

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

080117

強強滾 - 探討不同變因對圓柱體滾動之影響

學校名稱：新北市新莊區裕民國民小學

作者： 小五 林仕軒 小五 游傑程 小五 呂則緯 小五 林莉烜	指導老師： 林怡廷
---	--------------

關鍵詞：滾動、轉動慣量、力矩

摘要

本實驗在探討不同變因對圓柱體滾動的影響，實驗結果得知，圓柱體內部重量與滾動快慢沒有絕對關係，而圓柱體內部重量分布位置不同，對滾動的方向、快慢及形式則有相當影響。重量相同時，重量分布在圓周比分布在軸心的滾得慢，但滾得久，滾得遠。而圓柱體能否滾動與整體重心位置和支點間是否產生力矩有關。若裝入半滿內容物，此時圓柱體是否滾動，則要考慮內容物是否移動，造成整體重心改變和支點是否產生轉動的力矩。裝半滿黏稠液體加入彈珠，會使重心位置緩慢改變，滾動速度也變得極為緩慢，但在坡度角度變大時，內容物則會隨著圓柱體的滾動，呈現翻轉的現象，圓柱體滾動速度也會變快。

壹、研究動機

我們在網路上看到了一段有趣的影片，影片中將不同大小的寶特瓶，裝入水及太白粉，放在斜坡上比較滾動快慢，我們原先猜測重量重就會滾得快，實驗結果竟與我們的預期有些不同。到底影響圓柱體滾動的因素有哪些呢？這引發了我們的好奇，決定展開我們的研究。

貳、研究目的

- 一、圓柱體的內部重量分布位置不同，對滾動有什麼影響？
- 二、圓柱體的重量不同，對滾動有什麼影響？
- 三、圓柱體的內部裝入不同固體，對滾動有什麼影響？
- 四、圓柱體的內部裝入不同液體，對滾動有什麼影響？
- 五、圓柱體的內部裝入不同固體和液體，對滾動有什麼影響？
- 六、斜坡角度大小，對圓柱體滾動有什麼影響？

參、研究設備及器材

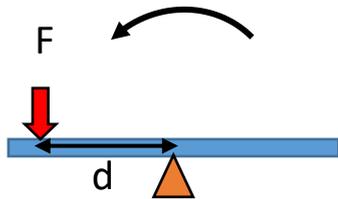
木板	L型鐵片	海綿	厚紙板
鐵罐	紙罐	彈珠	螺絲帽
吸管	紅色圓形貼紙	支架	手機
壓克力板	綠豆	沐浴乳	鹽巴

肆、文獻探討

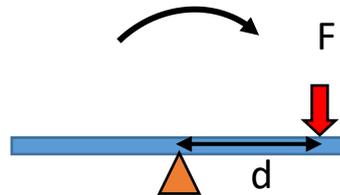
一、力矩(正負力矩)

正、負力矩定義：

力矩有方向性，為了方便討論與計算，一般力矩方向通常以逆時針方向為正力矩；順時針方向為負力矩，正負符號代表力矩旋轉的方向。以下以簡單圖示說明：



正力矩($F \cdot d$)



負力矩($-F \cdot d$)



我們可以用『右手定則』來幫助說明：

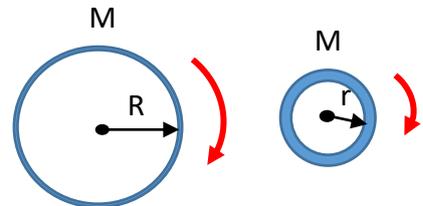
右手四指逆時針方向時，拇指指向上方的時候，稱為正力矩；

反之，右手四指順時針方向時，拇指指向下方的時候，稱為負力矩。

二、轉動慣量:

『轉動慣量』也稱作『慣性矩』，是指物體在進行軸旋轉運動的慣性大小，和物體的質量及其圍繞旋轉軸的距離有關。物體內所有質量離軸心越遠，產生的轉動慣量就越大；物體內所有質量越靠近軸心，產生的轉動慣量就越小。

假設二個質量皆為 M 的空心圓柱體，以圓柱中心為軸自轉，則二者之轉動慣量分別為： $I = MR^2$ 及 $I = Mr^2$ ，右邊半徑較小的空心圓柱體的轉動慣量較小，較容易轉動，施予較小的力矩時，即可轉動。

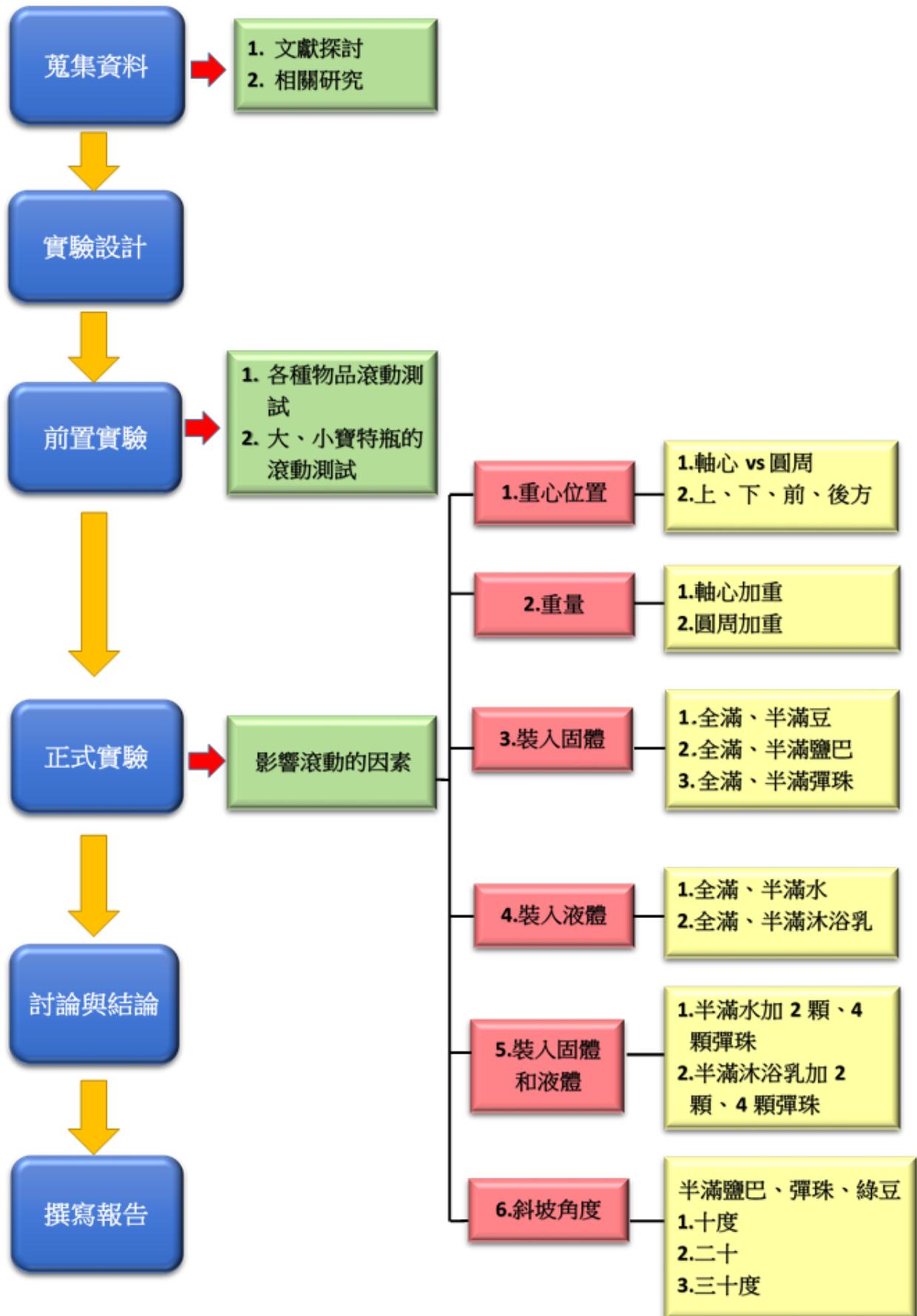


三、相關研究

學校	主題	研究內容
台北市西門國小	哪一個滾動得快?影響圓柱體在斜面上滾動快慢變因的探討	圓柱體的實心和空心、長短、粗細、材質、輕重對滾動快慢的影響
板橋高中	蝸牛球	探討黏滯液體的體積、軌道傾斜角度與金屬圓柱材質、體積及重量等變因對滾動變化的影響。

※本次科展主題探討的重心分布，重量大小，對滾動快慢或距離、時間的影響，以及加入不同分量的固體或液體後，產生的力矩變化，對滾動的影響，是與前兩個科展不同的研究。

研究架構與流程



伍、研究過程、方法與結果

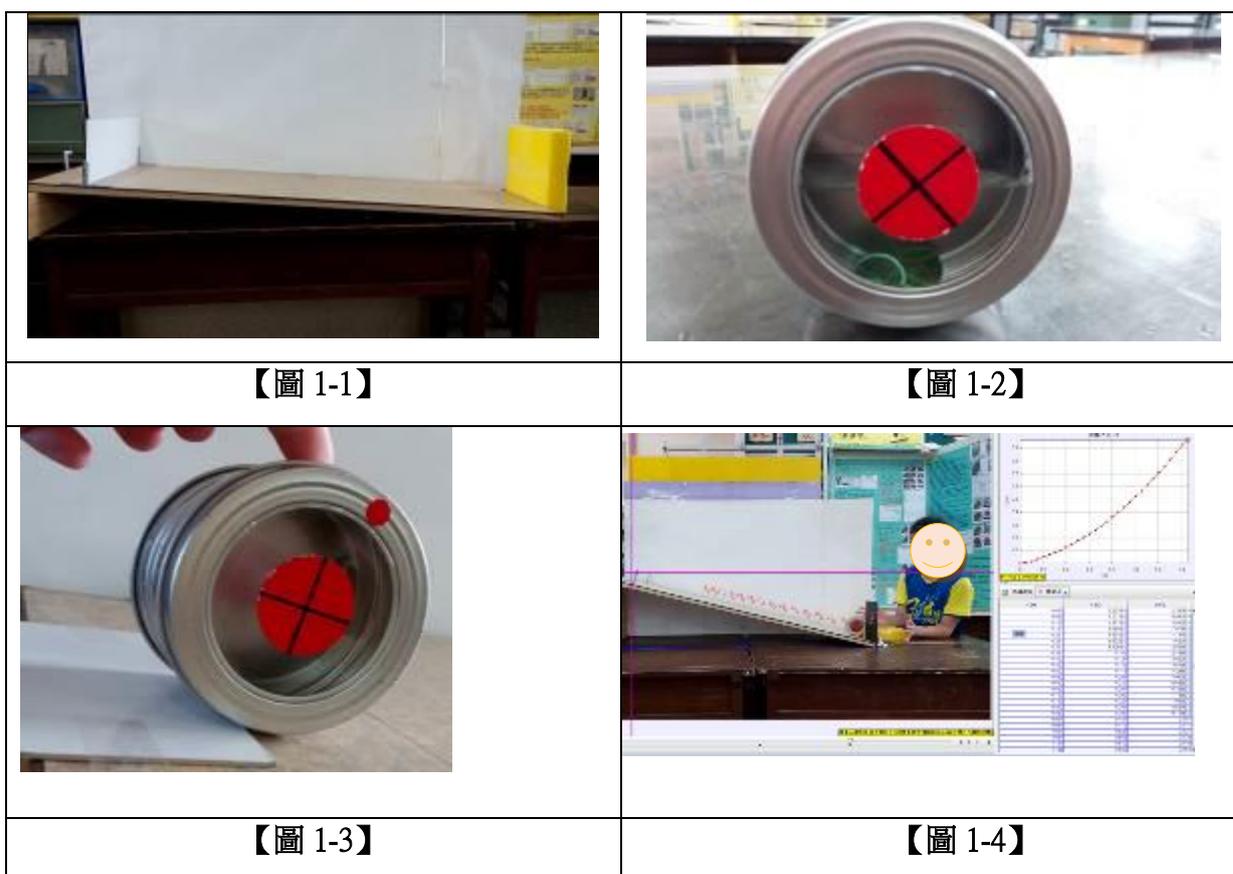
研究方法：

一、我們利用木板模擬斜坡，斜坡長度 104 公分，角度 10 度。紙板位置代表起點，圓柱體後方與木板接觸點上，黏貼紙板，在終點處擺放直立的海綿。

如【圖 1-1】

二、在圓柱體的軸心位置貼上紅色貼紙，並標示十字記號。【圖 1-2】

三、利用手機錄下滾動的過程，當手鬆開，十字記號開始轉動時起算時間，再利用軟體 tracker 來分析。如【圖 1-3】【圖 1-4】



前置實驗：

一、我們先做了幾種物品的滾動測試，例如電池、護唇膏、藥罐和雙面膠帶等……

二、接下來，我們模擬網路上看到的影片，準備兩種大小的寶特瓶，做了四種情況的測試，分別是大空(大寶特瓶不裝)、小空、大滿(大寶特瓶裝滿水)、小滿，測試滾動所需的時間。



實驗後發現：

一、有些物品是無法順利直線滾動的，例如電池、護唇膏、藥罐等等。有些物品雖然比較重，但滾動並沒有比較快，這與我們原先預測，比較重就會滾得快，輕的就會滾的慢，有些不同。

二、大空和小空滾動所花的時間差距很小，而大滿和小滿的重量雖然差了 3 倍多，但滾動所花的時間差距也很小。從實驗我們得知，重量可能不是影響滾動快慢的唯一因素。

寶特瓶滾動時間記錄表 斜坡角度(10)度 坡道長度 104 公分

滾動時間(秒)	大空 (53.5g)	大滿 (2125.4g)	小空 (17.8g)	小滿 (636.5g)
第一次	2.21	1.633	2.176	1.641
第二次	2.21	1.641	2.176	1.641
第三次	2.243	1.641	2.176	1.641
第四次	2.243	1.641	2.219	1.641
第五次	2.243	1.641	2.243	1.641
第六次	2.277	1.674	2.243	1.674
第七次	2.277	1.674	2.277	1.633
第八次	2.277	1.674	2.277	1.633
第九次	2.31	1.674	2.309	1.633
第十次	2.31	1.674	2.31	1.633
平均	2.26	1.657	2.241	1.641

研究一、圓柱體的內部重量分布位置不同，對滾動有什麼影響？

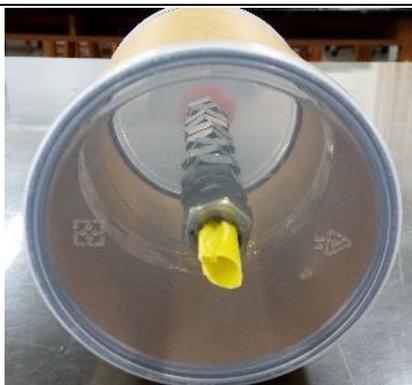
◆ 操作方法

我們以紙罐做實驗，紙罐直徑 10.4cm，長度 15cm。放入 12 顆螺絲帽，改變螺絲帽位置，造成內部重量分布不同，觀察在斜坡的滾動情形。如【圖 2-1~2-6】

實驗一、重量集中在軸心 vs 圓周

除了用斜坡比較滾動快慢，我們還想了解兩者能滾多久和滾多遠。一開始先在地面滾動，發現地面並非水平狀態，造成實驗誤差較大。後來利用 U 型坡道，同一高度放下，用 tracker 分析滾動到停止所花時間，及滾動距離。如【圖 2-7~2-9】

實驗二、重量集中在上、下、前、後方



【圖 2-1】軸心 12 顆螺絲帽(總重 279.2g)



【圖 2-2】圓周 12 顆螺絲帽(總重 279.2g)



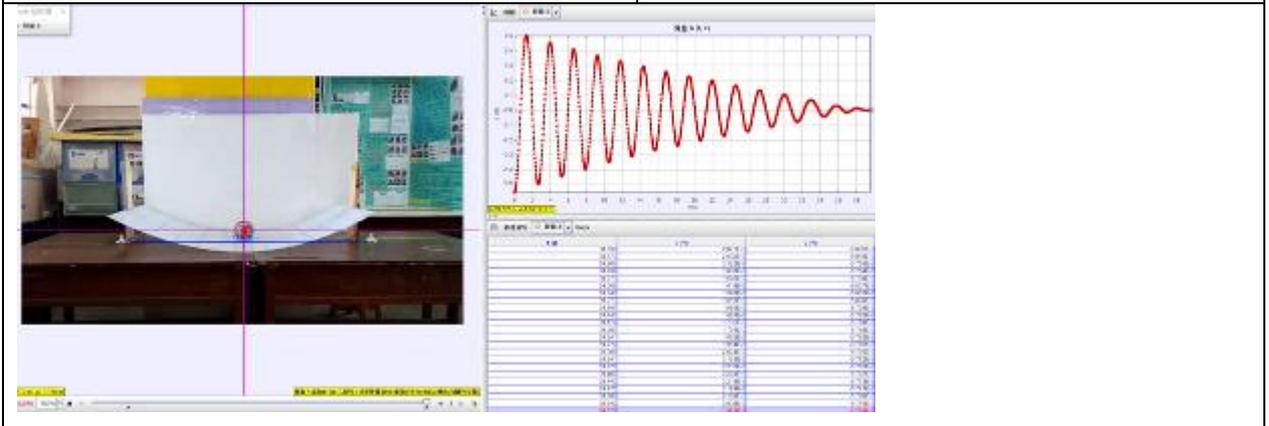
【圖 2-3】上方 12 顆 【圖 2-4】下方 12 顆 【圖 2-5】後方 12 顆 【圖 2-6】前方 12 顆



【圖 2-7】
斜坡下鋪軟墊，地面不夠平坦，實驗誤差大



【圖 2-8】U 型坡道長度 118.5cm
水平距離 114 cm 兩側高度 17 cm



【圖 2-9】用 tracker 分析滾動到停止所花時間，及滾動距離

◆ 研究結果

斜坡 長度 104cm 斜坡角度 10 度

滾動時間(秒)	軸心*12 顆螺絲帽	圓周*12 顆螺絲帽
第一次	1.875	2.176
第二次	1.875	2.143
第三次	1.842	2.176
第四次	1.842	2.176
第五次	1.841	2.109
平均	1.855	2.156

滾動時間(秒)	上方*12 顆	下方*12 顆	前方*12 顆	後方*12 顆
第一次	1.556	幾乎不滾動。輕微搖動後停止。	往前滾 0.351 秒，大約滾了半圈，之後前後來回搖動，約 11 秒後停止。	往後滾約 1/4 圈，然後前後搖動數次後停止。
第二次	1.556			
第三次	1.556			
第四次	1.556			
第五次	1.506			
平均	1.546			

U 型坡道

滾動到停止所花時間(秒)	軸心*12 顆螺絲帽	圓周*12 顆螺絲帽
第一次	34.620	40.212
第二次	33.683	38.538
第三次	35.223	39.576
第四次	33.750	41.719
第五次	35.491	42.087
平均	34.553	40.426

U 型坡道

X 軸位移總距離(公分)	軸心*12 顆螺絲帽	圓周*12 顆螺絲帽
第一次	1355.9	1452.7
第二次	1297.7	1418.7
第三次	1375.1	1422.9
第四次	1325	1459.7
第五次	1384.4	1471.6
平均	1347.62	1445.12

◆我們的發現

一、重量集中在軸心 vs 圓周

- (一) 重量分布集中在軸心滾得快。
- (二) 重量分布集中在圓周滾得久。
- (三) 重量分布集中在圓周滾得遠。

二、重量集中在上、下、前、後

- (一) 重量集中在上方，由上往下滾動時，會有加速、減速再加速的現象。
- (二) 重量集中在下方幾乎不滾動，輕微搖動後停止。
- (三) 重量集中在後方，會往後滾約 1/4 圈，然後前後搖動數次後停止。
- (四) 重量集中在前方，會往前滾約半圈，然後前後搖動數次後停止。

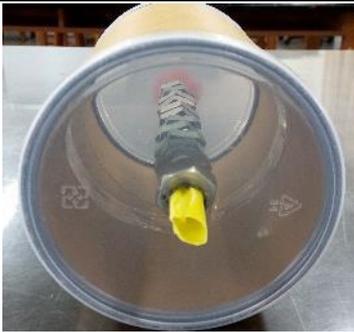
研究二、圓柱體的重量不同，對滾動有什麼影響？

◆ 操作方法

以加入螺絲帽的數量來改變圓柱體的重量，兩種分布位置分別做比較，如【圖 3-1~3-6】除了用斜坡比較滾動快慢，我們還想了解能滾多久和滾多遠。利用 U 型坡道，同一高度放下，用 tracker 分析滾動到停止所花時間，及滾動距離。

實驗一、軸心加重

實驗二、圓周加重

		
【圖 3-1】 軸心 3 顆螺絲帽(總重 133.4g)	【圖 3-2】 軸心 6 顆螺絲帽(總重 182g)	【圖 3-3】 軸心 12 顆螺絲帽(總重 279.2g)
		
【圖 3-4】 圓周 3 顆螺絲帽(總重 133.4g)	【圖 3-5】 圓周 6 顆螺絲帽(總重 182g)	【圖 3-6】 圓周 12 顆螺絲帽(總重 279.2g)

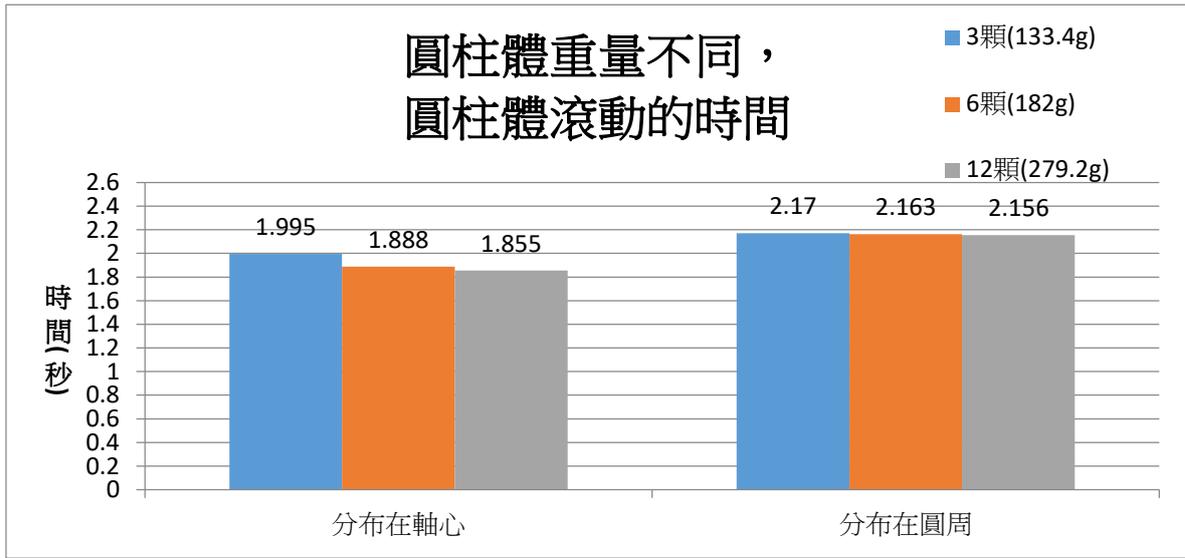
◆ 研究結果

斜坡

重量(g) 滾動時間(秒)	軸心*3 顆螺絲帽	軸心*6 顆螺絲帽	軸心*12 顆螺絲帽
第一次	1.942	1.875	1.875
第二次	2.009	1.908	1.875
第三次	1.975	1.875	1.842
第四次	1.975	1.875	1.842
第五次	2.076	1.908	1.841
平均	1.995	1.888	1.855

重量(g) 滾動時間(秒)	圓周*3 顆螺絲帽	圓周*6 顆螺絲帽	圓周*12 顆螺絲帽
第一次	2.177	2.143	2.176
第二次	2.177	2.143	2.143
第三次	2.177	2.177	2.176
第四次	2.177	2.177	2.176
第五次	2.143	2.177	2.109
平均	2.170	2.163	2.156

根據以上結果繪製圖如下：



U 型坡道

滾動到停止所花時間(秒)	軸心*3 顆螺絲帽	軸心*12 顆螺絲帽
第一次	38.136	32.846
第二次	40.278	34.051
第三次	39.442	33.013
第四次	39.174	33.616
第五次	39.567	33.214
平均	39.502	33.348

U 型坡道

X 軸位移總距離(公分)	軸心*3 顆螺絲帽	軸心*12 顆螺絲帽
第一次	1296.1	1307.8
第二次	1320	1326
第三次	1321.3	1316.3
第四次	1329.5	1314.7
第五次	1323.3	1325.4
平均	1318.04	1318.04

◆ 我們的發現

一、在斜坡上，不管重量分布是在圓柱體的軸心或圓周，重量較重，滾動都會較快。但差距並不明顯。

二、在 U 型坡上，軸心 3 顆螺絲帽和軸心 12 顆螺絲帽比較，重量重的滾動總時間較短，兩者滾動總距離沒有明顯差距。

研究三、圓柱體的內部裝入不同固體，對滾動有什麼影響？

◆ 操作方法

以直徑 7.8cm，長度 5.5cm 的鐵罐做實驗。

我們在圓柱體內部加入不同固體，如綠豆、鹽巴、彈珠，再分別做比較。如【圖 4-1~4-12】

實驗一:空瓶、半瓶綠豆、全瓶綠豆

實驗二:空瓶、半瓶鹽巴、全瓶鹽巴

實驗三:空瓶、兩顆彈珠、六顆彈珠、八顆彈珠、半瓶彈珠、全瓶彈珠

				
【圖 4-1】 空瓶 (總重 73.3g)	【圖 4-2】 半瓶綠豆 (總重 178.3g)	【圖 4-3】 全瓶綠豆 (總重 283.3g)	【圖 4-5】 半瓶鹽巴 (總重 217.3g)	【圖 4-6】 全瓶鹽巴 (總重 362.3g)
				
【圖 4-8】 2 顆彈珠 (總重 83.9g)	【圖 4-9】 6 顆彈珠 (總重 104.1g)	【圖 4-10】 8 顆彈珠 (總重 115.7g)	【圖 4-11】 半瓶彈珠 (總重 225.9g)	【圖 4-12】 全瓶彈珠 (總重 381.3g)

◆ 研究結果

綠豆:

斜坡長度 104cm 斜坡角度(10)度

滾動時間(秒)	空瓶(73.3g)	全瓶綠豆(283.3g)	半瓶綠豆(178.3g)
第一次	2.058	2.009	幾乎不滾動，往前轉 0.435 秒，之後前後來 回輕微搖動後靜止。
第二次	2.058	2.010	
第三次	2.093	2.093	
第四次	2.051	2.009	
第五次	2.051	2.009	
平均	2.062	2.026	

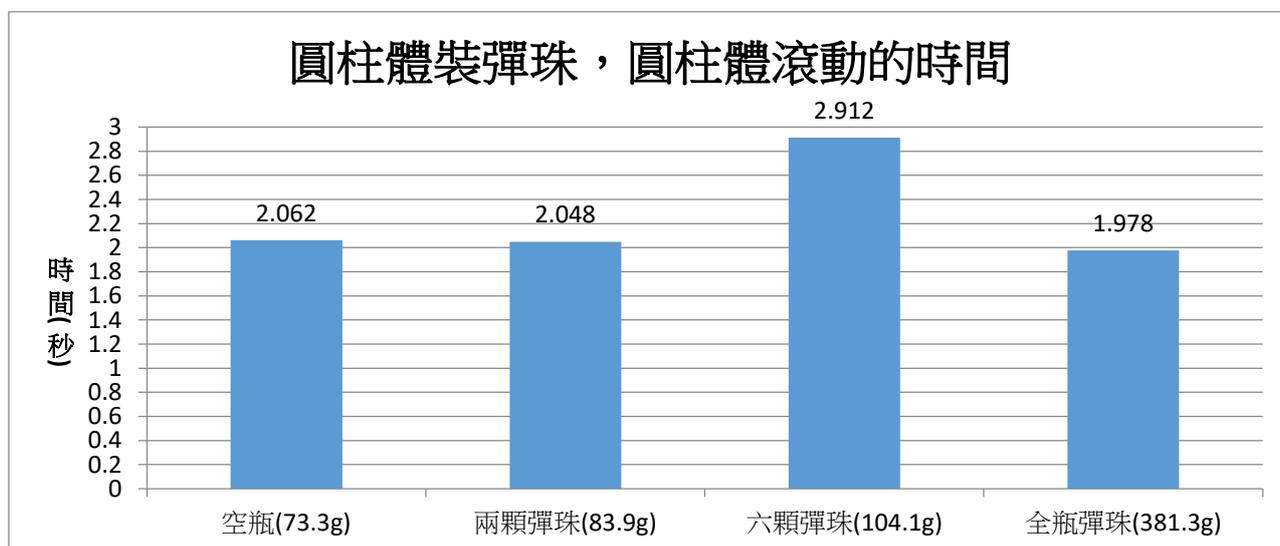
鹽巴:

滾動時間(秒)	空瓶(73.3g)	全瓶鹽巴 (362.3g)	半瓶鹽巴(217.3g)
第一次	2.058	1.958	幾乎不滾動，往前轉 0.402 秒，之後前後來 回輕微搖動後靜止。
第二次	2.058	1.958	
第三次	2.093	1.958	
第四次	2.051	2.008	
第五次	2.051	2.008	
平均	2.062	1.978	

彈珠:

滾動時間(秒)	空瓶 (73.3g)	兩顆彈珠 (83.9g)	六顆彈珠 (104.1g)	八顆彈珠 (115.7g)	半瓶彈珠 (225.9g)	全瓶彈珠 (381.3g)
第一次	2.058	2.058	2.861	輕微前後 搖晃，然 後靜止。	往前轉 0.502 秒，之後 前後來回 輕微搖動 後靜止。	2.008
第二次	2.058	2.008	2.962			2.008
第三次	2.093	2.058	2.962			1.958
第四次	2.051	2.058	2.811			1.958
第五次	2.051	2.058	2.962			1.958
平均	2.062	2.048	2.912		1.978	

根據以上結果繪製圖如下：



◆ 我們的發現

- 一、圓柱體的內部裝滿不同固體，如綠豆、鹽巴、彈珠，都滾得比空瓶還快。但差距並不明顯。
- 二、在 10 度斜坡時，裝半滿固體只能往前輕微轉動，之後前後來回輕微搖動後靜止。
- 三、在 10 度斜坡時，裝彈珠 1~6 顆可以滾動，再多就滾動不起來，甚至變成滑動，一直到全滿才能滾動。

研究四、圓柱體的內部裝入不同液體，對滾動有什麼影響？

◆ 操作方法

以直徑 7.8cm，長度 5.5cm 的鐵罐做實驗。我們在圓柱體內部加入不同液體，如水、沐浴乳，再分別做比較。如【圖 5-1~5-6】

實驗一:空瓶、半瓶水、全瓶水

實驗二:空瓶、半瓶沐浴乳、全瓶沐浴乳

				
【圖 5-1】 空瓶 (總重 73.3g)	【圖 5-2】 半瓶水 (總重 203.3g)	【圖 5-3】 全瓶水 (總重 333.3g)	【圖 5-5】 半瓶沐浴乳 (總重 207.3g)	【圖 5-6】 全瓶沐浴乳 (總重 340.1g)

◆ 研究結果

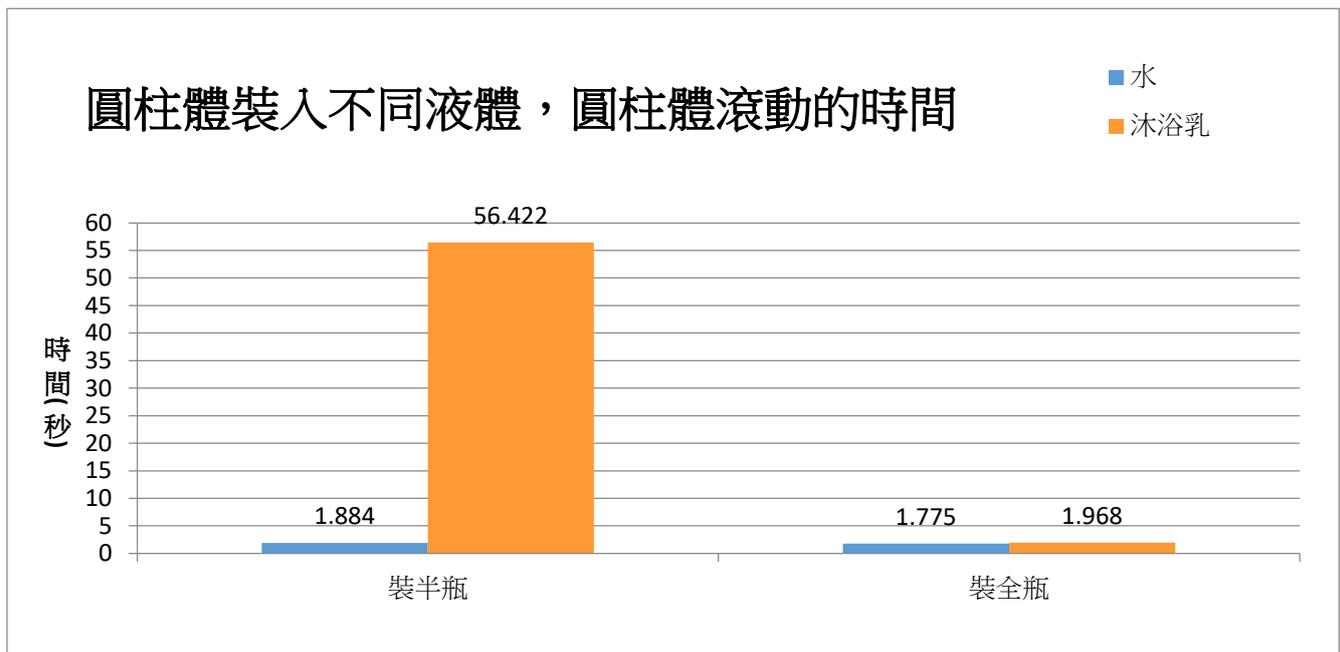
水: 斜坡長度 104cm 斜坡角度(10)度

滾動時間(秒)	空瓶(73.3g)	半水(203.3g)	全水(333.3g)
第一次	2.058	1.884	1.800
第二次	2.058	1.884	1.758
第三次	2.093	1.884	1.758
第四次	2.051	1.884	1.800
第五次	2.051	1.884	1.758
平均	2.062	1.884	1.775

沐浴乳:

滾動時間(秒)	空瓶(73.3g)	半沐浴乳(207.3g)	全沐浴乳(340.1g)
第一次	2.058	56.723	2.008
第二次	2.058	56.372	1.958
第三次	2.093	56.623	1.958
第四次	2.051	56.673	1.958
第五次	2.051	56.422	1.958
平均	2.062	56.563	1.968

根據以上結果繪製圖如下：



◆我們的發現

- 一、圓柱體內部裝滿不同液體，如水、沐浴乳，都滾得比空瓶還快。
- 二、裝半滿液體也可以滾動。
- 三、裝半滿時，若內部液體較黏稠，會呈現滾動極慢的現象。

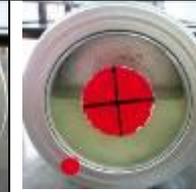
研究五、圓柱體的內部裝入不同固體和液體，對滾動有什麼影響？

◆操作方法

以直徑 7.8cm，長度 5.5cm 的鐵罐做實驗。我們在圓柱體內部加入不同固體和液體，再分別做比較。如【圖 6-1~6-6】

實驗一:半瓶水、半瓶水加 2 顆彈珠、半瓶水加 4 顆彈珠

實驗二:半瓶沐浴乳、半瓶沐浴乳加 2 顆彈珠、半瓶沐浴乳加 4 顆彈珠

					
【圖 6-1】 半瓶水 (總重 203.3g)	【圖 6-2】 半瓶水加 2 顆彈珠 (總重 213.9g)	【圖 6-3】 半瓶水加 4 顆 彈珠 (總重 224.5g)	【圖 6-4】 半瓶沐浴乳 (總重 207.3g)	【圖 6-5】 半瓶沐浴乳 加 2 顆彈珠 (總重 217.9g)	【圖 6-6】 半瓶沐浴乳 加 4 顆彈珠 (總重 228.5g)

◆ 研究結果

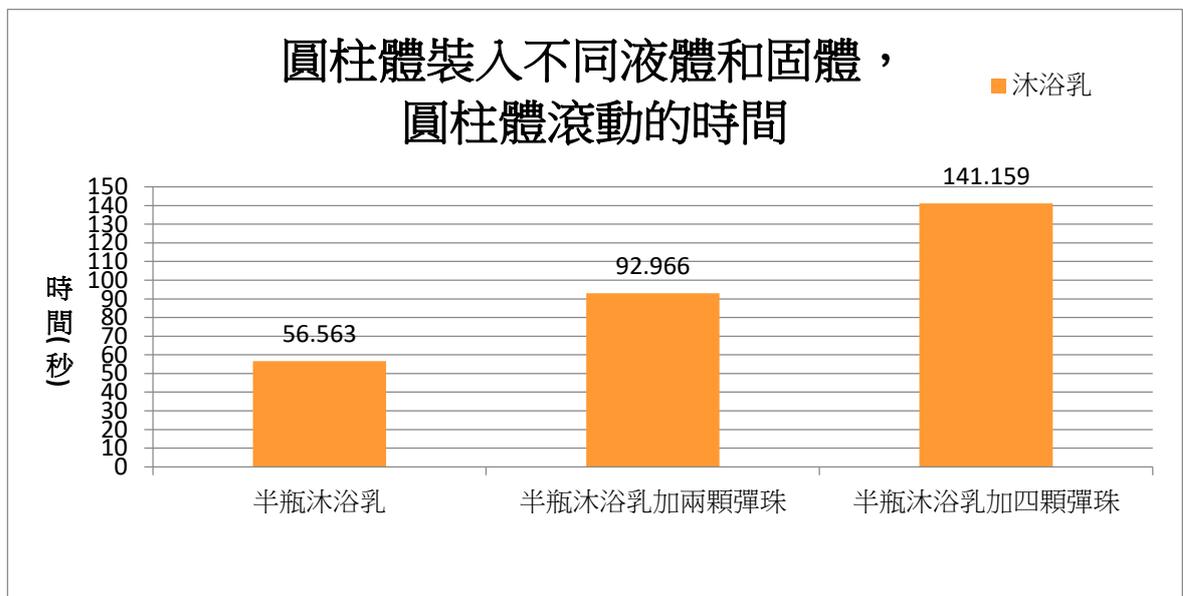
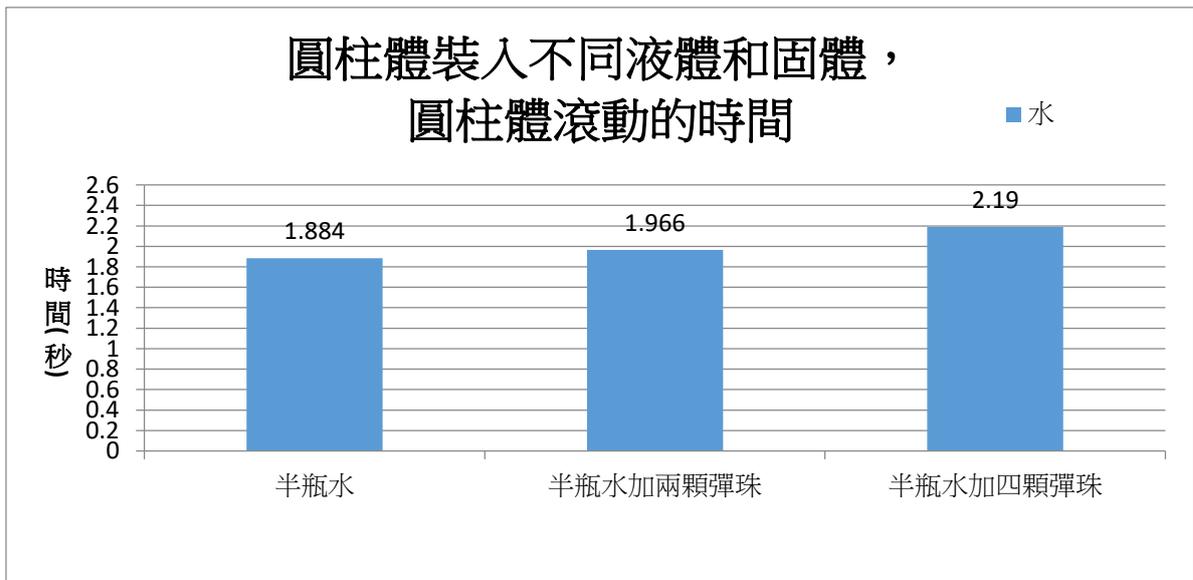
水加彈珠： 斜坡長度 104cm 斜坡角度(10)度

滾動時間(秒)	半水(203.3g)	半水 加兩顆彈珠(213.9g)	半水 加四顆彈珠(224.5g)
第一次	1.884	1.926	2.176
第二次	1.884	1.942	2.176
第三次	1.884	1.942	2.176
第四次	1.884	2.009	2.21
第五次	1.884	2.009	2.21
平均	1.884	1.966	2.19

沐浴乳加彈珠：

滾動時間(秒)	半沐浴乳(207.3g)	半沐浴乳 加兩顆彈珠(217.9g)	半沐浴乳 加四顆彈珠(228.5g)
第一次	56.723	91.962	142.734
第二次	56.372	92.565	133.409
第三次	56.623	95.476	136.419
第四次	56.673	93.619	149.416
第五次	56.422	91.209	143.817
平均	56.563	92.966	141.159

根據以上結果繪製圖如下：



◆我們的發現

- 一、 半瓶液體內裝入彈珠，滾動變慢了。
- 二、 加入的彈珠較多時，滾動得較慢。
- 三、 沐浴乳加入彈珠後，滾動變得極慢。

研究六、斜坡角度大小，對圓柱體滾動有什麼影響？

◆ 操作方法

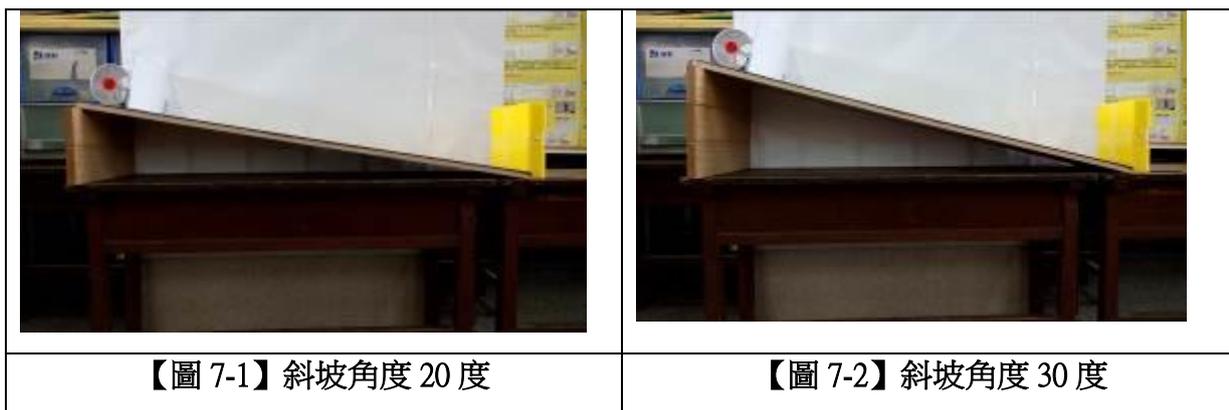
以斜坡角度 20 度、30 度測試滾動情形，再與 10 度時做比較。如【圖 7-1~7-2】

實驗一:半瓶綠豆: 斜坡角度 10 度、20 度、30 度

實驗二:半瓶鹽巴: 斜坡角度 10 度、20 度、30 度

實驗三:半瓶彈珠: 斜坡角度 10 度、20 度、30 度

實驗四:半瓶沐浴乳加 4 顆彈珠: 斜坡角度 10 度、20 度、30 度



◆ 研究結果

	半瓶綠豆 (178.3g)	半瓶彈珠 (225.9g)	半瓶鹽巴 (217.3g)	半瓶沐浴乳加 4 顆彈珠 (228.5g)
斜坡角度 10 度	輕微搖動後停止。	輕微搖動後停止。	輕微搖動後停止。	滾動極為緩慢，141.159 秒滾至終點。
斜坡角度 20 度	3.893 秒滾至終點。	2.182 秒滾至終點。	輕微搖動後停止。	無 10 度斜坡的緩慢現象，4.554 秒滾至終點。
斜坡角度 30 度	1.757 秒滾至終點。	1.456 秒滾至終點。	1.591 秒滾至終點。	無 10 度斜坡的緩慢現象，1.549 秒滾至終點。

◆ 我們的發現

- 一、半瓶綠豆、半瓶彈珠在 10 度斜坡無法滾動，只能輕微搖動。在 20 度和 30 度斜坡是可以滾動的。
- 二、半瓶鹽巴在 10 度、20 度斜坡無法滾動，只能輕微搖動。在 30 度斜坡，可以順利滾動。
- 三、沐浴乳加入 4 顆彈珠，在 20 度和 30 度斜坡，無 10 度斜坡時的緩慢滾動現象。

陸、討論

由實驗中，我們得知以下結果：

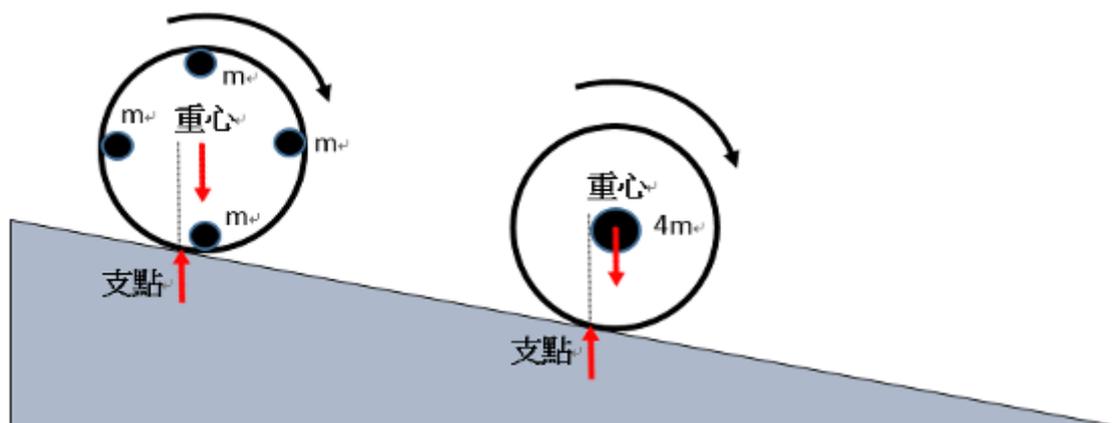
一、當重量相同時，重量分布在不同位置的探討：

重量集中在軸心 vs 重量集中在圓周

(一)在軸心和圓周都可以滾動

【說明】：當螺絲帽均勻分布於軸心或圓周時，此時整體重心將常態保持於圓柱中心點，與支點位置產生的力矩，會使圓柱體持續向下滾動

【圖 8】



(二)重量集中在軸心位置，比集中在圓周的滾動得快。

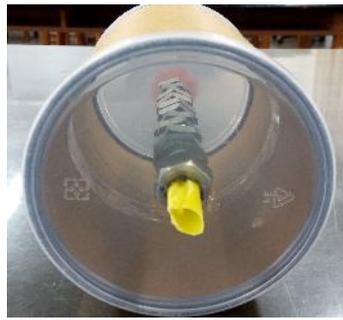
【說明】：因為 $I = MR^2$ ，重量分布集中在軸心，轉動慣量較小，容易轉動；重量分布集中在圓周，轉動慣量較大，較不容易轉動。從斜坡實驗中(p6)或在 U 型坡的實驗中第一趟距離和所花的時間，都可以觀察到重量集中在軸心滾動得快。

(三)重量集中在圓周滾的總時間長。

(四)重量集中在圓周滾的總距離遠。

【說明】：從 tracker 分析中可以觀察到，在 U 型坡上相同高度，同樣位能轉成動能，重量集中在圓周，在 X 軸上位移總距離比較長，能維持滾動的時間也較長。

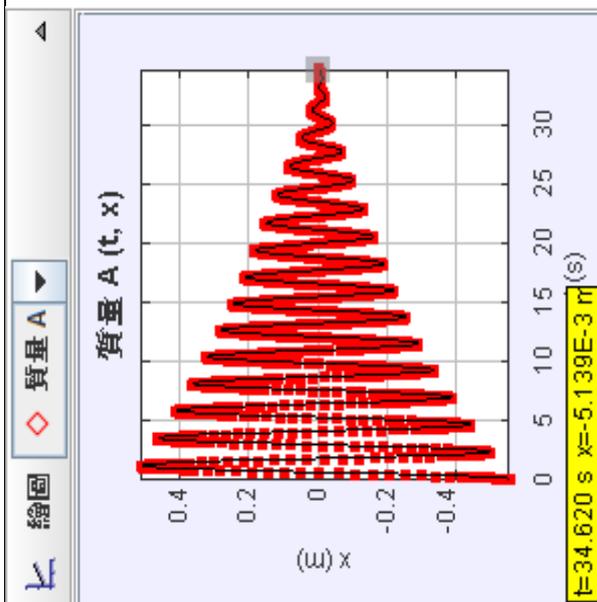
【圖 9】軸心:滾得快



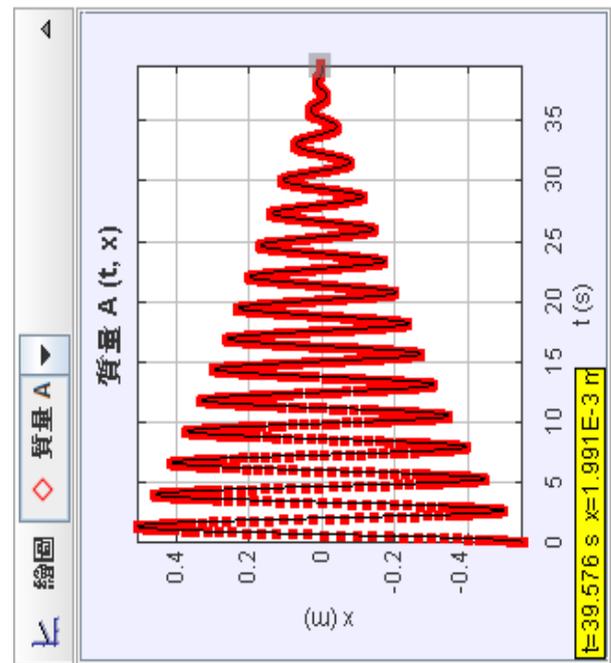
圓周:滾得久，滾得遠



【圖 10】軸心



圓周



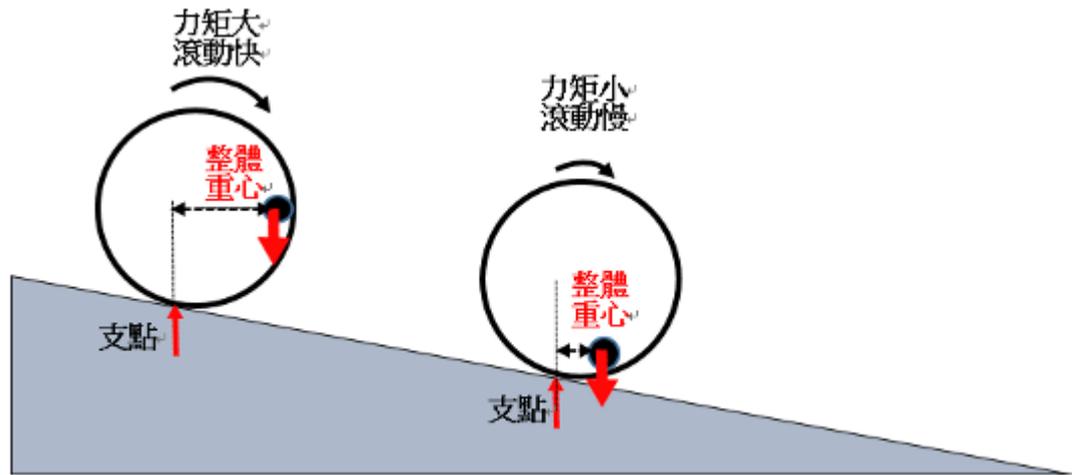
	【軸心*12 顆】在 X 軸上位移		【圓周*12 顆】在 X 軸上位移	
	距離(公分)	時間(秒)	距離(公分)	時間(秒)
第 1 趟來回	206.8	2.344	206.5	2.679
第 2 趟來回	185.5	2.31	186.1	2.611
第 3 趟來回	165	2.31	166.6	2.612
第 4 趟來回	144.5	2.243	148.5	2.611
第 5 趟來回	126.2	2.244	132.1	2.545
第 6 趟來回	110.1	2.243	117.2	2.545
第 7 趟來回	95.9	2.243	102.6	2.544
第 8 趟來回	83.2	2.277	89.8	2.578
第 9 趟來回	71	2.243	77.5	2.578
第 10 趟來回	58.9	2.411	65.1	2.645
第 11 趟來回	46.2	2.344	52.9	2.679
第 12 趟來回	32.9	2.411	40.4	2.812
第 13 趟來回	20.2	2.377	26.1	2.947
第 14 趟來回到結束	9.5	4.620	11.5	5.19
加總	1355.9	34.620	1422.9	39.576

重量集中在上、下、前、後方

(一)圓柱體的滾動方向、速度，與重心位置與支點產生的力矩有關。

【說明】：力矩大滾動快，力矩小滾動慢

【圖 11】



(二)重量集中在下方時，幾乎不滾動，輕微搖動後停止。

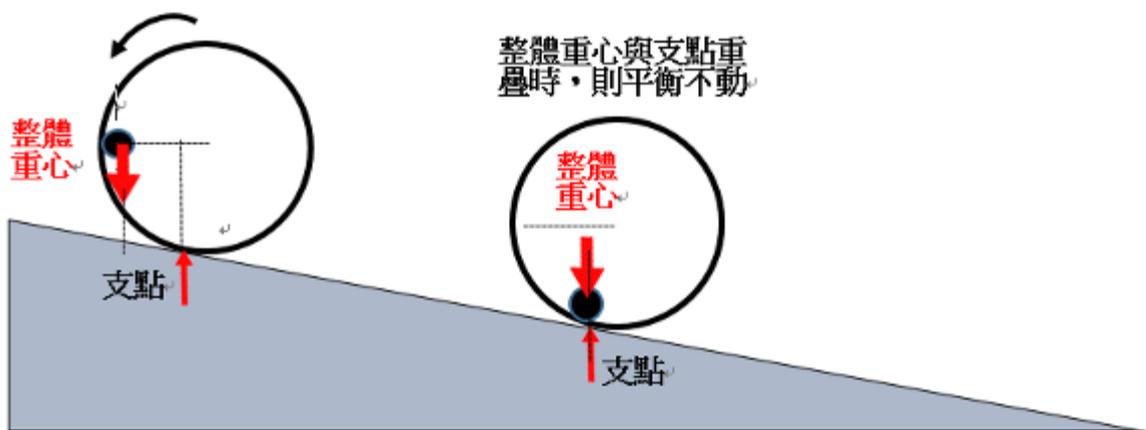
(三)重量集中在後方，會先往後大約滾了 1/4 圈，然後前後來回搖動後停止。

(四)重量集中在前方，會先往前大約滾了半圈，然後前後來回搖動後停止。

【說明】：當螺絲帽不均勻分布於圓柱周圍時，此時整體重心將較為靠近螺絲帽。當螺絲帽在後方，與支點位置產生的力矩，會使圓柱體逆時針滾動。當整體重心與支點呈一直線時，此時會靜止不動。

【圖 12】

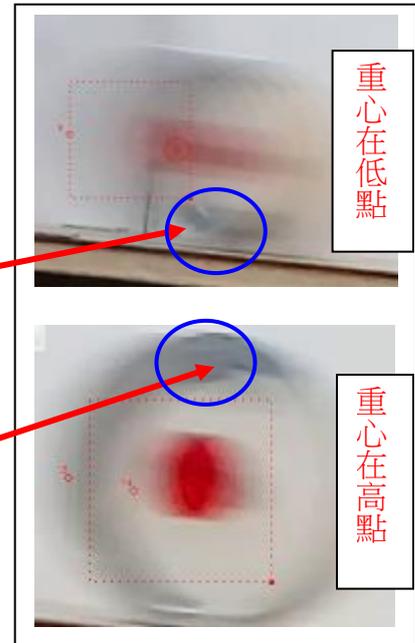
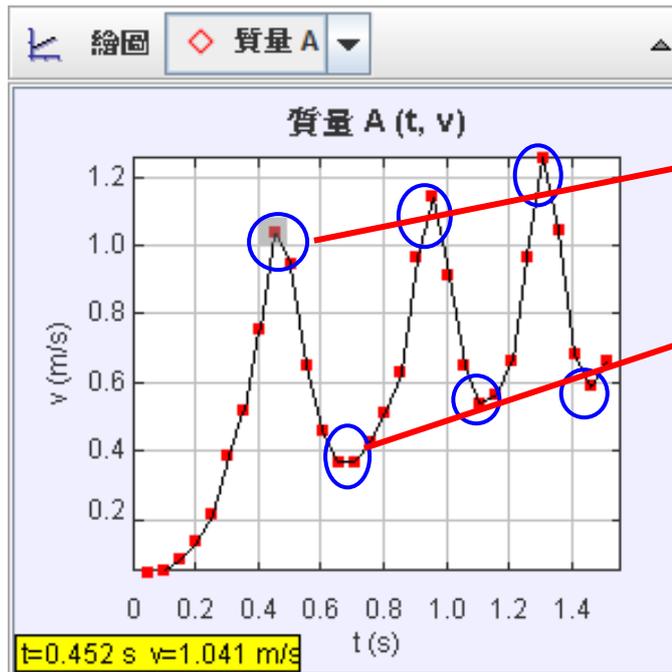
當螺絲帽在後方，與支點位置產生的力矩，會使圓柱體逆時針滾動。



(五)重量集中在上方，滾動時，會有加速、減速，再加速的現象。重心轉到高點時，速度降至最低，重心轉到低點時，速度升至最高。

【說明】：當螺絲帽的位置轉到支點右邊時，此時產生的負力矩會使圓柱體順時針加速滾動，當螺絲帽的位置轉到支點左邊時，此時產生的正力矩會抵消負力矩，使速度變慢。所以會產生加速減速的現象。

【圖 13】重量集中在上方的 v-t 圖



二、重量不同對滾動影響的探討:

(一) 重量並非決定滾動快慢的絕對因素。

【說明】：例如圓柱體裝了半滿黏稠液體，重量變重，滾動速度反而比空瓶慢。

(二)在斜坡實驗中(p9)，可以觀察到，不管重量分布在圓柱體的軸心或在圓周，重量較重，滾動都會較快。但差距並不明顯。

(三)在 U 型坡上，以軸心放置 3 顆螺絲帽和軸心 12 顆螺絲帽做比較

1.重量重的滾得快

2.重量輕的滾動總時間較長

3.兩者滾動的總距離相近，差距並不明顯。

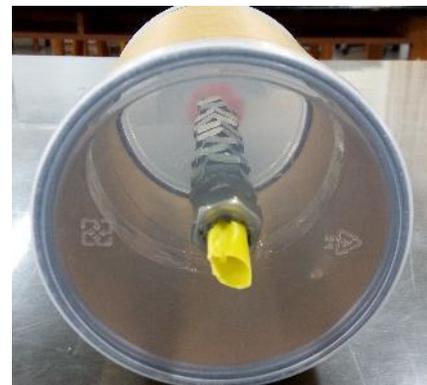
【說明】：

1. 在 U 型坡的實驗中，第一趟距離和所花的時間，可以觀察到軸心 12 顆螺絲帽滾動得較快。
2. 就位移距離來看，可以觀察到，重量重的在第九趟前位移距離長，重量輕的在第九趟後位移距離長，兩者位移總距離差距不大。
3. 另外還可以觀察到，不管重量輕或重的，每趟來回的時間都是相近的。也就是不管從哪個高度滾下，來回一趟的時間都是相近的。

【圖 14】軸心 3 顆:滾得久

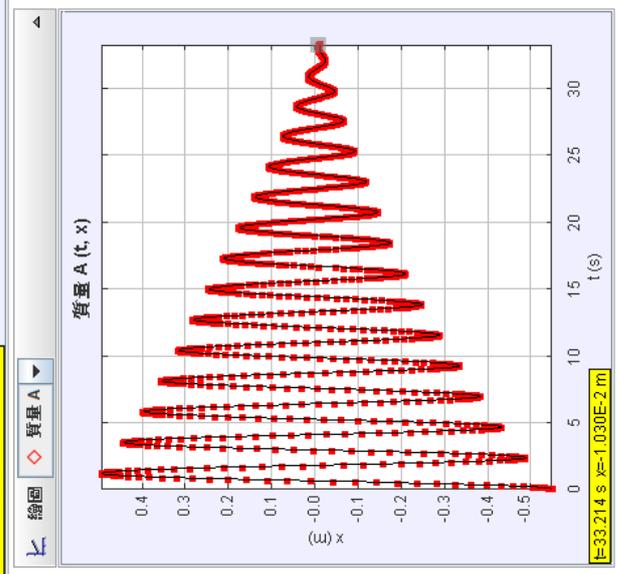
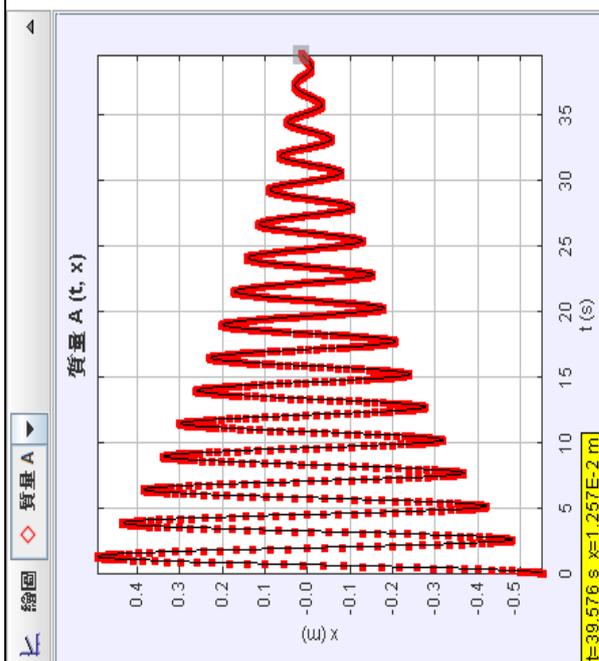


軸心 12 顆:滾得快



【圖 15】軸心 3 顆

軸心 12 顆:



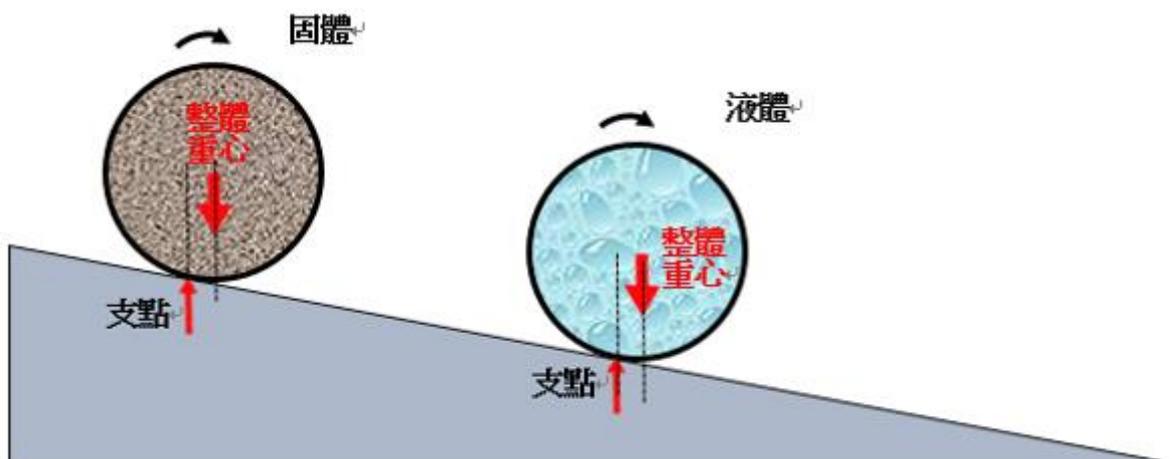
	【軸心 3 顆】在 X 軸上位移		【軸心 12 顆】在 X 軸上位移	
	距離(公分)	時間(秒)	距離(公分)	時間(秒)
第 1 趟來回	202.5	2.612	203.5	2.344
第 2 趟來回	177.4	2.544	181.5	2.276
第 3 趟來回	155.9	2.511	161.8	2.311
第 4 趟來回	136.5	2.545	143.6	2.276
第 5 趟來回	119.4	2.511	126.4	2.311
第 6 趟來回	106.5	2.478	110.6	2.276
第 7 趟來回	90.7	2.511	95.7	2.277
第 8 趟來回	78.8	2.545	81.2	2.31
第 9 趟來回	67.4	2.544	67.6	2.311
第 10 趟來回	56.6	2.578	54.5	2.276
第 11 趟來回	46.3	2.578	42.6	2.244
第 12 趟來回	36.4	2.578	30.8	2.31
第 13 趟來回	26.6	2.545	19.6	2.176
第 14 趟來回	18.4	2.612	7.6	3.516(到結束)
第 15 趟來回到結束	9.3	3.884		
加總	1328.7	39.576	1327	33.214

三、內部裝固體的情形探討:

(一)圓柱體內裝滿不同固體都可以滾動。

【說明】：若圓柱體內填滿內容物，不論內容物為何，整體重心將常態保持於圓柱中心點，與支點位置產生的力矩，會使圓柱體持續順時針向下滾動

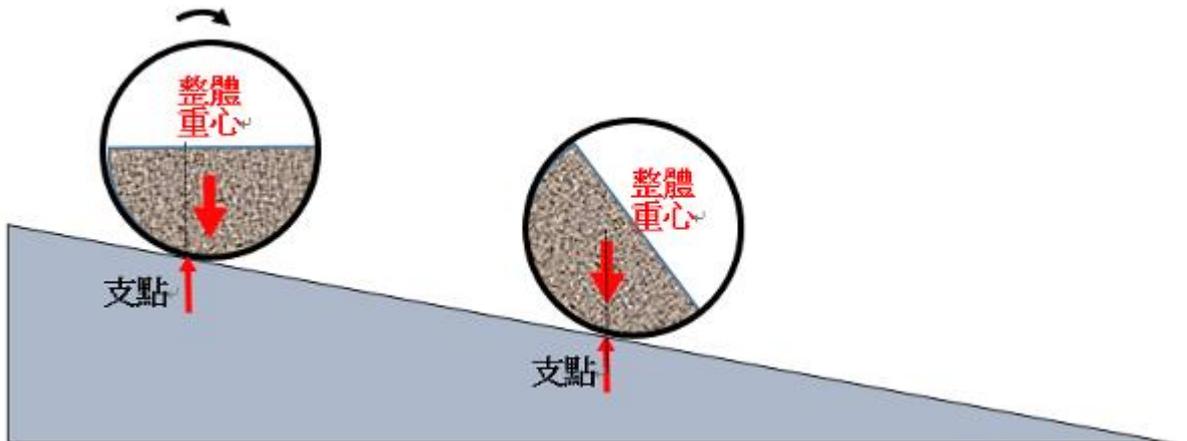
【圖 16】



(二)裝半滿固體在 10 度斜坡上，只能輕微搖動後停止。

【說明】:當斜坡角度較小時，無法造成圓柱體內填半滿的內容物移動，此時重心會隨滾動而改變，當內容物隨著滾動，正負力矩兩股力消長會造成圓柱體搖晃，最後當整體重心與支點成一直線時，將靜止不滾動

【圖 17】



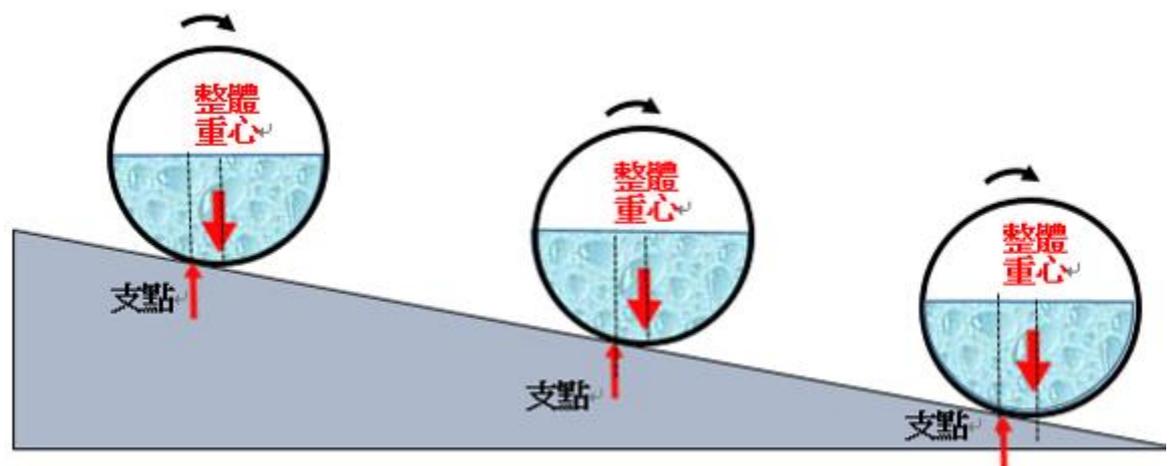
四、內部裝液體的情形探討:

(一)圓柱體內部裝滿不同液體都可以滾動。如前頁【圖 16】

(二)裝半滿的液體時，也可以滾動。如【圖 18】

【說明】:若圓柱體內裝半滿易流動之內容物(如：水)，在滾動過程中，因內容物容易流動，整體重心將常態與支點位置產生的力矩，會使圓柱體持續順時針向下滾動。

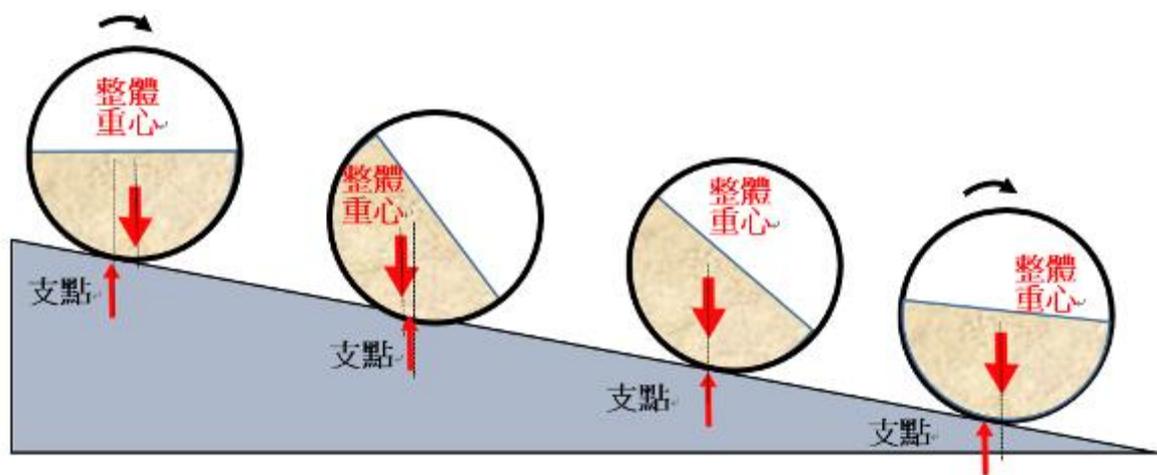
【圖 18】



(三)但是內部液體較黏稠時，會出現滾一下、停一下、再滾，滾動極慢的現象。

【說明】:若圓柱體內裝半滿黏稠不易流動之內容物(如：沐浴乳)，整體重心在支點右邊，圓柱體開始滾動。當黏稠液體被快速帶動到左邊，整體重心在支點左邊，造成煞車。當黏稠液體慢慢向下流動，整體重心在支點上時，此時圓柱體靜止不動。黏稠液體繼續慢慢向下流動，整體重心又在在支點右邊，圓柱體又開始滾動。

【圖 19】



五、內部裝液體加固體的情形探討:

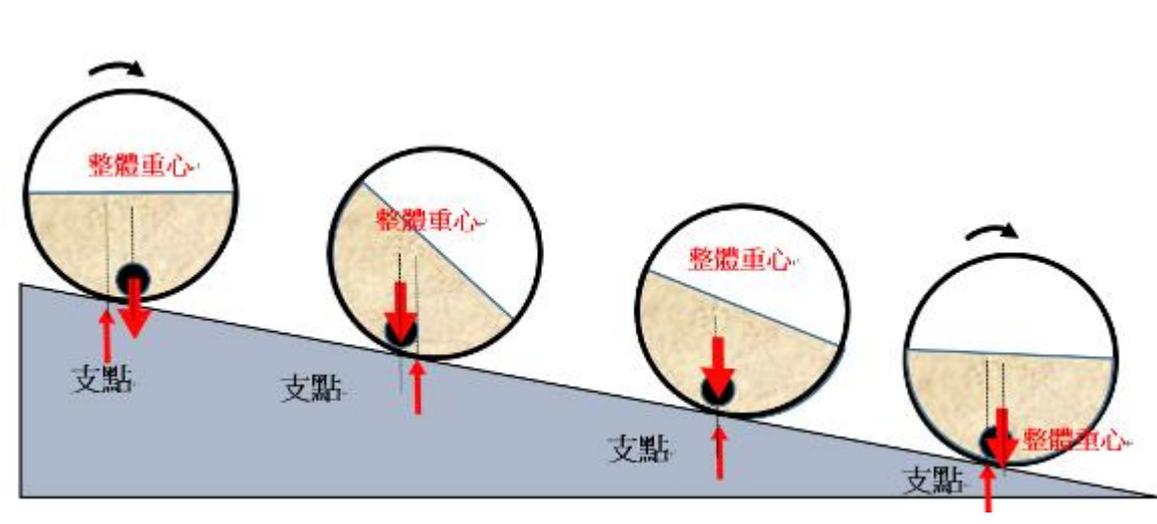
(一)半滿液體內加入彈珠，滾動變慢。

(二)加入的彈珠較多，滾動得較慢。

(三)黏稠液體加入彈珠後，除了出現滾一下、停一下、再滾的現象，滾動也變得較為緩慢。

【說明】:若圓柱體內裝半滿黏稠液體加彈珠，此時整體重心會因加入彈珠，而造成整體重心受彈珠影響。因彈珠在黏稠液體中移動速度慢，整體重心改變也會變得較為緩慢，整個滾動過程會停停走走，變得相當緩慢。

【圖 20】



六、斜坡角度對滾動的影響探討:

(一)斜坡角度較大，滾動較快，但角度太大時，會出現滑動現象。

(二)半瓶綠豆、半瓶彈珠在 10 度斜坡無法滾動，只能輕微搖動，在 20 度、30 度斜坡時是可以滾動的。【圖 21】

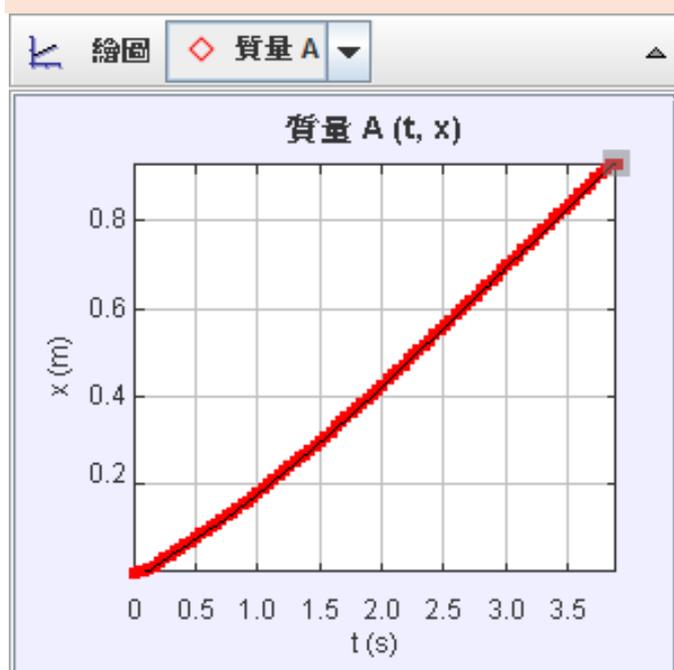
(三)半瓶鹽巴在 10 度、20 度斜坡無法滾動，只能輕微搖動。在 30 度斜坡，可以順利滾動。【圖 22】

(四)沐浴乳加入 4 顆彈珠，在 20 度和 30 度斜坡時，沒有 10 度斜坡的緩慢滾動現象【圖 23】

【圖 21】半瓶綠豆

					
0 秒	0.293 秒	0.335 秒	0.337 秒	0.419 秒	0.460 秒
					
0.502 秒	0.544 秒	0.586 秒	1.507 秒	2.470 秒	3.600 秒

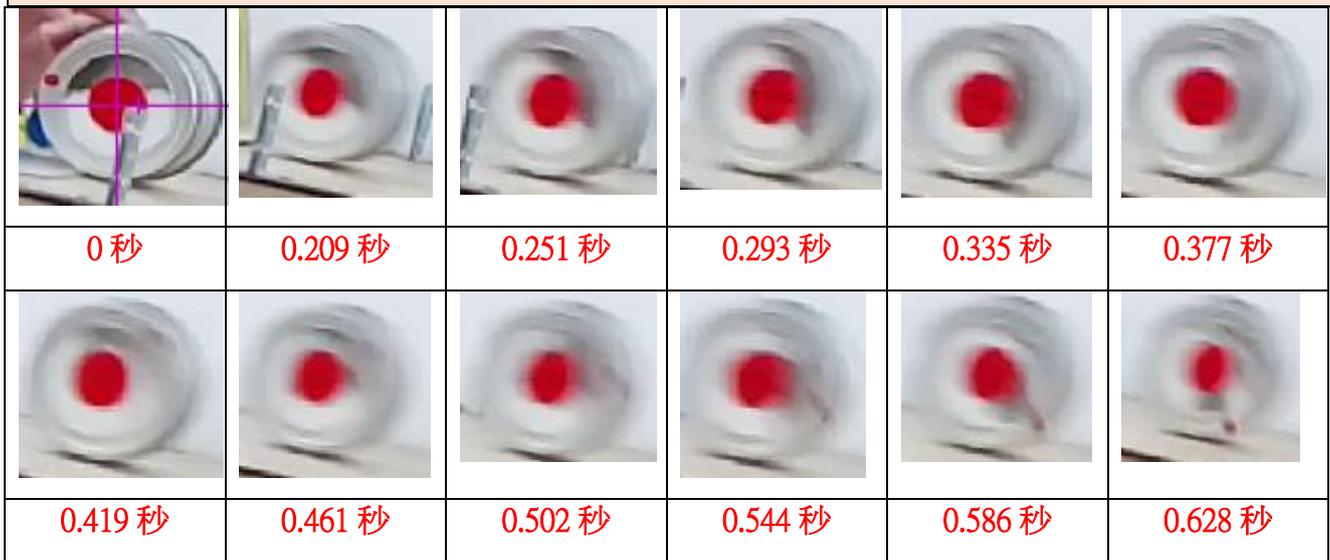
20 度斜坡/半瓶綠豆 x-t 圖



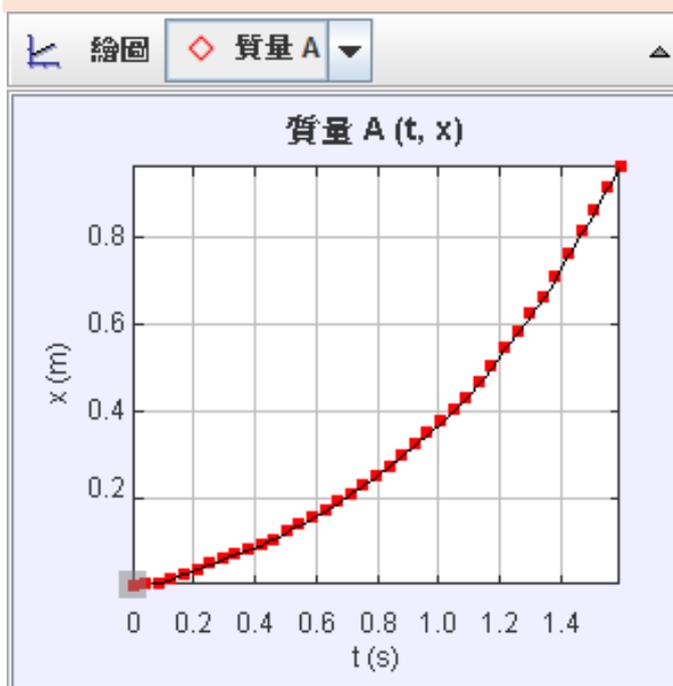
【說明】

在 20 度斜坡上，半滿綠豆重心與支點位置間產生的力矩，能使圓柱體滾動起來。在約 0.293 秒時，後方的綠豆開始往前滾動，導致整體重心能與支點位置持續產生力矩，可使圓柱體持續向下滾動至終點。

【圖 22】半瓶鹽巴



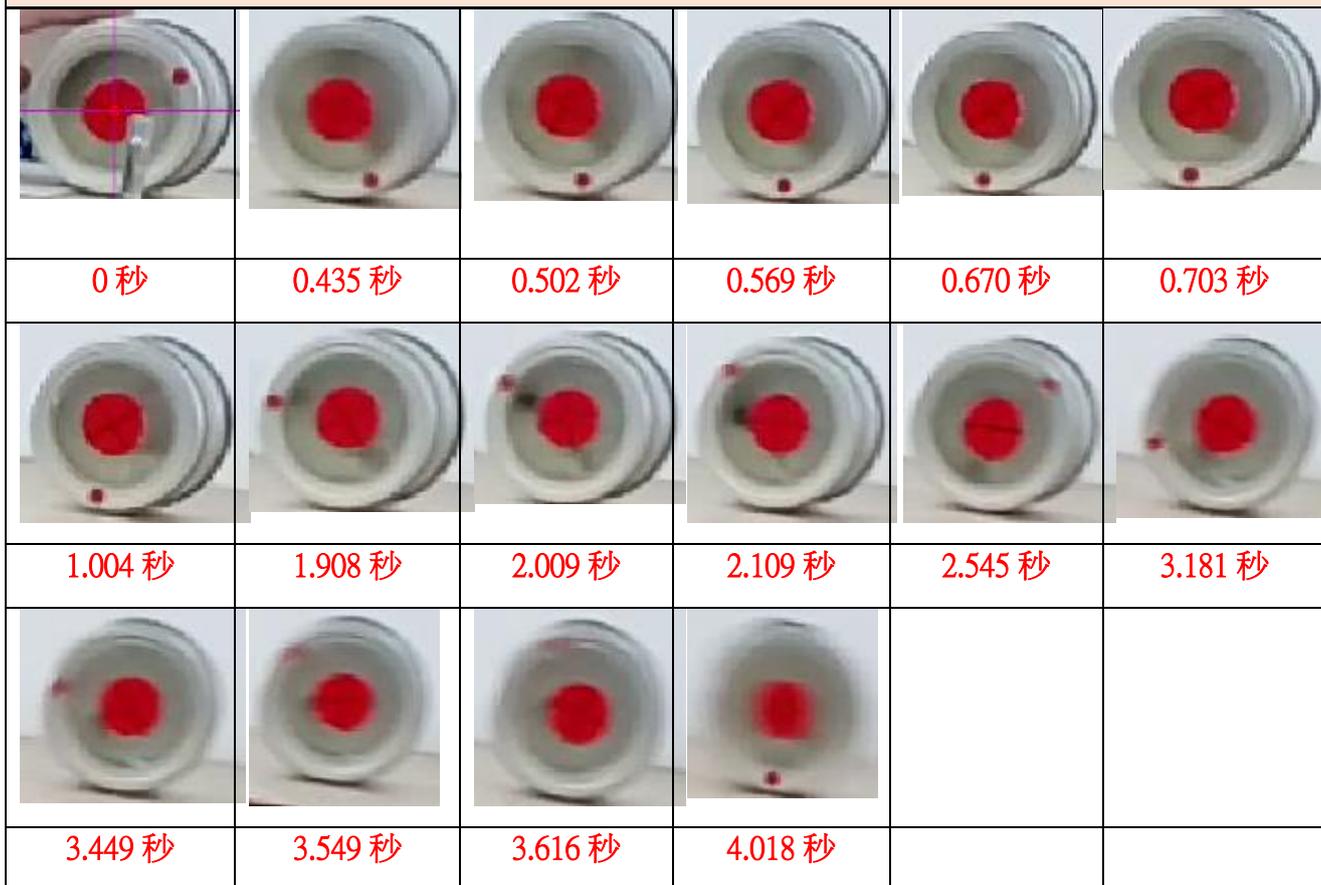
30 度斜坡/半瓶鹽巴 x-t 圖



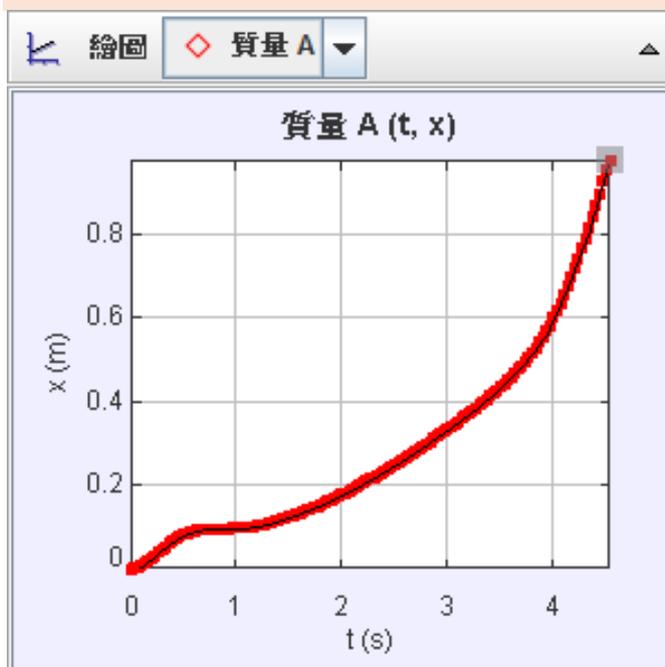
【說明】

1. 在 10 度、20 度斜坡時，無法滾動，都是輕微搖動後靜止。
2. 在 30 度斜坡上，半滿鹽巴重心與支點位置間產生的力矩，能使圓柱體滾動起來。在約 0.209 秒時，後方的鹽巴往順時針方向翻動、崩落，導致整體重心能與支點位置持續產生力矩，可使圓柱體持續向下滾動至終點。

【圖 23】半瓶沐浴乳加 4 顆彈珠



20 度斜坡/半瓶沐浴乳加 4 顆彈珠 x-t



【說明】

1. 沐浴乳加入 4 顆彈珠，在 20 度和 30 度斜坡時，沒有 10 度斜坡時的緩慢滾動現象。
2. 0.703~1.004 秒出現煞車、不滾動的現象，此時內部的正負力矩達到平衡，2.009 秒可看到彈珠被沐浴乳推至後方，慢慢下沉後，和沐浴乳呈現順時針翻轉的現象，柱體滾動速度也越來越快。

柒、結論

在本實驗中，我們得知以下結果：

一、圓柱體的內部重量相同，分布位置不同時，對滾動的方向、快慢、時間、距離都有影響。

(一)重心分布位置離軸心越遠，滾動所需的力矩越大，滾動速度會越慢。所以重心集中在圓周比集中在軸心的滾動得慢。

(二)重心集中在圓周比集中在軸心滾動的時間長，總距離也較遠。

(三)當重心集中在前方或後方時，與支點位置產生的力矩，會影響圓柱體轉動方向。若整體重心與支點呈一直線時，此時會靜止不動。

(四)若重心集中在上方，會使圓柱體滾動產生加速、減速的不等速現象。

二、重量對圓柱體滾動的影響：

(一)重量不是決定滾動快慢的絕對因素。

(二)在斜坡上，不管重量分布在圓柱體的軸心或在圓周，重量較重，滾動都會較快。但差距不明顯。

(三)在 U 型坡上，以軸心放置 3 顆螺絲帽和軸心 12 顆螺絲帽做比較，重量重的滾得快，滾動時間較短，兩者滾動的總距離相近，差距並不明顯。

三、圓柱體的內部裝入不同固體及液體，能否滾動取決於重心位置與支點是否產生力矩。

(一)裝全滿的固體或液體，不論內容物為何，整體重心將常態保持於圓柱中心點，與支點位置產生的力矩，會使圓柱體持續向下滾動。

(二)裝半滿固體在坡度角度較小時，內部固體集中在下方，不發生滾動或滑動情形時，圓柱體無法滾動，只能輕微搖動。當坡度角度較大，內部固體產生滑動或滾動時，此時重心位置會改變，與支點位置產生的力矩，會使圓柱體持續滾動直至終點。

(三)圓柱體內部裝入半滿黏稠液體，因液體流動速度緩慢，使得重心位置亦緩慢改變，與支點位置產生的力矩，可使圓柱體滾動，但滾動速度也變得緩慢。

四、圓柱體內部裝入半滿黏稠液體加彈珠，重心位置移動因彈珠變得更慢，會出現相當緩慢的滾一下、停一下、再滾的現象，但在坡度角度變大時，內容物則會隨著圓柱體的滾動，呈現翻轉的現象，圓柱體滾動速度也會變快。

捌、參考資料及其他

- 一、誰比較快?(斜面運動篇)【中大科教】
- 二、物理演示實驗—質量分布對轉動慣量的影響【中央大學】
- 三、轉動詭論【Fun 科學】
- 四、哪一個滾動得快?影響圓柱體在斜面上滾動快慢變因的探討【第 27 屆科展】

【評語】 080117

本作品在探討圓柱體沿斜坡滾動，藉著質量排列與 tracker 分析得知，滾動快慢與總重量無絕對關係，而與重量分佈(亦即轉動慣量)有關。實驗能考慮到各種變因對圓柱體滾動的影響，符合科學方法，得到的結果也可以合理解釋所觀察到的現象，作品完整周慮。但可再增加創新巧思之處，並將本作品最大的研究價值或實用性加以書面說明會更佳。

摘要

本實驗在探討不同變因對圓柱體滾動的影響，實驗結果得知，圓柱體內部重量與滾動快慢沒有絕對關係，而圓柱體內部重量分布位置不同，對滾動的方向、快慢及形式則有相當影響。重量相同時，重量分布在圓周比分布在軸心的滾得慢，但滾得久，滾得遠。而圓柱體能否滾動與整體重心位置和支點間是否產生力矩有關。若裝入半滿內容物，此時圓柱體是否滾動，則要考慮內容物是否移動，造成整體重心改變和支點是否產生轉動的力矩。裝半滿黏稠液體加入彈珠，會使重心位置緩慢改變，滾動速度也變得極為緩慢，但在坡度角度變大時，內容物則會隨著圓柱體的滾動，呈現翻轉的現象，圓柱體滾動速度也會變快。

研究目的

- 一、圓柱體的內部重量分布位置不同，對滾動有什麼影響？
- 二、圓柱體的重量不同，對滾動有什麼影響？
- 三、圓柱體的內部裝入不同固體，對滾動有什麼影響？
- 四、圓柱體的內部裝入不同液體，對滾動有什麼影響？
- 五、圓柱體的內部裝入不同固體和液體，對滾動有什麼影響？
- 六、斜坡角度大小，對圓柱體滾動有什麼影響？

前置實驗

- 一、我們先做了幾種物品的滾動測試，例如電池、護唇膏、藥罐和雙面膠帶。
- 二、接下來，我們模擬網路上看到的影片，準備兩種大小的寶特瓶，做了四種情況的測試，分別是大空(大寶特瓶不裝)、小空、大滿(大寶特瓶裝滿水)、小滿，測試滾動所需的時間。



我們的發現

- 一、有些物品是無法順利直線滾動的，例如電池、護唇膏、藥罐。有些物品雖然比較重，但滾動並沒有比較快。
- 二、大空和小空滾動所花的時間差距很小，而大滿和小滿的重量雖然差了3倍多，但滾動所花的時間差距也很小。從實驗我們得知，重量可能不是影響滾動快慢的唯一因素。

【研究一】圓柱體的內部重量分布位置不同，對滾動有什麼影響？

操作方法

我們以紙罐做實驗，紙罐直徑10.4cm，長度15cm。放入12顆螺絲帽，改變螺絲帽位置，造成內部重量分布不同，觀察在斜坡的滾動情形。如【圖2-1~2-6】



實驗一：重量集中在軸心vs圓周

除了用斜坡比較滾動快慢，我們還想了解兩者能滾多久和滾多遠。一開始先在地面滾動，發現地面並非水平狀態，造成實驗誤差較大。後來利用U型坡道，同一高度放下，用tracker分析滾動到停止所花時間，及滾動距離。如【圖2-7~2-9】

實驗二：重量集中在上、下、前、後方

研究結果

斜坡 長度 104cm 斜坡角度 10度		
滾動時間(秒)	軸心*12顆螺絲帽	圓周*12顆螺絲帽
第一次	1.875	2.176
第二次	1.875	2.143
第三次	1.842	2.176
第四次	1.842	2.176
第五次	1.841	2.109
平均	1.855	2.156

滾動時間(秒)	上方*12顆	下方*12顆	前方*12顆	後方*12顆
第一次	1.596	幾乎不滾動，輕微搖動後停止。	往前滾0.351秒，大約滾了半圈，之後前後來回搖動，約11秒後停止。	往後滾約1/4圈，然後前後搖動數次後停止。
第二次	1.596			
第三次	1.596			
第四次	1.596			
第五次	1.596			
平均	1.546			

U型坡道		
滾動到停止所花時間(秒)	軸心*12顆螺絲帽	圓周*12顆螺絲帽
第一次	34.620	40.212
第二次	33.683	38.538
第三次	35.223	39.576
第四次	33.750	41.719
第五次	35.491	42.087
平均	34.553	40.426

U型坡道		
X軸位移總距離(公分)	軸心*12顆螺絲帽	圓周*12顆螺絲帽
第一次	1355.9	1452.7
第二次	1297.7	1418.7
第三次	1375.1	1422.9
第四次	1325	1459.7
第五次	1584.4	1471.6
平均	1347.62	1445.12

【研究二】圓柱體的重量不同，對滾動有什麼影響？

操作方法

以加入螺絲帽的數量來改變圓柱體的重量，兩種分布位置分別做比較，如【圖3-1~3-6】。除了用斜坡比較滾動快慢，我們還想了解能滾多久和滾多遠。利用U型坡道，同一高度放下，用tracker分析滾動到停止所花時間，及滾動距離。

實驗一：軸心加重



實驗二：圓周加重



我們的發現

- 一、在斜坡上，不管重量分布是在圓柱體的軸心或圓周，重量較重，滾動都會較快。但差距並不明顯。
- 二、在U型坡道上，軸心3顆螺絲帽和軸心12顆螺絲帽比較，重量重的滾動總時間較短，兩者滾動總距離沒有明顯差距。

研究動機

我們在網路上看到了一段有趣的影片，影片中將不同大小的寶特瓶，裝入水及太白粉，放在斜坡上比較滾動快慢，我們原先猜測重量重就會滾得快，實驗結果竟與我們的預期有些不同。到底影響滾動快慢的因素有哪些呢？這引發了我們的好奇，決定展開我們的研究。

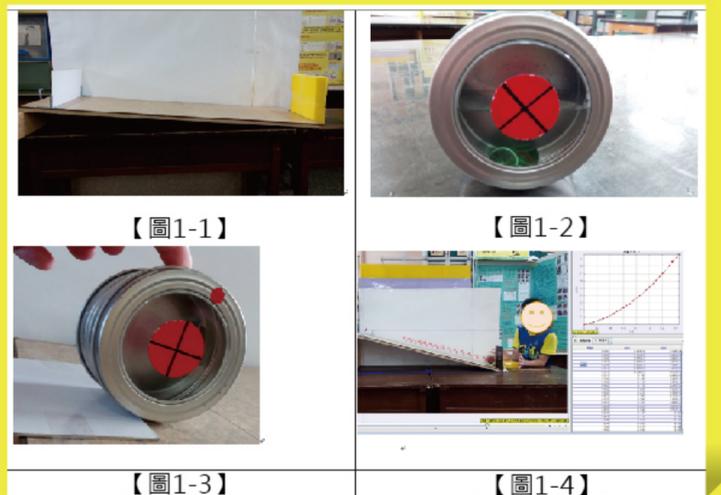
研究設備及器材

木板、L型鐵片、海綿、厚紙板、鐵罐、紙罐、彈珠、壓克力板、螺絲帽、吸管、紅色圓形貼紙、支架、手機、綠豆、沐浴乳、鹽巴。

研究過程、方法與結果

【研究方法】

- 一、我們利用木板模擬斜坡，斜坡長度104公分，角度10度。紙板位置代表起點，圓柱體後方與木板接觸點上，黏貼紙板，在終點處擺放直立的海綿。
- 二、在圓柱體的軸心位置貼上紅色貼紙，並標示十字記號。
- 三、利用手機錄下滾動的過程，當手鬆開，十字記號轉動時開始算時間，再利用軟體tracker來分析。



【圖1-1】

【圖1-2】

【圖1-3】

【圖1-4】

斜坡 長度 104cm 斜坡角度 10度		
滾動時間(秒)	軸心*12顆螺絲帽	圓周*12顆螺絲帽
第一次	1.875	2.176
第二次	1.875	2.143
第三次	1.842	2.176
第四次	1.842	2.176
第五次	1.841	2.109
平均	1.855	2.156

滾動時間(秒)	上方*12顆	下方*12顆	前方*12顆	後方*12顆
第一次	1.596	幾乎不滾動，輕微搖動後停止。	往前滾0.351秒，大約滾了半圈，之後前後來回搖動，約11秒後停止。	往後滾約1/4圈，然後前後搖動數次後停止。
第二次	1.596			
第三次	1.596			
第四次	1.596			
第五次	1.596			
平均	1.546			

U型坡道		
滾動到停止所花時間(秒)	軸心*12顆螺絲帽	圓周*12顆螺絲帽
第一次	34.620	40.212
第二次	33.683	38.538
第三次	35.223	39.576
第四次	33.750	41.719
第五次	35.491	42.087
平均	34.553	40.426

U型坡道		
X軸位移總距離(公分)	軸心*12顆螺絲帽	圓周*12顆螺絲帽
第一次	1355.9	1452.7
第二次	1297.7	1418.7
第三次	1375.1	1422.9
第四次	1325	1459.7
第五次	1584.4	1471.6
平均	1347.62	1445.12

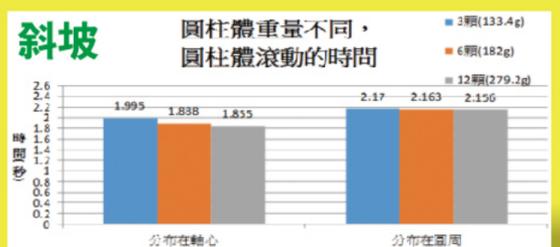
我們的發現

一、重量集中在軸心vs圓周

- (一)重量分布集中在軸心滾得快。
- (二)重量分布集中在圓周滾得久。
- (三)重量分布集中在圓周滾得遠。

二、重量集中在上、下、前、後

- (一)重量集中在上方，由上往下滾動時，會有加速、減速再加速的現象。
- (二)重量集中在下方幾乎不滾動，輕微搖動後停止。
- (三)重量集中在後方，會往後滾約1/4圈，然後前後搖動數次後停止。
- (四)重量集中在前方，會往前滾約半圈，然後前後搖動數次後停止。



U型坡道

+U型坡道		
滾動到停止所花時間(秒)	軸心*3顆螺絲帽	軸心*12顆螺絲帽
第一次	38.136	32.846
第二次	40.278	34.051
第三次	39.442	33.013
第四次	39.174	33.616
第五次	39.567	33.214
平均	39.502	33.348

U型坡道		
X軸位移總距離(公分)	軸心*3顆螺絲帽	軸心*12顆螺絲帽
第一次	1296.1	1307.8
第二次	1320	1326
第三次	1321.3	1316.3
第四次	1329.5	1314.7
第五次	1323.3	1325.4
平均	1318.04	1318.04

【研究三】圓柱體的內部裝入不同固體，對滾動有什麼影響？

●操作方法

以直徑7.8cm，長度5.5cm的鐵罐做實驗。我們在圓柱體內部加入不同固體，如綠豆、鹽巴、彈珠，再分別做比較。如【圖4-1~4-10】

實驗一：空瓶、半瓶綠豆、全瓶綠豆

實驗二：空瓶、半瓶鹽巴、全瓶鹽巴

實驗三：空瓶、兩顆彈珠、六顆彈珠、八顆彈珠、半瓶彈珠、全瓶彈珠

●研究結果

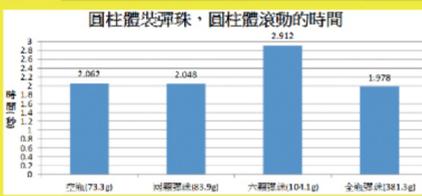
滾動時間(秒)	斜坡長度 104cm 斜坡角度(10度)		滾動時間(秒)
	空瓶(73.3g)	全瓶綠豆(283.3g)	
第一次	2.058	2.009	幾乎不滾動，往前轉0.435秒，之後前後來回輕微搖動後靜止。
第二次	2.058	2.010	
第三次	2.093	2.093	
第四次	2.051	2.009	
第五次	2.051	2.009	
平均	2.062	2.026	



●我們的發現

- 一、圓柱體的內部裝滿不同固體，如綠豆、鹽巴、彈珠，都滾得比空瓶還快，但差距並不明顯。
- 二、在10度斜坡時，裝半滿固體只能往前輕微轉動，之後前後來回輕微搖動後靜止。
- 三、在10度斜坡時，裝彈珠1~6顆可以滾動，再多就滾動不起來，甚至變成滑動，一直到全滿才能滾動。

滾動時間(秒)	空瓶(73.3g)		全瓶鹽巴(362.3g)		半瓶鹽巴(217.3g)	
	第一次	2.058	1.958	2.058	1.958	2.058
第二次	2.058	1.958	2.058	1.958	2.058	1.958
第三次	2.093	1.958	2.093	1.958	2.093	1.958
第四次	2.051	2.008	2.051	2.008	2.051	2.008
第五次	2.051	2.008	2.051	2.008	2.051	2.008
平均	2.062	1.978	2.062	1.978	2.062	1.978



【研究四】圓柱體的內部裝入不同液體，對滾動有什麼影響？

●操作方法

以直徑7.8cm，長度5.5cm的鐵罐做實驗。我們在圓柱體內部加入不同液體，如水、沐浴乳，再分別做比較。如【圖5-1~5-5】

實驗一：空瓶、半瓶水、全瓶水

滾動時間(秒)	斜坡長度 104cm 斜坡角度(10度)		滾動時間(秒)
	空瓶(73.3g)	半水(203.3g)	
第一次	2.058	1.884	1.800
第二次	2.058	1.884	1.758
第三次	2.093	1.884	1.758
第四次	2.051	1.884	1.800
第五次	2.051	1.884	1.758
平均	2.062	1.884	1.775



實驗二：空瓶、半瓶沐浴乳、全瓶沐浴乳

滾動時間(秒)	斜坡長度 104cm 斜坡角度(10度)		滾動時間(秒)
	空瓶(73.3g)	半沐浴乳(207.3g)	
第一次	2.058	56.723	2.008
第二次	2.058	56.372	1.958
第三次	2.093	56.623	1.958
第四次	2.051	56.673	1.958
第五次	2.051	56.422	1.958
平均	2.062	56.563	1.968



●我們的發現

- 一、圓柱體內部裝滿不同液體，如水、沐浴乳，都滾得比空瓶還快。
- 二、裝半滿液體也可以滾動。
- 三、裝半滿時，若內部液體較黏稠，會呈現滾動極慢的現象。

【研究五】圓柱體的內部裝入不同固體和液體，對滾動有什麼影響？

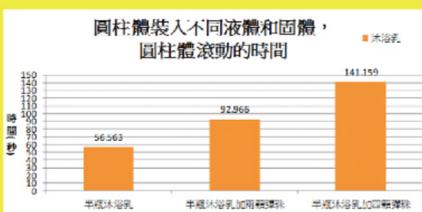
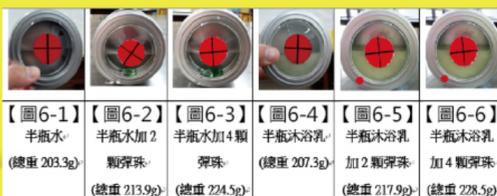
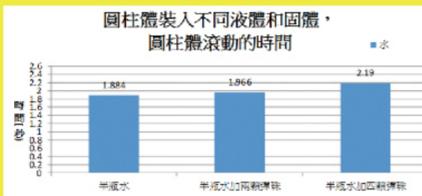
●操作方法

以直徑7.8cm，長度5.5cm的鐵罐做實驗。我們在圓柱體內部加入不同固體和液體，再分別做比較。如【圖6-1~6-6】

實驗一：半瓶水、半瓶水加2顆彈珠、半瓶水加4顆彈珠

實驗二：半瓶沐浴乳、半瓶沐浴乳加2顆彈珠、半瓶沐浴乳加4顆彈珠

●研究結果



●我們的發現

- 一、半瓶液體內裝入彈珠，滾動變慢了。
- 二、加入的彈珠較多時，滾動得較慢。
- 三、沐浴乳加入彈珠後，滾動變得極慢。

【研究六】斜坡角度大小，對圓柱體滾動有什麼影響？

●操作方法

以斜坡角度20度、30度測試滾動情形，再與10度時做比較。

實驗一：半瓶綠豆：斜坡角度10度、20度、30度

實驗二：半瓶鹽巴：斜坡角度10度、20度、30度

實驗三：半瓶彈珠：斜坡角度10度、20度、30度

實驗四：半瓶沐浴乳加4顆彈珠：斜坡角度10度、20度、30度

●研究結果

斜坡角度	半瓶綠豆 (178.3g)	半瓶彈珠 (225.9g)	半瓶鹽巴 (217.3g)	半瓶沐浴乳加4顆彈珠 (228.5g)
10度	輕微搖動後停 止。	輕微搖動後停 止。	輕微搖動後停 止。	滾動極為緩慢，141.159 秒滾至終點。
20度	3.893 秒滾至終 點。	2.182 秒滾至終 點。	輕微搖動後停 止。	無 10 度斜坡的緩慢現 象，4.554 秒滾至終點。
30度	1.757 秒滾至終 點。	1.456 秒滾至終 點。	1.591 秒滾至終 點。	無 10 度斜坡的緩慢現 象，1.549 秒滾至終點。

●我們的發現

- 一、半瓶綠豆、半瓶彈珠在10度斜坡無法滾動，只能輕微搖動。在20度和30度斜坡是可以滾動的。
- 二、半瓶鹽巴在10度、20度斜坡無法滾動，只能輕微搖動。在30度斜坡，可以順利滾動。
- 三、沐浴乳加入4顆彈珠，在20度和30度斜坡，無10度斜坡時的緩慢滾動現象。

討論

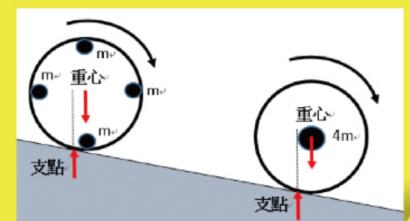
由實驗結果，我們做出以下討論：

一、當重量相同時，重量分布在不同位置的探討：

◆重量集中在軸心vs重量集中在圓周

(一)在軸心和圓周都可以滾動

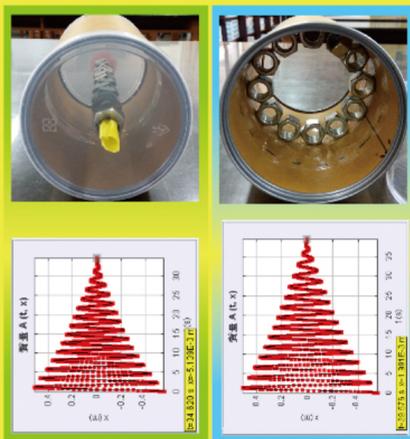
【說明】當螺絲帽均勻分布於軸心或圓周時，此時整體重心將常態保持於圓柱中心點，與支點位置產生的力矩，會使圓柱體持續向下滾動。



(二)重量集中在軸心位置，比集中在圓周的滾動得快

【說明】因為 $I=MR^2$ ，重量分布集中在軸心，轉動慣量較小，容易轉動；重量分布集中在圓周，轉動慣量較大，較不容易轉動。從斜坡實驗中或在U型坡的實驗中第一趟距離和所花的時間，都可以觀察到重量集中在軸心滾動得快。

軸心：滾得快 圓周：滾得久，滾得遠



(三)重量集中在圓周滾的總時間長

(四)重量集中在圓周滾的總距離遠

【說明】從tracker分析中可以觀察到，在U型坡上相同高度，同樣位能轉成動能，重量集中在圓周，在X軸上位移總距離比較長，能維持滾動的時間也較長。

	【軸心+12顆】在X軸上位移		【圓周+12顆】在X軸上位移	
	距離(公分)	時間(秒)	距離(公分)	時間(秒)
第1趟來回	205.8	2.344	206.5	2.679
第2趟來回	185.5	2.31	186.1	2.611
第3趟來回	165	2.31	166.6	2.612
第4趟來回	144.5	2.243	148.5	2.611
第5趟來回	126.2	2.244	132.1	2.545
第6趟來回	110.1	2.243	117.2	2.545
第7趟來回	95.9	2.243	102.6	2.544
第8趟來回	83.2	2.277	89.8	2.578
第9趟來回	71	2.243	77.5	2.578
第10趟來回	58.9	2.411	65.1	2.615
第11趟來回	46.2	2.344	52.9	2.679
第12趟來回	32.9	2.411	40.4	2.812
第13趟來回	20.2	2.377	28.1	2.947
第14趟來回結束	9.5	4.620	11.5	5.139
加總	1355.9	34.620	1422.9	39.576

◆重量集中在上、下、前、後方

(一)圓柱體的滾動方向、速度，與重心位置與支點產生的力矩有關。

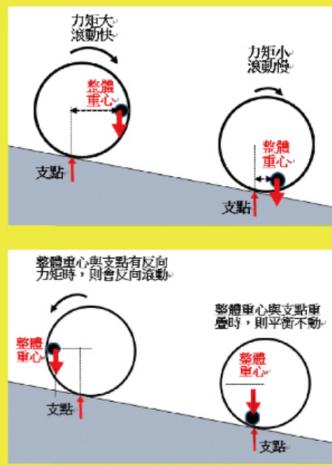
【說明】力矩大滾動快，力矩小滾動慢

(二)重量集中在下方時，幾乎不滾動，輕微搖動後停止。

(三)重量集中在後方，會先往後大約滾了1/4圈，然後前後來回搖動後停止。

(四)重量集中在前方，會先往前大約滾了半圈，然後前後來回搖動後停止。

【說明】當螺絲帽不均勻分布於圓柱周圍時，此時整體重心將較為靠近螺絲帽。當螺絲帽在後方，與支點位置產生的力矩，會使圓柱體逆時針滾動。當整體重心與支點呈一直線時，此時會靜止不動。

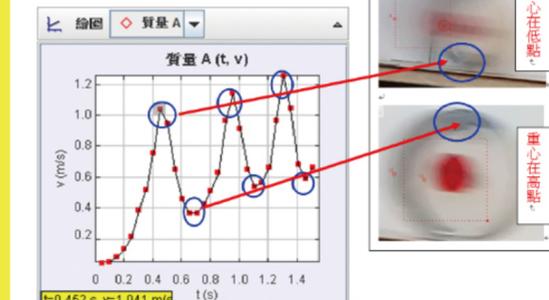


(五)重量集中在上方，滾動時，會有加速、減速，再加速的現象。重心轉到高點時，速度降至最低，重心轉到低點時，速度升至最高。

【說明】

當螺絲帽的位置轉到支點右邊時，此時產生的負力矩會使圓柱體順時針加速滾動，當螺絲帽的位置轉到支點左邊時，此時產生的正力矩會抵消負力矩，使速度變慢。所以會產生加速減速的現象。

【圖13】重量集中在上方的v-t圖



二、重量不同對滾動影響的探討:

(一) 重量並非決定滾動快慢的絕對因素

【說明】例如圓柱體裝了半滿黏稠液體，重量變重，滾動速度反而比空瓶慢。

(二)在斜坡實驗中，可以觀察到，不管重量分布在圓柱體的軸心或在圓周，重量較重，滾動都會較快，但差距並不明顯。

(三)在U型坡上，以軸心放置3顆螺絲帽和軸心12顆螺絲帽做比較

- 1.重量重的滾得快
- 2.重量輕的滾動總時間較長
- 3.兩者滾動的總距離相近，差距並不明顯

【說明】

- 1.在U型坡的實驗中，第一趟距離和所花的時間，可以觀察到軸心12顆螺絲帽滾動得較快。
- 2.就位移距離來看，可以觀察到，重量重的在第九趟前位移距離長，重量輕的在第九趟後位移距離長，兩者位移總距離差距不大。
- 3.另外還可以觀察到，不管重量輕或重的，每趟來回的時間都是相近的。也就是不管從哪個高度滾下，來回一趟的時間都是相近的。

三、內部裝固體的情形探討:

(一)圓柱體內裝滿不同固體都可以滾動

【說明】若圓柱體內填滿內容物，不論內容物為何，整體重心將常態保持於圓柱中心點，與支點位置產生的力矩，會使圓柱體持續順時針向下滾動。

(二)裝半滿固體在10度斜坡上，只能輕微搖動後停止

【說明】當斜坡角度較小時，無法造成圓柱體內填半滿的內容物移動，此時重心會隨滾動而改變，當內容物隨著滾動，正負力矩兩股力消長會造成圓柱體搖晃，最後當整體重心與支點呈一直線時，將靜止不滾動。

四、內部裝液體的情形探討:

(一)圓柱體內部裝滿不同液體都可以滾動

(二)裝半滿的液體時，也可以滾動

【說明】若圓柱體內裝半滿易流動之內容物(如：水)，在滾動過程中，因內容物容易流動，整體重心將常態與支點位置產生的力矩，會使圓柱體持續順時針向下滾動。

(三)但是內部液體較黏稠時，會出現滾一下、停一下、再滾，滾動極慢的現象

【說明】若圓柱體內裝半滿黏稠不易流動之內容物(如：沐浴乳)，整體重心在支點右邊，圓柱體開始滾動。當黏稠液體被快速帶動到左邊，整體重心在支點左邊，造成煞車。當黏稠液體慢慢向下流動，整體重心在支點上時，此時圓柱體靜止不動。黏稠液體繼續慢慢向下流動，整體重心又在支點右邊，圓柱體又開始滾動。

五、內部裝液體加固體的情形探討:

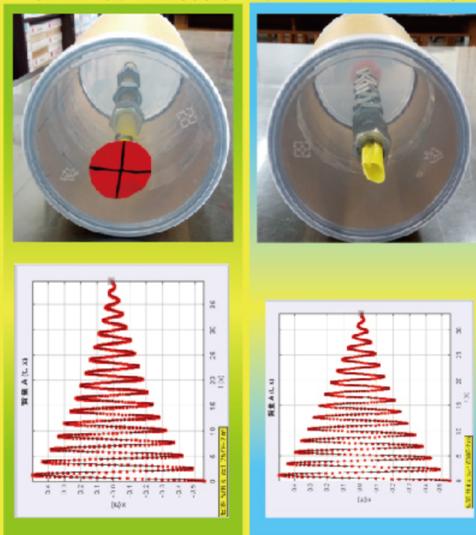
(一)半滿液體內加入彈珠，滾動變慢

(二)加入的彈珠較多，滾動得較慢

(三)黏稠液體加入彈珠後，除了出現滾一下、停一下、再滾的現象，滾動也變得較為緩慢。

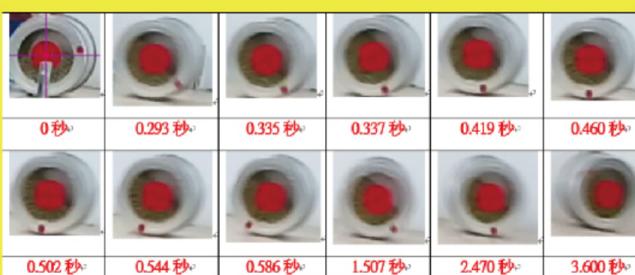
【說明】若圓柱體內裝半滿黏稠液體加彈珠，此時整體重心會因加入彈珠，而造成整體重心受彈珠影響。因彈珠在黏稠液體中移動速度慢，整體重心改變也會變得較為緩慢，整個滾動過程會停停走走，變得相當緩慢。

軸心3顆：滾得久 軸心12顆：滾得快



	【軸心3顆】在X軸上位移		【軸心12顆】在X軸上位移	
	距離(公分)	時間(秒)	距離(公分)	時間(秒)
第1趟來回	202.5	2.612	203.5	2.344
第2趟來回	177.4	2.544	181.5	2.276
第3趟來回	155.9	2.511	161.8	2.311
第4趟來回	136.5	2.545	143.6	2.276
第5趟來回	119.4	2.511	126.4	2.311
第6趟來回	106.5	2.478	110.6	2.276
第7趟來回	90.7	2.511	95.7	2.277
第8趟來回	78.8	2.545	81.2	2.31
第9趟來回	67.4	2.544	67.6	2.311
第10趟來回	56.6	2.578	54.5	2.276
第11趟來回	46.3	2.578	42.6	2.244
第12趟來回	36.4	2.578	30.8	2.31
第13趟來回	26.6	2.545	19.6	2.176
第14趟來回	18.4	2.612	7.5	3.516(到結束)
第15趟回到結束	9.3	3.884		
加總	1328.7	39.576	1327	33.214

六、斜坡角度對滾動影響的探討:



【說明】20度斜坡 / 半瓶綠豆

半滿綠豆重心與支點位置間產生的力矩，能使圓柱體滾動起來。

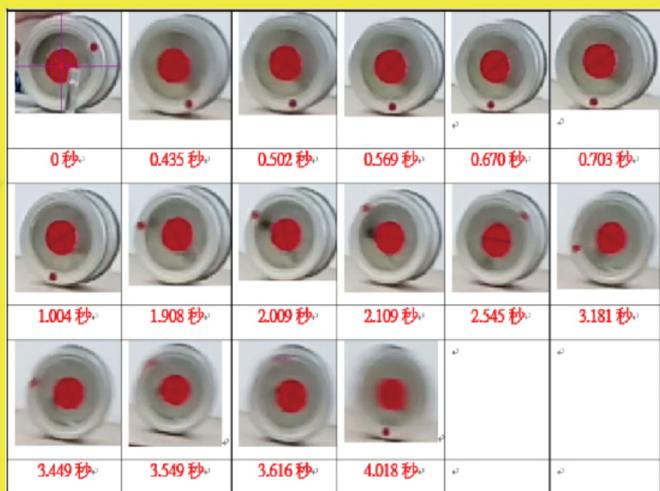
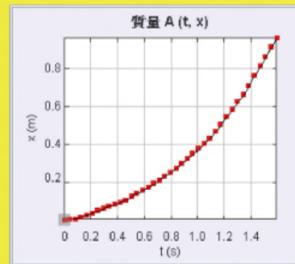
在約0.293秒時，後方的綠豆開始往前滾動，導致整體重心能與支點位置持續產生力矩，可使圓柱體持續向下滾動至終點。



【說明】30度斜坡 / 半瓶鹽巴

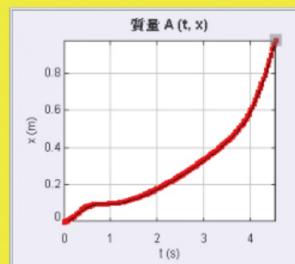
半滿鹽巴重心與支點位置間產生的力矩，能使圓柱體滾動起來

在約0.209秒時，後方的鹽巴往順時針方向翻動、崩落，導致整體重心能與支點位置持續產生力矩，可使圓柱體持續向下滾動至終點。



【說明】20度斜坡 / 半瓶沐浴乳加4顆彈珠

0.703~1.004秒出現煞車、不滾動的現象，此時內部的正負力矩達到平衡，2.009秒可看到彈珠被沐浴乳推至後方，慢慢下沉後，和沐浴乳呈現順時針翻轉的現象，柱體滾動速度也越來越快。



結論

圓柱體的重量分布位置，對滾動的方向、快慢及形式有明顯影響，重量分布在圓周比分布在軸心的滾得慢，且滾得久，滾得遠；若重量集中在上方，會使圓柱體滾動產生加速、減速的不等速運動現象。反觀圓柱體的重量本身與滾動快慢沒有絕對關係，能否產生淨力矩才是決定快慢的原因，當我們在半滿黏稠液體加入彈珠時，因為重心位置緩慢改變，使得滾動速度也變得極為緩慢。

如果實驗的坡度角度變大時，填充物則會隨著圓柱體的滾動，呈現翻轉的現象，圓柱體滾動速度也會變快。最後在U型坡上，我們發現以軸心放置不同數量螺絲帽做比較，重量重的滾得快，滾動時間較短，而且得到了兩者滾動的總距離相近，差距並不明顯的有趣現象，未來工作將針對這些有趣的現象進行理論公式分析與推導，及延伸U型坡的實驗。