

2022 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 160007

參展科別 物理與天文學

作品名稱 外加電場下環形泡膜形變控制之研究

得獎獎項

就讀學校 臺北市立麗山高級中學

指導教師 徐志成、黃福坤

作者姓名 黃宇晨

關鍵詞 電場、泡膜、運動

作者簡介



我是黃宇晨，就讀台北市立麗山高中，在校內物理專題開啟了我的科學研究興趣，有幸也受到徐志成老師和黃福坤教授的教導，一路走來得到很大的幫助，也對科展生了濃厚熱忱，並在指導下參加台灣國際科展。

專題研究豐富了我的高中學習，不僅在時間管理上或是處事態度都改變了許多，同時也強化在科學的知識，謝謝兩位指導老師不厭其煩的指導。

摘要

本研究利用平行電板建立電場，觀察在外加電場下環形泡膜的各種形變運動。電場越大時，形變越大；分別使用不同大小的環形框架觀察，發現形變量與框架半徑的比值會隨著框架半徑增加而減小，推論與表面電荷密度的分布變化有關連。將泡膜從薄到厚分成五個區域，針對不同厚度的泡膜與運動型態做分析，發現運動狀態可以大致分成，穩定震動、提升點，以及急遽增加後碰到電板破裂三個階段。針對電場 26,666 V/m-33,333 V/m 時的震動現象做深入分析，利用簡諧運動的模型來詮釋泡膜運動，藉以預測不同表面張力液體對應的彈性係數。未來期望利用不同電解質去改變泡膜組成，探討不同電解質在電場下的運動行為。

In this study, an electric field was established using parallel plates to observe various deformation motions of the annular bubble film under the applied electric field. The larger the electric field, the larger the deformation; the ratio of deformation to frame radius decreases as the frame radius increases, which is inferred to be related to the change of surface charge density distribution. The bubble film was divided into five regions from thin to thick, and the motion pattern was analyzed for different thicknesses of the bubble film, and it was found that the motion state could be roughly divided into three stages: stable vibration, lifting point, and rupture of the electric plate after a sharp increase. In-depth analysis of the vibration phenomenon at the electric field of 26,666 V/m-33,333 V/m was performed, and the motion of the bubble film was interpreted by using the simple harmonic motion model to predict the elasticity coefficient corresponding to different surface tension fluids. In the future, we hope to use different electrolytes to change the composition of the bubble film and explore the motion behavior of different electrolytes under the electric field.

壹、研究動機

極性分子隨著電場變化這個現象被廣泛運用在日常生活中，從微波爐到 LED 顯示器，再到電控玻璃，都是用極性分子隨著電場而旋轉或運動的特性來去做延伸。以微波爐舉例，使用變動的電場使水分子旋轉，而這個旋轉會產生摩擦，進而產生熱能。而個現象就讓我去思考，如果將電場改成穩定的電場，而極性分子選擇表面張力較小的泡膜，就能觀察到泡膜在電場下的形變運動。因此本研究針對泡膜做實驗，研究在表面張力以及流體力學中占有重要地位，同時也是一個結合電學，光學，極性分子，運動學的創新實驗。

貳、研究目的及研究問題

- 一、探討平行電板在不同半徑環形框中架輸入高電壓，觀察泡膜形變與外加電場的關係。
- 二、針對中環形變做深入研究，分析運動型態，利用簡諧運動推估對應彈性係數。
- 三、針對不同厚度形變做深入研究，探討不同厚度與形變運動關係。
- 四、利用探針通電，慢速游移於泡膜表面，觀察泡膜顏色與厚度分布。
- 五、藉由加入不同電解質改變表面張力，以達到改變彈性係數而改變運動狀態。

參、研究方法與過程

一 實驗器材架設

(一) 個別細節實驗架設

1. 肥皂水配置

根據參考先前研究肥皂膜能最常存活時間比例，得出組成內容加入甘油以延長肥皂泡的存活時間。經嘗試後以水：介面活性劑：甘油 = 50 : 2 : 3.5 (體積比)的比例配製肥皂水。由掛環法(du Noüy ring method)測得肥皂水的表面張力為 $\gamma = 3.27 \times 10^{-2} \text{ N/m}$ 。

2. 電源供應器

觀察到泡膜形變需要夠高電壓輸出，因此在實驗中採用 110V 交流電轉 10kV 直流電的電源供應器。

3. 平行電板

採用長寬各 65*65 公分的平行電板架設實驗，中間間隔 15 公分空隙使泡膜有足夠形變空間。

4. 環形框架

分別使用半徑為 2、4、6 公分的框架來當環形泡膜框架。



圖一 整體實驗裝置圖

(二) 整體實驗裝置

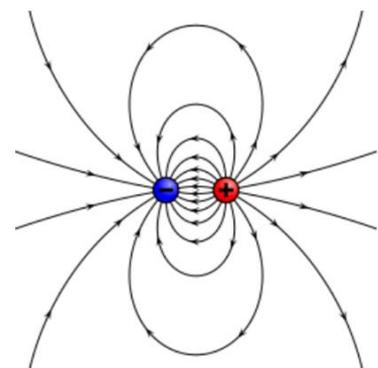
表一 個別實驗裝置示意圖

不同半徑環形框架	平行電板	變壓器	泡泡	抽屜滑軌	鱷魚夾	高速相機
木板基底	絕緣膠帶	銀膠	電源供應器	電子秤	電腦程式 rgb	TRACKER 程式

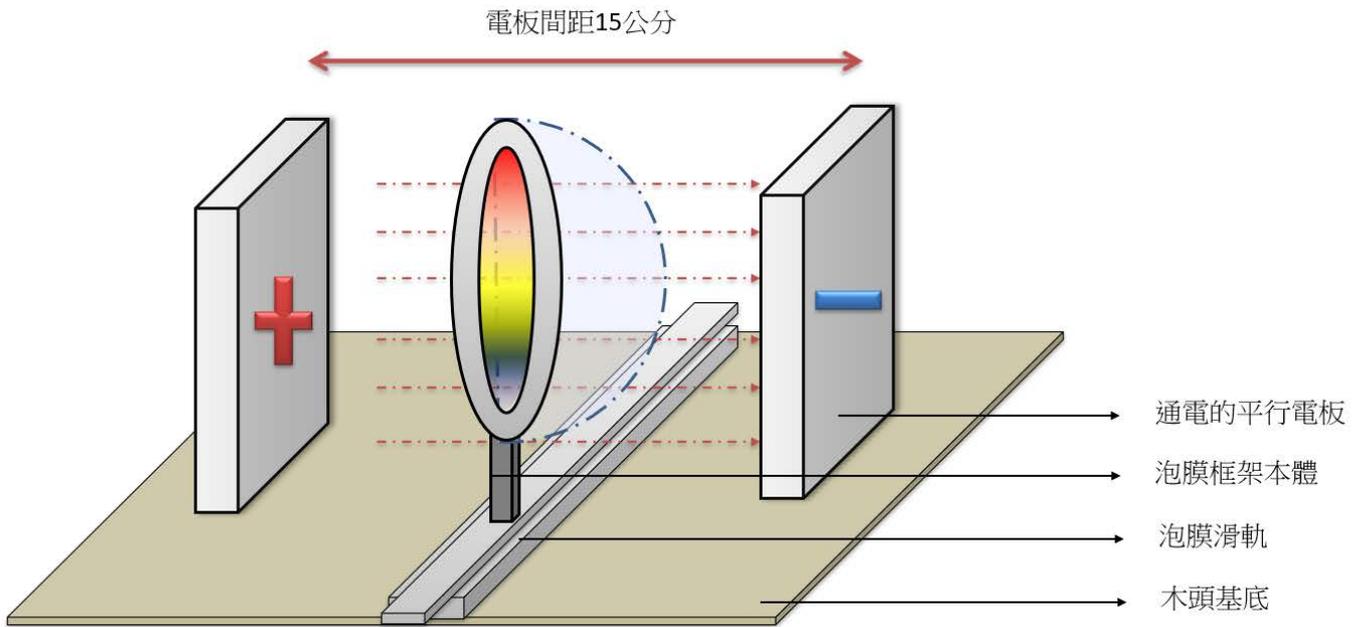
二、探討平行電板在不同半徑環形框中架輸入高電壓，觀察泡膜形變與外加電場的關係。

(一) 實驗目的與原理

1. 泡膜主要成分為水，而水為極性分子
電偶極(electric dipole)為一個由兩個相距一段距離，電量相等，正負相反的電荷組成之系統，右圖即為一個電偶極構成之電場分布。自然界中的許多分子，例如：水分子(H₂O)、氯化氫(HCl)……等等，因正負電荷分布不均，就像是一個電偶極一樣，具有極性。



圖二 電偶極在電場的受力圖



圖五 第一實驗裝置示意圖

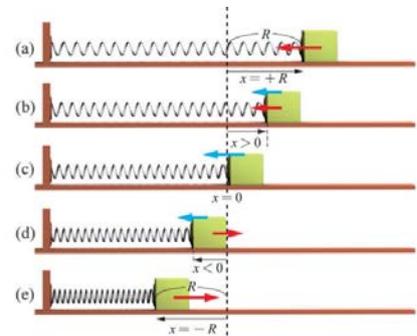
三、針對中環形變做深入研究，分析運動型態，導入公式求出對應彈性係數

(一)實驗目的與原理

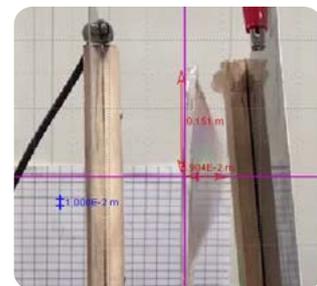
1. 簡諧運動模型解釋此運動行為
由於數據顯示出此運動行為接近簡諧運動，因此以簡諧運動模型與公式推出彈性係數。

(二)實驗步驟

1. 環形泡膜通電後發現震動現象
2. 利用高速相機針對環拍攝
3. 分析形變與電壓回彈現象，
4. 並探討可能的原因與原理，找出其規律性



圖六 簡諧運動示意圖



圖七 中環利用 tracker 的定義圖

四 針對不同厚度形變做深入研究，探討不同厚度與形變運動關係

(一)實驗目的與原理

1. 光程與相位差

因不同色光進入皂膜時所產生的干涉情形皆不同，故利用皂膜之顏色找出其主要色光之波長，利用上述相位差運算求出皂膜之厚度。

	透射	反射		同相	反相
密→疏	同相	同相	$\frac{2n-1}{2} \frac{\lambda}{n}$	破壞性干涉	建設性干涉
疏→密	同相	反相	$m \frac{\lambda}{n}$	建設性干涉	破壞性干涉

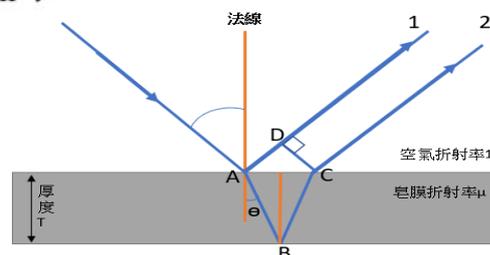
圖八 相位差解釋

$$\text{相位差 } \delta = \left(\frac{2d}{\cos r} n - 2d \tan r \sin r \right) x = \left(\frac{2dn^2}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}} - 2d \frac{\sin^2 i}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}} \right) x = 2xd \sqrt{n^2 - \sin^2 i} = y\lambda$$

$$d = \frac{y}{4x} \cdot \frac{\lambda}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}$$

2. 薄膜干涉原理

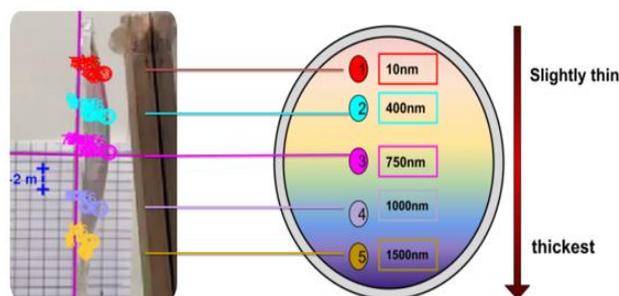
照射一束光波於薄膜，由於折射率不同，光波會被薄膜的上界面與下界面分別反射，因相互干涉而形成新的光波，這現象稱為薄膜干涉。



圖九 薄膜干涉原理圖

3. 色彩與厚度的分布

受到地心引力影響，會使泡膜造成上方較薄而下方較厚的現象，因此造成泡膜表面的不同顏色，固可藉由表面的顏色推算出厚度，進而得出實際厚度值。



圖十 泡膜厚度分布圖

(二)實驗步驟

1. 將中環由上到下分成五區
2. 計算不同厚薄的實際厚度值
3. 分析不同厚薄度下的運動狀態
4. 推估不同厚度與彈性係數之關係
5. 解釋不同厚度與形變運動之關係

五 利用探針通電，慢速游移在泡膜表面，觀察泡膜顏色與厚度分布

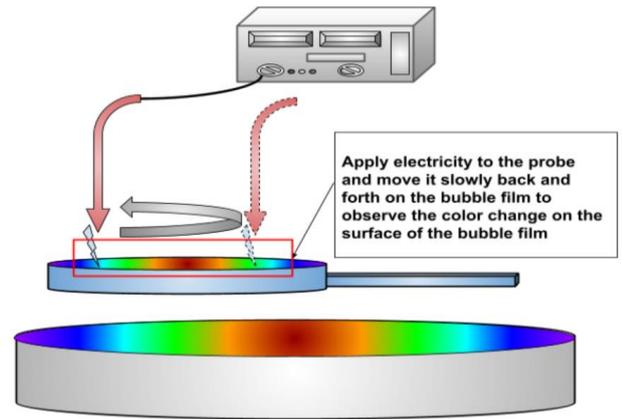
(一)實驗目的與原理

1. 尖端放電

在尖端物體附近的空氣，因為有非常高的電場，所以被游離成離子態，而離子態的分子擁有導電性，所以可將離子態的空氣視為導體。

(二)實驗步驟

1. 將鱷魚夾連接電源供應器使其通電
2. 將通電探針靠近泡膜表面慢速游移
3. 觀察泡膜表面顏色變化



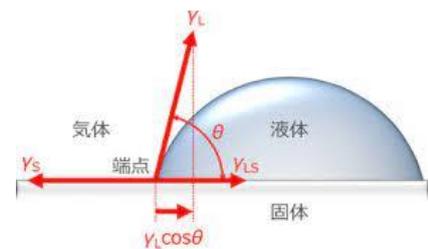
圖十一 實驗示意圖

六 藉由加入不同電解質改變表面張力，以達到改變回彈係數而改變運動狀態

(一)實驗目的與原理

1. 表面張力

兩種不同物態的物質之間界面上的張力被稱為表面張力。水的表面張力來自於由凡得瓦力所造成的內聚力，且表面張力會隨液體的不同而不同。



圖十二 接觸角示意圖

(二)實驗步驟

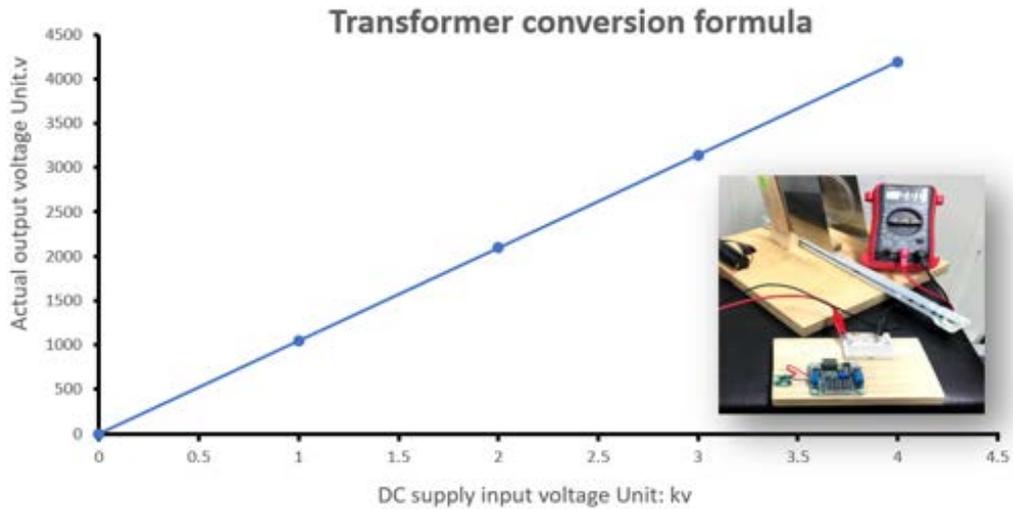
1. 利用不同體積比的電解質與介面活性劑混合
2. 觀察不同酸鹼下，泡膜於電場下的運動行為

肆、研究結果

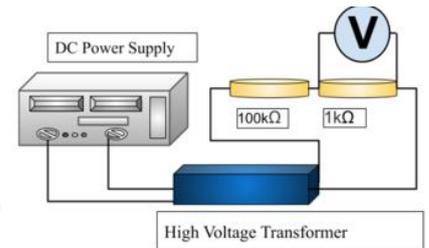
一、探討平行電板在不同半徑環形框中架輸入高電壓，觀察泡膜形變關係

(一)探討變壓器的轉換原理與公式

表二 變壓器轉換圖表



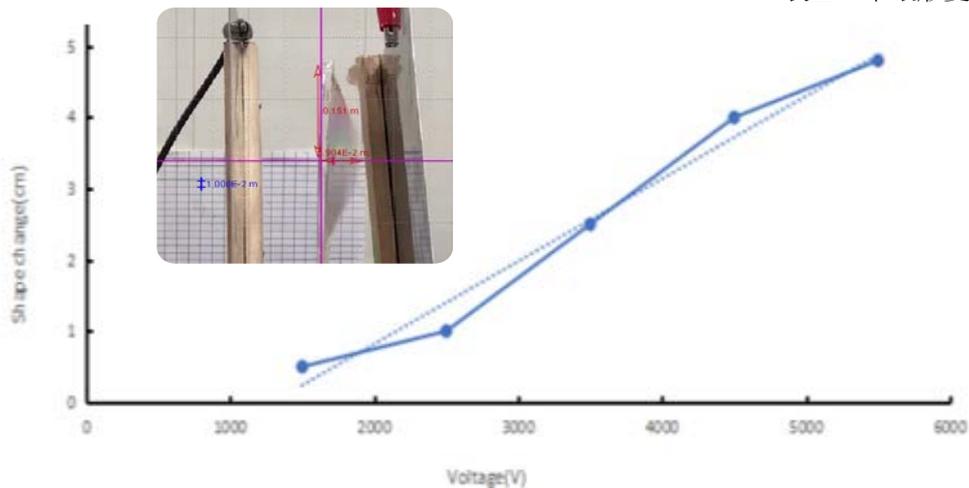
- 輸入 1v-5v，連接兩電阻，一個 1000Ω 、一個 100Ω
利用分壓力法測得，由上圖可知輸入電壓與輸出電壓成正比，電源供應器輸入電壓乘上 1040 即可得出實際電壓輸出值。



圖十二 電阻分壓法

(二)單就中環討論電壓與形變關係

表三 中環形變量

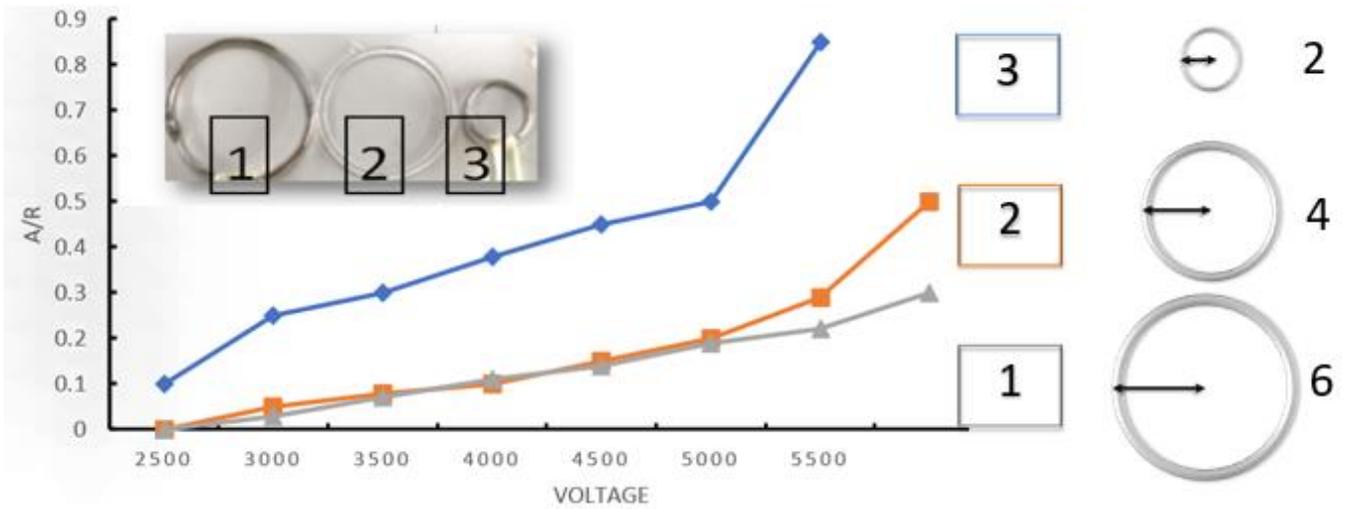


- 由圖表可知，電壓與型變成正相關，當電壓逐漸增加時，形變也會逐漸增加
- 因此接下來將針對不同半徑的環形框架來做討論

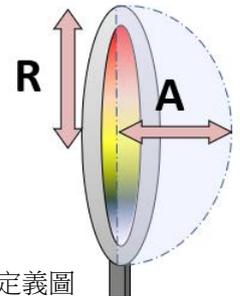
(三)針對不同半徑環形框架討論電壓與形變關係

表四 不同環形半徑與形變關係

THE RELATIONSHIP BETWEEN DIFFERENT RADII AND DEFORMATION



1. 分別使用半徑為 6、4、2 公分的環形半徑進行實驗
2. 形變量定義為 A/R ，其中 A 代表各框架的最大形變量，而 R 代表各環形半徑
3. 由圖表可知形變量與電壓成正比，與環形半徑成反相關

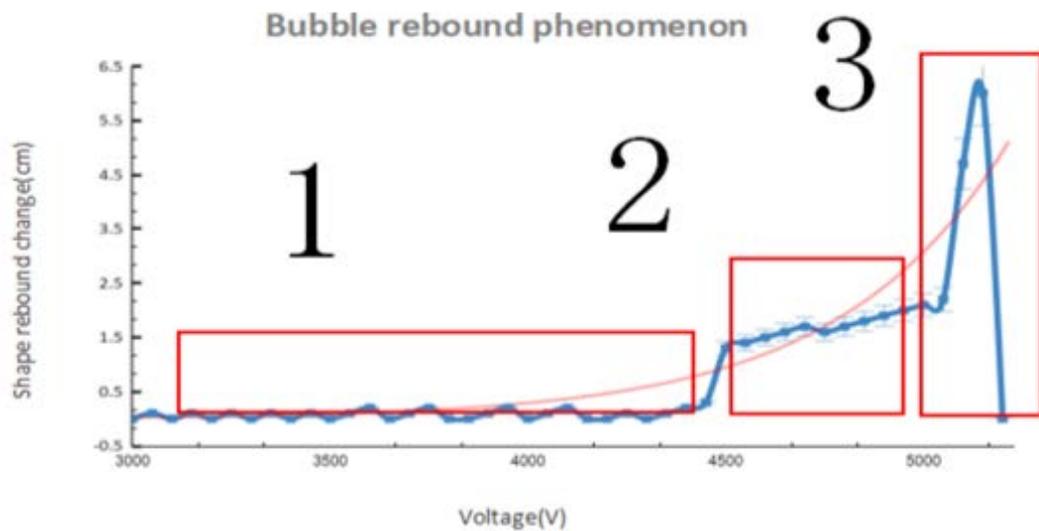


圖十三 泡膜形變定義圖

二、針對中環形變做深入研究，分析運動型態

(一) 分析整體形變趨勢

表五 中環形變細微分析圖

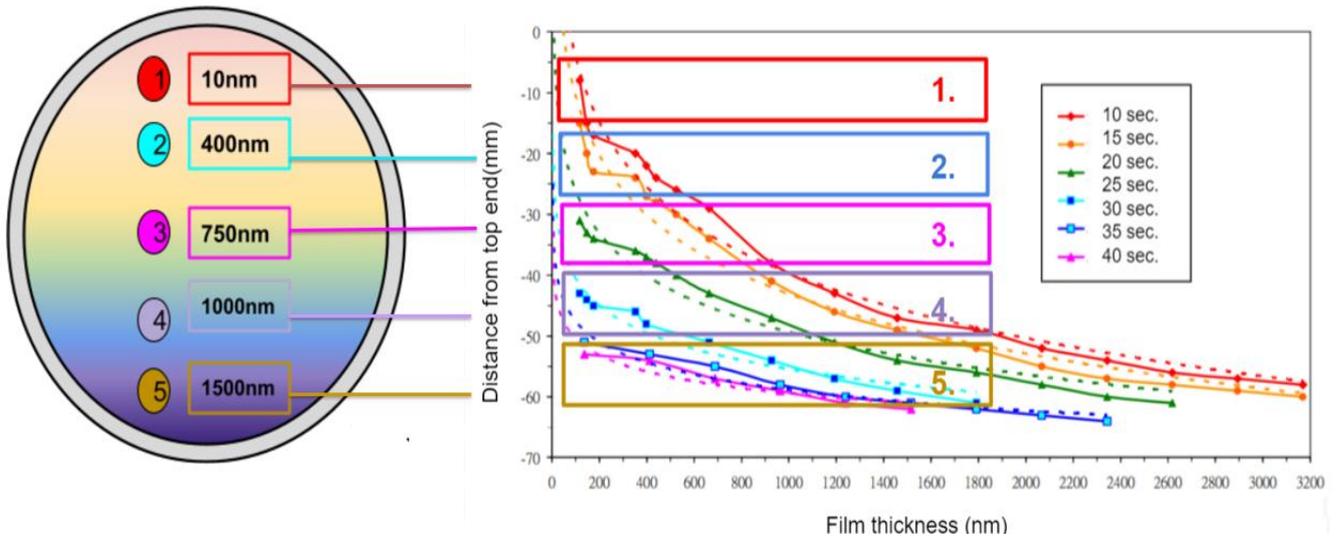


1. 利用 Tracker 程式分析影片，定位整體的最大形變量
2. 發現運動狀態可以大致分成，穩定震動、提升點，以及急遽增加後碰到電板破裂三個階段
3. 當電壓在 4000-5000 時，形變有持續性震動現象
4. 可以簡諧運動模型解釋此現象，當在範圍及小的範圍內產生運動時，可以藉由求出實際震盪頻率，而得出彈性係數 K 值

三、針對不同厚度形變做深入研究，探討不同厚度與形變運動關係

(一) 確立泡膜各區厚度

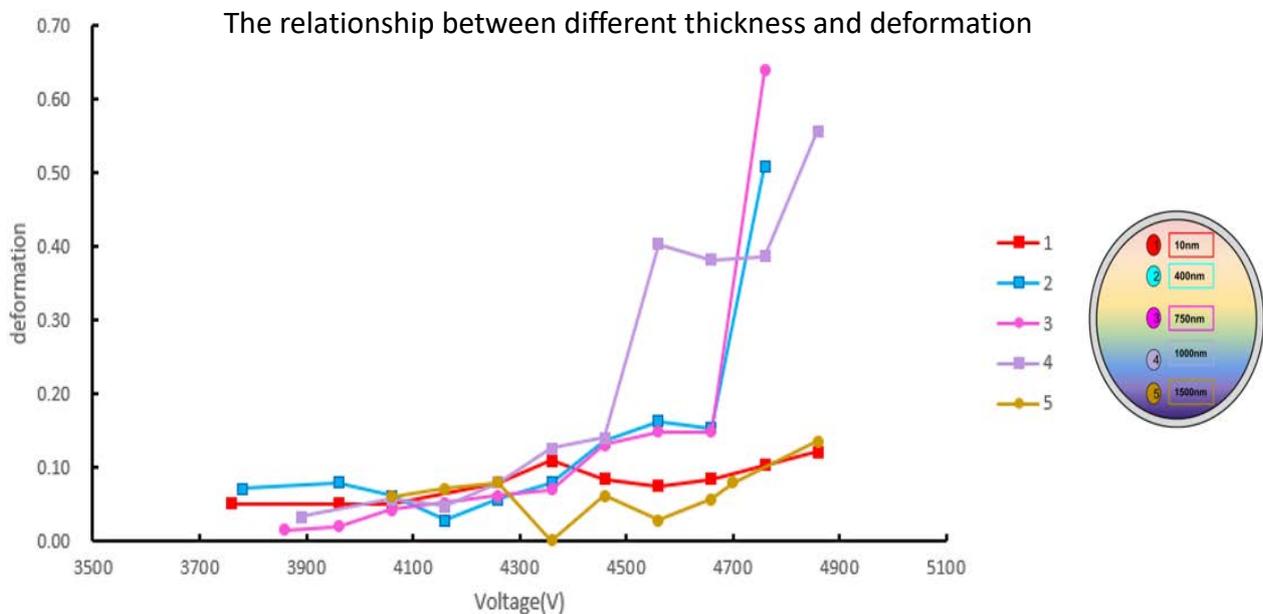
表六 皂膜厚度隨時間變化圖



1. 此張圖表顯示垂直放置時，泡膜厚度隨時間變化圖表
2. 本研究固定時間於 10-20 秒內完成
3. 故可得平均厚度約為左側圖所示，而得到實際厚度後，便可得知不同厚度與形變震盪關係

(二) 分析不同厚度與型變震動現象

表七 不同厚度與形變變化



1. 由以上圖表可得，形變大致以中間軸(第三區) 為對稱
2. 形變會隨著不同厚度而更改
3. 一、五區大致對稱，二、四區大致對稱，其中以第三區的形變為最明顯

四、 第四實驗：利用探針通電，慢速游移再泡膜表面，觀察泡膜顏色與厚度分布

(一) 探針通電與泡膜顏色分布



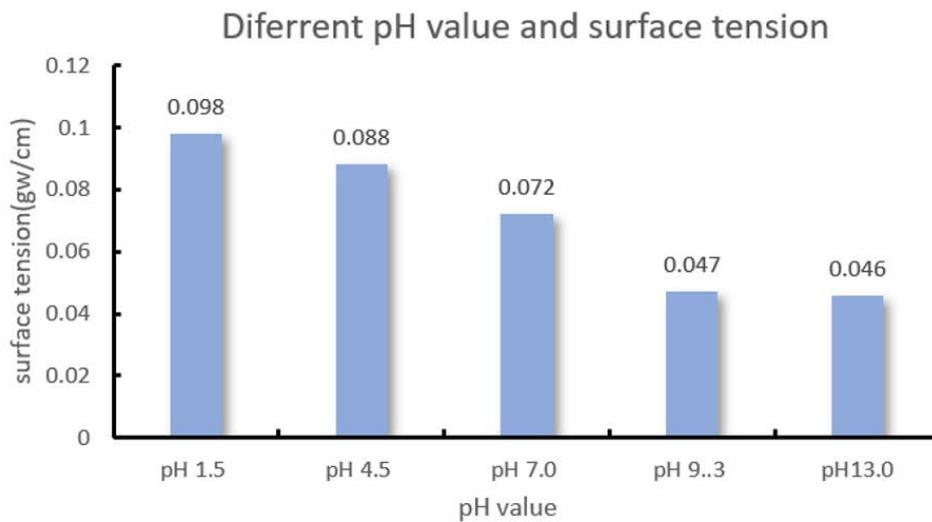
圖十四 通電探針游移圖

1. 將鱷魚夾通電於泡膜表面慢速游移，能發現泡膜表面有緩慢與探針移動的現象

五、第五實驗：藉由加入不同電解質改變表面張力，以達到改變回彈係數而改變運動狀態

一、不同酸鹼值與表面張力相關性

表八 不同酸鹼值與表面張力數值



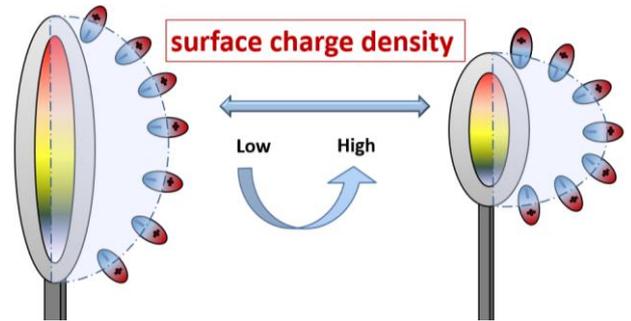
1. 由圖表可知由酸到鹼分別有不同的表面張力
2. 因此可以初步推估不同的酸鹼加入界面活性劑將會造成不同的彈性係數藉而改變運動狀態

伍、討論

一、不同半徑與形變量不同的原因

(一) 不同的電荷密度差異

1. 就大環而言，表面電荷密度較小，造成較小的形變
2. 就小環而言，表面電荷密度較高，造成較大的形變

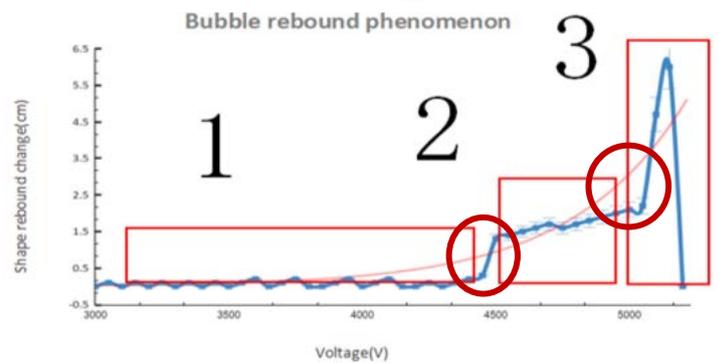


表十五 表面電荷密度分布圖

二、造成形變劇烈增加的原因

(一) 電荷密度的劇烈改變

1. 由右方圖表可看出，當第一區至第二區時有一劇烈增加，而當第二區至第三區也有一劇烈增加
2. 初步推測是當電壓來到 4400 福特時，造成泡膜表面的電荷分布也劇烈的改變，進而造成急遽的形變增加
3. 這一部分值得多做實驗，以驗證想

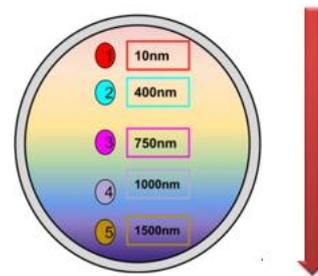
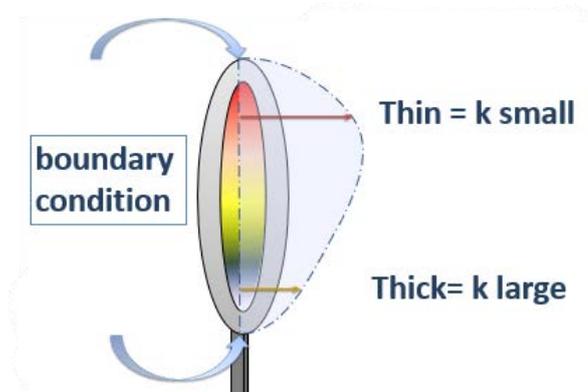


圖十六 中環細微形變特殊現象

三、不同厚薄有不同形變的原因

(一) 不同彈性係數差異

1. 就上部分討論，厚度較薄，導致彈性係數 K 值較小，造成較大的形變
2. 就下部分討論，厚度較厚，導致彈性係數 K 值較大，造成較小的形變



圖十七 不同厚度與彈性係數分布圖

(二) 彈性係數的測量

1. 由於此運動可以用簡諧運動模型來做解釋，故可以藉由測出實際震動頻率 f 進而求出不同的彈性係數 K 值

$$F = -K X$$

$$\downarrow$$

$$F = ma$$

$$\downarrow$$

$$a = w^2 X$$

$$\downarrow$$

$$w = 2\pi f$$

$$\downarrow$$

$$f = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}}$$

F: Force	Unit: Newton
K: Elasticity coefficient	N/cm
m: Mass	Kg
a: Acceleration	m/s*s
X: deformation	cm
f: frequency(times/s)	N/s

圖十八 彈性係數計算方法圖

四、震動現象造成的原因

(一) 造成形變的主要兩大因素

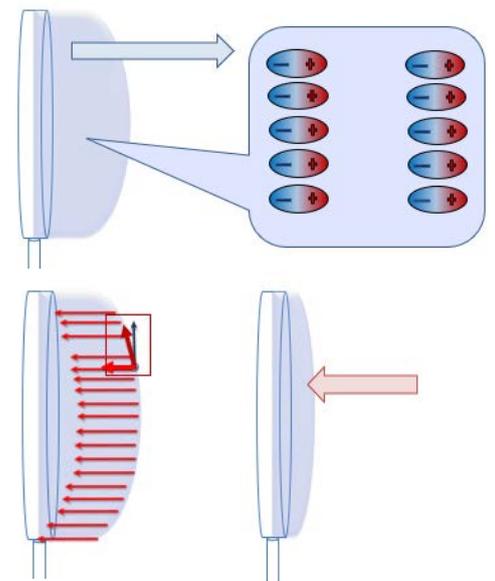
1. 電場的拉力

由於水是極性分子，因此當電場持續增加時，水分子會整齊排列，並被電場吸引而造成往外的形變

2. 表面張力的回力

泡膜表面依舊有表面張力的存在，而表面張力的分力，會造成往回的回力，且當泡膜持續往外時，表面張力的分力會持續增加（向左的分力會增加較多）

3. 當上述兩者力不停轉換，且彼此抗衡時，便會造成形變震動的現象



圖十九 造成震動現象解釋圖

陸、結論

一、確立形變與電場的關係

(一) 形變與電場成正比

(二) 形變量與框架半徑的比值會隨著框架半徑增加而減小

二、得知泡膜運動行為趨勢

(一) 穩定震盪時期

(二) 形變基準點提升

(三) 劇烈增加直到碰到電板後破裂

三、分析不同厚薄與形變震盪之關係

(一) 形變並非完美對稱，其中以第三區為形變最明顯

(二) 會隨著不同厚度而做更改，由於不同厚度造成不同彈性 K 值

柒、參考資料

1	2020.12.14	國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系	泡泡化學-科學遊戲實驗室	介紹肥皂親疏水端極性與非極性原理。
2	2019	Thin Film Optics 薄膜光學	劉承揚	探討薄膜光學的光學原理、製造、檢測。
3	中華民國 第 49 屆 中小學科學展覽會	製作奈米的肥皂泡膜	嚴凱傑 朱柏憲	講述各層干涉條紋的流動，了解了肥皂薄膜流動的過程，推測可能是液晶層狀流動的現象。
4	2016	物理教育學刊 2016, 第十七卷第二期, 67-74 Chinese		以實驗探討邊界條件對二維駐波的影響
5	2018	高雄市立新莊高級中學	甄致瑜、 蔡明翰、 施柏安	圓形皂膜駐波與厚度變化
6	2018	台北市立建國中學	姜理元	論平行電板間肥皂泡之變形現象
7.	物理雙月刊（廿三卷六期）2001 年 12 月	國立台灣大學化學系及凝態中心	郭清癸、 黃俊傑、 牟中原	金屬奈米粒子的製造

【評語】 160007

泡膜形變控制，求彈性係數，議題相當新穎。研究計畫設計，電壓的施加，膜的架設與運動研究方法皆有可取之處。利用探針施加局域電場，能顯現區域性樣態改變。如果能在報告中更清楚的說明數據的來源與計算方式與準備完整的實驗日誌會較好。