

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組物理科

080120

臺南市東區東光國民小學

指導老師姓名

王雅麗

陳明足

作者姓名

孫于景

周興儒

郭家宏

郭曉芮

林孟好

# 中華民國第四十四屆中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：挑戰爺爺的戰鬥陀螺

關 鍵 詞： 陀螺、旋轉運動、重力（最多三個）

編 號：

製作說明：

- 1.說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。
- 2.編號由國立臺灣科學教育館統一編列。
- 3.封面編排由參展作者自行設計。

## 壹、摘要

我們參加學校的活動中，對陀螺產生了興趣。在老師的指導下，從事了各種不同的實驗。在實驗中，我們發現了不同的操縱變因，會對陀螺的轉動產生影響；也發現了，當陀螺在轉動時，會產生一股力量，使小白球、衛生紙條、煙霧等繞著陀螺運動。

## 貳、研究動機

參加學校的科學活動，同學們都在比較誰的陀螺轉得最久，有的葉片是圓形，有的是六邊形，也有的是三角形，還有些繞的線比較長...，結果轉動的時間都不同，甚至同一個陀螺每次轉動的時間都不太一樣。這樣的比賽是不公平的，也沒什麼意思。所以我們想，要怎樣比賽才公平？

當大家在比賽時，有些人在黑板前面的桌子上玩，真奇怪，有時粉筆灰會在葉片的下方旋轉，有時粉筆灰會被推開，怎麼會這樣呢？我們就利用中午午休時間，在自然教室一起做做看。下面是研究的過程和結果。

教材的相關性：自然與生活科技（南一版）第六冊巧妙的施力工具。

## 參、研究目的

- 一、知道哪些變因會影響戰鬥陀螺轉動的時間。
- 二、知道戰鬥陀螺轉動時，葉片周圍會發生怎樣的變化。

## 肆、研究問題

- 一、哪些變因會影響戰鬥陀螺的轉動？
- 二、斜面的傾斜角度不同，會影響陀螺轉動的路線嗎？
- 三、戰鬥陀螺轉動時，葉片周圍的煙霧、衛生紙條和小白球會有什麼變化？

## 伍、研究器材與設備

### 一、材料：

- (一) 葉片：奶瓶紙。
- (二) 軸：原子筆筒。
- (三) 軸心：孟宗竹片。
- (四) 線：棉線、尼龍線等。
- (五) 定滑輪。
- (六) 重物：螺帽(6 個)。
- (七) 計時器。
- (八) 微調毫克天平。

### 二、製作方法：

- (一) 葉片：葉片形狀不同、大小不同。
- (二) 軸：利用筆筒鋸成 4cm 的管子當軸。
- (三) 軸心：利用孟宗竹片削成柱狀。
- (四) 實驗器材：保麗龍球旋轉器，真空瓶實驗器，斜面實驗器。

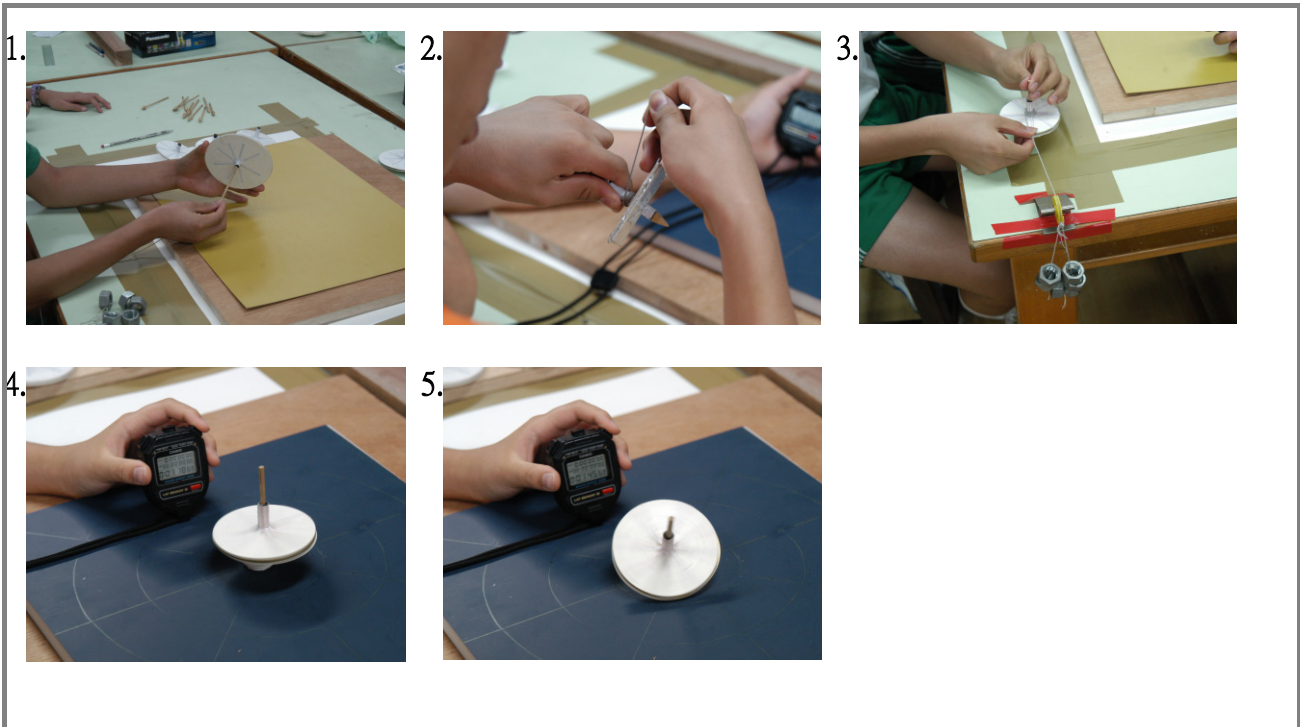
### 三、玩法：

- (一) 把定滑輪放置在桌邊，用膠帶固定。
- (二) 利用棉線繫上 6 個大螺帽。
- (三) 在棉線的另一端繞緊「陀螺」的軸，共 12 圈。
- (四) 把繫螺帽一端的棉線掛在定滑輪的廓槽上。一手握住陀螺的軸心，另一手壓住葉片及棉線。
- (五) 把棉線及葉片放開，螺帽會往地面下墮，「陀螺」會開始轉動。

製作戰鬥陀螺：(由左至右、由上而下)



戰鬥陀螺的玩法

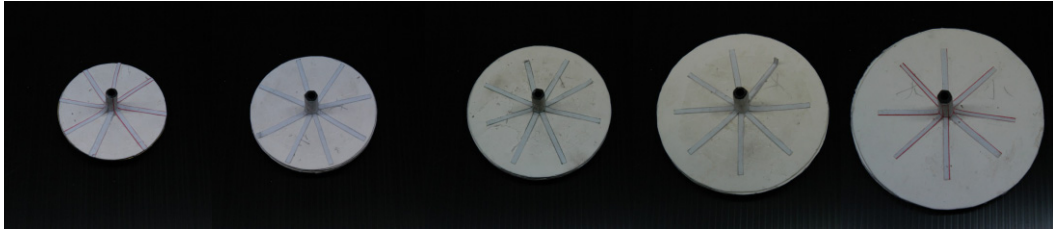


## 陸、研究過程

活動一：哪些變因會影響戰鬥陀螺的轉動？

(實驗一)：葉片的大小不同，陀螺轉動時間的比較。

1.操縱變因：葉片大小不同：(葉片直徑分別為：8、9、10、11、12cm)。



2.保持不變的變因：葉片的重量相同、相同的軸心、同一條棉線、纏繞的圈數(12圈)、螺帽數(6只)、接觸面(西卡紙上的瓶蓋)、同一人操作、同一人計時。

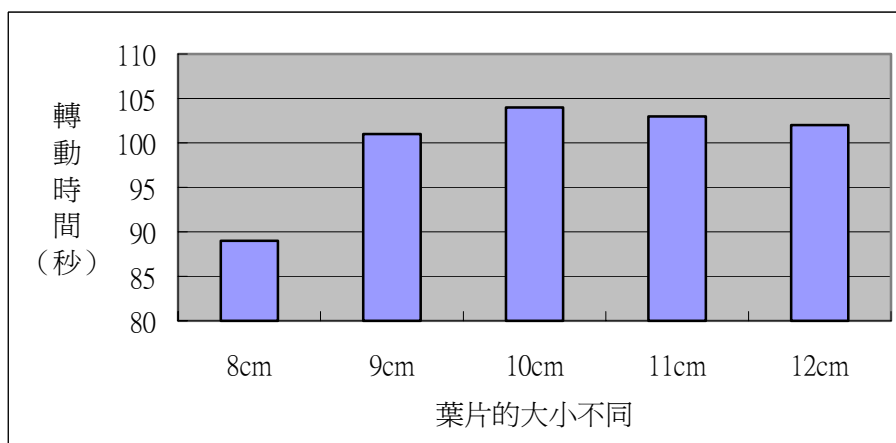
3.應變變因：陀螺轉動的時間(以秒計時，小數以後無條件捨去)。

4.實驗結果：

單位：秒

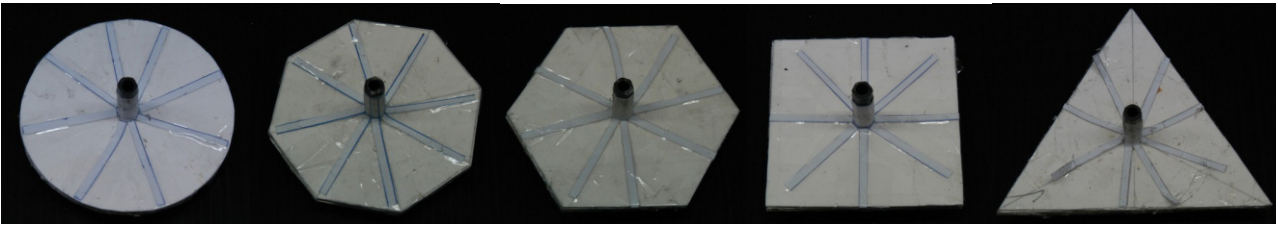
次數 直徑	1	2	3	4	5	合計	平均
8cm	91	87	89	89	90	446	89
9cm	95	104	105	103	100	507	101
10cm	105	105	103	105	103	521	104
11cm	105	103	103	106	102	519	103
12cm	95	106	106	108	99	514	102

5.比比看



(實驗二)：葉片的形狀不同，陀螺轉動時間的比較。

1.操縱變因：葉片的形狀不同（分別為○ ○ 六邊形 □ △）。



2.保持不變的變因：(參考實驗一)

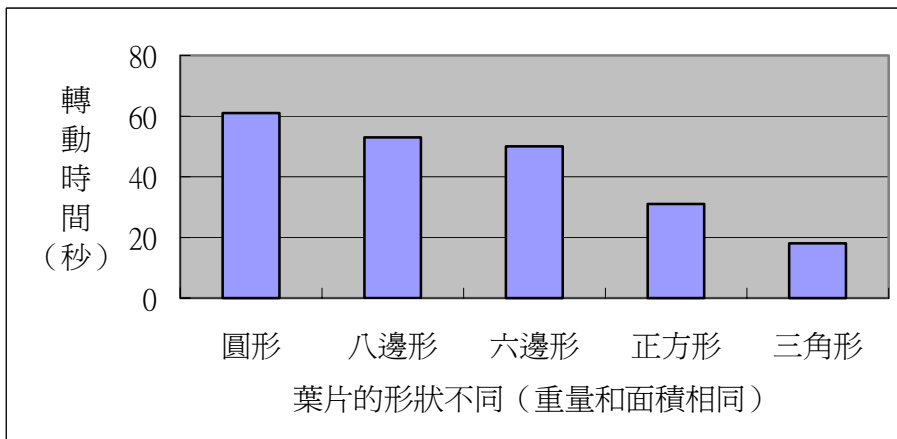
3.應變變因：陀螺轉動的時間(秒)

4.實驗結果：

單位：秒

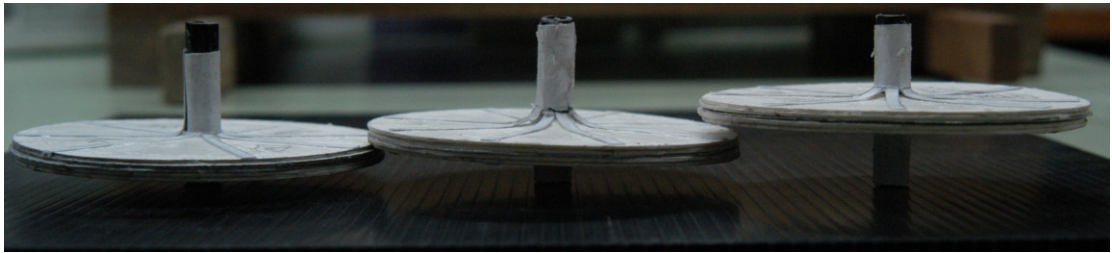
次數 形狀	1	2	3	4	5	合計	平均
○	63	61	60	59	62	305	61
○	53	55	49	50	59	266	53
六邊形	49	52	48	51	53	253	50
□	30	32	31	31	32	156	31
△	18	20	20	18	18	94	18

5.比比看：



(實驗三)：葉片在軸的位置不同，轉動時間的比較。

1.操縱變因：葉片在軸的位置不同(分別為：離軸的底端 0.5cm、1.0cm、1.5cm、2.0cm、2.5cm)。



2.保持不變的變因：(參考實驗一)

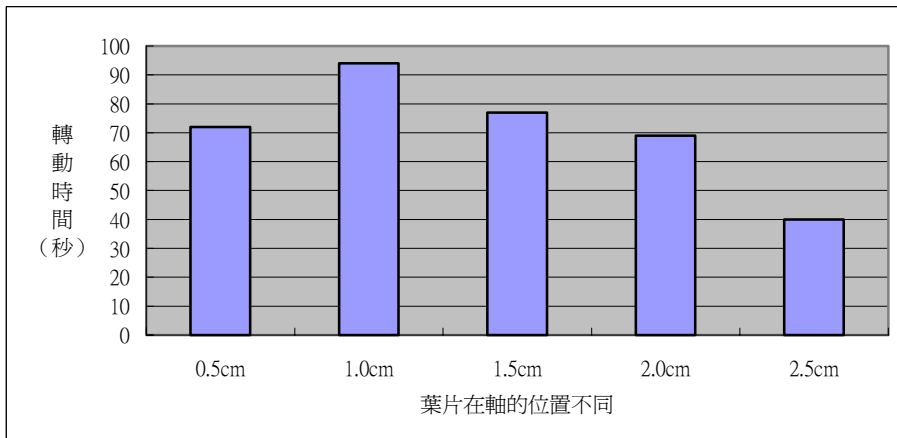
3.應變變因：陀螺轉動的時間(秒)。

4.實驗結果：

單位：秒

次數 距離	1	2	3	4	5	合計	平均
0.5cm	74	72	74	71	71	362	72
1.0cm	94	88	92	104	96	474	94
1.5cm	77	78	78	73	79	385	77
2.0cm	70	70	67	68	71	346	69
2.5cm	38	43	41	41	38	201	40

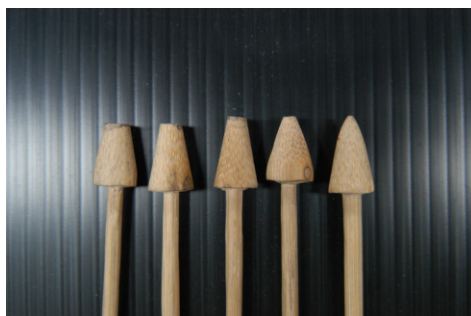
5.實驗比較：





(實驗四)：軸心尖端的尖鈍不同，陀螺轉動時間的比較。

1.操縱變因：軸心尖端尖鈍不同分別為：一、二、三、四、五號，分別為（一號：



2.保持不變變因：(參考實驗一)

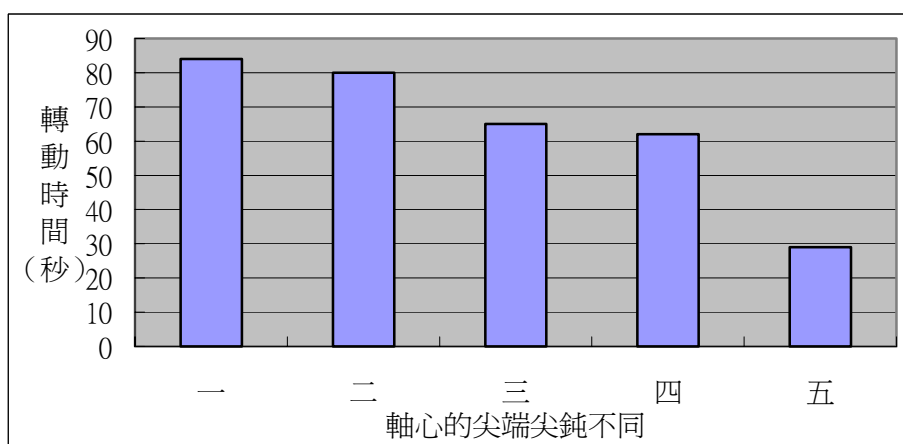
3.應變變因：陀螺轉動的時間(秒)。

4.實驗結果：

單位：秒

次數 編號	1	2	3	4	5	合計	平均
一	88	89	82	82	81	422	84
二	82	78	82	78	81	401	80
三	59	67	67	70	66	329	65
四	56	61	65	64	64	310	62
五	28	30	29	30	31	148	29

5.實驗比較：



(實驗五)：拉線的質料不同，陀螺轉動時間的比較。

1.操縱變因：拉線的質料不同(編號分別為：1~12 號)。



2.保持不變變因：(參考實驗一)

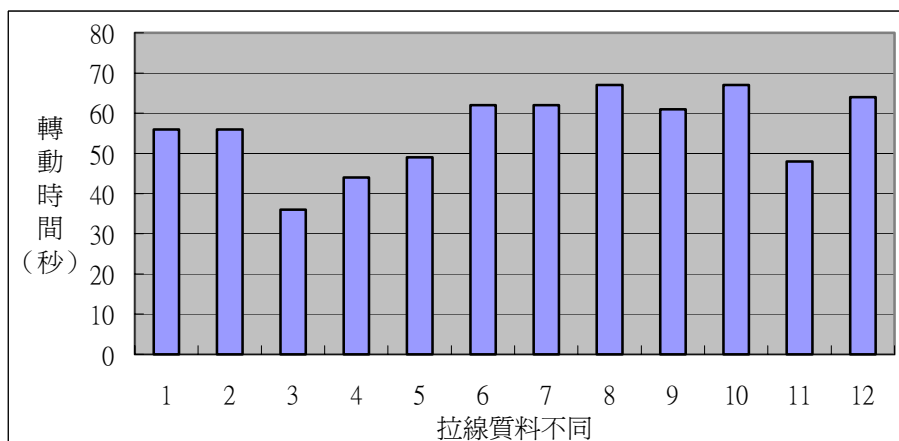
3.應變變因：陀螺轉動的時間(秒)。

4.實驗結果：

單位：秒

次數 編號	1	2	3	4	5	合計	平均
1	48	56	55	64	59	282	56
2	48	61	66	60	48	283	56
3	30	31	43	39	40	183	36
4	43	47	44	36	54	224	44
5	45	60	53	40	50	248	49
6	69	60	70	62	53	314	62
7	70	74	47	59	62	312	62
8	54	70	66	71	76	337	67
9	68	58	67	54	59	306	61
10	72	79	56	54	74	335	67
11	43	54	43	58	43	241	48
12	60	69	50	71	71	321	64

5.實驗比較：



(實驗六)：拉線的長度(圈數)不同，陀螺轉動時間的比較。

1.操縱變因：拉線的圈數不同(分別纏繞：15,12,9,6,3 圈)。

2.保持不變變因：(參考實驗一)

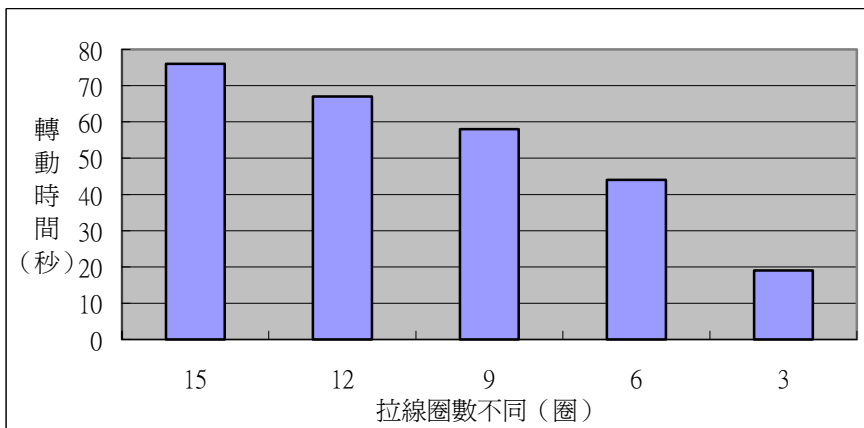
3.應變變因：陀螺轉動的時間(秒)。

4.實驗結果：

單位：秒

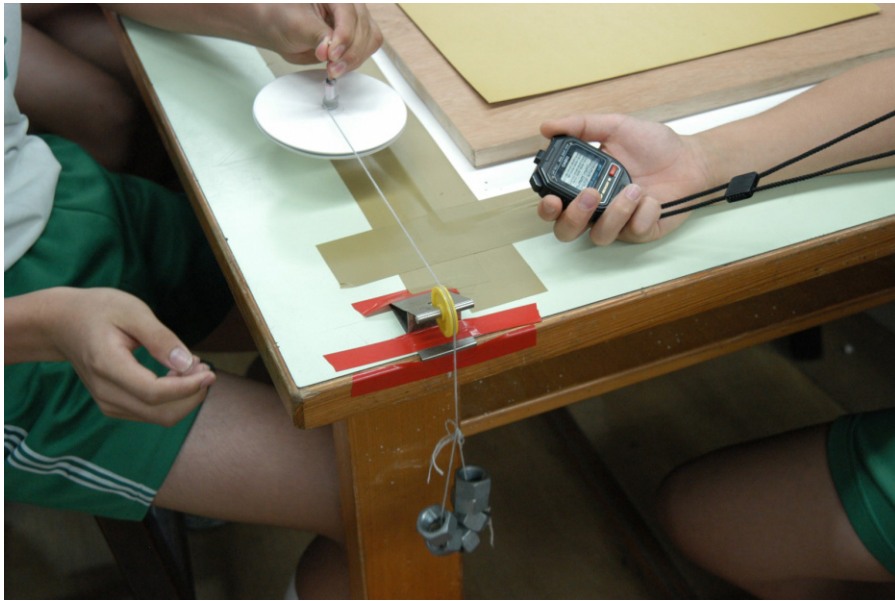
次數 圈數	1	2	3	4	5	合計	平均
15	77	78	80	75	74	384	76
12	75	70	68	64	62	339	67
9	53	58	62	55	63	291	58
6	47	45	43	42	46	223	44
3	22	18	16	23	16	95	19

5.實驗比較：



(實驗七)：螺帽數的不同(用力的大小)，陀螺轉動時間的比較。

1.操縱變因：螺帽的數量不同(分別為：1、2、3、4、5、6個)。



2.保持不變變因：(參考實驗一)

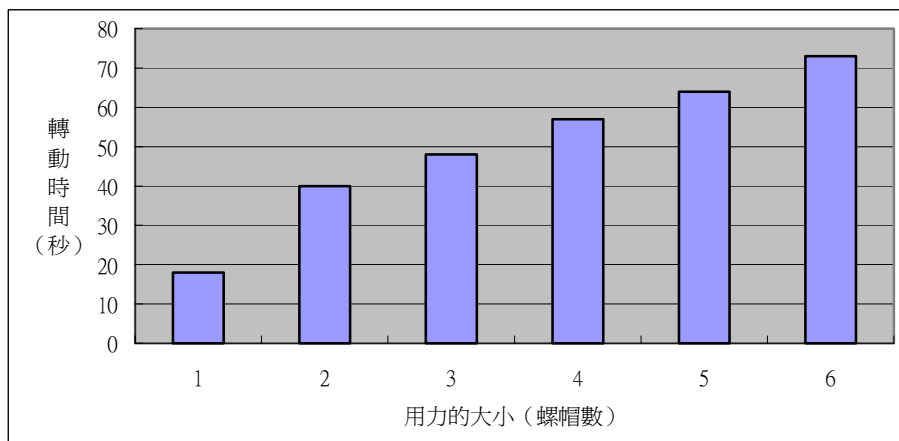
3.應變變因：陀螺轉動的時間(秒)。

4.實驗結果：

單位：秒

次數 螺帽數	1	2	3	4	5	合計	平均
1	18	21	16	14	23	92	18
2	43	38	41	36	42	200	40
3	50	53	45	48	46	242	48
4	58	56	61	56	58	289	57
5	68	65	63	64	64	324	64
6	75	70	69	78	76	368	73

5.實驗比較：



(實驗八)：接觸面的質料不同，陀螺轉動時間的比較。

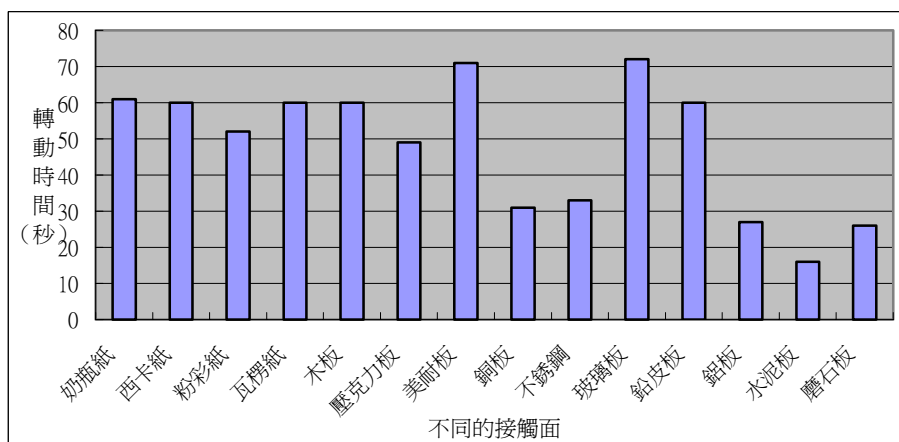
- 1.操縱變因：接觸面的質料不同。
- 2.保持不變變因：(參考實驗一)
- 3.應變變因：陀螺轉動的時間(秒)。

4.實驗結果：

單位：秒

種類 \ 次數	1	2	3	4	5	合計	平均
奶瓶紙	62	69	67	54	53	305	61
西卡紙	59	60	63	64	54	300	60
粉彩紙	51	53	57	51	49	261	52
瓦楞紙	69	67	58	53	57	304	60
木板(夾板)	64	65	65	54	56	304	60
壓克力板	50	41	49	52	53	245	49
美耐板	61	66	76	80	76	359	71
銅板	33	29	33	31	29	155	31
不銹鋼	33	34	30	34	35	166	33
玻璃板	69	71	73	76	72	361	72
鉛皮板	61	62	58	64	59	304	60
鋁板	26	28	28	30	26	138	27
水泥板	15	14	18	20	16	83	16
磨石板	31	32	34	33	32	131	26

5.實驗比較：



(實驗九)：接觸面的粗細不同，陀螺轉動時間的比較。

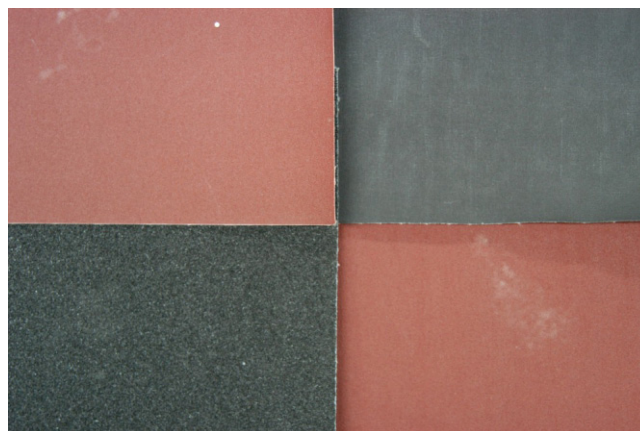
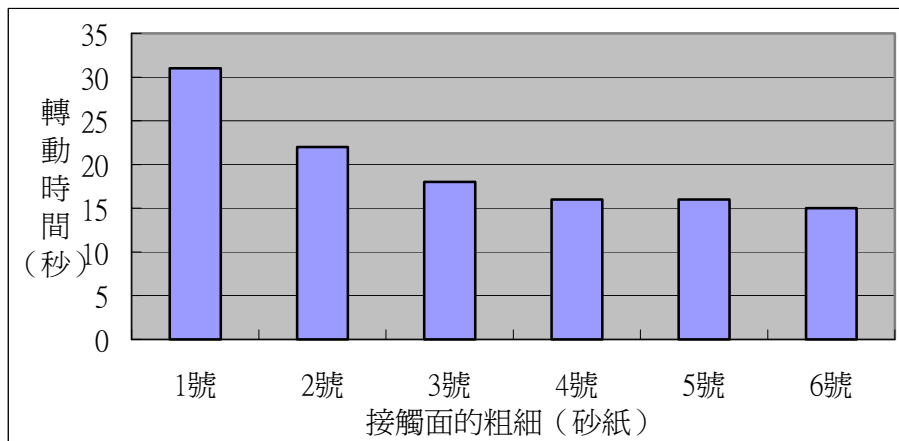
- 1.操縱變因：接觸面的粗細不同(使用砂紙的粗細做陀螺的接觸面，砂紙的粗細編號分別為：1~6 號)。
- 2.保持不變變因：(參考實驗一)
- 3.應變變因：陀螺轉動的時間(秒)。

4.實驗結果：

單位：秒

次數 號碼	1	2	3	4	5	合計	平均
1 號	32	31	32	30	31	156	31
2 號	23	22	23	22	21	111	22
3 號	18	19	18	18	19	92	18
4 號	17	17	17	18	15	84	16
5 號	17	17	16	16	17	83	16
6 號	15	15	16	15	15	76	15

5.實驗比較：



不同粗細的砂紙

### 討論一：陀螺轉動的時間和葉片大小的關係。

陀螺開始轉動，速度快又平穩；當轉動速度變慢時，陀螺開始晃動，葉片越小，晃動一下子就倒下了；葉片越大時，晃動時間越久，較不容易傾倒。

### 討論二：陀螺轉動的時間和葉片形狀的關係。

(一) 當陀螺的葉片形狀不同，面積大小相同，陀螺轉動時間的長短順序分別為：



(二) 葉片是圓形的陀螺，轉動時，很平穩，即使在輕微搖晃，也能支撐得久；而正方形和三角形的葉片轉動時容易搖晃而即刻傾倒。

### 討論三：陀螺轉動的時間和葉片在軸的位置的關係。

我們想可能是陀螺的葉片距離接觸面近，使重心低，轉動時，葉片平穩，轉動的時間久；當陀螺的葉片距離接觸面遠，重心高，葉片晃動一下就傾倒了。

### 討論四：陀螺轉動的時間和軸心尖端尖鈍的關係。

軸心尖端的尖鈍會影響陀螺轉動的時間，軸尖較尖的軸心(如：一號)，在陀螺轉動時，會固定在紙面上，很少移動，所以轉動的時間久；而軸尖較鈍的軸心(如：五號)，在陀螺轉動時，不會固定在定點上轉動，還會跳動，容易傾倒，所以轉動的時間短。

### 討論五：陀螺轉動的時間和拉線質料的關係。

我們利用棉線(粗細不同)，毛線、尼龍線、橡膠繩及麻線等，來纏繞陀螺的軸，結果轉動時間都不同，例如：利用棉線纏繞陀螺的軸，因為繞得緊，可以使陀螺轉得快又久；可是利用較粗的線來纏繞陀螺的軸時，容易鬆掉，而且繩子掛在定滑輪的溝槽上會滑，產生的力量較小，使陀螺轉動的時間短。

### 討論六：陀螺轉動的時間和拉線長度(圈數)的關係。

我們利用棉線纏繞陀螺，用 6 個螺帽下墜的力量，來帶動陀螺轉動。當纏繞圈數多時(如：9、12、15 圈)，陀螺就會轉得很平穩，而且轉得久；當陀螺纏繞的圈數少時(如：6、3 圈)，拉動陀螺轉動的時間短，陀螺會不停的晃動，最後倒下來。

### 討論七：陀螺轉動的時間和螺帽數(用力的大小)的關係。

螺帽個數的不同會影響陀螺轉動的時間，當螺帽數少時(如：3 個)，帶動陀螺的力量就小，所以陀螺的葉片只會慢慢的轉動，陀螺轉動時也會不停的晃動，一下子就倒了；當螺帽數變多時(如：4 個~6 個)，帶動陀螺的力量就大，葉片的轉動速度快，陀螺就會轉得平穩，所以轉動的時間就長。

### 討論八：陀螺轉動的時間和接觸面質料的關係。

陀螺在粗糙的接觸面上轉動時，(如：奶瓶紙、西卡紙等)會在固定的地方轉動，而不會一直移動，所以轉得很平穩，也很久；而在光滑的接觸面(如：壓克力板、鋁板等)轉動時，陀螺容易移動，而且也會因為不穩而倒下。

### 討論九：陀螺轉動的時間和接觸面粗細的關係。

陀螺在粗細不同的砂紙上轉動，轉動的時間都不同，在細的砂紙上，陀螺會在固定的地方轉動，所以很平穩，轉動時間也很長；而在粗糙的砂紙上轉動，陀螺會不停的晃動及跳動，而且軸心尖端會被磨平，所以轉動的時間比較短。

## 活動二：斜面的傾斜角度不同，會影響陀螺轉動的路線嗎？

當我們在桌上玩陀螺時，只要桌面有點傾斜，它就不會在同一個定點轉動，隨著傾斜角度的不同在改變移動的方向，到底桌面的傾斜角度不同，對陀螺會產生什麼影響呢？所以接著就試著在不同的斜面上玩陀螺。

### (一) 變因控制：

- 1.操縱變因：斜面的傾斜角度不同（分別為：4、6、8、10、13、16度）。
- 2.保持不變變因：同一個陀螺、接觸面(奶瓶紙)、同一條棉線和纏繞的圈數(12圈)、螺帽數(6只)、同一人操作。
- 3.應變變因：陀螺移動的位置(分為不同的區域，如下圖)。

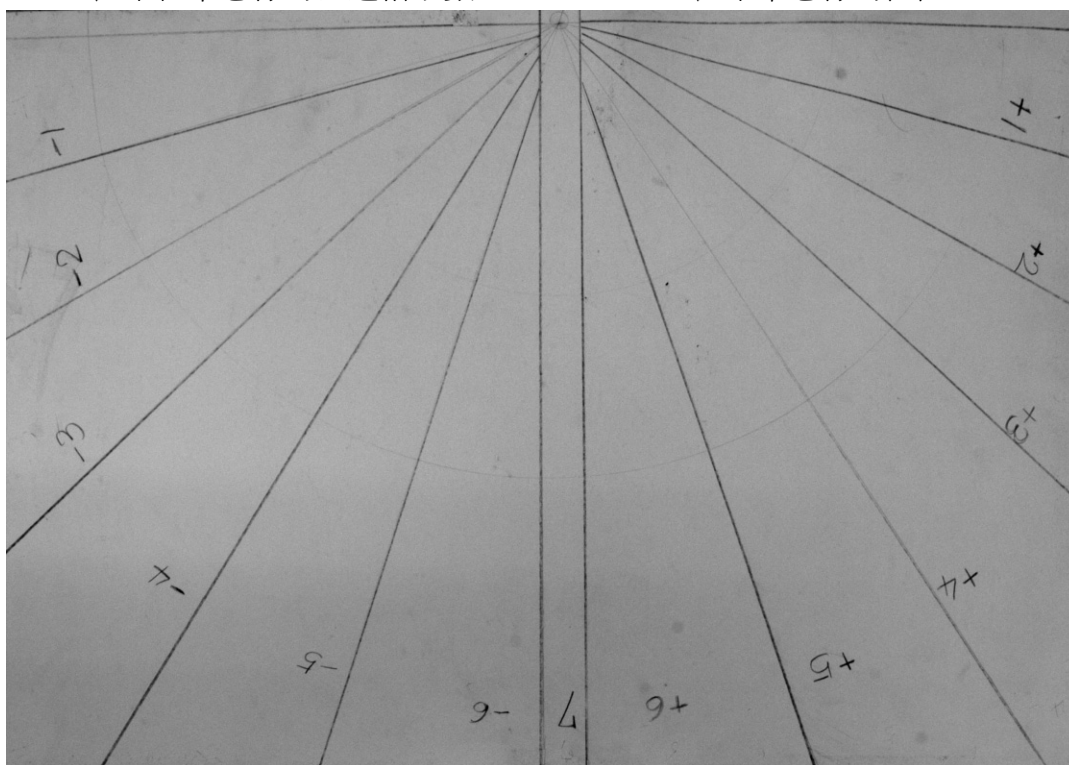
### (二) 實驗裝置：

斜面上的分格表示：

＋：表示在中心線右邊格子數

－：表示在中心線的左邊格子數

7：表示中心線的位置



### (三) 操作方法：

- 1.在斜板上方的中點做個記號：○
- 2.利用6個螺帽當動力，使陀螺轉動後，放在○裡。
- 3.觀察陀螺轉動時，移動的路線。



(四) 結果：

1. 陀螺順時針轉動時，移動的路線：

次數 角度	1	2	3	4	5
4 度	-5	-4	-5	-4	-5
6 度	-5	-5	-5	-5	-5
8 度	-6	-5	-6	-6	-6
10 度	-6	-6	7	7	7
13 度	7	7	7	7	7
16 度	7	7	7	7	7

2. 陀螺逆時針轉動時，移動的路線：

次數 角度	1	2	3	4	5
4 度	+4	+4	+4	+4	+4
6 度	+5	+5	+5	+5	+5
8 度	+6	+6	+6	+6	+6
10 度	7	7	7	7	7
13 度	7	7	7	7	7
16 度	7	7	7	7	7

(五) 討論：

陀螺在斜板上順時針轉動時，會往右邊(負的格子)方向移動，木板的傾斜角度越大時，陀螺會直線的往下移動，木板的傾斜角度越小時，陀螺會往右方的格子移動；陀螺逆時針轉動時，會往左邊(正的格子)方向移動，木板的傾斜角度越大時，陀螺也會直線的往下移動，木板的傾斜角度越小時，陀螺會往左方的格子移動。



### 活動三：戰鬥陀螺轉動時，葉片周圍的煙霧、衛生紙條和小白球會有什麼變化？

#### (實驗一)：陀螺轉動時，葉片周圍的煙霧會怎樣運動？

1.材料：線香、蚊香、火柴

2.方法：

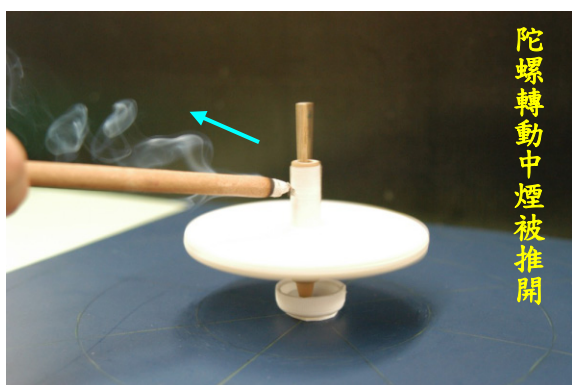
- (1) 自己設計一個操作平台(在圓形西卡紙上貼一個瓶蓋)。
- (2) 利用手拉力使陀螺轉動後，放入瓶蓋中，陀螺就不會亂跑了。
- (3) 分別把線香放在陀螺的周圍。(葉片上方、下方—靠近軸心、葉片中間、邊緣、外圍、距離葉緣 3cm)。
- (4) 在陀螺另一方，放置一張黑紙，觀察陀螺轉動時，白煙的運動方向。

3.結果：

線香位置	葉片的上方	葉片的下方
靠近軸心	被吹開	會繞軸心旋轉
葉片中心	被吹開，往上方的旁邊飄動。	會繞著軸心旋轉
葉片邊緣	被輕微的吹開，往上方飄動。	會沿著葉片的邊緣流動，而往切線的方向飄出去。
葉片外圍	煙會往上飄	會沿著葉片切線方向飄出去
距離葉緣 3cm	煙會往上飄	會往外圍流動

4.討論：

- (1) 香和陀螺的距離會影響煙的移動方向。
- (2) 煙在陀螺下方比較容易被吸進去，而繞著軸心旋轉。
- (3) 線香在葉片外圍的下方燃燒時，煙會沿著葉片的切線方向飄出去。當陀螺停止轉動時，煙會向上飄。
- (4) 當煙在葉片下方邊緣時，會沿著切線方向飄出去，而且會使燃燒的線香、蚊香燒得更旺盛。



(實驗二)：陀螺轉動時，葉片周圍的衛生紙條會怎樣運動？

1.材料：衛生紙條(0.2×3cm)。

2.方法：

(5) 將衛生紙條的一端，黏在西卡紙瓶蓋周圍的軌道上。

(6) 利用手拉力使陀螺轉動，並放在瓶蓋中。

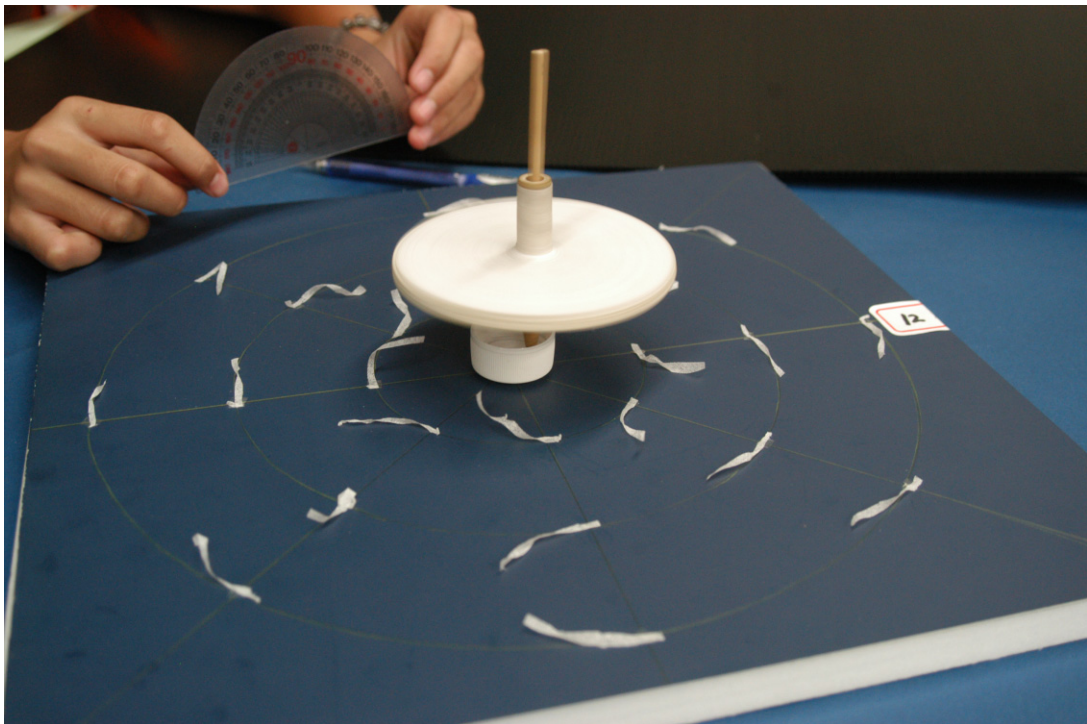
(7) 分別觀察衛生紙條的運動方向。

3.結果與討論：

(1) 陀螺轉動時，會帶動衛生紙條，循著陀螺轉動的方向飄動。當陀螺轉動快速時，衛生紙條也跟著快速飄動。

(2) 當陀螺一開始在瓶蓋內旋轉時，貼在最內圈的衛生紙條會朝向陀螺旋轉的方向；在第二圈的衛生紙條只有輕微的晃動；最外圈的衛生紙條則沒有飄動。

(3) 當陀螺旋轉較慢時，最內圈的衛生紙條只有輕微的晃動；第二圈、最外圈的衛生紙條都沒有飄動。



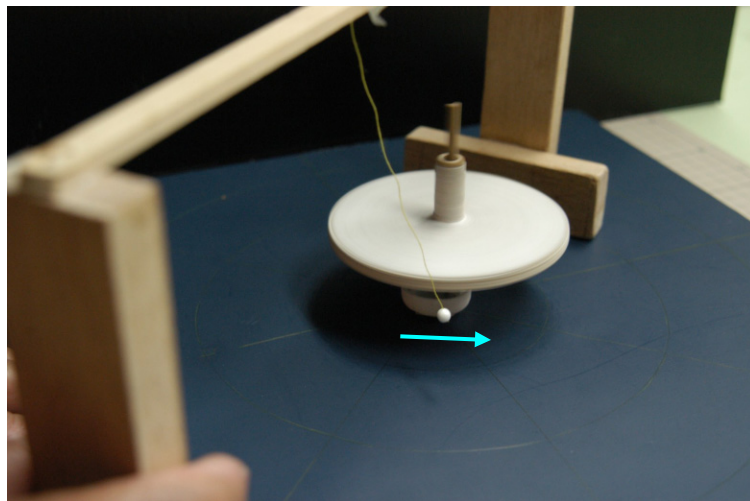
(實驗三)：陀螺轉動時，保麗龍球在陀螺葉片的四周會怎樣運動。

方法 1：小白球在葉片的上方

(1) 材料：厚的西卡紙圓盤、瓶蓋、棉線、架子、小的保麗龍球。

(2) 操作方法：

- ① 把支架放在西卡紙圓盤上。
- ② 在支架上吊著小白球，使小白球分別放在葉片的軸心旁、葉片中間、葉片邊緣、葉片外圍，葉片外圍的下方、距離葉緣 3cm 的地方。
- ③ 把轉動的陀螺放在西卡紙上的瓶蓋上。
- ④ 觀察小白球的運動。



(3) 實驗結果：

小白球的位置	小白球的運動
靠近軸心	小白球靜止，沒有晃動。
葉片中心	小白球靜止，沒有晃動。
葉片邊緣	陀螺搖晃時，小白球也會跟著有輕微的晃動。
葉片外圍	小白球會隨著陀螺葉片的轉動輕微的朝著葉片轉動的方向晃動。
葉片外圍的下方	小白球會隨著葉片的轉動順著切線的方向飄出去，而且晃動的很劇烈。
距離葉緣 3cm 的地方	小白球會隨著葉片的轉動順著切線的方向飄動，但比較輕微。

方法 2：小白球在陀螺葉片的下方

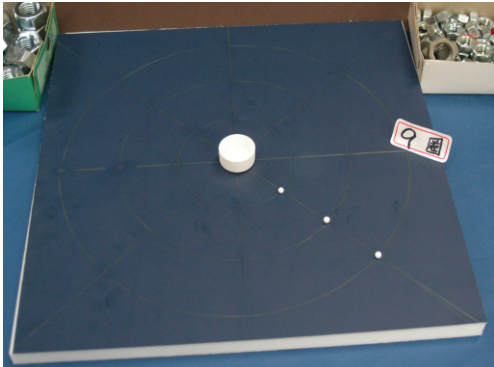
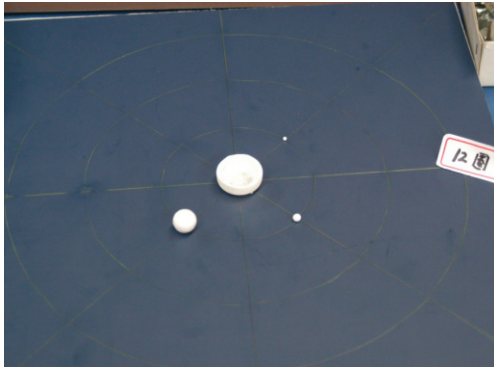
(1) 材料：厚的西卡紙圓盤、瓶蓋、棉線、架子、大小不同的保麗龍球(在圓盤上畫 3 個同心圓)。

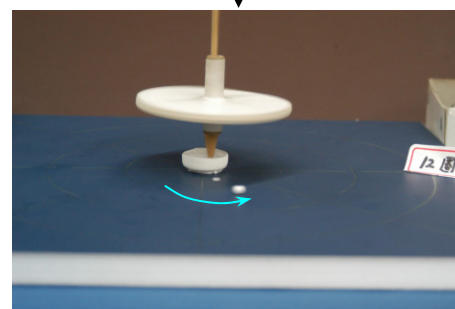
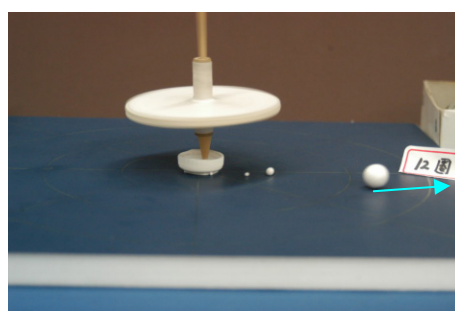
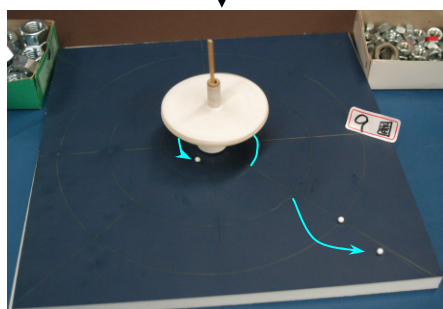
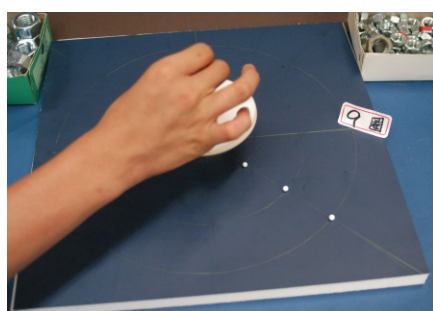
(2) 操作方法：

- ① 把小白球(3 顆)放在圓盤上同心圓的軌道上。
- ② 把轉動的陀螺放在西卡紙上的瓶蓋內。
- ③ 觀察小白球運動方向。
- ④ 棉線纏繞陀螺的圈數分別為：12、9、6 圈。
- ⑤ 小白球分別為：直徑：0.25cm、1.2cm、1.6cm。



(3) 實驗結果與討論：

放置位置	(1)三個小白球分別放在三個同心圓的軌道上	(2)三個不同大小的小白球放在同一個軌道上
圖  纏繞圈數		
	12	12
9	9	9
6	6	6



### (實驗四)：陀螺在真空瓶內轉動時，小白球的運動？

我們的想法：在前面的操作中，發現陀螺快速轉動時，會帶動周圍的空氣，使小白球跟著陀螺轉動。可是郭xx提出意見，如果陀螺在真空瓶中轉動，小白球還會跟陀螺轉動嗎？

(1) 材料：真空瓶(抽氣式)、貼上瓶蓋的培養皿、小白球、陀螺。

(2) 操作方法：

- ① 把棉線纏繞在陀螺軸上 12 圈，利用螺帽的重力，使陀螺快速轉動。
- ② 在真空瓶內的培養皿內放一個小白球。
- ③ 把轉動的陀螺放在瓶蓋上。
- ④ 蓋上真空瓶的蓋子，快速抽氣，使瓶內真空。
- ⑤ 觀察小白球會不會在培養皿內運動。
- ⑥ 做 5 次看看。

(3) 結果與討論：

我們原以為陀螺快速轉動時，會帶動葉片周圍的空氣流動，使小白球在軌道上運動。可是當陀螺在真空瓶裡快速轉動時，小白球在沒有空氣的瓶內也會跟著葉片的轉動而繞著陀螺的軸心轉動。從這個實驗中，我們可以大膽的假設：「陀螺的葉片快速轉動時，可能會產生一種力量，使小白球繞著陀螺的軸心運動。」

## 柒、結論

一、戰鬥陀螺轉動的時間會受到下面的影響：

- |               |                  |
|---------------|------------------|
| (一) 葉片的大小、形狀。 | (四) 拉線的質料、長短。    |
| (二) 葉片在軸的位置。  | (五) 用力的大小。       |
| (三) 軸心尖端的尖鈍。  | (六) 接觸面的材質、粗細不同。 |

二、在做實驗的時候，發現有些實驗裡的操縱變因有兩個變因，這樣會造成實驗的不精準，所以我們就設法將雙變因的實驗改成單變因，例如：

- (一) 在葉片大小不同的實驗中，每個葉片的重量都不同，所以我們利用金屬片的重量，來控制葉片的重量。
- (二) 葉片形狀不同的實驗中，每個葉片的面積、重量都控制得一樣。
- (三) 在實驗中，用手拉力使陀螺轉動，每次拉動的力量都不同，所以我們用 6 個螺帽的重力來控制用力的大小。

三、當陀螺在不同傾斜角度的斜面上轉動時，斜面的傾斜角越大，陀螺移動的速度越快；斜面的傾斜角度越小時，陀螺移動的速度越慢，角度也越大。

四、小白球在葉片的下方，陀螺轉速快時，小白球會沿著切線方向跑出去；陀螺轉速變慢時，小白球開始繞著陀螺的軸心轉動；當陀螺停下來時，小白球會停在瓶蓋旁邊。

五、戰鬥陀螺轉動時，會產生一種力量，使衛生紙條、煙霧和小白球會繞著陀螺的軸心運動，即使在真空瓶內也會使小白球很平穩的繞著軸心轉動。

## 捌、參考資料

小牛頓編輯委員會。74。抽出陀螺玩出歡樂。牛頓出版有限公司。28。P12~20。

國立台灣科學教育館彙編。第四十屆中小學科學展覽會優勝作品專輯國小組。第一版。台北。89。

## 評語

080120 國小組物理科 第三名

挑戰爺爺的戰鬥陀螺

1. 實驗資料器材記錄完備。
2. 研究方向與精神佳。
3. 變因控制良好，唯有些盲點。
4. 建議：陀螺之重量，重心與摩擦力可做整合性分析。