

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

第二名

030108

深深地被調理棒所吸引

學校名稱：國立高雄師範大學附屬高級中學(附設國中)

作者： 國二 何品逸 國二 陳冠廷 國二 呂旻翰	指導老師： 林貴雄 呂明吉
---	-----------------------------

關鍵詞：調理棒、水轉動、壓力差

摘要

無意間發現調理棒可以吸起整個水杯的奇妙現象，便開始改裝調理棒進行實驗，將底部支架改變成各種不同的型式進行研究探討，此外，我們利用連通管原理和波以耳定律自製的一個流體壓力觀測器，來觀測水轉動時，水杯內不同位置的壓力變化情形。結果發現，調理棒可以吸住整個水杯的原理，是因為底部支架像是一個動態式的吸盤，當馬達葉片高速轉動時，會使得底部支架裡的壓力變得小於一大氣壓，而使得底部支架和杯底相互緊抵著。當手拿起調理棒時，整個水杯也同時被吸住而被拉起來。這個研究有兩個重要的應用：一是可以用來設計成水中的起重機，二是利用自製流體壓力觀測器來測量不同流速流體的壓力，可作為發展白努利原理定量化的教材。

壹、 研究動機

去年夏天家裡買了一件新品—調理棒，就自告奮勇為家人打個木瓜牛奶來喝。起初為了耍帥用單手操作，竟然發現整個調理杯不用手扶就被調理棒吸起離開桌面。覺得這個現象非常神奇有趣，想知道其中的原理為何，找了幾個好朋友與老師討論，剛好翰林版二下自然與生活科技第六單元力與壓力有提到相關的知識，覺得這個現象很值得深入探討，於是便著手進行相關的實驗與研究。

貳、 研究目的

一、探討不同的底部支架高度、不同的水位，對吸起水杯的影響

實驗(一)、改變不同高度的底部支架，觀測在不同的水位，能夠吸起水杯時的馬達最小轉速關係

二、探討底部支架與杯子間的密合度，對吸起水杯的影響

實驗(二)、改變不同直徑的底部支架，觀測能夠吸起水杯時的馬達最小轉速關係

三、探討底部支架頂面有孔洞時，對吸起水杯的影響

實驗(三)、改變底部支架頂面的鑽孔數，觀測能夠吸起水杯時的馬達最小轉速關係

四、探討杯內水位不同時，所能吸起水杯的最大合力變化情形

實驗(四)、杯內水位不同時，觀測所能吸起水杯時的最大合力變化情形

五、探討不同型式的底部支架，對吸起水杯的影響

實驗(五)、改變不同的底部支架型式，觀測所能吸起水杯時的最大合力

六、探討水杯內的流速變化情形

實驗(六)、觀測底部支架上下方的水流速變化情形

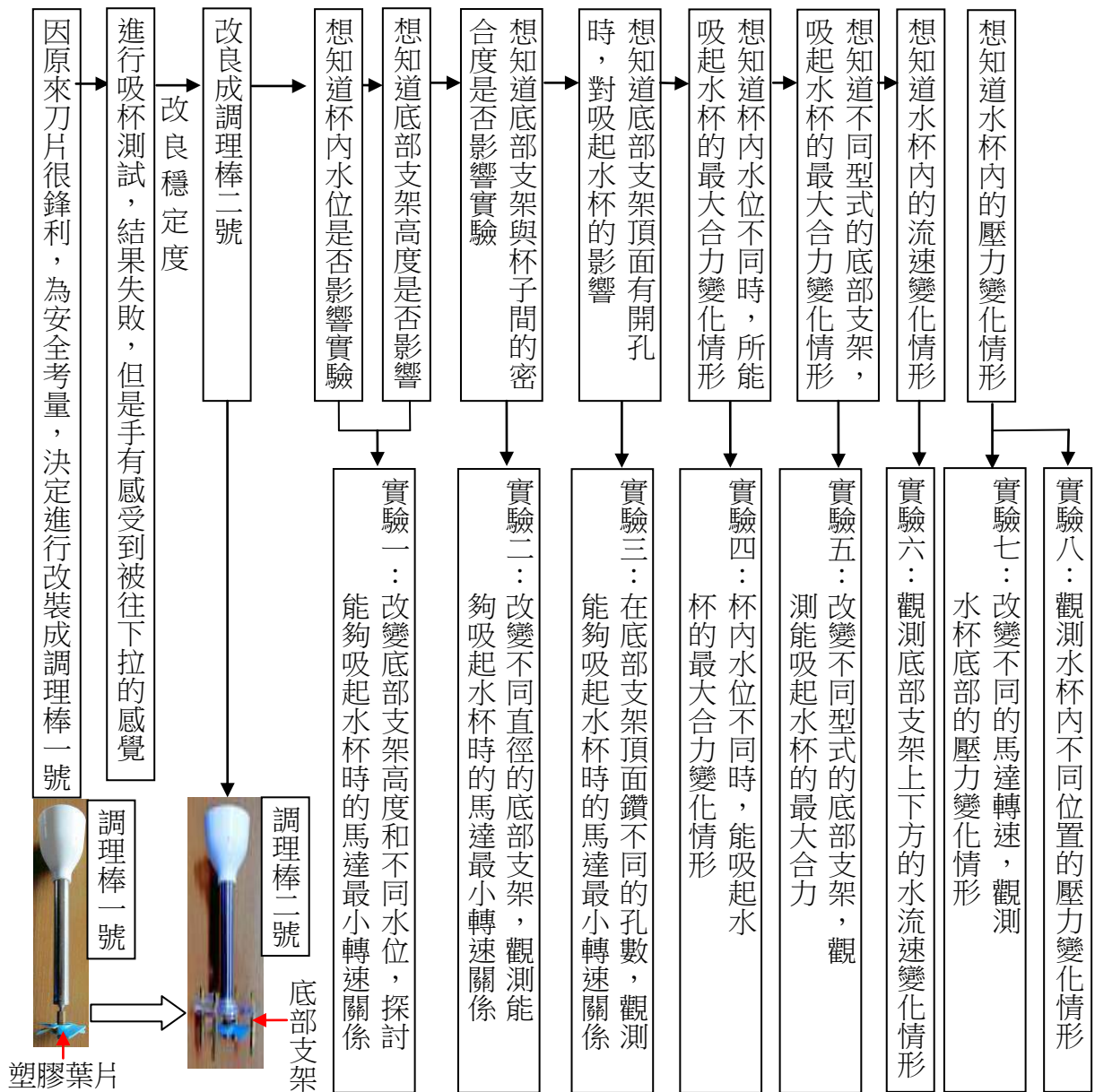
七、探討水杯內的壓力變化情形

實驗(七)、改變不同的馬達轉速，觀測水杯底部的壓力變化情形

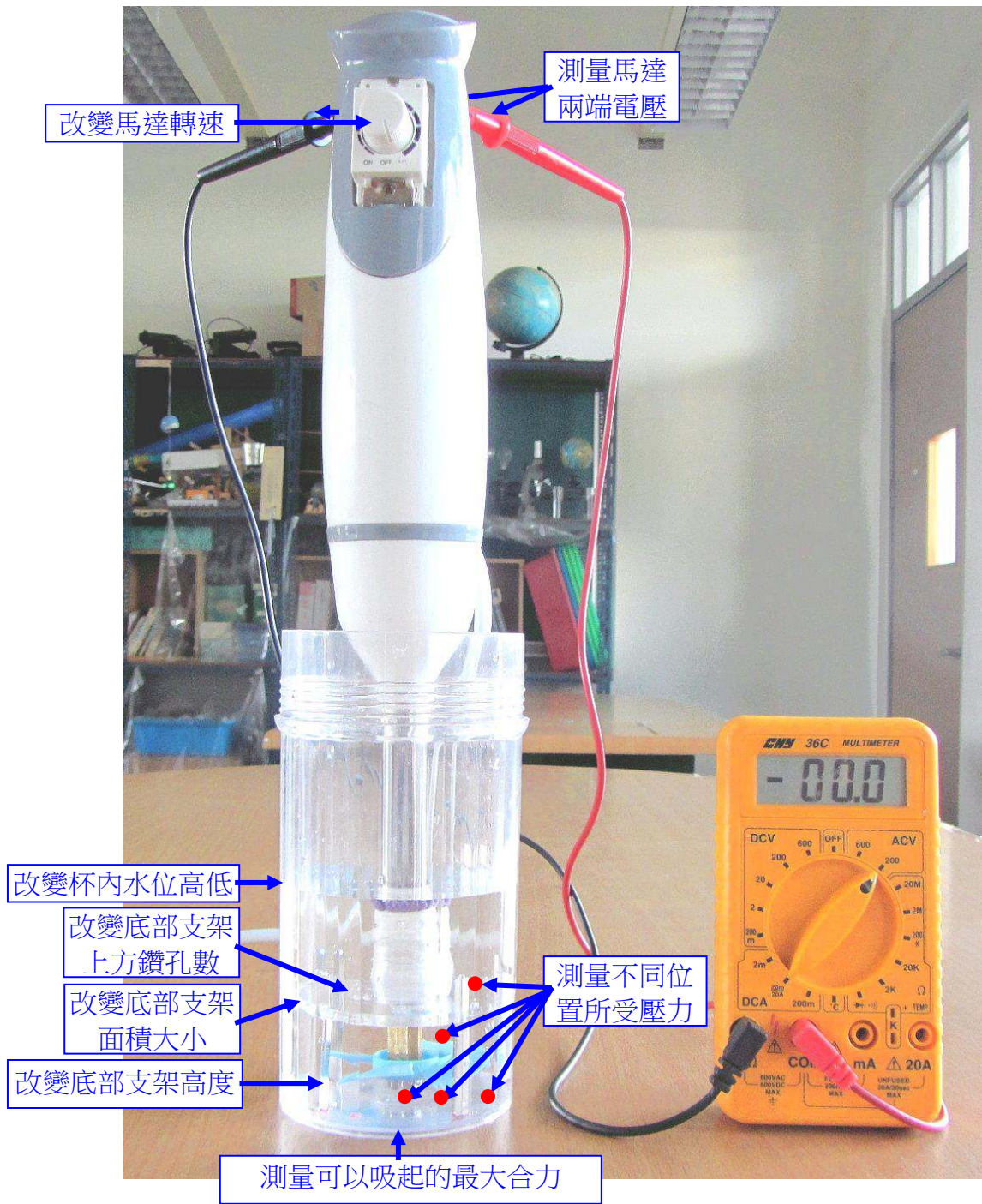
實驗(八)、觀測水杯內不同位置的壓力變化情形

參、研究流程與架構

一、研究流程



二、研究架構



肆、 研究設備與器材

			
拆解原來調理棒		將按壓式開關改成可切開關	加裝調光器控制馬達轉速
			
將原來刀片改成塑膠葉片	口徑 7.5cm，高度 15.5cm 的容器	口徑 9.5cm，高度 18cm 的容器	三用電表測量馬達兩端電壓
			
直徑 6.5cm，高度分別為 3、3.5、4、4.5、5、5.5 和 6cm 的底部支架			
			
直徑 6.5cm，上方分別為無、2、4、8、12 和 16 孔的底部支架			
			
高度 3cm，直徑分別為 6.5、7、7.5、8.5 和 9.5cm 的底部支架		不同型式的底部支架，分別為底部支架一號、二號、三號和四號	
			
注射筒與小水管測量流體的壓力	游標尺	彈簧秤	1200FPS 高速攝影相機

一、因為調理棒底部刀片很鋒利，且轉速很快，實驗操作時會引起危險。所以我們將刀片改裝成塑膠葉片。

二、為了能調控調理棒的轉速當作實驗變因，我們改裝內部線路串接了一個調光器，用來

改變馬達轉速的快慢。

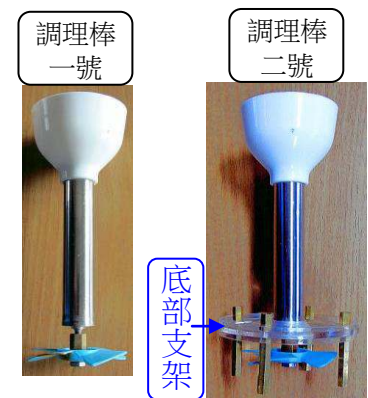
三、因調理棒的轉速無法直接觀測到，所以在實驗中先觀測馬達兩端的電壓。因此從調理棒內部馬達兩端接出兩條電線到外部接三用電錶來測電壓，如右圖一。



圖一：觀測馬達兩端電壓

四、因馬達轉速非常快，我們用 1200FPS (Frames Per Second) 的高速攝影相機來記錄轉動情形，並用威力導演軟體的格放功能來讀取每一影格(每兩影格的時間間距為 $\frac{1}{1200}$ 秒)，來計算出馬達的轉速。

五、一開始改裝成的調理棒一號，無法成功將水杯吸起，但是手卻有被向下拉的感覺，且杯子呈現不穩定狀態。於是我們進一步改良裝置，加裝了一個底座支架改裝成調理棒二號，如右圖二所示，並且成功地吸起了水杯。



圖二：各式改裝調理棒

伍、 研究過程、方法、結果與討論

問題一：不同的底部支架高度、不同的水位，對吸起水杯的影響？

構想：杯內水位高低會影響是否成功吸起水杯，我們想知道當底部支架高度改變時，可以吸起水杯的水位和轉速關係。

實驗一、改變不同高度的底部支架，觀測在不同的水位，能夠吸起水杯時的馬達最小轉速關係。

過程與方法：

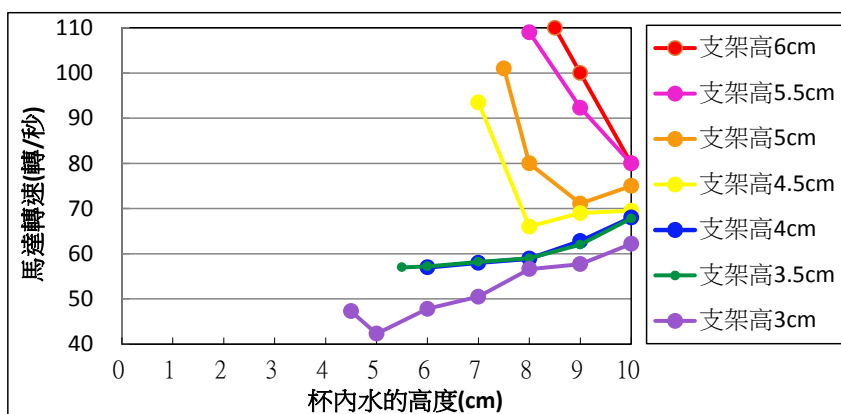
- (一) 依序將高度為 3、3.5、4、4.5、5、5.5 和 6 公分的底部支架放進直徑約 7.5cm 的水杯中。
- (二) 依序增加杯內水位為 1、2、3、…、10 公分，慢慢增加馬達兩端電壓，測量可以成功吸起水杯時的最小電壓。
- (三) 利用 1200FPS 高速攝影觀測步驟(二)所測量電壓的馬達轉速。

結果：

表一：不同底部支架高度，在不同水位成功吸起水杯時的馬達兩端最小電壓與轉速關係

杯內水的高度(cm)		1	2	3	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	10	
吸起水杯時馬達兩端的最小電壓(V)	底部支架高度3cm	×	×	×	×	25	23	0	26	0	28	0	33	0	35	38	
	底部支架高度3.5cm	×	×	×	×	×	×	32	33	0	34	0	36	0	47	50	
	底部支架高度4cm	×	×	×	×	×	×	×	34	0	35	0	37	0	48	51	
	底部支架高度4.5cm	×	×	×	×	×	×	×	×	×	49	0	47	0	49	53	
	底部支架高度5cm	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	54	54	0	55	59	
	底部支架高度5.5cm	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	58	0	58	60
	底部支架高度6cm	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	60	60	62
吸起水杯時馬達的最低轉速(轉/秒)	底部支架高度3cm	×	×	×	×	47	42	0	48	0	51	0	57	0	58	62	
	底部支架高度3.5cm	×	×	×	×	×	×	57	57	0	58	0	59	0	62	68	
	底部支架高度4cm	×	×	×	×	×	×	×	57	0	58	0	59	0	63	68	
	底部支架高度4.5cm	×	×	×	×	×	×	×	×	×	94	0	66	0	69	70	
	底部支架高度5cm	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	101	80	0	71	75	
	底部支架高度5.5cm	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	109	0	92	80	
	底部支架高度6cm	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	110	100	80	

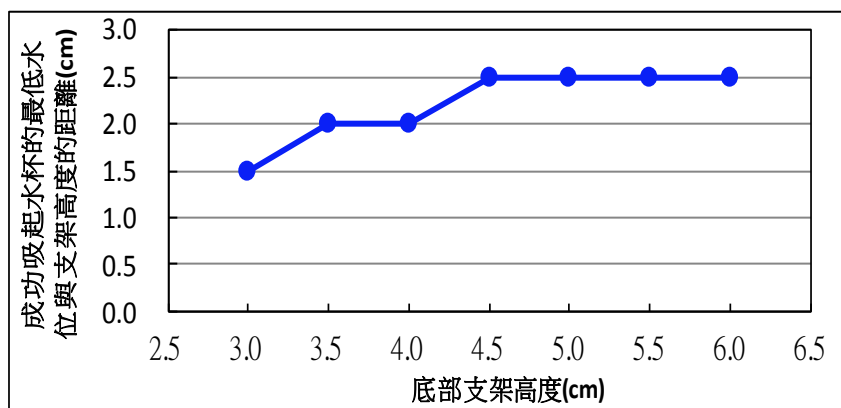
註：× 表示無法成功吸起水杯；0 表示不用測



圖三：不同高度的底部支架，在不同水位成功吸起水杯時的馬達最小轉速關係圖

發現：

- (一) 水位必須超過底部支架高度，水杯才能成功被吸起。且底部支架高度愈高，水位要超過底部支架高度愈多，水杯才能成功被吸起，如下圖四。



圖四：成功吸起水杯的最低水位與支架高度的關係

- (二) 支架高度愈高，則可以成功吸起水杯的馬達最小轉速會增加。
- (三) 當杯內水位從可以成功吸起水杯的最低水位開始增加時，一開始可以成功吸起水杯的最小轉速有減小的趨勢，且支架高度愈大所減小的趨勢愈大，以支架高度為 4.5~6 公分較為明顯。隨後再繼續增高水位時，可以成功吸起水杯的最小轉速則有增大的趨勢，而高度為 5.5~6 公分的支架從本實驗中無法看出此趨勢，這是因為受限於實驗所用的水杯高度為 15 公分，水位高度只能達 10 公分，否則水旋轉時會造成溢出。

研究討論：

- (一) 當馬達轉動後，水面因旋轉而成凹面狀，當中央凹下部分低於底部支架頂面時，這時會有大量空氣跑進底部支架裡，造成無法成功吸起整個水杯。

- (二) 當水位低於底部支架高度，底部支架裡會有許多空氣，水杯就無法成功被吸起。當水位與底部支架頂面距離太近，水旋轉時容易造成空氣跑進底部支架裡，水杯也較難成功被吸起。
- (三) 當可以成功吸起水杯時的馬達兩端最小電壓愈小，即馬達轉速愈小，表示愈容易吸起水杯。
- (四) 從研究結果顯示，在相同的水位下，支架高度愈低愈容易吸起水杯。

問題二：底部支架與杯壁間的密合度，對吸起水杯的影響？

構想：除了改變底部支架高度外，也想知道底部支架的面積是否對吸起水杯有影響。

實驗二、改變不同直徑的底部支架，觀測能夠吸起水杯時的馬達最小轉速關係。

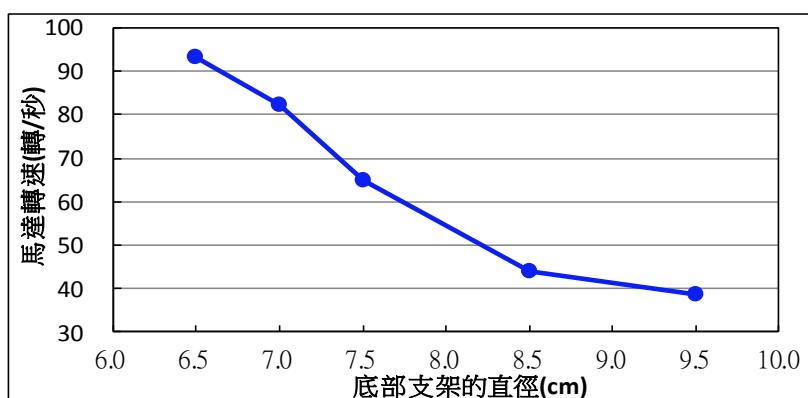
過程與方法：

- (一) 依序將直徑為 6.5、7、7.5、8.5 和 9.5 公分且高度皆為 3 公分的底部支架放進直徑約 9.5cm 的水杯中。
- (二) 加水到杯內達 9 公分，然後開啟調理棒慢慢增加馬達兩端電壓，測量可以成功吸起水杯時的最小電壓。
- (三) 利用 1200FPS 高速攝影觀測步驟(二)所測量電壓的馬達轉速。

結果：

表二：不同直徑的底部支架，能成功吸起水杯時的馬達兩端最小電壓與轉速關係

底部支架的直徑(cm)	6.5	7	7.5	8.5	9.5
吸起水杯時馬達兩端的最小電壓(V)	70	66	41	29	25
吸起水杯時馬達的最低轉速(轉/秒)	93.2	82.3	64.9	43.7	38.4



圖五：不同直徑的底部支架，能成功吸起水杯時的馬達最小轉速關係圖

發現：

- (一) 底部支架的直徑愈大，即面積愈大，則可以成功吸起水杯的馬達最小轉速有減小的趨勢。

研究討論：

- (一) 為了探討不同直徑的底部支架所造成的影響，我們將原本已經是最小的底部支架，直徑 6.5 公分增改為 7、7.5、8.5 和 9.5 公分，然後必須將原本口徑約 7.5 公分的容器換成口徑較大的容器(約 9.5 公分)，才能進行實驗。
- (二) 本實驗是要探討不同直徑的底部支架所造成的影響，所以將水位固定成較高水位(9 公分)，避免水旋轉時造成中央凹下的水面低於底部支架頂面，會使得空氣跑進底部支架裡，增加實驗操作時的變因而影響實驗結果。
- (三) 當底部支架的直徑愈大時，與杯壁間的密合度愈大，底部支架上方的水流轉速會較小，中央水面凹下的部分會較小，造成底部支架上下方的水流速差較大，此時會較容易吸起整個水杯。

問題三：底部支架上方有孔洞時，對吸起水杯的影響？

構想：由實驗二知，底部支架與杯壁間的密合度，對吸起水杯有影響，想進一步知道在底部支架頂面鑽上不同數目的孔洞，對吸起水杯有何影響。

實驗三、改變底部支架頂面的鑽孔數，觀測能夠吸起水杯時的馬達最小轉速關係。

過程與方法：

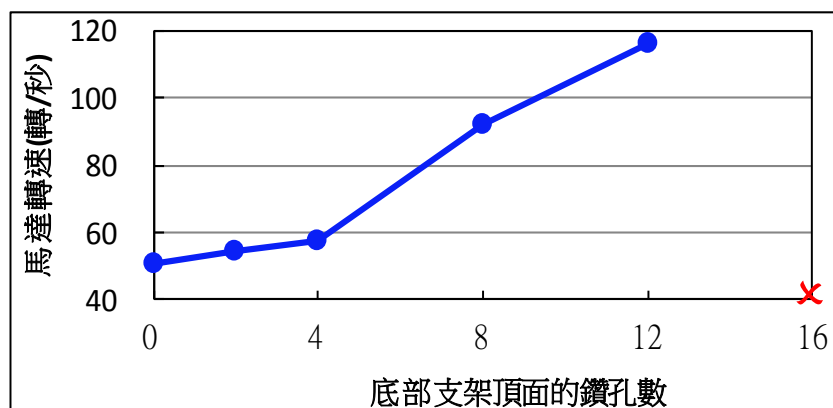
- (一) 依序將直徑為 6.5 公分、高度 3 公分的底部支架頂面分別鑽 2、4、8、12 和 16 孔，然後放進直徑約 7.5cm 的水杯中。
- (二) 加水到杯內達 7 公分，然後開啟調理棒慢慢增加馬達兩端電壓，測量可以成功吸起水杯時的最小電壓。
- (三) 利用 1200FPS 高速攝影觀測步驟(二)所測量電壓的馬達轉速。

結果：

表三：不同鑽孔數的底部支架，能成功吸起水杯時的馬達兩端最小電壓與轉速關係

底部支架頂面鑽孔數	0	2	4	8	12	16
吸起水杯時馬達兩端的最小電壓(V)	28	30	34	39	48	×
吸起水杯時馬達的最低轉速(轉/秒)	50.5	54.5	57.5	92.3	116.3	×

註：×表示無法成功吸起水杯



圖六：不同鑽孔數的底部支架，能成功吸起水杯時的馬達最小轉速關係圖

發現：

- (一) 底部支架頂面無孔時，可以成功吸起水杯的馬達最小轉速最小。
- (二) 隨著底部支架頂面的鑽孔數增加，可以成功吸起水杯的馬達最小轉速有增加的趨勢。且隨著鑽孔數愈多，可以成功吸起水杯的馬達最小轉速的增加趨勢愈大。
- (三) 當底部支架的鑽孔數為 16 孔時，水杯無法成功被吸起。

研究討論：

- (一) 隨著底部支架頂面的鑽孔數愈多，支架上方的水旋轉愈快，中央水面凹下的部分也愈大，此時馬達的轉速需要更快才能成功吸起整個水杯。
- (二) 底部支架鑽孔數 16 孔時，支架上方的水旋轉最快，使得中央水面凹下的部分低於底部支架，有大量空氣跑進底部支架裡，此時無論再提高轉速，都無法成功吸起水杯。

問題四：杯內的水位，對能吸起的最大合力影響？

構想：由實驗一得知，水位高低會影響吸起水杯時的馬達最小轉速，我們想進一步知道，當杯內水位不同時，能吸起的最大合力為何。

實驗四、改變杯內的水位，來觀測所能吸起的最大合力變化情形。

過程與方法：

- (一) 將裝有 3 公分高的底部支架的調理棒放進口徑約 7.5 公分的杯中。
- (二) 依序加水到杯內達 1、2、3、…、10 公分，開啟最大電壓。然後在杯底外側加掛一彈簧秤。
- (三) 當水杯被吸起時，慢慢拉動彈簧秤，觀測水杯剛好被拉下時的最大外力。



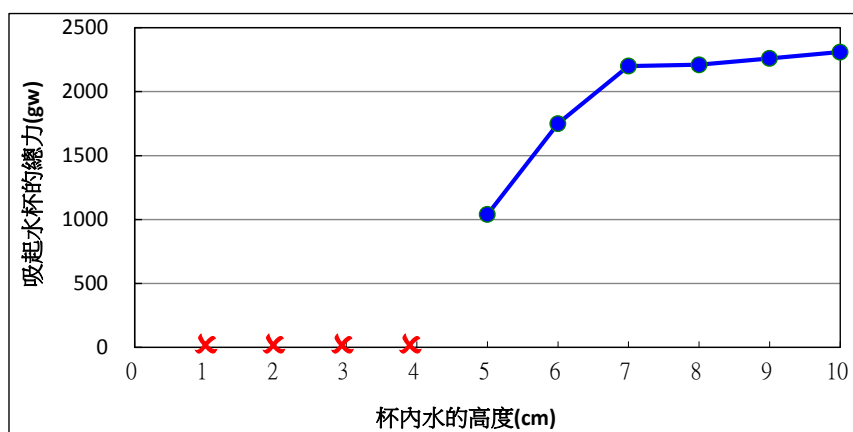
圖七：實驗四測量最大合力裝置圖

結果：

表四：口徑 7.5cm 的杯子，在不同水位高度時，能吸起水杯的最大合力

杯內水的高度(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
水杯重量(gw)	110	155	200	225	240	290	340	390	440	490
彈簧秤的最大讀數(gw)	第1次	×	×	×	×	800	1400	1900	1800	1900
	第2次	×	×	×	×	800	1600	1900	1800	1900
	第3次	×	×	×	×	800	1400	1800	1800	1700
	第4次	×	×	×	×	800	1400	1800	1800	1700
	第5次	×	×	×	×	800	1500	1900	1900	1900
平均	×	×	×	×	800	1460	1860	1820	1820	1820
吸起水杯的總力(gw)	×	×	×	×	1040	1750	2200	2210	2260	2310

註：×表示無法成功吸起水杯



圖八：不同水位高度，能吸起水杯的最大合力關係圖

發現：

- (一) 當水位高度從 5cm 往上增加時，能吸起水杯的最大合力有增加的趨勢。
- (二) 當水位高度從 7cm 增加至 10 時，能吸起水杯的最大合力的增加趨勢變趨緩不明顯。

研究討論：

- (一) 本實驗是討論所能吸起的最大合力，所以將馬達兩端電壓開到最大，使馬達轉速最快，來進行實驗。
- (二) 能夠吸起水杯的合力不只為彈簧拉力讀數而已，還要再加上水杯(含水)的重量。
- (三) 馬達兩端電壓不能一下開到最大，否則當水位太高時，會因水旋轉使得水面中央變低而四周變高，水容易溢出而影響實驗結果。必須慢慢增加電壓，等水穩定後再開到最大電壓，水才不致溢出。

問題五：不同型式的底部支架，對吸起水杯的影響？

構想：從實驗一、二、三得知，改變底部的型式會影響到吸起水杯的情形，且在實驗四知，吸起水杯的合力竟然超過 2 公斤重，感到很神奇。於是想進一步改良底部支架的型式，看看可以吸起水杯的最大合力有何影響。

實驗五、改變不同型式的底部支架，觀測所能吸起水杯的最大合力。

過程與方法：

- (一) 改良底部支架型式為底部支架一號、二號、三號和四號，如圖九所示。
- (二) 分別將底部支架一號、二號、三號和四號放進口徑 7.5 公分的杯中，加水至 7cm 水位。

(三) 在杯底外側加掛一彈簧秤，然後開啟最大電壓。

(四) 當水杯被吸起時，慢慢拉動彈簧秤，觀測水杯剛好被拉下時的最大外力。

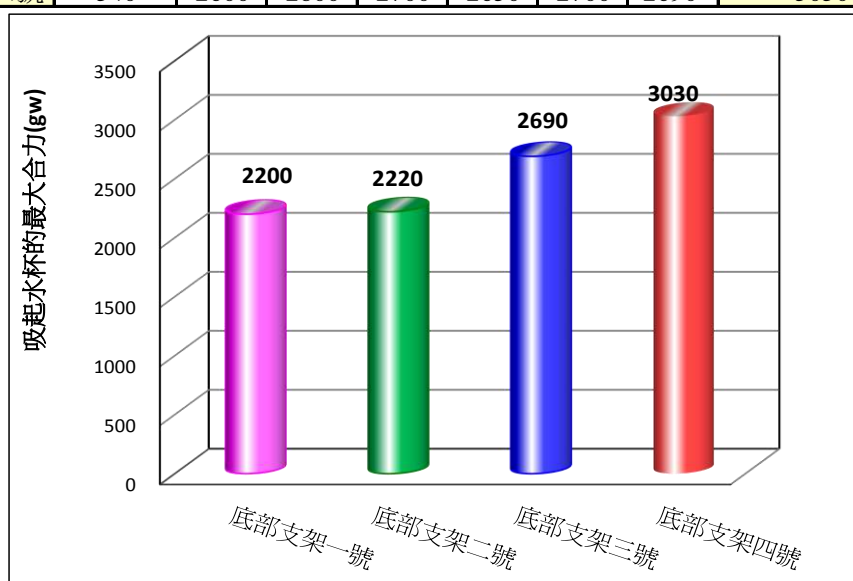


圖九：各種不同型式的底部支架

結果：

表五：不同型式的底部支架可以吸起口徑 7.5cm、水位 7cm 水杯的最大合力

底部支架型式	水杯重 (gw)	彈簧秤的最大拉力(gw)						吸起水杯的向下最大合力(gw)
		第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均	
底部支架一號	340	1900	1900	1800	1800	1900	1860	2200
底部支架二號	340	1800	2000	1900	1900	1800	1880	2220
底部支架三號	340	2250	2300	2300	2400	2500	2350	2690
底部支架四號	340	2600	2800	2700	2650	2700	2690	3030



圖十：不同型式的底部支架能吸起水杯的最大合力

發現：

(一) 最後改良成底部支架四號，可以吸起水杯的力最大已達 3 公斤重。

研究討論：

(一) 各式底部支架的設計原理與改良方法分述如下：

1. 根據實驗一知，底部支架高度愈小，愈容易吸起水杯，所以將所有不同型式的底部支架高度都定為最低高度 3 公分。

2. 根據實驗二知，底部支架與周圍杯壁間的密合度愈好，愈容易吸起水杯，所以將底部支架一號改良成底部支架二號，增加了底部支架周圍的密合度。
3. 底部支架二號雖然改良了密合度，但是只有在葉片下方開孔洞，造成底部支架的入水和出水都發生在相同的下方孔洞，水流不順暢，以致吸起水杯的效果和底部支架一號差不多。
4. 為使水流順暢，不只在葉片下方開孔洞，也在葉片上方開孔洞，進一步改良成底部支架三號，使得水從底部支架葉片下方的孔洞流入，而從葉片上方的孔洞流出。提升了吸起水杯的效果。
5. 根據實驗三知，底部支架頂面上下方愈密合，吸起水杯效果愈好。所以將底部支架三號的頂面加大改良成底部支架四號，結果又再提升吸水杯的效果

(二) 我們將水位定為 7 公分進行實驗，以避免水旋轉使得中央凹下部分超過底部支架頂面，而影響實驗結果。

問題六：水杯內的流速變化情形？

構想：由前面實驗得知，底部支架上方水流速會影響水杯被吸起的情形。且之前都是觀測馬達的轉速，我們想進一步知道底部支架上下方的水流速變化情形

實驗六、觀測底部支架上下方的水流速變化情形。

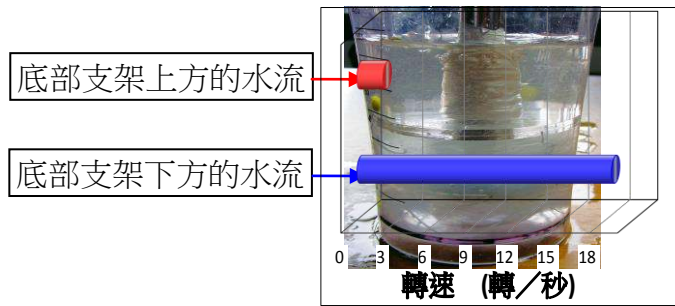
過程與方法：

- (一) 將底部支架三號裝置於調理棒，並放置於水杯中，加水至 7 公分。
- (二) 分別在底部支架下方與上方的水中放置 BB 彈。
- (三) 開啟調理棒，固定電壓為 40V，並利用高速攝影相機拍攝記錄底部支架下方與上方 BB 彈的運動情形。

結果：

表六：底部支架上方與下方的水流速情形

不同位置的水流	周期(影格/轉)										<註：1影格=1秒/600>		轉速 (轉/秒)
	第1圈	第2圈	第3圈	第4圈	第5圈	第6圈	第7圈	第8圈	第9圈	第10圈	平均		
底部支架上方水流	368	361	434	303	305	252	278	263	293	310	316.7	1.89	
底部支架下方水流	34	35	28	32	26	36	34	32	34	35	32.6	18.40	



圖十一：底部支架上方與下方的水流情形

發現：

- (一) 底部支架上方的水流速較慢，而下方的水流速明顯快了許多。
- (二) 底部支架下方的水流約是底部支架上方水流速的 10 倍。

研究討論：

- (一) 放入水中的 BB 彈密度盡量要與水的密度($1\text{g}/\text{cm}^3$)相近，經測得 BB 彈的密度為 $1.1\text{g}/\text{cm}^3$ 。
- (二) BB 彈會隨著水流運動，我們將 BB 彈的運動情形當作是水流運動情形。
- (三) 本實驗開啟馬達兩端的電壓約 40V，並非最大電壓，若是將電壓開到最大，則底部支架上、下方的水流速差還會更大。

問題七：水杯內的壓力變化情形？

構想：由實驗六得知，底部支架上下方水流速有很大的差別，我們想知道不同流速以及不同位置的壓力變化情形

實驗七、改變不同的馬達轉速，觀測水杯底部的壓力變化情形。

過程與方法：

- (一) 將底部支架三號裝置於調理棒，並放置於水杯中，加水至 7 公分。
- (二) 將自製流體壓力觀測器的小水管，利用強力磁鐵固定在水杯底部。
- (三) 開啟調理棒，慢慢增加電壓，並利用相機拍攝觀測自製流體壓力觀測器的體積變化情形。

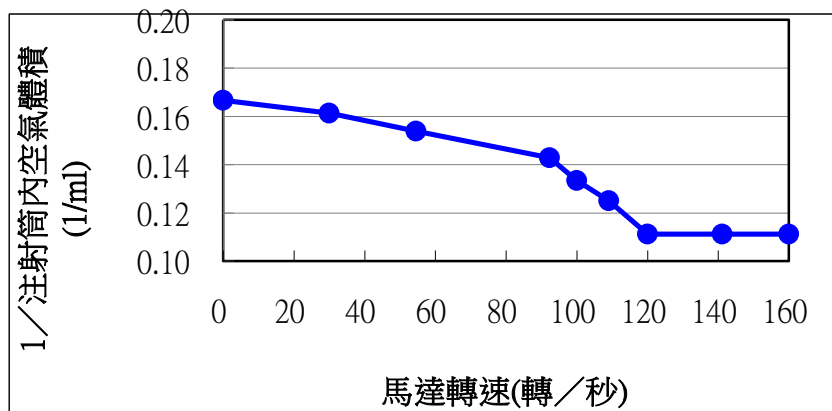


圖十二：自製流體壓力觀測器裝置

結果：

表七：馬達轉速與自製流體壓力觀測器氣體體積變化關係

馬達兩端的電壓(V)	0	20	30	40	50	60	70	80	90
馬達轉速(轉/秒)	0	30	54.5	92.3	100	109.1	120	141.2	160
注射筒內空氣體積(ml)	6	6.2	6.5	7	7.5	8	9	9	9
1/注射筒內空氣體積(1/ml)	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.11	0.11	0.11



圖十三：馬達轉速與自製流體壓力觀測器中氣體體積倒數的變化關係

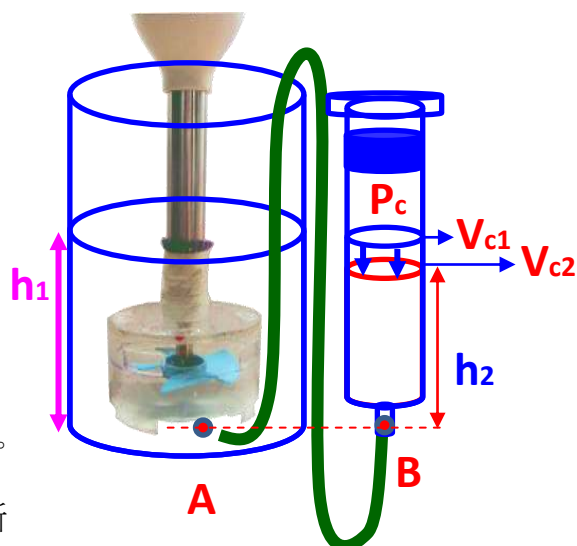
發現：

- (一) 馬達轉速愈快，自製流體壓力觀測器中氣體體積的倒數有減小的趨勢。
- (二) 當馬達兩端電壓達 70V 以上，雖然再加大電壓會使得馬達轉速增快，但是自製壓力觀測器中的氣體體積幾乎沒有變化。

研究討論：

(一) 自製流體壓力觀測器是根據連通管原理和波以耳定律所設計，如下所述：

1. 注射筒上方有一小洞是要利用連通管原理，當內外水面等高時，將小洞封住。此時注射筒內空氣壓力為 1 大氣壓。
2. 因 A、B 兩處等高度且是相連通的，所以 A、B 兩處所受壓力相等($P_A = P_B$)。



圖十四：自製流體壓力觀測器示意圖

3. 轉動調理棒後，注射筒空氣柱體積增加。轉動前 $P_{A1} = P_{B1} = P_{C1} + h_1 d_{\text{water}}$
 $= 1\text{atm} + h_1 d_{\text{water}}$ ，轉動後 $P_{A2} = P_{B2} = P_{C2} + h_2 d_{\text{water}}$ 。
4. 根據波以耳定律， $P_{C1} V_{C1} = 1\text{atm} \times V_{C1} = P_{C2} V_{C2}$ ，利用觀測到的 V_{C1}, V_{C2}, h_1, h_2 就可

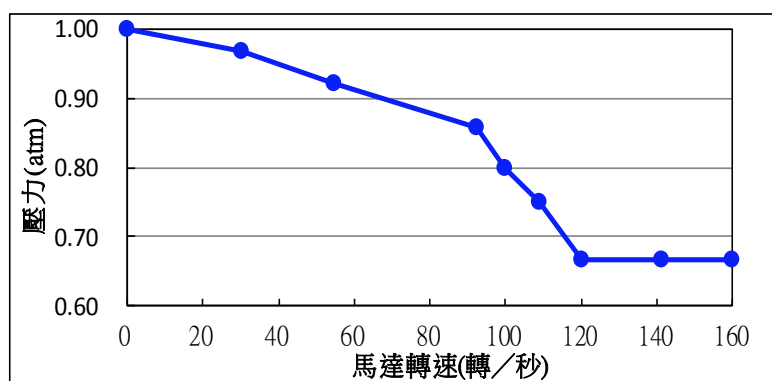
以估算出 P_{C_2} ，進而知道 A 處的壓力變化情形。

(二) 根據波以耳定律，密閉空間的氣體壓力 P 和其體積 V 成反比，即 $P \propto 1/V$ 。在實驗中，馬達轉速變快時，自製流體壓力觀測器中氣體體積的倒數會減小，表示自製流體壓力觀測器中的氣體壓力會變小。

(三) 根據上述估算結果，水杯底部在馬達不同轉速下所受壓力如下： (h_1, h_2) 忽略不計)

表八：A 處所受壓力與馬達轉速的關係

馬達轉速(轉/秒)	0	30	54.5	92.3	100	109.1	120	141.2	160
A處所受壓力(atm)	1.00	0.97	0.92	0.86	0.80	0.75	0.67	0.67	0.67

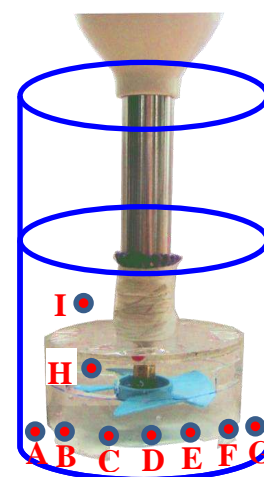


圖十五：A 處所受壓力與馬達轉速的關係

實驗八之一、觀測水杯內不同位置的壓力變化。

過程與方法：

- (一) 將底部支架三號裝置於調理棒，並放置於水杯中，加水至 7 公分。
- (二) 將自製流體壓力觀測器的小水管，利用強力磁鐵固定在水杯底部。
- (三) 開啟調理棒到最大電壓，然後改變小水管在水杯內不同的位置，利用相機拍攝觀測自製流體壓力觀測器的體積變化情形。

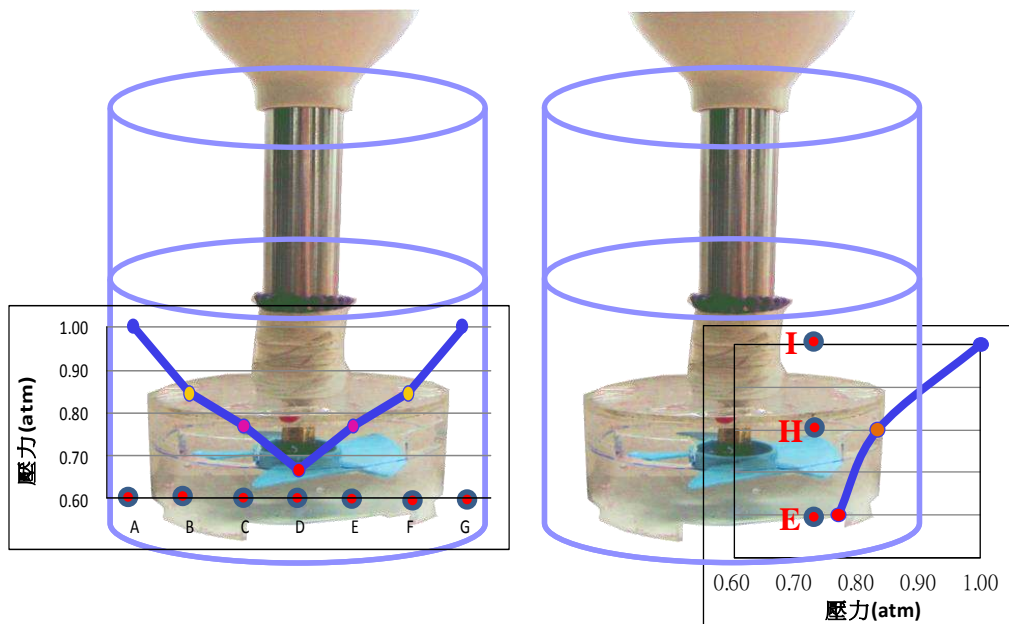


圖十六：在水杯內不同位置測量所受壓力變化情形

結果：

表九：水杯內不同位置所受壓力變化情形

水杯內不同位置	A	B	C	D	E	F	G	H	I
注射筒內空氣體積(ml)	6	7.1	7.8	9	7.8	7.1	6	7.2	6
注射筒內空氣原來體積6ml									
估算後的壓力(atm)	1.00	0.85	0.77	0.67	0.77	0.85	1.00	0.83	1.00



圖十七：水杯內不同位置所受壓力變化情形

發現：

- (一) 在底部支架內，葉片下方的中央處 D 所受壓力最小，愈往周圍所受壓力會增加。
- (二) 在底部支架內，葉片上方 H 處所測到的壓力也小於一大氣壓。
- (三) 底部支架內不同位置所測到的壓力大小為： $D < E = C < H < F = B < 1 \text{ atm}$ 。
- (四) 在底部支架外側的下方 A、G 處，以及上方 I 處，壓力幾乎不變，約等於一大氣壓。

研究討論：

- (一) 在底部支架下方，愈靠近中央處所測到的壓力愈小，表示愈靠近中央處的水流速愈快，愈往周圍流速會減慢。
- (二) 利用自製流體壓力觀測器觀測底部支架外側的下方 A、G 處，以及上方 I 處時，注射筒內的空氣柱體積幾乎沒有改變，可能是壓力變化不夠大以致無測出。我們視之約為一大氣壓。

實驗八之二、觀測水杯內不同高度的壓力變化。

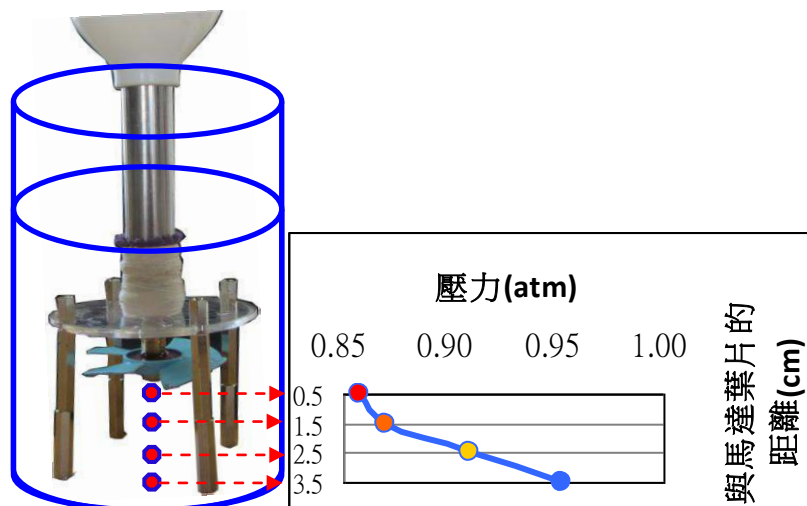
過程與方法：

- (一) 將高度 6.5 公分的底部支架一號裝置於調理棒，並放置於水杯中，a 加水至 9 公分。
- (二) 分別將自製流體壓力觀測器的小水管，置於馬達葉片下方 0.5、1.5、2.5、3.5 公分處。
- (三) 開啟調理棒到最大電壓，利用相機拍攝觀測自製流體壓力觀測器的體積變化情形。

結果：

表十：水杯內不同高度所受壓力變化情形

與馬達葉片的距離(cm)	0.5	1.5	2.5	3.5
注射筒內空氣體積(ml)	7	6.9	6.6	6.3
注射筒內空氣原來體積6ml				
估算後的壓力(atm)	0.86	0.87	0.91	0.95



發現：

圖十八：水杯內不同高度所受壓力變化情形

- (一) 在底部支架下方距離馬達葉片愈近處(0.5cm)，所測得壓力愈小(約 0.85 atm)。
- (二) 在水杯底部距離馬達葉片愈遠處(3.5cm)，所測得壓力較大(約 0.95 atm)。
- (三) 當與馬達葉片距離超過 1.5 公分，所測得壓力有大幅增加的趨勢。

研究討論：

- (一) 愈靠近馬達葉片處的水流速較快，因此測得壓力較小。
- (二) 因受限於水杯高度為 15 公分，底部支架高度最大只能倒 6.5 公分，否則水旋轉時會溢出。
- (三) 當與馬達葉片距離超過 1.5 公分，所測得壓力大幅增加，表示此處水流速有大幅減小。

綜合討論：

(一) 經我們討論後，認為水杯被吸起的可能原因有二：

1. 水杯內的水與杯壁間的作用力夠大，而此力撐住水杯，使得水杯不致落下。
2. 水杯內產生壓力差，此壓力差作用在底部支架與杯底，撐住了水杯，而使得水杯不致落下。

(二) 承上(一)1.，杯內的水主要是作旋轉運動，若是杯內水與杯壁間的作用力夠大撐住水杯的話，那麼因為水的快速旋轉應該會使得水杯產生快速轉動，可是並沒有這種現象發生。

(三) 承上(一)2.，我們在實驗六得知底部支架上下方的水流速有很大的差異，根據白努力定律說流速增加會使得壓力減小，於是我們設計了一個流體壓力觀測器來檢測流體所受壓力。從實驗七、八得知，底部支架下方流體的壓力明顯降低，且小於一大氣壓，而底部支架上方的流體壓力幾乎不變，由此驗證水杯內產生了明顯的壓力差。

(四) 綜合以上實驗結果，我們認為底部支架的作用像是一動態式的吸盤。

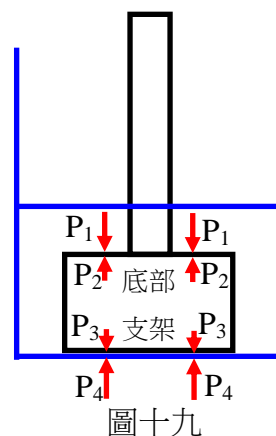
1. 底部支架上方壓力明顯大於底部支架下方壓力，此壓力差作用於底部支架頂面，使得底部支架受到一向下的作用力而緊抵住杯底。

2. 因為底部支架緊抵住杯底，使得杯底上方壓力明顯減小(小於一大氣壓)，而杯底下方是一大氣壓，此壓力差作用於杯底，使得杯底緊抵住底部支架。

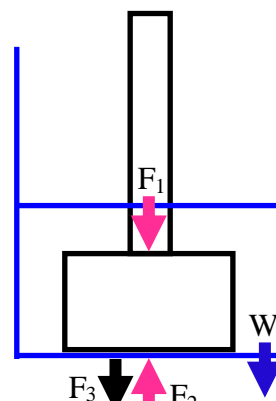
3. 如右圖十九所示， $P_1 \approx 1\text{atm}$, $P_2 < 1\text{atm}$, $P_3 < 1\text{atm}$, $P_4 = 1\text{atm}$ ，底部支架頂面受到一向下合力 $F_1 = (P_1 - P_2) \times A$ (A 為底部支架截面積)，而杯底受到一向上合力 $F_2 = (P_4 - P_3) \times A$

4. F_1 和 F_2 同時作用，使得底部支架緊抵住杯底。

5. 如右圖二十所示，若杯底受到一向下拉力 F_3 ，當 $F_3 + W > F_1$ (W 為水杯含水總重)，此時底部支架開始脫離杯底。根據實驗八之二得知，此時 F_2 也開始減小，若是繼續減小到 $F_2 < F_3 + W$ ，則水杯就無法被支撐住而掉落。



圖十九



圖二十

陸、 研究結論

一、 在實驗一中

- (一) 水位必須超過底部支架高度，水杯才能成功被吸起。
- (二) 底部支架高度愈高，水位要超過底部支架高度愈多，水杯才能成功被吸起
- (三) 底部支架高度愈高，水杯愈難被吸起。

二、 在實驗二中，底部支架的直徑愈大(面積愈大)，水杯愈容易被吸起。

三、 在實驗三中，底部支架頂面的鑽孔數愈多，水杯愈難被吸起。

四、 在實驗四中

- (一) 當水位高度從 5cm 往上增加時，能吸起水杯的最大合力有增加的趨勢。
- (二) 當水位高度從 7cm 增加至 10 時，能吸起水杯的最大合力的增加趨勢變趨緩不明顯。

五、 在實驗五中，改良底部支架的密合度、入水與出水方向和加大頂面的面積，最後改良成底部支架四號，可以吸起水杯的最大合力達 3 公斤重。

六、 在實驗六中，底部支架下方的水流速明顯比底部支架上方的水流速快許多。

七、 在實驗七中

- (一) 流體流速愈快，其壓力愈小。
- (二) 底部支架下方的壓力會小於一大氣壓。

八、 在實驗八中

- (一) 在底部支架內，葉片下方的中央處壓力最小，愈往周圍壓力會增加，但還是小於一大氣壓。此外，在底部支架內，葉片上方的壓力也小於一大氣壓。
- (二) 在底部支架外側，以及底部支架上方的位置，其壓力約等於一大氣壓。
- (三) 在底部支架下方距離馬達葉片愈近，其壓力愈小。

九、 底部支架的作用像是一動態式的吸盤

- (一) 底部支架上、下方壓力差作用於底部支架頂面，使得底部支架受到一向下的作用力而緊抵住杯底。
- (二) 水杯底部上、下方壓力差作用於杯底，使得杯底受到一向上的作用力而緊抵住底部支架。
- (三) 當杯底受到一向下拉力大到使得底部支架頂面失去力平衡時，此時底部支架開始脫

離杯底。若是再使得水杯底部失去力平衡時，則水杯就無法被支撐起而掉落。

柒、 未來應用

我們在無意間發現調理棒可以吸住水杯的現象，這現象看似簡單，且操作也很容易。經我們進行一系列的研究探討發現，其中的原理和機制還滿奇妙的。我們覺得未來很有發展性，分述兩點如下：

- 一、水中起重機：我們發現調理棒底部支架像是一個動態式的吸盤，未來可應用於在深海中吸起重物，就像是電磁起重機輸入很強的電流，就可以吸起很重的鐵製品。而我們的這種裝置，只要輸入很強的電流，就可以降低底部支架裡的壓力而吸住物體，且不限於鐵製品。
- 二、白努力原理定量觀測之實驗：我們利用連通管原理和波以耳定律自製了一個流體壓力觀測器，可以用來觀測運動中不同位置的流體所受的壓力。目前教科書提到白努力原理，常以概念性與定性來介紹，而我們的實驗裝置可以定量測量壓力的變化情形，雖然目前測量精密度還不夠，不過再繼續改良之下，未來可以用來幫助了解並建立流體壓力與流速定量化關係的補充教材。

捌、 參考資料

- 一、井川憲明(民 83)。牛頓科學研習百科（物理）：流體的科學(44~45 頁)。台北市：牛頓出版公司。
- 二、王懷柱(民 87)。揭開飛行的奧秘(2-5 頁)。台北市：全華圖書。
- 三、吳宏達(民 83)。普通物理學第二冊：14.6 白努利方程式(61~67 頁)。台北市：歐亞書局有限公司。
- 四、吳宏達(民 83)。普通物理學第三冊：27.4 歐姆定律(204~205 頁)。台北市：歐亞書局有限公司。
- 五、許玉敏(民 95)。能量與物理(20-21 頁)。臺北縣新店市：泛亞國際文化。

【評語】 030108

本研究取材於日常生活中調理棒可以吸起水極的有趣現象，在實驗中透過改變各種變因來探討此現象的物理成因，並進一步的討論可能的應用，是件完整的作品。