

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 物理科

040117

膜上的波扭

學校名稱：國立新莊高級中學

作者： 高一 呂伊庭 高一 鄭惟允 高一 洪家琪	指導老師： 吳原旭 林慶豪
---	-----------------------------

關鍵詞：駐波、波速、頻率

膜上的波扭

壹、摘要：

與肥皂泡膜相關的科學現象與研究很多，本研究主要目的在探討影響肥皂膜波速的因素。實驗以振動產生器連接一光碟盒，在光碟盒上固定一圓形框，圓形框上附著一片圓形肥皂膜，由電腦軟體透過介面及功率放大器來驅動。為提高準確度，設計了二維游標尺裝置、橫向定位裝置來進行測量。並配合高速閃光燈進行仔細的觀察與紀錄。實驗結果發現波速會隨著頻率而變，得出了一個經驗公式 $v=62.5 \times f^{0.3}$ ，此關係不受膜的厚度、振幅、面積、成分比影響。且愈接近圓心處的波速愈快，而波腹的振幅也是愈接近圓心愈大。

貳、研究動機：

在玩肥皂泡泡時發現泡泡受到擾動時，表面會出現一些波動並且有週期性的變化。於是做了一些試探，最後決定研究圓形肥皂膜震盪時的一些現象。我們在圓形框上抹上一層肥皂膜，以振動產生器來振動肥皂膜，抖動的頻率不同，膜上會出現不一樣的波動，十分有趣。讓我們好奇的是，膜上的波具有什麼規律、特性，於是我們開始了下面的實驗。

參、研究目的：

- 一、探討肥皂膜產生圓形穩定駐波的條件。
- 二、了解形成駐波時，肥皂膜的振動情形。
- 三、研究肥皂膜之波速與振動頻率的關係。
- 四、探討肥皂膜之波速與位置的關係。
- 五、定性比較肥皂膜的波速與厚度的關係。
- 六、測量肥皂膜產生圓形穩定駐波時各波腹之振幅。
- 七、觀察肥皂膜振動時的其他有趣現象。

肆、原理分析：

高中課本提到的繩波波速 v 和繩子張力 F 、繩子線密度 ρ 的關係為 $v = \sqrt{\frac{F}{\rho}}$ ，但本研究探討的是平面上的波，原本的繩子張力就換成表面張力 T ，原本的線密度就換成面密度 δ ，由於肥皂膜有兩層表面，所以 $v = \sqrt{\frac{2T}{\delta}}$ 。此公式顯示波速只與表面

張力大小及面密度有關，與頻率 f 無關。當肥皂膜的厚度改變時，波速會隨之改變。

高中課本中提到駐波的單元，只限於繩波及空氣柱共鳴。駐波可當成是兩個同頻率反向前進的波疊加的結果，兩節點之間的距離相當於半波長 $\frac{\lambda}{2}$ ，而波速 $v = f \times \lambda$ 。



本研究尋找適當的頻率，使產生同心圓駐波，測量節點之間的距離可得出波長，便可算出波速。進而探討其他因素與波速的關係。

伍、研究器材與裝置：

一、器材：

表(1) 主要的器材

器材	規格	數量
筆記型電腦	ASUS	1 部
數據處理軟體	DataStudio	1 套
振動產生器	Nakamura FB-8N	1 具
功率放大器	PASCO	1 部
介面	PASCO 750	1 部
數位相機	Sony DSC-F717	1 部
高速閃光燈	Lutron DT-2249	1 部
游標尺	精密度 0.05mm	2 支
鐵架、腳架	一般	若干
清潔劑	Palmolive ORIGINAL TRADITIONNEL	一瓶
甘油	一般實驗用	一瓶
直尺	30cm 塑膠	2 支

二、裝置：

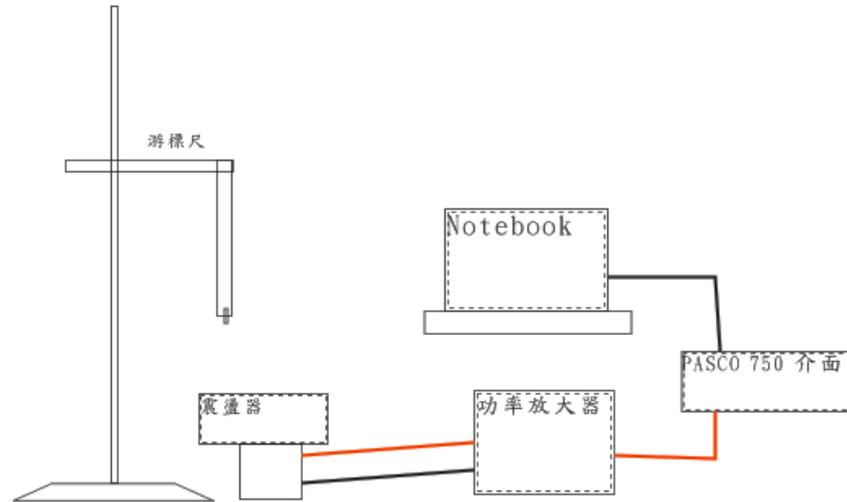
(一)、肥皂液調配

1. 以量筒和燒杯量取蒸餾水、清潔劑、甘油，體積比 8:1:1。
2. 混合均勻密閉保存，每次實驗時倒取適量使用，以確保肥皂液的成分在每次實驗時都相同。

(二)、震盪裝置

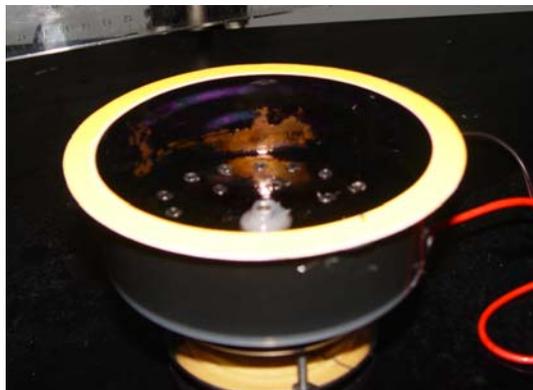
1. 將硬的薄塑膠板分別剪成內直徑 11.0、12.0、27.0cm 的圓環。
2. 將圓環黏在光碟片盒等圓形容器上，並將盒蓋內以奇異筆塗黑避免反光。
3. 將 1、2 的成品中心點鑽洞，固定在振動產生器上。

4. 電腦連接介面，再連接功率放大器，再由功率放大器驅動振動產生器如圖(1)
5. 使用時以沾過肥皂液的直尺在圓框上面刮過，附上一層膜。
6. 由電腦軟體 DataStudio 設定頻率、輸入電壓，啟動。
7. 圓形框如下照片(1~4)

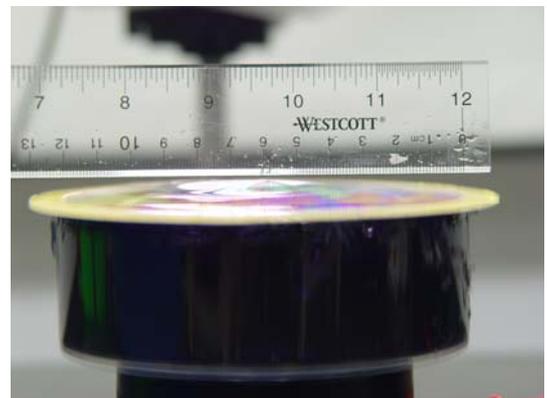


圖(1) 振動裝置示意圖

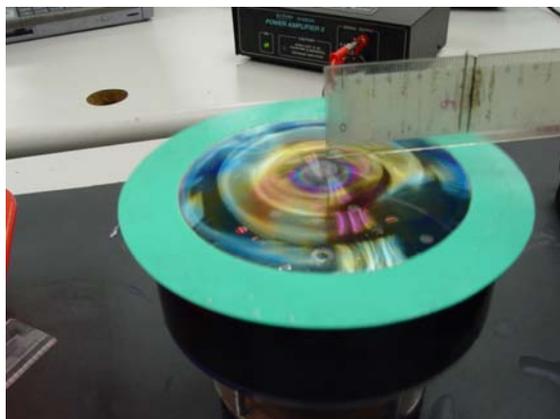
照片(1)裝置外觀及直徑 12cm 圓形框



照片(2)直徑 12cm 圓形框側面



照片(3)直徑 11cm 圓形框



照片(4)直徑 27cm 圓形框



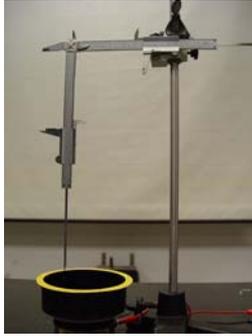
(三)、二維游標尺

1. 將兩把游標尺的主尺垂直重疊並緊緊固定，並保持附尺能正常滑動。
2. 將橫向游標尺的附尺固定在鐵架上，確認游標尺的水平與垂直
3. 在垂直方向的游標尺下端粘上大頭針，作為探針
4. 使用時滑動游標尺使探針尖端移到肥皂膜上，便可記錄水平、垂直的相對位置。完成品如下照片(5~8)

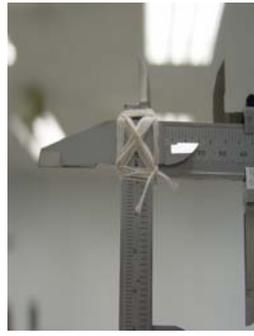
照片(5)測量前



照片(6)測量時



照片(7)接合處



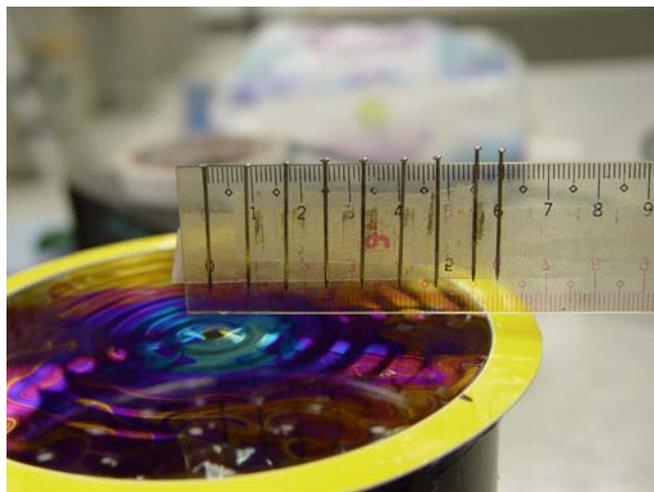
照片(8)探針



(四)、橫向定位裝置

1. 將一把直尺水平固定在鐵架上。調整至略高於肥皂膜的高度。
2. 在直尺上貼一條雙面膠。
3. 使用時將直尺移至圓形肥皂膜的正上方並使其通過圓心，以大頭針對準標定的位置後，黏在雙面膠上。
4. 完成品如下照片(9)

照片(9) 橫向定位裝置



陸、研究過程與結果

一、觀察肥皂膜所形成的波，並找出形成穩定駐波的條件

(一)、步驟

1. 利用 12cm 的圓形框嘗試以各種頻率振動，肉眼觀察觀察肥皂膜的外觀及穩定性。
2. 比較不同的輸入電壓對肥皂泡膜外觀及穩定性之影響。
3. 紀錄能夠產生同心圓駐波的條件。
4. 以高速閃光燈照明，設定頻率與振動器相同或接近，仔細觀察穩定同心圓駐波之「定格」或「慢動作」變化。

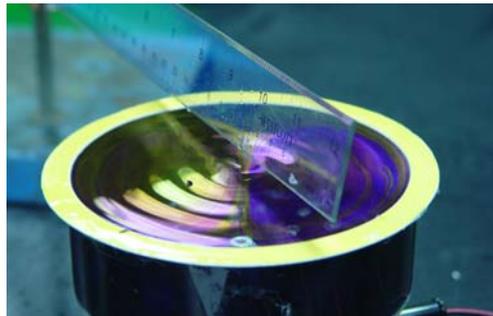
(二)、結果

1. 大多數頻率的振動都是使肥皂膜混亂且晃動，如下照片(10)，但是在特定頻率下能出現一圈一圈的同心圓，且非常穩定，如下照片(11)。
2. 電壓的大小只影響振幅大小，對穩定性影響不大。

照片(10)不穩定的波

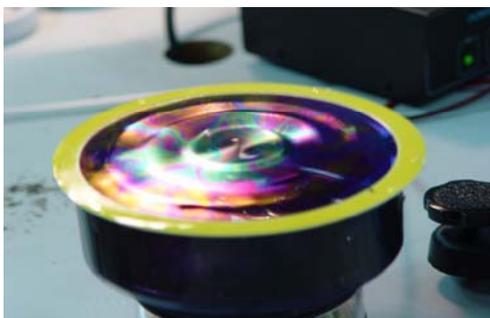


照片(11)穩定的同心圓駐波

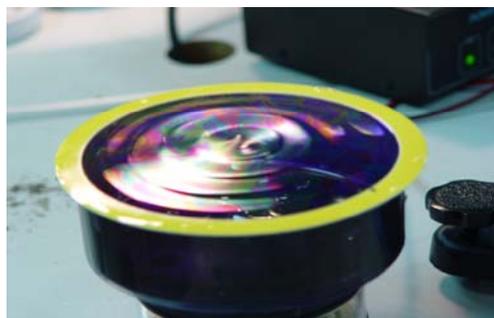


3. 頻率 62、81、134、161、190 Hz 可以產生穩定同心圓駐波。如照片(10~16)

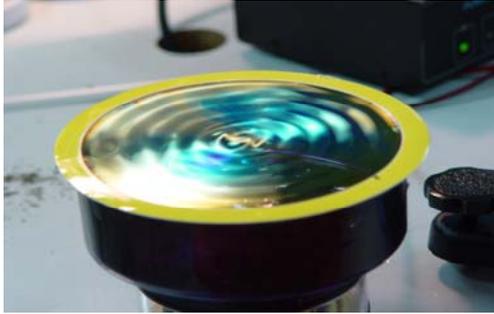
照片(12) 頻率 $f=62\text{Hz}$ ， $N=3$ 圈



照片(13) 頻率 $f=81\text{Hz}$ ， $N=4$ 圈



照片(14) 頻率 $f=134\text{Hz}$, $N=5$ 圈



照片(15) 頻率 $f=161\text{Hz}$, $N=6$ 圈

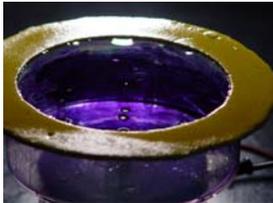


照片(16) 頻率 $f=190\text{Hz}$, $N=7$ 圈



4. 以高速閃光燈照明，可看到圓形駐波只在原地上下起伏而不前進。以下照片(17~32)為頻率 161Hz 每隔 6 秒之連續照片(條紋數為肉眼所見的一半)。

照片(17)



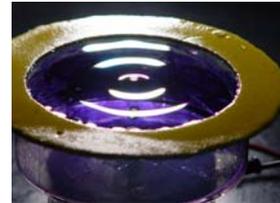
照片(18)



照片(19)



照片(20)



照片(21)



照片(22)



照片(23)



照片(24)



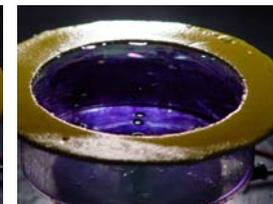
照片(25)



照片(26)

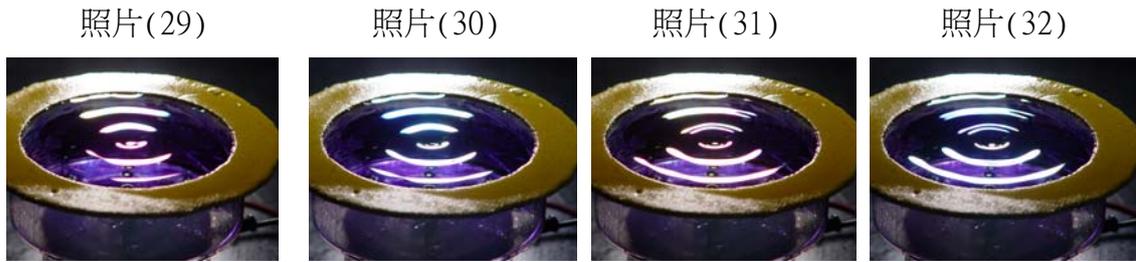


照片(27)



照片(28)





二、研究頻率和平均波速的關係

(一)、步驟

1. 分別以直徑 10、12、27cm 的圓形框振動器，找出有穩定駐波的頻率。
2. 計算波節數目，扣掉最外圈同心圓到邊框的距離，算出平均半波長。如下表 (2~4) 算出波速。
3. 繪製圖表並分析結果。如圖 (3)

(二) 結果

表 (2) 直徑 10 公分圓形框

圈數	頻率 f(Hz)	波長(cm)	邊緣距離(cm)	波速(cm/s)
2	55.00	3.88	1.13	207.90
3	87.20	2.78	0.83	233.70
4	119.90	2.36	0.29	276.97
5	148.60	1.89	0.28	282.93
6	189.90	1.60	0.22	302.57
7	236.10	1.37	0.21	323.79
8	284.00	1.20	0.20	340.80
9	325.00	1.08	0.13	352.08

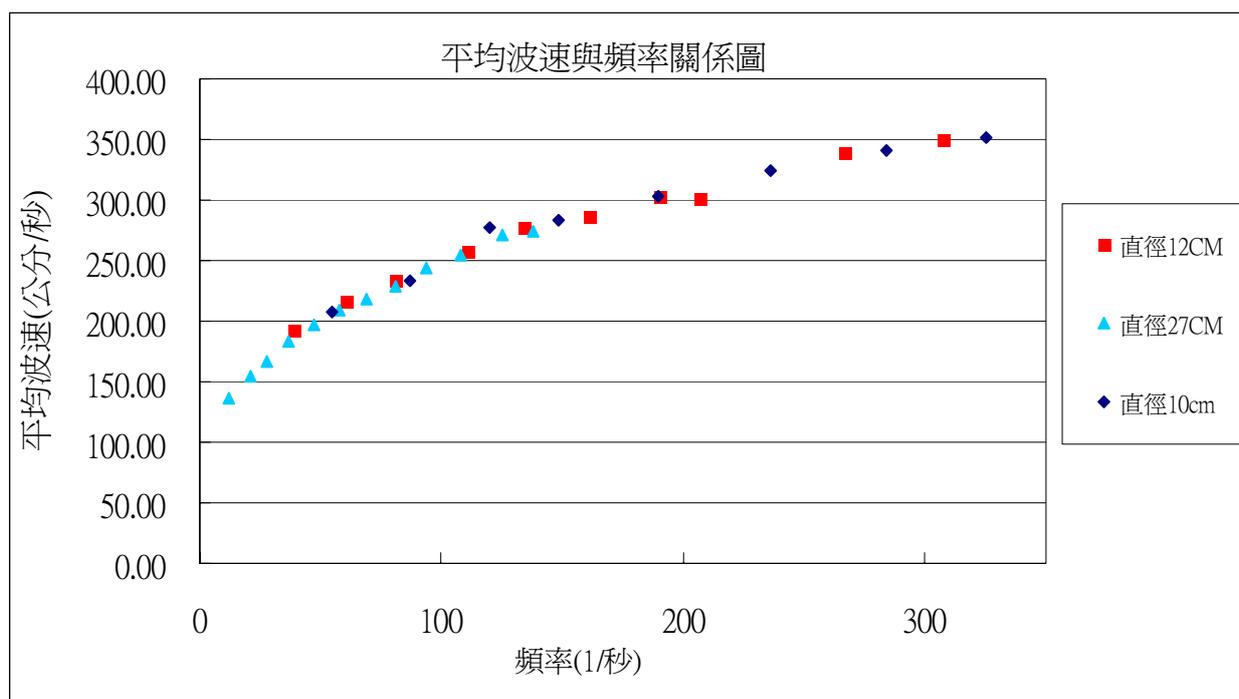
表 (3) 直徑 12 公分圓形框

圈數	頻率 f(Hz)	波長(cm)	邊緣距離(cm)	波速(cm/s)
2	39.00	4.94	2.47	192.66
3	61.00	3.54	1.77	216.00
4	81.00	2.88	1.44	233.08
5	111.00	2.32	1.16	257.00
5	134.00	2.07	1.03	277.00
6	161.00	1.78	0.89	286.00
7	190.00	1.59	0.80	302.57
8	207.00	1.46	0.73	301.44
9	267.00	1.27	0.63	338.79
10	307.00	1.14	0.57	349.37

表(4) 直徑 27 公分圓形框

圈數	頻率 f(Hz)	波長(cm)	邊緣距離(cm)	波速(cm/s)
2	12.20	12.35	2.31	136.52
3	21.00	8.20	2.42	155.19
4	28.00	6.35	1.61	166.46
5	37.00	5.18	1.12	183.22
6	47.00	4.34	0.96	196.54
7	58.00	3.73	0.89	208.97
8	69.00	3.27	0.88	217.70
9	81.00	2.92	0.76	229.41
10	94.00	2.64	0.56	243.27
11	108.00	2.40	0.55	254.29
12	125.00	2.21	0.48	271.25
13	138.00	2.03	0.60	273.98

圖(3)平均波速與頻率關係圖



波速隨著頻率增加而增加，且數據點都分布在同一條曲線上。表示圓框的直徑大小不影響波速-頻率關係。

三、研究穩定駐波各位置的波速

(一)、步驟

1. 以直徑 12cm 的圓形框振盪器，分別以頻率 62、81、111、134、161、190Hz 振動，使產生穩定駐波。於半徑方向上，利用二維游標尺，以探針紀錄波腹的位置。

2. 配合頻率，計算每一位置的波速。
3. 作圖分析比較各頻率中波速與位置的關係。

(二)、結果：各頻率，各波腹的間隔(mm)及波速(cm/s)如下表(5~10)

表(5) 頻率 $f=62\text{Hz}$

測量次數	測量 1	測量 2	測量 3	測量 4	測量 5	測量 6	平均值	波速(cm/s)
中央腹~1 腹	18.55	18.50	18.45	19.90	18.90	18.40	18.78	232.87
1~2 腹	17.15	17.70	17.30	19.40	16.70	15.15	17.23	213.65
2~3 腹	16.00	15.80	15.75	18.80	14.85	15.05	16.04	198.90
3~邊框	8.55	8.30	7.90	8.40	8.150	13.55	9.14	

表(6) 頻率 $f=81\text{Hz}$

測量次數	測量 1	測量 2	測量 3	測量 4	測量 5	測量 6	平均值	波速(cm/s)
中央腹~1 腹	16.00	16.15	15.95	16.30	15.10	16.00	15.92	257.90
1~2 腹	15.05	14.45	15.00	14.45	13.75	15.05	14.63	237.00
2~3 腹	13.15	13.30	12.30	13.00	12.50	13.15	12.90	208.98
3~4 腹	12.75	12.65	12.15	13.01	11.60	12.75	12.49	202.34
4~邊框	6.70	6.70	6.05	5.60	6.00	6.70	6.29	

表(7) 頻率 $f=111\text{Hz}$

測量次數	測量 1	測量 2	測量 3	測量 4	測量 5	測量 6	平均值	波速(cm/s)
中央腹~1 腹	13.20	13.25	13.50	12.30	13.25	13.80	13.22	293.48
1~2 腹	12.60	12.45	12.65	12.30	12.50	12.95	12.58	279.28
2~3 腹	11.30	11.45	11.20	11.90	11.80	12.45	11.68	259.30
3~4 腹	11.00	10.65	10.75	11.35	11.10	10.40	10.88	241.54
4~5 腹	8.15	8.10	7.85	10.15	9.10	8.75	8.68	192.70
5~邊框	3.45	3.10	3.00	2.25	2.55	2.70	2.84	

表(8) 頻率 $f=134\text{Hz}$

測量次數	測量 1	測量 2	測量 3	測量 4	測量 5	測量 6	平均值	波速(cm/s)
中央腹~1 腹	12.05	12.65	11.70	12.35	11.55	12.30	12.10	324.28
1~2 腹	11.15	11.10	10.65	10.65	11.10	11.75	11.07	296.68
2~3 腹	11.00	11.05	10.40	10.00	10.20	10.50	10.53	282.20
3~4 腹	10.40	10.50	10.30	9.25	9.60	10.05	10.02	268.54
4~5 腹	9.10	10.05	10.55	8.70	8.35	8.80	9.26	248.17
5~邊框	6.90	6.05	6.60	6.20	5.80	7.65	6.53	

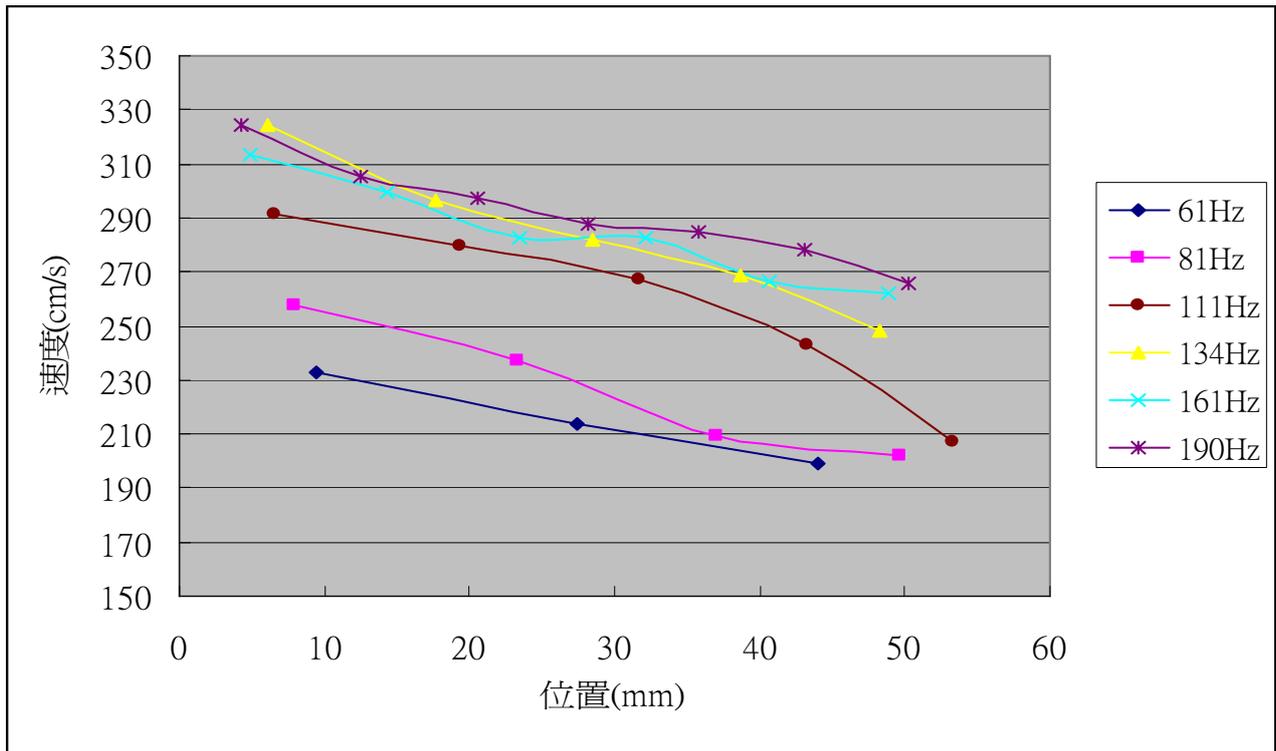
表(9) 頻率 $f=161\text{Hz}$

測量次數	測量 1	測量 2	測量 3	測量 4	測量 5	測量 6	平均值	波速 (cm/s)
中央腹~1 腹	9.60	9.65	10.40	9.55	9.55	9.65	9.73	313.31
1~2 腹	9.45	9.60	9.05	9.15	9.15	9.40	9.30	299.46
2~3 腹	8.80	8.45	8.75	8.90	8.90	8.85	8.78	282.72
3~4 腹	8.80	8.45	8.75	8.90	8.90	8.85	8.78	282.72
4~5 腹	8.10	7.90	8.25	8.25	8.25	8.85	8.27	266.30
5~6 腹	7.90	7.60	8.15	8.25	8.90	8.05	8.14	262.11
6~邊框	5.35	5.80	5.65	5.85	5.55	5.70	5.65	

表(10) 頻率 $f=190\text{Hz}$

測量次數	測量 1	測量 2	測量 3	測量 4	測量 5	測量 6	平均值	波速(cm/s)
中央腹~1 腹	8.25	8.30	8.40	9.10	8.50	8.70	8.54	324.52
1~2 腹	7.90	8.20	8.10	8.55	8.00	7.50	8.04	305.52
2~3 腹	7.90	7.80	8.00	7.85	7.45	7.90	7.82	297.16
3~4 腹	7.55	7.65	8.00	7.85	7.05	7.40	7.58	288.04
4~5 腹	7.45	7.55	7.75	7.85	6.95	7.40	7.49	284.62
5~6 腹	7.40	6.90	7.65	7.25	6.90	7.85	7.33	278.54
6~7 腹	7.20	6.70	7.35	6.80	6.90	7.05	7.00	266.00
7~邊框	4.70	5.05	7.00	6.10	4.60	4.95	5.40	

圖(4)各穩定頻率時波速與位置關係圖



(三)、分析：

- 1.各腹線之間隔並非定值，而是愈向外圍，間隔愈小。
- 2.頻率愈大，波速愈大。
- 3.愈靠近中心位置波速愈大。

四、測量穩定駐波各波腹振幅

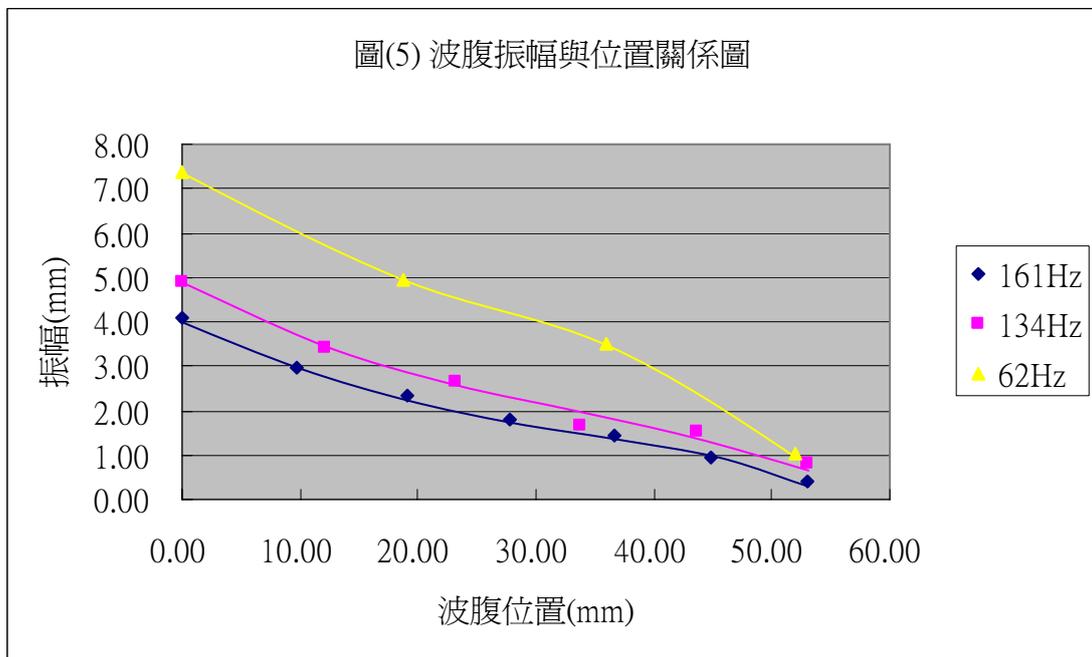
(一)、步驟

- 1.以直徑 12cm 的圓形框震盪器，分別以頻率 62Hz、134Hz、161Hz，相同輸入電壓 5V 來振動肥皂膜產生穩定圓形駐波。
- 2.調整二維游標尺的位置，使探針能夠沿水平尺滑動到圓心正上方，以確認水平游標尺為徑向。
- 3.以探針測量圓形框振動的上、下端點位置，兩端點的中央即為平衡位置。
- 4.以探針對準各個同心圓的腹線位置，紀錄水平游標尺的刻度。再緩緩下降，當探針接觸膜時，會出現小小的泡沫，記錄此時垂直游標尺刻度。
- 5.將以上刻度，換算成相對距離。
- 6.分析各腹線的振幅關係。

(二)、結果：各頻率、各腹線位置及平均振幅如下表(11)、圖(5)

表(11) 頻率 62Hz、134Hz、161Hz，各波腹的位置與振幅 (mm)

頻率	62Hz		134Hz		161Hz	
	波腹位置 (mm)	振幅(mm)	波腹位置 (mm)	振幅(mm)	波腹位置 (mm)	振幅(mm)
中央腹	0.00	7.38	0.00	4.90	0.00	4.10
1 腹	18.78	4.96	12.10	3.40	9.73	2.95
2 腹	36.01	3.50	23.17	2.65	19.03	2.35
3 腹	52.05	1.05	33.70	1.65	27.81	1.80
4 腹			43.72	1.55	36.59	1.45
5 腹			52.98	0.80	44.86	0.95
6 腹					53.00	0.40



結果分析：

- 1.三種振動頻率之穩定駐波中，頻率愈低振幅愈大，且愈靠近中心點振幅愈大。
- 2.依照圖形趨勢判斷，邊框不是波腹也不是波節，且振幅大小遠小於波腹。

五、比較同心圓波腹位置隨時間之變化

(一)、步驟：

- 1.以直徑 12cm 的圓形框振盪器，分別以頻率 62、81、191Hz 來振動肥皂膜。
- 2.將橫向定位裝置移到膜面略上方且直尺通過圓心處。
- 3.以大頭針標示中心點、各波腹及邊界位置。
- 4.每隔三分鐘核對一次腹點的位置如何改變，直到肥皂膜破掉。

(二)、結果：

各頻率、各腹點位置隨時間之變化如下表(12~14)

表(12) $f=62\text{Hz}$

	中央~1 腹	1~2 腹	2~3 腹	3~邊框
t=0	20.05	17.10	14.75	6.85
t=3mins	20.05	17.10	14.80	6.75
t=6mins	20.05	17.10	14.85	6.70

表(13) $f=81\text{Hz}$

	中央~1 腹	1~2 腹	2~3 腹	3~4 腹	4~邊框
t=0	17.20	13.90	13.15	11.50	3.55
t=3mins	17.20	13.90	13.15	11.50	3.55
t=6mins	17.20	13.90	13.15	11.30	3.50

表(14) $f=191\text{Hz}$

	中央~1 腹	1~2 腹	2~3 腹	3~4 腹	4~5 腹	5~6 腹	6~7 腹	7~邊框
t=0	8.65	7.55	7.55	7.65	7.80	7.55	7.10	4.90
t=3mins	8.65	7.55	7.55	7.65	7.80	7.55	7.10	4.90
t=6mins	8.65	7.55	7.55	7.90	7.85	7.55	6.85	4.75

從肥皂膜的顏色變化可知，膜逐漸蒸發變薄，但是各波腹的位置幾乎不會改變，表示波速也沒有改變。

六、比較溶液的濃度比對波速的影響

(一)、步驟：

1. 將肥皂水比例改變為 清潔劑:甘油:蒸餾水 1:4:5
2. 測量肥皂水溶液各腹線的位置，配合頻率，計算波速。
3. 和之前實驗的數據比較。

(二)、結果：

各腹線位置的數據和之前實驗的數據比較，發現各腹線位置並沒有變化。

柒、討論：

一、穩定同心圓確實是駐波：

研究過程一之3. 觀察高速閃光燈照射下的肥皂膜（兩者頻率很接近時）可以很清楚的看到節線幾乎不動，而其餘部分在原地上下起伏，腹線較之附近上升最高，也下降到最低。可證明穩定同心圓確實是駐波。

二、相同的介質，波速竟然不是定值：

研究過程二，結果(圖 3)很清楚的呈現出肥皂膜的平均波速會隨著頻率增加而增加，即使改變圓形框的大小，使部分頻率範圍重疊，數據點仍然分布在同一條曲線上，更可證明本實驗結果的可靠性。高中物理課本上所提的「相同介質，波速固定」並不是完整的敘述。

在研究過程三，更進一步顯示出不但波速隨著頻率增加而增加，即使在相同的振動頻率下，波速也不是處處相等，而是愈接近中心處波速愈快，這現象也與「波速為定值」不符。

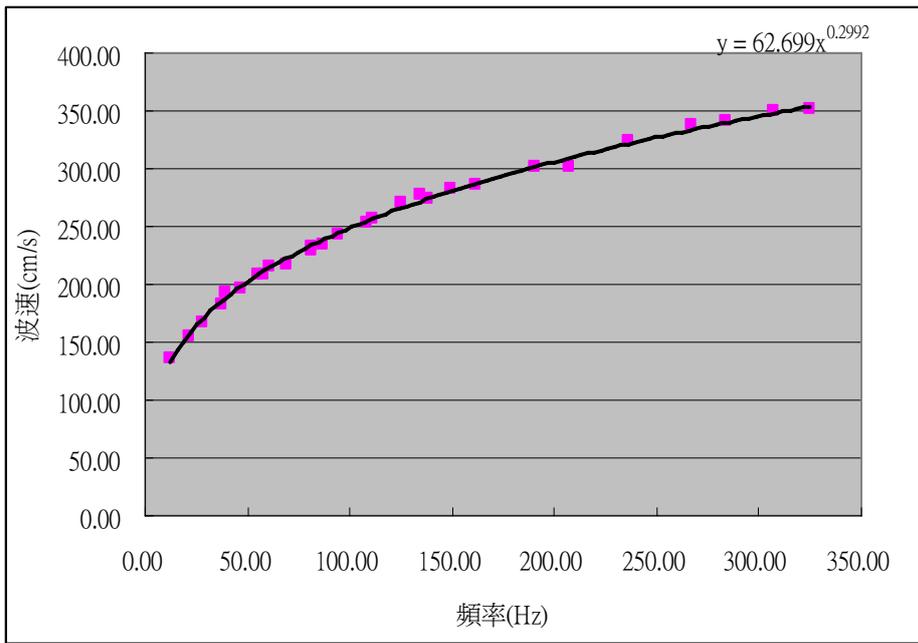
三、波速-頻率關係的經驗公式：

1. 將三種不同直徑圓形框所測得駐波的波速、頻率數據統合為一個圖表(15)。
2. 在 Excel 中做圖，並嘗試以各種型態的數學式畫趨勢線，判斷最能符合數據點的趨勢線有“四次多項式”和“乘冪”，其方程式及圖形如圖(6、7)。
3. 為確定公式的正確性，於是我們多測量了頻率 352Hz、400Hz、450Hz 的波速，將增加的數據一起作圖分析，並比較趨勢線的方程式如圖(8、9)。四次方多項式與乘冪類型的方程式仍能與數據點非常吻合。

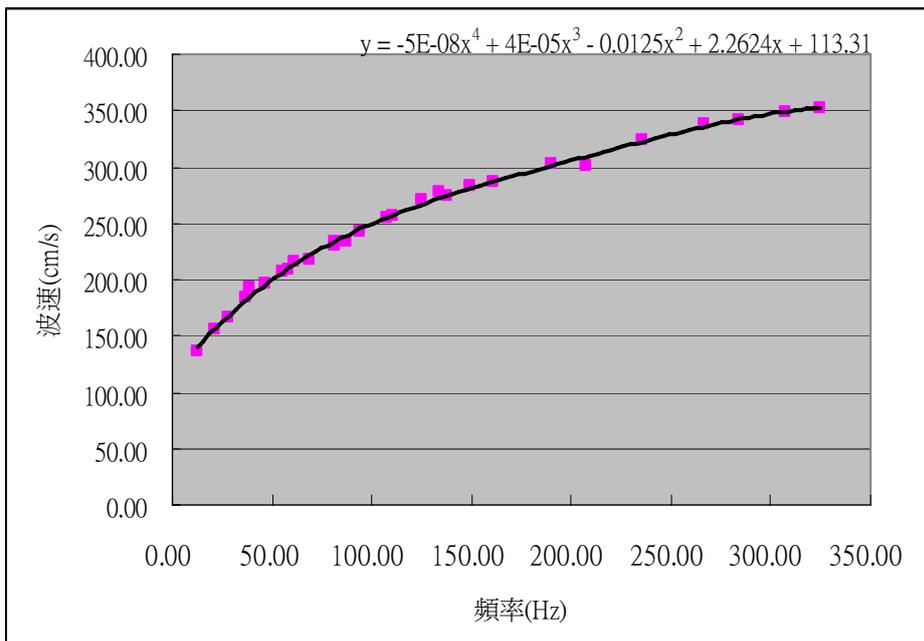
表(15)各頻率和波速

頻率	波速	頻率	波速
12.20	136.52	108.00	254.29
21.00	155.19	111.00	257.00
22.00	162.07	125.00	271.25
28.00	166.46	134.00	277.00
37.00	183.22	138.00	273.98
39.00	192.66	149.00	282.93
47.00	196.54	161.00	286.00
55.00	207.90	190.00	302.57
58.00	208.97	207.00	301.44
61.00	216.00	236.00	323.79
69.00	217.70	267.00	338.79
81.00	233.08	284.00	340.80
81.00	229.41	307.00	349.37
87.00	233.70	325.00	352.08
94.00	243.27		

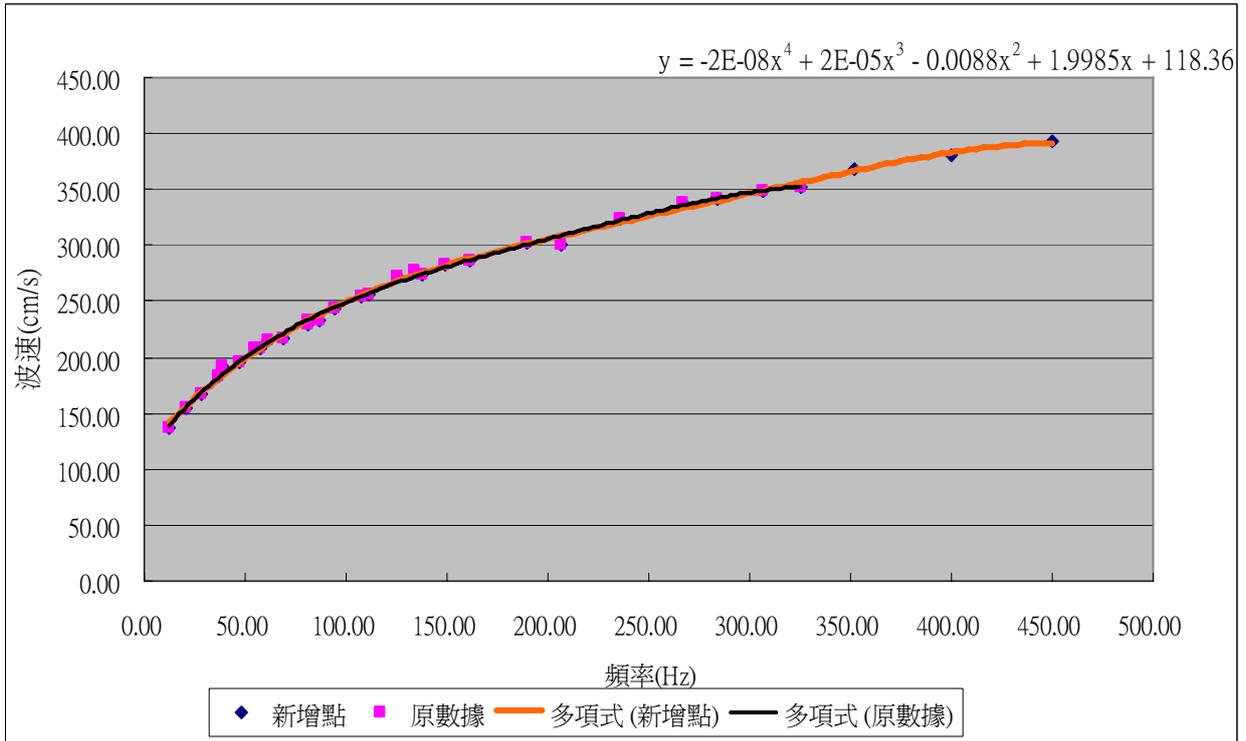
圖(6)頻率和波速趨勢圖(四次方多項式)



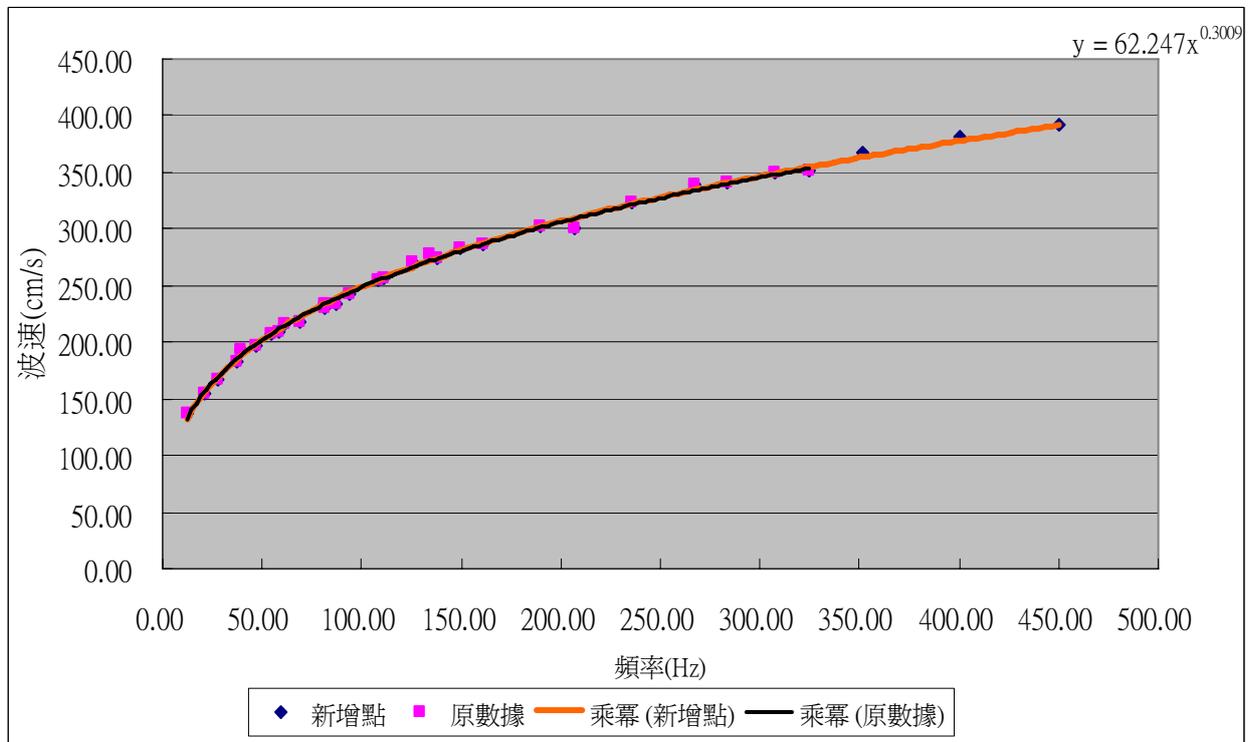
圖(7)頻率和波速趨勢圖(乘冪)



圖(八)加入頻率 352、400、450 之頻率和波速趨勢圖(四次方多項式)



圖(九) 加入頻率 352、400、450 之頻率和波速趨勢圖(乘冪)



4. 比較兩類型方程式的參數如下表(16)，可發現加入 352.400.450 頻率之數據點之後，多項式類型的方程式有較大的改變，較不一致。而乘冪類型的方程式較一致。

表(16)兩類型方程式之參數比較

參數	四次方多項式					乘冪	
	四次方項係數	三次方項係數	二次方項係數	一次方項係數	常數項係數	係數	次冪
原數據	-5E-08	4E-05	-0.013	2.264	113.30	62.70	0.30
新增點	-2E-08	2E-05	-0.009	1.999	118.36	62.25	0.30

5. 將兩次乘冪類型公式的參數平均後得經驗公式 $v=62.5x f^{0.3}$

6. 誤差分析：將頻率帶入公式 $v=62.5x f^{0.3}$ 得出理論值，並算出與測量值之百分誤差如表(17)。百分誤差的標準差為 $\pm 1.39\%$ ，測量數據與方程式極為吻合。

表(17)測量值與理論值比較

頻率	波速	理論值	誤差	百分誤差
12.20	136.52	132.79	3.72	2.81
21.00	155.19	156.29	-1.10	-0.70
28.00	166.46	170.38	-3.92	-2.30
37.00	183.22	185.24	-2.02	-1.09
39.00	192.66	188.19	4.47	2.38
47.00	196.54	199.02	-2.48	-1.25
55.00	207.90	208.63	-0.73	-0.35
58.00	208.97	211.98	-3.01	-1.42
61.00	216.00	215.21	0.79	0.37
69.00	217.70	223.32	-5.62	-2.52
81.00	233.08	234.32	-1.24	-0.53
81.00	229.41	234.32	-4.91	-2.10
87.00	233.70	239.40	-5.70	-2.38
94.00	243.27	245.02	-1.75	-0.72
108.00	254.29	255.44	-1.15	-0.45
111.00	257.00	257.55	-0.55	-0.21
125.00	271.25	266.90	4.35	1.63
134.00	277.00	272.52	4.48	1.64
138.00	273.98	274.94	-0.96	-0.35
149.00	282.93	281.33	1.60	0.57

161.00	286.00	287.95	-1.95	-0.68
190.00	302.57	302.62	-0.05	-0.02
207.00	301.44	310.50	-9.06	-2.92
236.00	323.79	322.95	0.84	0.26
267.00	338.79	335.14	3.65	1.09
284.00	340.80	341.40	-0.60	-0.18
307.00	349.37	349.47	-0.10	-0.03
325.00	352.08	355.49	-3.41	-0.96
352.00	367.68	364.11	3.57	0.98
400.00	381.20	378.34	2.86	0.76
450.00	392.73	391.95	0.78	0.20

百分誤差之標準差 1.39

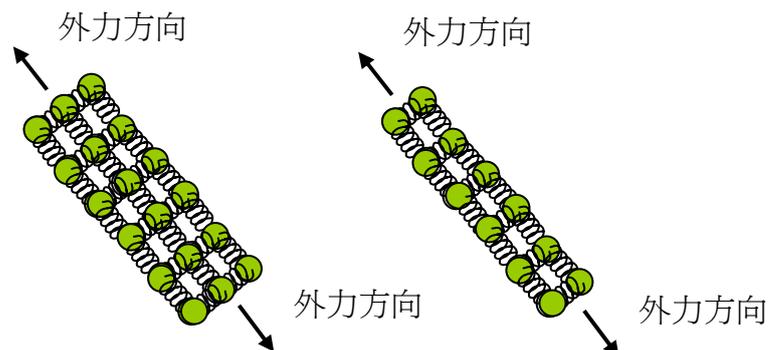
四、各腹線位置隨時間並無太大的變化

根據研究過程五可以知道，波長並未隨著時間而變化，即表示波速沒有隨時間而改變。肥皂膜在空氣中因為表面積/體積之比值極大，很容易因蒸發而變薄，此過程可以從顏色變化看出來。膜的厚度變薄就表示面密度 δ 變小，假如表面張力 T

維持不變，而波速 $V \propto \sqrt{\frac{2T}{\delta}}$ ，則波速應該會隨著時間變快，則應該可以觀察到波腹間的距離隨時間而變大。但是實驗中完全無此現象，我們推論，最有可能的情況是“ $T \propto \delta$ ”。因此 T 應該不是表面張力，而是一種會隨著肥皂膜的厚度成正比的作用力。

我們根據物質的分子模型，提出一個假設來解釋此種現象：

- 1、分子模型：分子之間的作用力使分子與分子維持一個平衡距離，就如同分子之間有許多彈簧使分子能維持一定距離且力平衡。
- 2、當分子受外力拉大距離或壓近距離時，分子間的作用力會產生恢復作用將分子拉回原來的平衡位置。
- 3、如下圖示，當膜的厚度不同時就分子的「層數」就不同，分子的面密度 δ 不同，分子恢復力也不同，相當於「並聯」的彈簧數量不同。於是單位長度的恢復力 T 與 δ 成正比關係。



五、不同濃度的肥皂水溶液不影響波速變化

根據研究過程六，發現改變不同濃度比例，各腹線位置並沒有改變，不影響波速。

六、肥皂膜的穩定與壽命：

剛剛抹上圓形框的肥皂膜不容易產生穩定的駐波，而且振動時會噴出小水滴。振動一陣子之後，肥皂膜的性質就穩定下來了，產生的駐波也穩定下來，一直到破掉為止。研究五中證實了肥皂膜雖然愈來愈薄，但是穩定態並未改變。振動中的肥皂膜經常可以持續將近十分鐘才破裂。最久的曾經記錄到 17 分 57 秒。

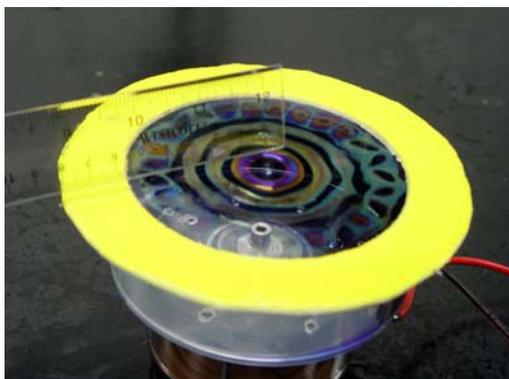
七、振動時，肥皂膜的厚度並不一致：

從肥皂膜破裂之前逐漸出現的黑斑、黑線條可以很清楚的看出節線處的厚度最薄，而波腹處的厚度最厚。(如照片 33 中央附近)

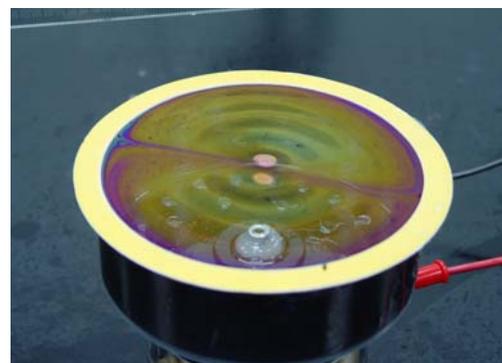
八、肥皂膜上的對流現象：

振動時肥皂膜經常會出現水平方向的對流的現象，這些對流現象與頻率有關，某些頻率會出現很明顯的分兩邊對半對流(如照片 34、35)，而某些情況之下可看到靠近框框處出現許多對流小漩渦(如照片 32、36 周邊)。從黑斑經常出現在漩渦中心，可判斷漩渦中心的肥皂膜最薄(如照片 32、36 周邊)。

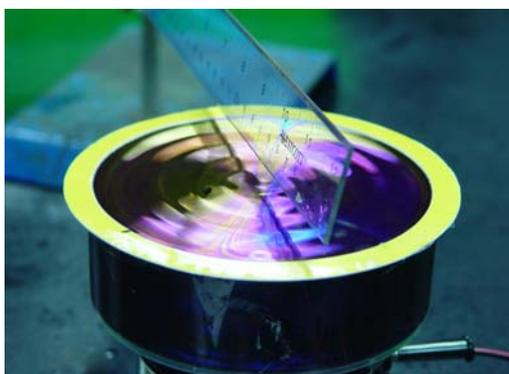
照片(32)



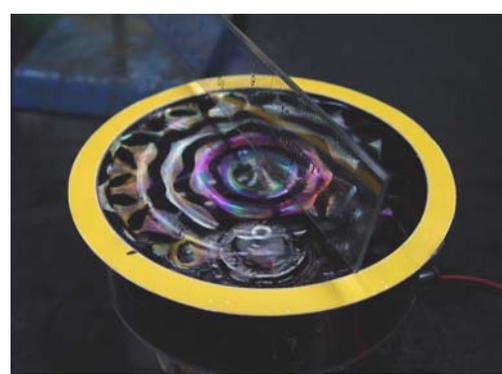
照片(33)



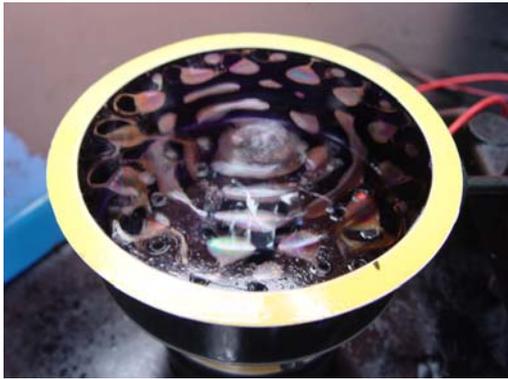
照片(34)



照片(35)



照片(36)



九、同心圓上也出現了波節：

當某些頻率振動之下，當肥皂膜快破掉之前較薄處形成的黑線條常能襯托出腹線的寬度不均勻，而呈現波節狀或多邊形(如照片 33、36 中央附近)，可見穩定振動當中不只是形成同心圓狀的駐波，其中還可能同時存在沿著圓周方向的駐波，只是振幅較小不夠明顯。

捌、結 論：

- 一、產生穩定同心圓駐波需要特定的頻率，如研究過程一、二。
- 二、在本實驗探討範圍內，發現肥皂膜上的波速與振動的頻率有關，由實驗得到波速與頻率的公式 $v=62.5 \times f^{0.3}$ 。此關係與框的大小、膜的厚度、振幅大小、肥皂液配方比例無關。
- 三、肥皂膜上的波速與膜的厚度無關，可能表示膜上單位長度的恢復力 T 與膜的厚度成正比。
- 四、在穩定的同心圓駐波中，中心及每一波腹的振幅與位置有關，愈接近中心點振幅愈大，如圖(5)。
- 五、穩定同心圓駐波中，同時存在一些沿著圓周方向的規律變化，可能是較小幅度的駐波，也可能是一些規則的對流。如照片(34)、照片(35)

玖、參考資料

一、論文類

- (一)、吳駿逸(民 89)。液晶/油酸黏滯流體之法拉第波研究。國立中山大學物理研究所碩士論文，未出版，高雄市。

二、圖書單行本

- (一)、林明瑞 等(2008)。高中選修物理(上)。台南市：南一。
- (二)、HALLIDAY (1998)。FUNDAMENTALS OF PHYSICS (中譯)。台北市：全華。
- (三)、李怡嚴 (民 73 1/12)。大學物理學。台北市：東華。

三、網站資料

- (一)、Ron Hipschman 著 Bubbles
<http://www.exploratorium/ronh/bubbles/bubbles.html>

【評語】 040117

本作品以常見的肥皂膜為題材，探討影響肥皂膜波速的可能參數，三位作者列出數項可能變因並一一以實驗驗證，符合科學的精神，唯在求得肥皂膜波速時，代入不正確的頻率數值，是蠻可惜的。