

愛到最高點不讓你溜走— 溜溜球迴升高度的研究和應用

高小組應用科學科第一名

台北市龍山國民小學

作者：洪振峰、陳章聿

張素菁、吳俊賢

指導教師：翁進勳、江丕振

一、研究動機

天黑的時候，小弟興沖沖回來，嚷叫著我與小玲看它表演大衛魔術，眼看著他把手中的東西一放，一個圓形的輪盤從一條繩子溜溜下來，接著上去又下來，反覆多次仍不停止，好好玩的東西！到底它是誰呢？為何溜溜下去還能爬上來，在滑動的過程裡為什麼會有清脆的響聲呢？好奇怪喔！到底它的肚子蘊藏什麼玄機呢？我們問道；小明說它叫“溜溜球”。

二、研究目的

- (一)調查市面上溜溜球的種類，了解其構造及迴轉的原理？
- (二)探討溜溜球繩索及旋轉盤的變因對迴升高度的影響？
- (三)研究溜溜球會響、會轉的原理及如何應用在日常生活當中？

三、研究設備和器材

- (一)自製實驗台一座、各種形狀，不同規格的溜溜球若干個。
- (二)市面各式各樣的溜溜球若干個。
- (三)圓規、長尺、量角器、方格紙。
- (四)繩索、油土、攝影機、電池、天平、砝碼、碼表。

四、研究問題

- (一)市面上及同學們所有的溜溜球廠牌及構造如何？
- (二)如何操作溜溜球和觀測迴升高度，我們從操作的過程發現了什麼？
- (三)溜溜球的形狀會影響迴升的高度嗎？
- (四)溜溜球的面積和重量、材料會影響迴升的高度嗎？
- (五)溜溜球繩索的質料、長短、粗細會影響迴升的高度嗎？

(六)溜溜球的軸心距離、粗細、形狀會影響迴升的高度嗎？

(七)溜溜球迴轉停止時會響，其原理為何？

(八)如何應用離心力，製作會響又會亮的溜溜球？

五、研究過程和方式

問題(一)市面上及同學們所有的溜溜球廠牌及構造如何？

研究方法：

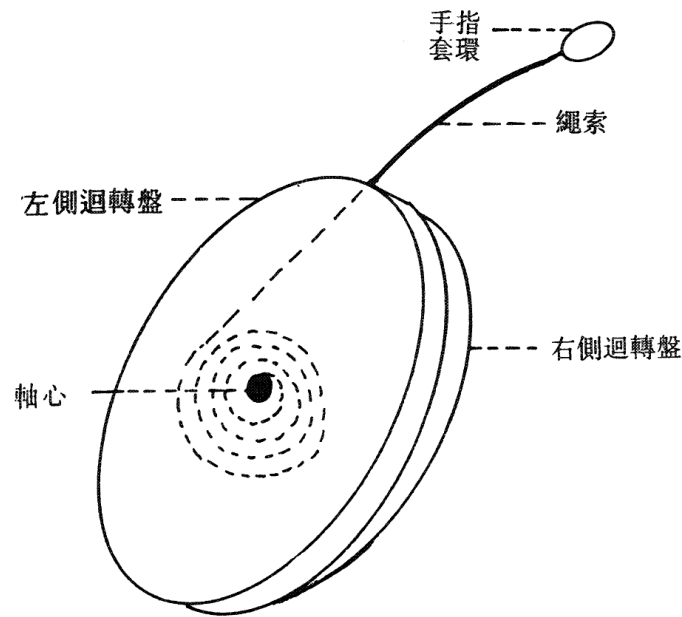
(一)我們幾位同學分別到體育用品社、文具店、玩具批發商蒐集到各種不同廠牌的溜溜球共有 10 種，編號如下表：

編號	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
廠牌	雪	芝	功	芬	可口	美國	魔	麥	東	C
名稱	碧	蘭	夫	達	可樂	搖搖	鬼	登	寶	G

(二)經過測量及觀察，溜溜球的構造如下表：

主要構造	迴轉盤					繩索			軸心		
	材料	形狀	直徑	重量	音響	材料	長短	直徑	形狀	直徑	距離
項目	塑膠	圓形	5.5公分	40至45克	有	紗繩	85至90公分	1至1.5釐米	圓形	6至10釐米	3釐米
數量統計	10	10	7	6	1	10	6	9	10	8	9
百分比	100%	100%	70%	60%	10%	100%	60%	90%	10%	80%	90%

(三)溜溜球的細部構造圖：



問題(二)如何操作溜溜球和觀測迴升高度，我們從操作的過程發現了什麼？

操作方法：

- (一)把繩索放在兩個圓盤中間的凹槽（即軸心部份），並且朝同一方向旋轉（向前或向後均可），直到繩索繞到套指圓環。
- (二)接著把手指（食指或中指）套進圓環，其餘手指握著“溜溜球”身體保持輕鬆自然，手肘與地面保持適當的距離（大約繩索的長度）。
- (三)當手中的溜溜球放開時，溜溜球便順著繩索往下滑溜，接著上來又下去，再配合手上的拉力，可以反覆多次而不停止。
- (四)爲了觀察和測量溜溜球升高的高度，我們利用家裡廢棄的窗框舖上方格紙，作爲實驗台如圖：

(五)測量標準：

1. 由同一個人操作（事先練習操作，達到一定熟練程度，才開始測量。操作次數共五次並求出平均值。）
2. 透過目視或攝影機拍照，記錄溜溜球迴升的高度。
3. 必須在室內無風的狀態下進行實驗。

發現：

- (一)當手中的拉力繼續的時候，溜溜球很有節奏的上去下來，可是拉力停止的時候，溜溜球的高度卻一次比一次的低，反覆幾次動力逐漸消失便停止轉動。
- (二)由繩索的環繞（方法一）我們發現繞出來的形狀有兩種；一種是規則螺旋狀，一種是不規則的形狀。
- (三)溜溜球於地面靜止不動時，可以利用繩索的拉力，有技巧的把溜溜球活動起

來達到起死迴升的效果。

(四)大部份的溜溜球、迴轉升高的時候，沒有聲音也沒有燈光，可是我們發現編號 3 號的溜溜球會發出音響（每隔 5 秒響一次）。

(五)仔細觀察編號 3 號的溜溜球迴升到最高點或降低到最低點（即停止轉動的剎那），音響便會出現，而在迴轉的過程則靜悄悄沒有聲音。

(六)在操作的過程裡，我們突然想到溜溜球的形狀、材料、軸距、面積、重量、如果給他改頭換面；用不同長度、材料的繩索操作，其結果是否一樣？於是我們把以上的發現和想法請教老師並且進行下列各項問題的研究。

問題(三)溜溜球的形狀會影響迴升的高度嗎？

研究方法：

(一)我們在老師的指導下，利用圓規及量角器在直徑 5 公分的圓形裡頭，設計了下列五種不同形狀的木製溜溜球（形狀即斜線部份）。

(二)溜溜球使用紗繩長度都是 100 公分，粗細以及軸心距離都一樣。

形狀	等邊三角形	正方形	正六邊形	正九邊形	圓形(標準型)	
圖 樣						
重量(克)	9.8	12.1	14.8	16.9	22.7	
實驗次數	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	
迴升 高度	○ 二 · 五 二 · 五 ○ 二 · 五	三 · 五 三 · 五 三 · 五 三 · 五 三 · 五	五 · 五 五 · 五 五 · 五 五 · 五 五 · 五	六 · 五 六 · 五 六 · 五 六 · 五 六 · 五	六 · 五 六 · 五 六 · 五 六 · 五 六 · 五	
總平均(公分)	1.5	37.5	52.5	61	64	
迴圖 升 高 度 直 條	100— 90— 80— 70— 60— 50— 40— 30— 20— 10— 0—	明 顯 頓 挫 現 象	有 一 點 頓 挫 現 象	平 穩	平 穩	很 平 穩

發現：

(一)各種不同形狀的溜溜球在迴轉的過程裡；其所產生的幻影都是直徑 5 公分的

圓形。

(二)等邊三角形及正方形的溜溜球，其頂角在迴升的過程會碰到繩索而產生頓挫震盪、重心不穩、效果最差，尤其是等邊三角形狀的溜溜球。

(三)正六邊形、九邊形的溜溜球要比三角形及正方形的迴升效果好，而正九邊形又比六邊形的好。

(四)圓形溜溜球（即標準型）重心平穩，迴升效果最好，繩索如繫活結落地之後，能在地面滾動做出各種有趣的動作，而其他形狀的溜溜球就沒有辦法做到。

問題(四)溜溜球的面積、重量、材料會影響溜溜球的迴升高度嗎？

研究方法：

(一)我們請坊間工廠為我們製作直徑 3、4、5、6、7 公分的鋼製圓形溜溜球共五個，並分別算出它們的面積。（實驗一）

(二)我們從市面蒐集得到溜溜球中挑選面積大小、款式、材料一樣的溜溜球（編號 01、02、04、06）共四個，在天平稱出其不同的重量。（實驗二）

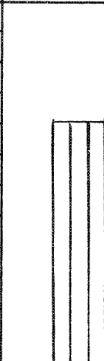

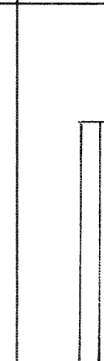
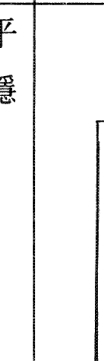
(三)將 9 號的溜溜球兩測的蓋子打開，分別填加相同重量的油土，使溜溜球的重量，成比例增加 10 克~40 克，並且注意其對稱和平衡。（實驗三）

(四)溜溜球使用的紗繩長度都是 100 公分，粗細及軸心距離都一樣，按上述四種方法分別實驗如下：



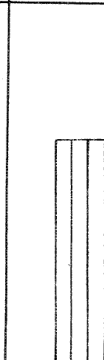
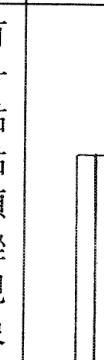
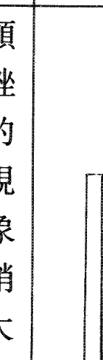
實驗結果一：

直徑	3					4					5					6					7				
圖樣																									
面積	7.07 cm ²					12.56 cm ²					19.62 cm ²					28.26 cm ²					38.47 cm ²				
重量	34 克					59 克					88 克					134 克					182 克				
實驗次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
迴升高度	0	0	0	0	0	55	52.5	55	55	55	70	67.5	65	67.5	67.5	72.5	72.5	72.5	72.5	72.5	75	75	72.5	72.5	72
總平均(公分)	0					55					67.5					72.5					73.5				
迴升高度直條	跳動並不是溜上來					頓挫的現象很明顯					平穩					平穩					平穩				

實驗結果二：

編號	01					08					05					04				
圖	雪碧					麥登					可口 可樂					芬達				
樣																				
面積	23.75 cm ²					23.75 cm ²					23.75 cm ²					23.75 cm ²				
重量	49.1 克					52 克					45.3 克					40.2 克				
實驗次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
迴升高度	75	77.5	75	75	75	80	77.5	80	80	80	75	75	77.5	75	75	72.5	75	75	75	75
總平均	75.5cm					79.5cm					75.5cm					74.5cm				
迴圖	平 穩					平 穩					平 穩					平 穩				
升 高 度 直 條																				

實驗結果三：

油土重量	0 克(空盒)					10 克					20 克					30 克					40 克				
實驗次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
迴升高度	70	72.5	72.5	72.5	72.5	70	72.5	75	75	72.5	60	65	63.5	65	67.5	60	62.5	60	62.5	62.5	55	55	55	57.5	55
總平均	72 公分					73 公分					64.2 公分					61.5 公分					55.5 公分				
迴圖	平 穩					平 穩					有 一 點 點 頓 挫 現 象					頓 挫 的 現 象 稍 大					頓 挫 的 現 象 很 明 顯				
升 高 度 直 條																									

實驗結果四：

編號	1					2					3					4				
材料名稱	塑膠					木材					鋁板					鐵板				
重量(克)	45					22.7					38.5					108				
實驗次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
迴升高度	75	77.5	75	75	75	65	62.5	65	62.5	65	65	65	65	65	62.5	70	75	71.5	72.5	72.5
總平均	75.5cm					64cm					65cm					71cm				

發現：

- (一)由實驗一發現溜溜球面積以直徑 5 到 7 公分迴轉效果最平穩，迴升高度維持 70 公分的水準，直徑 4 公分以下的溜溜球有頓挫現象。
- (二)實驗二發現市面規格相同的溜溜球，重量都不一樣，相差約在 10 克之內，可是實驗結果：重量雖略有不同，但迴轉的效果，迴升高度則沒有兩樣，同時我們也發現市面的溜溜球要比自製的溜溜球迴轉的效果好，而且迴升的高度平均多 5~10 公分左右。
- (三)實驗三溜溜球填加油土增進重量的實驗裡，發現重量填加 10 克左右沒有差別；但增加至 20 克以上則有顯著的差別，而且頓挫的現象隨著重量的增加而加大。
- (四)實驗四溜溜球的材料實驗裡，發現溜溜球的迴升效果以塑膠品最好，鋼製品次之，而鋁製品次之，以木製品最差。

問題(五)溜溜球繩索的質料、長短粗細會影響迴升的高度嗎？

研究方法：

- (一)取用長短、粗細相同質料不同的繩索，分別套上同樣規格的溜溜球，觀測其迴升高度。(實驗一)
- (二)取用粗細相同而長度各為 60、70、80、90、100 公分繩索 5 條，分別套上同樣規格的溜溜球並觀測其迴升的高度。
- (三)取用長度相同而粗細在軸距範圍以內的繩索四條(編號 1 號的是條一釐米的紗繩，而編號 2、3、4 號的繩索則分別由二、三、四條同樣規格的紗繩拈合而成的)。分別套上同樣規格的溜溜球並觀測其迴升高度。(實驗三)

實驗結果一：

繩素質料	鬆緊線					紗繩					膠繩					鉛線					電線									
長度	100 公分					100 公分					100 公分					100 公分					100 公分									
實驗次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
迴升高度	0	0	0	0	0	75	75	72.5	75	72.5	52.5	55	50	50	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
總平均	0 公分					75 公分					52.5 公分					0 公分					0 公分									

實驗結果二：

紗繩長度	100 公分					90 公分					80 公分					70 公分					60 公分				
實驗次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
迴升高度	75	75	72.5	75	77.5	65	65	65	65	65	55	55	55	55	55	47.5	47.5	47.5	47.5	47.5	40	40	40	40	40
總平均	75 公分					65 公分					55 公分					47.5 公分					40 公分				

實驗結果三：

繩索粗細	一條					二條					三條					四條				
實驗次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
迴升高度	75	75	72.5	75	77.5	70	72.5	75	72.5	72.5	70	70	70	67.5	72.5	65	67.5	67.5	67.5	67.5
總平均	75 公分					72.5 公分					70 公分					67.5 公分				

發現：





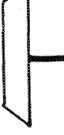
- (一)由實驗一發現：溜溜球的繩素質料會影響迴升的高度，其中以紗繩最好，膠繩次之，鬆緊線會上下震盪而挫低，而鉛線、電線迴升的高度幾乎等於 0。
- (二)由實驗二發現：溜溜球繩索的長短會影響迴升的高度，繩索越長迴升長度的比例愈高，反之則相反。
- (三)由實驗三發現：溜溜球繩索的粗細會影響迴升的高度，繩索越粗迴升的越低、愈細的迴升的高。

問題(六)溜溜球的軸心距離、粗細、形狀會影響迴升的高度嗎？






研究方法：

- (一)取用粗細，形狀相同而距離各為 5、10、20、30 公厘的軸心四支，分別套上同樣規格的溜溜球及繩索並觀測其迴升的高度。(如實驗一)
- (二)取用軸距、形狀相同而形狀不同(正方形、六邊形、圓形)三種，分別套上同樣規格的溜溜球及繩索並觀測其迴升的高度。(如實驗三)


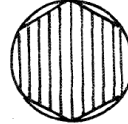
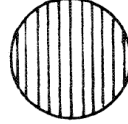
實驗結果一：

軸距	2 釐米					5 釐米					10 釐米					20 釐米					30 釐米				
實物																									
實驗次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
迴升高度	72.5	72.5	70	72.5	75	70	75	71.5	72.5	72.5	65	67.5	60	67.5	62.5	60	65	65	60	62.5	57.5	57.5	60	65	60
總平均	72.5 公分					71 公分					64.5 公分					62.5 公分					60 公分				

實驗結果二：

軸心粗細	直徑 3 公厘					直徑 6 公厘					直徑 10 公厘					直徑 15 公厘					直徑 20 公厘				
實物																									
實驗次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
迴升高度	72.5	70	72.5	72.5	72.5	70	67.5	67.5	65	65	60	62.5	67.5	65	62.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
總平均	72.5 公分					67 公分					63.5 公分					0 公分					0 公分				

實驗結果三：

軸心形狀	正方形					正六邊形					圓形				
實物															
實驗次數	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
迴升高度	57.5	60	62.5	60	62.5	65	65	67.5	67.5	67.5	70	75	71.5	72.5	71
總平均	60.5 公分					66.5 公分					71 公分				

發現：

- (一)實驗一發現：溜溜球軸心距離約 3 公厘左右，迴升的效果最為平穩，高度也最高，5 公厘則次之，以 20 公厘及 30 公厘的效果最差，會產生傾斜及搖幌

不穩的現象。

(二)實驗二發現：溜溜球軸心粗細會影響迴升高度，直徑在 6~10 公厘迴升的效果最平穩，15~20 公厘會跳動（不會溜上溜下），無法測量迴升高度。3 公厘雖然溜得較高但溜得慢。

(三)實驗三發現：溜溜球軸心形狀以圓形最好，迴升效果最平穩，高度也高，正六邊形及正方形都有頓挫的現象，尤其是正方形最為顯著。

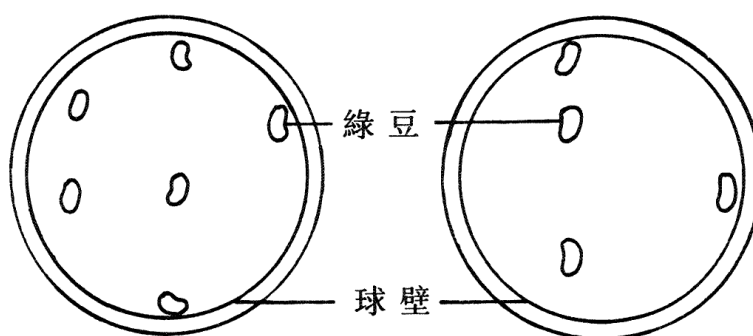
問題(七)溜溜球迴轉時不會響、停止時會響，其原理如何？

研究方法：

(一)我們從蒐集得到會發出音響及燈光的溜溜球（編號 3 號），用起子小心拆開其兩側的封蓋。

(二)仔細觀察其構造並加以拍照描繪。（如圖一）

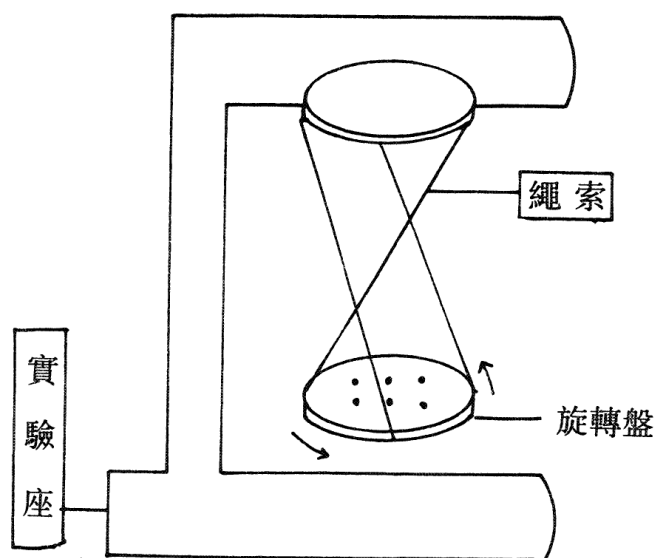
圖一：（編號 3 號音響細部構造）



(三)由圖一的構造我們稍微搖動豆子便會使其與球壁碰撞而發出聲響。

(四)我們自製一座實驗台（圖二），嚐試以直線、圓轉、隨意搖動方式，觀察豆子運動過程。

圖二：



實驗結果：

運動方式	直線式	旋轉式	隨意搖動式
運動過程	有音響	沒有音響	有音響
停止運動	沒有音響	有音響	沒有音響

發現：

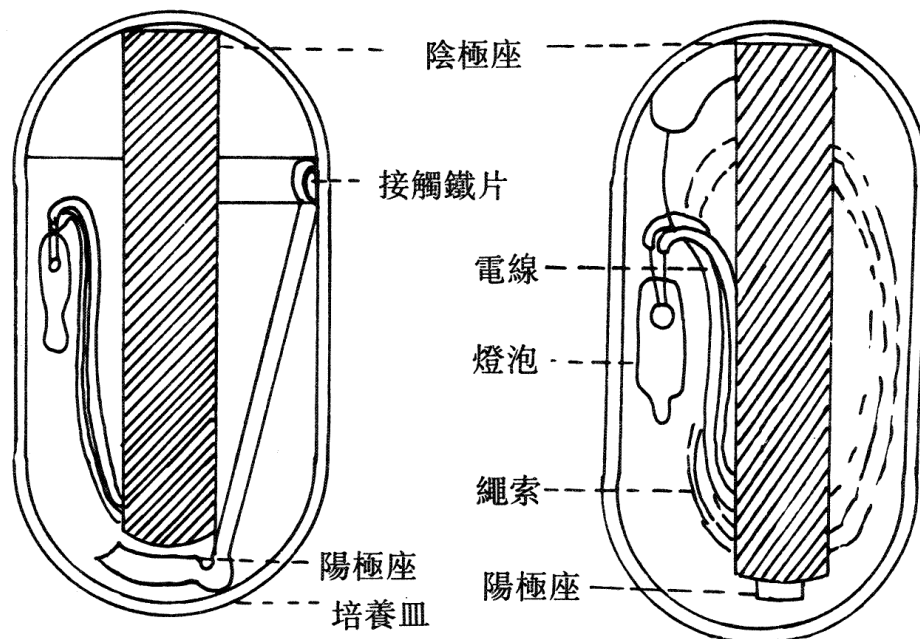
- (一)由實驗發現：溜溜球直線運動的方式（水平或垂直運動），豆子會碰撞出聲音。
- (二)圓轉的運動方式：在運動的過程豆子緊貼著球壁，可是沒有聲響。
- (三)隨意搖動的方式：在運動的過程，豆子會上下左右的碰撞球壁，會發出聲響。

問題(八)如何利用離心力，製作會響會亮的溜溜球呢？

方法：

- (一)借用自然科教具室的培養皿四個。
- (二)準備二個 1.5 伏特的電池（含座）、小燈泡兩個。
- (三)利用空罐頭的鐵片製作擺錘及接觸鐵片。

設計圖：（如圖三）



應用原理：

- (一)四個培養皿可以組成一個溜溜球（每兩個培養皿合成一個透明盒子，裏面裝設電池和燈泡以及接觸鐵片和擺錘）
- (二)利用溜溜球（即培養皿）旋轉時，所產生的離心力，使擺錘緊貼著接觸鐵片，使電池的陰陽極通電，以點亮燈泡，同理旋轉停止時，離心力消失，擺錘離開接觸鐵片，無法通電，燈泡就會熄滅。

- (三)依照問題七的實驗把豆子擺放在培養皿裡頭、旋轉時豆子緊貼球壁不出聲響，一旦旋轉停止時，離心力消失豆子無法附著球壁而掉落，碰撞出聲響。
- (四)我們仔細觀察用培養皿設計的溜溜球，在迴轉的過程裡都有燈光出現，但是沒有豆子的聲響，可是一旦溜溜球迴升到最高點或降在最低點時（即停止轉動的剎那），燈光便熄滅了，這時豆子的聲音便響起來了!!好有趣又好有變化，真好玩呢！

六、實驗結果與討論

- (一)市面上及同學們所有的溜溜球基本構造都是圓形的塑膠材料的，直徑約 5.5 公分，重量 40~45 克，軸距約 3 釐米，使用繩索為紗繩，長度 85~90 公分，直徑 1~1.5 釐米，附有聲響設備的溜溜球大約 $\frac{1}{3}$ 。
- (二)溜溜球從高處往下溜，由於本身重量，產生重力加速度，很快降到底點，由於反作用力及慣性作用的緣故，溜溜球又循繩索的相反方向溜上來，到最高點又溜下去，一直循環，到動力消失才停止。
- (三)溜溜球的形狀愈接近圓形重心愈平穩、迴升效果比其他的正多邊形、正方形、三角形要好。
- (四)溜溜球的面積愈小，迴轉過程裡，繩索常溢繞周邊，未能緊繞軸心因有鬆弛現象；以致無法溜升而產生跳動的結果。而直徑 5~6 公分的溜溜球迴升效果最好而且平穩。
- (五)溜溜球重量差在 10 克左右影響迴升高度不大，但逐漸比例加重有明顯的影響，市面上塑膠溜溜球比自製的迴升效果好又平穩。
- (六)溜溜球繩素質料紗繩最好，繩索長度愈長迴升長度比例遞增；愈短則逐次遞減。至於繩索粗細因條數增加會產生磨擦力而影響迴升高度。
- (七)溜溜球軸距 3~5 公厘有助於溜溜球的對稱與平衡，直徑 6~10 公厘轉動溜溜球快慢適宜，不會有跳動的現象。形狀為圓形則有助於繩索的轉動，不會有頓挫的現象。
- (八)溜溜球會響會亮，是因為球體的兩測各裝置一套 1.5 伏特的電池、燈泡、豆子，由於旋轉產生離心力的作用，使豆子能夠緊貼球壁而掉落（碰撞出聲），而擺錘也得以接觸開關鍵而發出亮光，而一旦旋轉停止（暫停時）離心力消失，豆子無法附著球壁而掉落，而發出聲響，而擺錘也適時離開開關鍵，而使燈光熄滅。
- (九)由以上溜溜球的實驗，我們意外發現，溜溜球於地面靜止不動時，卻可以因為繩索巧妙的拉力，使溜溜球能從最低點上升到最高點，好比大扯鈴的螞蟻

上樹，如果用來作為省力的機器，如起重機……等，相信可以促進國家工業的進步。

- (十)由溜溜球的音響及燈光有節奏的出現，假如用來作為信號燈、霓虹燈之類或班級自製樂器的設計，相信一定很吸引人，尤其野外求生的時候；準備一個或許用得著呢？

七、參考資料

- (一)怎樣作物理實驗：國民教育科學資料叢書。

評語

1. 著者對溜溜球迴升高度的變因，諸如構造，繩索，旋轉盤的幾何形狀，重量，材質，做萬分週密的邏輯設計，思考並仔細的探討十分可貴，具備嚴謹的思考程序、驗證及歸納，頗符合科學的研究精神，並做系統性的研究，在此年紀，主題十分符合其能力所為，成果相當完整，實在難能可貴。
2. 著者的表達生動，並可隨心所欲充分信心答覆審查者詢問的問題且答案正確無誤。
3. 所研究的成果，對於力學的描述正確，具有科學教育的價值，也具備娛樂性的價值。
4. 內涵過多，對於高小組而言，可以略為縮小研究範圍，使著者充分掌握主題的目標。