中華民國第55屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組　物理科

080109

阿湯哥歷險記

學校名稱：宜蘭縣羅東鎮羅東國民小學

作者：	指導老師：
小六 林奕安	陳子聖
小六 余奕廷	陳秀枝
小六 游旻翰	
小六 陳妍安	
小六 王楷萱	

關鍵詞：摩擦力、反作用力、重心

摘要

科學原理俯拾即是，為了瞭解影響湯匙搖擺下坡的因素，我們設計了一連串的實驗來進行探討，在實驗過程中我們發現湯匙搖擺下坡受到了許多變因的交互影響，包含了湯匙的形體、下坡軌道的角度、湯匙的重心傾斜狀況、軌道底板的數量、材質差異、軌道側板的種類、、、等等因素，請看我們慢慢分析如後。

壹、研究動機

我們在尋找科展主題的那段時間，有一次在網路上看到了一段「湯匙搖擺下坡」的影片（http://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-040.html），網頁內容最後提到湯匙手柄的彎曲情形、不同光滑程度的斜坡、斜坡兩側木條的距離等因素，都可能會影響湯匙搖擺下坡的運動情形。我們在與老師多次討論之後，試圖以科學研究的歷程來找出影響湯匙搖擺下坡的因素，進而開啟了這趟科學探索之旅。

貳、研究目的

主題一、探討數種湯匙形體上的差異

研究一、設計實驗裝置以找出最佳實驗對象

主題二、改變軌道條件是否會影響湯匙的下滑及擺動情形？

研究二、下滑軌道的角度如何影響湯匙的下滑及擺動情形？

研究三、下滑軌道的間距如何影響湯匙的下滑及擺動情形？

研究四、下滑軌道的平滑程度（材質）如何影響湯匙的下滑及擺動情形？

研究五、下滑軌道的厚度如何影響湯匙的下滑及擺動情形？

主題三、改變湯匙的重心條件是否會影響湯匙的下滑及擺動情形？

研究六、湯匙的重心左右偏移如何影響湯匙的下滑及擺動情形？

研究七、湯匙的傾斜角度如何影響湯匙的下滑及擺動情形？

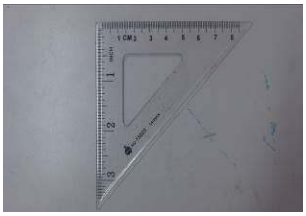
研究八、湯匙的重心高低如何影響湯匙的下滑及擺動情形？

主題四、改變軌道側板條件是否會影響湯匙的下滑及擺動情形？

研究九、側板的上下寬度不同如何影響湯匙的下滑及擺動情形？

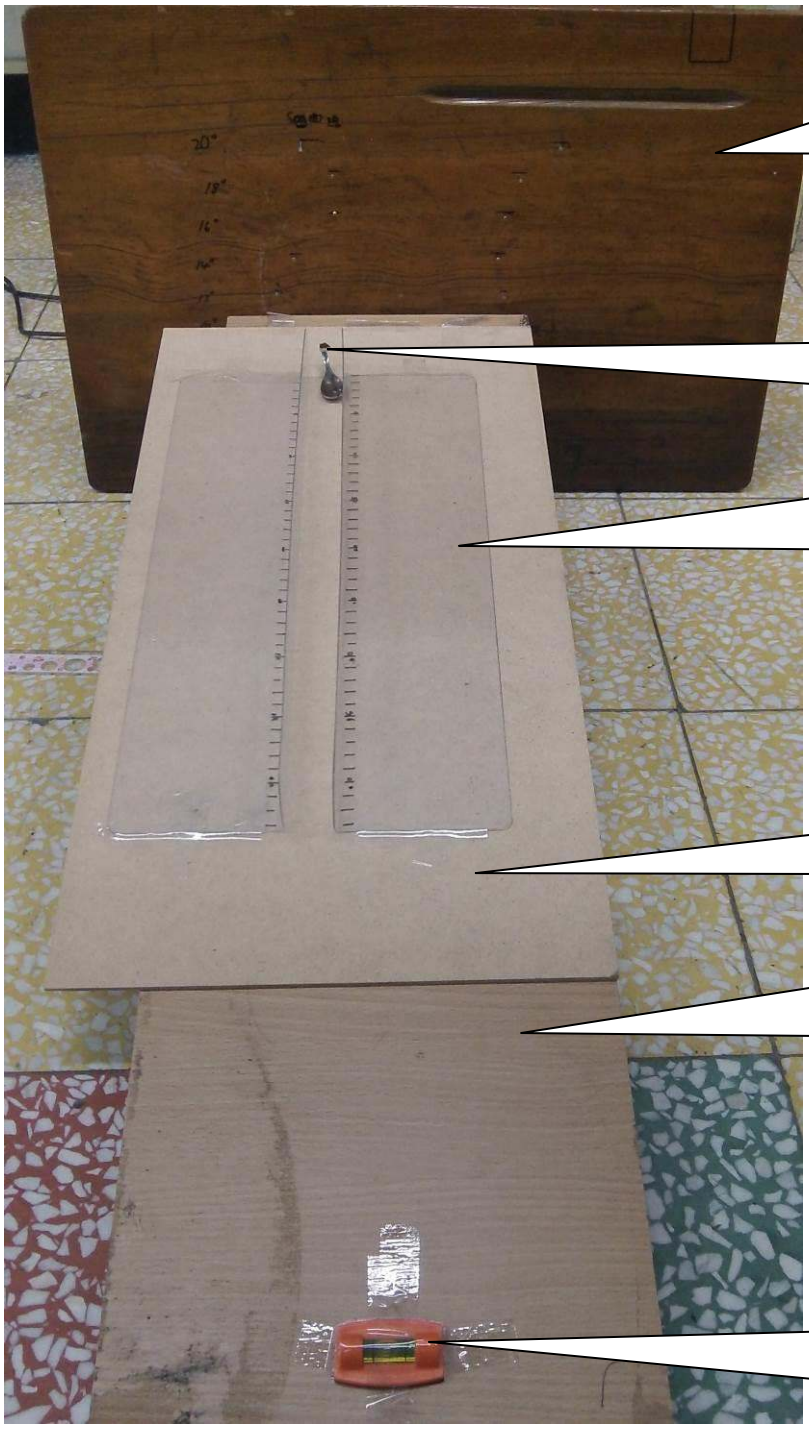
研究十、側板的材質如何影響湯匙的下滑及擺動情形？

參、研究設備及器材

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">
</td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>手機</td><td>大型量角器</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">各式湯匙</td><td>電子秤</td><td>水平儀</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td><td>  </td><td> </td></tr>
<tr><td>廢棄課桌椅</td><td>碼表</td><td>尺</td><td>鐵鎚</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>鐵釘</td><td>尖嘴鉗</td><td>放大鏡</td><td>塑膠隔板</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>海棉</td><td>保麗龍板</td><td>透明壓克力板</td><td>貼皮木板</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td><td> </td><td>
</td></tr>
<tr><td>鐵板</td><td>美耐板</td><td>密集板</td><td>厚紙板</td></tr>
</table>

肆、研究過程與研究結果

〈實驗裝置說明〉



〈實驗照片拍攝用途說明〉

在進行每一次實驗之前，我們會先準備好手機，我們利用手機「超高速連拍」的功能，在湯匙下滑的前一刻，便開始進行拍攝，把湯匙搖擺下坡的過程完整拍攝記錄下來，以供實驗後計數湯匙碰撞隔板次數驗證的依據，如下表所呈現。（取自照片資料夾 **P_20150115_131223**）

P_20150115_131223_001	**P_20150115_131223_002**	**P_20150115_131223_003**	**P_20150115_131223_004**	**P_20150115_131223_005**	**P_20150115_131223_006**
P_20150115_131223_007	**P_20150115_131223_008**	**P_20150115_131223_009**	**P_20150115_131223_010**	**P_20150115_131223_011**	**P_20150115_131223_012**
P_20150115_131223_013	**P_20150115_131223_014**	**P_20150115_131223_015**	**P_20150115_131223_016**	**P_20150115_131223_017**	**P_20150115_131223_018**

研究一、設計實驗裝置以找出最佳實驗對象

（一）觀察各類湯匙外型上的差異

湯匙編號 觀察項目	A-1	A-2	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2
開口形狀	尖口	尖口	圓口	圓口	圓口	圓口	圓口
底面形狀	弧面	弧面	弧面	弧面	弧面	平面	平面
重量(g)	23.0	15.5	25.0	14.5	10.0	16.0	13.0
湯匙最寬處(cm)	3.35	3.35	4.1	3.4	1.8	4.7	3.4

將湯匙依外型分組編號	**A-1** 湯匙材質不適合彎折，發生斷裂

（二）測試湯匙的擺動及下滑情形

1. 實驗裝置如右上照片所示。
2. 操縱變因：不同形狀、大小的湯匙

   控制變因：（1）底板：密集板　　（2）兩側隔板：塑膠板

   （3）下滑軌道角度：14 度　　（4）軌道長度：40.5 公分

   （5）軌道寬度：每支湯匙的（最大寬度+1）公分

   （6）湯匙在起點的位置及高度（湯匙下滑時的仰角）

應變變因（實驗結果）：

湯匙編號 **測試條件**	**A-1**	**A-2**	**B-1**	**B-2**	**B-3**	**C-1**	**C-2**
下滑時擺動情形	湯匙材質不適合彎折，發生斷裂。	無擺動情形	**可順利擺動**	無擺動情形	**可順利擺動**	無擺動情形	無擺動情形
可否順利到達終點		可順利到達終點	**可順利到達終點**	可順利到達終點	**可順利到達終點**	無法到達終點	無法到達終點

（三）討論

1. 進行本實驗的目的是為了選出能夠穩定擺動、且能順利抵達軌道終點的湯匙，以利接下來進行研究。
2. 六種實驗的湯匙中，僅有 B-1、 B-3 可以順利擺動到達終點，C-1、C-2 因湯匙底部為平面，我們推測是湯匙與底板摩擦力過大導致無法順利下滑；而 A-2、B-2 雖能順利下滑，但下滑過程中卻無任何擺動情形。
3. 由於 B-1 體積明顯大於 B-3，在彎折施力上較為不便，因此我們決定以 B-3 湯匙作為接下來的研究對象。

研究二、下滑軌道的角度如何影響湯匙的下滑及擺動情形？

（一）實驗步驟

1. 使用鐵鎚在廢棄的課桌椅上 10 度、12 度、14 度、16 度、18 度、20 度等 6 個位置上釘上鐵釘，以方便固定底板進行實驗。
2. 依序進行不同下滑角度的實驗，實驗中測量撞擊次數、下滑歷時以及下滑距離各三次，並加以紀錄。
3. 實驗過程中使用手機高速連拍功能拍攝下滑過程影像。

（二）實驗結果

操縱變因：下滑軌道的角度

控制變因：（1）軌道底板：密集板　　（2）軌道長度：40.5 公分

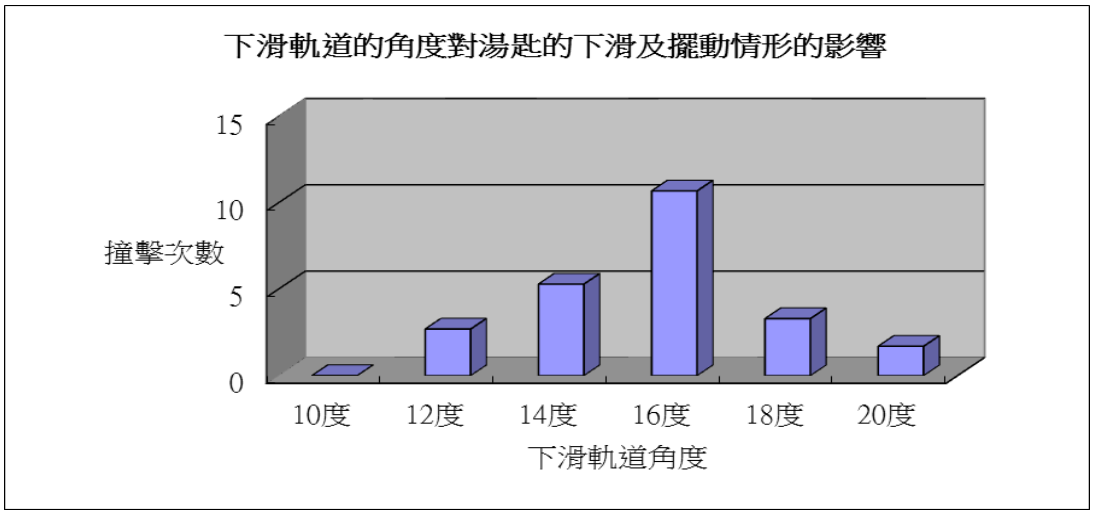
（3）兩側隔板：塑膠板　　（4）軌道寬度：2.8 公分（湯匙的最大寬度+1 公分）

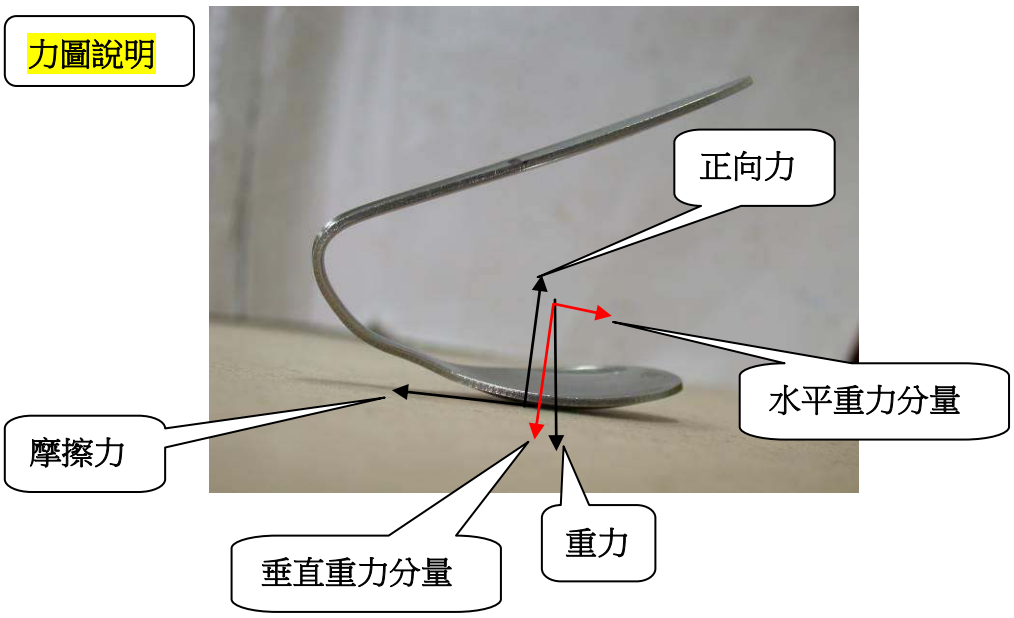
（5）湯匙在起點的位置及高度（湯匙下滑時的仰角）

應變變因（實驗結果）：

下滑軌道的角度 / 觀察項目		10 度	12 度	14 度	16 度	18 度	20 度
撞擊次數（次）	一	0	2	5	10	3	2
	二	0	3	6	11	3	2
	三	0	3	5	11	4	1
	平均	**0**	**2.7**	**5.3**	**10.7**	**3.3**	**1.7**
下滑歷時（s）	一	靜止不動	0.82	1.44	2.48	1.29	1.04
	二	靜止不動	0.94	1.52	2.61	1.40	1.31
	三	靜止不動	0.80	1.30	2.70	1.21	0.92
	平均	**靜止不動**	**0.85**	**1.42**	**2.60**	**1.30**	**1.09**

觀察項目 \ 下滑軌道的角度		10 度	12 度	14 度	16 度	18 度	20 度
下滑距離（cm）	一	0	2	40.5	40.5	40.5	40.5
	二	0	2	31	40.5	40.5	40.5
	三	0	3	24	40.5	40.5	40.5
	平均	**0**	**2.3**	**31.7**	**40.5**	**40.5**	**40.5**





（三）討論

1. 實驗結果顯示下滑軌道的角度若是不足，造成湯匙下滑的水平重力分量小於與底板間的摩擦力，則湯匙無法順利搖擺下滑；而從上面的實驗結果我們發現，下滑軌道的角度必須達 16 度以上，湯匙才能順勢下滑走完全程。

2. 下滑軌道的角度若是太大，會造成湯匙下滑的水平重力分量明顯大於與底板間的摩擦力，進而造成快速下滑過程中撞擊次數偏少，且在軌道上的時間會明顯縮短。實驗中 18 度及 20 度即屬這一類的情形。
3. 我們**考慮上述兩種情形，決定以「16 度」作為接下來各項實驗的下滑軌道角度。**

研究三、下滑軌道的間距如何影響湯匙的下滑及擺動情形？

（一）實驗步驟

1. 依序調整軌道間距為 2.3cm、2.8cm、3.3cm、3.8cm、4.3m、4.8cm，進行實驗。
2. 實驗中測量撞擊次數、下滑歷時以及下滑距離各三次，並加以紀錄。
3. 實驗過程中使用手機高速連拍功能拍攝下滑過程影像。

（二）實驗結果

操縱變因：下滑軌道寬度

控制變因：（1）兩側隔板：塑膠板　　（2）下滑軌道角度：16 度

（3）軌道底板：密集板　　（4）軌道長度：40.5 公分

（5）湯匙在起點的位置及高度（湯匙下滑時的仰角）

應變變因（實驗結果）：

觀察項目 \ 下滑軌道的間距		2.3cm	2.8 cm	3.3 cm	3.8 cm	4.3 cm	4.8 cm
撞擊次數（次）	一	3	10	6	隔板寬度稍寬，自推動開始，左右撞擊約兩三下後，湯匙傾倒，順勢下滑到底。	隔板寬度過寬，自推動開始，湯匙傾倒，順勢下滑到底。	隔板寬度過寬，自推動開始，湯匙傾倒，順勢下滑到底。
	二	7	9	8			
	三	4	9	6			
	平均	**4.7**	**9.3**	**6.7**			
下滑歷時（s）	一	1.05	1.85	1.72			
	二	2.00	1.88	2.01			
	三	1.54	1.80	2.61			
	平均	**1.53**	**1.84**	**2.11**			

觀察項目＼下滑軌道的間距		2.3cm	2.8 cm	3.3 cm	3.8 cm	4.3 cm	4.8 cm
下滑距離（cm）	一	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	二	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	三	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	平均	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5

（三）討論

1. 因為實驗用湯匙（編號 B-3）本身的最大寬度為 1.8 公分，因此我們以 0.5cm 為間隔，從 2.3 公分開始，逐漸加大軌道之間距來進行實驗，觀察軌道間距對湯匙下滑、撞擊的影響。
2. 在實驗中，我們發現軌道間距為 2.3cm 時，撞擊次數有時多、有時少，差異很大，實驗數據呈現不穩定。軌道間距為 3.3cm 時，三次實驗中則有兩次在 35cm 的位置之後，湯匙傾倒靠右側下滑。**而在軌道間距為 3.8cm 以上的實驗，均因隔板間距過寬，導致湯匙會傾向某一邊順勢下滑，無法順利左右搖擺下坡**。
3. 整體而言，軌道間距為 2.8cm 時（湯匙寬度＋1 公分），湯匙下滑的速度以及撞擊次數皆呈現最穩定的狀態。
4. 在這個實驗中，我們發現**湯匙之所以能順利撞擊隔板下滑，軌道間距其實扮演了關鍵的角色，太窄時會使得湯匙本體無法傾斜至一定角度，且撞擊行程過短**，如此便無法順利與隔板之間發生撞擊並產生足夠回推的反作用力，湯匙將無法順利搖擺下坡；反之若是軌道間距太寬，湯匙本體則會過度傾斜，縱使能與隔板之間產生一定的撞擊力，其反作用力也無法大到能將湯匙推回另外一側，此時湯匙只能靠著一側順勢滑行下坡。

研究四、下滑軌道的平滑程度（材質）如何影響湯匙的下滑及擺動情形？

第一組實驗：

（一）實驗步驟

1. 準備鐵板、美耐板、貼皮木板、密集板、厚紙板、透明壓克力板、保麗龍板等七種材質作為實驗用底板，並設計成九種情形來進行實驗。
2. 依序進行不同底板的實驗，實驗中測量撞擊次數、下滑歷時以及下滑距離各三次，並加以紀錄。
3. 實驗過程中使用手機高速連拍功能拍攝下滑過程影像。

（二）實驗結果

操縱變因：下滑軌道的底板

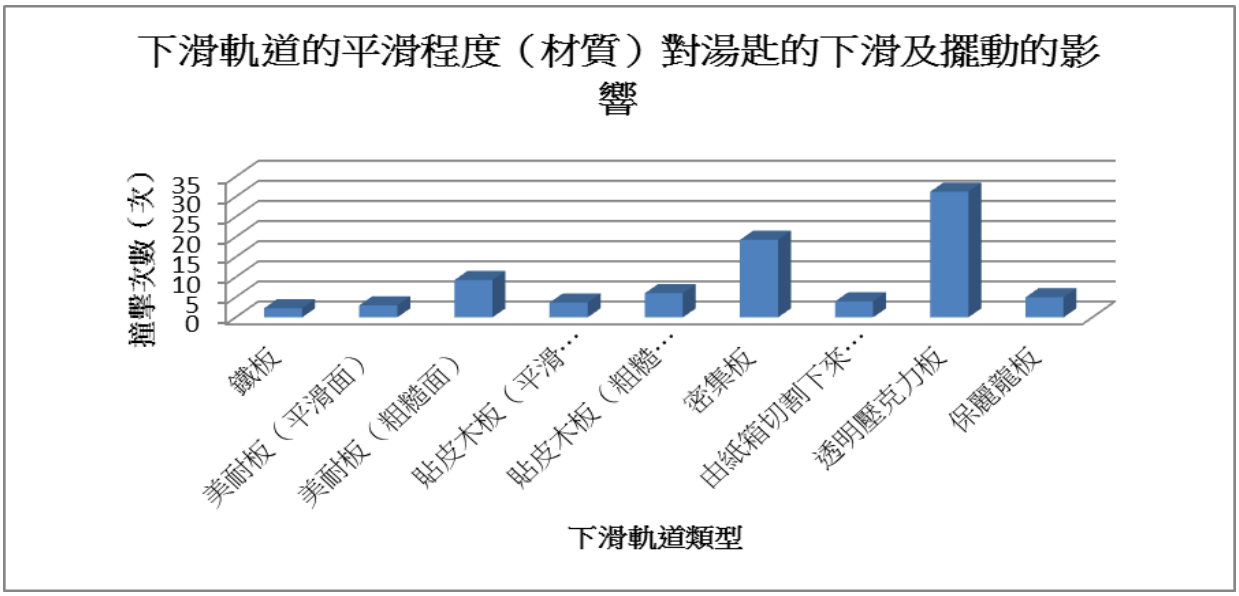
控制變因：（1）兩側隔板：塑膠板　　（2）下滑軌道角度：16 度

（3）軌道長度：40.5 公分　　（4）軌道寬度：2.8 公分

（5）湯匙在起點的位置及高度（湯匙下滑時的仰角）

應變變因（實驗結果）：

觀察項目 \ 底板材質		鐵板	美耐板（平滑面）	美耐板（粗糙面）	貼皮木板（平滑面）	貼皮木板（粗糙面）	密集板	由紙箱切割下來的厚紙板	透明壓克力板	保麗龍板
撞擊次數（次）	一	2	4	10	4	6	23	3	33	5
	二	3	3	10	4	7	17	5	31	4
	三	2	2	8	3	5	18	4	30	6
	平均	**2.3**	**3.0**	**9.3**	**3.7**	**6.0**	**19.3**	**4.0**	**31.3**	**5.0**
下滑歷時（s）	一	1.02	0.99	2.57	0.89	1.58	3.87	1.09	6.64	1.37
	二	1.08	0.84	1.85	1.09	1.33	3.31	1.44	6.73	1.90
	三	1.17	1.02	1.85	0.95	1.09	3.21	1.32	7.08	1.55
	平均	**1.09**	**0.95**	**2.09**	**0.98**	**1.33**	**3.46**	**1.28**	**6.82**	**1.61**
下滑距離（cm）	一	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	8
	二	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	9
	三	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	10
	平均	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**9.0**



（三）討論

1. 實驗中的七種底板材質，我們分成九種情況來進行實驗，若以平均撞擊次數 5.0 次做為分界，則可將此九種情況分做兩類：

（1）平均撞擊次數低於 5 次：鐵板、美耐板（平滑面）、貼皮木板（平滑面）、由紙箱切割下來的厚紙板。

（2）平均撞擊次數在 5 次以上：美耐板（粗糙面）、貼皮木板（粗糙面）、密集板、透明壓克力板、保麗龍板。

平均撞擊次數低於 5 次者，觸摸起來都是屬於平滑類型的底板；平均撞擊次數在 5 次以上者，則多屬於粗糙類型的底板。

2. 下滑軌道為平滑類型的，湯匙在下滑的過程中與底板的摩擦力較小，因此下滑速度快、時間較短，湯匙與隔板的撞擊次數也較少。此種現象可由美耐板與貼皮木板本身的平滑面與粗糙面數據交互比對後得到驗證。
3. 下滑軌道為粗糙類型的，湯匙在下滑的過程中與底板的摩擦力較大，因此下滑速度較慢、時間較長，湯匙與隔板的撞擊次數也較多。尤其是保麗龍板，摸起來最粗糙，雖然平均下滑距離只有其他底板的四分之一不到，平均撞擊次數卻達到了 5.0 次。
4. 以上這七種底板材質，最出乎我們意料的是密集板與壓克力板，**若是以手去觸摸，密集板摸起來其實相當平滑，但若是以放大鏡來觀察，則可看到略微不平整、具有孔隙、帶有毛邊的表面，我們推測是密集板這種特有的構造增加了與湯匙間的摩擦力，延長了下滑時間，也因此明顯增加了撞擊次數。**
5. **至於壓克力板，由於其表面相當光滑，因此我們原先覺得其實驗結果應該類似於鐵板，但實驗結果顯示其撞擊次數、下滑時間卻是遠遠多於其他七種情況。接著我們查詢網路上的資料，試圖解開疑惑，「....** 不同材料由於結構不同，表面對電子的吸引力略有差異，故接觸後就可能部分電子從一物質被另一物質吸過去，不同物質間摩擦時，其中一端對電子吸引力相對較強 另一端則相對較弱.....」，**而壓克力亦是屬於容易獲得電子的物質，我們因而推測當湯匙在壓克力板上搖擺下滑時，湯匙與壓克力板間會因摩擦產生靜電，其靜電引力的影響，使得湯匙下滑速度大幅減緩，因而明顯增加了撞擊次數。**

第二組實驗：

（一）實驗目的

在研究四的第一組實驗中，我們推測湯匙在壓克力板上搖擺下滑時，湯匙會與壓克力板間因摩擦而產生靜電現象，為了證實我們的想法，我們設計了這組實驗來驗證我們的推測是否正確。

（二）實驗步驟

1. 準備壓克力板與密集板作為摩擦用的材質。
2. 依序在壓克力板與密集板上進行摩擦，每次摩擦 10 下，並以壓克力板作為實驗底板。
3. 實驗中測量撞擊次數、下滑歷時以及下滑距離各三次，並加以紀錄。
4. 實驗過程中使用手機高速連拍功能拍攝下滑過程影像。

（三）實驗結果

操縱變因：不同條件下的摩擦方式

控制變因：（1）下滑軌道角度：16.0 度　　（2）兩側隔板：塑膠板

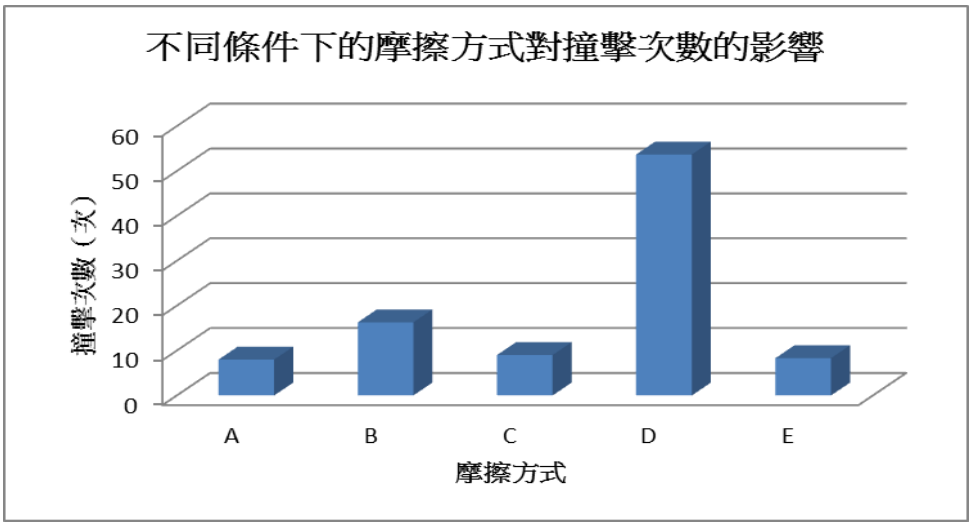
（3）軌道長度：40.5 公分　　（4）軌道寬度：2.8 公分

（5）軌道底板：壓克力板

（6）湯匙在起點的位置及高度（湯匙下滑時的仰角）

應變變因（實驗結果）：

不同條件下的摩擦方式 / 觀察項目		A	B	C	D	E
接觸方式		手直接碰觸湯匙握柄	手直接碰觸湯匙握柄	手直接碰觸湯匙握柄	以紙包覆湯匙握柄	以紙包覆湯匙握柄
摩擦材質		無摩擦	壓克力板	密集板	壓克力板	密集板
摩擦次數		0 下	10 下	10 下	10 下	10 下
撞擊次數（次）	一	9	15	8	53	8
	二	8	18	10	51	9
	三	7	16	9	57	8
	平均	**8.0**	**16.3**	**9.0**	**53.7**	**8.3**
下滑歷時（s）	一	2.19	4.07	2.32	12.43	2.05
	二	2.19	4.32	2.92	12.30	2.23
	三	2.39	3.97	2.65	13.68	2.16
	平均	**2.26**	**4.12**	**2.63**	**12.80**	**2.15**
下滑距離（cm）	一	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	二	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	三	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	平均	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**



（四）討論

1. 我們挑選了密集板與壓克力板兩種材質來作為與湯匙摩擦的材質，並設計了五種情形來探討摩擦起電的效果，其中 A 組作為實驗中的對照組，另外四組則為實驗組。

2. 在實驗過程中，我們先進行 A、B、C 三組的實驗，其中 B 組（與壓克力板摩擦）的撞擊次數明顯較多，而 C 組（與密集板摩擦）與 A 組（對照組）的撞擊次數則無明顯差異；接著我們為了更進一步確定「靜電」的影響，我們改採「以紙來包覆湯匙握柄」的方式來進行摩擦，試圖讓摩擦起電所產生的電子不要經由手的碰觸而流失，實驗結果顯現 D 組平均撞擊次數高達 53.7 次，此結果驗證了我們在前一個實驗中的推論。至於 E 組，應是湯匙與密集板摩擦起電的效果不明顯，因此與 A 組（對照組）仍無明顯差異。

研究五、下滑軌道的厚度如何影響湯匙的下滑及擺動情形？

（一）實驗步驟

1. 準備五片密集板作為實驗用下滑軌道的底板。
2. 依序進行不同數量底板的實驗，實驗中測量撞擊次數、下滑歷時以及下滑距離各三次，並加以紀錄。
3. 實驗過程中使用手機高速連拍功能拍攝下滑過程影像。

（二）實驗結果

操縱變因：底板的數量

控制變因：（1）下滑軌道角度：16.0 度

（2）兩側隔板：塑膠板

（3）軌道長度：40.5 公分

（4）軌道寬度：2.8 公分

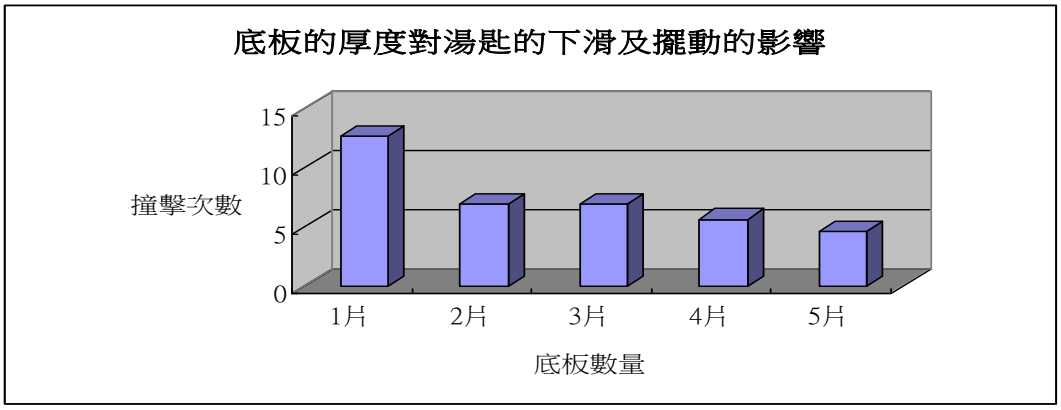
（5）軌道底板：密集板

（6）湯匙在起點的位置及高度（湯匙下滑時的仰角）

應變變因（實驗結果）：

觀察項目 \ 底板的數量		1 片	2 片	3 片	4 片	5 片
撞擊次數（次）	一	13	6	7	5	5
	二	10	7	8	6	4
	三	15	8	6	6	5
	平均	**12.67**	**7.00**	**7.00**	**5.67**	**4.67**
下滑歷時（s）	一	3.14	2.55	2.28	2.01	1.54
	二	2.90	2.63	2.16	2.59	1.58
	三	3.95	2.63	3.14	2.55	1.89
	平均	**3.33**	**2.60**	**2.52**	**2.38**	**1.67**

觀察項目＼底板的數量		1 片	2 片	3 片	4 片	5 片
下滑距離（cm）	一	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	二	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	三	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	平均	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**



（三）討論

1. 從實驗結果我們可以看出一個規律：就相同材質而言，下滑軌道的底板若是越厚，湯匙在下滑過程中的撞擊次數就會遞減。
2. 根據這個實驗結果，我們的推測是**較厚的底板會有抑制震動的效果，進而可以吸收湯匙與隔板撞擊時的力道**，使得湯匙在下滑過程中的撞擊次數會隨著底板厚度增加而逐漸減少。

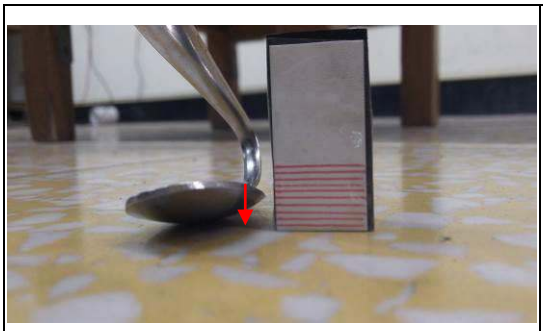
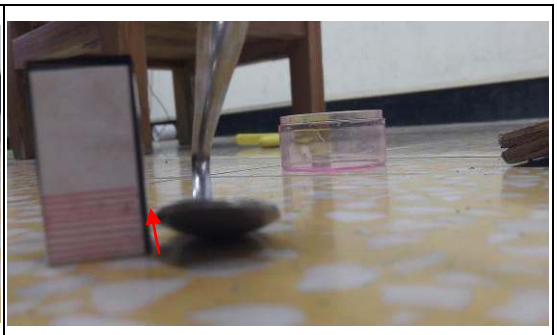
研究六、湯匙的重心左右偏移如何影響湯匙的下滑及擺動情形？

（一）實驗步驟

1. 設計五種湯匙重心偏移的情形。
2. 依序進行重心偏移的實驗，實驗中測量撞擊次數、下滑歷時以及下滑距離各三次，並加以紀錄。
3. 實驗過程中使用手機高速連拍功能拍攝下滑過程影像。

〈測量重心偏移方式〉

利用紙片畫出刻度，以解決尺貼地時無法由 0cm 處量起的問題，當湯匙重心在中間時，湯匙兩側量得的高度皆為 0.45 公分。

	
測量湯匙左邊高度	測量湯匙右邊高度

（二）實驗結果

操縱變因：湯匙的重心偏移

控制變因：（1）軌道長度：40.5 公分　　（2）下滑軌道角度：16 度

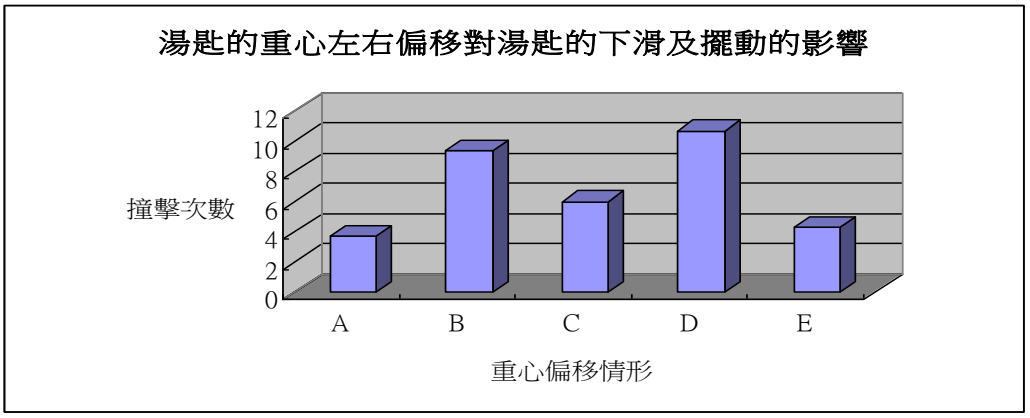
（3）軌道寬度：2.8 公分　　（4）兩側隔板：塑膠板

（5）軌道底板：密集板

（6）湯匙在起點的位置及高度（湯匙下滑時的仰角）

應變變因（實驗結果）：

重心偏移情形 / 觀察項目		A	B	C	D	E
		左邊高度 0.3cm，右邊高度 0.6cm	左邊高度 0.4cm，右邊高度 0.5cm	重心在中間，兩邊高度都是 0.45cm	左邊高度 0.5cm，右邊高度 0.4cm	左邊高度 0.6cm，右邊高度 0.3cm
撞擊次數（次）	一	3	9	5	11	4
	二	5	9	6	10	4
	三	3	10	7	11	5
	平均	**3.67**	**9.33**	**6.0**	**10.67**	**4.33**
下滑歷時（s）	一	1.41	2.50	1.79	2.93	1.36
	二	1.63	2.87	1.85	3.48	1.73
	三	1.58	2.87	1.73	2.57	1.62
	平均	**1.54**	**2.74**	**1.79**	**2.99**	**1.57**
下滑距離（cm）	一	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	二	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	三	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	平均	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**



（三）討論

1. 當湯匙的重心在中間（C 組）時，我們觀察到湯匙在下滑過程的前半部會因撥動出現撞擊隔板的情形，不過到了後半部之後則改為滑行到底部。這是由於湯匙重心在中間，因此無法持續維持規律的左右擺動現象！
2. 當湯匙左右兩邊的高度差距越大時，代表湯匙的重心越偏離中間，實驗中的五組以 A 組和 E 組最為傾斜，B 組和 D 組次之。在實驗過程中可以觀察到 A 組和 E 組的湯匙在下滑時越容易傾向重心側的隔板，其與隔板撞擊所產生的反作用力也不足以將湯匙反彈回另一側，因此撞擊次數明顯少於 B 組和 D 組。
3. 綜合以上兩點結果，可以**推論最適合搖擺下坡的湯匙應是「重心略微向左或向右傾斜即可，過度傾斜反而不利於搖擺下坡**」。

研究七、湯匙的傾斜角度如何影響湯匙的下滑及擺動情形？

（一）實驗步驟

1. 設計五種湯匙下滑時仰角不同的情形。
2. 依序進行下滑時仰角不同的實驗，實驗中測量撞擊次數、下滑歷時以及下滑距離各三次，並加以紀錄。
3. 實驗過程中使用手機高速連拍功能拍攝下滑過程影像。

（二）實驗結果

操縱變因：湯匙下滑時的仰角不同（計算湯匙底部與軌道底面的角度）

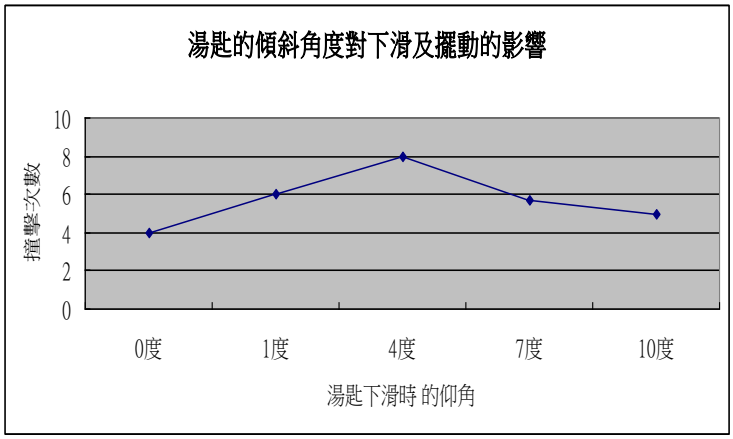
控制變因：（1）兩側隔板：塑膠板　　（2）下滑軌道角度：16 度

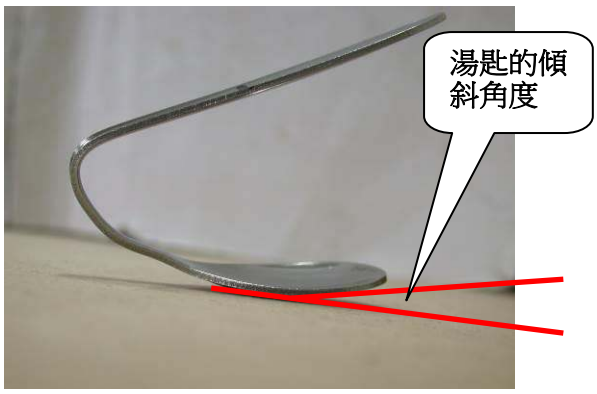
（3）軌道底板：密集板　　（4）軌道長度：40.5 公分

（5）軌道寬度：2.8 公分

應變變因（實驗結果）：

湯匙下滑時的仰角 / 觀察項目		0 度	1 度	4 度	7 度	10 度
撞擊次數（次）	一	4	5	8	5	6
	二	4	6	8	6	4
	三	4	7	8	6	5
	平均	**4.00**	**6.00**	**8.00**	**5.67**	**5.00**
下滑歷時（s）	一	1.10.	2.23	1.39	1.45	1.25
	二	1.05	2.09	1.78	1.66	1.37
	三	1.33	2.40	1.63	1.72	1.42
	平均	**1.16**	**2.24**	**1.60**	**1.61**	**1.35**
下滑距離（cm）	一	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	二	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	三	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	平均	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**





（三）討論

1. 在我們進行前面各項實驗時，湯匙在下滑前的傾斜角度都固定在 1 度，由於湯匙底部是曲面的形狀，於是我們便思考改變湯匙與底板間的傾斜角度是否會影響湯匙的下滑及擺動情形。
2. 由實驗結果來看，當湯匙與底板間的傾斜角度為 4 度時，湯匙在下滑過程中的撞擊次數最多；若是微幅增加或是減少傾斜角度，則撞擊次數皆會遞減。

研究八、湯匙的重心高低如何影響湯匙的下滑及擺動情形？

第一組實驗

（一）實驗步驟

1. 設計九種湯匙重心高低不同的情形。
2. 依序進行重心偏移的實驗，實驗中測量撞擊次數、下滑歷時以及下滑距離各三次，並加以紀錄。
3. 實驗過程中使用手機高速連拍功能拍攝下滑過程影像。

（二）實驗結果

操縱變因：湯匙的重心高低位置

控制變因：（1）兩側隔板：塑膠板　（2）下滑軌道角度：16 度

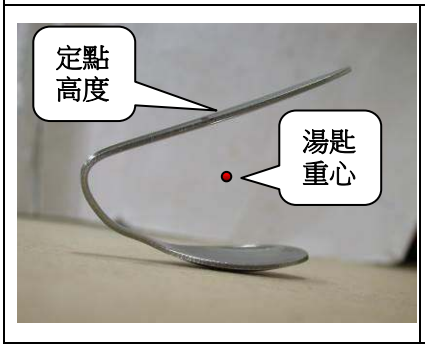
（3）軌道長度：40.5 公分　（4）軌道寬度：2.8 公分

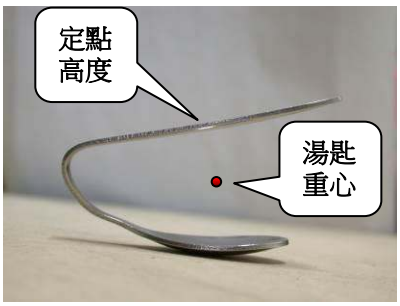
（5）軌道底板：密集板　（6）湯匙在起點的位置及高度（湯匙下滑時的仰角）

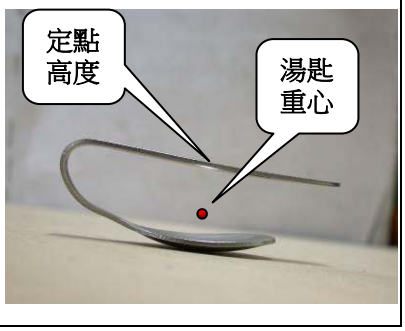
應變變因（實驗結果）：

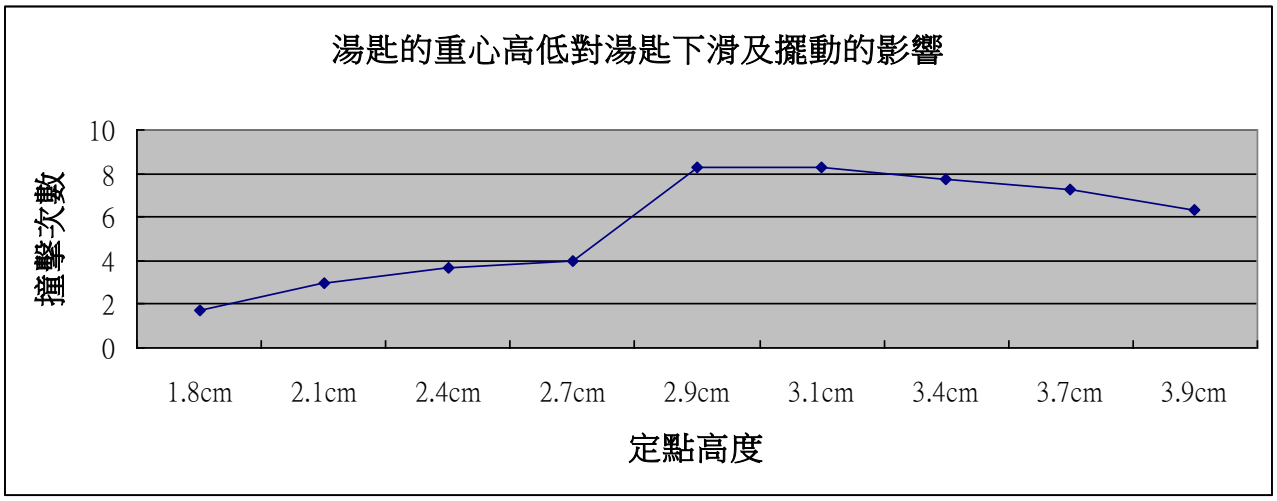
定點高度（cm） 觀察項目		1.8	2.1	2.4	2.7	2.9	3.1	3.4	3.7	3.9
撞擊次數（次）	一	2	3	4	4	10	9	8	8	7
	二	2	3	4	4	7	8	7	7	6
	三	1	3	3	4	8	8	8	7	6
	平均	**1.7**	**3.0**	**3.7**	**4.0**	**8.3**	**8.3**	**7.7**	**7.3**	**6.3**
下滑歷時（s）	一	2.63	2.40	2.68	2.56	3.77	3.42	3.03	3.21	3.33
	二	2.78	2.60	2.49	2.40	3.68	3.18	2.92	2.83	3.10
	三	2.63	2.45	2.51	2.37	3.66	3.30	3.07	2.95	3.15
	平均	**2.68**	**2.48**	**2.56**	**2.44**	**3.70**	**3.30**	**3.01**	**3.00**	**3.19**
下滑距離（cm）	一	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	二	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	三	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	平均	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**

藉由彎折湯匙的方式，來改變湯匙重心的位置









（三）討論

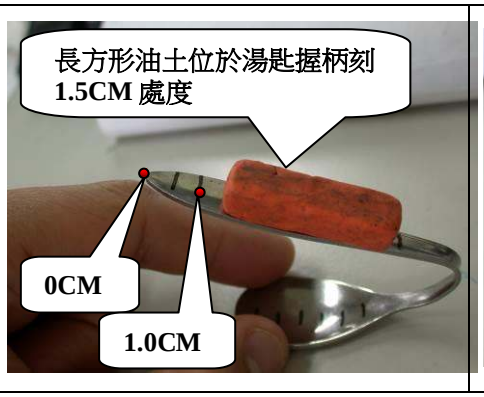
1. 由實驗數據中可以看出，定點高度在 2.9~3.1cm 之間時，湯匙在下滑過程中的撞擊次數最多；在 3.1cm 以上撞擊次數會逐漸減少，在 2.9cm 以下則會快速銳減。
2. 我們在實驗中觀察到，重心若是越低，則湯匙左右搖晃越不明顯，致使撞擊次數減少，而這種重心較低的情況，應該就是我們平常所說「下盤較穩」的意思。
3. 因此，若要讓湯匙能夠順利搖擺下坡，則湯匙的重心需維持在一定的高度之上。

第二組實驗

（一）實驗步驟

1. 在湯匙握柄上以及勺口兩處，每隔 0.5 公分以奇異筆畫記。
2. 取長方體油土 4g，依序將油土按畫記位置擺放在湯匙握柄上，藉由改變油土位置來改變湯匙的重心位置，共計 8 個位置。
3. 取長方體油土 4g，依序將油土按畫記位置擺放在勺口上，藉由改變油土位置來改變湯匙的重心位置，共計 6 個位置。
4. 實驗中測量撞擊次數、下滑歷時以及下滑距離各三次，予以紀錄並使用手機高速連拍功能拍攝下滑過程影像。

藉由改變油土位置來改變湯匙的重心位置



（二）實驗結果

操縱變因：油土在湯匙握柄上以及勺口的不同位置

控制變因：（1）兩側隔板：塑膠板　　（2）下滑軌道角度：16 度

（3）軌道長度：40.5 公分　（4）軌道寬度：2.8 公分

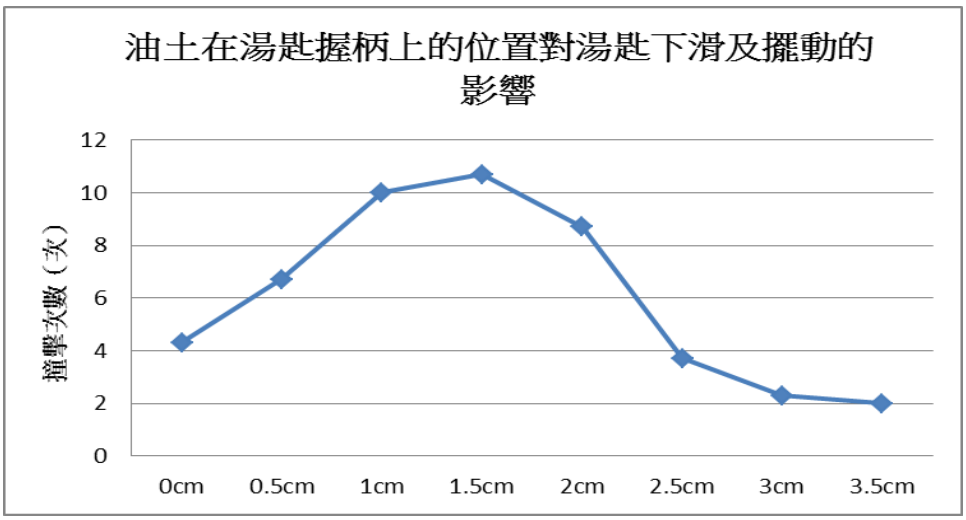
（5）軌道底板：密集板　　（6）湯匙在起點的位置及高度（湯匙下滑時的仰角）

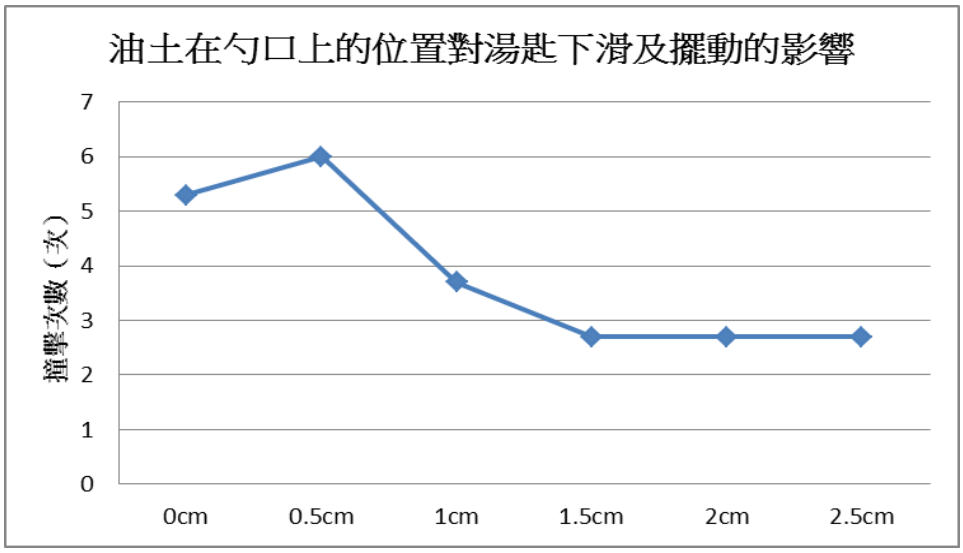
（7）油土形狀及重量（4g）

應變變因（實驗結果）：

觀察項目 \ 油土在湯匙握柄上的位置（cm）		0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
撞擊次數（次）	一	5	6	9	10	8	3	3	2
	二	4	8	10	12	9	4	2	2
	三	4	6	11	10	9	4	2	2
	平均	**4.3**	**6.7**	**10.0**	**10.7**	**8.7**	**3.7**	**2.3**	**2.0**
下滑歷時（s）	一	1.54	1.72	1.95	2.23	1.83	1.64	1.43	0.89
	二	1.47	1.88	1.99	2.28	1.98	1.49	1.03	0.88
	三	1.43	1.52	2.06	1.95	2.01	1.41	1.26	1.03
	平均	**1.48**	**1.71**	**2.00**	**2.15**	**1.94**	**1.51**	**1.24**	**0.93**
下滑距離（cm）	一	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	二	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	三	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	平均	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**

觀察項目 \ 油土在勺口上的位置（cm）		0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
撞擊次數（次）	一	5	7	3	3	3	3
	二	5	5	4	3	2	2
	三	6	6	4	2	3	3
	平均	**5.3**	**6.0**	**3.7**	**2.7**	**2.7**	**2.7**
下滑歷時（s）	一	1.33	1.46	1.26	1.28	1.34	1.28
	二	1.40	1.33	1.32	1.18	1.30	1.33
	三	1.41	1.71	1.33	1.25	1.22	1.27
	平均	**1.38**	**1.50**	**1.30**	**1.24**	**1.29**	**1.29**
下滑距離（cm）	一	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	二	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	三	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	平均	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**





（三）討論

1. 我們在這個實驗中，藉由調整油土的位置來改變湯匙的重心，其結果與研究八實驗一的結果相當類似，撞擊次數都呈現先上升，再慢慢向下趨緩的走勢。
2. 在實驗過程中，我們發現到「油土置於勺口上」時，其撞擊次數明顯較「油土置於湯匙握柄上」的狀況少，**主要原因應是「油土置於勺口上」時，其整體重心較低，故擺動較不明顯，因而撞擊次數較少**。
3. 綜合研究八實驗一與實驗二，我們發現在調整湯匙重心時，**重心位置的改變也意味著湯匙底部與底板接觸面積的改變，若是油土的位置導致湯匙底部與底板接觸面積減少，其撞擊次數亦隨之減少。**

研究九、側板的上下寬度不同如何影響湯匙的下滑及擺動情形？

（一）實驗步驟

1. 設計六種側板上下寬度不同的情形。
2. 依序進行實驗，實驗中測量撞擊次數、下滑歷時以及下滑距離各三次，並加以紀錄。
3. 實驗過程中使用手機高速連拍功能拍攝下滑過程影像。

（二）實驗結果

操縱變因：側板（軌道）上下寬度不同

控制變因：（1）兩側隔板：塑膠板

（2）下滑角度：16 度

（3）軌道底板：密集板

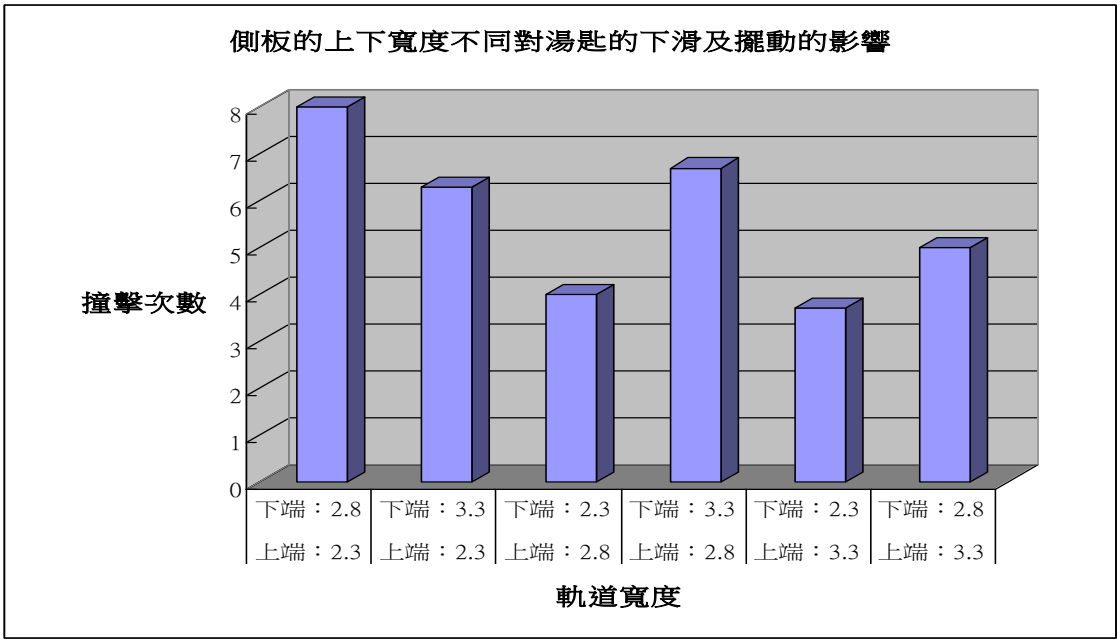
（4）軌道寬度：2.8 公分

（5）軌道長度：40.5 公分

（6）湯匙在起點的位置及高度

應變變因（實驗結果）：

側板（軌道）上下寬度不同（cm） 觀察項目		A	B	C	D	E	F
		上端：2.3 下端：2.8	上端：2.3 下端：3.3	上端：2.8 下端：2.3	上端：2.8 下端：3.3	上端：3.3 下端：2.3	上端：3.3 下端：2.8
撞擊次數（次）	一	7	7	4	6	3	5
	二	9	6	4	8	4	5
	三	8	6	4	6	4	5
	平均	**8.0**	**6.3**	**4.0**	**6.7**	**3.7**	**5.0**
下滑歷時（s）	一	2.08	1.50	1.45	1.45	1.34	1.93
	二	2.37	1.63	1.67	1.59	1.75	1.23
	三	1.85	1.65	1.49	1.35	1.49	1.49
	平均	**2.10**	**1.59**	**1.54**	**1.46**	**1.53**	**1.55**
上端寬度－下端寬度 (cm)		**-0.5**	**-1.0**	**+0.5**	**-0.5**	**+1.0**	**+0.5**
上端開口相同組別平均		**7.15 次**		**5.35 次**		**4.35 次**	
下滑距離（cm）	一	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	二	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	三	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	平均	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**



（三）討論

1. 若將 A～F 六種情形分成「上窄下寬」及「上寬下窄」兩個類別，則 A、B、D 屬於「上窄下寬」，而 C、E、F 則屬於「上寬下窄」。進一步整理資料如下：

類別	上窄下寬			上寬下窄		
組別	A	B	D	C	E	F
平均撞擊次數	8.0	6.3	6.7	4.0	3.7	5.0
同一類平均	**7.00**			**4.23**		

由上表的數據我們可以看出「上窄下寬」類別的撞擊次數明顯多餘「上寬下窄」的情形。這說明了**要是軌道上端寬度較寬，使得下滑一開始無法維持穩定的搖擺運動，即便後來軌道寬度縮減，也無法回復該有的搖擺運動了。**

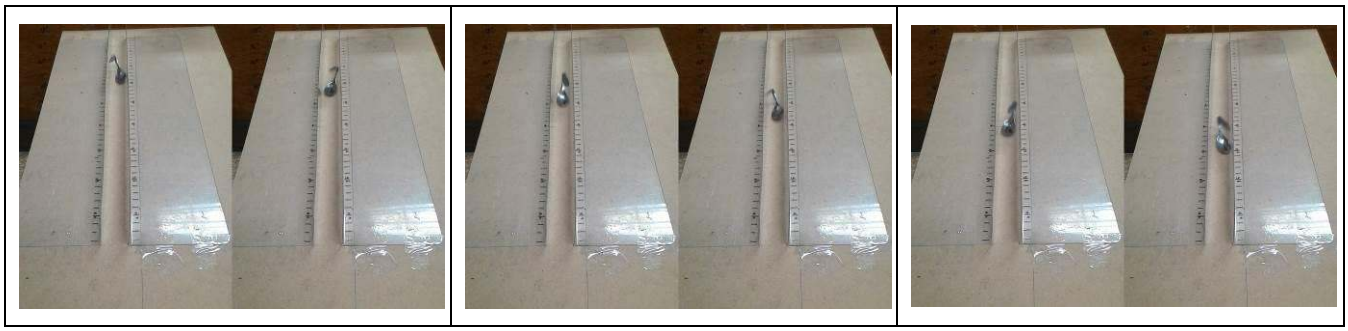
2. 若將開口距離相同者歸為一類，即 A、B 一組，C、D 一組，E、F 一組，再將其同一類的平均撞擊次數予以平均，我們可以看出「上端開口越小者，下滑過程中撞擊次數越多，搖擺現象越明顯」。

類別	上端開口 2.3cm		上端開口 2.8cm		上端開口 3.3cm	
組別	A	B	C	D	E	F
平均撞擊次數	8.0	6.3	4.0	6.7	3.7	5.0
上端開口相同組別平均	**7.15** 次		**5.35** 次		**4.35** 次	

研究十、側板的材質如何影響湯匙的下滑及擺動情形？

實驗前的想法：

我們擷取先前實驗中錄影的畫面，我們發現湯匙下滑的運動過程中（如下圖所示），都是湯匙手柄彎曲的部分撞擊到軌道側板，進而產生反作用力將湯匙推向另一側。因此我們推測**湯匙的左右運動，很可能是因為湯匙的手柄部分撞擊軌道側板的反作用力所產生**。

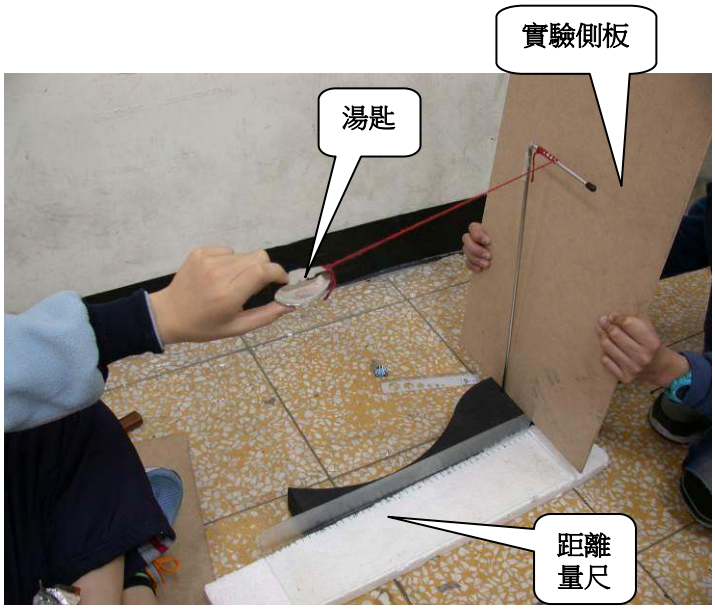


因此我們覺得軌道側板的材質不同應該也會產生大小不同的反作用力，於是我們先進行了湯匙對不同材質側板反作用力大小的實驗。

第一組實驗：

（一）實驗步驟

1. 設計實驗裝置（實驗裝置如右所示）
2. 尋找生活中常見的九種材質來作為實驗側板。
3. 將綁著湯匙的繩子拉至水平處，手自然鬆開，讓湯匙撞向實驗側板。
4. 以手機錄影整個碰撞過程，並從影片中找出湯匙反彈的最遠位置，配合距離量尺找出並紀錄反彈距離。
5. 每一種側板皆進行三次實驗，並算出反彈的平均距離。



（二）實驗結果

觀察項目＼實驗側板		厚紙板	海綿	壓克力板	保麗龍	木板	泡棉	鐵板	塑膠板	密集板
反彈距離（cm）	一	12	18	14.5	18	14	17	23	19	15
	二	14	16	15	20	13	17	22	20	17
	三	15	17	16	16	16	15	22	18	15
	平均	**13.7**	**17.0**	**15.2**	**18.0**	**14.3**	**16.3**	**22.3**	**19.0**	**15.7**
由多到少排序		**8**	**3**	**6**	**2**	**7**	**4**	**※**	**1**	**5**

第二組實驗：

（一）實驗步驟

1. 採用第一組實驗中的九種材質來作為側板的材質。
2. 依序進行不同材質側板的實驗，實驗中測量撞擊次數、下滑歷時以及下滑距離各三次，並加以紀錄。
3. 實驗過程中使用手機高速連拍功能拍攝下滑過程影像。

（二）實驗結果

操縱變因：側板材質不同

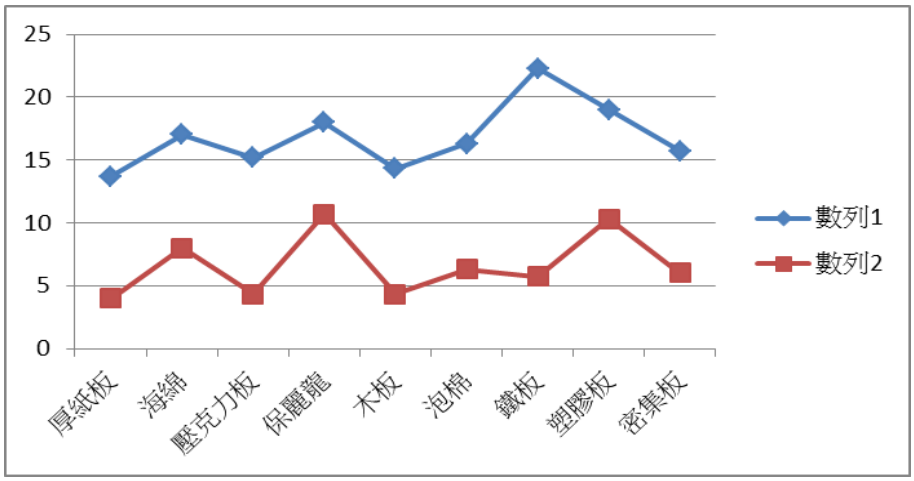
控制變因：（1）軌道底板：密集板　　（2）下滑角度：16 度

（3）湯匙在起點的位置及高度　（4）軌道寬度：2.8 公分

（5）軌道長度：40.5 公分

應變變因（實驗結果）：

觀察項目＼實驗側板		厚紙板	海綿	壓克力板	保麗龍	木板	泡棉	鐵板	塑膠板	密集板
撞擊次數（次）	一	5	8	5	10	5	7	6	11	6
	二	3	7	4	11	4	6	6	10	5
	三	4	9	4	11	4	6	5	10	7
	平均	**4.0**	**8.0**	**4.3**	**10.7**	**4.3**	**6.3**	**5.7**	**10.3**	**6.0**
由多到少排序		**8**	**3**	**6**	**1**	**7**	**4**	**※**	**2**	**5**
下滑歷時（s）	一	1.78	2.59	1.43	2.59	1.40	2.10	1.50	3.00	2.03
	二	1.53	2.53	1.47	2.77	1.62	2.29	1.79	2.57	2.25
	三	1.49	2.71	1.47	2.95	1.47	2.59	1.53	3.01	2.79
	平均	1.60	2.61	1.46	2.77	1.50	2.33	1.61	2.86	2.36
下滑距離（cm）	一	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	二	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	三	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	平均	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5



第三組實驗：

（一）實驗步驟

1. 選取不同材質來作為軌道的左右側板，亦即左側板與右側板採用不同的材質來進行實驗。
2. 依序進行不同側板組合的實驗，實驗中測量撞擊次數、下滑歷時以及下滑距離各三次，並加以紀錄。
3. 實驗過程中使用手機高速連拍功能拍攝下滑過程影像。

（二）實驗結果

操縱變因：左右側板的材質不同

控制變因：（1）軌道底板：密集板　　（2）下滑角度：16 度

（3）湯匙在起點的位置及高度　（4）軌道寬度：2.8 公分

（5）軌道長度：40.5 公分

應變變因（實驗結果）：

左右側板的材質不同 / 觀察項目		A	B	C	D	E	F
左側板材質		塑膠板	厚紙板	厚紙板	厚紙板	海綿	泡棉
右側板材質		保麗龍板	壓克力板	保麗龍板	木板	保麗龍板	密集板
撞擊次數（次）	一	29	8	12	8	21	16
	二	26	8	14	8	22	14
	三	26	8	13	9	19	15
	平均	**27.0**	**8.0**	**13.0**	**8.3**	**20.7**	**15.0**
下滑	一	6.05	1.88	2.74	1.84	4.86	3.44
	二	5.75	1.95	2.95	1.95	5.03	2.96

歷時（s）	三	5.73	1.96	2.92	2.05	4.75	2.90
	平均	**5.71**	**1.93**	**2.87**	**1.95**	**4.88**	**3.10**
下滑距離（cm）	一	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	二	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	三	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	平均	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**	**40.5**

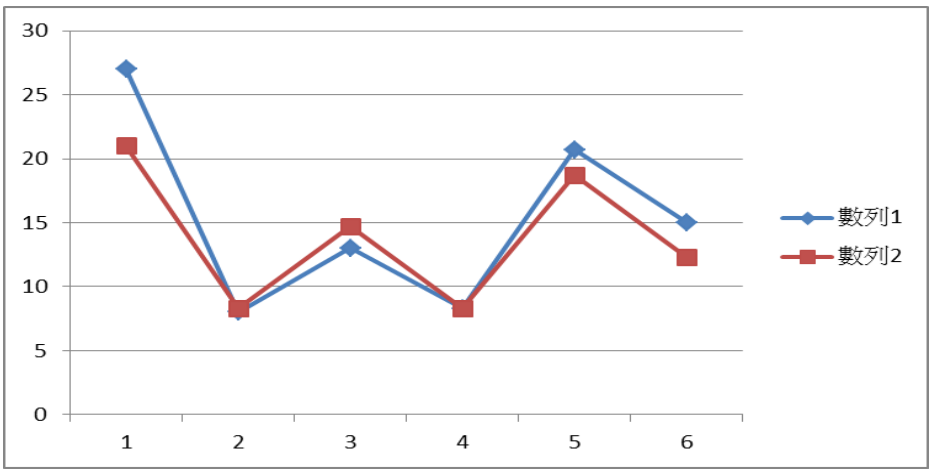
（三）討論

1. 在第一組實驗中，湯匙在撞擊實驗側板之後會產生反彈的現象，反彈距離若是越遠（越高），代表該實驗側板給予湯匙的反作用力越大。
2. 我們將研究十中的第一組與第二組實驗數據交叉比對後發現：除了「鐵板」之外的其餘八種實驗側板，**「直接撞擊側板後反彈的距離」與「湯匙在軌道上撞擊側板的次數」兩者間幾乎呈現相同的趨勢**。換言之，對於同一實驗側板而言，**若是反彈距離越遠，代表反作用力越大，則湯匙撞擊軌道側板的次數也會增加，亦即「反作用力」與「撞擊次數」兩者間有高度相關性。**
3. 在研究三與研究六的實驗結果中我們也曾發現，若是湯匙與隔板撞擊所產生的反作用力不足，將無法使湯匙左右擺動下坡。
4. 另外，我們參考了第二組實驗中各類側板的平均撞擊次數，如下表：

實驗側板 觀察項目	厚紙板	海綿	壓克力板	保麗龍	木板	泡棉	塑膠板	密集板
平均撞擊次數（次）	**4.0**	**8.0**	**4.3**	**10.7**	**4.3**	**6.3**	**10.3**	**6.0**

再將本研究第三組實驗中所得到的實驗數據放在一起共同比較，**發現左側板材質的原始撞擊次數加上右側板的原始撞擊次數，其「撞擊總數」與「左右不同側板組合的平均撞擊次數」亦呈現出相當一致的趨勢**。

左右側板的材質不同 觀察項目	A	B	C	D	E	F
平均撞擊次數（次） 數列 1	**27.0**	**8.0**	**13.0**	**8.3**	**20.7**	**15.0**
左側板材質 （原撞擊次數）	塑膠板 （10.3）	厚紙板 （4.0）	厚紙板 （4.0）	厚紙板 （4.0）	海綿 （8.0）	泡棉 （6.3）
右側板材質 （原撞擊次數）	保麗龍板 （10.7）	壓克力板 （4.3）	保麗龍板 （10.7）	木板 （4.3）	保麗龍板 （10.7）	密集板 （6.0）
左側板+右側板 數列 2	**21.0**	**8.3**	**14.7**	**8.3**	**18.7**	**12.3**



5. **綜合以上幾點，我們認為湯匙之所以能夠左右擺動，正是因為湯匙的手柄部分撞擊軌道側板產生足夠的反作用力，進而開始了這一連續左右擺動的過程……**
6. 至於在第一組實驗中，鐵板的反作用力最大為何卻沒反應在撞擊次數上，我們的推測則是由於鐵板與湯匙之間的摩擦力最小（參考研究四實驗結果），因此在下滑過程中，鐵板不似其他材質的側板，能提供足夠的支撐力，進而縮短了下滑時間，也減少了撞擊的次數。

伍、結論

一、探討數種湯匙形體上的差異：

1. 市面上常見的湯匙主要可以分成尖口與圓口兩類，底部則有平面跟弧面兩種為主。
2. 適合用來作為研究湯匙搖擺下坡的湯匙底部須為弧面，開口形狀以圓口為佳，材質則以能夠彎折的湯匙較適合拿來進行不同面向之研究。（研究一）

二、改變軌道條件是否會影響湯匙的下滑及擺動情形？

我們在軌道條件上，分成「下滑軌道角度」、「軌道間距」、「軌道的平滑程度」以及「軌道的厚度」等面向來做探討。

1. 下滑軌道的角度若是不足，造成湯匙下滑的水平重力分量小於與底板間的摩擦力，則湯匙無法順利搖擺下滑；反之，下滑軌道的角度若是太大，會造成湯匙下滑的水平重力分量明顯大於與底板間的摩擦力，進而造成快速下滑過程中撞擊次數偏少，且在軌道上的時間會明顯縮短。實驗結果顯示當下滑軌道的角度為 16 度時，能在下滑過程中出現最多撞擊次數。（研究二）
2. 湯匙之所以能順利撞擊隔板下滑，軌道間距其實扮演了關鍵的角色，軌道間距太窄時會使得湯匙本體無法傾斜至一定角度，且撞擊行程過短，如此便無法順利與隔板之間發生撞擊並產生足夠回推的反作用力，湯匙將無法順利搖擺下坡；反之若是軌道間距太寬，湯匙本體則會過度傾斜，縱使能與隔板之間產生一定的撞擊力，其反作用力也無法大到能將湯匙推回另外一側，此時湯匙只能靠著一側順勢滑行下坡。實驗結果顯示當軌道間距恰為湯匙寬度加上 1 公分時，能在下滑過程中出現最多撞擊次數。（研究三）
3. 軌道底板為平滑類型的，湯匙在下滑的過程中與底板的摩擦力較小，因此下滑速度快、時

間較短，湯匙與隔板的撞擊次數也較少。反之，軌道底板為粗糙類型的，湯匙在下滑的過程中與底板的摩擦力較大，因此下滑速度較慢、時間較長，湯匙與隔板的撞擊次數也較多。（研究四）

4. 八種軌道底板之中，以壓克力板的實驗結果最為特殊，由於其表面相當光滑，因此我們原先覺得其實驗結果應該類似於鐵板，但實驗結果顯示其撞擊次數、下滑時間卻是遠遠多於其他七種軌道底板。我們參閱了網路上「靜電現象」的資料，並設計了摩擦起電的實驗，實驗結果證實：當湯匙在壓克力板上搖擺下滑時，湯匙與壓克力板間會因摩擦產生靜電，其靜電引力的影響使得湯匙下滑速度大幅減緩，因而明顯增加了撞擊次數。（研究四）
5. 軌道的厚度若是較厚，會產生抑制震動的效果，進而可以吸收湯匙與隔板撞擊時的力道，使得湯匙在下滑過程中的撞擊次數會隨著底板厚度增加而逐漸減少。（研究五）

三、改變湯匙的重心條件是否會影響湯匙的下滑及擺動情形

我們在湯匙重心的條件上，分成「重心左右偏移」、「下滑前的傾斜角度」、「重心高低」等面向來做探討。

1. 湯匙的重心若是越偏離中間，此時湯匙在下滑時越容易傾向重心側的隔板，其與隔板撞擊所產生的反作用力也不足以將湯匙反彈回另一側，因此撞擊次數明顯較少。由實驗中可以推論最適合搖擺下坡的湯匙應是「重心略微向左或向右傾斜即可，過度傾斜反而不利於搖擺下坡」。（研究六）
2. 實驗數據顯示，當湯匙與底板間的傾斜角度為 4 度時，湯匙在下滑過程中的撞擊次數最多；若是微幅增加或是減少傾斜角度，則撞擊次數皆會遞減。（研究七）
3. 湯匙的重心若是越低，則湯匙左右搖晃越不明顯，致使撞擊次數減少，因此，若要讓湯匙能夠順利搖擺下坡，則湯匙的重心需維持在一定的高度之上。（研究八實驗一）
4. 在調整湯匙重心時，重心位置的改變也意味著湯匙底部與底板接觸面積的改變，若是油土的位置導致湯匙底部與底板接觸面積減少，其撞擊次數亦隨之減少。（研究八實驗二）

四、改變軌道側板條件是否會影響湯匙的下滑及擺動情形？

我們在軌道側板的條件上，分成「軌道側板的上下寬度不同」、「軌道側板的材質」兩個面向來做探討。

1. 實驗數據顯示「上窄下寬」類別的撞擊次數明顯多餘「上寬下窄」的情形。亦即若是軌道上端寬度較寬，使得下滑一開始無法維持穩定的搖擺運動，即便後來軌道寬度縮減，也無法回復該有的搖擺運動了。（研究九）
2. 由實驗數據我們可以歸納出：「上端開口越小者，下滑過程中撞擊次數越多，搖擺現象越明顯」。（研究九）
3. 對於同一實驗側板而言，若是湯匙撞擊後反彈距離越遠，代表側板給予湯匙的反作用力越大，則湯匙撞擊軌道側板的次數也會增加，亦即「反作用力」與「撞擊次數」兩者間有高度相關性。（研究十）
4. 我們選取不同材質來作為軌道的左右側板，發現左側板材質的原始撞擊次數加上右側板的原始撞擊次數，其「撞擊總數」與「左右不同側板組合的平均撞擊次數」呈現出相當一致的趨勢。（研究十）

總結：湯匙在搖擺下坡的運動過程中，除了軌道斜坡提供了下滑的重力分量之外，軌道底板與湯匙間之摩擦力、湯匙與軌道側板間之反作用力皆扮演了密不可分的角色，再加上湯匙的重心在軌道側板間有如單擺左右來回的擺動，提供了湯匙擺動的動能、位能的轉換，這些組合共同演繹了一次精彩的物理運動。

陸、參考資料及其他

網路資源

NTCU 科學遊戲實驗室～搖擺下坡：http://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-040.html

靜電現象：http://www.phyworld.idv.tw/NATURE/nature_03/99_401.htm

國立台灣師範大學物理系 物理教學示範實驗教室：

http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=22936

靜電產生器（科學教育月刊 第 350 期）：

http://www.sec.ntnu.edu.tw/Monthly/101(346-355)/350-PDF

【評語】080109

實驗報告討論完整，內容撰寫確實，也能自行設計坡道來驗證實驗想法。