

秀抖球賽

—— 探究物體『重心與運動』的關係

高小組物理科第三名

花蓮縣中華國民小學

作者：王慧瑛、朱怡芬、林宜嫻

指導教師：陳鳳、江政如

一、研究動機

有一天，看到同學們玩搖船的時候，突然由他們玩耍的姿態，聯想到物體重心位置對其運動量有很大的關係，我們爲了要澈底了解它們彼此的密切關係，所以請老師指導我們做實驗研究工作。

二、研究目的

1. 了解運用自身力量促使搖船持續不停擺動的方法，並闡釋其運動的原理。
2. 探究物體運動時，其『重心位置』與『運動能量』的關係。

三、應用器材或器具

1. 保力龍球、鋼珠、弓弩、吸管、鐘擺、壓克力杯、小車輪、鐵棒、刀片、磁鐵塊、鐵釘、樹脂、油漆等製造實驗器具物品。
2. 搖搖、運動場、魔石地板、滑板、計時器、紀錄簿等用具與場所。

四、研習過程

研究(一)：觀察與學習玩耍搖船

方法：1. 請會玩耍搖船的同學示範表演，觀察搖船起動方式與使力時身體的姿勢或用力方式，如何加速度與減速停止？

2. 實際玩耍搖船，熟悉搖船的操作方法，以確定搖船連續運動的原理，並嘗試加以解釋。

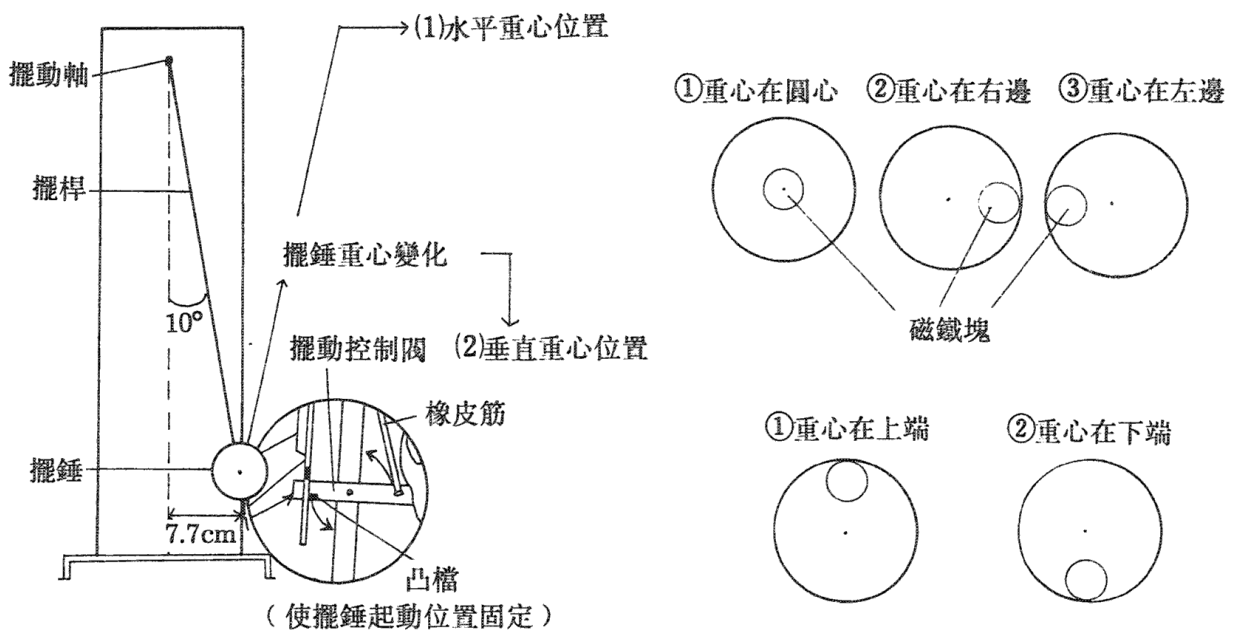
結果：1. 玩耍搖船時，駕駛者都坐在兩端，開始時由一人先推船起動後，迅速上船，之後，兩端駕船者再以身體的前傾與後仰方式，雙向輪流使力，使搖船重心不停地變換以產生動能，而在使力的過程中，經由吊桿產生的反作用力，亦是促使搖船加速與連續運動的重要因素

2. 玩耍摇船也能在完全静止情况下启动，达到连续运动的境界，其方法是驾船者先以身体的前倾、后仰使摇船重心改变而产生运动。摇船运动后，驾船者再以前述1.方法使力，就可使摇船连续不停地运动了。

研習(二)：比较摇船和钟摆的运动规律

方法：1. 观察钟摆的运动情形，并制作简单的钟摆（如图一）做实验，探究其基本原理，与测定实验数据。

2. 设定摇船摆动距离约60公分，测量其载重量与摆动次数的关系。



圖一：簡易鐘擺實驗器設計圖

紀錄：

(1)簡易鐘擺器實驗結果紀錄表：(擺錘起動位置在右邊)

數 量	重心 位置	水 平 重 心 差 異						垂 直 重 心 差 異			
		①擺錘圓心點		②擺錘右側邊		③擺錘左側邊		④擺錘上端		⑤擺錘下端	
		次數	時間"	次數	時間"	次數	時間"	次數	時間"	次數	時間"
第 一	次	8	10:31	9	11:28	7	8:44	10	12:45	6	7:60
第 二	次	8	10:96	9	11:51	6	8:06	9	11:10	7	8:78
第 三	次	8	10:09	10	12:57	6	7:37	8	9:80	6	7:31
第 四	次	6	7:31	9	11:30	6	7:31	10	12:41	6	7:45
第 五	次	7	9:16	9	10:70	6	7:76	9	11:15	6	7:49
第 六	次	6	7:57	8	10:28	6	8:53	8	10:38	6	7:63
第 七	次	7	8:73	9	11:59	6	7:25	8	10:24	6	7:38
第 八	次	6	7:64	8	9:91	6	7:35	8	10:28	6	7:35
第 九	次	7	8:52	8	9:84	6	7:33	8	9:68	6	7:43
第 十	次	7	9:56	9	11:03	6	7:35	8	9:94	6	7:49
合 計		70	73:12	88	110:01	61	76:75	87	107:43	61	75:91
平 均 時 間		1:05"		1:25"		1:26"		1:24"		1:24"	

(2)搖船擺動實驗結果紀錄表：

數 量 統計	重 心 位 置	搖 船 坐 1 人				搖 船 坐 2 人 (加 重 量)					
		①坐板中心點		②坐板一側邊		③坐板中心點		④坐板一側邊		⑤坐板兩側邊	
		計次	時間"	計次	時間"	計次	時間"	計次	時間"	計次	時間"
第 一 次		20	71:87	20	71:31	20	44:64	20	43:88	20	44:89
第 二 次		20	71:14	20	71:41	20	44:83	20	44:57	20	45:52
第 三 次		20	70:71	20	70:90	20	44:94	20	44:84	20	44:13
第 四 次		20	71:06	20	71:33	20	44:61	20	44:83	20	44:03
第 五 次		20	71:06	20	70:61	20	44:25	20	44:58	20	44:57
合 計		100	355:84	100	355:56	100	223:27	100	222:70	100	223:14
平 均 時 間		3:558"		3:556"		2:23"		2:23"		2:23"	
起 動 靜 止		共擺動82次		共擺動71次		共擺動82次		共擺動53次		共擺動72次	

結果：1. 擺錘重心不同，擺動實驗結果：

- (1)透過擺錘圓心的水平線上任一點作為重心時，重心在中心點位者與在左或右邊者，所擺動的次數和時間有很明顯的差別。
- (2)在擺錘兩側同重量不同重心位置的擺錘運動量、擺動次數雖有差異，但擺動一次的所需時間相等。
- (3)垂直重心不同（重量相同），重心在擺錘上端者比下端者，擺動次數多，但兩者擺動一次的所需時間相等。

2. 搖船重心不同，固定擺動20次的實驗結果：

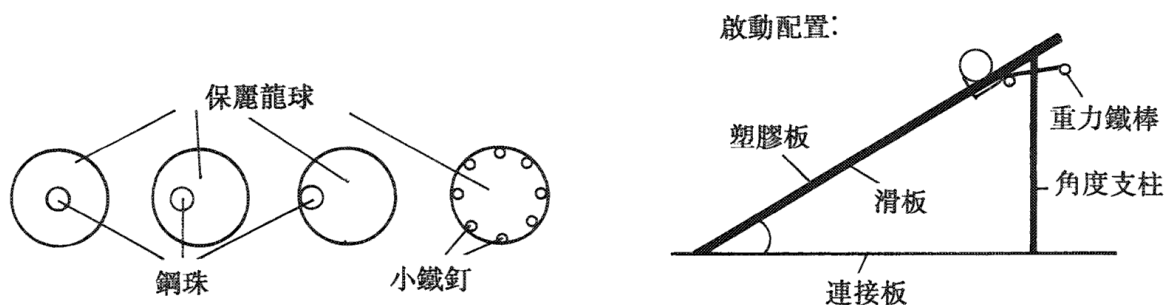
- (1)搖船在中心點載1人與載2人時，每次擺動所需時間有很顯著的差異，載1人時間長，載2人時間短。
- (2)同一重量，其重心位置的變換不會影響搖船每次擺動所需時間。

3. 「鐘擺」與「搖船」運動的差異：

類 別	鐘 擺	搖 船
相 同 部 分	在擺錘上變換重心位置，會改變擺動次數。	在船板上變換重心位置，會改變搖動的次數。
不 同 部 分	(1)透過擺錘圓心的水平線上，重心在圓心者與在右或左邊者擺動的所需時間不相等。 (2)重心在擺錘圓心點上，擺動次數比較少。	(1)在船板上，重心在中心點者，與在兩端者的擺動所需時間相等。 (2)重心在船板中心點上，擺動次數比較多。

研習(三)：圓球體內重心位置與球體滾動量的關係

方法：1. 用保麗龍圓球（直徑7.5公分）四個，分別將：(1)第一、二球的1/2及1/3部位分別切開挖洞，將鋼珠植入。(2)第三球的邊緣切薄皮後亦挖洞植入鋼珠。之後，再用樹脂黏合。(3)第四球則用與鋼珠同重量的小鐵釘，均勻地從週邊插入球體內，共做成四種重心不同的圓球體——如圖二：



圖二：重心位置不同的圓球及滾動實驗裝置

2. 用三合板（30×50）平方公分，墊塑膠板，造成 $\angle 30$ 度和 $\angle 45$ 度的測試板，放置於水泥地面上，分別放滾四種不同的重心球，測試其運動的時間與直線距離。
3. 觀察比較各球體運動路徑的偏離情形。

紀錄：

(1)重心不同球體在 $\angle 30$ 度坡面(30cm長)放下滾動實驗結果統計表

數量 次別	類別	①重心在球心點		②重心在側間點		③重心在圓周點		④重心在圓周面	
		時間''	距離cm	時間''	距離cm	時間''	距離cm	時間''	距離cm
1		8.41	3.75	10.51	3.92	1.30	0.30	15.83	5.95
2		8.95	4.64	11.51	4.20	2.44	0.30	15.26	6.48
3		12.74	2.74	8.41	2.64	0.91	0.30	11.09	3.69
4		8.56	2.34	12.52	4.22	5.34	2.18	7.60	3.63
5		10.23	4.56	6.48	3.50	1.84	0.91	15.20	3.52
合	計	48.89	18.03	49.43	18.48	11.83	3.99	64.98	23.27
平	均	9.78	3.61	9.89	3.70	2.37	0.80	13.00	4.65
比	較	3	(3)	2	(2)			1	(1)

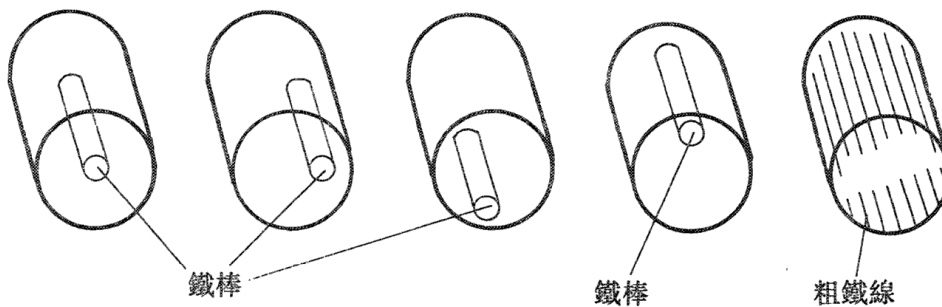
(2)重心不同球體在 $\angle 45$ 度坡面(30cm長)放下滾動實驗結果統計表

數量 次別	類別	①重心在球心點		②重心在側間點		③重心在圓周點		④重心在圓周面	
		時間"	距離cm	時間"	距離cm	時間"	距離cm	時間"	距離cm
1		7.19	6.85	4.16	2.20	2.48	1.27	10.91	6.87
2		7.71	5.46	6.36	2.50	5.15	2.43	10.31	7.78
3		7.86	5.75	6.12	3.53	3.38	1.20	11.53	5.88
4		7.29	5.76	5.56	2.40	5.63	0.89	10.76	6.55
5		7.34	5.34	7.58	4.41	5.70	1.08	15.13	6.63
合	計	37.39	29.16	29.78	15.04	22.34	6.87	58.64	33.71
平	均	7.48	5.83	5.96	3.01	4.47	1.37	11.73	6.74
比	較	2	(2)	3	(3)			1	(1)

- 結果：1. 在斜面 $\angle 30$ 和 $\angle 45$ 度時，都以重心平均分布在圓周面的球體滾動得最遠，而以重心在圓周點者的滾動距離最短。
2. 球體重心在圓心或平均分佈在圓周面上，其運動方向是依地平面直線前進；重心若不在球體中心或平均分佈在圓周面上時，其運動會顫抖與迴旋，呈不規則路徑運動。
3. 重心平均分布在圓周面者，因產生較強的慣性作用，所以其運動量比重心在圓心者大。

研習(四)：圓柱體內重心位置與柱體運動量的關係

方法：1. 將圓形壓克杯4個（高4.5公分），先把保麗龍削成圓條形塞入作內襯，再把粗鐵條截斷成同長度（即4.5公分）共三小截，分別依軸心、軸側間、週邊等三點位置各植入一截鐵條；另用比較細的鐵絲按圓柱體高度剪斷成許多數量，再用天平稱量其重量與一截鐵條同重後，平均插入圓周邊上，造成一重心在圓周面的圓柱體——如圖三。



圖三：重心位置不同的圓柱體

2. 用三合板裝置成 $\angle 30$ 度測試板，放置地面上分別放滾圓柱體，測量其運動的時間與直線距離。

紀錄：

重心不同圓柱體在 $\angle 30$ 度坡面(30cm長)放下滾動至平面實驗結果統計表

數量 次別	類別	① 中心軸		② 軸側間		③ 週邊(向下放)		④ 週邊(向上放)		⑤ 週邊平均分佈	
		時間"	距離m	時間"	距離m	時間"	距離m	時間"	距離m	時間"	距離m
1		6:84	4.20	5:98	3.05	2:70	4.46	1:79	3.00	6:71	4.10
2		10:25	0.11	3:35	2.15	5:53	2.83	3:83	2.30	11:12	2.35
3		8:79	0.46	6:87	2.03	2:49	0.15	3:07	1.63	10:39	4.84
4		7:98	3.19	4:84	4.90	3:05	4.98	2:45	3.39	8:93	3.22
5		6:61	0.89	4:85	1.46	5:52	1.20	4:05	1.38	8:16	2.90
合	計	40:46	8.85	25:89	13.59	19:25	13.62	15:19	11.70	45:31	17.41
平	均	8:09	1.77	5:18	2.72	3:86	2.72	3:04	2.23	9:06	3.48
比	較	2		3		4		5		1	

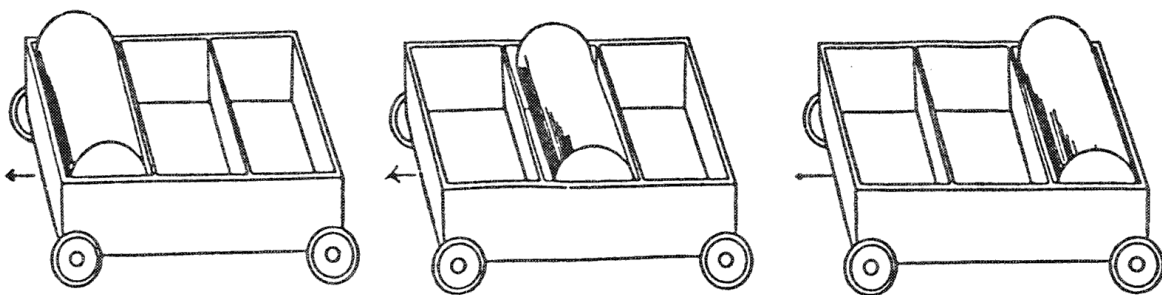
結果：1. 不同重心的圓柱體因運動路徑未能呈一直線進行，所測得數據不能代表其運動量。

2. 由柱體起動至停止的時間來評量，同體積同重量而重心不同點位的圓柱體，以重心平均分布在圓周面者運動量最大，其次是重心在軸心者，而以重心在圓周點位者運動量最少。

研習(五)：四輪車載重「重心」不同與運動量、穩定度的關係

方法：1. 用長形盒子加裝四輪製成實驗車：①車內用水平式劃分三格，以鐵棒作為重心物，分別放置實驗，如圖四。②另一車內以保麗龍加鐵棒，做成三種高度的重心配置品，作為測試垂直重心不同的運動差異。

2. 運用研習三、四之滑板($\angle 30$ 度)實驗。



圖四：重心位置不同的四輪車

紀錄：

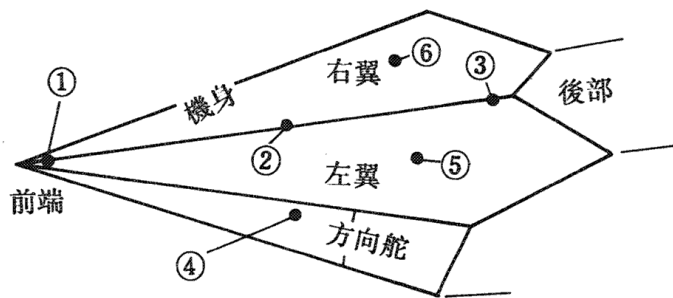
四輪車載重『重心位置』與『運動能量』實驗紀錄表

距離 cm	重心 次數	水 平 重 心			垂 直 重 心		
		①車身前端	②車身中間	③車身後端	④車身底層	⑤車身中層	⑥車身上層
第 一	次	117	126	120	133	134	129
第 二	次	115	123	146	138	132	124
第 三	次	111	124	146	130	129	117
第 四	次	123	122	146	142	134	118
第 五	次	121	121	144	134	136	115
合 計		587	616	702	677	665	603
平 均		117.4	123.2	140.4	135.4	133.0	120.6
比 較		(3)	(2)	(1)	1	2	3

- 結果：1. 水平重心位置不同時，重心在車身後部者運動量比較大，重心在前部者運動量比較小。
2. 垂直重心不同時，重心愈低者運動量愈大，愈高者運動量愈小，亦不穩定，常發生傾倒現象。

研習(六)：紙摺機重心位置與飛行的關係

- 方 法：1. 利用同規格的長方形影印紙摺成一般小孩常玩的紙摺機六架，截斷美工刀片分別配置於機上各部位（如圖五），使之造成不同重心的機體。
2. 以順風方向用手盡力投擲紙摺機，紀錄其在空中飛行的時間來評定飛行能量。



圖五：紙摺機機體加重物（刀片）位置圖

紀錄：

(1)紙摺機人力投擲飛行時間統計表

單位：秒

時間 次數	重心	①機身前端 (秒)	②機身中間 (秒)	③機身後端 (秒)	④方向舵中心 (秒)	⑤左翼中心 (秒)	⑥右翼中心 (秒)	備註
第一	次	1:51	1:54	1:06	0:74	1:52	1:74	
第二	次	1:02	1:41	0:85	0:90	1:11	1:50	
第三	次	1:20	1:36	0:97	0:87	1:02	1:48	
第四	次	1:13	1:39	1:01	0:94	1:31	1:39	
第五	次	1:25	1:40	1:04	0:85	1:19	1:47	
第六	次	1:71	1:54	0:86	0:74	1:62	1:74	
第七	次	1:20	1:18	1:22	0:61	1:17	1:19	
第八	次	1:26	1:05	1:18	0:50	0:81	1:94	
第九	次	0:82	2:24	1:13	1:07	1:58	1:73	
第十	次	1:13	1:03	0:78	1:60	0:90	0:90	
合	計	12:23	14:14	10:10	8:82	12:23	15:08	
平	均	1.22	1:41	1:01	0:88	1:22	1:51	
比	較	3	2	5	6	4	1	

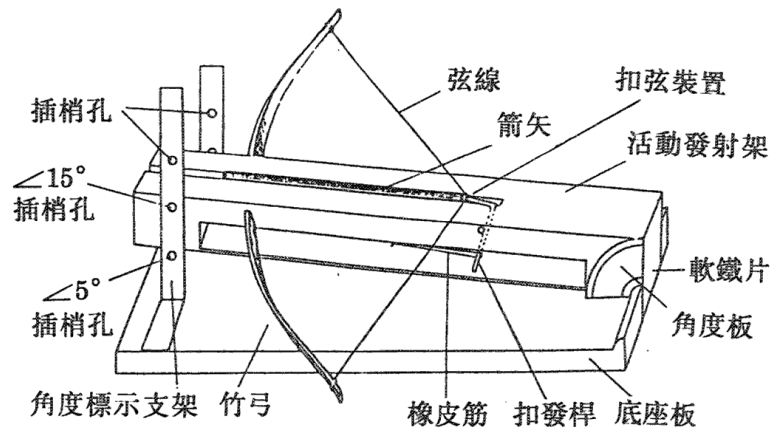
結果：1. 依據紙摺機滑翔時間的數據得知：以重心在機身中間部位者與右翼者，滑翔力比較強；而以重心在機身後端者及方向舵上者，滑翔力最差。

2. 據觀察得知：重心在左或右翼者並無明顯的偏向飛行現象（即如：重心在左翼者無偏向左側飛行之情形）。

研習(七)：箭矢重心點與彈射距離的關係

方法：1. 用吸管配截斷的鐵釘，造成六種重心不同的箭矢：前端點、前半部、中間點、後半部、後端點等。另用細鐵絲秤量同等重量後塞入吸管做成一重心平均的箭矢。

2. 用竹片配弦線製成弓弩（如圖六），用同一彈射力下，在教師指導情境中，以仰角5度彈射測試，選出兩種飛射距離最遠者，再用仰角15度發射，測驗其著地點和滑行距離的差異。



圖六：不同重心箭矢發射器透視圖

紀錄：

紀錄：(1)仰角5度發射箭矢飛行(含地面滑行)距離統計表

單位：公尺

距離 次別	重心	①號	②號	③號	④號	⑤號	⑥號	⑦號
		前端點	中間點	後端點	兩端點	前半部	後半部	平均
第一	次	11.20	8.11	7.81	8.94	18.24	6.59	12.30
第二	次	15.02	7.30	7.27	11.70	19.58	7.47	9.40
第三	次	16.79	7.99	7.35	9.10	19.22	6.80	6.80
第四	次	15.33	9.44	6.97	12.25	18.89	6.64	8.50
第五	次	13.85	7.98	7.34	8.55	17.10	7.20	8.02
合	計	72.19	40.82	36.74	50.54	93.03	34.70	45.02
平	均	14.44	8.16	7.35	10.11	18.61	6.94	9.00
比	較	2	5	6	3	1	7	4

(2)仰角15度發射箭矢結果統計表

單位：公尺

距離 次數	箭矢 重心	著地點距離		含滑行距離		備註
		① 前端點	⑤ 前半部	① 前端點	⑤ 前半部	
第一	次	14.95	13.62	15.31	15.19	只用飛射效果好者實驗。
第二	次	14.36	12.87	14.39	14.26	
第三	次	13.89	13.71	13.71	14.21	
第四	次	13.70	13.29	15.21	14.97	
第五	次	13.30	12.15	14.74	16.23	
合	計	70.20	65.64	73.36	74.86	
平	均	14.04	13.13	14.67	14.97	
比	較	多0.91M		多0.30M		

結果：1. 以仰角5度發射，重心在前半部及前端點的箭矢，彈射距離最遠，重心在後端與後半部者彈射距離最短。

2. 以仰角15度發射時，若含滑行距離，以重心在前半部者最遠，若以著地點計數，則是重心在前端者最遠。

3. 箭矢重心平均分佈者或兩端重量平衡者，彈射距離都不是最遠，因此箭矢應該有重心點，重心應置於前端部位。

研習(八)：秀抖球賽——物體重心與運動的運用

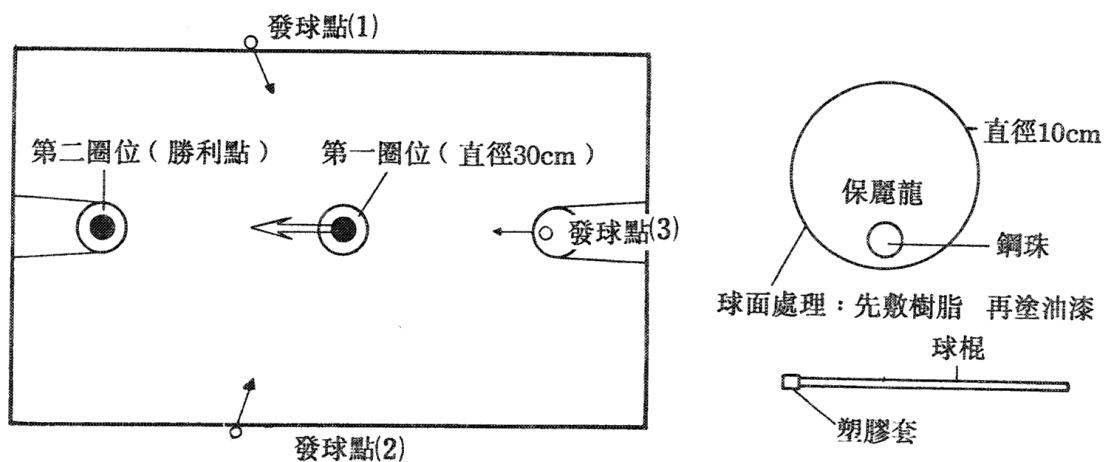
方法：1. 觀察與思考目前社會上使用的各種器具結構，探究其重心位置與運動量的關係。

2. 運用研習一至研習七之資料，擇一比較簡單有趣的原理，做成玩具與擬訂遊戲規則，供同學們一起玩耍。

結果：1. 目前社會常見的運動器具，可明顯看出重心配置原理的有：

- (1) 不倒翁玩具——底部圓形，內加一重心低的重物。
- (2) 鐘擺——利用擺錘（重心）的高低（距離）來調整時間的快慢。
- (3) 汽車——重心置於前半部，以便衝破空氣的阻力。
- (4) 腳踏車——重心壓在後輪，如此配置比較省力。

2. 選擇重心不在圓心部位的圓球來做玩具，即用保麗龍球植入鋼珠，用拋球式或打擊法來玩樂（如設計七），由於其運動規律與一般圓球不同，常以顫抖動態表現，因此我們命名為秀抖球（表示會顫抖著做秀的球）。



圖七：秀抖球賽場地（運用籃球場或其他球場）配置圖

秀抖球剖面圖

● 競賽法規則：

1. 人數：3人
2. 競賽者先猜拳決定發球順序，依順序用打擊棍打出秀抖球，互相搶占第1圈位，再進占第2圈位，先進占第2圈位者為優勝。
3. 競賽中，可用己球去黏靠對方的球（重心位置靠近時，兩球有如磁鐵般黏靠在一起），被黏靠者必須回到原發球點重新發球。亦可用己球去推開對方的球，使之遠離圈位，營造己球搶先的優勢。
4. 擊球時，不可把球打出地面而飛入空中前進，即只能在地面如保齡球一樣滾動方式運動。
5. 揮桿落空不得再打一次，也不得以橫掃式慢慢撥動秀抖球去進占圈位。

● 遊戲法規則：

1. 用手持球以貼地式拋出去進占圈位或空洞。

2. 觀賞秀抖球顫抖迴旋的動態，並爭取先進圈位勝利點。

● 控球要領：

1. 擊球時，應打球的右邊或左邊，朝目標的左側或右側（即打球的左邊時，要朝目標的右側方）約10公分處擊出，如此秀抖球會以自轉式直進，繞過目標區再迴旋進占圈位——若打球的正中心，則無法掌握其進行方向，常歪來歪去或繞圈子抖動，不易到達目標。
2. 如用手持球投圈位遊戲，則應先將球在掌上跳動，使其重心朝下（即勿使重心擺在左或右側）再向目標拋去，如此能驅使秀抖球直線前進，比較不會左彎右拐或旋轉不前。

五、討 論

1. 玩耍搖船從靜止狀態達到連續運動的方法是：駕船者用身體的前傾與後仰使搖船重心變換而起動，船板擺動後，兩端繼續使力，運用吊桿的反作用力而加速度，搖船加大運動後，駕船者即可順應搖船的慣性運動，很輕鬆地使搖船連續不停地擺動。
2. 搖船和鐘擺皆是往返式運動，同樣具有等時性，若在其運動主體的搖板和擺錘上變換重心位置，卻有不同的運動結果：
 - (1) 透過擺錘圓心點的水平線上，改變重心位置，會改變擺錘擺動的所需時間——圓心點位的時間少，兩端點位的時間多。
 - (2) 改變搖板重心位置，不會改變每次擺動的所需時間。
3. 同體積同重量而重心位置不同的圓球和圓柱體，若同以斜面放下啟動加速度滾到地面，其運動的結果差異很大，兩者皆以重心平均分布在圓周面者最大，因其運動後產生的慣性作用比較強的關係，其次是重心在圓心者，而以重心在圓周點位者運動量最小。
4. 同重量而重心位置不相同的四輪車，在斜坡滑行到平面上，若以水平重心比較之，則重心在車身後端者運動量比較大，重心在前端者比較小；以垂直重心比較之，則重心愈低者運動量愈大，重心愈高運動量愈小，且較不穩定常發生傾倒現象。
5. 紙摺機用手擲滑翔，若重心不太重，則重心在機身中部者滑翔力比較強，重心在尾端或方向舵者飛行力最差。
6. 同體積同重量而重心位置不同的箭矢，以重心在前端點和前半部者，彈射距離最遠，而以重心在後端和後半部者彈射距離最短。箭矢重心平均分佈者或兩端重量平衡者，彈射距離都不是最遠，因此無尾翼的箭矢應設重心點（置

於前端)，這樣才射得遠。

7. 重心置於器物的中心部位是運動平衡「穩定」的重要因素，但不一定是最省力與最有效率，如箭矢的重心置於中心點，飛行效率很低，因此對於器具的重心配置，應該依照器物運動的特性，經過精確計算與實驗，才能作適當的安排。
8. 重心不在圓心的圓球（我們稱為秀抖球），其運動方向好像總是顫抖迴旋，不聽人的控制，事實上它也有很明確的運行規律（請閱研習八之控球要領），勤加練習後，能夠有效改正其秀抖性，變得精明逗趣，可以讓人隨心所欲地玩樂或運動健身。

六、結 論

1. 物體的運動能量，受其本身「重心位置」的影響很大，一般情形是：在空中飛行（如箭矢、滑翔機）時，重心應置於前端或前半部，比較容易突破空氣的阻力，飛得更順利穩定；無動力車輛的重心應置於車身後半部比較省力，快速車輛的重心應置於前半部或中間底部比較穩定平順；圓球與圓柱體的重心平均分布在圓周面上，運動後產生的慣性作用比較強，運動量亦就比較大。
2. 搖船的連續運動是：駕船者運用重心改變產生動能，再順勢施力，透過吊桿的反作用力與搖船的慣性運動，而擺動不停。它和鐘擺同具等時性，不過，若改變其水平重心位置，則擺錘會改變擺動的所需時間，搖船因兩端都有吊桿，改變重心位置不影響其整體的平衡性，所以不會改變其擺動的所需時間。
3. 人們製造運動或工作器具，都希望其運行有規律穩定、省力又動量大，如此才容易馭使與保持安全，並發揮應有的效率，爲了達到此目的就必須注意重心配置問題。我們爲了好玩，反其道而行，將球體重心置於不穩定的圓周點上，做了一種與一般圓球運動規律不同的秀抖球，把它投到地面上會表演顫抖、迴旋的做秀動態，我們擬定了簡單的遊戲規則，並研究出控球要領，可以跟好朋友做趣味性的拋球遊戲與運動競賽——秀抖球賽。

七、參考資料及其他

參考牛頓雜誌社出版的「奇妙的發明」——鐘擺篇。

評 語

本件在單擺擺錘與擺船的不同位置分別加上重量，改變重心位置，以瞭解擺船運動的規律性。並在球體中埋設重物以改變其重心位置探討其運動性質。並將其應用於遊戲上。構想活潑，頗具創意。能善用已知系統的運動性質推測待測系統，亦有科學方法。