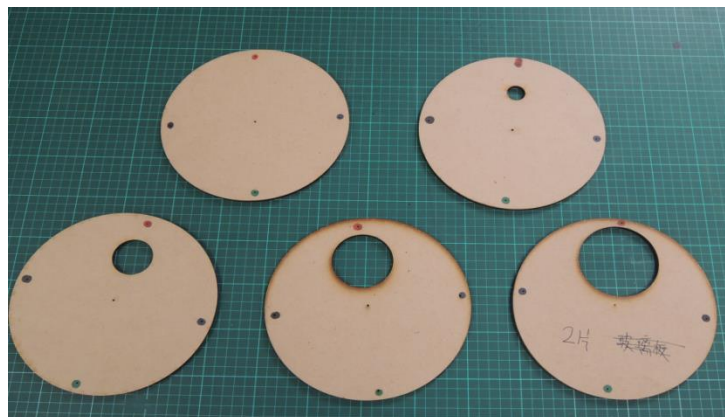


停止(t_5)

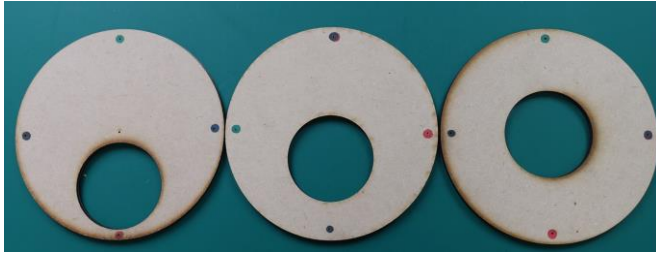
我們設計的大小是木板大小固定是直徑 20 公分，
陀螺厚度分別為 2 片、4 片、6 片、8 片。



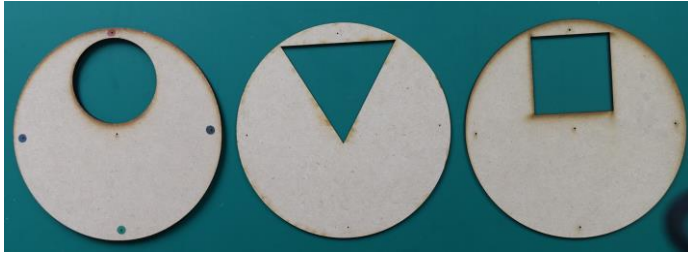
洞的大小有 0、2、4、6、8 公分



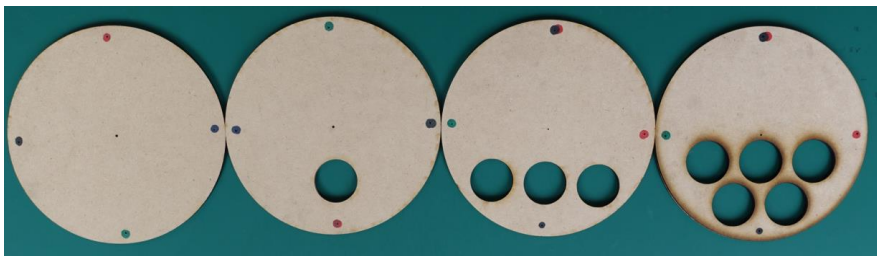
洞的位置為洞的圓心到木板圓心距離分別為 5.0、2.5、0.0 公分



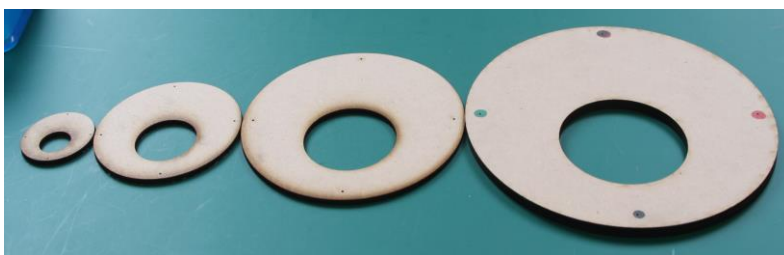
洞的形狀為圓形、三角形與正方形



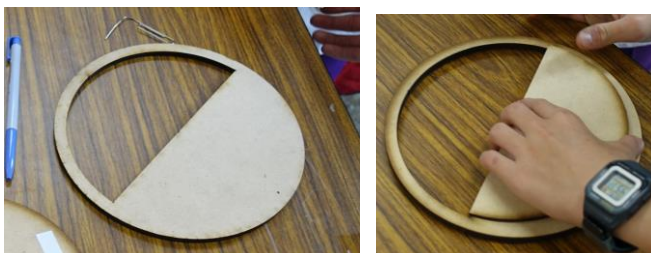
洞的數量為 0、1、3、5



陀螺的大小為 5、10、15、20cm



特殊形狀：挖空半圓，另一邊加厚

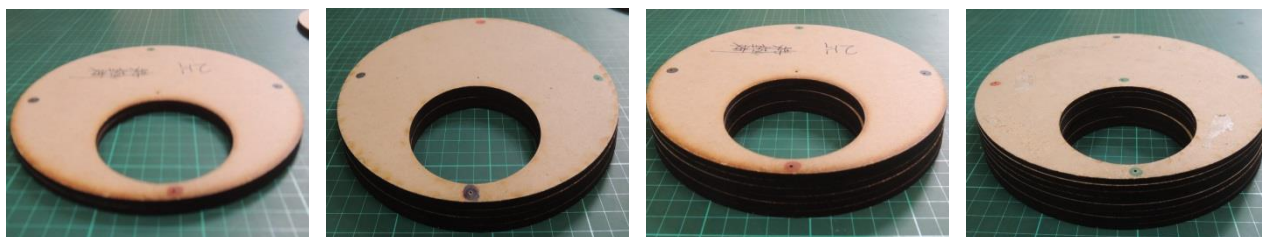


實驗一、探討陀螺厚度對於站立時間的影響

我們固定洞的大小為 8.0cm、洞的形狀為圓形、洞的圓心到木板圓心為 5.0cm。

我們準備了 8 片木板，先進行 2 片(6mm)厚度的實驗，架好攝影機，進行 15 次實驗，完成後，然後再將 2 片木板以上述的方法黏好，進行 4 片(12mm)厚度的實驗，一樣進行 15 次實驗，依序再黏上 2 片木板，進行 6 片(18mm)厚度及 8 片(24mm)厚度實驗，所以我們共進行了 4 組實驗，包括 2 片(6mm)、4 片(12mm)、6 片(18mm)與 8 片(24mm)，每一種厚度進行 15 次實驗。

利用 MPC-HC 影片播放軟體，讀取 $t_1 \sim t_5$ 每一個時刻，計算出全部旋轉時間、倒立時間、倒立時間佔旋轉時間的比例，並整理成表格，放在實驗結果。



實驗二、探討旋轉初速度對於站立時間的影響

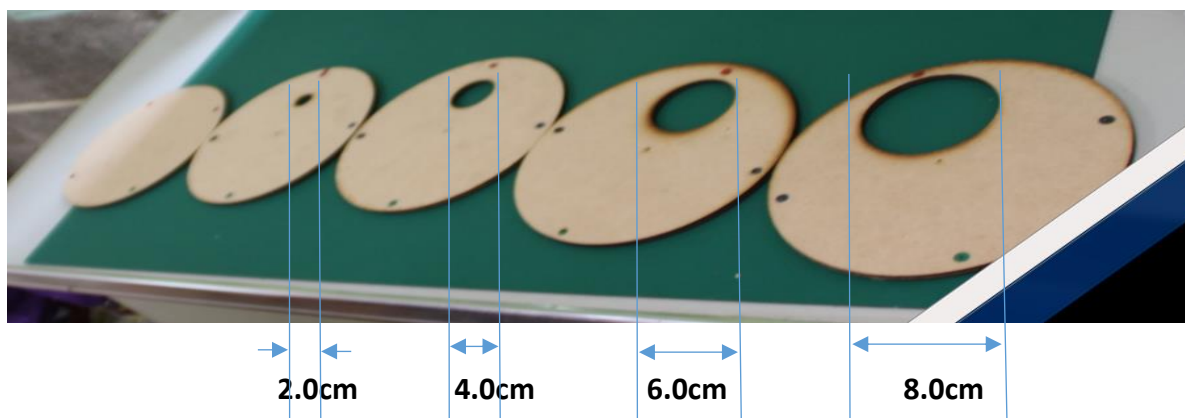
我們利用手動旋轉的方式，因為力道可能不同，會造成不一樣的旋轉初速度，想要這種情況會不會影響陀螺倒立的情況。所以我們固定陀螺厚度為 2 片(6mm)厚度，洞的大小為 8.0cm、洞的形狀為圓形、洞的圓心到木板圓心為 5.0cm。

進行 15 次實驗，利用 MPC-HC 影片播放軟體，讀取 $t_1 \sim t_5$ 每一個時刻如下圖，旋轉初速度以旋轉後前兩圈所花的時間，計算出一開始旋轉速度、全部旋轉時間、倒立時間、倒立時間佔旋轉時間的比例，並整理成表格，放在實驗結果。

實驗三、探討洞的大小對於站立時間的影響

接下來我們想要探討洞的大小對於陀螺旋轉時倒立情況的影響，我們將陀螺直徑固定為 20.0cm、陀螺厚度為 2 片(6mm)厚度，洞的形狀為圓形、洞的圓心到木板圓心為 5.0cm。

我們設計了 4 個不同大小的洞，包括直徑 8.0cm、6.0cm、4.0cm、2.0cm，並且準備一個沒有洞的對照組，來進行實驗。每一種大小一樣進行 15 次實驗。並利用 MPC-HC 影片播放軟體，讀取 t1~t5 每一個時刻，計算出一開始旋轉速度、全部旋轉時間、倒立時間、倒立時間佔旋轉時間的比例，並整理成表格，放在實驗結果。

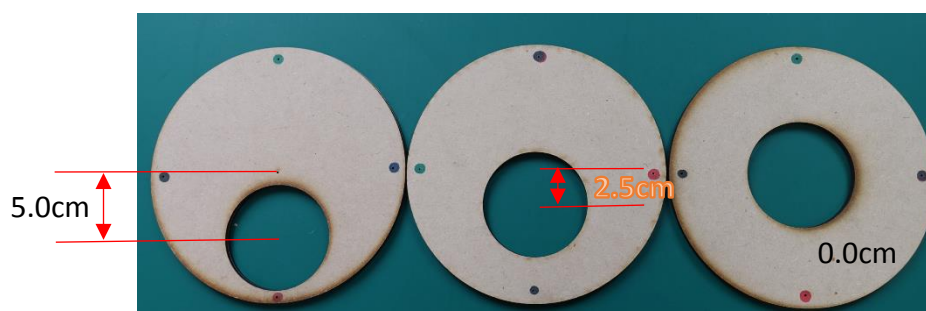


圖、四種不同大小洞的陀螺和一個沒有洞的陀螺

實驗四、探討洞的位置對於站立時間的影響

再來我們想看看洞的位置對於陀螺旋轉時倒立情況有什麼影響，所以我們將陀螺直徑固定為 20.0cm、陀螺厚度為 2 片(6mm)厚度，洞的形狀為圓形、洞的大小為 8.0cm。

洞的位置以洞的圓心到陀螺的圓心為主，我們設計了三個不同的距離，包括直徑 0.0cm、2.5cm、5.0cm，來進行實驗。每一個距離一樣進行 15 次實驗。利用 MPC-HC 影片播放軟體，讀取 t1~t5 每一個時刻，計算出一開始旋轉速度、全部旋轉時間、倒立時間、倒立時間佔旋轉時間的比例，並整理成表格，放在實驗結果。



實驗五、探討洞的形狀對於站立時間的影響

所以接下實驗我們想了解如果改變洞的形狀，對於陀螺旋轉時倒立情況有什麼影響，所以我們將陀螺直徑固定為 20.0cm、陀螺厚度為 2 片(6mm)厚度。

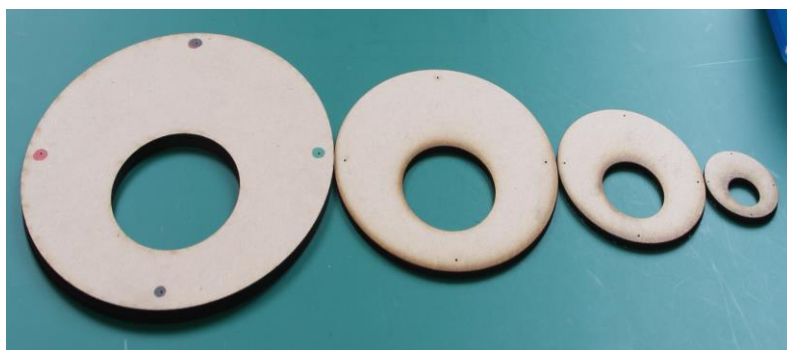
我們要固定洞的面積要相同，先選擇圓洞直徑為 8.0cm，算出圓洞面積為 50.27cm^2 ，再以此面積算出正三角形的邊長為 10.77cm，以及正方形的邊長為 7.09cm，然後將三個洞的中心位置算出來，置於離大圓圓心 5cm 的地方。

每一種形狀一樣進行 15 次實驗。一樣利用 MPC-HC 影片播放軟體，讀取 t1~t5 每一個時刻，計算出一開始旋轉速度、全部旋轉時間、倒立時間、倒立時間佔旋轉時間的比例，並整理成表格，放在實驗結果。



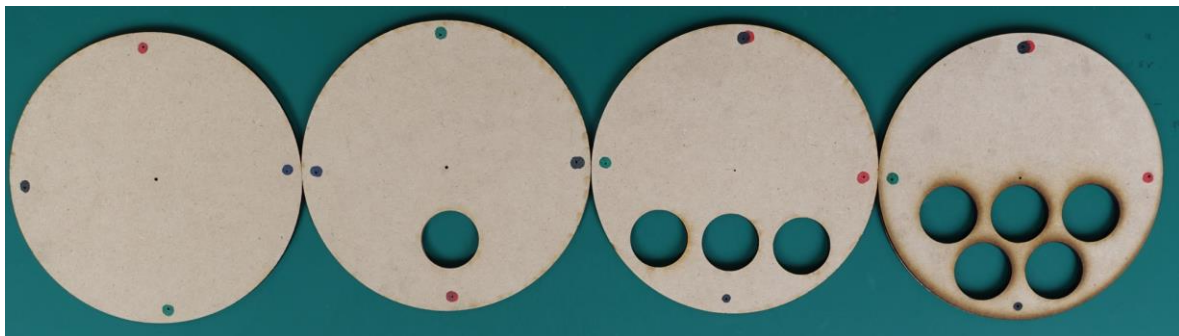
實驗六、探討陀螺的大小對於站立時間的影響

接下實驗我們想了解陀螺的大小改變，對於陀螺旋轉時倒立情況有什麼影響，所以我們將陀螺厚度固定為 2 片(6mm)厚度，設計了 4 種不同大小的陀螺，包括 20.0cm、15.0cm、10.0cm、5.0cm，來進行實驗。我們利用 20.0 的陀螺，等比例縮小到 15.0cm、10.0cm、5.0cm。每一種形狀一樣進行 15 次實驗。一樣利用 MPC-HC 影片播放軟體，讀取 t1~t5 每一個時刻，計算出一開始旋轉速度、全部旋轉時間、倒立時間、倒立時間佔旋轉時間的比例，並整理成表格，放在實驗結果。



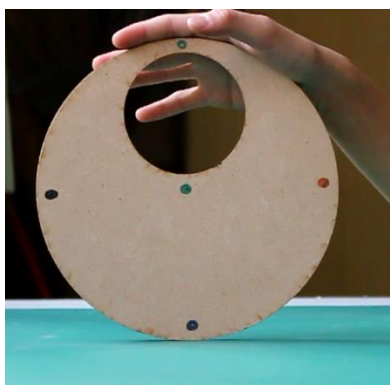
實驗七、探討不同洞的數量對於站立時間的影響

所以接下實驗我們想了解洞的數量改變，對於陀螺旋轉時倒立情況有什麼影響，所以我們將陀螺厚度固定為 2 片(6mm)厚度，每個洞的直徑固定為 4.0cm，設計了 5 種陀螺，包括 0、1、2、3、4 個洞的陀螺，來進行實驗。每一種形狀一樣進行 15 次實驗。一樣利用 MPC-HC 影片播放軟體，讀取 $t_1 \sim t_5$ 每一個時刻，計算出一開始旋轉速度、全部旋轉時間、倒立時間、倒立時間佔旋轉時間的比例，並整理成表格，放在實驗結果。

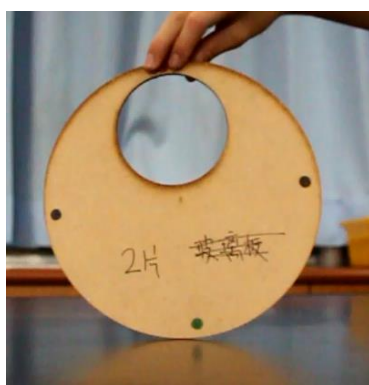


實驗八、探討不同接觸面材質對於陀螺旋轉倒立的影響

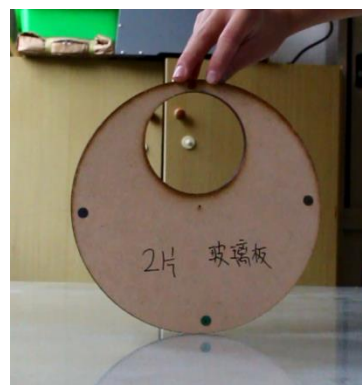
所以接下實驗我們想了解如果改變桌面的性質，對於陀螺旋轉時倒立情況有什麼影響，所以我們以塑膠桌墊、實驗桌面及玻璃桌面來進行實驗，每一種桌面重複 15 次實驗錄影記錄。一樣利用 MPC-HC 影片播放軟體，讀取 $t_1 \sim t_5$ 每一個時刻，計算出一開始旋轉速度、全部旋轉時間、倒立時間、倒立時間佔旋轉時間的比例，並整理成表格，放在實驗結果。



塑膠桌墊



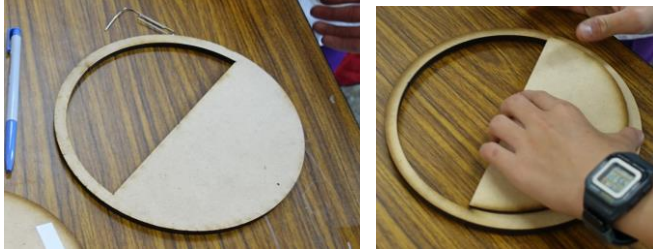
實驗桌面



玻璃桌面

實驗九、探討特殊設計的陀螺對於站立時間的影響

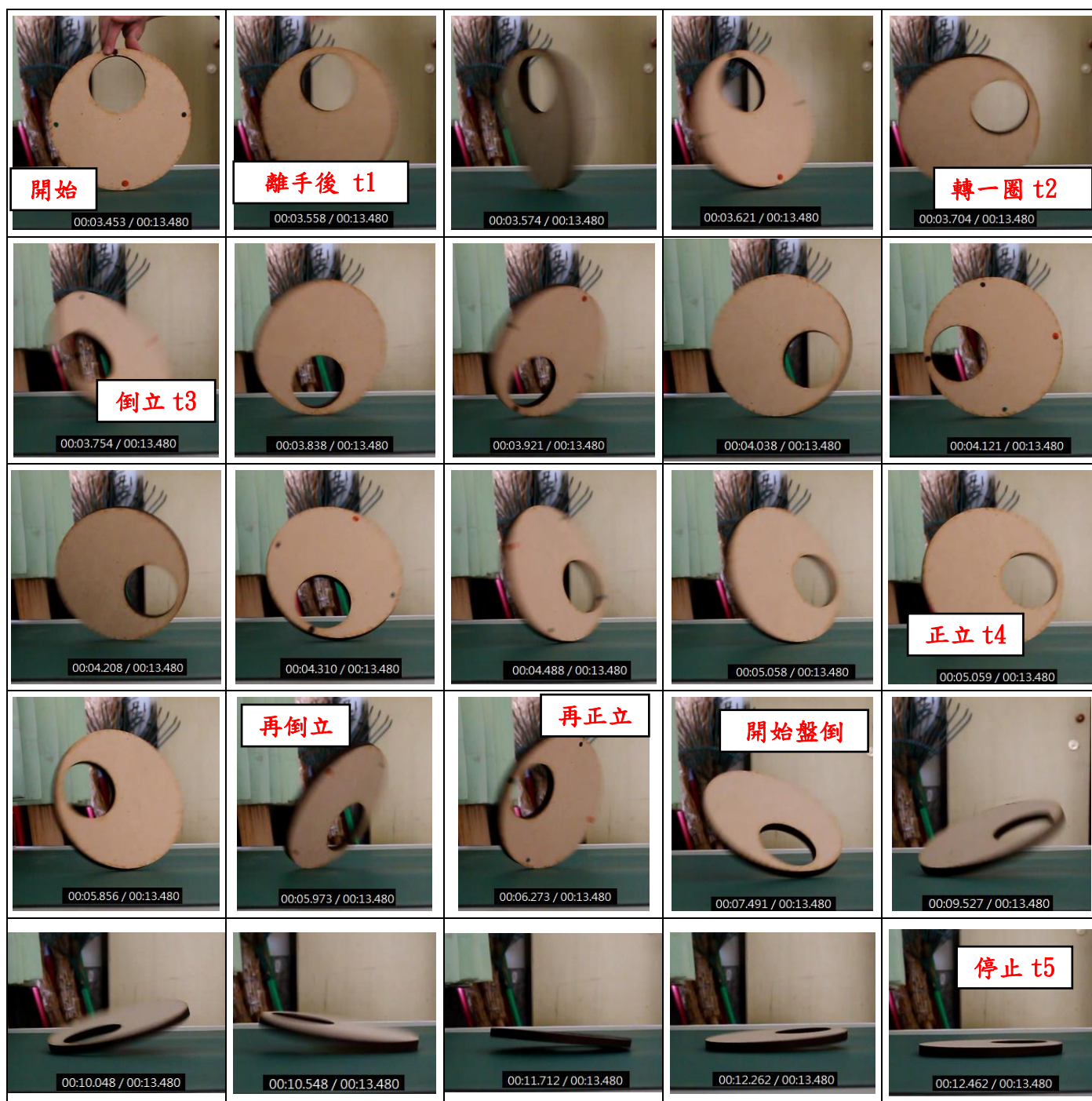
所以接下實驗我們想了解如果大幅度改變陀螺重心的位置，將洞挖到最大，對於陀螺旋轉時倒立情況有什麼影響，所以我們直接挖掉半邊的半圓洞，將挖下來的半圓形板加厚到另一邊，來進行實驗，完成特殊構造陀螺。進行 10 次實驗。一樣利用 MPC-HC 影片播放軟體，讀取 $t_1 \sim t_5$ 每一個時刻，計算出一開始旋轉速度、全部旋轉時間、倒立時間、倒立時間佔旋轉時間的比例，並整理成表格，放在實驗結果。



伍、實驗結果與討論：

一、實驗一、探討陀螺厚度對於站立時間的影響

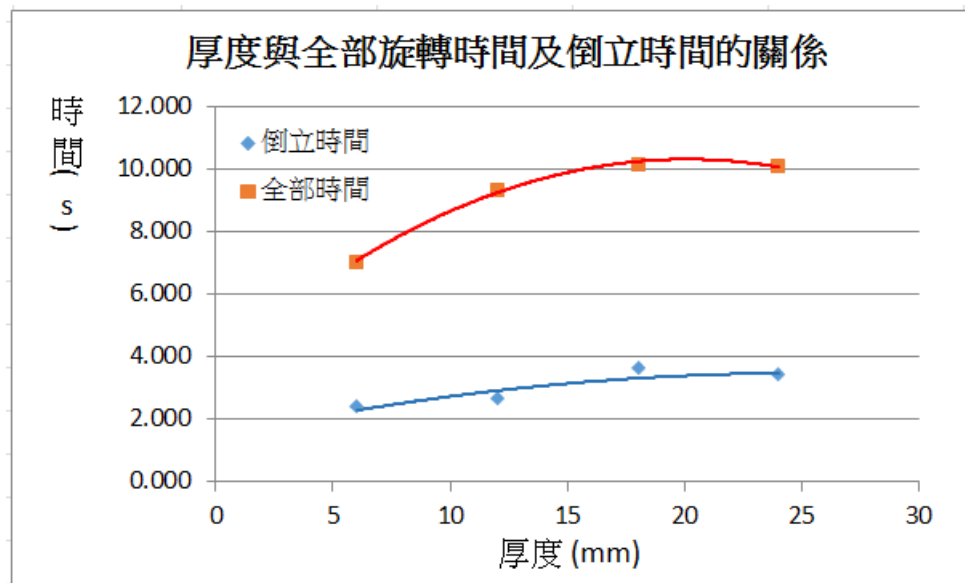
我們先將洞朝正上方，用手撥旋轉，觀察陀螺旋轉的過程，以下面的例子，我們截出影片的連續圖如下，發現洞在幾圈內就會轉到下方，當洞的圓心低於陀螺圓心來判斷開始倒立，當開始倒立後，雖然洞會左右晃動，但會一直保持在圓心下方，我們稱為倒立狀態，在過一段時間後，轉動速度變慢，此時洞會上移，到洞的圓心超過陀螺圓心，我們稱它為正立，然後會很快再回到倒立狀態，接下來，開始以邊邊滾動盤旋，越來越低，直到停止，在盤旋過程中，大約每半圈洞在上方，另外半圈，洞在下方。



我們將實驗結果整理成下表一、並且利用表一的數據畫出關係圖。

表一、不同陀螺厚度下的倒立時間、全部旋轉時間、倒立時間佔旋轉時間的比率與初轉速

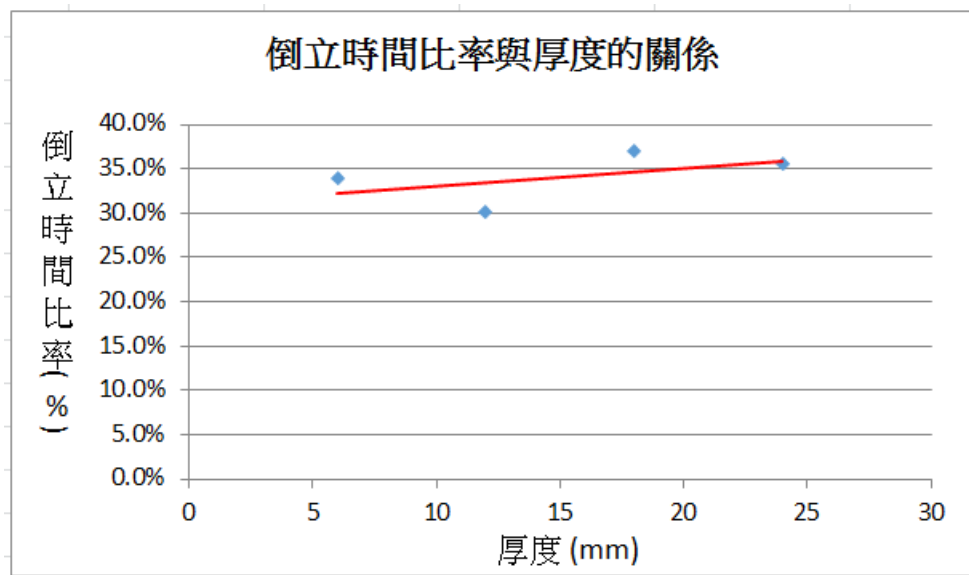
厚度(mm)	倒立時間(秒)	旋轉時間(秒)	初轉速(轉/秒)	倒立比率
6	2.378	7.040	7.310	33.7%
12	2.643	9.331	7.061	29.9%
18	3.585	10.142	6.549	36.8%
24	3.386	10.086	5.940	35.4%



圖、倒立時間、全部旋轉時間與陀螺厚度的關係

討論 1：

由上圖中我們可以發現，厚度較少時，倒立時間短，且全部的旋轉時間也較短，厚度增加，倒立時間變長，且全部的旋轉時間也變長，但 6 片厚度與 8 片厚度相差不大。



圖、倒立時間佔全部旋轉時間的比率與陀螺厚度的關係

討論 2 :

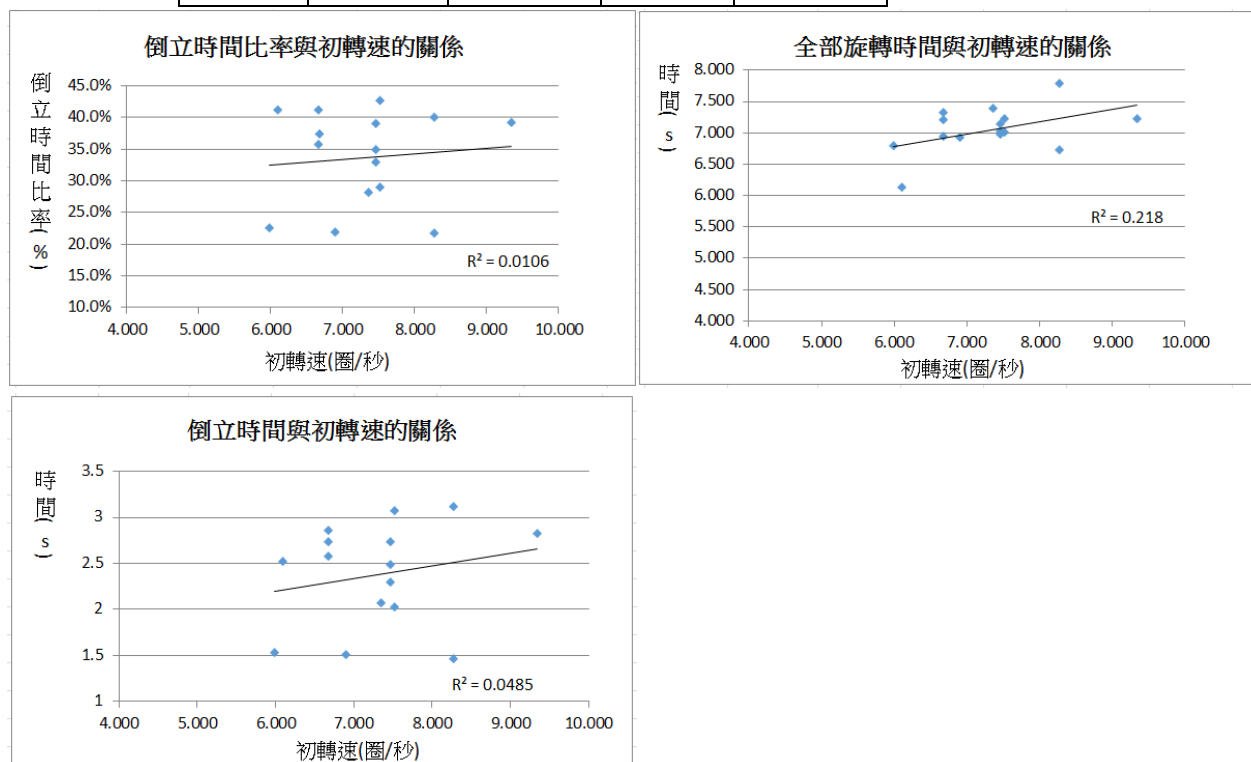
由上圖中我們可以發現，厚度越厚，倒立時間所佔比率越高，但是不是很明顯。

二、實驗二、旋轉初速度對於站立時間的影響

我們想要了解旋轉的初速度會不會影響陀螺倒立的情況，分析 2 片厚度，直徑 20cm 得陀螺實驗數據，實驗結果如下表，並繪製成下圖：

表二、2 片厚度，直徑 20cm 陀螺的實驗結果

次別	倒立時間	全部時間	初轉速	倒立比率
1	2.286	6.958	7.463	32.9%
2	1.453	6.721	8.264	21.6%
3	1.502	6.917	6.897	21.7%
4	1.518	6.778	5.988	22.4%
5	2.063	7.373	7.353	28.0%
6	2.817	7.208	9.346	39.1%
7	2.847	6.935	6.667	41.1%
8	2.012	6.989	7.519	28.8%
9	3.104	7.776	8.264	39.9%
10	2.721	7.006	7.463	38.8%
11	3.060	7.207	7.519	42.5%
12	2.481	7.123	7.463	34.8%
13	2.515	6.120	6.098	41.1%
14	2.726	7.306	6.676	37.3%
15	2.566	7.190	6.667	35.7%



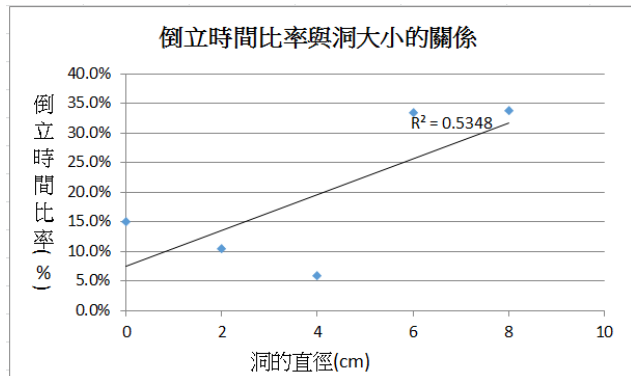
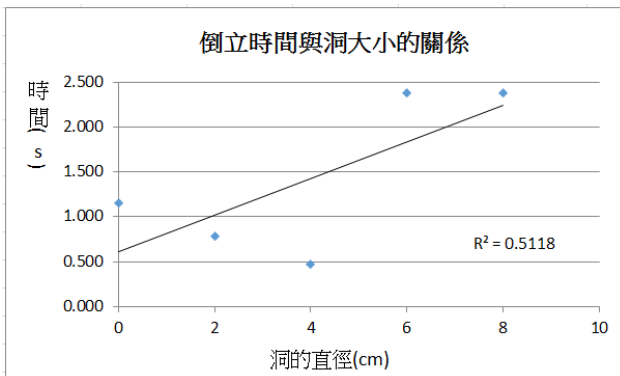
討論：

由以上的圖表我們可以發現，旋轉的初速度對倒立時間，全部旋轉時間及倒立時間的比率影響不大。

三、實驗三、探討洞的大小對於站立時間的影響

我們將實驗結果整理如下表，並繪製成下圖：

洞大小(cm)	倒立時間	全部時間	初轉速	倒立比率
0	1.139	7.670	6.943	14.9%
2	0.771	7.442	6.690	10.4%
4	0.458	7.995	6.357	5.7%
6	2.378	7.128	6.677	33.3%
8	2.378	7.040	7.310	33.7%



討論：

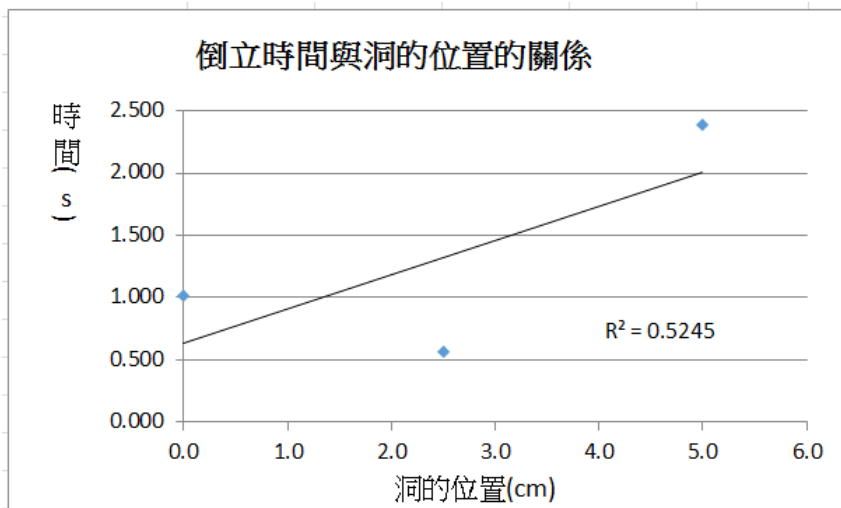
由以上的圖表我們可以發現，

1. 就算沒有洞，在旋轉過程中，陀螺的邊也會上上下下的移動
2. 洞太小時，對於倒立的影響很小，但是當洞變大到一定大小時，會明顯增加陀螺旋轉過程中倒立的時間及倒立時間的比例。

四、實驗四、探討洞的位置對於站立時間的影響

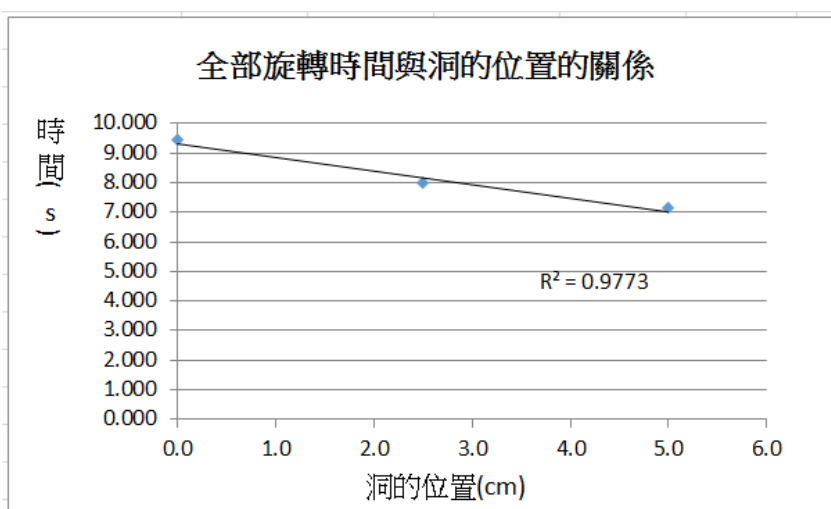
我們將實驗結果整理如下表，並繪製成下圖：

兩圓心距(cm)	倒立時間	全部時間	初轉速	倒立比率
0.0	1.006	9.425	6.025	10.7%
2.5	0.561	7.973	5.816	6.9%
5.0	2.378	7.128	6.677	33.3%



討論 1：

由上圖我們可以知道，洞越接近陀螺圓心，倒立時間會較短，洞越靠近陀螺邊緣，倒立時間會變長。



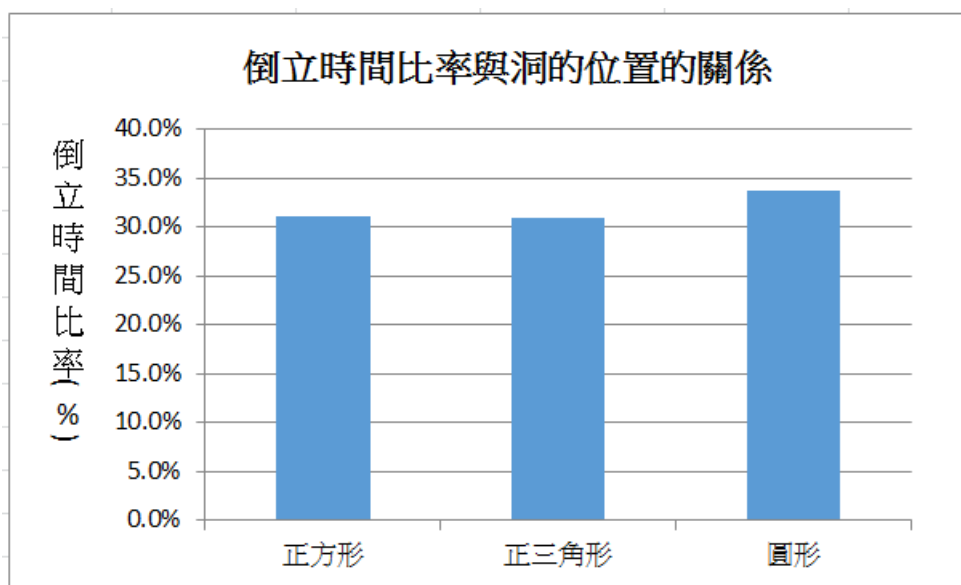
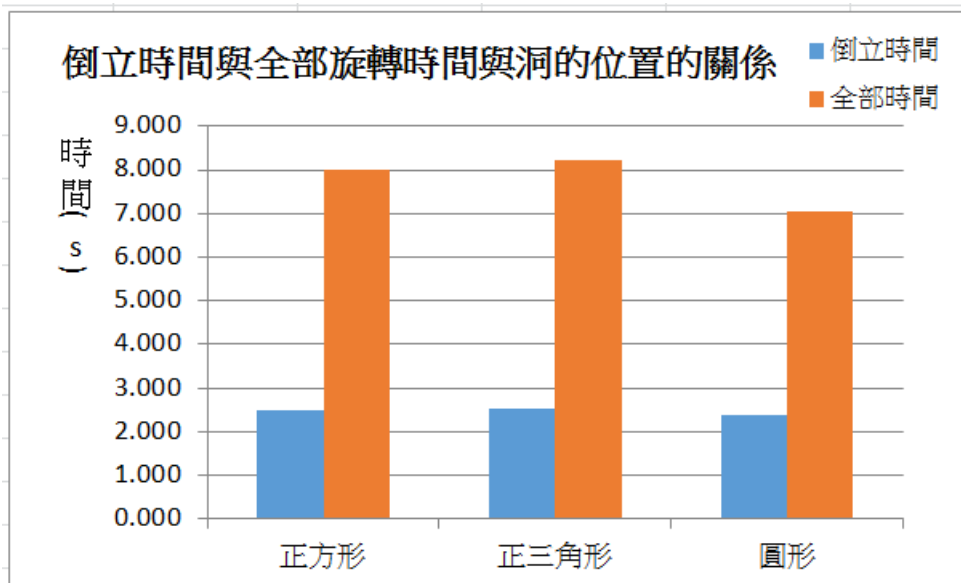
討論 2：

由上圖我們可以知道，洞越接近陀螺圓心，全部的旋轉時間會較長，洞越靠近陀螺邊緣，全部的旋轉時間會變短。我們猜測是因為風的阻力造成的影響變小造成的結果。

五、實驗五、探討洞的形狀對於站立時間的影響

我們將實驗結果整理如下表，並繪製成下圖：

形狀	倒立時間	全部時間	初轉速	倒立比率
正方形	2.490	7.984	7.484	31.0%
正三角形	2.522	8.216	7.302	30.9%
圓形	2.378	7.040	7.310	33.7%



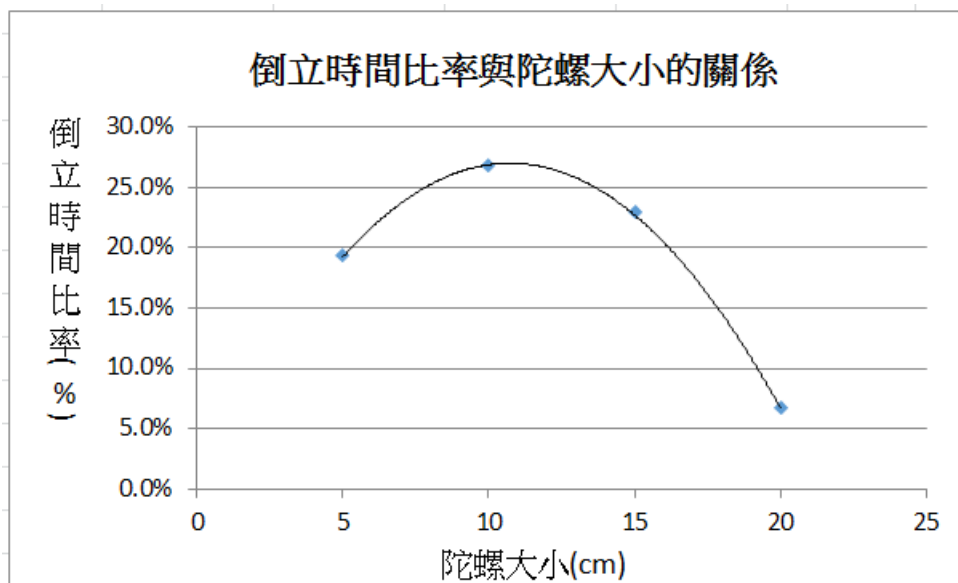
討論：

由上圖我們可以知道，洞的形狀對陀螺旋轉時的倒立時間與倒立時間所佔比率影響不大，但還是以圓形的倒立時間比率較高。

六、實驗六、探討陀螺的大小對於站立時間的影響

我們將實驗結果整理如下表，並繪製成下圖：

陀螺大小	倒立時間	全部時間	初轉速	倒立比率
5	0.838	4.271	13.698	19.3%
10	2.178	7.894	10.013	26.7%
15	2.174	9.295	8.197	22.9%
20	0.547	7.973	6.266	6.7%



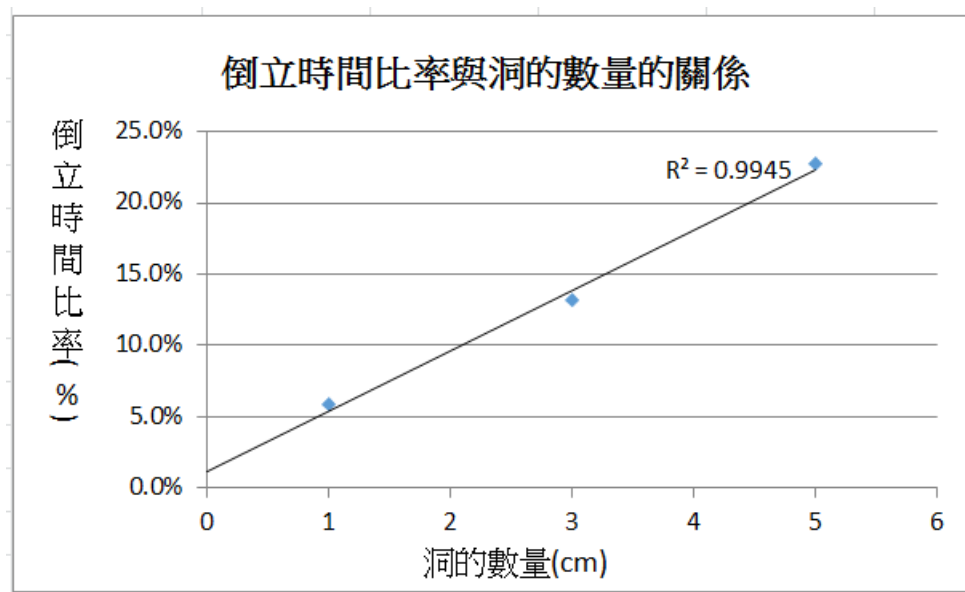
討論：

由上圖我們可以知道，在我們這個實驗條件下，陀螺大小對陀螺旋轉時的倒立時間與倒立時間所佔比例有一定的影響，太大或太小都會造成倒立旋轉的時間下降，也會造成倒立時間所佔比率下降。

七、實驗七、探討不同洞的數量對於站立時間的影響

我們將實驗結果整理如下表，並繪製成下圖：

洞的數量	倒立時間	全部時間	初轉速	倒立比率
0	1.139	7.670	6.943	14.9%
1	0.458	7.995	6.357	5.7%
3	1.157	8.596	7.038	13.1%
5	1.971	8.523	7.180	22.7%



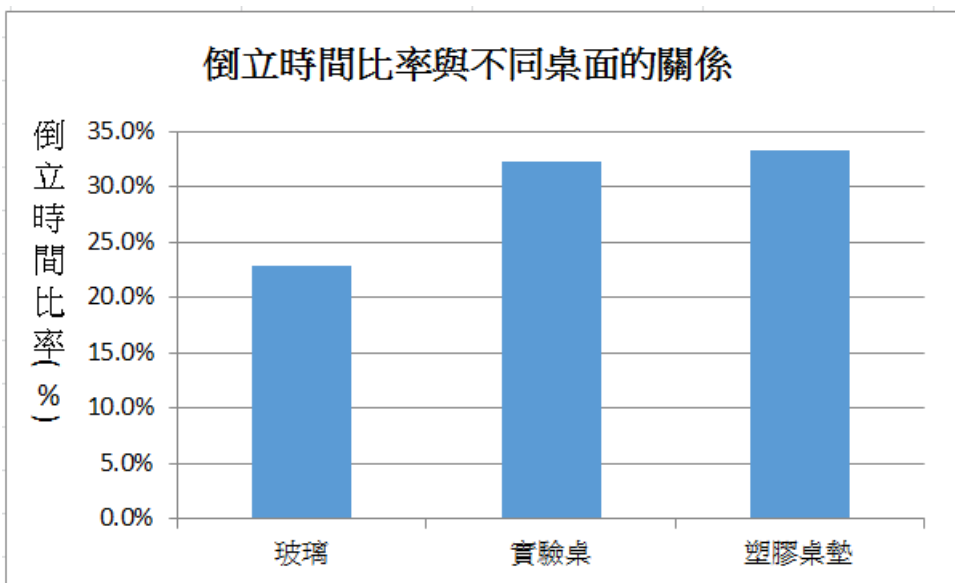
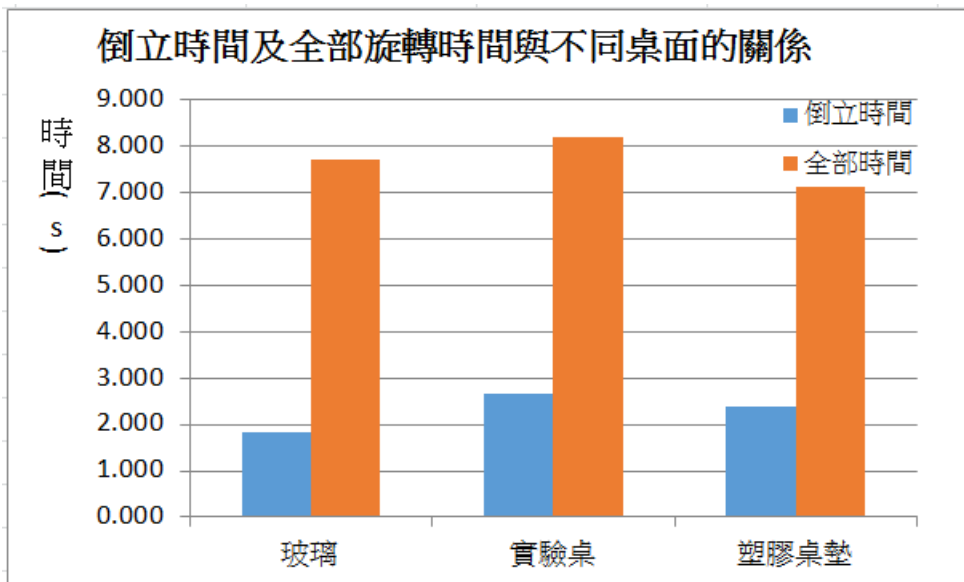
討論：

如果不考慮沒有洞的陀螺，我們由上圖可以知道，洞的數量越多，陀螺旋轉時的倒立時間與倒立時間所佔比例會越高，幾乎是成正比的關係。

八、實驗八、探討不同接觸面材質對於陀螺旋轉倒立的影響

我們將實驗結果整理如下表，並繪製成下圖：

接觸面	倒立時間	全部時間	初轉速	倒立比率
玻璃	1.820	7.706	7.895	22.9%
實驗桌	2.665	8.187	6.666	32.2%
塑膠桌墊	2.378	7.128	6.677	33.3%



討論：

本來我們猜測，玻璃的摩擦力比較小，應該有利於陀螺的旋轉，但實驗發現反而玻璃桌面旋轉時間最短，倒立時間也最短，所以我們猜測，陀螺與桌面有適當的摩擦力，有利於陀螺旋轉時保持倒立。

九、實驗九、探討特殊構造陀螺對於站立時間的影響

我們原本猜測，當重心偏向一邊時，會使陀螺倒立的情況更明顯，但實際實驗發現，陀螺會東倒西歪，很快停止旋轉，當空心處轉到下方時，陀螺會已接近水平桌面方向傾倒，但當重心的部分轉到下方時，陀螺又會以垂直的方向站起，非常奇特，而且在很短的時間內就停止旋轉了，我們將結果截圖如下，並整理旋轉時間如下表。



特殊洞	t1	t5	全部時間(秒)
第 1 次	2.402	4.423	2.021
第 2 次	2.052	3.804	1.752
第 3 次	2.119	3.954	1.835
第 4 次	2.153	4.164	2.011
第 5 次	2.002	3.537	1.535
第 6 次	2.086	3.821	1.735
第 7 次	2.503	3.694	1.191
第 8 次	2.319	4.605	2.286
第 9 次	2.271	3.570	1.299
第 10 次	4.121	5.856	1.735
平均			1.740

討論：

由以上的實驗結果，我們發現重心太過偏一邊，不利於陀螺的旋轉，而且旋轉時陀螺重心快速的上上下下，與正常情況下的倒立陀螺旋轉模式有很大不一樣。

陸、 結論：

綜合以上的實驗結果，在我們的實驗條件下，可以得到以下的結論：

1. 陀螺厚度較薄時，倒立時間短，且全部的旋轉時間也較短，厚度增加，倒立時間變長，且全部的旋轉時間也變長，厚度越厚，倒立時間所佔比率越高
2. 旋轉的初速度對陀螺旋轉時的倒立時間，全部旋轉時間及倒立時間的比率影響不大。
3. 就算沒有洞，在旋轉過程中，陀螺的邊也會上上下下的移動
4. 洞太小時，對於倒立的影響很小，但是當洞變大到一定大小時，會明顯增加陀螺旋轉過程中倒立的時間及倒立時間的比例。
5. 洞越接近陀螺圓心，倒立時間會較短，洞越靠近陀螺邊緣，倒立時間會變長，倒立時間所佔比例也會增加。
6. 洞越接近陀螺圓心，全部的旋轉時間會較長，洞越靠近陀螺邊緣，全部的旋轉時間會變短。我們猜測是因為風的阻力造成的影響變小造成的結果。
7. 洞的形狀對陀螺旋轉時的倒立時間與倒立時間所佔比率影響不大，以圓形的倒立時間比率較高。
8. 陀螺太大或太小都會造成倒立旋轉的時間下降，也會造成倒立時間所佔比率下降。
9. 洞的數量越多，陀螺旋轉時的倒立時間與倒立時間所佔比例會越高，幾乎是成正比的關係。
10. 陀螺與桌面有適當的摩擦力，有利於陀螺旋轉時保持倒立。
11. 重心太過偏一邊，不利於陀螺的旋轉，會很快倒下。

柒、 參考文獻:

一、參考文獻

1. 鄭永銘，跟著鄭大師玩科學親子活動（二十九）重心遊戲

http://www.masters.tw/98131/%E8%A6%AA%E5%AD%90%E6%B4%BB%E5%8B%9529?utm_campaign=shareaholic&utm_medium=facebook&utm_source=socialnetwork，2018/9/15