

# 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 物理科

080107

好球！動靜皆"移"---組合扭蛋球滾動狀態之探究

學校名稱：嘉義市東區崇文國民小學

作者： 小五 侯品丞 小五 許耀臨 小六 黃梓睿	指導老師： 吳惠如 葉姝瑜
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：蝸牛球、動停回數、Tracker

## 摘要

本研究主要探究哪一種組合的怪怪球滾動時動停的運動狀態明顯，在實驗過程中選用可重複使用且組合性較高的扭蛋球來當外殼，並透過多次實驗發現球形外殼滾動軌跡接近直線。選用「外丙內 G」組合而成的怪怪球，因其內部空間比較大，可以填充的液體變化量大來作為實驗球，期望能符合有動有停之滾動情形。

我們利用 Tracker 分析發現僅填充水對整個球體之滾動已有減速的作用產生，填充不同液體的平均減速次數為填充乳液>洗手乳>膠水>水，且含內珠之液體平均減速次數大於不含內珠液體。

無論有沒有內珠，怪怪球填充 40ml 乳液(22.27%)有較高的總停時間。動停回數比較以不含內珠填充 40m 乳液最高；含內珠則為填充 85ml 乳液最高。

## 壹、研究動機

我們在網路搜尋到一種科學遊戲，稱為蝸牛球。蝸牛球跟一般的球不一樣，一般的球會按照一定的軌跡滾，但蝸牛球會因球內的液體使球有時候滾動有時候停止，我們很好奇為什麼會這樣，因此開始這次的探究實驗。我們為了讓實驗變得多元性，所以我們做了不同組合球，統一稱為怪怪球，而蝸牛球就是其中之一。

\* 作品與教材應用的相關性：

- 1.康軒版自然與生活科技 第五冊 第四單元 力與運動
- 2.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

- 研究一、探究不同形狀外殼的滾動情形
- 研究二、探究不同外殼含有內珠時的滾動情形
- 研究三、探究填充水和彈珠的滾動情形
- 研究四、探究怪怪球填充不同液體的滾動情形
- 研究五、探究怪怪球填充不同乳液量的滾動的情形

## 參、研究設備及器材

類別	項目
1.外殼	球形扭蛋、蛋形扭蛋
2.內容物	(1)內球:不同尺寸的彈珠、鐵珠 (2)填充液體：水、膠水、M 牌洗手乳、N 牌乳液
3.軌道	木板、黑色海報紙、軟墊
4.閘門	智高積木、竹籤
5.手機支架	智高積木
6.測量工具	電子秤、長尺、碼表、手機 App(水平儀)、燒杯、游標尺
7.其他	止水帶、保麗龍膠

## 肆、研究過程

### 一、文獻探討

蝸牛球是一種科學教具，以壓克力圓柱容器為主體，在容器中加入黏滯液體及重物。在滾動時利用黏滯液體的摩擦力將容器中的重物帶到相對容器重心的後方，使重物的重力對容器產生相對於滾動方向相反的力矩，造成容器減速的現象，實驗裝置如圖1 所示。

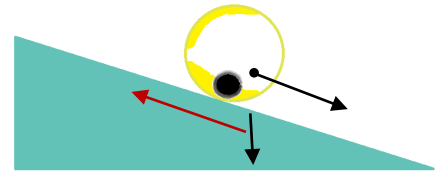


圖 0-1、蝸牛球裝置。

在蝸牛球的遊戲中，孩子會從遊戲中體驗彈珠滾動會受到黏滯性液體影響。蝸牛球不斷**改變重心**的科學原理。如下圖0-2.所示〔參考資料6〕

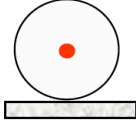
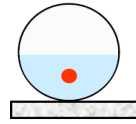
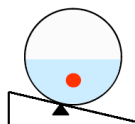
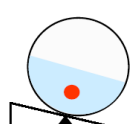
			
(a) 空球殼重心在中央。	(b) 空球殼加液體的重心。	(c) 靜止在斜軌道，重心偏右方。	(d) 球滾動時，液體重心回偏左方。

圖0-2. 蝸牛球不斷改變重心的科學原理。

### 二、研究架構

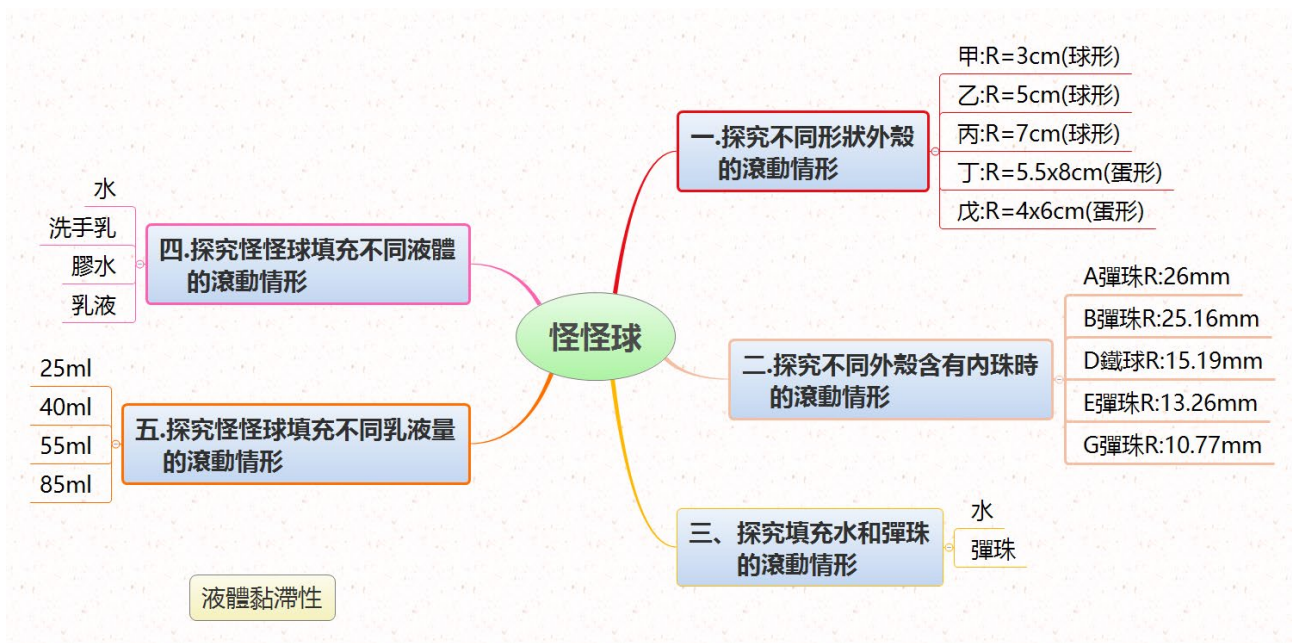


圖 0-3. 研究架構圖

### 三、名詞解釋

1. 蝸牛球：一個材質輕且中空的球體，把黏滯液體和重球放入其中組成的玩具。
2. 黏滯力：簡單來講就是液體中的摩擦力，阻止液體運動、形變。
3. 力矩：在物理學中，作用力促使物體繞著轉動軸或支點轉動的趨向，稱為**力矩**（英語：torque 或 moment），也就是扭轉的力。轉動力矩又稱為**轉矩**。力矩能夠使物體改變其旋轉運動。
4. 密度(D)：物體的質量與體積的比值。[膠水(D:1.102g/cm<sup>3</sup>)、N 牌乳液(D:0.964g/cm<sup>3</sup>)]

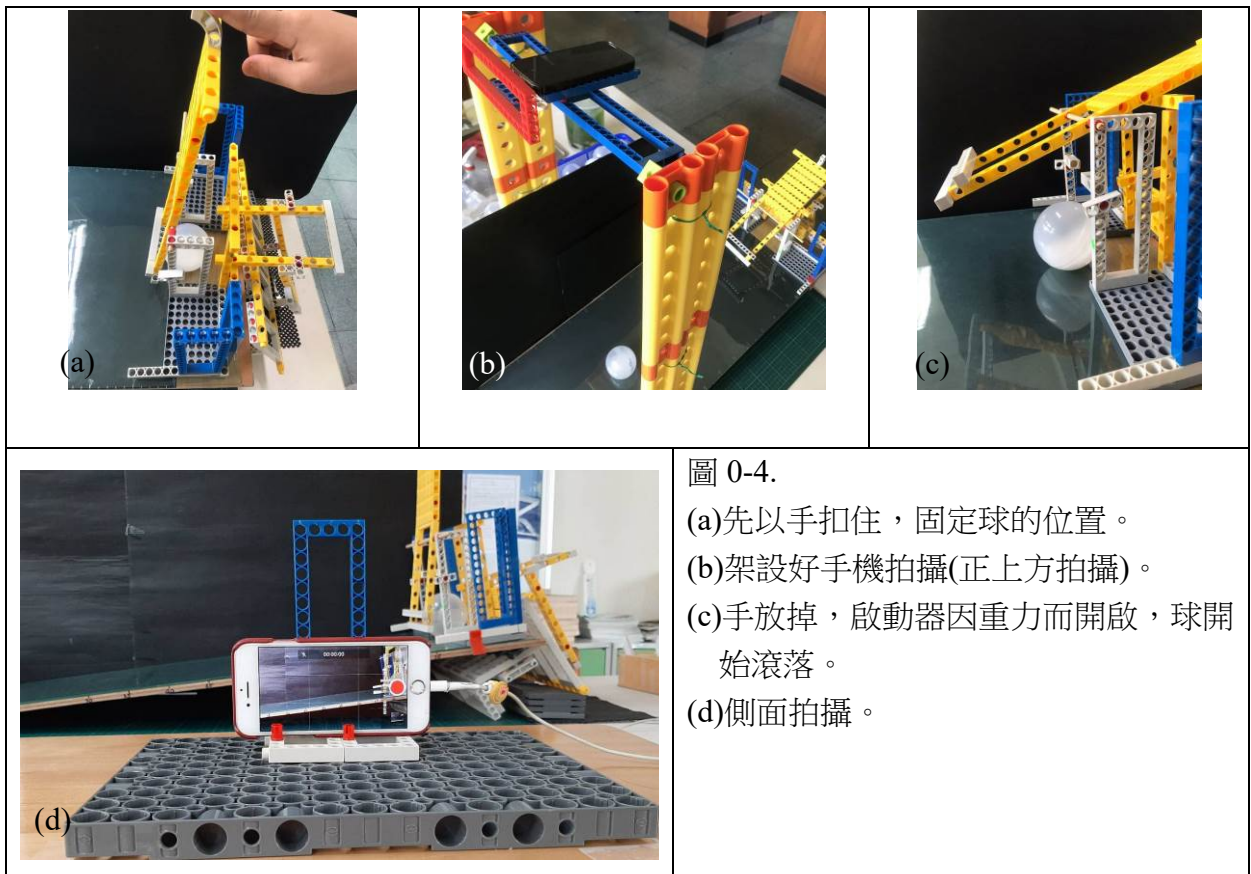
### 三、實驗軌道

#### (一)軌道：

軌道長 80cm，寬 35cm，坡度 6 度。

#### (二)閘門

利用智高積木設計一個**簡易啟動器**擋住蝸牛球(容器)，以控制球的初始速度。



#### 四、填充不同液體的製作方法

[利用注射器填充液體]

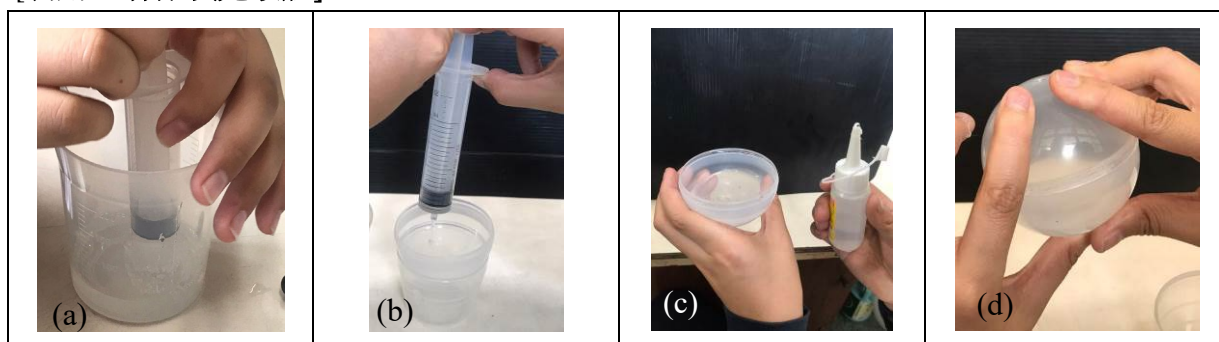


圖 0-5.

(a)使用注射器量取所需液體量。(b)注入下半外殼中。(c)在半球接合處塗上保麗龍膠。(d)將上、下球兩半球黏合即完成。

#### 【討論】

- 1.以注射器量取所需的液體量較為精確。
- 2.將填充液體測量體積和重量後，可以算出液體密度，之後就可以用測重量的方式將液體直接倒入外殼中。

#### 五、液體黏滯性比較

我們參考網路影片，用測試機油黏滯性的方法來測試四種不同填充液的黏滯性。

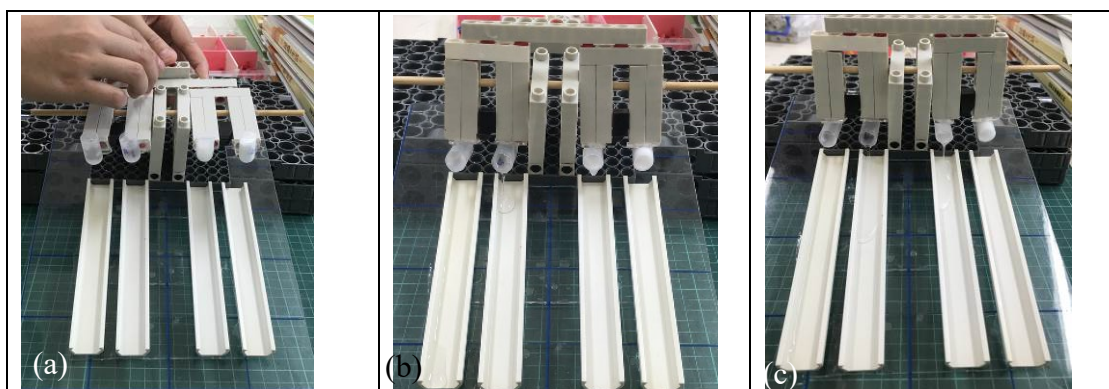


圖 0-6.(a)將用注射器取 2ml 液體，注入到裝置上的小容器，(b)轉開啟動器讓容器傾倒 90 度使液體流滴落在軌道上，(c)觀察不同液體的流動情形。

**[實驗結果]:**一開始同步滴落時，滴落的速度:水 > 膠水 > 洗手乳 > 乳液。  
推論黏滯性: 乳液 > 洗手乳 > 膠水 > 水

## 六、實驗操作標準流程

- 1.先使用手機水平儀調整軌道角度。
- 2.將怪怪球先在上轉動數次，讓填充液體先均勻沾附在外殼的內部。
- 3.之後再放置於斜面軌道起點處，利用自製**簡易啟動器**擋住蝸牛球(容器)，再使用啟動器讓怪怪球自由滾落。
- 4.紀錄滾落時間和滾動狀態，同時利用相機錄影從正上方(側面)錄影後，以 **Tracker** 程式追蹤容器的軌跡、藉由影像分析觀察其運動行為。
- 5.每個實驗重複 5 次，當怪怪球停留時間超過 5 分鐘就終止實驗。
- 6.滾動時會有減速現象，但因停止時間有長有短，因此我們會記錄大於 3 秒的靜止狀態時間，並繪製成「動停回數圖」表來呈現它的運動情況。

## 七、軟體分析 TRACKER 使用方法

- 1.把拍好的影片放進 Tracker 裡。
- 2.把想要的起始影格拉好，結束影格也拉好。
- 3.滑鼠點新增，然後點校正工具(校正桿)。
- 4.按「shift」鍵，用滑鼠點在想「校正」的地方(可轉動滑鼠的滾輪放大來確認位子)，然後按滑鼠左鍵來鎖定。
- 5.用滑鼠點座標軸，並將座標軸放在想放的位子上，一樣要鎖定(按滑鼠右鍵，點座標軸的橫線上的小縱線)。
- 6.滑鼠點新增質點(可用手動追蹤或自動追蹤)。
- 7.數據分析各項目，並將其繪製成  $y-t$  圖( $y$  方向代表往下距離)及  $V_y-t$  圖，再以  $V_y-t$  圖找出減速次數，其中  $V_y-t$  圖的峰值是下滑過程中的減速時刻。
- 8.分析球滾動軌跡從 60cm 到 35cm 處。



## 八、研究內容

### 研究一、探究不同形狀外殼的滾動情形

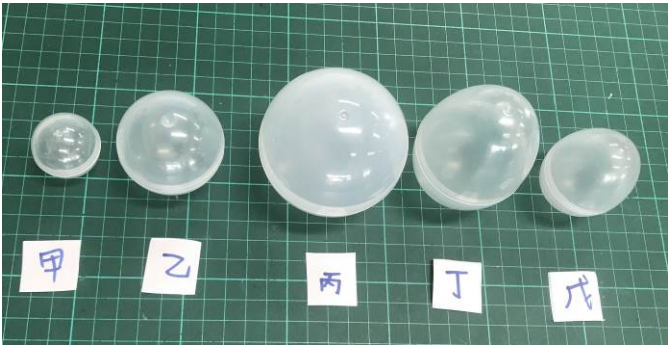
#### 【第一次試驗】

##### (一)實驗設計

操作變因：外殼種類：甲、乙、丙、丁、戊

表 1-1.不同外球的規格

外殼種類	甲	乙	丙	丁	戊
形狀	球形	球形	球形	蛋形	蛋形
規格(cm)	R:3	R:5	R:7	5.5×8	4×6
重量(g)	2.2	6.3	16.2	10	5.7



\*R:直徑

控制變因:軌道坡度、沒有內容物。

應變變因:1.測量滾落時間，2.觀察滾動軌跡變化。

(二)實驗步驟: 依實驗操作標準流程。

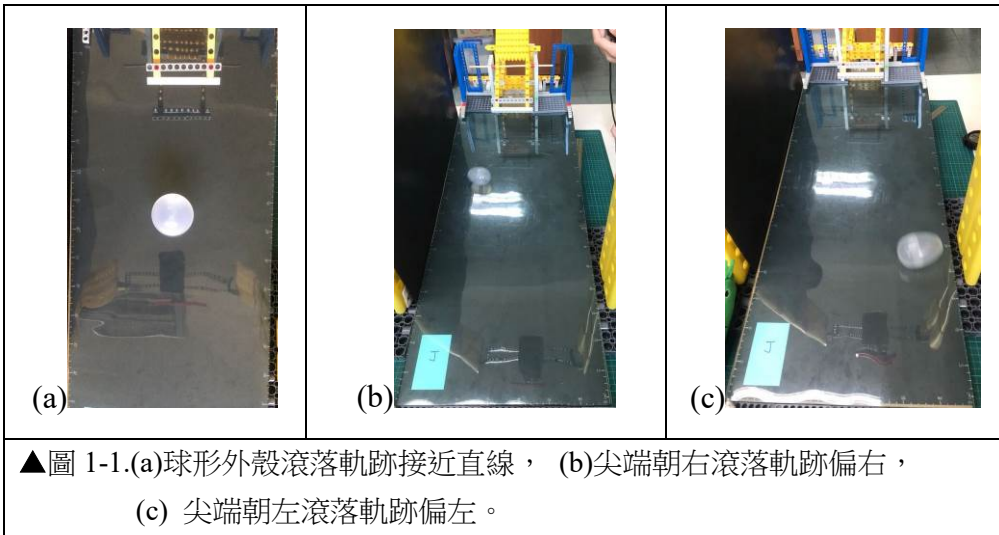
(三)實驗結果:

表 1-2 不同外殼平均滾落時間

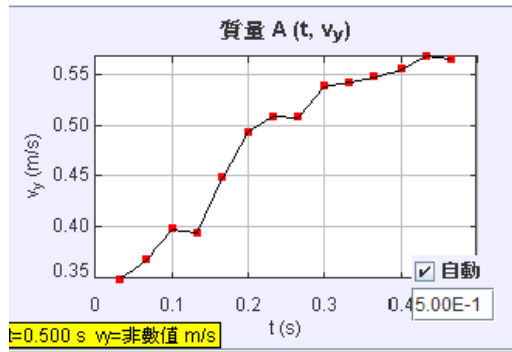
外殼種類	甲	乙	丙	丁	戊
平均滾落時間(sec)	1.54	1.45	1.44	1.80	1.65

(四)實驗討論

- 1.甲、乙、丙三種球形的外殼，平均滾落時間接近，且軌跡接近直線。
- 2.丁和戊兩種蛋形的外殼平均滾落時間較球形長，滾落軌跡會偏向。若蛋形的尖端朝右，滾落軌跡會偏右；若蛋形的尖端朝左，滾落軌跡會偏左(圖 1-1)。
- 3.最後選用球形外殼作為實驗材料。



4.用 Tracker 分析丙外殼的運動軌跡，  
由  $V_y-t$  圖發現，它在滾動過程中也  
會減速，推測原因是因為受接縫處和  
兩端圓點影響(圖 1-2)。



▲圖 1-2 丙外殼側拍  $V_y-t$  圖。



## 研究二、探究不同外殼含有內珠時的滾動情形

### 【實驗前的討論】

想要了解外殼中有不同大小的彈珠或鐵球，對整個球體滾動的影響，因此我們設計以下的實驗。

### [子題一] 不同內球對怪怪球滾動的影響

#### (一)實驗設計

操縱變因:不同的內球 A、B、D、E、G

控制變因: 丙殼

應變變因: 1.測量滾落時間、2.觀察滾動軌跡變化。

(二)實驗步驟: 依實驗操作標準流程。

(三)實驗結果:

表 2-1.不同內球的規格

種類	A	B	D	E	G
直徑(mm)	26	25.16	15.9	13.26	10.77
重量(g)	23.0	7.6	11.2	5.4	2.0
滾動平均時間(sec)	1.51	1.49	1.69	2.00	1.47
全距(sec)	0.39	0.23	0.13	0.24	0.38

(四)實驗討論:

- 1.根據實驗結果，這幾種怪怪球滾動的時間沒有明顯的差異。
- 2.因此依照直徑的大小挑選三種尺寸大、中、小，分別為 A、D、G 當內球。

### [子題二] 不同外殼和內球的組合對怪怪球滾動的影響

#### (一)實驗設計

操作變因: I.外殼種類: 甲、乙、丙、丁、戊

II.不同的內球 A、D、G

控制變因:軌道坡度

應變變因: 1.測量滾落時間、2.觀察滾動軌跡變化。

(二)實驗步驟: 依實驗操作標準流程。

(三)實驗結果:

表 2-2. 不同外殼和內球組合的滾動結果

種類/ 時間	外丙 內 A	外乙 內 A	外甲 內 A	外丙 內 D	外乙 內 D	外甲 內 D	外丙 內 G	外乙 內 G	外甲 內 G
滾動平均 時間(sec)	1.99	2.15	1.92	1.99	2.08	2.07	1.86	2.02	2.17
全距(sec)	0.25	0.28	0.19	0.29	0.25	0.39	0.36	0.23	0.40

(四)實驗討論：

- 1.相同外殼不同內球，怪怪球的平均時間沒有明顯的差異，滾動順暢。
- 2.相同內球不同外殼，怪怪球的平均時間沒有明顯的差異，滾動順暢。
- 3.因為想要探究滾動有動有停的怪怪球，所以選用滾動平均時間最(快)的「外丙內 G」且內部空間比較大(如此可以填充的液體變化量大)的組合來做實驗。

**研究三、探究填充水和彈珠的滾動情形**

(一)實驗設計

操作變因:不同怪怪球 A.丙殼、B.含水丙殼、C.含水和彈珠丙殼

控制變因: 軌道坡度 6 度

應變變因: 1.測量滾落時間、2.側拍怪怪球滾動狀態變化。

(二)實驗步驟: 依實驗操作標準流程，每個實驗重複 5 次。

(三)實驗結果：

表 3-1 不同怪怪球平均減速次數

種類	A.丙殼	B.含水丙殼	C.含水和彈珠丙殼
直徑(cm)	3	3	3
重量(g)	16.2	56.2	58.2
填充物	無	40ml 水	40ml 水、2g 彈珠
平均減速次數	2	1.6	2

註:滾動軌跡分析之有效數據為怪怪球有滾動到軌道 60cm~35cm 處。

(四)實驗討論

- 1.三種球在平均減速次數接近，並無明顯的差異。
- 2.和【研究四】填充水的怪怪球正上方拍和側面拍滾動狀態比較:  
側拍錄影的方法，使用 tracker 分析從  $V_y-t$  圖發現可以減少水平方向( $V_x$ )的干擾，側拍分析出來的平均減速次數較少(圖 3-1、圖 3-2)。

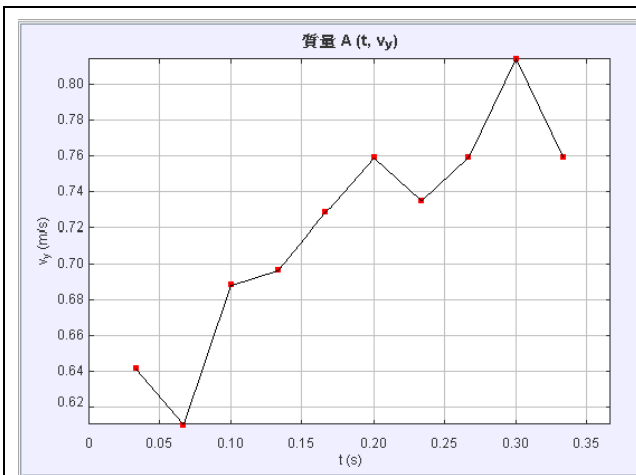


圖 3-1 (a) 水(不含內珠)怪怪球正拍  $V_y$ - $t$  圖。

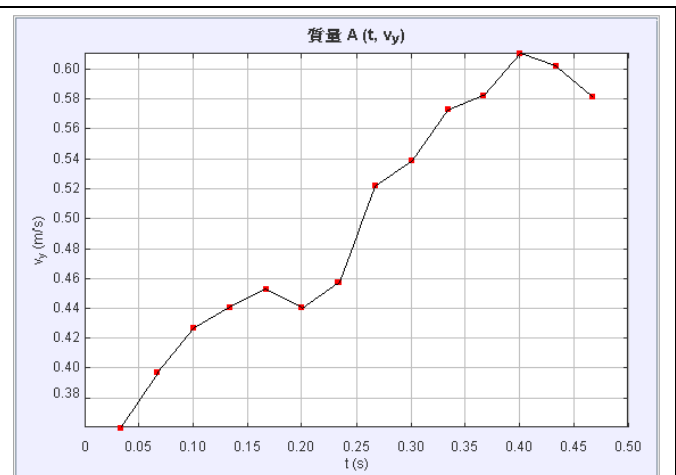


圖 3-1 (b) 水(不含內珠)怪怪球側拍  $V_y$ - $t$  圖。

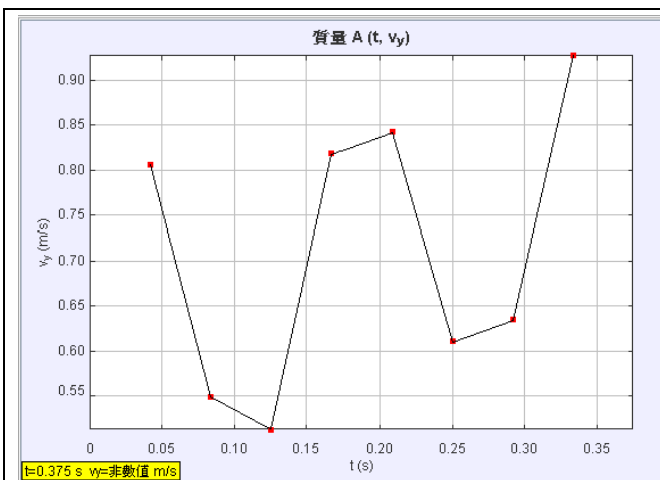


圖 3-2(a)水(含內珠)正拍  $V_y$ - $t$  圖。

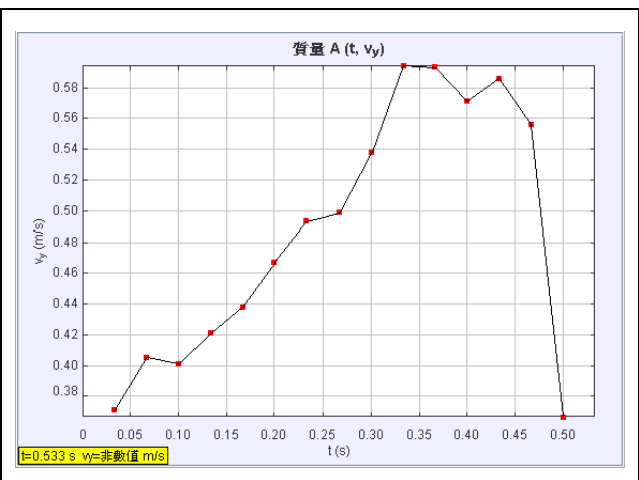


圖 3-2(b)水(含內珠)側拍  $V_y$ - $t$  圖。

3. 怪怪球(填充含水、彈珠)滾動過程中水面和彈珠位置之變化(圖 3-3):

- (1)水面從水平到有波動的變化。
- (2)彈珠可能會在正下方，也可能因為球往下滾，而往後上方移動。

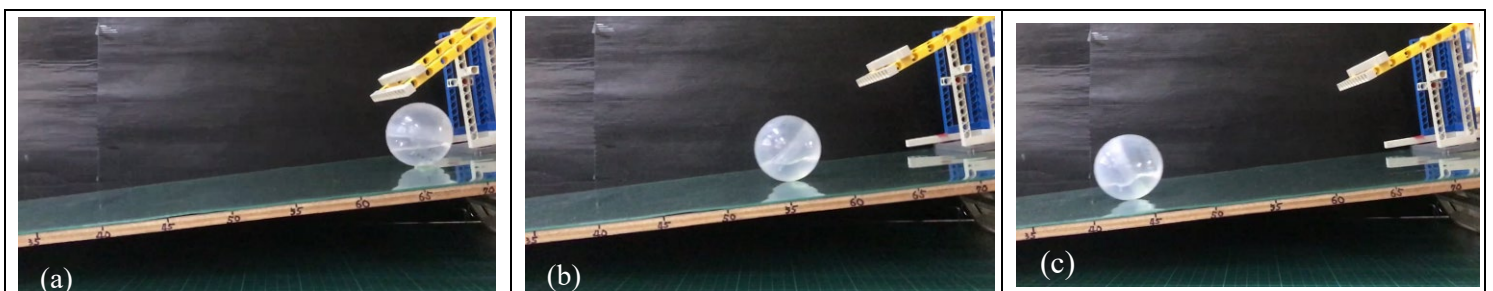


圖 3-3.怪怪球(填充含水、彈珠)滾動過程中水面和彈珠位置之變化。

- (a)彈珠在正下方，水面平。(b) 彈珠在正下方，水面波動。(c) 球往下滾，彈珠往後上方移動。

## 研究四、探究怪怪球填充不同液體的滾動情形

### (一)實驗設計

操作變因: I. 不含內珠之不同液體: 水、膠水、洗手乳(M 牌)、乳液(N 牌)

II. 含內珠之不同液體: 水、膠水、洗手乳(M 牌)、乳液(N 牌)

控制變因: 軌道坡度、40ml 液體量、丙殼

應變變因: 1. 測量滾落時間、2. 觀察滾動情形。

(二)實驗步驟: 依實驗操作標準流程, 每個實驗重複 5 次。

### (三)實驗結果

表 4-1. 填充不同液體怪怪球滾動情形比較

種類/項目	不含內珠				含內珠			
	水	洗手乳	膠水	乳液	水	洗手乳	膠水	乳液
總動時間比	100%	100%		52.73%	100%	100%	100%	37.21%
總停時間比	0%	0%		47.28%	0%	0%	0%	62.13%
總時間(sec)	1.54	21.62		182.21	1.54	57.5	49.38	187.54
動停回數(次)	1	1		9.6	1	1	5.2	8.25
減速次數(次)	4.4	25.2	18.8	104	3.8	48.6	40.8	32.8

註: 1. 各個比較項目均為重複實驗的平均值。

2. 分析之有效數據為怪怪球有滾動到軌道終點。

3. 填充膠水(不含內珠)在 5 次的實驗中僅有 1 次滾到終點, 其餘會在中途就停住超過 5 分鐘, 因此僅分析減速次數平均值。

### (四)實驗討論

#### 1. 水

(1) 滾動順暢, 平均滾動時間為 1.54 秒。

(2) 和丙殼(平均時間 1.44 秒)比較仍略慢, 表示水對整個球體之滾動已有減速的作用產生 [圖 3-1(a)、圖 3-2(a)]。

#### 2. 洗手乳

(1) 滾動順暢, 平均滾動時間為 21.62 秒。

(2) 滾動時會有停止現象, 但停止時間均小於 3 秒, 因此我們用 Tracker 軟體分析, 用 Vy-t 圖來呈現它的運動狀態(圖 4-2-1、圖 4-2-2)。

(3) 突然的高峰是因為追蹤質點不到, 所以選擇略過, 故 Vy-t 圖繪有突然的高峰或低峰。

(4) 平均滾動時間: 含內珠洗手乳 > 不含內珠洗手乳, 代表有含有內珠之怪怪球以有減速的效果。

### 3.膠水

- (1)依數據減速次數:含內珠之膠水 > 不含內珠之膠水 (圖 4-3-1、圖 4-3-2)。
- (2)不含內珠之膠水在 5 次的實驗中僅有 1 次滾到終點，其餘會在中途就停住超過 5 分鐘。

### 4.乳液

- (1)不含內珠乳液，除了乳液 1-1，其餘四次實驗「總動時間」平均比例為 52.7%，「總停時間」平均比例為 47.3%，代表每一次滾動的動停運動時間接近。
- (2) 不含內珠乳液怪怪球滾動緩慢，根據實驗數據「動停回數」的範圍為 7~9 回，其中有四次實驗(乳液 1-2~乳液 1-5)有滾落到終點；乳液 1-1 最後停留在 19cm 處，時間超過 5 分鐘，因此還沒到終點就結束實驗。
- (3)在起始位置球內的乳液會集中在下方，滾動的過程乳液會分布在球內壁上，導致乳液無法集中，重心偏移，需要等到乳液慢慢往下聚集，怪怪球才會繼續滾動。當怪怪球停愈久代表附著在外殼內壁上的乳液集中在下方愈慢(圖 4-4-3、圖 4-4-4)。

### (五)【研究三】綜合討論：

- 1.不含內珠平均減速次數: 乳液 > 洗手乳 > 膠水 > 水。
- 2.比較相同液體中的減速次數，可以發現:
  - (1)洗手乳和膠水都是含內珠液體 > 不含內珠液體。
  - (2)水和乳液: 不含內珠液體 > 含內珠液體
- 3.除了水之外，填充其他三種液體球體滾動停止的位置會受接縫處影響，也就是接縫處接觸軌道面時停住，等填充液慢慢往下聚集，怪怪球才會繼續滾動。

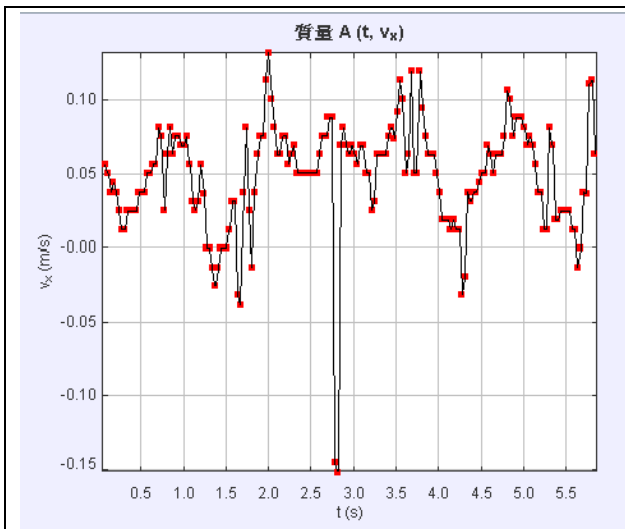


圖 4-2-1.洗手乳(不含內珠) 怪怪球  $V_x$ -t 圖  
( $V_x$ :往下滾動方向)

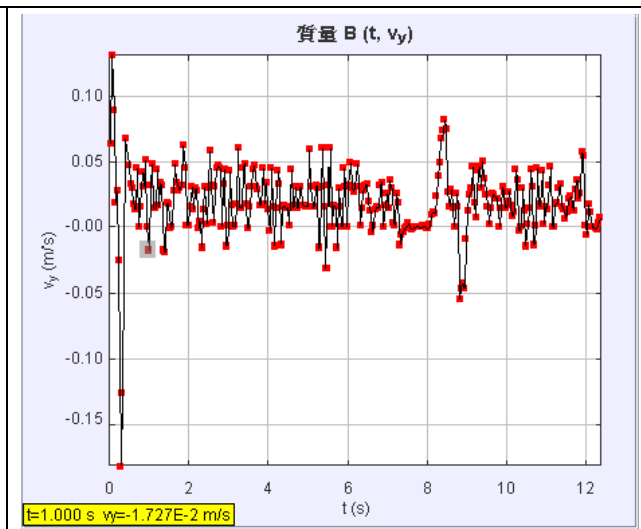


圖 4-2-2.洗手乳(含內珠) 怪怪球  $V_y$  -t 圖  
( $V_y$ :往下滾動方向)

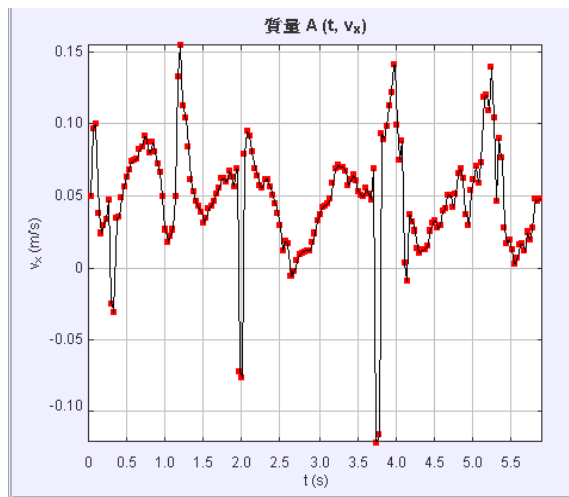


圖 4-3-1.膠水(不含內珠)怪怪球  $V_x$  -t 圖  
( $V_x$ :往下滾動速度)。

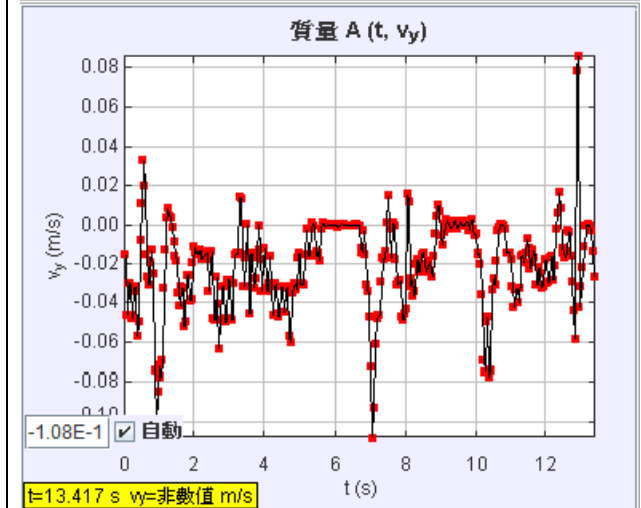


圖 4-3-2. 膠水(含內珠)怪怪球  $V_y$ -t 圖  
( $V_y$ :往下滾動速度)。

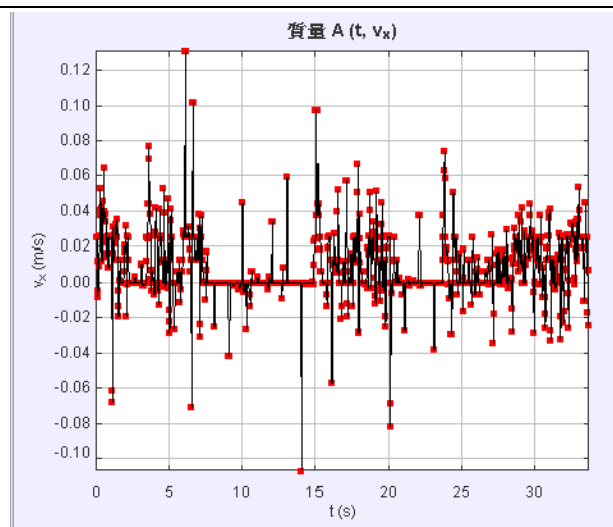


圖 4-4-1.乳液(不含內珠)怪怪球  $V_x$  -t 圖  
( $V_x$ :往下滾動方向)。

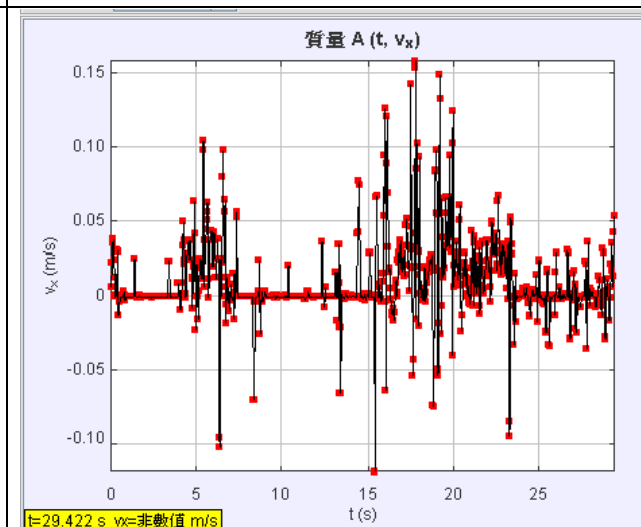


圖 4-4-2. 填充乳液(含內珠)怪怪球  $V_x$  -t 圖  
( $V_x$ :往下滾動速度)。



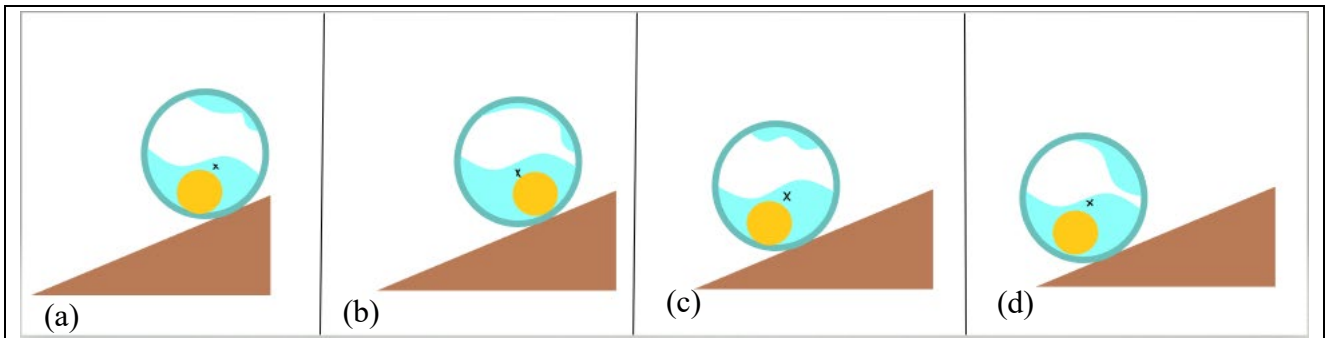


圖 4-4-3.填充乳液(含內珠)怪怪球滾動彈珠和重心位置改變示意圖(黃點是彈珠，x是重心)

(a)因為液體黏滯性的影響，所以重心偏後方。

(b)因為球往前滾，內珠也會往前滾，所以重心偏前面。

(c)、(d)因為球繼續向前滾，但持續受液體黏滯性影響，速度減緩，所以重心偏後方。

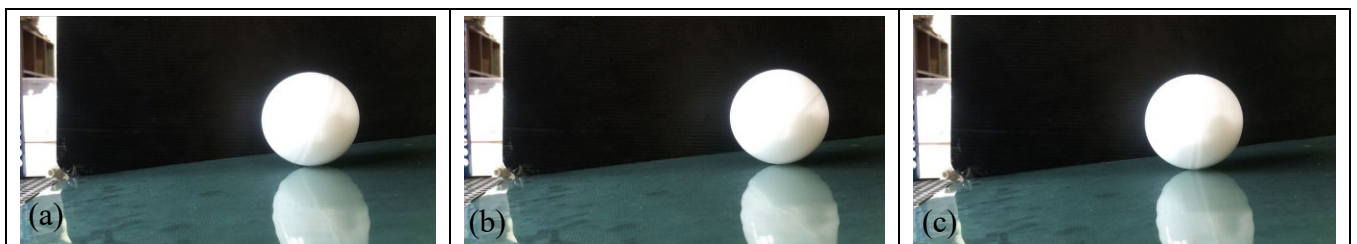


圖 4-4-4.(a)-(c) 填充乳液滾動中側拍圖。

## 研究五、探究怪怪球填充不同乳液量的滾動的情形

### (一)實驗設計

操作變因: I.不含內珠乳液量:25ml、40ml、55ml、85ml

II.含內珠乳液量:25ml、40ml、55ml、85ml

控制變因: 軌道坡度、丙殼、乳液

應變變因: 1.測量滾落時間、2.觀察滾動狀態變化。

(二)實驗步驟: 依實驗操作標準流程，每個實驗重複 5 次。

(三)實驗結果：

表 5-1

乳液(ml)	25	40	55	85
總重(g)	40.2	54.7	69.1	98
填充液比例	13.92%	22.27%	30.62%	47.33%

\*丙殼容積:179.6 c.c.

表 5-2 比較填充不同乳液量的滾動情形

種類/項目	不含內珠				含內珠			
	25	40	55	85	25	40	55	85
液體量(ml)	25	40	55	85	25	40	55	85
總動時間比	100%	52.73%	76.68%	64.40%	100%	37.21%	60.29%	72.69%
總停時間比	0%	47.28%	23.33%	35.6%	0%	62.13%	39.71%	27.31%
總時間(sec)	1.40	182.21	607.04	127.01	1.77	187.54	334.74	321.48
動停回數(次)	1	9.6	9.5	6	1	8.25	8.25	9.2

註：1.各個比較項目均為重複實驗的平均值。  
2.分析之有效數據為怪怪球有滾動到軌道終點。

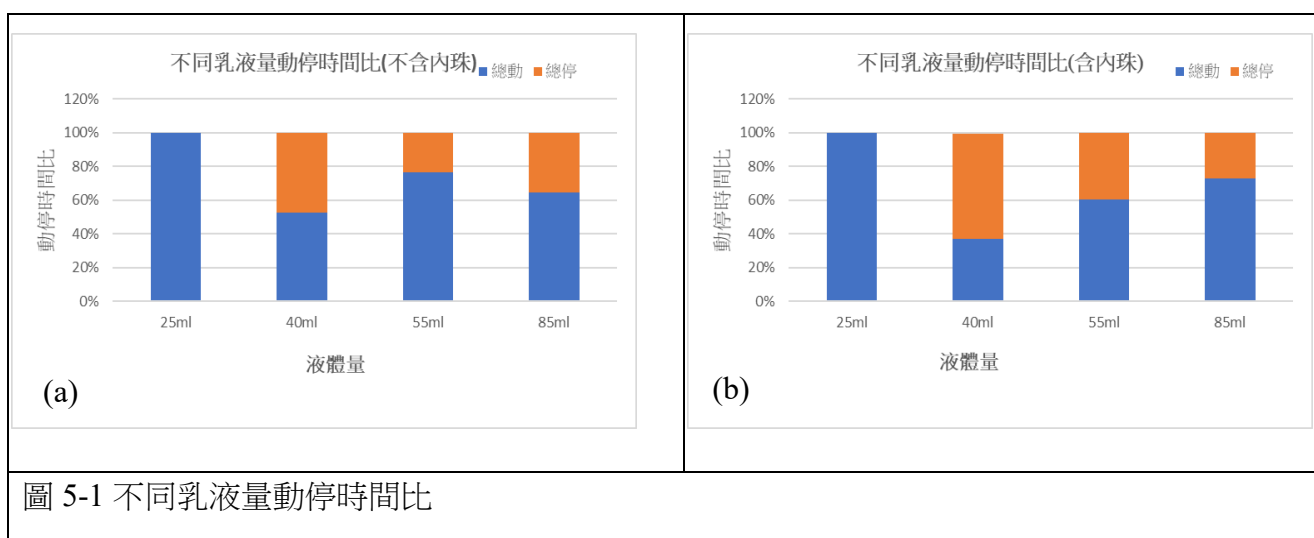


圖 5-1 不同乳液量動停時間比

#### (四)實驗討論：

##### 1.填充 25ml 乳液怪怪球:

- (1)滾動有時稍有減速很短暫停頓現象，但大多滾動順暢。
- (2)時會偏右或偏左而出軌。

##### 2.總停時間比的比較:

- (1)不含內珠:40ml > 85ml > 55ml
- (2)含內珠: 40ml > 55ml > 85ml

因此無論有沒有內珠，怪怪球填充 40ml 乳液(22.27%)有較高的總停時間。

##### 3.動停回數比較:

- (1)不含內珠:40ml > 55ml > 85ml
- (2)含內珠: 85ml > 40ml = 55ml

##### 4.填充 55ml 和 85ml 乳液之怪怪球滾動情形以 Tracker 自動追蹤，會追蹤到球內乳液緩慢流動的情形，而不是整顆球的滾動，因此沒有使用 Tracker 分析。

## 伍、研究結論

### 一、組合球材料選用

- 1.球形外殼滾動軌跡接近直線，適合作為本實驗材料較易於分析。
- 2.選用滾動平均時間最快的「外丙內 G」且內部空間比較大(如此可以填充的液體變化量大)的組合來做實驗，期望較能符合有動有停之滾動狀態。

### 二、填充不同液體的滾動情形

- 1.黏滯性: 乳液 > 洗手乳 > 膠水 > 水。
- 2.僅填充水對整個球體之滾動已有減速的作用產生。
- 3.填充不同液體(不含內珠)的平均減速次數: 乳液 > 洗手乳 > 膠水 > 水。
- 4.比較**相同液體**中的減速次數，可以發現:
  - (1)洗手乳和膠水都是**含內珠液體** > **不含內珠液體**。
  - (2)水和乳液: **不含內珠液體** > **含內珠液體**

### 三、填充不同乳液量的滾動的情形

- 1.填充 25ml 乳液怪怪球，大多滾動順暢。
- 2.總停時間的比較:  
無論有沒有內珠，怪怪球填充 40ml 乳液(22.27%)有較高的總停時間。
- 3.動停回數比較:
  - (1)不含內珠:40ml> 55ml >85ml
  - (2)含內珠: 85ml > 40ml = 55ml

## 陸、未來研究

- 1.除了水之外，填充其他三種液體球體滾動停止的位置會受接縫處影響，如何讓外殼沒接縫是未來要解決的問題。
- 2.利用側拍來記錄怪怪球的滾動狀態，可以減少水平方向的運動狀態干擾，是我們未來要嘗試的實驗。
- 3.我們仍然期待藉由實驗設計能歸納出一種填充液體和彈珠的組合模式的怪怪球，發展出公式，而得到我們想要的”有動有停”的怪怪球，進而能應用在生活中。

## 柒、參考資料

- 1.荷莉芳(2015.12)。滾罐大賽。科學少年 no.12。第 81-85 頁。
- 2.董宥言等。2019。蝸牛球。中華民國第59屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 3.誰比較快?(斜面運動篇)。中央大學物理演示廳。線上檢索日期：2020年12月23日。  
<http://phy.tw/%E7%A7%91%E5%AD%B8%E5%AF%A6%E9%A9%97/item/100-item-title>

- 4.蝸牛球(Snail ball)。科學玩具柑仔店。線上檢索日期：2020年9月23日。  
<http://kingdarling.blogspot.com/2013/02/snail-ball.html>
- 5.跟重力作怪的烏龜罐與蝸牛球。zfangの科學小玩意。線上檢索日期：2020年9月23日。  
<http://n.sfs.tw/content/index/10775>
- 6.看誰滾der慢! 線上檢索日期：2020年9月23日。  
[http://sf.wfjh.kh.edu.tw/module/power/workUpload/2019\\_533610.pdf](http://sf.wfjh.kh.edu.tw/module/power/workUpload/2019_533610.pdf)
- 7.機油黏度測試。線上檢索日期：2020年12月10日  
<https://www.youtube.com/watch?v=ymHHrewg2RQ>

## 【評語】 080107

本作品探討填充液體之球殼的滾動，屬於舊科展主題。內容限於現象的觀察與描述，沒有對問題本身的科學進行探討。相關變因選擇以及說明和論述，仍有加強的空間。

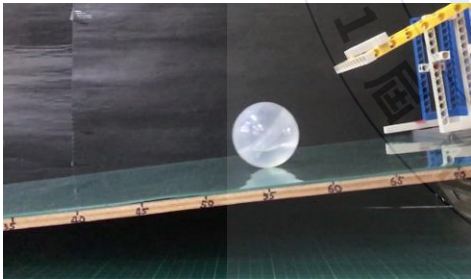
## 作品簡報



# 作品名稱：好球！動靜皆移



——組合扭蛋球滾動狀態之探究



組別：國小組

科別：物理科

# 研究動機

我們很好奇蝸牛球會因球內的液體使球**有動有停**，因此開始這次的探究實驗。我們為了讓實驗變得多元性，所以我們做了不同組合球，統一稱為**怪怪球**。

# 研究過程

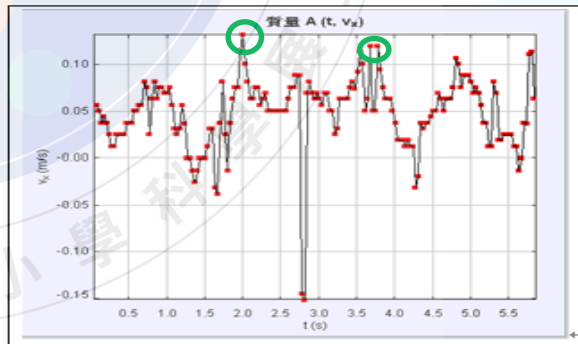
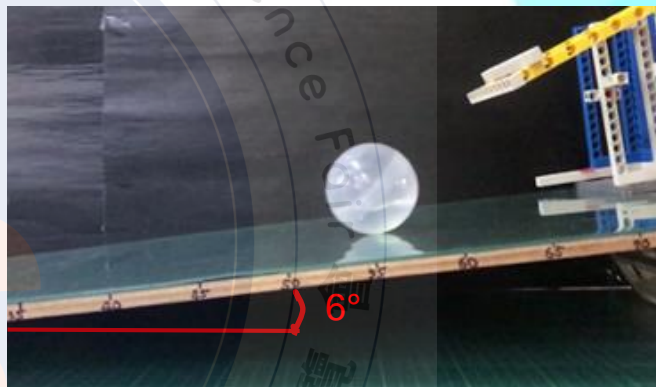
(一)軌道:軌道長80cm，寬35cm，坡度6度。

(二)以注射器量取液體量。

(三)推論黏滯性: 乳液 > 洗手乳 > 膠水 > 水

(四)Tracker 分析

繪製成y-t圖及Vy-t圖，Vy-t圖的峰值是下滑過程中的減速時刻。



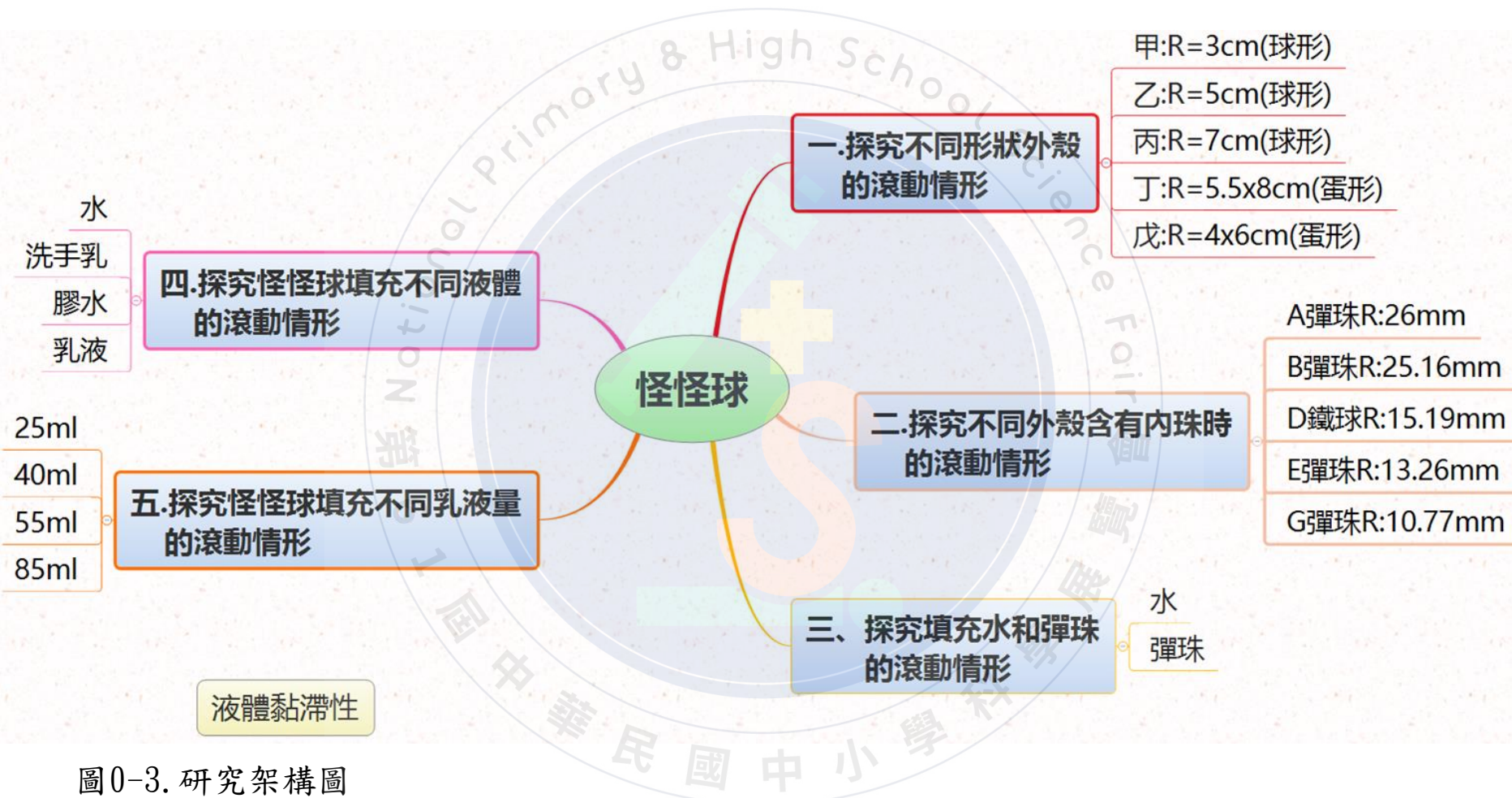
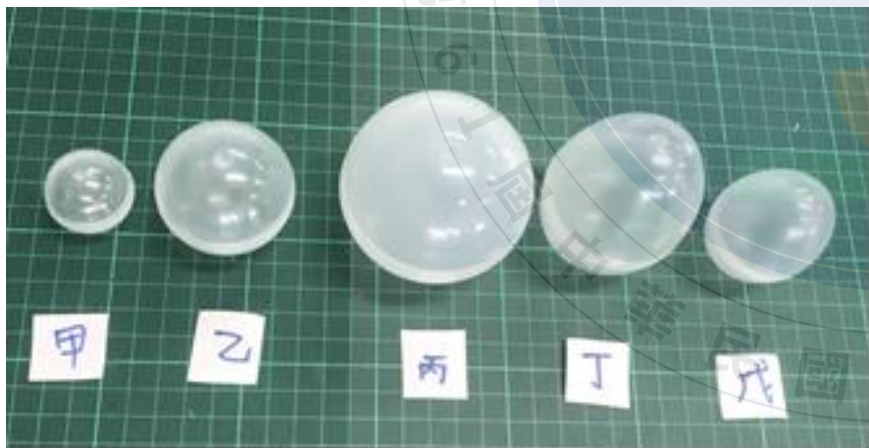


圖0-3. 研究架構圖

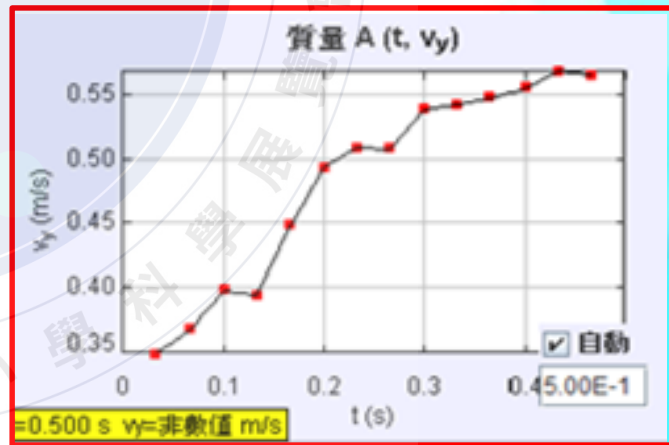
# [研究一] 不同形狀外殼怪怪球的滾動情形

表1-1. 不同外球的規格

外殼種類	甲	乙	丙	丁	戊
形狀	球形	球形	球形	蛋形	蛋形
規格(cm)	R:3	R:5	R:7	5.5×8	4×6
重量(g)	2.2	6.3	16.2	10	5.7



1. 甲、乙、丙三種外殼軌跡接近直線；  
丁、戊蛋形外殼滾落軌跡會偏向尖端的那一邊。
2. 由 $V_y-t$ 圖發現空球在滾落過程中也會減速現象，推測原因是受接縫處和兩端原點的影響。





# [研究二] 探究不同外殼含有內珠時的滾動情形

表2-1. 不同外殼和內球組合的滾動結果

種類/時間	外丙 內A	外乙 內A	外甲 內A	外丙 內D	外乙 內D	外甲 內D	外丙 內G	外乙 內G	外甲 內G
滾動平均 時間(sec)	1.99	2.15	1.92	1.99	2.08	2.07	1.86	2.02	2.17
全距(sec)	0.25	0.28	0.19	0.29	0.25	0.39	0.36	0.23	0.40

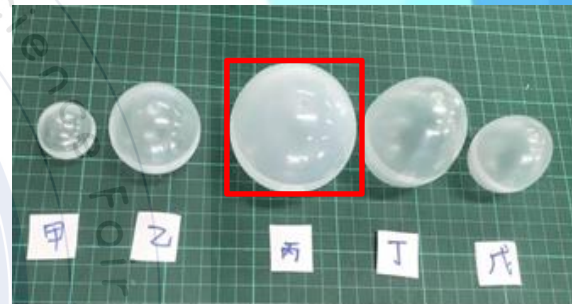


表2-2. 不同內球的規格

種類	A	B	D	E	G
直徑(mm)	26	25.16	15.9	13.26	10.77
重量(g)	23.0	7.6	11.2	5.4	2.0
滾動平均 時間(sec)	1.51	1.49	1.69	2.00	1.47
全距(sec)	0.39	0.23	0.13	0.24	0.38

►► 為了探究有動有停的怪怪球，所以選用最快的「外丙內G」，因為內部空間較大，較容易觀察內部的球和液體的滾動情形。

# [研究三] 探究怪怪球填充水和彈珠的滾動情形

表3-1不同怪怪球平均減速次數

種類	A.丙殼	B.含水丙殼	C.含水和彈珠丙殼
直徑(cm)	3	3	3
重量(g)	16.2	56.2	58.2
填充物	無	40ml 水	40ml 水、2g彈珠
平均減速次數	2	1.6	2

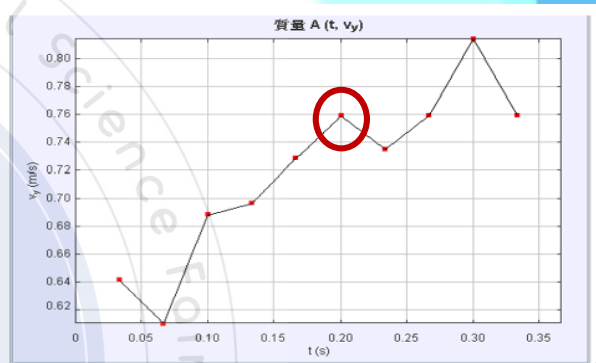


圖 5-1-1 (a) 水(不含內珠)怪怪球正拍( $V_y$ :往下滾動速度; 分析位置: 60cm~35cm)。

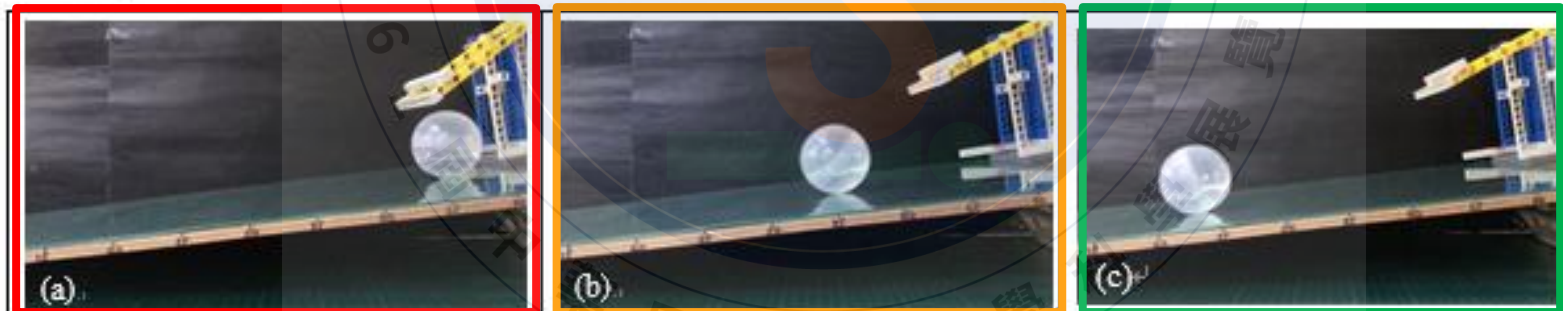


圖 3-3: 怪怪球(填充含水、彈珠)滾動過程中水面和彈珠位置之變化。

(a) 彈珠在正下方，水面平。 (b) 彈珠在正下方，水面波動。 (c) 球往下滾，彈珠往後上方移動。



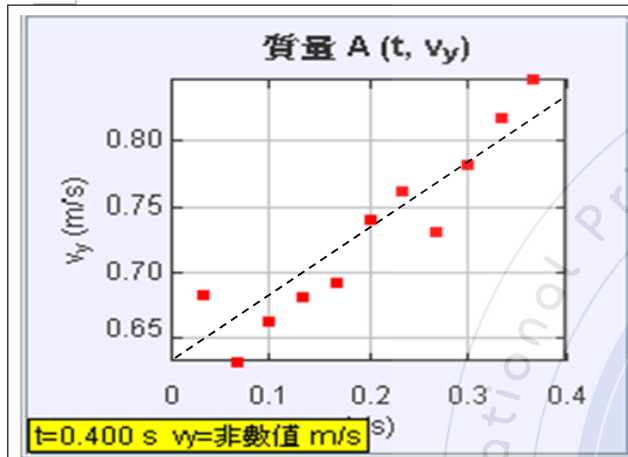


圖 3-1(a)·水(不含內珠)怪怪球正拍  $V_y$ - $t$  圖。

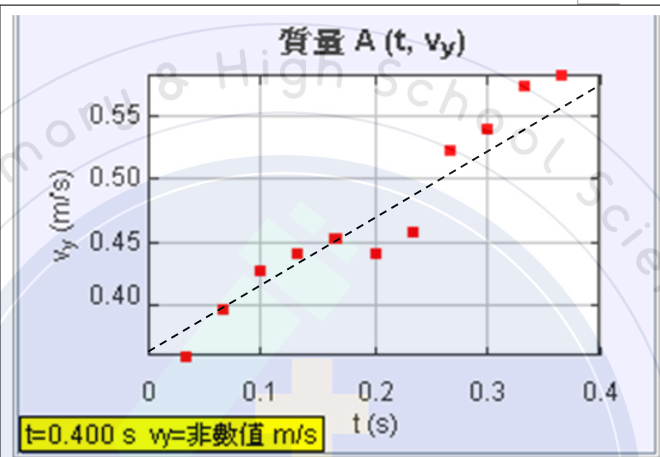


圖 3-1(b)·水(不含內珠)怪怪球側拍  $V_y$ - $t$  圖。

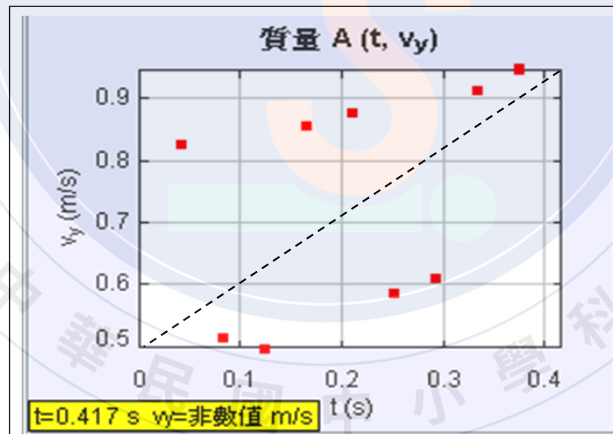
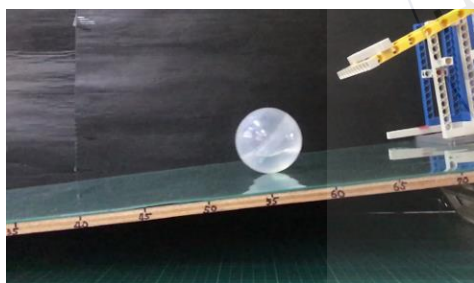


圖 3-2(a)水(含內珠)正拍  $V_y$ - $t$  圖。

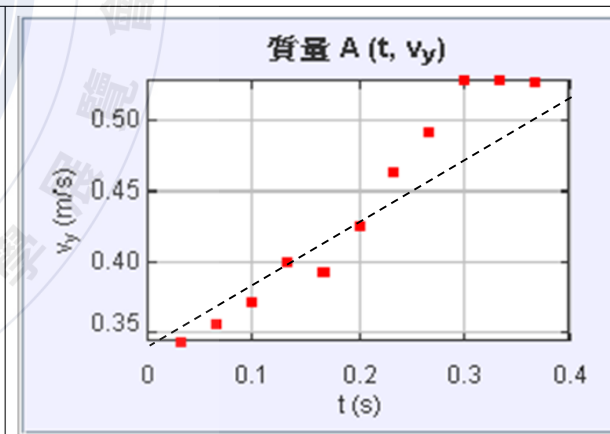


圖 3-2(b)水(含內珠)側拍  $V_y$ - $t$  圖。

# [研究四] 探究怪怪球填充不同液體的滾動情形

表4-1. 填充不同液體怪怪球滾動情形比較

種類/項目	不含內珠				含內珠			
	水	洗手乳	膠水	乳液	水	洗手乳	膠水	乳液
總動時間比	100%	100%		52.73%	100%	100%	100%	37.21%
總停時間比	0%	0%		47.28%	0%	0%	0%	62.13%
總時間(sec)	1.54	21.62		182.21	1.54	57.5	49.38	187.54
動停回數(次)	1	1		9.6	1	1	5.2	8.25
減速次數(次)	4.4	25.2	18.8	104	3.8	48.6	40.8	32.8

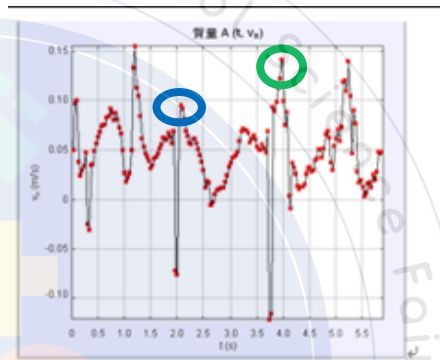


圖 4-3-1. 膠水(不含內珠)怪怪球  $V_x-t$  圖  
 ..... ( $V_x$ : 往下滾動速度)。

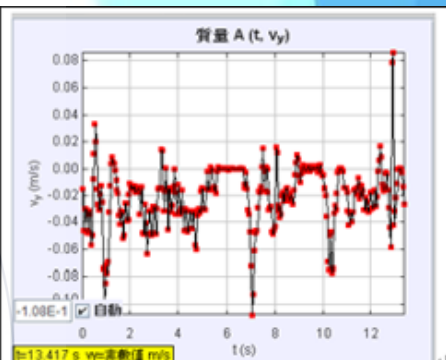


圖 4-3-2. 膠水(含內珠)怪怪球  $V_y-t$  圖  
 ..... ( $V_y$ : 往下滾動速度)。

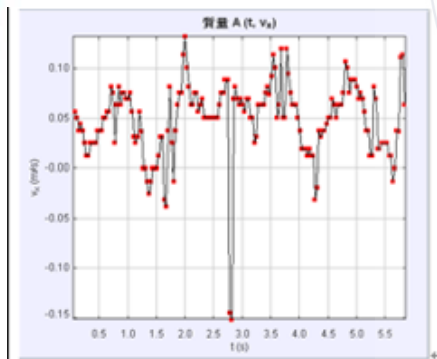


圖 4-2-1. 洗手乳(不含內珠)怪怪球  $V_x-t$  圖  
 ..... ( $V_x$ : 往下滾動方向)。

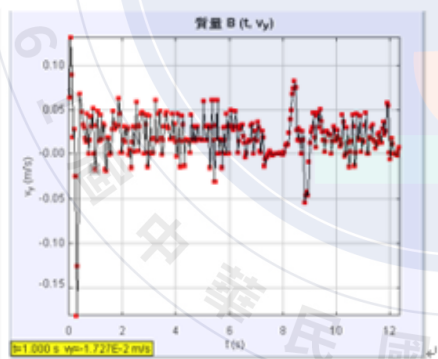


圖 4-2-2. 洗手乳(含內珠)怪怪球  $V_y-t$  圖  
 ..... ( $V_y$ : 往下滾動方向)。

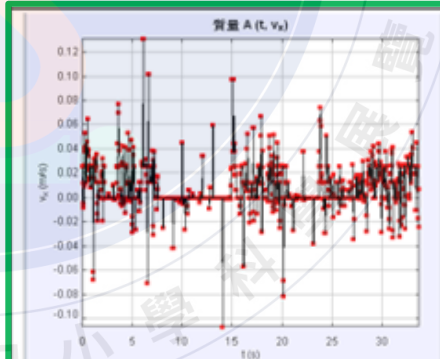


圖 4-4-1. 乳液(不含內珠)怪怪球  $V_x-t$  圖  
 ..... ( $V_x$ : 往下滾動方向)。

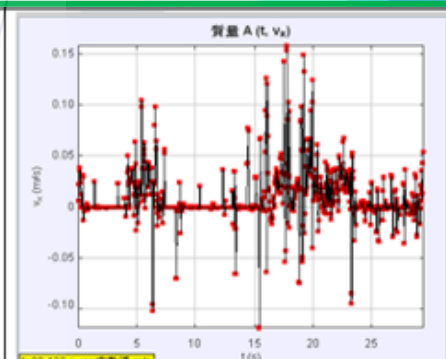


圖 4-4-2. 填充乳液(含內珠)怪怪球  $V_x-t$  圖  
 ..... ( $V_x$ : 往下滾動速度)。

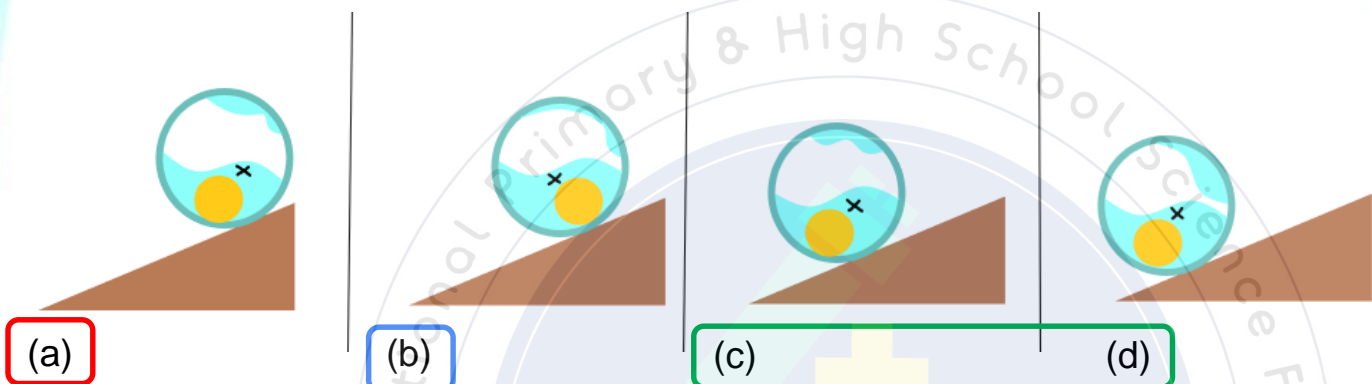


圖 4-4-3. 填充乳液(含內珠)怪怪球滾動彈珠和重心位置改變示意圖(黃點是彈珠, \*是重心)



圖 4-4-4.(a)-(c) 填充乳液滾動中側拍圖。

# [研究五] 探究怪怪球填充不同乳液量的滾動的情形

表5-2 比較填充不同乳液量的滾動情形

種類/項目	不含內珠				含內珠			
液體量(ml)	25	40	55	85	25	40	55	85
總動時間比	100%	52.73%	76.68%	64.40%	100%	37.21%	60.29%	72.69%
總停時間比	0%	47.28%	23.33%	35.6%	0%	62.13%	39.71%	27.31%
總時間(sec)	1.40	182.21	607.04	127.01	1.77	187.54	334.74	321.48
動停回數(次)	1	9.6	9.5	6	1	8.25	8.25	9.2

- 註：1. 各個比較項目均為重複實驗的平均值。  
2. 有效數據為怪怪球有滾動到軌道終點。

# [研究五]

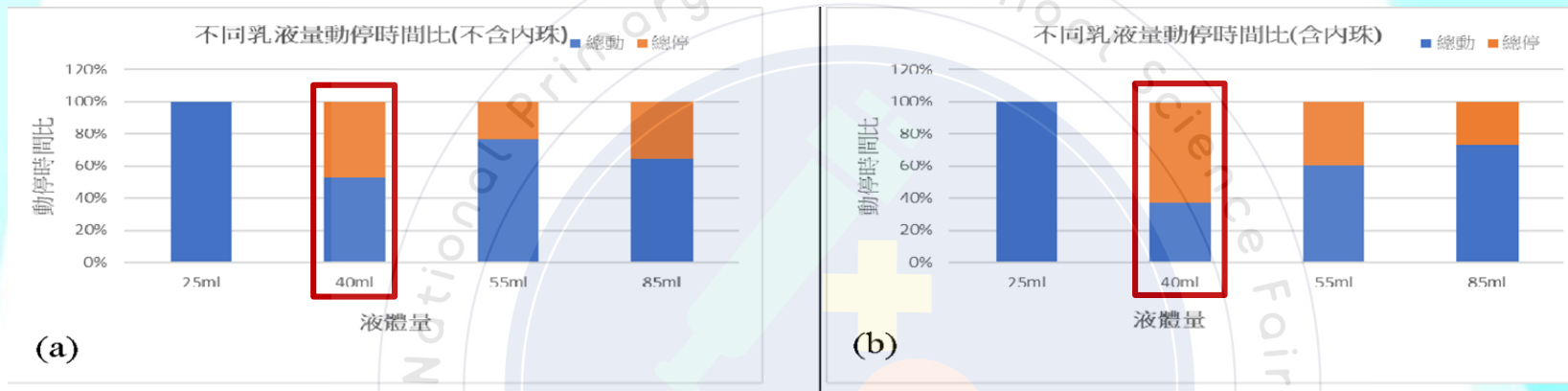


圖5-1 不同乳液量動停時間比

## ►► 討論

1. 總停時間的比較: 無論有沒有內珠, 怪怪球填充40ml乳液(22.27%)有較高的總停時間。

2. 動停回數比較:

(1) 不含內珠:  $40\text{ml} > 55\text{ml} > 85\text{ml}$

(2) 含內珠:  $85\text{ml} > 40\text{ml} = 55\text{ml}$



## 陸、未來研究

- 1.外殼沒接縫處是未來要解決的問題。
- 2.側拍滾動狀態，可以減少水平方向的運動狀態干擾，是我們未來要嘗試的實驗。
- 3.期待藉由實驗能歸納出一種填充液體和彈珠的組合模式的怪怪球，發展出公式，以得到我們想要的”有動有停”的怪怪球，進而能應用在生活中。

## 柒、參考資料

- 1.董宥言等。2019。蝸牛球。中華民國第59屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 2.誰比較快?(斜面運動篇)。中央大學物理演示廳。
- 3.看誰滾der慢! 線上檢索日期：2020年9月23日。

