

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

最佳創意獎

080113

『珠』步高升---利用容器成功取起彈珠之研究

學校名稱：嘉義市東區崇文國民小學

作者：	指導老師：
小五 何政錡	吳惠如
小五 呂侑叡	蔡佳惠
小五 黃亮昕	
小四 黃宥芯	
小五 劉耀璘	

關鍵詞：內縮瓶口、旋轉物、機器手臂

摘要

本研究主要探究哪一種容器可以成功轉起容器內的旋轉物，在實驗過程中以塑膠容器為主。容易成功取起旋轉物的關鍵技巧為先把旋轉物轉到容器的最寬處再立刻將容器轉 180 度，可以增加成功取起旋轉物的機會。

成功取起旋轉物的關鍵因素為：內縮瓶口的傾斜度、容器最寬處的高度和旋轉物的轉速。內縮瓶口傾斜度達 6.7 度就有機會成功取起旋轉物，但內縮瓶口傾斜度越大成功率不一定越大；容器最寬處高在 2.4cm~6.5cm 都容易取起旋轉物。旋轉彈珠時，發現瓶口越小所需轉速較快；而使用相同容器，發現旋轉物體積越小所需轉速越快。

利用自製的機器手臂控制轉速可以推論當容器的轉速夠快就愈容易成功取起旋轉物，且實驗發現傾斜度 30 度以上的自製容器成功取起彈珠機率達 80% 以上。

壹、研究動機

在某個下課，我們正在玩丟彈珠，看誰能丟進罐子裏，突然間，我們想有沒有可能在原地就把彈珠取起來，而且不會碰到手，於是我們一直嘗試，終於成功了！接著我們查詢相關利用杯子將彈珠取起來的資料，讓我們發現台中教育大學『科學實驗室』有相關的報導，於是和同學討論並嘗試利用不同的容器、大小彈珠、圓形珠子來測試，以及探討容易成功將珠子取起的關鍵因素。

* 作品與教材應用的相關性：

1. 康軒版自然與生活科技 第四冊 第四單元 奇妙的電路
2. 康軒版自然與生活科技 第五冊 第四單元 力與運動
3. 康軒版自然與生活科技 第七冊 第四單元 電磁作用
4. 康軒版自然與生活科技 第八冊 第一單元 簡單機械

貳、研究目的

- 一、探究可以成功將彈珠取起的容器
- 二、探究內縮瓶口的傾斜度對旋轉物的影響
- 三、探究自製旋轉物成功取起的情況
- 四、分析彈珠在容器中的旋轉運動狀態
- 五、探究自製不同傾斜度的容器成功取起彈珠的情況

參、研究設備及器材

類別	項目
1.容器	圓形、三角形、四邊形、高腳杯、市售飲料罐等容器各一
2.旋轉物	彈珠(體積 7 cm^3 、 3 cm^3 、 2.1 cm^3 各一)、 鐵珠(體積 0.3 cm^3 、 1.1 cm^3 、 2.8 cm^3 各一)、骰子、果實
3.自製旋轉物	膠水、硼砂、保麗龍球、紅色色素、氣球
4.機器手臂	電風扇的馬達、智高積木、橡皮筋、玻璃板、棉繩
4.自製容器	3D 列印機(Delta 型)、玉米塑膠
5.測量工具	電子秤、尺、碼表、擦擦筆

肆、研究過程

一、文獻探討

我們找了相關的研究發現在《玩出創意 3》〔1〕以及台中教育大學『科學實驗室』〔2〕有相關的報導(圖 1)，將其內容摘要如下：

玻璃珠會往上跑的原理如圖 2，當玻璃珠在杯子內旋轉時，杯壁給予玻璃珠一作用力 F (紅色箭頭)。作用力 F 可分解為二作用力(綠色箭頭)， f_1 為向心力；而 f_2 方向朝上，可以抵抗朝下的重力。如果旋轉速度增加，會使 F 增加同時使向心力 f_1 增加， f_2 也增加，玻璃珠就會往杯子上緣爬升了。

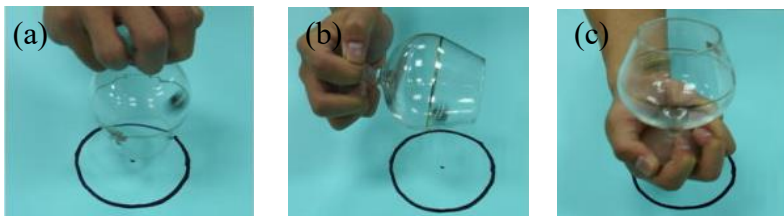


圖 1.(a)將杯中的珠子快速旋轉，(b)直到珠子旋轉到杯子的中央，(c)成功取起珠子。

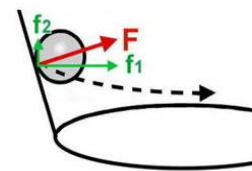


圖 2.玻璃珠在杯子內受力示意圖。

二、研究架構

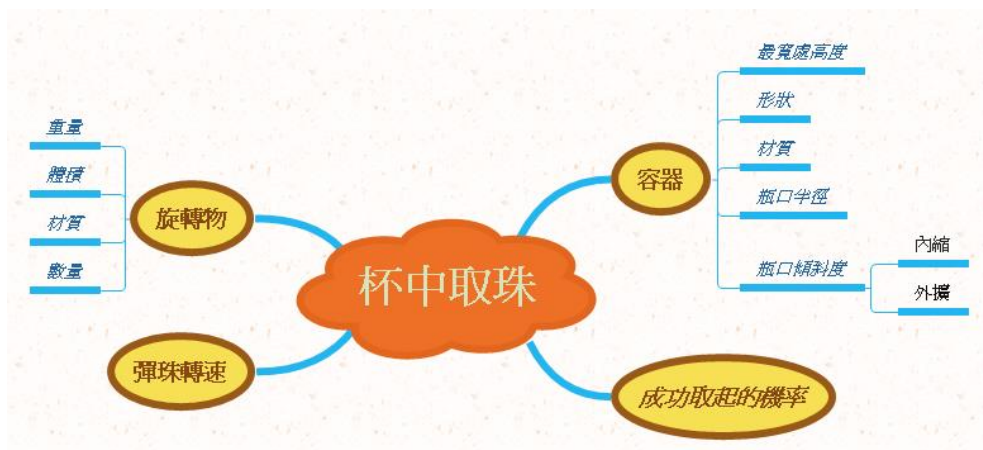


圖 3.研究架構圖

三、測量方式

(一)如何測瓶口半徑

方法一：

- 1.取一張紙，沿著杯子的杯口在紙上畫圓。
- 2.剪下圓形，將圓對折再對折後，量其中一條半徑線。



圖 4.利用紙張測平口直徑。

方法二：

- 用二支直尺和一個三角板夾住瓶口，這樣就可以測出瓶口的直徑，再換算成半徑。

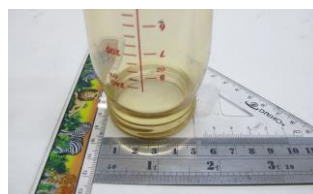


圖 5.利用尺測瓶口直徑。

(二)如何測最寬半徑

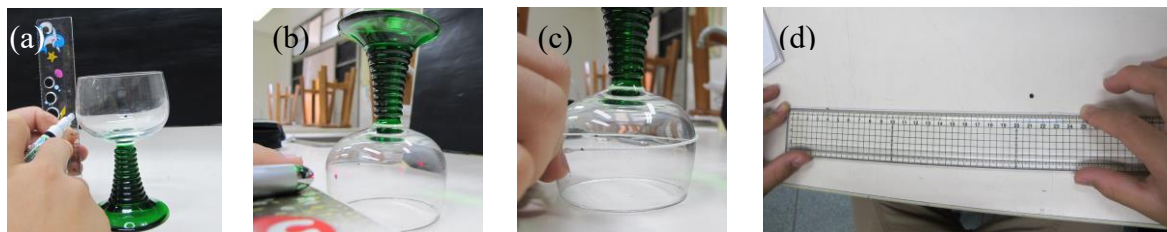


圖 6.(a)用直尺測杯子最寬處並做記號，(b)用雷射筆量出最寬處的對面，(c)用棉線把最寬處的點圍起來，即可以測出最寬處的圓周，(d)把圓周除以 π 就等於最寬處的直徑($\pi=3.14$)。

(三)如何測容器的傾斜度

- 1.測量容器的瓶口半徑、瓶口最寬處和瓶口最寬處的高。
- 2.利用 Excel 算出傾斜度 θ 。

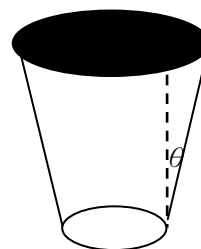


圖 7.內縮瓶口傾斜度示意圖。

(四)如何測旋轉物品體積

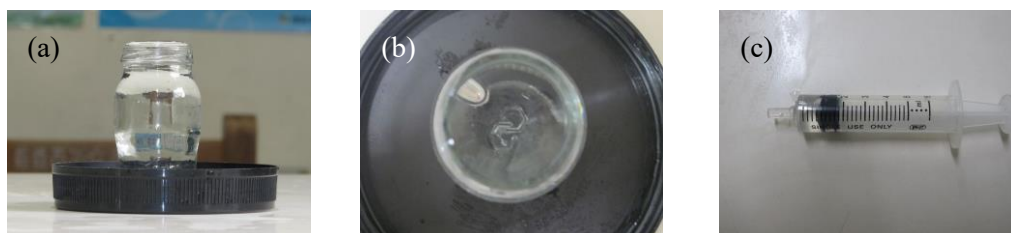


圖 8.(a)把容器裝滿水。(b)將旋轉物放入水中。(c)使用注射器量取溢出的水量即為旋轉物的體積。

(五)如何限定杯子的旋轉範圍

依實際操作狀況，之後取瓶口面積約 7 倍的範圍，在桌面劃記範圍。

四、前測：可以成功將彈珠取起的容器

(一)實驗設計

操作變因：12 種不同規格的容器

控制變因：彈珠、接觸面、旋轉範圍、旋轉者

應變變因：是否能成功取起彈珠

(二)實驗步驟：

- 1.將彈珠放在桌上。
- 2.用杯子將彈珠蓋住。
- 3.旋轉杯子使彈珠離開桌面。
- 4.將杯子翻回正面，且讓彈珠留在杯子裏。

(三)實驗結果：

1.可以成功的容器

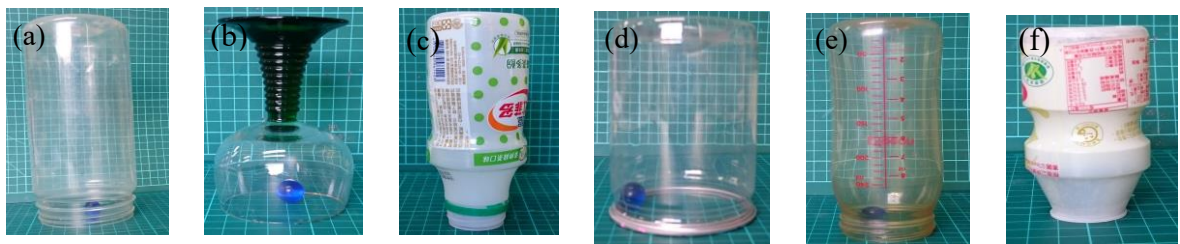


圖 9.(a)高餅乾罐、(b)綠高腳杯、(c)比菲多瓶、(d)矮餅乾罐、(e)奶瓶、(f)養樂多瓶。

2.無法成功的容器

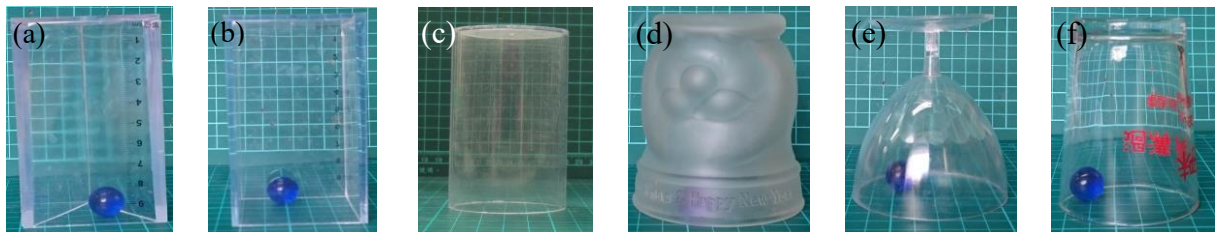


圖 10.(a)三角形平底直口(塑膠)、(b)四邊形平底直口(塑膠)、(c)圓形平底直口(塑膠)、(d)造型杯(玻璃)、(e)高腳杯(塑膠)、(f)一般玻璃杯。

(四) 實驗討論

1.容器的形狀:

- (1)成功的形狀:圓形。
- (2)失敗的形狀:正方形、三角形。

2.容器的材質:

- (1)材質:塑膠
- (2)表面越平滑越好，杯內有紋路者則不易成功。

3.瓶口大小:

- (1)瓶口大於旋轉物且瓶口要比瓶身小則會成功。
- (2)瓶口處無紋路。

4.瓶口傾斜度:

- (1)內縮瓶口(瓶身最寬處至瓶口是內縮)較容易取起彈珠。
- (2)若為外擴瓶口則彈珠會掉落。
- (3)平底直口的容器非常不容易取起彈珠。

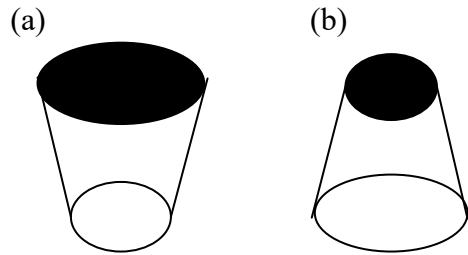


圖 11.(a)內縮瓶口示意圖，(b)外擴瓶口示意圖

5.瓶口內縮的高度越長越容易取起旋轉物。

- 6.我們也嘗試容器內同時旋轉多個彈珠，彈珠可以成功轉起到一定高度，但取起的過程中因為彈珠太多顆，彈珠容易甩出去。

五、實驗操作標準流程

- 1.把彈珠放進杯子裡。
- 2.將杯子倒過來，轉動杯子使杯中的旋轉物轉動。
- 3.當杯中的旋轉物轉到一定高度後取起。

六、研究內容

研究一、探究可以成功將旋轉物取起的容器

【第一次試驗】

(一)實驗設計

操作變因：1a.容器種類：甲.高餅乾罐、乙.綠高腳杯、丙.比菲多瓶、丁.矮餅乾罐、戊.奶瓶、己.養樂多瓶

1b.旋轉物種類：A.大玻璃珠、B.小彈珠、D.果實、E.大鐵珠、F.中鐵珠、G.小鐵珠

控制變因:1.限定旋轉範圍，旋轉範圍為容器面積約 7 倍。

- 2.旋轉者固定。
- 3.開始旋轉時彈珠要靜止。
- 4.桌面材質。

應變變因: 可否成功將彈珠取起。

(二)實驗步驟: 依標準流程。

(三)容器規格:

表 1.容器規格

容器代號	容器名稱	瓶口直徑 (cm)	最寬直徑 (cm)	最寬處高 (cm)	半徑相減 (cm)	傾斜度 (度)
甲	高餅乾罐	8.8	9.6	3.0	0.8	6.7
乙	綠高腳杯	6.4	7.2	2.7	0.8	7.9
丙	比菲多瓶	3.6	6.6	2.9	3.0	27.3
丁	矮餅乾罐	8.2	8.8	1.0	0.6	16.7
戊	奶瓶 A	4.2	6.0	4.0	1.8	12.7
己	養樂多瓶	3.0	4.4	2.4	1.4	16.3
庚	奶瓶 B	5.0	7.2	3.7	2.2	16.6

(四)旋轉物規格:

表 2.旋轉物規格

旋轉物	大玻璃珠	小彈珠	大彈珠	果實	大鐵珠	中鐵珠	小鐵珠
代號	A	B	C	D	E	F	G
重量(g)	20.0±0.5	5.5±0.5	6.0±0.5	10.5±0.5	14±0.5	6.5±0.5	2.0±0.5
體積(cm ³)	7	2.1	3	13	2.8	1.1	0.3

(五)實驗結果:

表 3.成功取起旋轉物的機率

容器 旋轉物	甲	乙	丙	丁	戊	己	庚
A	70%	10%	50%	10%	0%		
B	90%	10%	100%	30%	20%	90%	30%
D	60%		100%	40%	80%		
E	50%		70%	60%	0%	70%	
F	60%		100%	70%	0%	100%	
G	40%	0%	50%	10%	0%	80%	

(六)實驗討論

- 1.容器乙為玻璃杯，測試旋轉物 A、B、G 後就破裂了，後來考慮玻璃材質在操作過程中易破裂造成危險性，因此就不考慮使用玻璃容器。
- 2.養樂多瓶(己)對旋轉物 B、F、G 成功率達 80%以上(旋轉物 A、D、E 的體積均大於瓶口寬度，因此無法實驗)。

- 容易成功取起旋轉物的關鍵技巧為:(1)先把旋轉物轉離桌面、(2)轉到容器的最寬處、(3)手拿起容器時要立刻將容器轉 180 度，可以增加成功取起旋轉物的機會。
- 從實驗結果發現成功取起旋轉物的關鍵因素為：(1)內縮瓶口的傾斜度、(2)容器最寬處的高度、(3)旋轉物的轉速，因此針對這三個主要因素再設計實驗。
- 容器戊對旋轉物 D(果實)成功率(80%)明顯高於其他旋轉物，推測以容器戊的規格(傾斜度)容易成功取起體積大的旋轉物，因此再設計實驗以確認。對於體積小的旋轉物因為不易轉離桌面而不容易成功取起。

研究二、探究內縮瓶口的傾斜度對旋轉物的影響

【實驗前的討論】

- 針對研究一的結果假設內縮瓶口傾斜度越大是否越容易成功將旋轉物取起。
- 不同容器前端無傾斜度的部分是否切除？

因為瓶口是一個垂直的高度，因此切除瓶口，可以讓彈珠有一個傾度容易旋轉上去。彈珠容易旋轉上去後，其旋轉空間就變大。

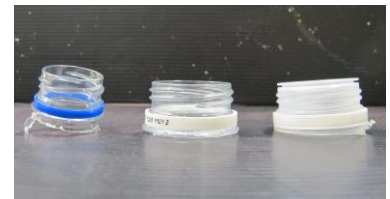


圖 12.前端無傾度切除的瓶口。



圖 13.可樂瓶因為有兩種斜度，因此去除靠瓶口處傾斜度。

(一)實驗設計

操作變因：不同傾斜度的容器(圖 14.)。

控制變因:彈珠、旋轉範圍、桌面材質、旋轉者。

應變變因: 可否成功將彈珠取起



圖 14.(a)白桃瓶(b)奶茶瓶(c)比菲多瓶(d)可樂瓶(e)可可瓶(f)高餅乾罐(g)蘋果汁瓶(h)腳踏車瓶。

(二)實驗步驟: 依標準流程。

(三)實驗結果：

表 4.各種容器的規格

品牌/規格	瓶口直徑 (cm)	最寬直徑 (cm)	最寬處高 (cm)	半徑相減 (cm)	傾斜度 (度)	成功率 (%)
白桃瓶	4.0	7.4	2.7	3.4	31.6	100
比菲多瓶	3.6	6.6	2.9	3.0	27.3	100
奶茶瓶	3.0	6.4	4.2	3.4	21.9	100
可樂瓶	6.0	9.0	6.5	3.0	12.6	100
可可瓶	5.0	6.6	1.6	0.8	19.4	90
高餅乾罐	8.8	9.6	6.0	0.4	6.7	90
蘋果汁瓶	4.6	6.4	12.0	0.9	8.7	90
腳踏車瓶	5.2	7.6	3.0	1.2	39.2	60

(四)實驗討論：

- 1.由結果顯示只要內縮瓶口傾斜度達 6.7 就有機會成功取起旋轉物。
- 2.內縮瓶口傾斜度越大成功率不一定越大。
- 3.最寬處高在 2.4cm~6.5cm 都容易取起彈珠。
- 4.腳踏車瓶因為最寬處高僅有 1.5 公分，因此不容易將旋轉物轉起。
- 5.最寬處高內若有紋路，因為摩擦力較大，也不容易轉起旋轉物。

研究三、探究自製旋轉物成功取起的情況

從【研究一】中發現只要旋轉物可以放入容器中和旋轉物不可太輕(例如寶麗龍球)，這樣的旋轉物都有機會可以被成功取起；而且發現旋轉物的材質無論玻璃、果實、鐵均可以。但發現容器戊(奶瓶)對旋轉物 D(果實)成功率有 80%，明顯高於其他旋轉物，想要探討容器戊的規格(傾斜度)對體積大的旋轉物是不是容易取起，因此設計以下實驗。

(一)自製旋轉物

【方法一】製作彈力球

1. 材料：硼砂、電子秤、燒杯、量筒、膠水(含聚乙烯醇)、紅色色素、寶麗龍球、氣球。
2. 製作固定重量，不同體積的彈力球步驟：

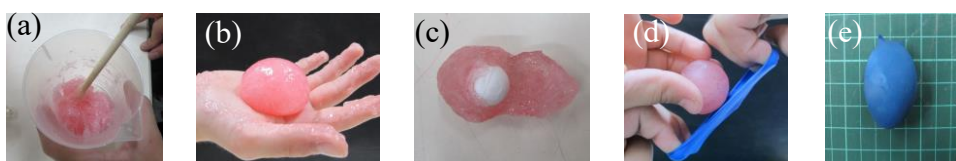


圖 15.(a)把飽和硼砂水加到膠水裏，加入微量紅色色素，充分攪拌，此為半成品。(b)把半成品分成各 10.5 公克。(c)分別把不同規格的保麗龍球包在 10.5 公克的半成品外並搓成球形。(d)利用氣球皮把半成品包起來。(e)完成品。

3. 下表為兩種不同品牌的膠水製作出的彈力球比較，發現利用 A 膠水較容易作出成功的彈力球。

表 5.兩種不同品牌的膠水製作出的彈力球比較

膠水品牌	飽和硼砂水	成品
A 膠水	12ml	一開始時較黏，之後不黏手，延展性佳，摸起來像果凍。
B 膠水	12ml	一開始較不黏手，較 A 脆。

4. 利用 A 膠水作出三種重量相同體積不同的彈力球，每顆彈力球重量為 10.5g，保麗龍球的規格 H₁(15mm)，表示直徑為 15mm，將彈力球從 75 公分處落下測試它的彈力，如下表所示。

表 6.彈力球的彈跳高度

編號/彈力	體積(cm ³)	重複 1	重複 2	重複 3	重複 4	平均
H ₁ (15mm)	14	47	44.5	43	40.5	39.5
H ₂ (20mm)	17	43	40	37	38	39.5
H ₃ (25mm)	22	28	22	22	23	23.75

- 5.將所製作彈力球放入容器中試轉，結果討論如下：
- (1)彈力球試轉的效果，容易轉起，但易變形。
 - (2)利用彈力球的材質不易設計出固定體積，不同重量的旋轉物。

【方法二】製作油土球

- 1.材料:油土、電子秤
- 2.步驟：(1)利用電子秤秤出不同重量的油土。
(2)用手將油土盡量戳圓。
- 3.下表為製作出 8 種不同重量的的油土。
- 4.討論:油土球旋轉後較容易維持原來的球形。

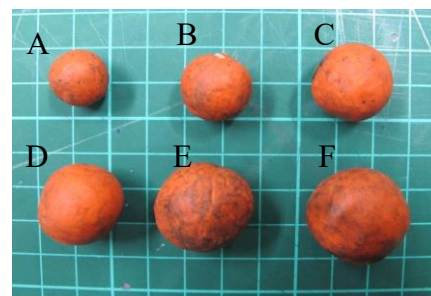


圖 16.A~F 油土球。

(二)實驗設計

操作變因:不同體積的旋轉物

控制變因: 使用戊容器(奶瓶)、旋轉範圍、桌面材質、旋轉者。

應變變因: 可否成功將旋轉物取起

(三)實驗步驟:依標準流程

(四)實驗結果：

表 7.利用容器戊來旋轉 8 種油土球的結果

編號	A	B	C	D	E	F	G	H
重量(g)	2	3	5	7	9	11	13	15
體積(cm ³)	1.3	1.9	3.2	4.4	5.7	6.9	8.2	9.5
成功率(%)	40	30	30	30	40	60	100	100

(五)實驗討論：

- 1.以容器戊旋轉物 D(果實：重量 10.5g 體積 13 cm³)成功機率約 80%。
- 2.油土球 A~F 成功取起的機率 < 80%，油土球 G~H 成功取起的機率為 100%，因此推論容器戊的規格在旋轉體積越大的旋轉物成功機率越大。
- 3.此實驗設計將重量的差異忽略，因為只要旋轉物重量大於 2g 都有機會轉動。

研究四、分析旋轉物在容器中的旋轉運動狀態

子題 1 手旋轉容器

(一)如何測轉速(側面觀)

- 1.桌面和背景都要放置切割墊以方便測量。
- 2.利用相機拍攝，再用 KMP 播放軟體測量轉速。
- 3.計算旋轉物轉速:圈數÷時間(按鍵次數:每按鍵 30 次一秒)
- 4.以下分別紀錄比菲多瓶(B 彈珠)、奶瓶(B 彈珠)、奶瓶(果實)的平均轉速。

表 8.比菲多瓶(B 彈珠) 的平均轉速

圈數	按鍵次數	總時間	轉速(圈/秒)	平均轉速
13	98	3.27	3.98	3.89
9	74	2.47	3.65	
9	70	2.33	3.86	
10	77	2.57	3.90	
11	81	2.70	4.07	

表 9.奶瓶(B 彈珠) 的平均轉速

圈數	按鍵次數	總時間	轉速(圈/秒)	平均轉速
10	60	2.00	5.00	5.77
8	38	1.27	6.32	
12	56	1.87	6.43	
12	59	1.97	6.10	
8	48	1.60	5.00	

表 10.奶瓶(果實) 的平均轉速

圈數	按鍵次數	總時間	轉速(圈/秒)	平均轉速
9	63	2.10	4.29	4.05
9	61	2.03	4.43	
10	77	2.57	3.90	
10	79	2.63	3.80	
10	78	2.60	3.85	

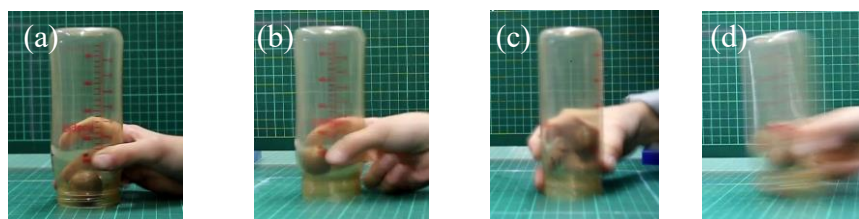


圖 17. (a)將果實放入瓶中，(b)旋轉奶瓶使果實轉起，(c)旋轉物轉到一定高度，(d)成功取起彈珠。

【討論】

1. 比菲多瓶(B 彈珠)約轉 3~4 秒即可成功取起，平均轉速為 3.89 圈/秒。
2. 奶瓶(B 彈珠)約轉 1~2 秒即可成功取起，平均轉速為 5.77 圈/秒。
3. 奶瓶(果實) 約轉 2~3 秒即可成功取起，平均轉速為 4.05 圈/秒。
4. 旋轉 B 彈珠時，比較比菲多瓶和奶瓶發現瓶口較小所需轉速較快。
5. 相同奶瓶，比較 B 彈珠和果實發現旋轉物體積較小所需轉速較快。

(二)俯拍旋轉情形

將比菲多瓶的瓶底去除，用相機拍攝彈珠旋轉的情形，當彈珠轉到瓶口最寬處高時，不須將瓶子轉 180 度取起彈珠，彈珠很容易就從瓶底處轉出，此一現象解決我們一直想設計機器手臂控制轉速，卻無法想出如何將瓶子轉 180 度的設計。



圖 18.俯拍旋轉情形。

子題 2 機器手臂旋轉容器

(一)機器手臂設計過程

因為用手旋轉容器還是無法準確控制轉速，之後又在教室的角落發現有一台小電扇（可以利用電扇的三段式轉速控制轉速），因此萌發設計機器手臂的想法，以下為機器手臂設計過程：

【階段 1】製作中

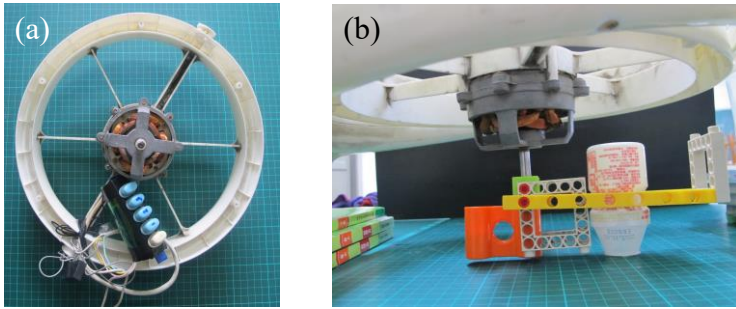


圖 19.(a)拆解電風扇，留下電扇外框和馬達。(b)利用書本支撐電風扇外框。

討論：

- 1.當高速旋轉時，連接馬達的卡榫會飛出。
- 2.瓶子也無法被固定住。

【階段 2】改善中

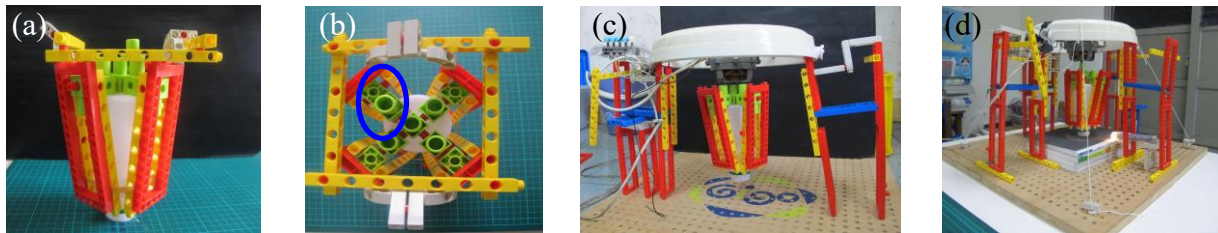


圖 20.(a)改善後的夾子，旋轉時容器不會因離心力過大而飛出。(b)為了模擬實際手旋轉的狀態，以藍色圈處的卡榫裝入馬達的軸心。(c)自置高架，固定電扇框架。(d)四個高架，再加上四端以繩子固定，可使旋轉時更佳穩固。

【階段 3】測試中

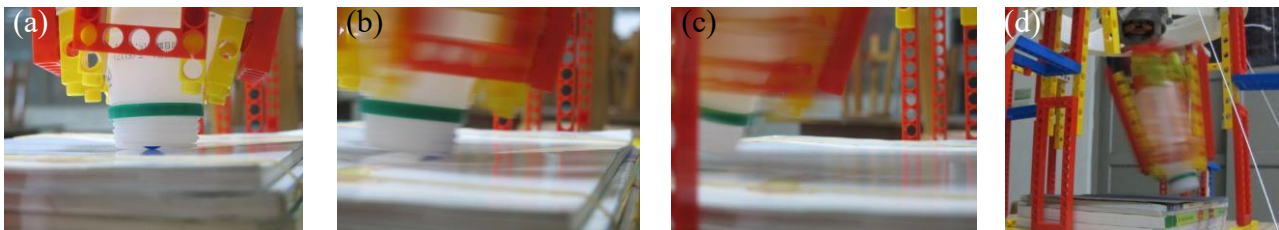


圖 21.(a)將彈珠放置在瓶子的下方，(b)啟動開關後彈珠被轉起，(c)彈珠已被轉離桌面，(d)成功轉起彈珠。

(二)利用機器手臂測試容器成功取以旋轉物

- 1.原理: 藉由俯拍彈珠旋轉情形推論機器手臂成功將旋轉物轉到一定的高度, 必定可以成功取起旋轉物, 無需像手旋轉容器般撈起旋轉物。
- 2.機器手臂的重量: X 為 218.5g ; Y 架為 201g

【實驗一】使用比菲多瓶測試不同的旋轉物

(一)實驗設計

操作變因:不同的旋轉物。

控制變因: 使用丙容器(比菲多瓶)、旋轉範圍、桌面材質。

應變變因: 是否成功將旋轉物取起。

(二)實驗步驟:1.將旋轉物放在容器下方。

2.啟動電源開關, 每種旋轉物用三種轉速(3: 低、2: 中、1: 高)去測試, 每種轉速重複測試 25 次, 每次持續 20 秒。

3.以拍照方式確認旋轉物是否成功轉入容器中並紀錄在表格中。

(三)實驗結果:

表 11.不同旋轉物在不同轉速下成功取起的機率。

旋轉物	大玻璃珠	小彈珠	大彈珠	果實	大鐵珠	中鐵珠
成功	1、2	1、2、3	1、2、3	1、2、3	1、2、3	1、2、3
失敗	3					

說明:表 11 中表示大玻璃珠在轉速 1 和 2 時, 可以被成功取起; 在轉速 3 時, 不可以被成功取起。

(四)實驗討論

- 1.桌面材質使用砂紙的原因:因為要確定旋轉物是否有離開桌面, 當旋轉物摩擦到砂紙時會有「砂~砂~」的聲音, 旋轉物離開砂紙時進入容器中, 「砂~砂~」的聲音就聽不見。
- 2.每測試完一種旋轉物, 需檢查機器手臂是否有鬆脫, 且讓機器手臂休息以免過熱。
- 3.小鐵珠因為體積較小, 在啟動開關時, 會從容器的瓶口飛出, 因此無法測試。
4. A 彈珠在轉速 3 時會轉出桌面。
- 5.和【研究一】的結果比較:

在研究一中利用容器丙測試的旋轉物成功取起的機率大於 70%時(表 12), 在機器手臂的操作中在轉速 3 就可以成功取起。因此從此結果可以推論只要轉速夠快就容易成功取起旋轉物。

表 12. 利用容器丙測試的旋轉物成功取起的機率。

旋轉物	大玻璃珠	小彈珠	果實	大鐵珠	中鐵珠	小鐵珠
代 號	A	B	D	E	F	G
成功率(%)	50	70	100	70	100	50

【實驗二】使用高餅乾罐測試不同的旋轉物

高餅乾罐因為瓶口直徑(8.8cm)較比菲多瓶瓶口直徑(3.6cm)大，使用最低轉速 3，瓶子仍然容易因瓶身的不平衡和離心力的關係而傾斜，使得瓶口和桌面產生縫隙，彈珠就被轉出容易而失敗。

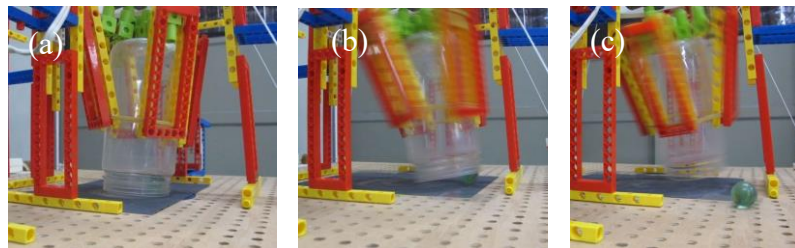


圖 22.(a)預備，(b)啟動旋轉，(c)幾圈後彈珠被轉出。

研究五、探究自製不同傾斜度的容器成功取起彈珠的情況

【實驗前的討論】

1. 針對研究一的結果假設內縮瓶口傾斜度越大是否越容易成功將旋轉物取起。
2. 為了減少不同規格的容器造成的誤差，因此利用 3D 列印機製作容器，其方法如下：

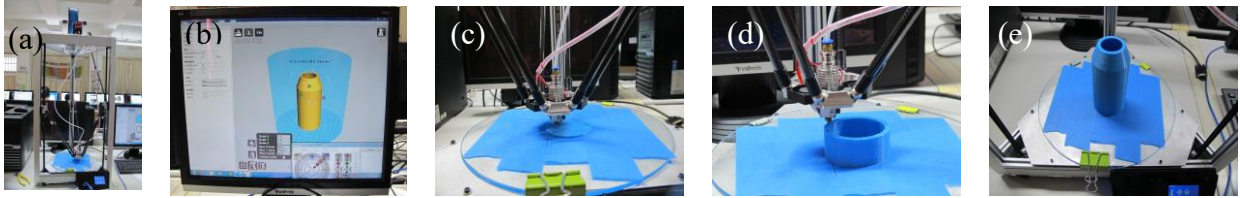


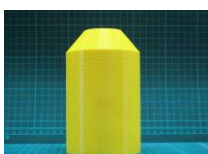


圖 23. (a) 3D 列印機(Delta)，(b)在 Cura 軟體中設定參數，(c)先列印出瓶底，(d)繼續列印出瓶身，(e)10 小時後完成個傾斜 20 度的瓶子。

3. 我們設計五種瓶口直徑和瓶子高度相同但傾斜度不同的容器，利用 3D 列印機輸出，但最後僅成功輸出四種容器，四種容器的規格如下表：

表 13. 自製容器規格

傾斜度/ 規格	瓶口直徑 (cm)	最寬直徑 (cm)	最寬處高 (cm)	瓶高度 (cm)	瓶重 (g)	成 品
10 度	3.6	4.6	3	15	85	
20 度	3.6	5.8	3	15	114	
30 度	3.6	7	3	15	137	
40 度	3.6	8.6	3	15	165.5	

4. 因為每個容器的重量不同，所以採用加積木的方式讓所有容器一樣重，最後架子加罐子的總重量為 385g，如此電扇馬達軸心所承受的重量才會相同。

5.第 2 代機器手臂:

為了讓機器手臂運轉更加穩定，我們重新製作支架，並改以玻璃板為接觸面，如此可藉由聲音去判斷彈珠是否有轉離玻璃面；並在玻璃板下方放置鏡子，可以觀察彈珠上升狀況(圖 23.(a)(b))。

6.觀察容器的旋轉軌跡:

為了確定機器手臂的旋轉式穩定的，因此先觀察容器在旋轉時軌跡是否穩定(圖 23.(c))。

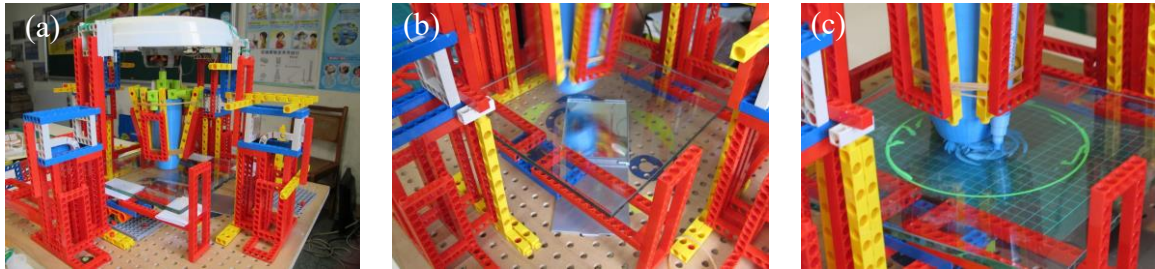


圖 24.(a)第 2 代機器手臂，(b) 玻璃板下方放置鏡子可以觀察容器內的狀況，(c)利用擦擦筆觀察容器旋轉軌跡。

(一)實驗設計

操作變因：傾斜度 10 度、20 度、30 度、40 度的容器。

控制變因：B 彈珠、旋轉範圍、玻璃接觸面、瓶口半徑、最寬處高、容器高度。

應變變因：是否成功將彈珠轉起。

(二)實驗步驟:

- 1.將容器放入機器手臂中。
- 2.啟動電源開關，每種容器用三種轉速(3：低、2：中、1：高)去測試，每種轉速重複測試 25 次，每次持續 20 秒。
- 3.以聲音辨識旋轉物是否成功轉入容器中並紀錄在表格中。

(三)實驗結果：

表 14.不同傾斜度的容器成功取起彈珠的機率、平均秒數和彈珠飛出的機率

轉速 傾斜度	轉速 1		轉速 2		轉速 3		彈珠飛出 的機率(%)
	機率(%)	秒數	機率(%)	秒數	機率(%)	秒數	
10 度	0		0		0		84
20 度	0		12	1.59	0		68
30 度	96	0.97	84	1.40	92	1.53	0
40 度	80	1.75	92	1.39	88	1.54	0

(四)實驗討論:

- 1.機器手臂的穩定度會影響彈珠被轉起的成功率，因此每次實驗前必須校正機器手臂。
- 2.在 3 種轉速下:
 - (1)傾斜度 30 度和 40 度的容器成功取起彈珠的機率可以達 80%以上。
 - (2)傾斜度 10 度和 20 度的容器成功取起彈珠的機率低於 12%以下。
- 3.在 3 種轉速下彈珠飛出的機率，傾斜度 10 度的容器有 84%，傾斜度 20 度的容器為 68%，推論是因為傾斜度較小不足以讓彈珠在初始時有足夠的分力讓彈珠爬升，以致於容器已轉離玻璃面，但彈珠並未進入容器中而飛出。

伍、研究結論

- 1.玻璃材質在操作過程中易破裂造成危險性，因此實驗容器以塑膠和鋁罐為主。
- 2.容易成功取起旋轉物的關鍵技巧為:(1)先把旋轉物轉離桌面、(2)轉到容器的最寬處、(3)手拿起容器時要立刻將容器轉 180 度，可以增加成功取起旋轉物的機會。
- 3.從實驗結果發現成功取起旋轉物的關鍵因素為：
 - (1)內縮瓶口的傾斜度
 - ①內縮瓶口傾斜度達 6.7 就有機會成功取起旋轉物。
 - ②內縮瓶口傾斜度越大成功率不一定越大。
 - (2)容器最寬處的高度
最寬處高在 2.4cm~6.5cm 都容易取起彈珠。
 - (3)旋轉物的轉速
 - ①旋轉 B 彈珠時，比較比菲多瓶和奶瓶發現瓶口較小所需轉速較快。
 - ②相同奶瓶，比較 B 彈珠和果實發現旋轉物體積較小所需轉速較快。
 - ③以機器手臂旋轉和【研究一】的結果比較：
利用容器丙測試的旋轉物成功取起的機率大於 70%時，在機器手臂的操作中在轉速 3 就可以成功取起。因此從此結果可以推論只要轉速夠快就容易成功取起旋轉物。
- 4.容器戊的規格在旋轉體積越大的旋轉物成功機率越大。
- 5.利用機器手臂旋轉自製不同傾斜度的容器，發現傾斜度 30 度以上的容器成功取起彈珠機率達 80%以上。

陸、未來研究

我們同時也嘗試容器內同時旋轉多個彈珠，彈珠可以成功轉起到一定高度，但因為時間不足，所以留到未來再做。

柒、參考資料

- 1.許良榮(2014)。以杯取珠。載於許良榮(主編)，玩出創意 3：77 個奇趣科學玩具(頁 7-9)。書泉出版社。
2. NTCU 科學遊戲實驗室(2015)。杯中取珠。線上檢索日期：2015 年 9 月 2 日。
網址: <http://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-045.html>。
3. 跳動的鼻涕－水黏土的多元變化(2013)。24 頁。第 53 屆全國中小學科展。科展群傑廳。

【評語】 080113

自製的手搖機器相當有趣，應多考慮杯內摩擦力的問題，可再深究。相關的問題也許可以用在工業應用上。