

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生活與應用科學科

030801

比薩斜塔與瓶子的約會

學校名稱：澎湖縣立澎南國民中學

作者： 國二 尹民丰 國二 陳育莉 國二 周美君 國二 陳家雯	指導老師： 張書銘 王瓊慧
---	---------------------

關鍵詞：重心、力矩、平衡

比薩斜塔與瓶子的約會

壹、摘要：

我們在Yahoo拍賣網無意間發現一個特別的「重力傾斜」酒架，雖然只是一根鋼管卻能完美站立，於是製作了許多不同規格的酒架和酒瓶去找出讓整體系統能夠達到平衡的原因，最後發現影響整個系統穩定因素與酒架的角度、酒架的切口、酒架的底面積大小及重心有關，而從中更學到槓桿定律的平衡原理。在研究當中意外發現編號9的酒架（酒架角度60°、切口角度120°）所形成的平衡系統姿態與網路「重力傾斜」酒架幾近相同，但因60度的酒架無法與裝滿水的啤酒瓶和紅酒瓶達成平衡系統。故取其長寬比做為依據，便可設計出符合「重力傾斜」酒架美感且又能達到穩定系統的酒架長度。

貳、研究動機：

有一天在 Yahoo 拍賣網閒逛時，無意間竟然發現一個特別的「重力傾斜」酒架，讓我讚嘆不已的設計傑作！在精準的設計下，一根簡單卻精緻的圓形鋼管，於特殊切口中放置一瓶紅酒，讓我得以見識到這看似失衡，實際卻又完美平衡的危險之美。因此也激起我的好奇心，而想進一步的了解與探討。於是約了三五好友告知這次負責科展的指導老師，在他的同意與認同下，開始了我們的研究之旅。

參、研究目的：

- 一、探討什麼原理使瓶子能夠站立。
- 二、探討瓶子能夠站立和角度及接觸面積有什麼關係。
- 三、設計出一個能夠符合視覺美感的酒架。

肆、研究設備及器材：

一、酒架資料：(原長 26 公分)

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
角度	15°	30°	45°	60°	75°	30°	30°	60°	60°	45°	45°	30°	45°	60°
切口角度	90°	90°	90°	90°	90°	60°	120°	60°	120°	60°	120°	90°	90°	90°
厚度(公分)	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	3.3	3.3	3.3
長度(公分)	17.0	21.8	23.6	24.6	25.4	21.8	21.8	24.6	24.6	23.6	23.6	21.8	23.6	24.6
高度(公分)	4.4	10.9	16.7	21.3	24.5	10.9	10.9	21.3	21.3	16.7	16.7	10.9	16.7	21.3
寬度(公分)	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7
底面積長度(公分)	6.2	4.8	3.4	2.8	2.5	4.8	4.8	2.8	2.8	3.4	3.4	6.6	4.7	3.8
底面積寬度(公分)	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7
底面積(平方公分)	53.9	41.8	29.5	24.1	21.6	41.8	41.8	24.1	24.1	29.5	29.5	57.4	40.6	33.2
重量(公克)	291.1	323.6	371.3	374.5	352.1	320.6	317.9	369.6	367.4	345.9	372.9	297.2	310.3	346.2

- 二、酒瓶：啤酒瓶（空瓶重 485.7 公克）、紅酒瓶（空瓶重 552.0 公克）。
- 三、其他器材設備：砝碼數個、電子磅秤、燒杯、量筒。



伍、研究過程、方法與結果：

一、研究一：什麼角度可以使酒架站立？

（一）實驗方法：

1. 製作及準備五種酒架（ 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° ；其為編號 1 至 5 號）及兩種酒瓶（紅酒瓶與啤酒瓶）。
2. 分別將兩種酒瓶（紅酒瓶與啤酒瓶）放入酒架看看是否能站立。

（二）酒架製作過程寫真：



（三）結果與分析：

1. 由研究一可得知酒架角度 15° 到 60° 均可以讓紅酒瓶和啤酒瓶站立，但 75° 度的酒架卻不能，如圖一所示。
2. 於實驗當中也發現當酒架角度越大，則酒瓶與酒架的平衡度越差。
3. 酒架能與酒瓶達到平衡與酒瓶內的含水量有關，例如 60° 度的酒架與裝滿水的紅酒瓶就不能達到平衡，如表一所示。
4. 經由小組討論後發現酒架平衡的原理似乎也 and 蹺蹺板的原理有關。

15°	30°	45°	60°	75°
				
可以站立	可以站立	可以站立	可以站立	不可以站立

15°	30°	45°	60°	75°
				
可以站立	可以站立	可以站立	可以站立	不可以站立

圖一

酒架編號		1	2	3	4	5
酒架角度		15°	30°	45°	60°	75°
酒瓶種類	紅酒瓶 (空瓶)	可以站立	可以站立	可以站立	可以站立	不可以站立
	紅酒瓶 (裝滿水)	可以站立	可以站立	可以站立	不可以站立	不可以站立
	啤酒瓶 (空瓶)	可以站立	可以站立	可以站立	可以站立	不可以站立
	啤酒瓶 (裝滿水)	可以站立	可以站立	可以站立	可以站立	不可以站立

表一

二、研究二：什麼角度可承受的重量最重？

(一) 實驗方法：

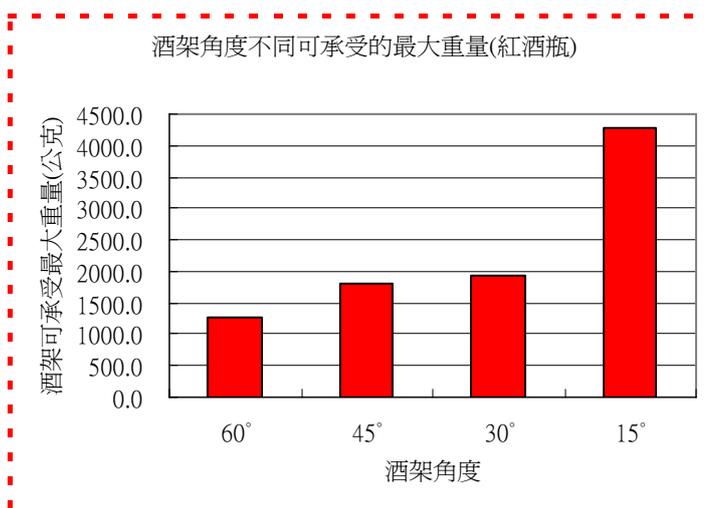
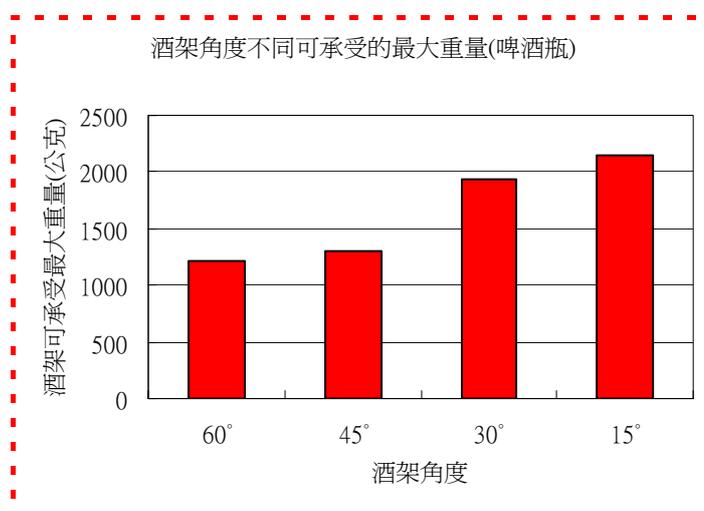
1. 製作及準備四種酒架（15°、30°、45°、60°；其為編號 1 至 4 號）及兩種酒瓶（紅酒瓶與啤酒瓶）。
2. 分別將兩種酒瓶（紅酒瓶與啤酒瓶）放入酒架並外加砝碼直到穩定系統瓦解。
3. 利用電子磅秤測量酒架及外加的砝碼總重量。

(二) 實驗數據：

實驗酒瓶：啤酒瓶				
編號	4	3	2	1
角度	60°	45°	30°	15°
空瓶重(公克)	485.7	485.7	485.7	485.7
水重(公克)	637	637	637	637
其他外力重(公克)	90.5	176.8	816.7	1021.9
總重(公克)	1213.2	1299.5	1939.4	2144.6

實驗酒瓶：紅酒瓶				
編號	4	3	2	1
角度	60°	45°	30°	15°
空瓶重(公克)	552	552	552	552
水重(公克)	650	798	798	798
其他外力重(公克)	78.0	464.2	584.4	2920.4
總重(公克)	1280.0	1814.2	1934.4	4270.4

(三) 實驗數值直條圖：



(四) 結果與分析：

- 1.由實驗數值直條圖可得知酒架角度越小所能承受的外力重量越重。
- 2.酒架所能支撐外力重量的範圍： $15^{\circ} > 30^{\circ} > 45^{\circ} > 60^{\circ}$ 。
- 3.可以讓酒架平衡的力不是固定的，而是一個有限的範圍，當角度越小小可

承受的範圍越大。

- 4.其同時也驗證了研究一所得到的酒架角度越大，則酒瓶與酒架的平衡度越差。
- 5.當外力過輕時發現會往酒架左端傾斜，而外力超過酒架可承受的範圍時會往酒瓶的右端傾斜。
- 6.經由小組討論更加確定整個系統平衡的原理和蹺蹺板的原理有關。

三、研究三：酒架上的切口與能夠承受外力重量關係。

(一) 實驗方法：

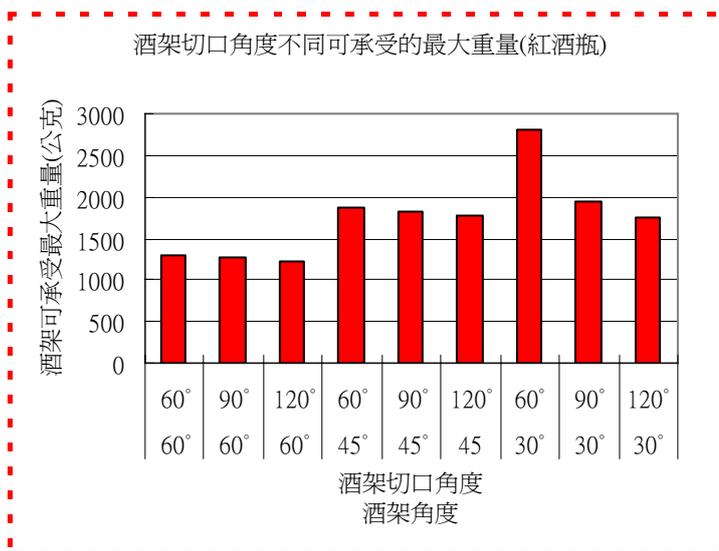
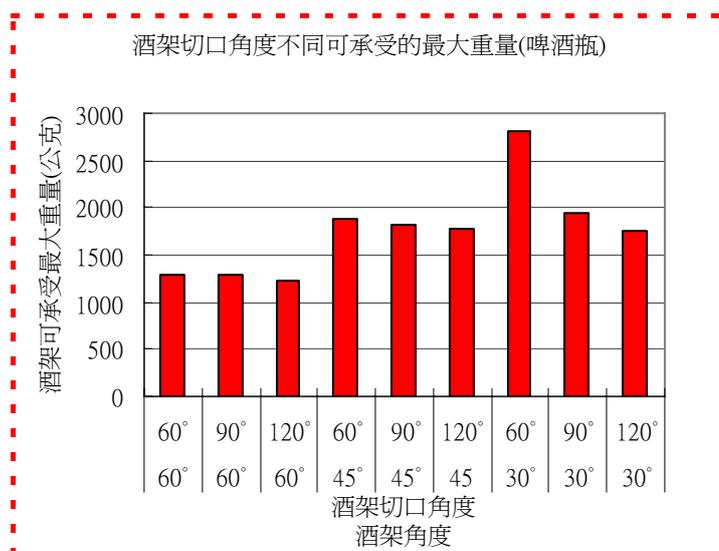
- 1.製作及準備九種酒架（30°的酒架 3 個切口分別為 60°、90°、120°；45°的酒架 3 個切口分別為 60°、90°、120°；60°的酒架 3 個切口分別為 60°、90°、120°；其為編號 2 至 4 號及編號 6 至 11 號）及兩種酒瓶（紅酒瓶與啤酒瓶）。
- 2.分別將兩種酒瓶（紅酒瓶與啤酒瓶）放入酒架並外加砝碼直到穩定系統瓦解。
- 3.利用電子磅秤測量酒架及外加的砝碼總重量。

(二) 實驗數據：

實驗酒瓶：啤酒瓶									
編號	10	4	11	8	3	9	6	2	7
酒架角度	60°	60°	60°	45°	45°	45	30°	30°	30°
切口角度	75°	90°	105°	75°	90°	105°	75°	90°	105°
空瓶重(公克)	485.7	485.7	485.7	485.7	485.7	485.7	485.7	485.7	485.7
水重(公克)	637	637	600	637	637	637	637	637	637
其他外力重(公克)	98.1	90.5	19.7	279.4	176.8	130.3	1098.4	816.7	419.2
總重(公克)	1220.8	1213.2	1105.4	1402.1	1299.5	1253.0	2221.1	1939.4	1541.9

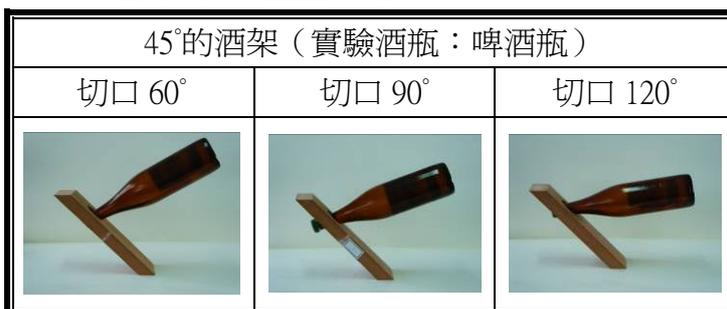
實驗酒瓶：紅酒瓶									
編號	10	4	11	8	3	9	6	2	7
酒架角度	60°	60°	60°	45°	45°	45	30°	30°	30°
切口角度	75°	90°	105°	75°	90°	105°	75°	90°	105°
空瓶重(公克)	552	552	552	552	552	552	552	552	552
水重(公克)	650	650	650	798	798	798	798	798	798
其他外力重(公克)	89.7	78	19.7	521.4	464.2	417	1455.1	584.4	401.8
總重(公克)	1291.7	1280.0	1221.7	1871.4	1814.2	1767.0	2805.1	1934.4	1751.8

(三) 實驗數值直條圖：



(四) 結果與分析：

- 1.由實驗數值直條圖可得知酒架切口角度越小所能承受的外力重量越重，也就是酒瓶放置後和酒架所成角度越小所能承受的外力越大，並發現其與重心應有關係。
- 2.酒架所能支撐外力重量的範圍：切口 60° > 切口 90° > 切口 120°。



- 3.由實驗中發現有下列幾組情況下無法使酒架與酒瓶達到平衡：
- (1) 60°的酒架於任何切口角度均無法和裝滿水的紅酒瓶達到平衡，其系統會向右傾斜。
 - (2) 60°的酒架於 120°切口角度無法和裝滿水的啤酒瓶達到平衡，其系統會向右傾斜。
 - (3) 30°的酒架於 60°切口角度無法和空瓶的啤酒瓶和紅酒瓶達到平衡，其系統會向左傾斜。
- 4.其中也發現切口越大越能使酒瓶呈水平狀態，而展現「重力傾斜」酒架的美感。

四、研究四：酒架的底面積大小與能夠承受外力重量關係。

(一) 實驗方法：

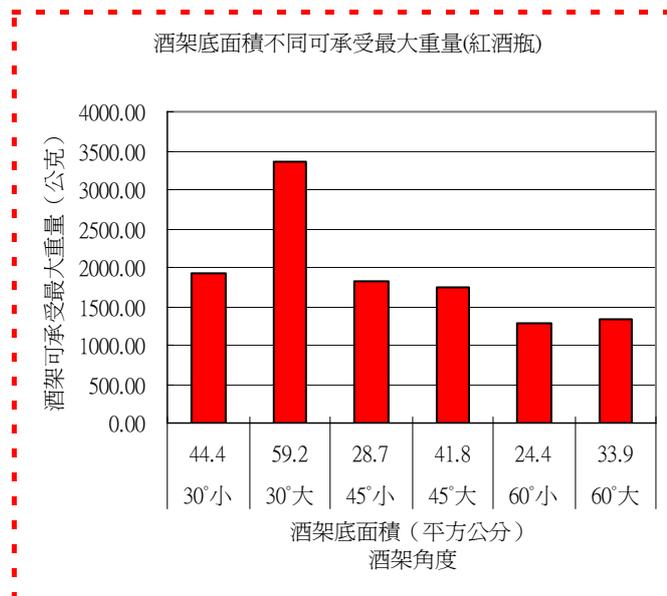
- 1.製作及準備六種酒架（30°的酒架 2 個底面積分別為 44.4 平方公分、59.2 平方公分；45°的酒架 2 個底面積分別為 28.7 平方公分、41.8 平方公分；60°的酒架 2 個底面積分別為 24.4 平方公分、33.9 平方公分；其為編號 2 至 4 號及編號 12 至 14 號）及兩種酒瓶（紅酒瓶與啤酒瓶）。
- 2.分別將兩種酒瓶（紅酒瓶與啤酒瓶）放入酒架並外加砝碼直到穩定系統瓦解。
- 3.利用電子磅秤測量酒架及外加的砝碼總重量。

(二) 實驗數據：

實驗酒瓶：啤酒瓶						
編號	2	12	3	13	4	14
角度	30°小	30°大	45°小	45°大	60°小	60°大
底面積(平方公分)	44.4	59.2	28.7	41.8	24.4	33.9
空瓶重(公克)	485.7	485.7	485.7	485.7	485.7	485.7
水重(公克)	637	637	637	637	637	637
其他外力重(公克)	816.7	1263.2	176.8	475.4	90.5	117.9
總重(公克)	1939.4	2385.9	1299.5	1598.1	1213.2	1240.6

實驗酒瓶：紅酒瓶						
編號	2	12	3	13	4	14
角度	30°小	30°大	45°小	45°大	60°小	60°大
底面積(平方公分)	44.4	59.2	28.7	41.8	24.4	33.9
空瓶重(公克)	552	552	552	552	552	552
水重(公克)	798	798	798	798	650	700
其他外力重(公克)	584.4	1999.7	462.2	406.1	78.0	78.0
總重(公克)	1934.4	3349.7	1812.2	1756.1	1280.0	1330.0

(三) 實驗數值直條圖：



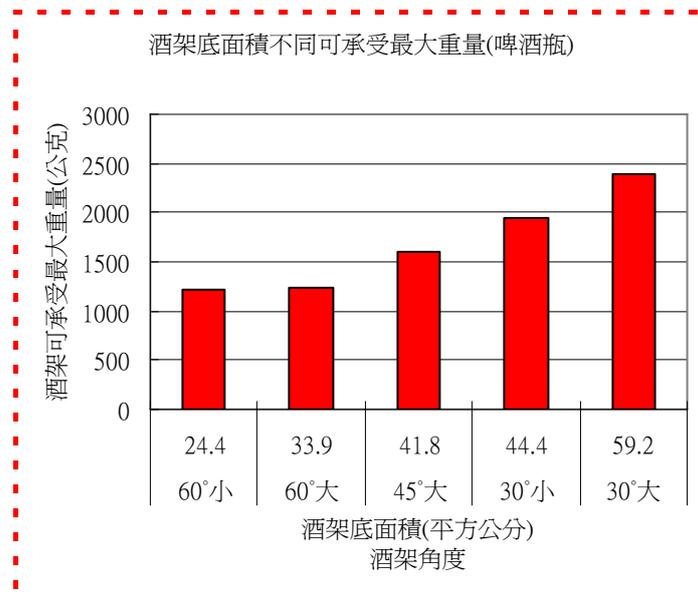
(四) 結果與分析：

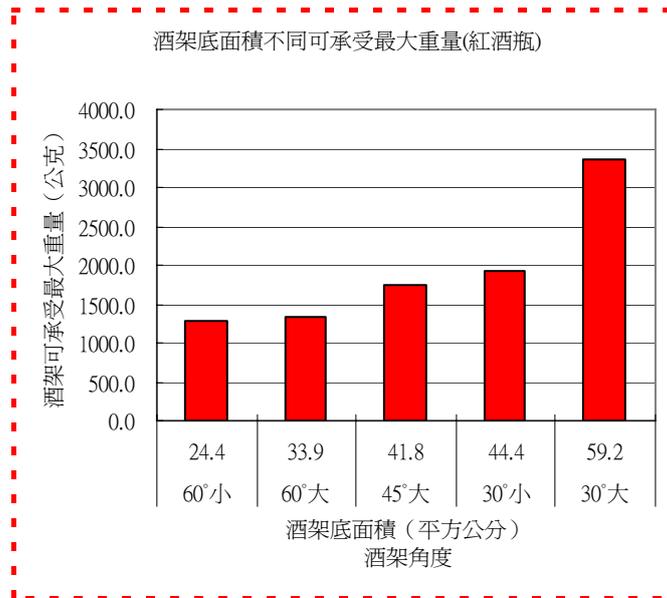
- 1.由實驗數值直條圖可得知酒架底面積越大所能承受的外力重量越重。
- 2.酒架所能支撐外力重量的範圍：
 - (1) 30°酒架：底面積 59.2 平方公分 > 底面積 44.4 平方公分。
 - (2) 45°酒架：底面積 41.8 平方公分 > 底面積 28.7 平方公分。
 - (3) 60°酒架：底面積 33.9 平方公分 > 底面積 24.4 平方公分。
- 3.其中可能 45°酒架底面積為 28.7 平方公分的重量 (371.3 公克) 遠大於 45°酒架底面積為 41.8 平方公分的重量 (310.3 公克)，而導致紅酒瓶的對照組造成底面積 41.8 平方公分承受的重量 < 底面積 28.7 平方公分承受的重量的情況。

實驗酒瓶：啤酒瓶			實驗酒瓶：紅酒瓶		
30°酒架	45°酒架	60°酒架	30°酒架	45°酒架	60°酒架
底面積 59.2 平方公分	底面積 41.8 平方公分	底面積 33.9 平方公分	底面積 59.2 平方公分	底面積 41.8 平方公分	底面積 33.9 平方公分
					
底面積 44.4 平方公分	底面積 28.7 平方公分	底面積 24.4 平方公分	底面積 44.4 平方公分	底面積 28.7 平方公分	底面積 24.4 平方公分
					

4.因 45°酒架（底面積為 28.7 平方公分）的重量遠大於 45°酒架（底面積為 41.8 平方公分）的重量，故將 45°酒架底面積為 28.7 平方公分的數值去除不做比較，並在不考慮酒架的角度由下列實驗數值直條圖也可發現酒架所能支撐外力重量的範圍為：

底面積 59.2 平方公分 > 底面積 44.4 平方公分 > 底面積 41.8 平方公分 > 底面積 33.9 平方公分 > 底面積 24.4 平方公分。





五、研究五：酒架的重心及槓桿原理的關係。

(一) 實驗方法：

1. 製作及準備四種酒架（15°、30°、45°、60°；其為編號 1 至 4 號）及兩種酒瓶（紅酒瓶與啤酒瓶）。
2. 運用高中物理的懸吊法（原理：任取兩點懸吊鉛垂線的交點，重心一定在鉛垂線上，否則會引起轉動。）求出編號 1 至 4 號酒架及酒瓶的重心並用粉筆標出重心位置。



3. 分別將兩種酒瓶【紅酒瓶（空瓶）與啤酒瓶（空瓶）】放入酒架，測量出酒架重心鉛垂線至地面一點到酒架底面積中心點的距離（D1）及酒架底面積中心點到酒瓶重心的距離（D2）。

(二) 實驗數據：

實驗酒瓶：啤酒瓶			
編號	4	3	2
角度	60°	45°	30°
F1 木重(公克)	374.5	371.3	323.6
F2 空瓶重(公克)	485.7	485.7	485.7
D1(公分)	5.7	8.5	8.7
D2(公分)	4.5	6.2	5.9
D1+ D2(公分)	10.2	14.7	14.6
F1 × D1(公克*公分)	2134.7	3156.1	2815.3
F2 × D2(公克*公分)	2185.7	3011.3	2865.6

實驗酒瓶：紅酒瓶			
編號	4	3	2
角度	60°	45°	30°
F1 木重(公克)	374.5	371.3	323.6
F2 空瓶重(公克)	552	552	552
D1(公分)	5.7	8.5	8.7
D2(公分)	4.0	5.9	5.0
D1+ D2(公分)	9.7	14.4	13.7
F1 × D1(公克*公分)	2134.7	3156.1	2815.3
F2 × D2(公克*公分)	2208.0	3256.8	2760.0

(三) 結果與分析：

- 1.由上述實驗數據可以驗證符合**槓桿原理** ($F1 \times D1 = F2 \times D2$)。
- 2.由一個平衡系統中可以找出一個平衡之點，其支點位於酒瓶架的底面積內，只要其平衡支點不要超出酒架底面積範圍，則會達到平衡系統。

六、研究六：如何做出一個能使整體系統符合美感的「重力傾斜」酒架？

(一) 由眾多酒架中發現當酒架 60 度時，可使酒瓶呈水平的美感，如下圖所示，但因 60 度無法與裝滿水的啤酒瓶和紅酒瓶達成平衡系統。故取其長寬比做為依據，計算酒瓶架較接近 50 度時所需的酒架長度。



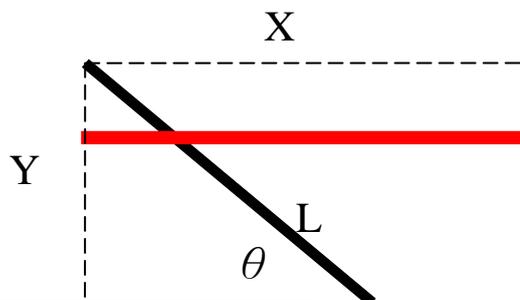
(二) 右圖的長：寬=1.4：1。

(三) 由測量可得知紅酒瓶的長度 315 公分，依據長 (X)：寬 (Y) = 1.4：1，假設取一酒架長度為 290 公分，由下列推算可得酒瓶架的角度應為 51 度。

$$\because X = 315 \text{ 公分。 而 } X : Y = 1.4 : 1。$$

$$\therefore Y = 225 \text{ 公分。 又因 } Y = L \sin \theta。$$

而因 $Y = 225$ 公分， $L = 290$ 公分代入 $Y = L \sin \theta$ ，可得酒瓶架角度為 51 度。



(四) 由上圖可知酒架切口角度與酒瓶是否達成水平有關，當酒架角度為 θ 時，若要使酒瓶呈水平狀態，則酒架切口應為 $180^\circ - \theta$ 。

(五) 由上述公式可推論角度在 45 至 55 度所需酒瓶架長度，方可使系統達平衡且符合「重力傾斜」酒架的美學，其推論如下表。

紅酒瓶長度 315 公分											
角度	45°	46°	47°	48°	49°	50°	51°	52°	53°	54°	55°
酒架切口角度	135°	134°	133°	132°	131°	130°	129°	128°	127°	126°	125°
酒架長度 (公分)	315	313	308	303	298	294	290	285	282	278	275

陸、討論：

一、紅酒爲什麼要平放？

假如紅酒直立儲存，酒瓶的軟木塞會乾硬萎縮。一旦瓶外空氣滲入，酒質就會變味發酸。正確的儲存方法是平放（甚至瓶口微微朝下），讓軟木塞始終浸泡酒液而膨脹，徹底阻絕瓶內與瓶外空氣的流通。

二、長柱型及圓柱型的酒架是否影響站立？

影響酒架的因素爲酒架的角度、酒架的切口、酒架的底面積大小及重心，故酒架的形狀是否影響站立並無重大關係。長柱型及圓柱型的酒架影響的是酒架的重心位置及所能承受的重量。

柒、實驗總結論：

- (一) 由研究一可得知酒架角度 15 度到 60 度均可以讓紅酒瓶和啤酒瓶站立，但 75 度的酒架卻不能。
- (二) 實驗當中也發現當酒架角度越大，則酒瓶與酒架的平衡度越差。
- (三) 酒架能與酒瓶達到平衡與酒瓶內的含水量有關，例如 60 度的酒架與裝滿水的紅酒瓶就不能達到平衡。
- (四) 由實驗數值可得知酒架角度越小所能承受的外力重量越重。酒架所能支撐外力重量的範圍： $15^\circ > 30^\circ > 45^\circ > 60^\circ$ 。
- (五) 可讓酒架平衡的力不是固定的，而是一個有限的範圍，當酒架角度越小可承受的範圍越大。
- (六) 當外力過輕時發現會往酒架左端傾斜，而外力超過酒架可承受的範圍時會往酒架的右端傾斜。
- (七) 酒架切口角度越小所能承受的外力重量越重，也就是酒瓶放置後和酒瓶架所成角度越小所能承受的外力越大。酒架角度與切口角度爲互補角時，能使酒瓶接近水平，呈現較佳美感。
- (八) 酒架底面積越大所能承受的外力重量越重。
- (九) 綜合上述可知酒架能夠站起來的原因，是符合物體平衡的基本原理，合力矩=0。
即施力×施力臂=抗力×抗力臂。
- (十) 酒架角度愈小，底面積愈大，穩定性就愈佳。

捌、實驗寫真：



玖、參考文獻：

- 一、國中自然與生活科技第五冊，翰林出版社。P62—p65。
- 二、普通物理學，歐亞書局。
- 三、教育部教師高職進修網站：力系合成
(<http://elearning.stut.edu.tw/mechanical/Statics/newpage4.htm>)
- 四、高中物理學習網：靜力學
(<http://julian.loxa.edu.tw/>)

評語

030801 比薩斜塔與瓶子的約會

充分應用學校所學知識至日常物品，製作具巧思，建議實驗宜更嚴謹，數據必須正確。