

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

080101

左右逢源~揭開小球纏繞的密碼

學校名稱：苗栗縣公館鄉公館國民小學

作者： 小六 李昀蓁 小六 邱韻庭 小六 劉浩民	指導老師： 謝祥宏 湯千慧
---------------------------------------	-------------------------

關鍵詞：扭力、旋轉、纏繞

摘要

本研究源自於去年暑假時，自製「左右逢源」科學玩具，探討影響因素，結果發現：

- 一、動力系統組：重物越高，轉軸轉動圈數、纏繞時間、擺錘纏繞圈數越多。表示重力位能越大，傳遞的動能越大，擺錘纏繞圈數較多。
- 二、轉軸旋轉組：以大齒輪傳小齒輪，轉軸轉動圈數最多；小齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少。轉軸高度越低，纏繞圈數最多；轉軸高度越高，纏繞圈數最少。
- 三、齒輪傳動系統：
 - (一)扭力大小：以齒輪傳遞至較大齒輪時，產生的扭力較大，齒輪傳遞至較小的齒輪時，產生的扭力較小。
 - (二)扭力與擺線仰起角度關係：扭力越大，擺線仰起角度越大；扭力越小，擺線仰起角度越小。
 - (三)扭力、擺線仰起角度與纏繞圈數關係：大齒輪、中齒輪傳遞系統，都是擺線仰起角度越大，擺線纏繞圈數越多；擺線仰起角度越小，擺線纏繞圈數越少。
- 四、擺錘纏繞組：擺線越長，纏繞越多圈；擺線越短，纏繞越少圈。擺錘重量太輕，旋轉時容易甩太高，造成打結；擺錘太重，旋轉時不容易轉動，造成圈數減少。

壹、研究動機

去年暑假時，老師教我們做了一個小實驗~左右逢源。老師先將三個 CD 片，黏在板子上，再將氣球棒黏在左右兩邊的 CD 上，之後利用橡皮筋，將寶特瓶和兩個瓶蓋，還有一根吸管串在一起。最後，又用橡皮筋的扭力使吸管轉動。因此引發我們的好奇心，就進行了一系列的實驗。研究思考圖，如下：

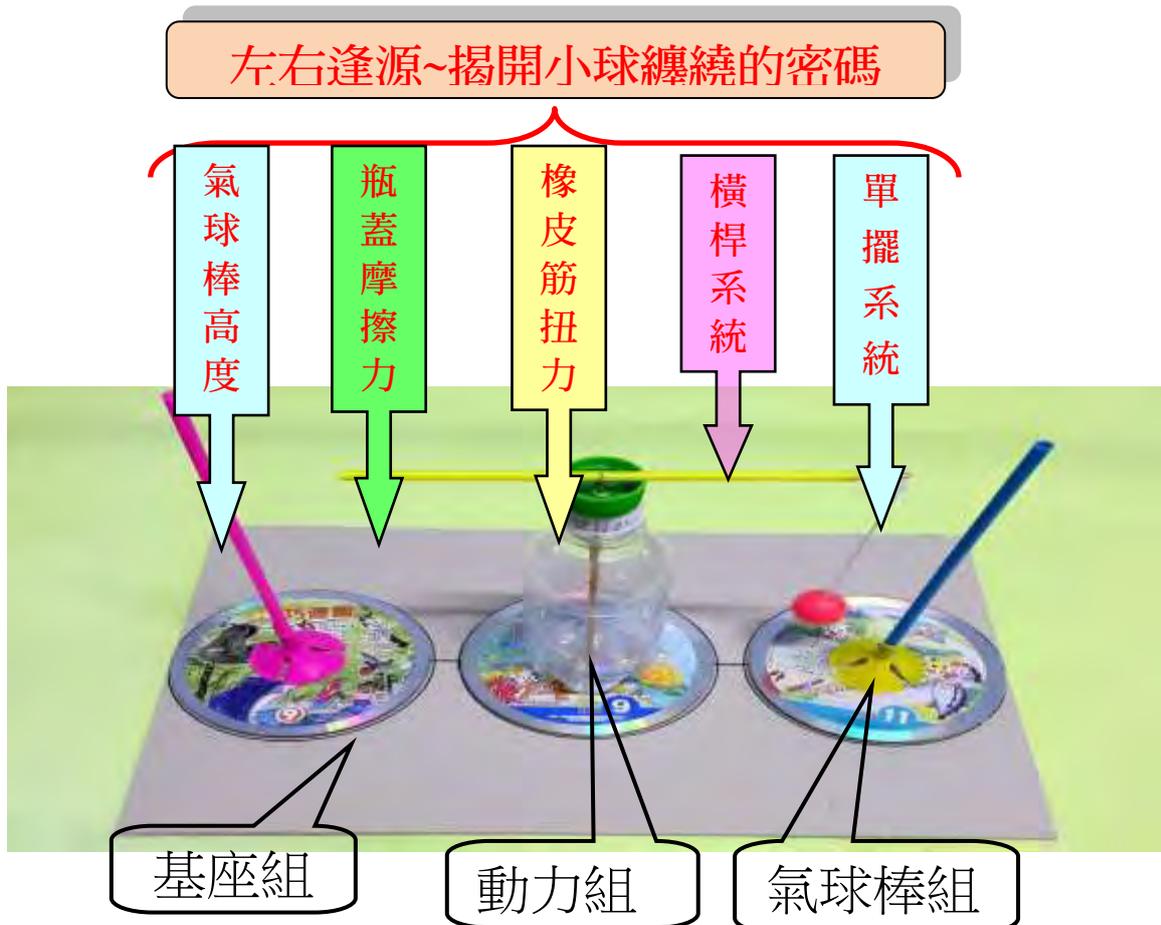


圖 1:研究方向思考圖

貳、研究目的及研究問題

我們針對影響「左右逢源」的因素，進行一系列的研究，提出以下研究問題：

目的一、比較擺錘重量大小，對左右逢源的影響。

研究 1-1 相同體積不同重量，對擺錘繞圈數有何影響？

研究 1-2 相同重量不同體積，對擺錘繞圈數有何影響？

研究 1-3 不同重量，對擺錘繞圈數有何影響？

目的二、比較不同齒輪組合的傳動系統，對左右逢源的影響。

研究 2-1 由大齒輪傳至大、中、小齒輪的傳動系統，對擺錘纏繞圈數有何影響？

研究 2-2 由中齒輪傳至大、中、小齒輪的傳動系統，對擺錘纏繞圈數有何影響？

研究 2-3 由小齒輪傳至大、中、小齒輪的傳動系統，對擺錘纏繞圈數有何影響？

目的三、比較扭力大小，對左右逢源的影響。

研究 3-1 不同重物，對擺錘纏繞圈數有何影響？

目的四、比較不同繩子，對左右逢源的影響。

研究 4-1 不同繩長，對擺錘纏繞圈數有何影響？

研究 4-2 不同繩子材質，對擺錘纏繞圈數有何影響？

目的五、比較不同柱子，對左右逢源的影響。

研究 5-1 不同柱子材質，對擺錘纏繞圈數有何影響？

目的六、不同擺錘形狀，對左右逢源的影響。

研究 6-1 不同擺錘形狀，對擺錘纏繞圈數有何影響？

目的七、比較不同橫桿長度，對左右逢源的影響。

研究 7-1 不同橫桿長度，對擺錘纏繞圈數有何影響？

目的八、比較不同轉軸高度，對左右逢源影響。

研究 8-1 不同轉軸高度，對擺錘纏繞圈數有何影響？

參、研究架構

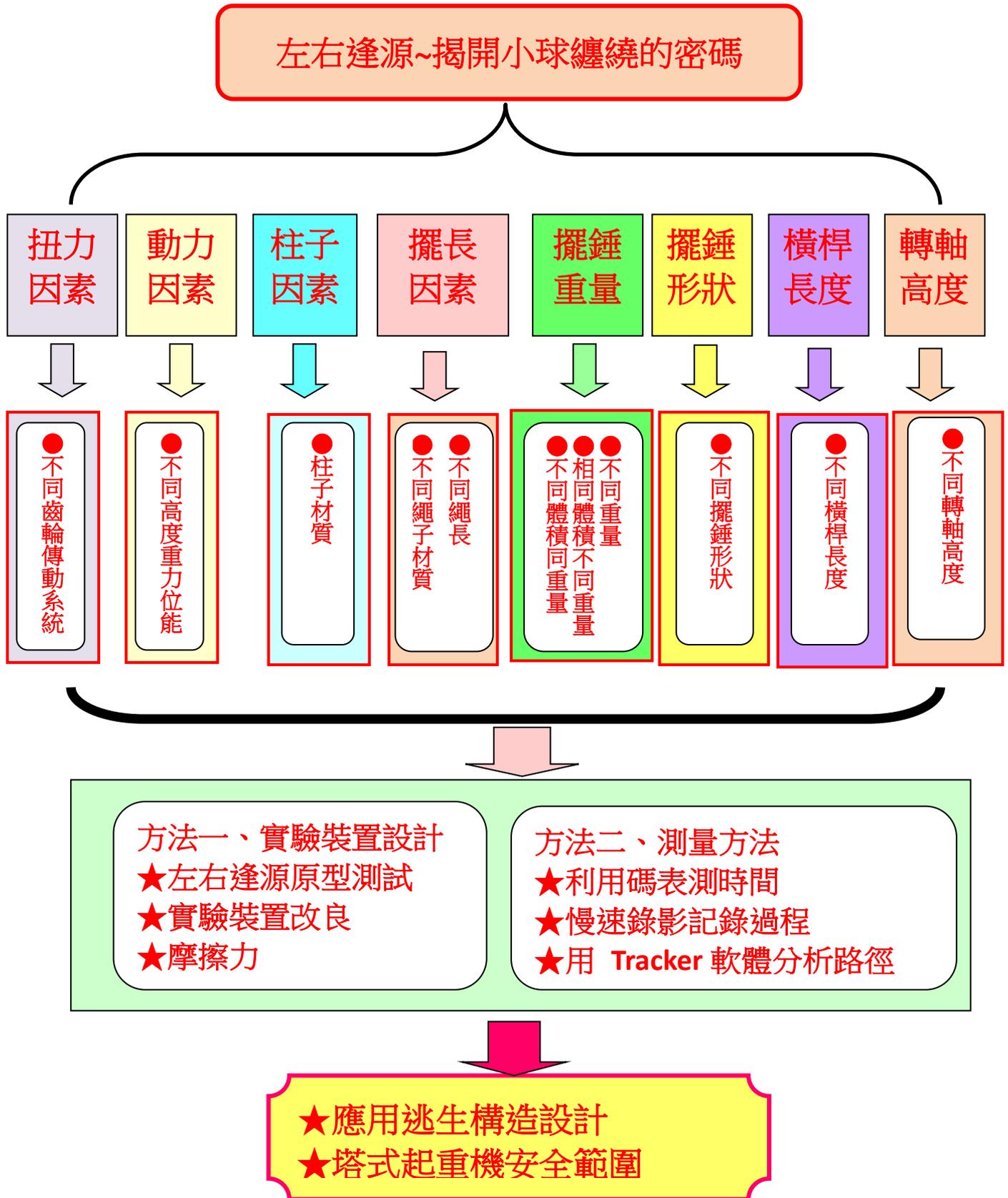


圖 2：研究架構

肆、文獻探討

一、相關原理

(一) 摩擦力：左右逢源這個科學遊戲，在轉動時，瓶蓋間具有摩擦力，摩擦力大小將影響轉動圈數。在擺錘纏繞在柱子上時，摩擦力影響纏繞圈數，柱子太滑，繞不了多少圈就滑下來。

(二) 圓周運動：擺錘在繞圈時，進行圓周運動。離心力將擺錘往外移動，如此才能繞在柱子上。

二、相關研究

根據網路上搜尋有關「左右逢源」相關研究，僅搜尋到一篇（彰化縣 57 屆科展）。該研究以「左右逢源」之原始設計，以橡皮筋當扭力來源，探討橡皮筋纏繞圈數、擺錘重量、擺長、柱子粗細、橫梁長度進行實驗，企圖找出擺錘纏繞柱子最佳次數。

然而，從該研究的實驗裝置（圖 1），發現實驗時橡皮筋扭力，是研究中最大變因來源。第一、同一條橡皮筋，經過數次後，橡皮筋的扭力與第一次時已有所不同，必將影響實驗結果；第二、如果每次實驗換橡皮筋，則每條橡皮筋扭力有所差異，而造成扭力不同。第三、兩個保特瓶蓋接觸後產生之摩擦力，會隨著轉動次數增加而改變。當橡皮筋扭轉次數增加（扭力大時），兩瓶蓋接觸之摩擦力，也將隨著增加。因此，本研究將克服橡皮筋扭力，設計新的實驗裝置，進行有關擺錘繞圈的研究。

伍、研究設備及器材

一、實驗器材：

碼表（1 個）	電子天平(1 台)	黏土（1 包）	保麗龍球（10 顆）
砝碼（10 顆）	細鐵棒（4 根）	竹棒（4 根）	氣球棒組（4 根）
光碟片（4 片）	保特瓶（1 個）	橡皮筋（1 包）	瓶蓋（10 個）
智高積木（1 組）	棉線（1 捆）	釣魚線（1 包）	小鋼球（10 顆）
砂紙（1 包）	潤滑油（1 瓶）	重物(1 包)	

二、自製實驗裝置

(一) 製作左右逢源第一代原型：這是第一代的左右逢源實驗裝置。它的優點是實驗裝置材料容易取得，但是橡皮筋扭力，隨著使用次數增加而改變，實驗過程扭力無法維持相同。而扭力增加時，保特瓶材質容易變形(圖 3)。



圖 3：左右逢源第一代原型

(二) 製作左右逢源第二代版：改良第一版保特瓶為透明直筒，左右兩側、底座進行改變，讓實驗裝置較穩。但，扭力還是無法均一(圖 4)。

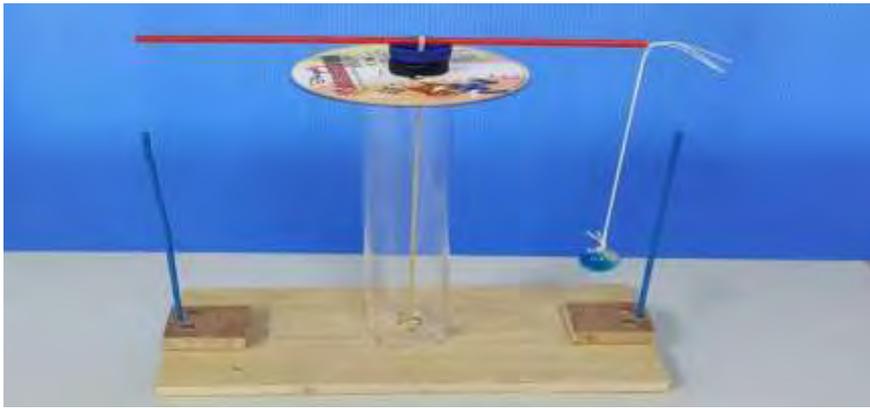


圖 4：左右逢源第二代

(三) 製作左右逢源第三代智高版：利用智高組成「左右逢源」實驗裝置(圖 5)。說明如下：

1. 動力組：利用智高積木，定滑輪組、線，以及捲線器，組成可以用捲線起將重物升起，當釋放時重物往下，將重力位能轉換成動能，透過傳遞系統組，將力傳遞至旋轉組。**改良原先第一二代實驗裝置，橡皮筋扭力不均問題。**

2. 傳遞系統組：利用智高積木，將動力組產生的能量，傳遞至旋轉組。設計以不同大小齒輪作為傳動系統【大齒輪(60 齒)、中齒輪(40 齒)、小齒輪(20 齒)】，共計有九種不同傳動系統組合。(圖 5)

3. 纏繞組：利用鐵棒當支柱，因重量較重，不會有搖晃不穩情形。

4. 旋轉組：利用智高積木，組成旋轉橫軸，將擺錘系統設置於橫桿上。

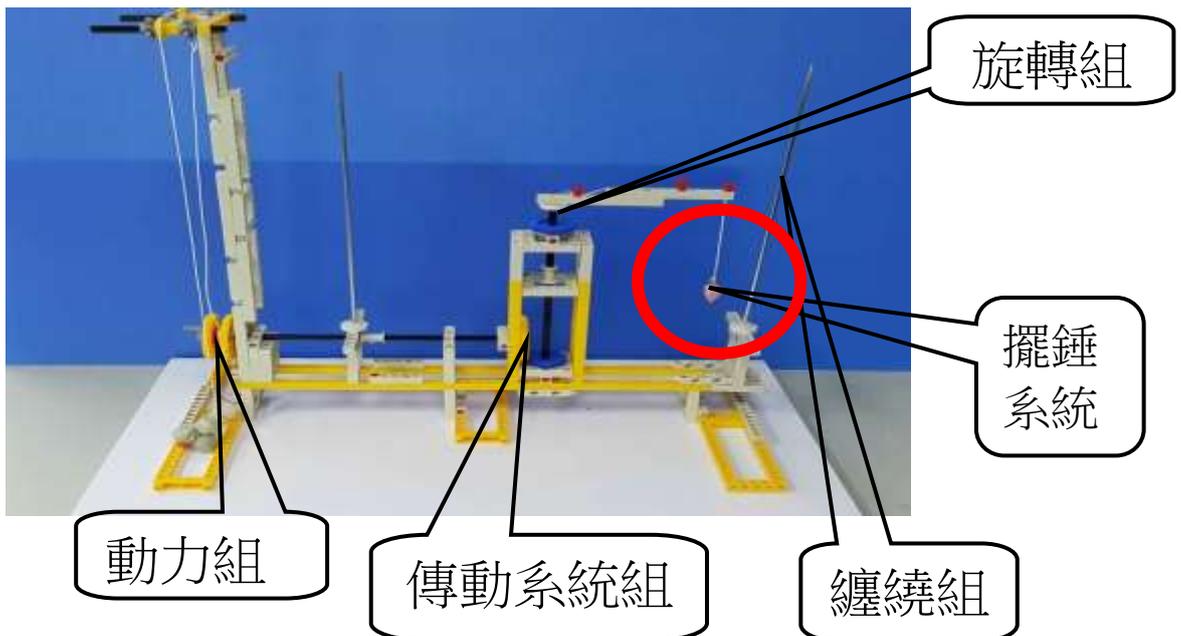


圖 5：左右逢源第三代智高版

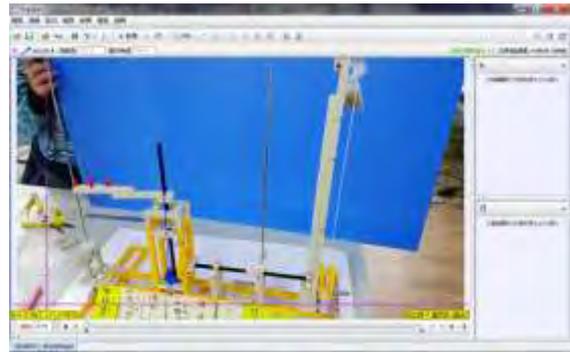
三、Tracker 軟體分析擺錘纏繞路徑~學習 Tracker 軟體

經由老師介紹使用 Tracker 軟體，利用它分析擺錘移動路徑。首先讀取一個左右逢源影像檔。接著方法說明如下：

- (一) 線軸→設座標位置→鎖定座標
- (二) 新增 校正桿→鎖定座標：用藍色校正桿取一段實際長度(例旋轉軸高度 22cm,輸入 220mm 按 enter) 別忘了 鎖定
- (三) 按「質點」→新增 「質點 A」，接著按住鍵盤 Shift 不放，滑鼠點選球的中心點。此時影像將往下一個位置移動，繼續點選球的中心點。依此類推，直到求停止不動為止。
- (四) 完成後，右方出現求移動路線圖，及球的位置(X,Y)，可將此資料輸出作為分析的參考。



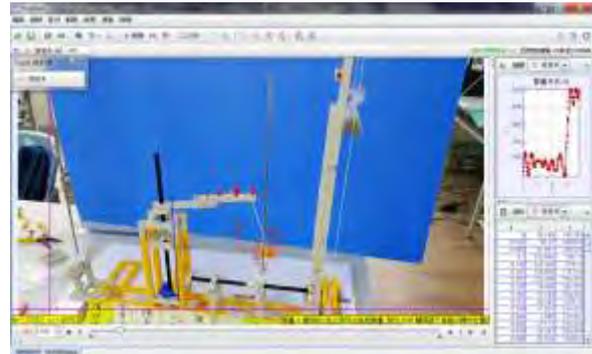
▲設座標位置



▲新增 校正桿



▲新增 質點 A



▲移動路線圖

陸、研究過程與結果

目的一、擺錘重量大小，對左右逢源的影響。

研究 1-1 相同體積不同重量，對擺錘繞圈數的影響。

【研究構想】：我們想知道同體積下，不同重量的擺錘，對擺錘纏繞圈數影響，因此，進行以下實驗。

【實驗步驟】：

1.準備同體積不同重量擺錘：將十顆圓形保麗龍球挖空，放入黏土填滿、黏牢，並利用電子秤將球控制為 1~10 克。



圖 6：同體積不同重量擺錘

2.擺錘繩長：取棉線 12 公分，黏在 1 克的擺錘上，並固定在「左右逢源」橫桿上。



圖 7：自製左右逢源實驗裝置

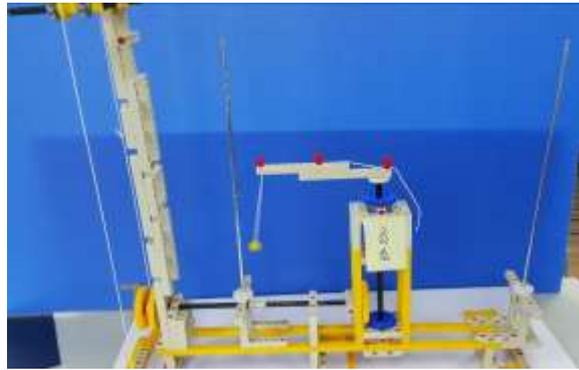


圖 8：左右逢源實驗裝置測試

3.動力系統：利用棉線將四顆球連接起來，並將棉線繞至滑輪系統。

4.利用捲線器，將重物拉至高處。

5.鬆開捲線器，讓重物往下墜落。

6.利用碼錶、錄影機，記錄擺錘旋轉時間。

7.記錄擺錘旋轉圈數、纏繞在左右兩側柱子圈數。

8.將擺錘改為 2~10 克，重複步驟 3.~7.。

【研究發現】：

1.擺錘重量在 4 克時，纏繞圈數最多；10 克時，纏繞圈數最少。

2.擺錘纏繞的時間，從 2 克至 5 克都是逐漸增加，而擺錘從 5 克至 10 克時間逐漸減少。

3.擺錘太重或太輕，擺錘纏繞圈數較少。

4.結果如表 1、圖 9-10。

【實驗結果與討論】

原先我們認為擺錘體積大小可能會影響擺錘纏繞圈數。實驗結果發現擺錘太輕，旋轉時容易甩太高，造成打結；擺錘太重，旋轉時不容易轉動，造成圈數減少。因此，從實驗中發現擺錘重量以 5 公克效果最佳。

表 1：同體積不同重量擺錘，對擺錘繞圈比較表

項目/重量	2 公克	3 公克	4 公克	5 公克	6 公克	7 公克	9 公克	9 公克	10 公克
橫桿繞圈數	9	9	9	9	9	9	9	9	9
總時間	24.50	31.29	34.78	36.45	25.37	18.59	18.48	15.13	16.00
左側纏繞圈數	1.69	1.60	1.69	1.40	0.87	0.51	0.38	0.20	0.22
右側纏繞圈數	1.44	1.56	2.00	1.93	1.31	0.44	0.37	0.36	0.33
纏繞總圈數	4.58	4.80	5.72	5.50	3.28	2.92	2.98	4.24	5.76

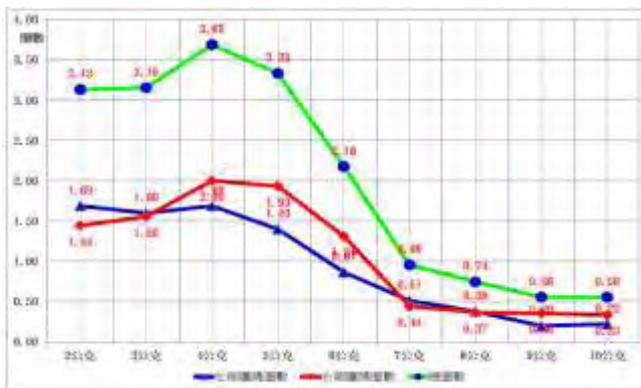


圖 9：同體積不同重量擺錘繞圈數比較

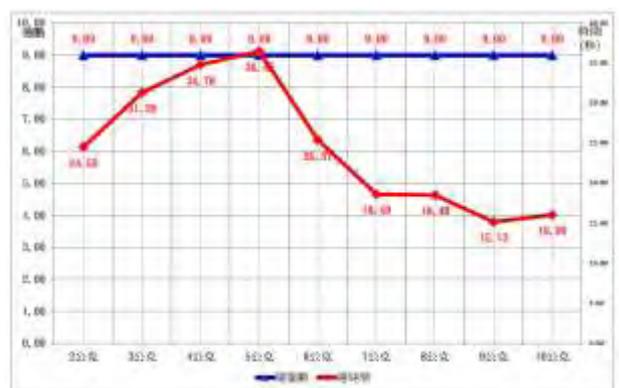


圖 10：同體積不同重量擺錘擺動總時間比較

研究 1-2 相同重量不同體積，對擺錘繞圈數的影響。

【研究構想】：研究 1-1 發現擺錘太輕，旋轉時容易甩太高，造成打結；擺錘太重，旋轉時不容易轉動。如果重量相同下，不同體積的擺錘，對擺錘纏繞圈數會影響嗎？因此，進行以下實驗。

【實驗步驟】：

- 1.準備同重量不同體積擺錘：將三顆大小不同的圓形保麗龍球挖空(直徑 2 公分,2.5 公分,3 公分)，放入黏土填滿、黏牢，並利用電子秤將球控制的重量為 5 克。

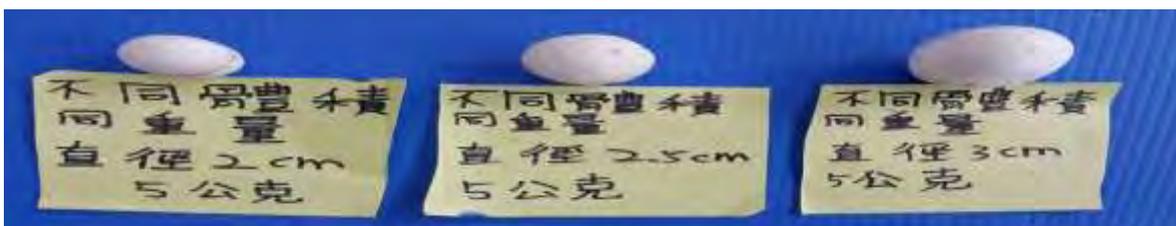


圖 11：同重不同體積擺錘

- 2.擺錘繩長：取棉線 12 公分，黏在直徑 2 公分 5 克的擺錘上，並固定在「左右逢源」橫桿上。

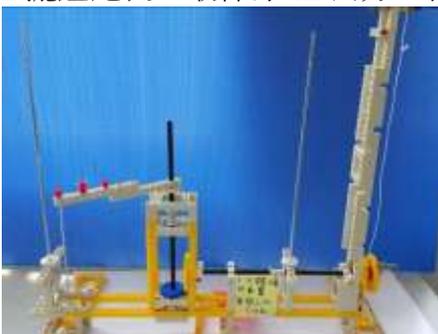


圖 12：直徑 2 公分擺錘

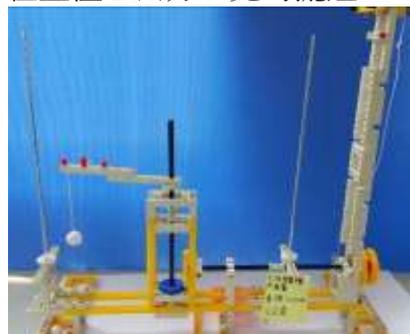


圖 13：直徑 2.5 公分擺錘



圖 14：直徑 3 公分擺錘

- 3.動力系統：利用棉線將四顆球連接起來，並將棉線繞至滑輪系統。
- 4.利用捲線器，將重物拉至高處。
- 5.鬆開捲線器，讓重物往下墜落。
- 6.利用碼錶、錄影機，記錄擺錘旋轉時間。
- 7.記錄擺錘旋轉圈數、纏繞在左右兩側柱子圈數。
- 8.將擺錘改為徑 2.5 公分、3 公分，重複步驟 3.~7.。

【研究發現】：

- 1.擺錘直徑 2.5 公分，纏繞圈數最多；擺錘直徑 3 公分，纏繞圈數最少。
- 2.擺錘太大，擺錘纏繞圈數較少。
- 3.結果如表 2 、圖 15-16。

表 2：同重量不同體積擺錘，對擺錘繞圈比較表

項目/直徑大小	直徑 2 公分	直徑 2.5 公分	直徑 3 公分
橫桿繞圈數	9	9	9
總時間	42.39	44.40	43.95
左側纏繞圈數	2.39	2.78	2.09
右側纏繞圈數	2.31	2.69	2.02
纏繞總圈數	4.70	5.47	4.11

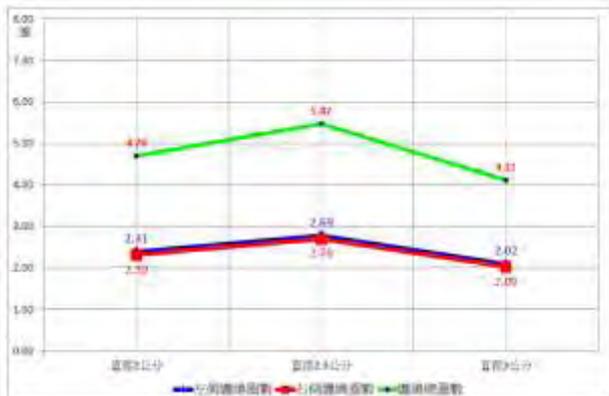


圖 15：同重量不同體積擺錘繞圈數比較

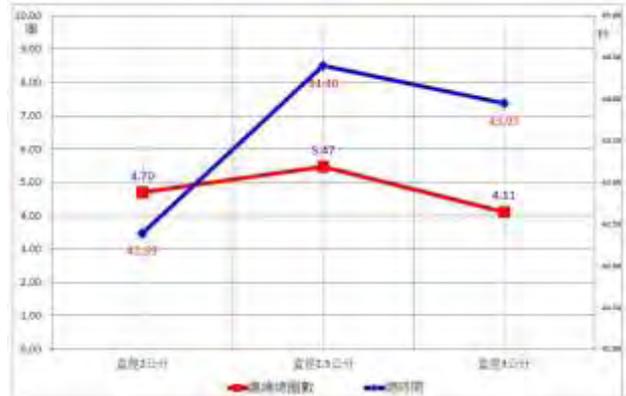


圖 16：同重量不同體積擺錘，總時間比較

【實驗結果與討論】

在重量相同情況下，推測擺錘太大阻力大，以致於繞的較少圈。

研究 1-3 不同重量，對擺錘繞圈數的影響。

【研究構想】：我們想知道球的重量，會不會影響擺錘纏繞在左右兩根柱子的圈數？因此，我們進行「擺錘重量」對擺錘纏繞次數的實驗。

【實驗步驟】：

- 1.準備不同重量擺錘：將黏土揉成圓形，並利用電子秤秤取 1~10 克。
- 2.擺錘繩長：取棉線 12 公分，黏在 1 克的擺錘上，並固定在「左右逢源」橫桿上。
- 3.動力系統：利用棉線將四顆球連接起來，並將棉線繞至滑輪系統。
- 4.利用捲線器，將重物拉至高處。
- 5.鬆開捲線器，讓重物往下墜落。
- 6.利用碼錶、錄影機，記錄擺錘旋轉時間。
- 7.記錄擺錘旋轉圈數、纏繞在左右兩側柱子圈數。
- 8.將擺錘改為 2~10 克，重複步驟 3.~7.。

【研究發現】：

- 1.擺錘重量在 4 克、5 克時，纏繞圈數最多。
- 2.擺錘纏繞的時間，從 2 克至 6 克都是逐漸增加，而擺錘從 7 克至 10 克時間逐漸減少。
- 3.球太重或太輕，擺錘纏繞圈數較少。
- 4.結果如表 3、圖 17-18。

【實驗結果與討論】

我們認為擺錘太輕，旋轉時容易甩太高，造成打結；擺錘太重，旋轉時不容易轉動，造成圈數減少。因此，從實驗中發現擺錘重量以 4、5、6 公克效果最佳。

表 3：不同重量擺錘，對擺錘繞圈比較表

項目/重量	2 公克	3 公克	4 公克	5 公克	6 公克	7 公克	8 公克	9 公克	10 公克
橫桿繞圈數	9	9	9	9	9	9	9	9	9
總時間	27.12	31.29	32.99	33.25	34.71	27.96	25.85	23.99	24.21
左側纏繞圈數	2.23	2.22	2.06	1.72	1.72	1.73	1.58	1.70	1.73
右側纏繞圈數	2.21	2.19	1.96	2.36	2.38	1.79	1.90	1.64	1.33
纏繞總圈數	4.44	4.41	4.02	4.08	4.10	3.52	3.48	3.34	3.06

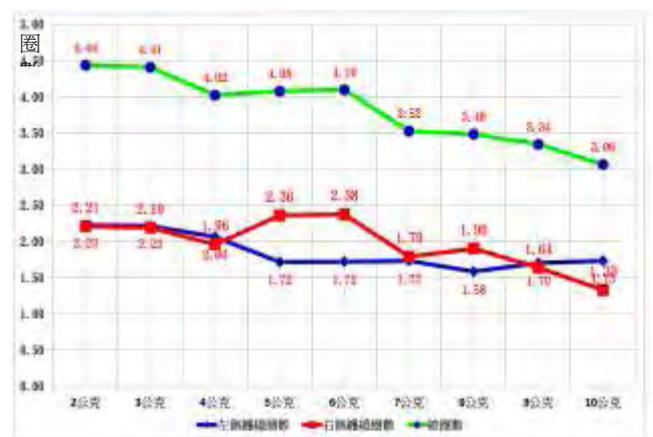
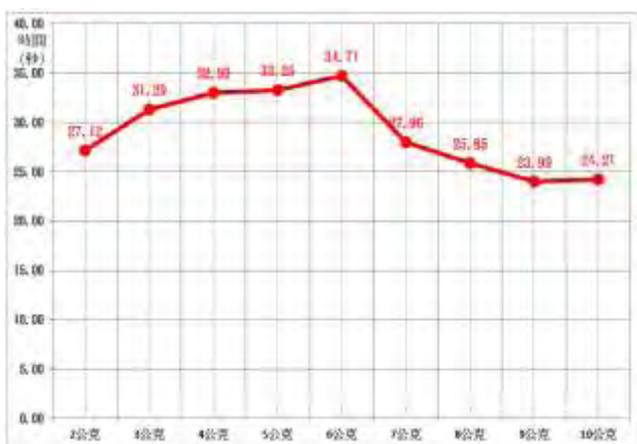


圖 17：不同重量擺錘，對擺錘繞圈總時間比較圖

圖 18：不同重量擺錘，對擺錘繞圈比較圖

目的二、不同齒輪組合的傳動系統，對左右逢源的影響。

研究 2-1 由大齒輪傳至大、中、小齒輪的傳動系統，對擺錘纏繞圈數有何影響？

【研究構想】：我們想知道不同齒輪組合的傳動系統，對擺錘纏繞圈數影響，因此，進行「大齒輪傳至不同大小齒輪的傳動系統」實驗。

【實驗步驟】：

- 1.準備擺長：將棉線剪成 12 公分作為擺長。
- 2.擺錘重量：取 5 克擺錘，黏在 12 公分的棉線，並固定在「左右逢源」橫桿上。
- 3.動力系統：利用棉線將四顆球連接起來，並將棉線繞至滑輪系統。



圖 19：自製大齒輪傳至大中小齒輪傳輸系統



圖 20：大中小不同齒輪

- 4.傳動系統：準備大齒輪(60 齒)、中齒輪(40 齒)、小齒輪(20 齒)等不同齒數齒輪，先將齒輪組成由大齒輪傳至大齒輪的傳動系統。
- 5.利用捲線器，分別將重物拉至 100cm、80cm、60cm、40cm、20cm 高處。
- 6.鬆開捲線器，讓重物往下墜落。
- 7.利用碼錶、錄影機，記錄擺錘旋轉時間。
- 8.記錄擺錘旋轉圈數、纏繞在左右兩側柱子圈數，重複五次實驗。
- 9.將齒輪組改成由大齒輪傳至中齒輪、大齒輪傳至小齒輪的傳動系，重複步驟 3.~7.。

【研究發現】：

- 1.轉軸旋轉圈數（總圈數）：
 - (1)重物高度越高，轉軸轉動圈數越多。
 - (2)大齒輪傳小齒輪，轉軸轉動圈數最多；大齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少。
- 2.擺錘纏繞總圈數：
 - (1)不同重物高度，擺錘纏繞總圈數都接近。
 - (2)大齒輪傳大齒輪，擺錘纏繞總圈數最多；大齒輪傳小齒輪，擺錘纏繞總圈數最少。
- 3.擺錘纏繞總時間：
 - (1)重物高度越高，擺錘纏繞時間越長。
 - (2)大齒輪傳小齒輪，擺錘纏繞時間較長；大齒輪傳大齒輪，擺錘纏繞時間較短。
- 4.結果如表 4、圖 21-24。

【實驗結果與討論】

- 1.根據齒輪傳動原理，大小齒輪相接轉動，大的轉一圈，小的齒輪轉的較多圈。因此，大齒輪傳

小齒輪，轉軸轉動圈數最多；大齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少。

- 2.大齒輪傳大齒輪，扭力較大因此擺錘纏繞總圈最多，而大齒輪傳小齒輪，扭力較少，因此擺錘纏繞總圈最少。
- 3.大齒輪傳小齒輪，轉軸轉動圈數最多，因而擺錘纏繞時間較長；而大齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少，因而擺錘纏繞時間較短。

表 4：大齒輪傳至大、中、小齒輪的傳動系統，對擺錘纏繞圈數時間影響

項次/傳動方式/重物高度		20cm	40cm	60cm	80cm	100cm
總圈數 (圈)	大齒輪傳大齒輪	4	8	11	14	15
	大齒輪傳中齒輪	4	9	15	18	22
	大齒輪傳小齒輪	10	21	30	33	38.6
總時間 (秒)	大齒輪傳大齒輪	15.26	33.81	54.16	66.07	63.42
	大齒輪傳中齒輪	21.24	34.30	62.98	77.05	79.49
	大齒輪傳小齒輪	42.00	79.43	163.08	173.36	221.31
纏繞總圈數 (圈)	大齒輪傳大齒輪	4.95	5.01	5.55	5.81	4.74
	大齒輪傳中齒輪	4.55	4.69	4.93	4.27	4.26
	大齒輪傳小齒輪	2.77	3.13	3.08	3.10	2.90

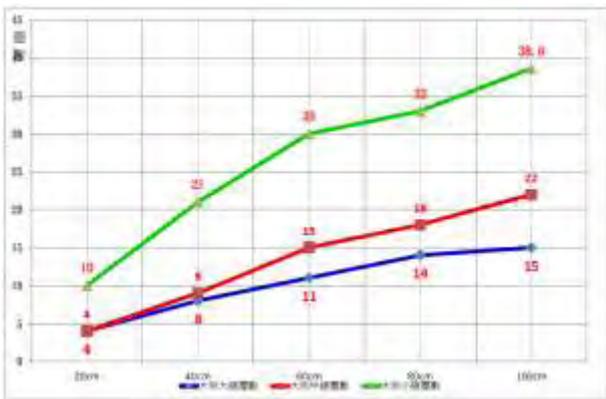


圖 21：大齒輪傳至大中小齒輪傳動系統對轉軸轉動圈數影響比較圖

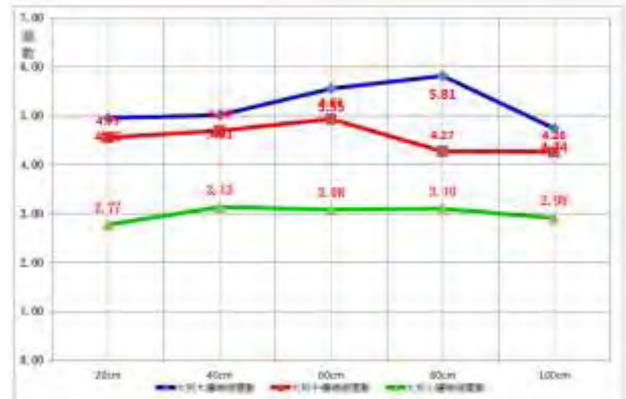


圖 22：大齒輪傳至大中小齒輪傳動系統對擺錘纏繞圈數影響比較圖

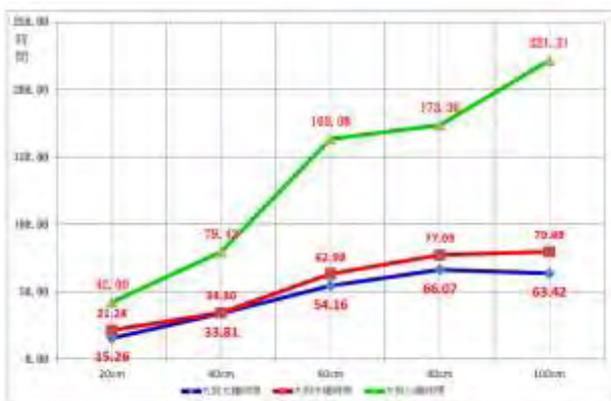


圖 23：大齒輪傳至大中小齒輪傳動系統對擺錘纏繞時間影響比較圖



圖 24：大齒輪傳至大齒輪傳動系統實驗裝置

研究 2-2 由中齒輪傳至大、中、小齒輪的傳動系統，對擺錘纏繞圈數的影響。

【研究構想】：我們想知道不同齒輪組合的傳動系統，對擺錘纏繞圈數影響，因此，進行「中齒輪傳至不同大小齒輪的傳動系統」的實驗。

【實驗步驟】：

- 1.與研究 2-1 步驟 1.~3.相同。
- 2.傳動系統：準備大齒輪(60 齒)、中齒輪(40 齒)、小齒輪(20 齒)等不同齒數齒輪，先將齒輪組成由中齒輪傳至大齒輪的傳動系。
- 3.與研究 2-1 步驟 5.~8.相同。
- 4.將齒輪組改成由中齒輪傳至中齒輪、中齒輪傳至小齒輪的傳動系，重複步驟 3.~6.。

【研究發現】：

- 1.轉軸旋轉圈數（總圈數）：
 - (1)重物高度越高，轉軸轉動圈數越多。
 - (2)中齒輪傳小齒輪，轉軸轉動圈數最多；中齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少。
- 2.擺錘纏繞總圈數：
 - (1)不同重物高度，擺錘纏繞總圈數都接近。
 - (2)中齒輪傳中齒輪，擺錘纏繞總圈數最多；中齒輪傳小齒輪，擺錘纏繞總圈數最少。
- 3.擺錘纏繞總時間：
 - (1)重物高度越高，擺錘纏繞時間越長。
 - (2)中齒輪傳小齒輪，擺錘纏繞時間較長；中齒輪傳大齒輪，擺錘纏繞時間較短。
- 4.結果如表 5、圖 25-28。

【實驗結果與討論】

- 1.根據齒輪傳動原理，大小齒輪相接轉動，大的轉一圈，小的齒輪轉的較多圈。因此，中齒輪傳小齒輪，轉軸轉動圈數最多；中齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少。
- 2.中齒輪傳大齒輪，扭力較大，但是擺錘會打到橫桿，因此纏繞圈數較少，而以中齒輪傳中齒輪，擺錘纏繞總圈數最多；中齒輪傳小齒輪，扭力較少，因此擺錘纏繞總圈數最少。
- 3.中齒輪傳小齒輪，轉軸轉動圈數最多，因而擺錘纏繞時間較長；而中齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少，因而擺錘纏繞時間較短。

表 5：中齒輪傳至大、中、小齒輪的傳動系統，對擺錘纏繞圈數時間影響

項次/傳動方式/重物高度		20cm	40cm	60cm	80cm	100cm
總圈數（圈）	中齒輪傳大齒輪	3	6	9	10	11
	中齒輪傳中齒輪	4	8	11	12	13
	中齒輪傳小齒輪	4	7	13	16	19
總時間（秒）	中齒輪傳大齒輪	10.68	23.98	32.37	34.48	36.41
	中齒輪傳中齒輪	17.16	41.89	58.31	66.24	74.74
	中齒輪傳小齒輪	25.15	31.51	50.90	77.05	83.84
纏繞總圈數（圈）	中齒輪傳大齒輪	4.63	4.97	4.78	4.69	4.59
	中齒輪傳中齒輪	5.22	5.56	5.81	5.45	5.41
	中齒輪傳小齒輪	3.73	3.84	3.86	4.17	4.45

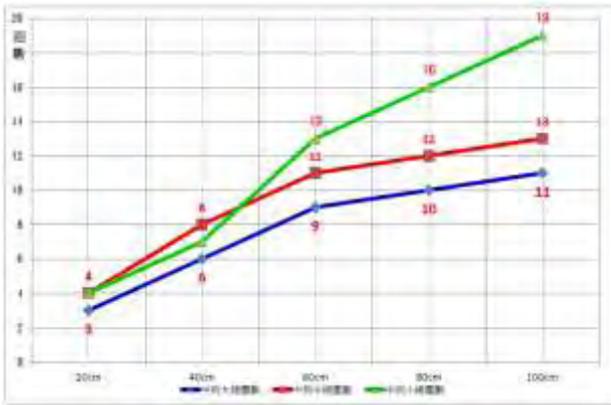


圖 25：中齒輪傳至大中小齒輪傳動系統對轉軸轉動圈數影響比較圖

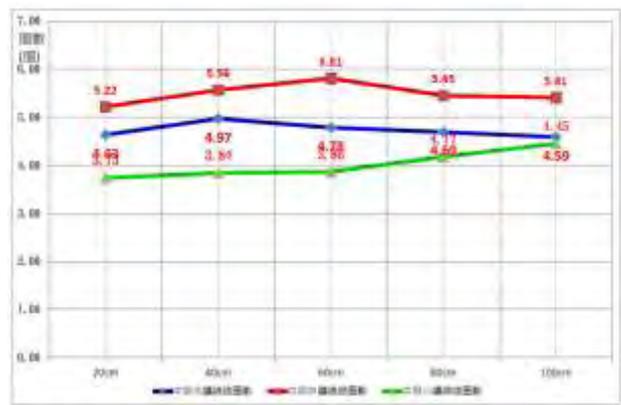


圖 26：中齒輪傳至大中小齒輪傳動系統對擺錘纏繞圈數影響比較圖

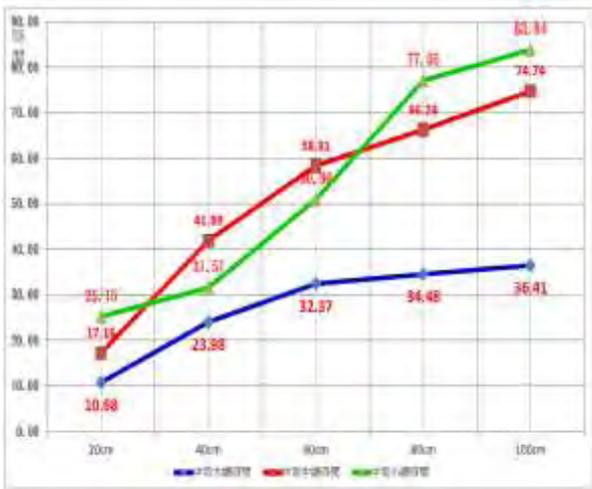


圖 27：中齒輪傳至大中小齒輪傳動系統對擺錘纏繞時間影響比較圖

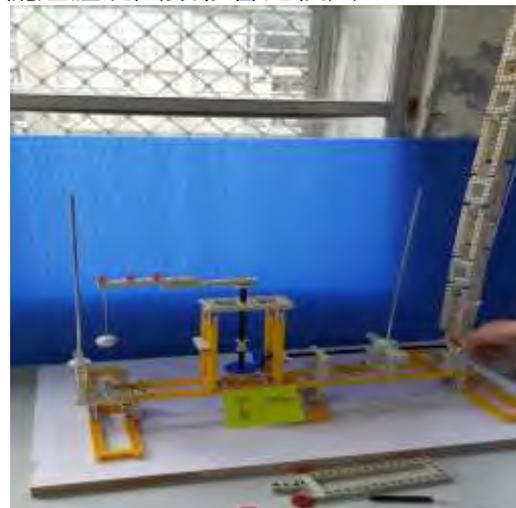


圖 28：中齒輪傳至中齒輪傳動系統實驗裝置

研究 2-3 由小齒輪傳至大、中、小齒輪的傳動系統，對擺錘纏繞圈數的影響。

【研究構想】：我們想知道不同齒輪組合的傳動系統，對擺錘纏繞圈數影響，因此，進行「小齒輪傳至不同大小齒輪的傳動系統」的實驗。

【實驗步驟】：

- 1.與研究 2-1 步驟 1.~3.相同。
- 2.傳動系統：準備大齒輪(60 齒)、中齒輪(40 齒)、小齒輪(20 齒)等不同齒數齒輪，先將齒輪組成由小齒輪傳至大齒輪的傳動系。
- 3.與研究 2-1 步驟 5.~8.相同。
- 4.將齒輪組改成由小齒輪傳至中齒輪、小齒輪傳至小齒輪的傳動系，重複步驟 3.~7.。

【研究發現】：

- 1.轉軸旋轉圈數（總圈數）：
 - (1)重物高度越高，轉軸轉動圈數越多。
 - (2)小齒輪傳小齒輪，轉軸轉動圈數最多；小齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少。
- 2.擺錘纏繞總圈數：

(1)不同重物高度，擺錘纏繞總圈數都接近。

(2)小齒輪傳小齒輪，擺錘纏繞總圈最多；小齒輪傳中齒輪，擺錘纏繞總圈最少。

3.擺錘纏繞總時間：

(1)重物高度越高，擺錘纏繞時間越長。

(2)小齒輪傳小齒輪，擺錘纏繞時間較長；小齒輪傳大齒輪，擺錘纏繞時間較短。

4.結果如表 6 、圖 29-32。

【實驗結果與討論】

1.根據齒輪傳動原理，大小齒輪相接轉動，大的轉一圈，小的齒輪轉的較多圈。因此，小齒輪傳小齒輪，轉軸轉動圈數最多；小齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少。

2.小齒輪傳大齒輪，扭力最大，但是擺錘會打結，因此纏繞圈數較少。而以小齒輪傳小齒輪，擺錘纏繞總圈數最多，而小齒輪傳中齒輪，因此擺錘纏繞總圈數最少。

3.小齒輪傳小齒輪，轉軸轉動圈數最多，因而擺錘纏繞時間較長；而小齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少，因而擺錘纏繞時間較短。

表 6：小齒輪傳至大、中、小齒輪的傳動系統，對擺錘纏繞圈數時間影響

項次/傳動方式/重物高度		20cm	40cm	60cm	80cm	100cm
總圈數 (圈)	小齒輪傳大齒輪	2	3	4	5	6
	小齒輪傳中齒輪	3	4	6	6	8
	小齒輪傳小齒輪	4	10	11	12	13
總時間 (秒)	小齒輪傳大齒輪	7.69	12.12	15.12	18.18	18.99
	小齒輪傳中齒輪	7.41	15.54	24.72	29.13	30.34
	小齒輪傳小齒輪	15.31	33.59	46.47	57.33	75.27
纏繞總圈數 (圈)	小齒輪傳大齒輪	4.40	5.03	5.03	5.38	5.52
	小齒輪傳中齒輪	3.60	4.25	4.22	4.90	5.64
	小齒輪傳小齒輪	4.96	5.12	4.76	5.00	6.58

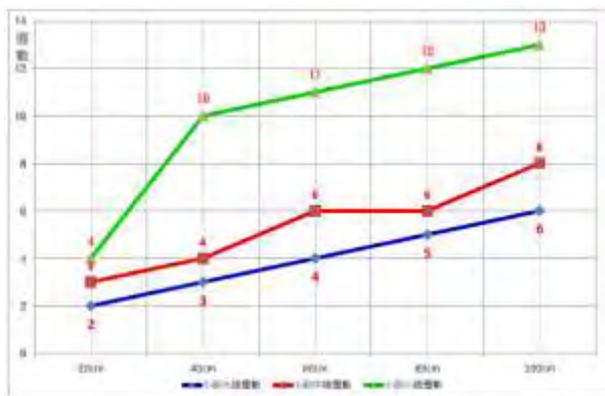


圖 29：小齒輪傳至大中小齒輪傳動系統對轉軸轉動圈數影響比較圖

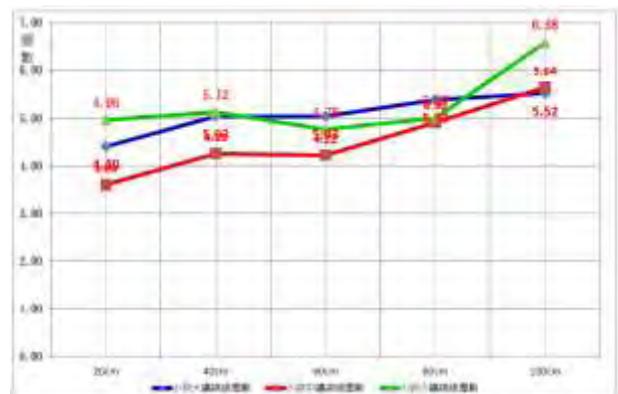


圖 30：小齒輪傳至大中小齒輪傳動系統對擺錘纏繞圈數影響比較圖

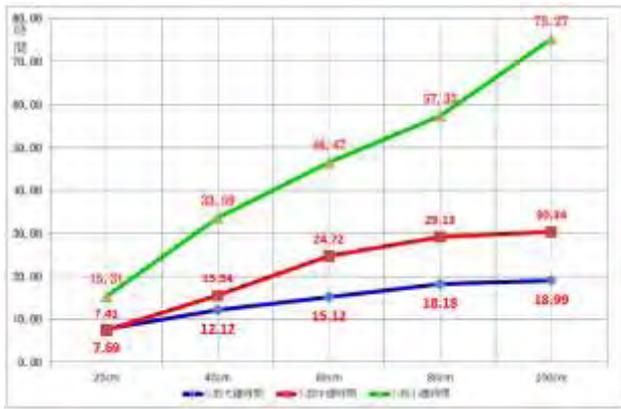


圖 31：小齒輪傳至大中小齒輪傳動系統對擺錘纏繞時間影響比較圖

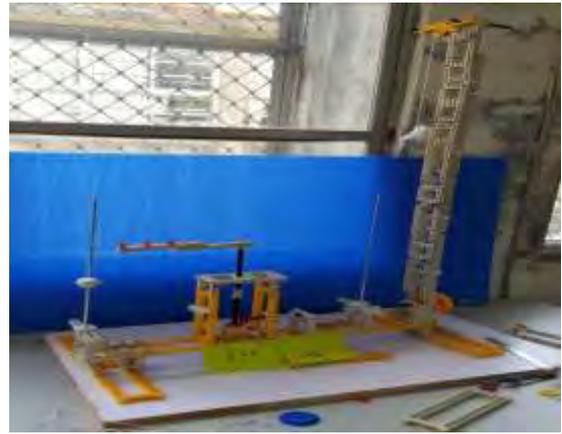


圖 32：小齒輪傳至小齒輪傳動系統實驗裝置

目的二、不同動力系統，對左右逢源影響。

研究 3-1 不同重物的動力系統，對擺錘繞圈的影響。

【研究構想】：我們想知道不同重物的動力系統，對擺錘纏繞圈數影響，因此，進行以下實驗。

【實驗步驟】：

1. **動力系統**：準備 2 顆（63.24 公克）、4 顆（126.48 公克）、6 顆（189.72 公克）滑鼠軌跡球，作為三個不同重物的動力系統。利用夾鍊袋將三個不同動力系統的重物裝起來，先將 2 顆滑鼠軌跡球的重物，用棉線繞至滑輪系統。
2. **準備擺長**：準備棉線 12 公分。
3. **準備擺錘重量**：取 5 克的擺錘，黏在 12 公分的棉線，並固定在「左右逢源」橫桿上。
4. 利用捲線器，將重物拉至高處。
5. 鬆開捲線器，讓重物往下墜落。
6. 利用碼錶、錄影機，記錄擺錘旋轉時間。
7. 記錄擺錘旋轉圈數、纏繞在左右兩側柱子圈數。
8. 將重物改為 4 顆、6 顆滑鼠軌跡球，重複步驟 3.~7.。



圖 33：左右逢源動力系統實驗裝置

【研究發現】：

1. 重物在 6 顆滑鼠軌跡球時，纏繞圈數最多；重物在 2 顆滑鼠軌跡球時，纏繞圈數最少。
2. 結果如表 7、圖 34-36。

【實驗結果與討論】

重物較重時，能夠纏繞在柱子上的圈數較多，重物較輕時，能夠纏繞在柱子上的圈數也較少。主要是因為太重、輕，產生的動力較小，太重轉軸扭不動擺錘。

表 7：不同重物的動力系統，對擺錘繞圈影響

項目/重物	2 顆	4 顆	6 顆
總圈數 (圈)	9.00	9.00	9.00
總時間 (秒)	18.02	35.24	40.05
左側纏繞圈數 (圈)	1.08	3.09	2.44
右側纏繞圈數 (圈)	1.20	2.08	2.75
纏繞總圈數 (圈)	2.28	5.17	5.19



圖 34：不同重物的動力系統(取 2 顆、4 顆、6 顆放置圖 33)

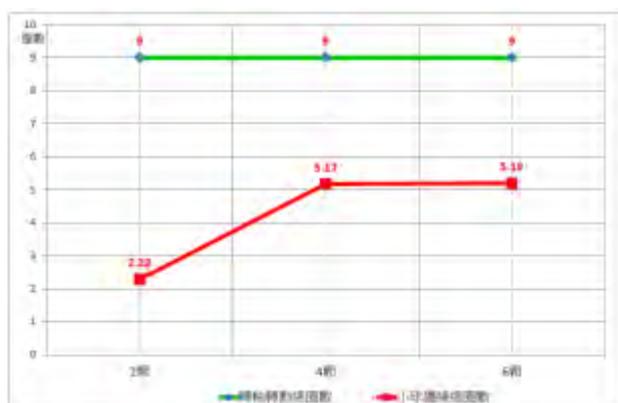


圖 35：不同重物的動力系統，對擺錘繞圈圈數比較圖

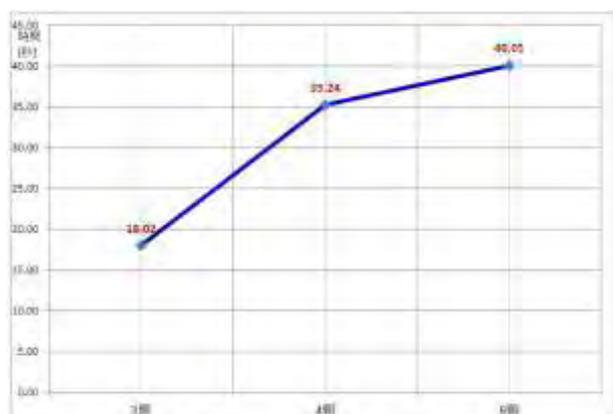


圖 36：不同重物的動力系統，對擺錘繞圈時間比較圖

目的四、不同繩子，對左右逢源影響。

研究 4-1 不同繩長，對擺錘繞圈的影響。

【研究構想】：我們想知道不同繩長的擺錘，對擺錘纏繞圈數影響，因此，進行以下實驗。

【實驗步驟】：

- 1.準備不同長度擺長：將棉線剪成 10 公分、12 公分、14 公分(圖 37)。
- 2.擺錘重量：取 5 克的擺錘，黏在 10 公分的棉線，並固定在「左右逢源」橫桿上。
- 3.動力系統：利用棉線將四顆球連接起來，並將棉線繞至滑輪系統。
- 4.利用捲線器，將重物拉至高處。
- 5.鬆開捲線器，讓重物往下墜落。
- 6.利用碼錶、錄影機，記錄擺錘旋轉時間。
- 7.記錄擺錘旋轉圈數、纏繞在左右兩側柱子圈數。
- 8.將擺長改為 12、14 公分，重複步驟 3.~7.。

【研究發現】：

- 1.擺長在 14 公分時，纏繞圈數最多；擺長在 10 公分時，纏繞圈數最少。
- 2.結果如表 8、圖 37-39。

【實驗結果與討論】

擺長較長時，能夠纏繞在柱子上的圈數較多，所花的時間長。因此，擺長較長時，總時數較長。

表 8：不同擺長對擺錘繞圈數影響

項目/擺長	10cm	12cm	14cm
總圈數 (圈)	9	9	9
總時間 (秒)	26.17	34.54	50.932
左側纏繞圈數 (圈)	1.79	2.11	3.48
右側纏繞圈數 (圈)	1.50	1.65	2.17
纏繞總圈數 (圈)	3.29	3.75	5.66

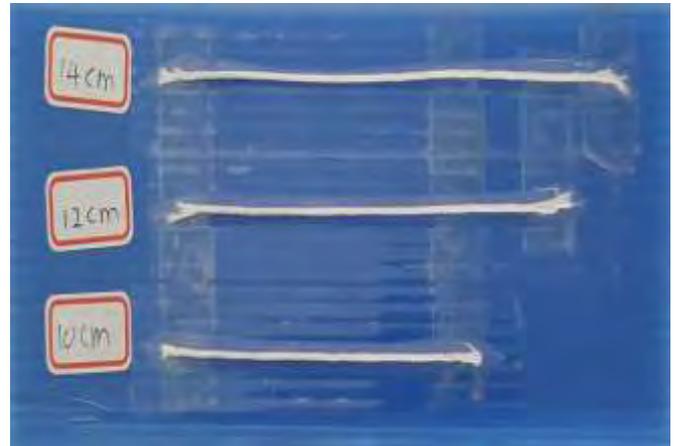


圖 37：不同擺長圖

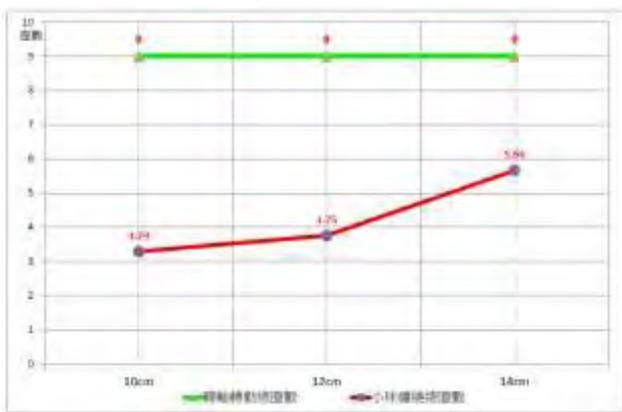


圖 38：不同擺長對擺錘繞圈數影響比較

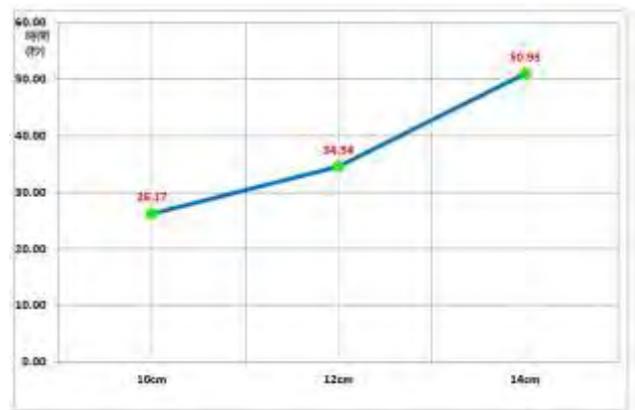


圖 39：不同擺長對擺錘繞圈時間比較圖

研究 4-2 不同繩子材質，對擺錘繞圈的影響。

【研究構想】：我們想知道綁在擺錘上的線，對擺錘纏繞圈數影響，因此，進行以下實驗。

【實驗步驟】：

- 1.準備擺錘：利用電子秤取黏土 5 克，並將黏土揉成圓形。
- 2.擺錘繩長：取棉線、釣魚線、橡皮筋 12 公分，黏在 5 克的擺錘上。先將棉線的擺錘，固定在「左右逢源」橫桿上。
- 3.動力系統：利用棉線將四顆球連接起來，並將棉線繞至滑輪系統。
- 4.利用捲線器，將重物拉至高處。
- 5.鬆開捲線器，讓重物往下墜落。
- 6.利用碼錶、錄影機，記錄擺錘旋轉時間。
- 7.記錄擺錘旋轉圈數、纏繞在左右兩側柱子圈數。
- 8.改用釣魚線、橡皮筋的擺錘，重複步驟 3.~7.。

【研究發現】：

- 1.棉線的擺錘，纏繞時間最多；橡皮筋的擺錘，纏繞時間最少。
- 2.棉線的擺錘，纏繞圈數最多；釣魚線的擺錘，纏繞圈數最少。
- 3.結果如表 9、圖 40-42。

【實驗結果與討論】

不同種類的線對擺錘纏繞的影響，結果發現棉線纏繞的時間和圈數最多，推測棉線摩擦力較大，較能纏繞在柱子上。

表 9：不同材質擺線對擺錘繞圈數影響

項目/擺線材質	棉線	釣魚線	橡皮筋
總圈數（圈）	9	9	9
總時間（秒）	36.74	27.53	27.44
左側纏繞圈數（圈）	1.95	1.62	1.62
右側纏繞圈數（圈）	2.54	1.93	2.05
纏繞總圈數（圈）	4.49	3.55	3.68

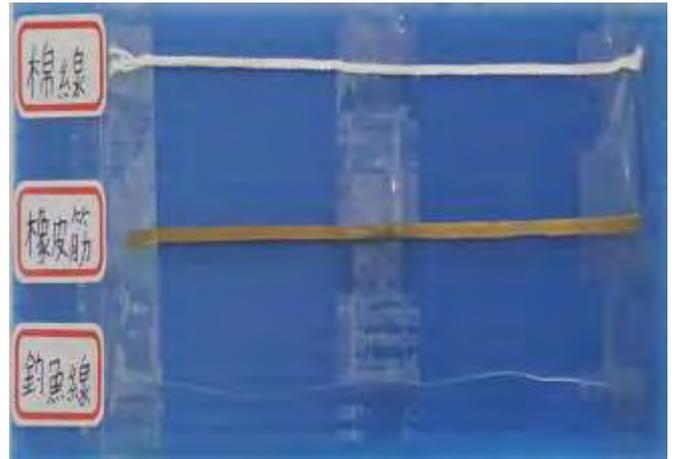


圖 40：不同材質擺線圖

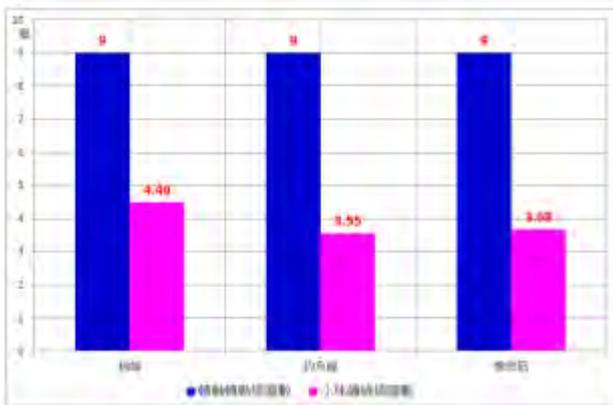


圖 41：不同材質擺線，對擺錘繞圈數影響

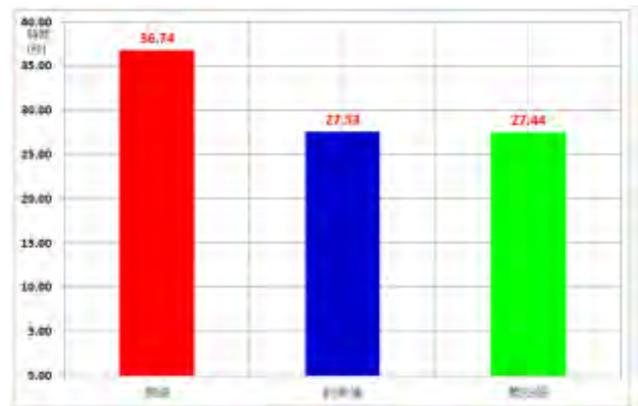


圖 42：不同材質擺線對擺錘繞時間影響

目的五、不同柱子，對左右逢源影響。

研究 5-1 不同柱子材質，對擺錘繞圈的影響。

【研究構想】：我們想知道擺錘纏繞的柱子，對擺錘纏繞圈數影響，因此，進行以下實驗。

【實驗步驟】：

- 1.準備擺錘：利用電子秤取黏土 5 克，並將黏土揉成圓形。
- 2.擺錘繩長：取棉線 12 公分，黏在 5 克的擺錘上，將擺錘固定在「左右逢源」橫桿上。
- 3.纏繞柱子：準備塗油、沒塗油、黏砂紙的柱子。先將沒塗油固定在「左右逢源」上。
- 4.動力系統：利用棉線將四顆球連接起來，並將棉線繞至滑輪系統。
- 5.利用捲線器，將重物拉至高處。

- 6.鬆開捲線器，讓重物往下墜落。
- 7.利用碼錶、錄影機，記錄擺錘旋轉時間。
- 8.記錄擺錘旋轉圈數、纏繞在左右兩側柱子圈數。
- 9.改用塗油、黏砂紙的柱子，重複步驟 3.~7.。

【研究發現】：

- 1.沒塗油柱子，纏繞圈數最多；貼砂紙的柱子，纏繞圈數最少。
- 2.柱子摩擦力大，繩子不易纏繞。
- 3.結果如表 10、圖 43。

【實驗結果與討論】

不同材質的柱子對擺錘纏繞的影響，結果發現貼砂紙的柱子，纏繞圈數最少，我們認為貼砂紙的柱子摩擦力較大，造成棉線容易卡在砂紙上。

表 10：不同材質柱子對擺錘繞圈數影響

項目/柱子材質	沒塗油柱子	塗油柱子	貼砂紙柱子
總圈數（圈）	9.00	9.00	9.00
總時間（秒）	36.74	29.27	31.86
左側纏繞圈數（圈）	1.95	2.54	2.15
右側纏繞圈數（圈）	2.34	2.25	1.73
纏繞總圈數（圈）	4.30	4.79	3.88

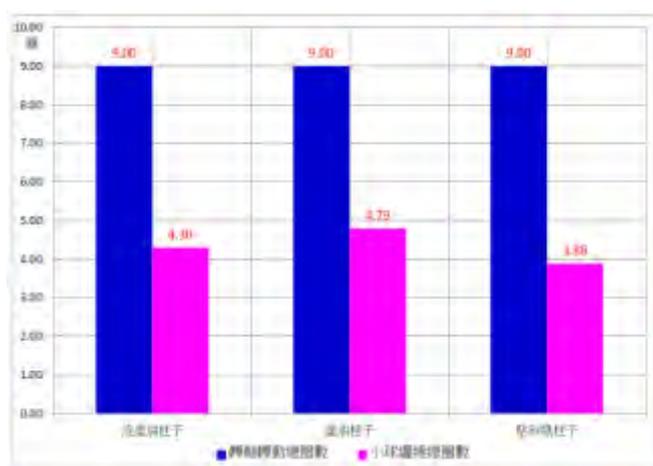


圖 43：不同材質柱子對擺錘纏繞圈數影響

目的六、不同擺錘形狀，對左右逢源影響。

研究 6-1 不同擺錘形狀，對擺錘繞圈的影響。

【研究構想】：我們想知道相同重量不同形狀的擺錘，對擺錘纏繞圈數影響，因此，進行以下實驗。

【實驗步驟】：

- 1.準備相同重量不同形狀的擺錘：利用電子秤取將黏土控制為 5 公克，並將黏土揉成不同形狀(圓球、正方體、長方體、圓錐體)。
- 2.擺錘繩長：取棉線 12 公分，黏在 5 克的擺錘上，將圓形擺錘固定在「左右逢源」橫桿上。
- 3.動力系統：利用棉線將四顆球連接起來，並將棉線繞至滑輪系統。
- 4.利用捲線器，將重物拉至高處。
- 5.鬆開捲線器，讓重物往下墜落。
- 6.利用碼錶、錄影機，記錄擺錘旋轉時間。
- 7.記錄擺錘旋轉圈數、纏繞在左右兩側柱子圈數。
- 8.改用正方形、長方形、圓錐形的擺錘，重複步驟 3.~7.。

【研究發現】：

- 1.重量相同不管是哪一種形狀的擺錘，纏繞圈數、時間都相近。
- 2.結果如表 11、圖 44。

【實驗結果與討論】

重量相同不同形狀的擺錘，纏繞圈數、時間都相近。我們認為「重量」才是影響纏繞圈數的最重要因素，與擺錘形狀無關。

表 11：不同擺錘形狀對擺錘繞圈數影響

項目/擺錘形狀	圓形	長方形	正方體	圓錐
總圈數（圈）	9.00	9.00	9.00	9.00
總時間（秒）	36.74	29.61	30.40	32.76
左側纏繞圈數（圈）	1.95	1.81	1.68	1.71
右側纏繞圈數（圈）	2.41	1.92	1.87	1.98
纏繞總圈數（圈）	4.36	3.73	3.55	3.69

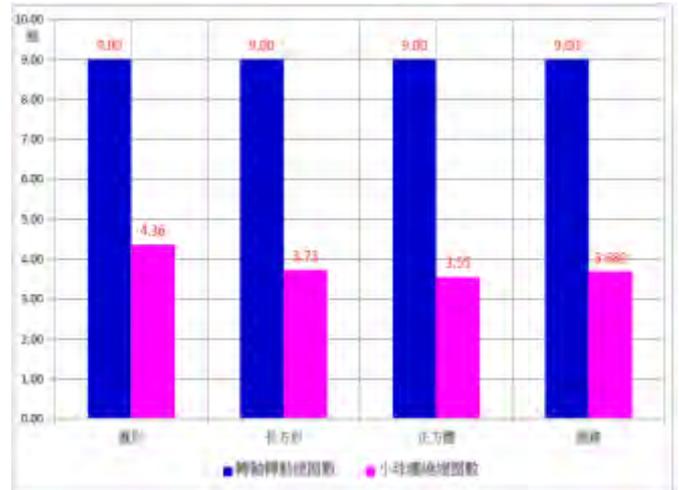


圖 44：不同擺錘形狀對擺錘纏繞圈數影響

目的七、不同橫桿長度，對左右逢源影響。

研究 7-1 不同長度橫桿，對擺錘繞圈的影響。

【研究構想】：我們想知道不同長度橫桿，對擺錘纏繞圈數影響，因此，進行以下實驗。

【實驗步驟】：

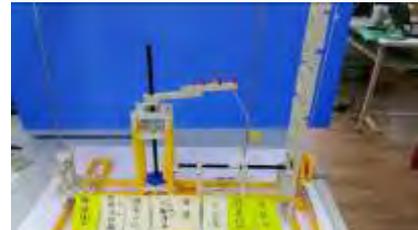
- 1.準備不同長度橫桿：考量智高積木的設計，將橫桿長度調整為相差 2.5 公分，為 10.5 公分、13 公分、16.5 公分三種橫桿。
- 2.擺錘繩長：取棉線 12 公分，黏在 5 克的擺錘上，將圓形擺錘固定在「左右逢源」橫桿上。
- 3.動力系統：利用棉線將四顆球連接起來，並將棉線繞至滑輪系統。
- 4.利用捲線器，將重物拉至高處。
- 5.鬆開捲線器，讓重物往下墜落。
- 6.利用碼錶、錄影機，記錄擺錘旋轉時間。
- 7.記錄擺錘旋轉圈數、纏繞在左右兩側柱子圈數。
- 8.改用橫桿為 13 公分、16.5 公分，重複步驟 3.~7.。



▲橫桿為 10.5 公分



▲橫桿為 13 公分



▲橫桿為 16.5 公分

【研究發現】：

- 1.橫桿 16.5 公分，纏繞圈數最多，橫桿 10.5 公分，纏繞圈數最少。
- 2.結果如表 12、圖 45-46。

【實驗結果與討論】

橫桿越長，擺錘越容易接觸到柱子，繞的圈數越多；反之，橫桿越短，擺錘越不容易接觸到柱子，繞的圈數越少。

表 12：橫桿長短對纏繞圈數影響

項目/橫桿長短	10.5 公分	13 公分	16.5 公分
橫桿繞圈數	9	9	9
總時間	15.44	30.77	47.67
左側纏繞圈數	2.84	2.12	3.14
右側纏繞圈數	2.03	1.76	2.21
纏繞總圈數	4.87	3.88	5.35

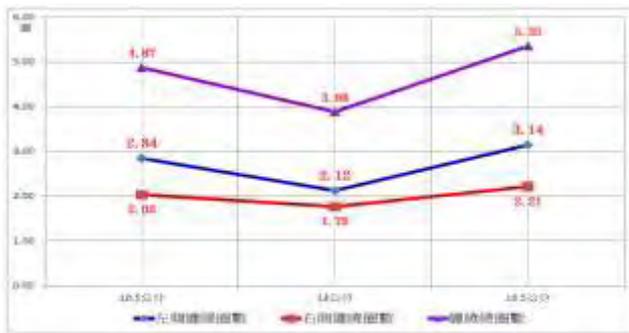


圖 45：橫桿長短對纏繞圈數影響

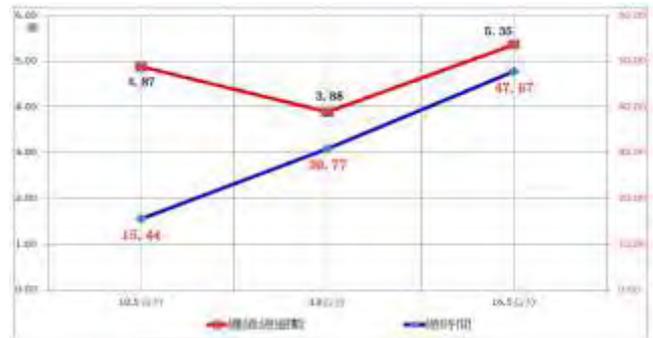


圖 46：橫桿長短對總時間影響

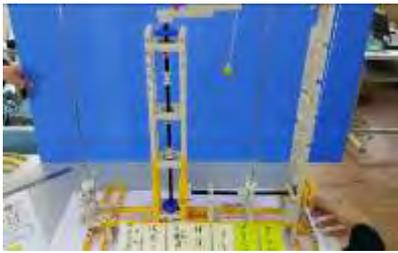
目的八、不同轉軸高度，對左右逢源影響。

研究 8-1 不同轉軸高度，對擺錘繞圈的影響。

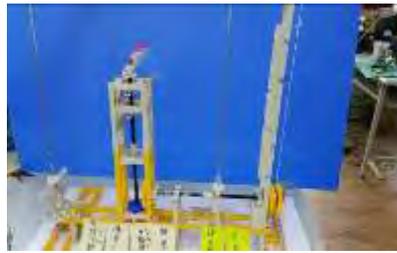
【研究構想】：我們想知道不同高度轉軸，對擺錘纏繞圈數影響，因此，進行以下實驗。

【實驗步驟】：

- 1.準備不同高度的轉軸：將智高的轉軸高度調整為 42 公分、32 公分、22 公分。
- 2.擺錘繩長：取棉線 12 公分，黏在 5 克的擺錘上，將圓形擺錘固定在「左右逢源」橫桿上。
- 3.動力系統：利用棉線將四顆球連接起來，並將棉線繞至滑輪系統。
- 4.利用捲線器，將重物拉至高處。
- 5.鬆開捲線器，讓重物往下墜落。
- 6.利用碼錶、錄影機，記錄擺錘旋轉時間。
- 7.記錄擺錘旋轉圈數、纏繞在左右兩側柱子圈數。
- 8.改用轉軸高度為 32 公分、22 公分，重複步驟 3.~7.。



▲轉軸高 42 公分



▲轉軸高 32 公分



▲轉軸高 22 公分

【研究發現】：

- 1.轉軸 22 公分，纏繞圈數最多，轉軸 42 公分，纏繞圈數最少。
- 2.纏繞時間，以 22 公分最久時間最長，以 32 公分最短時間最短
- 3.結果如表 13、圖 47-48。

【實驗結果與討論】

實驗發現轉軸越低，纏繞圈數最多，轉軸越長，纏繞圈數最少。推測轉軸較長，動力傳遞時間較久，才能到達擺錘，以致於纏繞圈數較少。

表 13：不同轉軸高度對纏繞圈數影響

項目/轉軸高度	22cm	32cm	42cm
橫桿繞圈數	9.00	9.00	9.00
總時間	43.12	33.93	42.23
左側纏繞圈數	2.60	2.16	1.67
右側纏繞圈數	2.83	1.47	1.71
纏繞總圈數	5.43	3.63	3.38

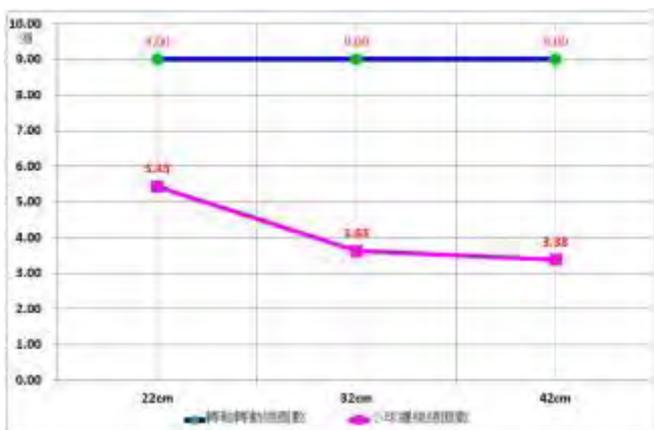


圖 47：不同轉軸高度對纏繞圈數影響

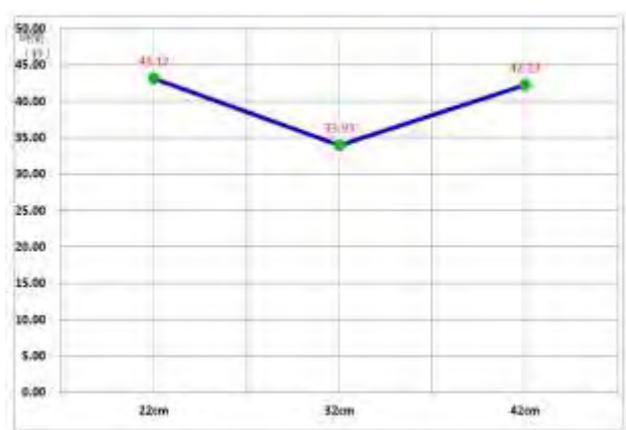


圖 48：不同轉軸高度對纏繞圈數時間影響

柒、討論

一、擺錘重量大小，對左右逢源的影響。

【研究 1-1】實驗發現相同體積不同重量擺錘，在擺錘為 2~5 克時，纏繞圈數慢慢增加，6~7 克時，纏繞圈數慢慢變少，8~10 纏繞圈數增加。推測擺錘太輕，容易甩太高，造成打結，擺錘太重，旋轉時不容易轉動，因而減少纏繞圈數。

由研究 1-2 相同重量不同體積的實驗，在擺錘直徑為 2 公分~2.5 公分時，纏繞圈數慢慢增加，而擺錘直徑為 2.5 公分~3 公分纏繞圈數變少。推測擺錘太輕，容易甩太高，造成打結，擺錘太重，旋轉時不容易轉動，因而減少纏繞圈數。體積大的球容易打到柱子，推測大的球空氣阻力較大。

由研究 1-3 實驗發現不同重量擺錘，對纏繞圈數會產生影響。擺錘太輕，容易甩太高，造成打結，擺錘太重，旋轉時不容易轉動，因而減少纏繞圈數。

綜合以上【研究 1-1~1-3】，**擺錘太輕，容易甩太高，造成打結，擺錘太重，旋轉時不容易轉動，因而減少纏繞圈數。擺錘體積太大的球容易打到柱子，推測大的球空氣阻力較大，太小太輕無法纏繞。**

二、不同齒輪組合的傳動系統，對左右逢源的影響。

(一) 不同重物高度產生傳遞效果

比較【研究 2-1~2-3】重物在不同高度下（20cm~100cm）所產生重力位能傳遞效果（表 4、表 5、表 6），發現**不管任何齒輪組合，重物高度越高轉軸轉動圈數、纏繞時間、擺錘纏繞圈數越多。表示重力位能越大，傳遞的動能越大。**

(二) 不同齒輪傳遞效果

根據前述結論**重物高度越高轉軸轉動圈數、纏繞時間、擺錘纏繞圈數越多**。選擇重物高度為 100cm 時，分析大中小不同齒輪的九種傳動系統，對轉軸轉動總圈數、擺錘纏繞總圈數、擺錘纏繞總時間等影響(表 14)：

1.不同齒輪組合傳遞系統對轉軸轉動總圈數影響

比較轉軸轉動圈數，發現大中小不同齒輪傳遞至大中小不同齒輪時，都是以傳遞至比本身小的齒輪（大齒輪→小齒輪，中齒輪→小齒輪，小齒輪→小齒輪），所帶動的轉軸轉動圈數最多。其原理為**兩齒輪大小相同時轉動圈數相同，只有在大齒輪傳遞至比本身小的齒輪時，轉軸轉動圈數最多。**

2.不同齒輪組合傳遞系統對擺錘纏繞總圈數影響

比較擺錘纏繞圈數，發現大中小不同齒輪傳遞至大中小不同齒輪時，**大齒輪→大齒輪、中齒輪→中齒輪、小齒輪→小齒輪時擺錘纏繞圈數最多**（表 4、表 5、表 6）。以齒輪原理來說，大齒輪轉動小齒輪轉速快，但扭力小；反之，小齒輪轉動大齒輪轉速慢，但扭力大。從結果發現，在大齒輪傳至大中小不同齒輪時，以大齒輪→大齒輪圈數最多，是因為



圖 49：九種齒輪組合傳遞系統纏繞圈數比較

相對於大齒輪→中齒輪，大齒輪→小齒輪其扭力比大齒輪→大齒輪小，所以大齒輪→大齒輪扭力較大圈數最多。

而中齒輪→中齒輪、小齒輪→小齒輪擺錘纏繞圈數最多，雖然看似不符合要「小的齒輪傳較大的齒輪扭力大，纏繞才會較多圈」。但小齒輪→大齒輪（中齒輪→大齒輪），扭力太大造成打結，反而圈數少。

3.不同齒輪組合傳遞系統對擺錘纏繞時間影響

比較擺錘纏繞時間，發現大中小不同齒輪傳遞至大中小不同齒輪時，都是以傳遞至比本身小的齒輪（大齒輪→小齒輪，中齒輪→小齒輪，小齒輪→小齒輪），擺錘纏繞時間最長。符合大齒輪轉動小轉輪，轉軸轉較多圈，因而時間較長。

表 14：大中小不同齒輪的九種傳動系統對纏繞圈數及時間影響比較

項目/最佳組合	大齒輪傳大中小齒輪	中齒輪傳大中小齒輪	小齒輪傳大中小齒輪
轉軸轉動總圈數	大齒輪→小齒輪	中齒輪→小齒輪	小齒輪→小齒輪
擺錘纏繞總圈數	大齒輪→大齒輪	中齒輪→中齒輪	小齒輪→小齒輪
擺錘纏繞總時間	大齒輪→小齒輪	中齒輪→小齒輪	小齒輪→小齒輪

4.不同齒輪組合傳遞系統對齒輪扭力、擺錘揚起角度與纏繞圈數關係

(1) 不同齒輪傳動系統所產生的扭力測試

齒輪纏繞圈數與不同齒輪傳動系統所產生的扭力、或擺錘揚起高度有關？首先，我們將重物（126.48 克）放置於實驗裝置 100cm 位置，將橫桿掛上砝碼一顆顆加到轉軸直到無法轉動，扣去一顆則為齒輪的扭力(表 15、圖 50)。

在大齒輪傳遞傳動系統中，以大齒輪傳大齒輪扭力最大，大齒輪傳小齒輪，扭力最小；中齒輪傳遞傳動系統中，以中齒輪傳大齒輪扭力最大，中齒輪傳小齒輪，扭力最小；在小齒輪傳遞傳動系統中，以小齒輪傳大齒輪扭力最大，小齒輪傳小齒輪，扭力最小。

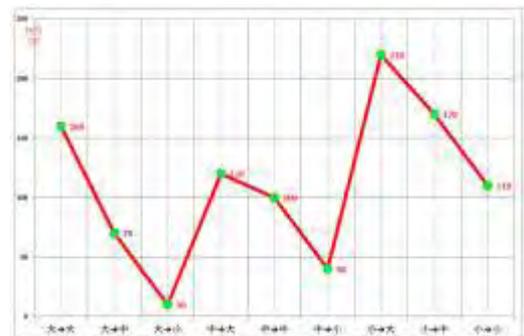


圖 50：九種齒輪組合傳遞系統扭力

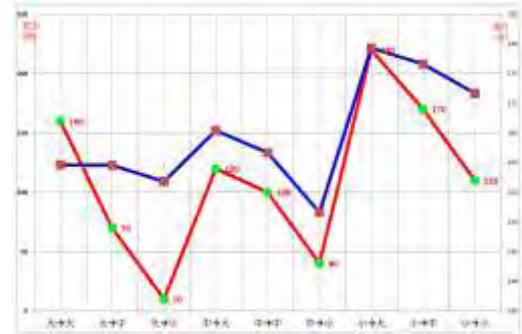


圖 51：扭力與擺線仰起角度關係

(2) 扭力與擺線仰起角度關係

扭力與擺線仰起角度有關嗎？我們利用 IC-Measure(手動式螢幕測量軟體)測量擺錘纏繞柱子時擺線仰角（表 15、圖 51）。由圖 51 發現**扭力越大，擺線角度越大；扭力越小，擺線角度越小。**

(3) 扭力、擺線仰起角度與纏繞圈數關係

擺線仰起角度與左右逢源纏繞圈數有關嗎？由表 15、圖 51 發現大齒輪、中齒輪傳遞系統，都是擺線仰起角度越大，擺線傳繞圈數越多；擺線仰起角度越小，擺線傳繞圈數越少。而在小齒輪傳遞系統，卻是擺線仰起角度越大，擺線傳繞圈數越少；擺線仰起角度越小，擺線傳繞圈數越多。由研究 2-3 實驗發現，小齒輪傳遞大齒輪，扭力最大，卻會造成擺錘纏繞在線上，因而纏繞圈數最少。

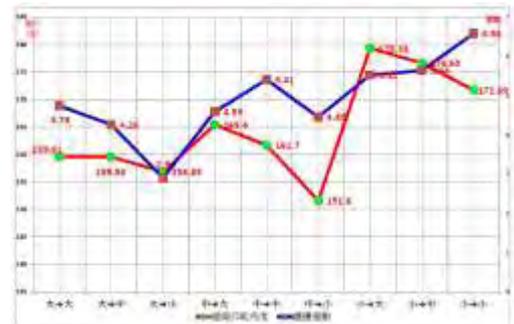
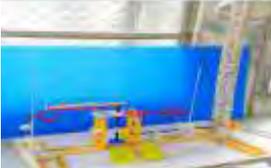


圖 52：扭力與擺線仰起角度關係

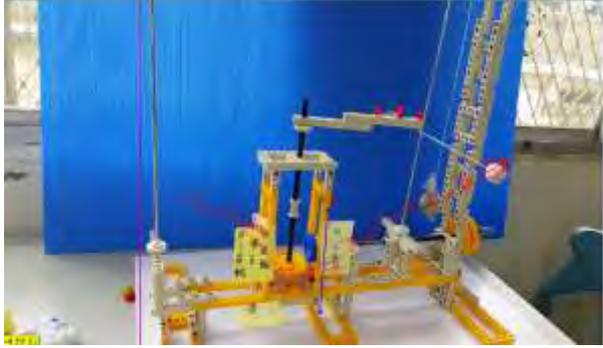
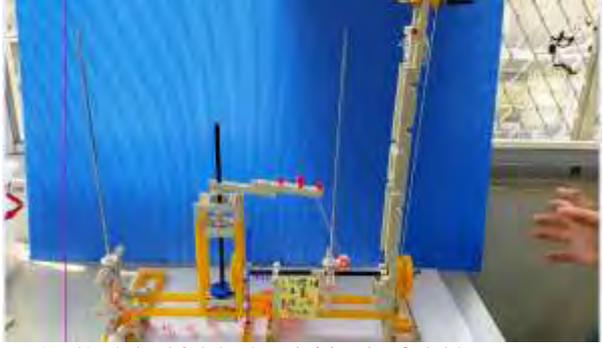
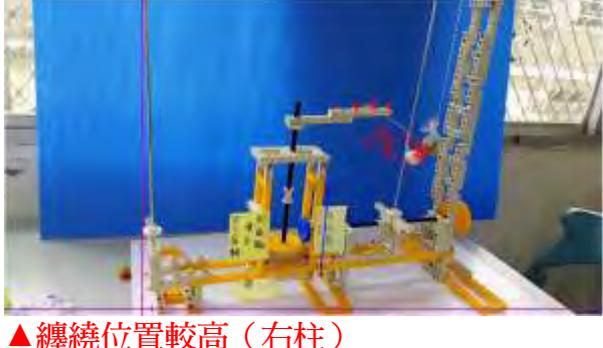
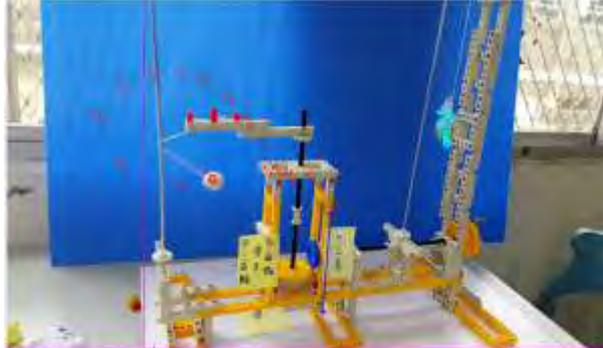
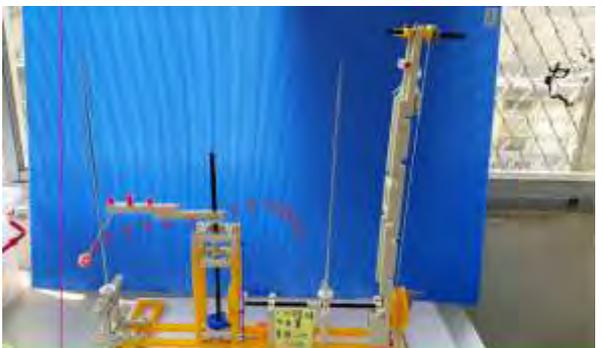
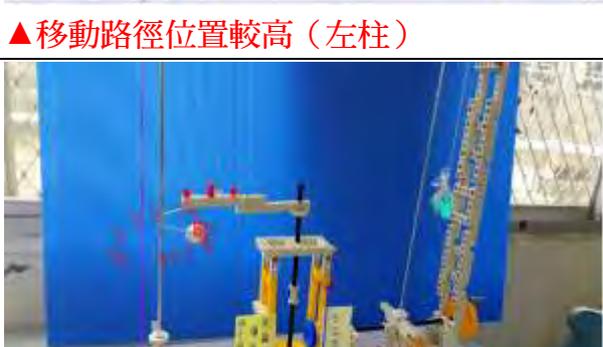
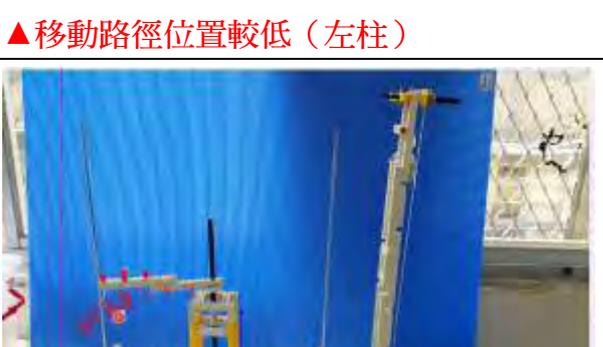
表 15:單擺揚起角度、齒輪扭力與纏繞圈數關係比較表 (重物: 126.48 克 重物高度:100cm)

齒輪傳動系統		扭力	實驗裝置	擺繩仰起角度	左右纏繞總圈數	備註
大齒輪	160	傳大齒輪 (60 齒)		159.61	4.74	1
	70	傳中齒輪 (40 齒)		159.56	4.26	2/3
	10	傳小齒輪 (20 齒)		156.83	2.90	1/3
中齒輪	120	傳大齒輪 (60 齒)		165.4	4.59	3/2
	100	傳中齒輪 (40 齒)		161.7	5.41	1
	40	傳小齒輪 (20 齒)		151.63	4.45	1/2
小齒輪	220	傳大齒輪 (60 齒)		179.33	5.52	3
	170	傳中齒輪 (40 齒)		176.65	5.64	2
	110	傳小齒輪 (20 齒)		171.69	6.58	1

(三) 擺錘移動路徑分析

利用 Tracker 軟體分析大齒輪帶動小齒輪及小齒輪帶大齒輪移動路徑分析，結果如下：

表 16：大中小不同齒輪的九種傳動系統對纏繞圈數及時間影響比較

小齒輪帶動大齒輪	大齒輪帶動小齒輪
 <p>▲移動路徑較高（擺錘的角度高）</p>	 <p>▲移動路徑較低（擺錘的角度低）</p>
 <p>▲纏繞位置較高（右柱）</p>	 <p>▲纏繞位置較低（右柱）</p>
 <p>▲移動路徑位置較高（左柱）</p>	 <p>▲移動路徑位置較低（左柱）</p>
 <p>▲纏繞較大圈</p>	 <p>▲纏繞較小圈</p>

由以上分析發現小齒輪帶動大齒輪，擺錘擺的路徑較高，繞圈較大。綜合【研究 2-1~2-3】研究，大齒輪帶小齒輪纏繞圈數最少，因為扭力小，轉動速度慢，總圈數最少；小齒輪帶大齒輪纏繞圈數最多，因為扭力大，轉動速度快，總圈數最多。

三、扭力大小，對左右逢源的影響。

【研究 3-1】不同重物的實驗發現 6 顆滑鼠球纏繞圈數較多圈，因為所施的扭力較大，相對的時間較長，2 顆滑鼠球繞較少圈，因為所施的扭力較小，因此時間較短。重量越重效果較好。因此，物體越重產生的重力位能越大，轉換成動能就越大。因此物體越重扭力越大，產生的動能越大。

四、不同繩子，對左右逢源的影響。

【研究 4-1】實驗發現不同繩長，以長繩纏繞圈數最多，時間也較久。繩子越長所能夠纏在柱子上的長度越長。研究 4-2 實驗發現不同繩子材質，以棉繩纏繞圈數較多，推測棉線的摩擦力較大。

五、不同柱子，對左右逢源的影響。

【研究 5-1】實驗發現不同柱子材質，以塗油柱子，纏繞圈數最多；貼砂紙的柱子，纏繞圈數最少。因為有貼防滑貼條的柱子，摩擦力較大，沒有貼防滑貼條的柱子，摩擦力較小，但摩擦力大，繩子不易纏繞。

六、不同擺錘形狀，對左右逢源的影響。

【研究 6-1】實驗發現不同擺錘形狀，重量相同不管是哪一種形狀的擺錘，纏繞圈數、時間都相近。因此，擺錘形狀不影響纏繞圈數。

七、不同橫桿長度，對左右逢源的影響。

【研究 7-1】實驗發現不同橫桿長度，以橫桿 16.5 公分，纏繞圈數最多，橫桿 10.5 公分，纏繞圈數最少。橫桿越長，越容易接觸到柱子，反之，橫桿越短，越不容易接觸到柱子。

八、不同轉軸高度，對左右逢源影響。

【研究 8-1】實驗發現不同轉軸高度，以轉軸 22 公分，纏繞圈數最多，轉軸 42 公分，纏繞圈數最少。我們推測轉軸高度較高的，能量傳遞過程耗損較多，因而纏繞圈數最少，而軸高度較矮的，能量傳遞過程耗損較少，因而纏繞圈數最多。

捌、結論

一、動力系統組：重物越高，轉軸轉動圈數、纏繞時間、擺錘纏繞圈數越多。表示重力位能越大，傳遞的動能越大，擺錘纏繞圈數較多。

二、轉軸旋轉組：以大齒輪傳小齒輪，轉軸轉動圈數最多；小齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少。轉軸高度越低，纏繞圈數最多；轉軸高度越高，纏繞圈數最少。

三、齒輪傳動系統：

(一)扭力大小：以齒輪傳遞至較大齒輪時，產生的扭力較大，齒輪傳遞至較小的齒輪時，產生的扭力較小。

(二)扭力與擺線仰起角度關係：扭力越大，擺線角度越大；扭力越小，擺線角度越小。

(三)扭力、擺線仰起角度與纏繞圈數關係：大齒輪、中齒輪傳遞系統，都是擺線仰起角度越大，擺線傳繞圈數越多；擺線仰起角度越小，擺線傳繞圈數越少。

四、擺錘纏繞組：擺線越長，纏繞越多圈；擺線越短，纏繞越少圈。擺錘重量太輕，旋轉時容易甩太高，造成打結；擺錘太重，旋轉時不容易轉動，造成圈數減少。

玖、未來研究及建議

本研究從一個科學玩具出發，企圖找出擺錘纏繞的最佳條件因素，未來可以進一步探討：

一、**創意性方面**：未來可更進一步將智高，應用在其它實驗裝置上。

二、**應用性方面**：

1. **探究能量轉換**：利用左右逢源裝置，去探討重力位能轉換成動能時，能量轉換時的損失。

2. **安全警戒範圍**：利用左右逢源實驗結果，作為生活當中我們常看到大型的起重機，移動重物時的安全警戒範圍。

3. **緩降機的應用**

從研究 2-1~2-3 發現左右逢源的齒輪組合（表 4~6），在重物高度為 100cm 時，**以大齒輪傳遞至小齒輪時，重物下降實間最長（221 秒）。**未來可以利用此裝置作為逃生時，從高處下降至地面。

三、**未來研究**：

1. 利用左右逢源裝置，探討圓周運動過程中不同扭力、不同長短擺線，擺錘運動的變化。

2. 分析擺錘纏繞過程與重物下降關係。



拾、研究心得

昀○：我做了這個實驗學到了很多，因為一開始有許多無法控制的變因，但是經過我們的努力之下克服了這項難關，所以學到了怎樣解決問題，也體會到像科學家沒有假日的生活。在全縣科展我們獲得了第一名（但只開心了一秒鐘），因為後續還有一大堆實驗追著我們跑，連端午假期都到學校進行左右逢源的研究。希望在全國科展，也能異軍突起，獲得最佳成績。

浩○：這個研究一開始我們要先解決扭力的問題，我們想了很久，才想到可以利用智高讓扭力一置。我們每星期三和日都來學校進行研究，不管颶風，還是下雨，而且連兒童節的連假，我們也到學校來，把握每分每秒努力的研究，才有今天的成果。

韵○：做這個實驗，我遇到了最大的難題。一開始要解決橡皮筋的扭力問題，還要利用假日來進行研究。但是我學到了怎樣解決問題，克服困難，珍惜每分每秒。

參考文獻

1. 左右逢源，彰化縣第 57 屆科展，國小組物理科。2019.1.25 取自。2019.1.25 取自 http://science.hsjh.chc.edu.tw/upload_works/106/64929e78d1d7572117dac232c7e40a77.pdf (彰化縣科學展覽競賽平台)
2. 螺帽轉轉---科學遊戲以小搏大之探討，第 58 屆全國科展，國小組物理科。2019.1.25 取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/58/pdf/NPHSF2018-080110.pdf> (科展群傑廳)
3. IC Measure - 手動式螢幕測量和圖像擷取軟體。2019.6.1 取自 <https://www.theimagingsource.tw/>

【評語】 080101

1. 能改良前人作品，並善用相關機械元件及分析軟體。
2. 數據平均趨勢不穩定，實驗次數可增加，以便分析。
3. 可直接探討比例關係，例如橫桿與轉軸高度，其實是結構比例。線長、重物高度、扭力其實是擺錘線與柱子的夾角關係。
4. 數據圖中應該標示座標軸名稱及單位。

摘要

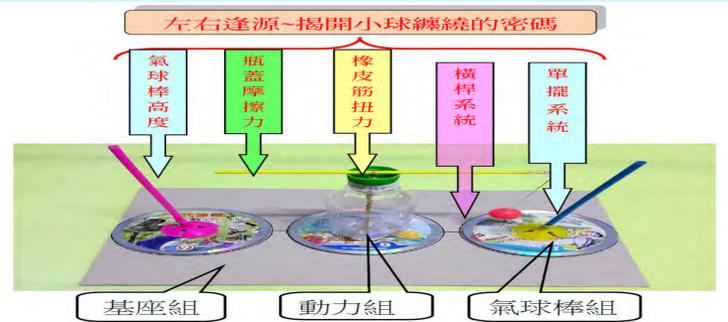
本研究源自於去年暑假時，自製「左右逢源」科學玩具，針對影響因素進行研究，結果發現：進而引發我們的好奇心，就進行一系列有關左右逢源的研究。**研究結果發現：**

- 一、動力系統組：重物越高，轉軸轉動圈數、纏繞時間、擺錘纏繞圈數越多。表示重力位能越大，傳遞的動能越大，擺錘纏繞圈數較多。
- 二、轉軸旋轉組：以大齒輪傳小齒輪，轉軸轉動圈數最多；小齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少。轉軸高度越低，纏繞圈數最多；轉軸高度越高，纏繞圈數最少。
- 三、擺錘纏繞組：擺線越長，纏繞越多圈；擺線越短，纏繞越少圈。擺錘重量太輕，旋轉時容易甩太高，造成打結；擺錘太重，旋轉時不容易轉動，造成圈數減少。

- 四、齒輪傳動系統：
 - (一)扭力大小：以齒輪傳遞至較大齒輪時，產生的扭力較大，齒輪傳遞至較小的齒輪時，產生的扭力較小。
 - (二)扭力與擺線仰起角度關係：扭力越大，擺線仰起角度越大；扭力越小，擺線仰起角度越小。
 - (三)扭力、擺線仰起角度與纏繞圈數關係：大齒輪、中齒輪傳遞系統，都是擺線仰起角度越大，擺錘纏繞圈數越多；擺線仰起角度越小，擺錘纏繞圈數越少。

壹 研究動機

去年暑假時，老師教我們做了一個小實驗~左右逢源。老師先將三個CD片，黏在板子上，再將氣球棒黏在左右兩邊的CD上，之後利用橡皮筋，將寶特瓶和兩個瓶蓋，還有一根吸管串在一起。最後，又用橡皮筋的扭力使吸管轉動。因此引發我們的好奇心，就進行了一系列的實驗。研究思考圖，如下：



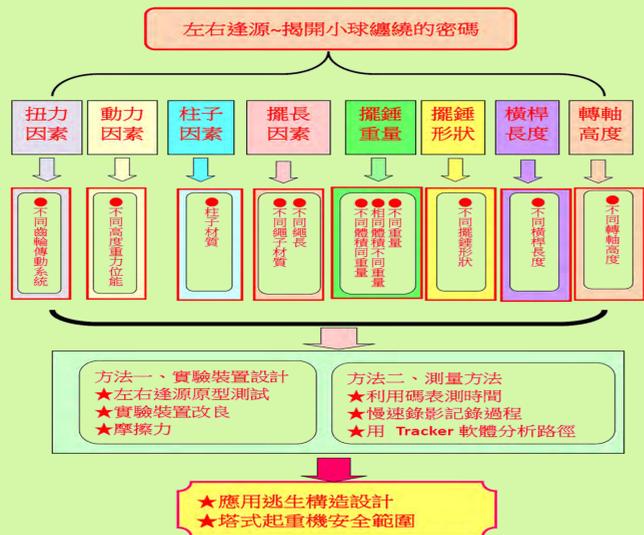
貳 研究目的及問題

我們針對影響「左右逢源」的因素，進行一系列的研究，提出以下研究問題：

- 目的一、擺錘重量大小，對左右逢源的影響。
 - 研究1-1相同體積不同重量，對擺錘纏繞圈數的影響。
 - 研究1-2相同重量不同體積，對擺錘纏繞圈數的影響。
 - 研究1-3不同重量，對擺錘纏繞圈數的影響。
- 目的二、不同齒輪組合的傳動系統，對左右逢源的影響。
 - 研究2-1由大齒輪傳至大齒輪的傳動系統，對擺錘纏繞圈數的影響。
 - 研究2-2由大齒輪傳至小齒輪的傳動系統，對擺錘纏繞圈數的影響。
 - 研究2-3由小齒輪傳至大齒輪的傳動系統，對擺錘纏繞圈數的影響。
- 目的三、扭力大小，對左右逢源的影響。
 - 研究3-1不同重物，對擺錘纏繞圈數的影響。
- 目的四、不同繩子，對左右逢源的影響。
 - 研究4-1不同繩長，對擺錘纏繞圈數的影響。
 - 研究4-2不同繩子材質，對擺錘纏繞圈數的影響。
- 目的五、不同柱子，對左右逢源的影響。
 - 研究5-1不同柱子材質，對擺錘纏繞圈數的影響。
- 目的六、不同擺錘形狀，對左右逢源的影響。
 - 研究6-1不同擺錘形狀，對擺錘纏繞圈數的影響。
- 目的七、不同橫桿長度，對左右逢源的影響。
 - 研究7-1不同橫桿長度，對擺錘纏繞圈數的影響。
- 目的八、不同轉軸高度，對左右逢源影響。
 - 研究8-1不同轉軸高度，對擺錘纏繞圈數的影響。

參 文獻探討(略)

肆 研究架構



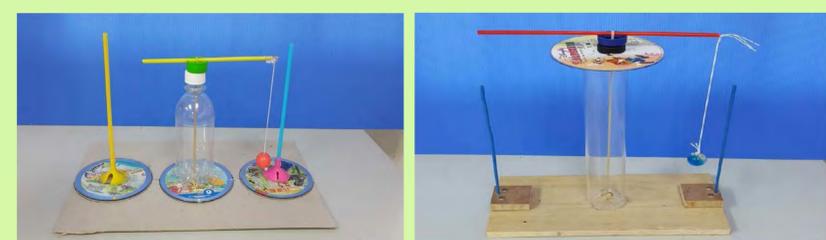
伍 研究設備及器材

一、實驗器材：

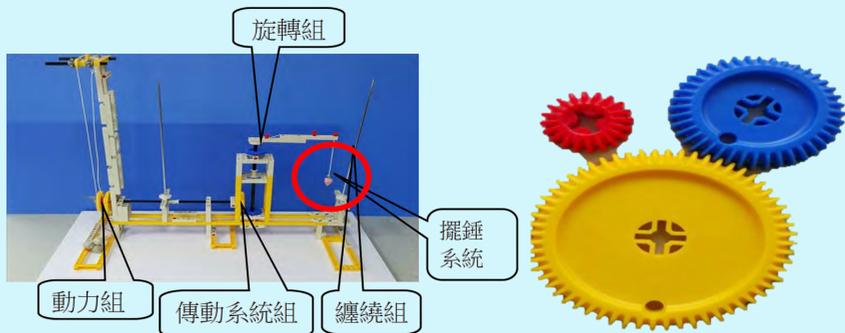
碼表 (1個)	電子天平(1台)	黏土 (1包)	保麗龍球 (10顆)
砝碼 (10顆)	細鐵棒 (4根)	竹棒 (4根)	氣球棒組 (4根)
光碟片 (4片)	保特瓶 (1個)	橡皮筋 (1包)	瓶蓋 (10個)
智高積木 (1組)	棉線 (1網)	釣魚線 (1包)	小鋼球 (10顆)
砂紙 (1包)	潤滑油 (1瓶)	重物(1包)	

二、自製實驗裝置

- (一) 製作左右逢源第一代原型：
- (二) 製作左右逢源第二代版



(三) 製作左右逢源第三代智高版：



利用智高組成「左右逢源」實驗裝置

- 1.動力組：利用智高積木，定滑輪組、線，以及捲線器，組成可以用捲線起將重物升起，當釋放時重物往下，將重力轉換成動能，透過傳遞系統組，將力傳遞至旋轉組。改良原先第一二代實驗裝置，橡皮筋扭力不均問題。
- 2.傳遞系統組：利用智高積木，將動力組產生的能量，傳遞至旋轉組。
- 3.纏繞組：利用鐵棒當支柱，因重量較重，不會有搖晃不穩情形。
- 4.旋轉組：利用智高積木，組成旋轉橫軸，將擺錘系統設置於橫桿上。

陸 研究過程與研究結果

目的一、擺錘重量大小，對左右逢源的影響。

研究1-1相同體積不同重量，對擺錘纏繞圈數的影響。

【研究構想】：我們想知道同體積下，不同重量的擺錘，對擺錘纏繞圈數影響，因此，進行以下實驗。

【實驗步驟】：

- 1.準備同體積不同重量擺錘：將十顆圓形保麗龍球挖空，放入黏土填滿，黏牢，並利用電子秤將球控制為1~10克。



- 2.擺錘繩長：取棉線12公分，黏在1克的擺錘上，並固定在「左右逢源」橫桿上。



圖7：自製左右逢源實驗裝置

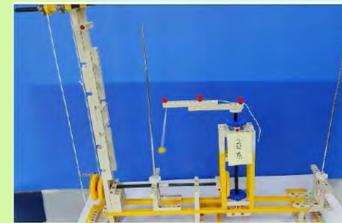


圖8：左右逢源實驗裝置測試

- 3.動力系統：利用棉線將四顆球連接起來，並將棉線繞至滑輪系統。
- 4.利用捲線器，將重物拉至高處。
- 5.鬆開捲線器，讓重物往下墜落。
- 6.利用碼錶、錄影機，記錄擺錘旋轉時間。
- 7.記錄擺錘旋轉圈數、纏繞在左右兩側柱子圈數。
- 8.將擺錘改為2~10克，重複步驟3.~7.。

【研究發現】：

- 1.擺錘重量在5克時，纏繞圈數最多；2克時，纏繞圈數最少。
- 2.擺錘纏繞的時間，從2克至5克都是逐漸增加，而擺錘從6克至7克時間逐漸減少。
- 3.擺錘太重或太輕，擺錘纏繞圈數較少。

【實驗結果與討論】：

原先我們認為體積大小可能會影響擺錘纏繞圈數。實驗結果發現擺錘太輕，旋轉時容易甩太高，造成打結；擺錘太重，旋轉時不容易轉動，造成圈數減少。因此，從實驗中發現擺錘重量以5公克效果最佳。

表1：同體積不同重量擺錘，對擺錘繞圈比較表

項目/重量	2公克	3公克	4公克	5公克	6公克	7公克	9公克	9公克	10公克
橫桿繞圈數	9	9	9	9	9	9	9	9	9
總時間	33.47	31.29	48.39	44.42	34.11	32.28	35.03	53.62	64.31
左側纏繞圈數	2.37	2.65	2.88	2.80	1.81	1.65	1.51	2.31	3.09
右側纏繞圈數	2.21	2.15	2.83	2.70	1.48	1.27	1.47	1.93	2.68
纏繞總圈數	4.58	4.80	5.72	5.50	3.28	2.92	2.98	4.24	5.76



圖9：同體積不同重量擺錘繞圈數比較



圖10：同體積不同重量擺錘，總時間比較



研究1-2相同重量不同體積，對擺錘繞圈數的影響。

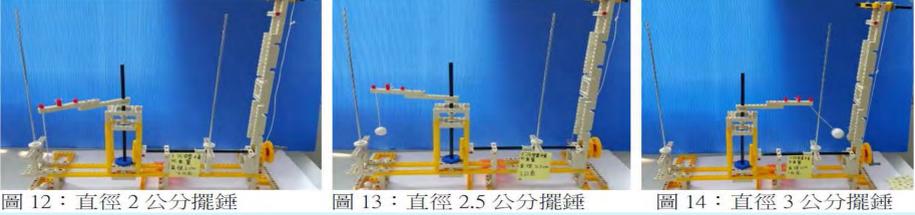
【研究構想】：研究1-1發現擺錘太輕，旋轉時容易用太高，造成打結；擺錘太重，旋轉時不容易轉動。如果重量相同下，不同體積的擺錘，對擺錘纏繞圈數會影響嗎？因此，進行以下實驗。

【實驗步驟】：

- 1.準備同重量不同體積擺錘：將三顆大小不同的圓形保麗龍球挖空（直徑2公分,2.5公分,3公分），放入黏土填滿、黏牢，並利用電子秤將球控制的重量為5克。



- 2.擺錘繩長：取棉線12公分，黏在直徑2公分5克的擺錘上，並固定在「左右逢源」橫桿上。



- 3.其餘步驟，詳見說明書。

【研究發現】：

- 1.擺錘直徑2.5公分，纏繞圈數最多；擺錘直徑3公分，纏繞圈數最少。
- 2.擺錘太大，擺錘纏繞圈數較少。

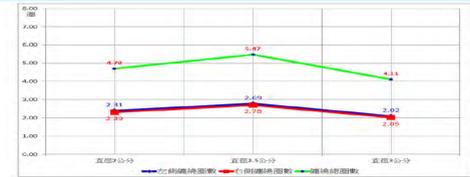


圖 15：同重量不同體積擺錘纏繞圈數比較

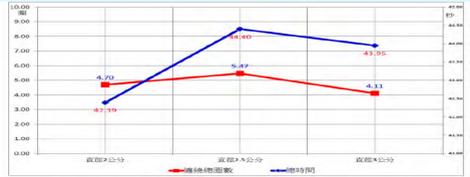


圖 16：同重量不同體積擺錘，總時間比較

【實驗結果與討論】：

在重量相同情況下，推測擺錘太大阻力大，以致於繞的較少圈。

研究1-3不同重量，對擺錘繞圈數的影響。

【研究構想】：我們想知道球的重量，會不會影響擺錘纏繞在左右兩根柱子的圈數？因此，我們進行「擺錘重量」對擺錘纏繞次數的實驗。

【實驗步驟】：詳見說明書

【研究發現】：

- 1.擺錘重量在4克、5克時，纏擾圈數最多。
- 2.擺錘纏繞的時間，從2克至6克都是逐漸增加，而擺錘從7克至10克時間逐漸減少
- 3.球太重或太輕，擺錘纏繞圈數較少。
- 4.結果如表3、圖17-18。

【實驗結果與討論】：

我們認為擺錘太輕，旋轉時容易用太高，造成打結；擺錘太重，旋轉時不容易轉動，造成圈數減少。因此，從實驗中發現擺錘重量以4、5、6公克效果最佳。



圖 17：不同重量擺錘，對擺錘繞圈總時間比較圖

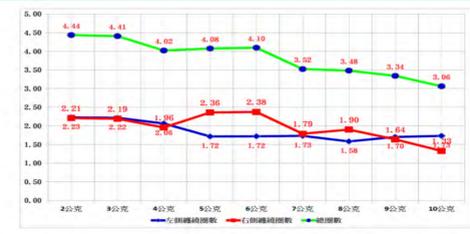


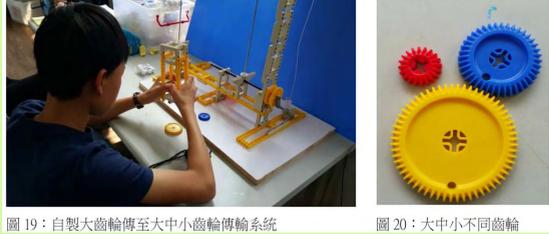
圖 18：不同重量擺錘，對擺錘繞圈比較圖

目的二、不同齒輪組合的傳動系統，對左右逢源的影響。

研究2-1由大齒輪傳至大、中、小齒輪的傳動系統，對擺錘纏繞圈數的影響

【研究構想】：我們想知道不同齒輪組合的傳動系統，對擺錘纏繞圈數影響，因此，進行「大齒輪傳至大齒輪的傳動系統」的實驗。

【實驗步驟】：詳見說明書



【研究發現】：

- 1.轉軸旋轉圈數（總圈數）：
(1)重物高度越高，轉軸轉動圈數越多。
(2)大齒輪傳小齒輪，轉軸轉動圈數最多；大齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少。
- 2.擺錘纏繞總圈數：
(1)不同重物高度，擺錘纏繞總圈數都接近。
(2)大齒輪傳大齒輪，擺錘纏繞總圈數最多；大齒輪傳小齒輪，擺錘纏繞總圈數最少。
- 3.擺錘纏繞總時間：
(1)重物高度越高，擺錘纏繞時間越長。
(2)大齒輪傳小齒輪，擺錘纏繞時間較長；大齒輪傳大齒輪，擺錘纏繞時間較短。
- 4.結果如表4、圖21-24。

項次/傳動方式/重物高度	20cm	40cm	60cm	80cm	100cm
總圈數（圈）					
大齒輪傳大齒輪	4	8	11	14	15
大齒輪傳中齒輪	4	9	15	18	22
大齒輪傳小齒輪	10	21	30	33	38.6
總時間（秒）					
大齒輪傳大齒輪	15.26	33.81	54.16	66.07	63.42
大齒輪傳中齒輪	21.24	34.30	62.98	77.05	79.49
大齒輪傳小齒輪	42.00	79.43	163.08	173.36	221.31
纏繞總圈數（圈）					
大齒輪傳大齒輪	4.95	5.01	5.55	5.81	4.74
大齒輪傳中齒輪	4.55	4.69	4.93	4.27	4.26
大齒輪傳小齒輪	2.77	3.13	3.08	3.10	2.90

【實驗結果與討論】：

- 1.根據齒輪傳動原理，大小齒輪相接轉動，大的轉一圈，小的齒輪轉較多圈。因此，大齒輪傳小齒輪，轉軸轉動圈數最多；大齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少。
- 2.大齒輪傳大齒輪，扭力較大因此擺錘纏繞總圈最多，而大齒輪傳小齒輪，扭力較少，因此擺錘纏繞總圈最少。
- 3.大齒輪傳小齒輪，轉軸轉動圈數最多，因而擺錘纏繞時間較長；而大齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少，因而擺錘纏繞時間較短。

研究2-2由中齒輪傳至大中小齒輪的傳動系統，對擺錘纏繞圈數的影響

【研究構想】：我們想知道不同齒輪組合的傳動系統，對擺錘纏繞圈數影響，因此，進行「中齒輪傳至不同大小齒輪的傳動系統」的實驗。

【實驗步驟】：詳見說明書

【研究發現】：

- 1.轉軸旋轉圈數（總圈數）：
(1)重物高度越高，轉軸轉動圈數越多。
(2)中齒輪傳小齒輪，轉軸轉動圈數最多；中齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少。
- 2.擺錘纏繞總圈數：
(1)不同重物高度，擺錘纏繞總圈數都接近。
(2)中齒輪傳中齒輪，擺錘纏繞總圈數最多；中齒輪傳小齒輪，擺錘纏繞總圈數最少。
- 3.擺錘纏繞總時間：
(1)重物高度越高，擺錘纏繞時間越長。
(2)中齒輪傳小齒輪，擺錘纏繞時間較長；中齒輪傳大齒輪，擺錘纏繞時間較短。
- 4.結果如表5、圖25-28。

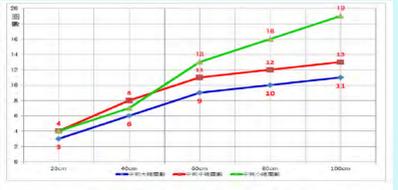


圖 25：中齒輪傳至大中小齒輪傳動系統對轉軸轉動圈數影響比較圖

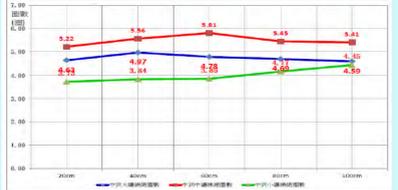


圖 26：中齒輪傳至大中小齒輪傳動系統對擺錘纏繞圈數影響比較圖

【實驗結果與討論】：

- 1.根據齒輪傳動原理，中齒輪傳小齒輪，轉軸轉動圈數最多；中齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少
- 2.中齒輪傳大齒輪，扭力較大，但是擺錘會打到橫桿，因此纏繞圈數較少，而以中齒輪傳中齒輪，擺錘纏繞總圈數最多；中齒輪傳小齒輪，扭力較少，因此擺錘纏繞總圈數最少。
- 3.中齒輪傳小齒輪，轉軸轉動圈數最多，因而擺錘纏繞時間較長；而中齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少，因而擺錘纏繞時間較短。

研究2-3由小齒輪傳至大中小齒輪的傳動系統，對擺錘纏繞圈數的影響

【研究發現】：

- 1.轉軸旋轉圈數（總圈數）：
(1)重物高度越高，轉軸轉動圈數越多。
(2)小齒輪傳小齒輪，轉軸轉動圈數最多；小齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少。
- 2.擺錘纏繞總圈數：
(1)不同重物高度，擺錘纏繞總圈數都接近。
(2)小齒輪傳小齒輪，擺錘纏繞總圈數最多；小齒輪傳中齒輪，擺錘纏繞總圈數最少。
- 3.擺錘纏繞總時間：
(1)重物高度越高，擺錘纏繞時間越長。
(2)小齒輪傳小齒輪，擺錘纏繞時間較長；小齒輪傳大齒輪，擺錘纏繞時間較短。
- 4.結果如表6、圖29-32。

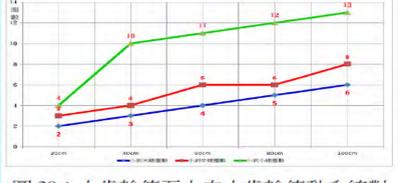


圖 29：小齒輪傳至大中小齒輪傳動系統對轉軸轉動圈數影響比較圖

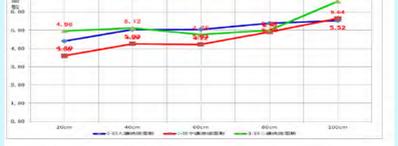


圖 30：小齒輪傳至大中小齒輪傳動系統對擺錘纏繞圈數影響比較圖

【實驗結果與討論】：

- 2.小齒輪傳大齒輪，扭力最大，但是擺錘會打結，因此纏繞圈數較少。而以小齒輪傳小齒輪，擺錘纏繞總圈數最多，而小齒輪傳中齒輪，因此擺錘纏繞總圈數最少。
- 3.小齒輪傳小齒輪，轉軸轉動圈數最多，因而擺錘纏繞時間較長；而小齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少，因而擺錘纏繞時間較短。

目的三、不同動力系統，對左右逢源影響。

研究3-1不同重物的動力系統，對擺錘繞圈的影響。

【研究構想】：我們想知道不同重物的動力系統，對擺錘纏繞圈數影響，因此，進行以下實驗。

【研究發現】：

- 1.重物在6顆滑鼠軌跡球時，纏繞圈數最多；2顆滑鼠軌跡球時，纏繞圈數最少。
- 2.結果如表7、圖29-31。

【實驗結果與討論】：

實驗發現重物較重時，能夠纏繞在柱子上的圈數較少，重物較輕時，能夠纏繞在柱子上的圈數也較少。主要是因為太重、輕，產生的動力較小，太重轉軸扭不動擺錘。



項目/次數	2顆	4顆	6顆
橫桿繞圈數	9.00	9.00	9.00
總時間	18.02	35.24	40.05
左側纏繞圈數	1.08	3.09	2.44
右側纏繞圈數	1.20	2.08	2.75

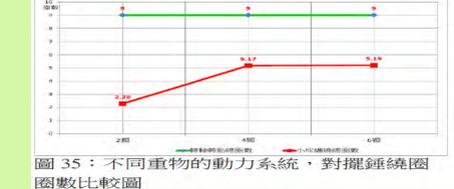


圖 35：不同重物的動力系統，對擺錘繞圈數比較圖

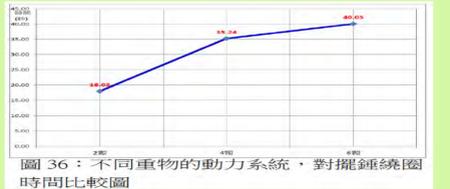


圖 36：不同重物的動力系統，對擺錘繞圈時間比較圖

目的四、不同繩子，對左右逢源影響。

研究4-1不同繩長，對擺錘繞圈的影響。

【研究構想】：我們想知道不同繩長的擺錘，對擺錘纏繞圈數影響，因此，進行以下實驗。

【研究發現】：

- 1.擺長在14公分時，纏繞圈數最多；擺長在10公分時，纏繞圈數最少。
- 2.結果如表8、圖32-33。

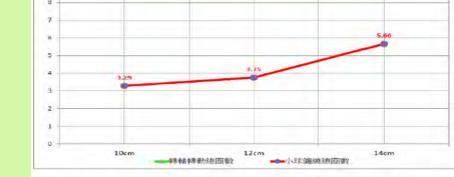


圖 38：不同擺長對擺錘繞圈數影響比較

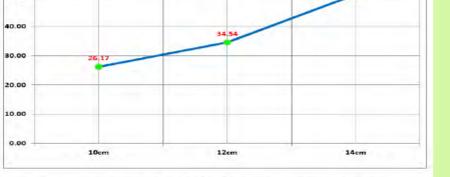


圖 39：不同擺長對擺錘繞圈時間比較圖

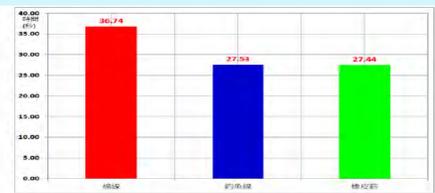
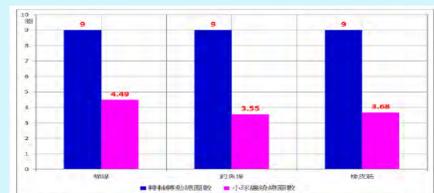
研究4-2不同繩子材質，對擺錘繞圈的影響。

【研究構想】：我們想知道不同繩長的擺錘，對擺錘纏繞圈數影響，因此，進行以下實驗。

【實驗步驟】：詳見說明書

【研究發現】：

- 1.棉線的擺錘，纏繞時間最多；橡皮筋的擺錘，纏繞時間最少。
- 2.棉線的擺錘，纏繞圈數最多；釣魚線的擺錘，纏繞圈數最少。



【實驗結果與討論】：
不同種類的線對擺錘纏繞的影響，結果發現棉線纏繞的時間和圈數最多，推測棉線摩擦力較大，較能纏繞在柱子上。

目的五、不同柱子，對左右逢源影響。

研究5-1不同柱子材質，對擺錘繞圈的影響。

【研究構想】：我們想知道擺錘纏繞的柱子，對擺錘纏繞圈數影響，因此，進行以下實驗。

【實驗步驟】：詳見說明書

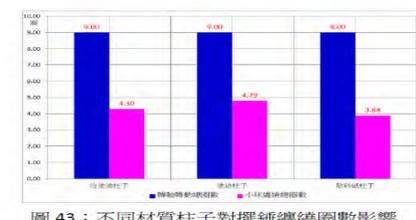
【研究發現】：

- 塗油柱子，纏繞圈數最多；貼砂紙的柱子，纏繞圈數最少。
- 柱子摩擦力大，繩子不易纏繞。

【實驗結果與討論】：
不同材質的柱子對擺錘纏繞的影響，結果發現貼砂紙的柱子，纏繞圈數最少，我們認為貼砂紙的柱子摩擦力較大，造成棉線容易卡在砂紙上。

表 10：不同材質柱子對擺錘繞圈數影響

項目/柱子材質	沒塗油柱子	塗油柱子	貼砂紙柱子
總圈數 (圈)	9.00	9.00	9.00
總時間 (秒)	36.74	29.27	31.86
左側纏繞圈數 (圈)	1.95	2.54	2.15
右側纏繞圈數 (圈)	2.34	2.25	1.73
纏繞總圈數 (圈)	4.30	4.79	3.88



目的七、不同橫桿長度，對左右逢源影響。

研究7-1不同長度橫桿，對擺錘繞圈的影響。

【研究構想】：我們想知道不同長度橫桿，對擺錘纏繞圈數影響，因此，進行以下實驗。

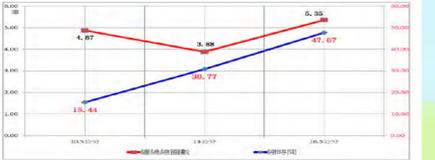
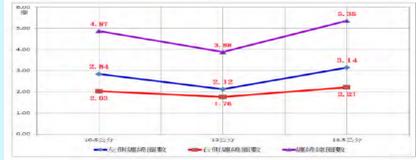
【實驗步驟】：詳見說明書



▲橫桿為 10.5 公分 ▲橫桿為 13 公分 ▲橫桿為 16.5 公分

【研究發現】：

- 橫桿16.5公分，纏繞圈數最多，橫桿10.5公分，纏繞圈數最少。
- 結果如表 20、圖 44-45。



目的八、不同轉軸高度，對左右逢源影響。

研究8-1不同轉軸高度，對擺錘繞圈的影響。

【研究構想】：我們想知道不同高度轉軸，對擺錘纏繞圈數影響，因此，進行以下實驗。

【實驗步驟】：詳見說明書



▲轉軸高 42 公分 ▲轉軸高 32 公分 ▲轉軸高 22 公分

【研究發現】：

- 轉軸22公分，纏繞圈數最多，轉軸42公分，纏繞圈數最少。
- 纏繞時間，以22公分最久時間最長，以32公分最短時間最短



柒 討論

一、擺錘重量大小，對左右逢源的影響。

綜合以上【研究1-1~1-3】，擺錘太輕，容易甩太高，造成打結，擺錘太重，旋轉時不容易轉動，因而減少纏繞圈數。擺錘體積太大的球容易打到柱子，推測大的球空氣阻力較大，太小太輕無法纏繞。

二、不同齒輪組合的傳動系統，對左右逢源的影響。

綜合以上【研究1-1~1-3】，擺錘太輕，容易甩太高，造成打結，擺錘太重，旋轉時不容易轉動，因而減少纏繞圈數。擺錘體積太大的球容易打到柱子，推測大的球空氣阻力較大，太小太輕無法纏繞。

(一) 不同重物高度產生傳遞效果

比較【研究2-1~2-3】重物在不同高度下(20cm~100cm)所產生重力位能傳遞效果(表4、表5、表6)，發現不管任何齒輪組合，重物高度越高轉軸轉動圈數、纏繞時間、擺錘纏繞圈數越多。表示重力位能越大，傳遞的動能越大。

(二) 不同齒輪傳遞效果

根據前述結論重物高度越高轉軸轉動圈數、纏繞時間、擺錘纏繞圈數越多。選擇重物高度為100cm時，分析大中小不同齒輪的九種傳動系統，對轉軸轉動總圈數、擺錘纏繞總圈數、擺錘纏繞總時間等影響(表14)：

1.不同齒輪組合傳遞系統對轉軸轉動總圈數影響

比較轉軸轉動圈數，發現大中小不同齒輪傳遞至大中小不同齒輪時，都是以傳遞至比本身小的齒輪(大齒輪→小齒輪，中齒輪→小齒輪，小齒輪→小齒輪)，所帶動的轉軸轉動圈數最多。其原理為兩齒輪大小相同時轉動圈數相同，只有在大齒輪傳遞至比本身小的齒輪時，轉軸轉動圈數最多。

2.不同齒輪組合傳遞系統對擺錘纏繞總圈數影響

比較擺錘纏繞圈數，發現大中小不同齒輪傳遞至大中小不同齒輪時，大齒輪→大齒輪、中齒輪→中齒輪、小齒輪→小齒輪時擺錘纏繞圈數最多(表4、表5、表6)。以齒輪原理來說，大齒輪轉動小齒輪轉速快，但扭力小；反之，小齒輪轉動大齒輪轉速慢，但扭力大。從結果發現，在大齒輪傳至大中小不同齒輪時，以大齒輪→大齒輪圈數最多，是因為相對於大齒輪→中齒輪，大齒輪→小齒輪其扭力比大齒輪→大齒輪小，所以大齒輪→大齒輪扭力較大圈數最多。而中齒輪→中齒輪、小齒輪→小齒輪擺錘纏繞圈數最多，雖然看似不符合要「小的齒輪傳較大的齒輪扭力大，纏繞才會較多圈」。但小齒輪→大齒輪(中齒輪→大齒輪)，扭力太大造成打結，反而圈數少。

3.不同齒輪組合傳遞系統對擺錘纏繞時間影響

比較擺錘纏繞時間，發現大中小不同齒輪傳遞至大中小不同齒輪時，都是以傳遞至比本身小的齒輪(大齒輪→小齒輪，中齒輪→小齒輪，小齒輪→小齒輪)，擺錘纏繞時間最長。符合大齒輪轉動小齒輪，轉軸轉較多圈，因而時間較長。

表 14：大中小不同齒輪的九種傳動系統對纏繞圈數及時間影響比較

項目/最佳組合	大齒輪傳大中小齒輪	中齒輪傳大中小齒輪	小齒輪傳大中小齒輪
轉軸轉動總圈數	大齒輪→小齒輪	中齒輪→小齒輪	小齒輪→小齒輪
擺錘纏繞總圈數	大齒輪→大齒輪	中齒輪→中齒輪	小齒輪→小齒輪
擺錘纏繞總時間	大齒輪→小齒輪	中齒輪→小齒輪	小齒輪→小齒輪

4.不同齒輪組合傳遞系統對齒輪扭力、擺錘揚起角度與纏繞圈數關係

(1) 不同齒輪傳動系統所產生的扭力測試

大齒輪傳遞傳動系統中，以大齒輪傳大齒輪扭力最大；中齒輪傳遞傳動系統中，以中齒輪傳大齒輪扭力最大；在小齒輪傳遞傳動系統中，以小齒輪傳大齒輪扭力最大。

(2) 扭力與擺線仰起角度關係

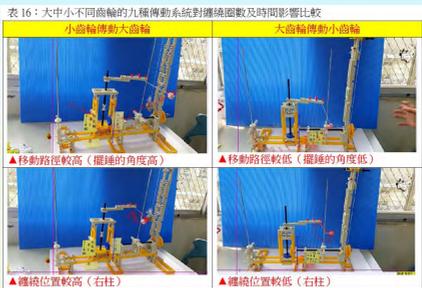
扭力越大，擺線角度越大；扭力越小，擺線角度越小。

(3) 扭力、擺線仰起角度與纏繞圈數關係

大齒輪、中齒輪傳遞系統，都是擺線仰起角度越大，擺線傳繞圈數越多。

(三) 擺錘移動路徑分析

利用Tracker軟體分析大齒輪傳動小齒輪及小齒輪傳大齒輪移動路徑分析，發現小齒輪傳動大齒輪，擺錘擺的路徑較高，繞圈較大。綜合【研究2-1~2-3】研究，大齒輪帶小齒輪纏繞圈數最少，因為扭力小，轉動速度慢，總圈數最少；小齒輪帶大齒輪纏繞圈數最多，因為扭力大，轉動速度快，總圈數最多。



捌 結論

- 動力系統組：**重物越高，轉軸轉動圈數、纏繞時間、擺錘纏繞圈數越多。表示重力位能越大，傳遞的動能越大，擺錘纏繞圈數較多。
- 轉軸旋轉組：**以大齒輪傳小齒輪，轉軸轉動圈數最多；小齒輪傳大齒輪，轉軸轉動圈數最少。轉軸高度越低，纏繞圈數最多；轉軸高度越高，纏繞圈數最少。
- 齒輪傳動系統：**
 - 扭力大小：**以齒輪傳遞至較大齒輪時，產生的扭力較大，齒輪傳遞至較小的齒輪時，產生的扭力較小。
 - 扭力與擺線仰起角度關係：**扭力越大，擺線仰起角度越大；扭力越小，擺線仰起角度越小。
 - 扭力、擺線仰起角度與纏繞圈數關係：**大齒輪、中齒輪傳遞系統，都是擺線仰起角度越大，擺線纏繞圈數越多；擺線仰起角度越小，擺線纏繞圈數越少。
- 擺錘纏繞組：**擺線越長，纏繞越多圈；擺線越短，纏繞越少圈。擺錘重量太輕，旋轉時容易甩太高，造成打結；擺錘太重，旋轉時不容易轉動，造成圈數減少。

玖 未來展望與建議

本研究從一個科學玩具出發，企圖找出擺錘纏繞的最佳條件因素，未來可以進一步探討：

- 創意性方面：**未來可更進一步將智高，應用在其它實驗裝置上。
- 應用性方面：**
 - 利用左右逢源裝置，去探討重力位能轉換成動能時，能量轉換時的損失。
 - 利用左右逢源實驗結果，作為生活當中我們常看到大型的起機，移動重物時的安全警戒範圍。
- 未來研究建議：**
 - 利用左右逢源裝置，探討圓周運動過程中不同扭力、不同長短擺線，擺錘運動的變化。
 - 分析擺錘纏繞過程與重物下降關係。

拾 研究心得(詳見說明書)

拾壹 相關參考資料(詳見說明書)