

膜上功夫 — 談肥皂膜

高小組物理科第二名

台中市育仁國民小學

作者：林子郁、李達維

張耀元、林育加

指導教師：林存美、陳瑤玲

一、研究動機

有一天，我去參觀自然科學博物館，看到一個實驗，把正立方體和正三角錐的鐵絲框浸入肥皂水中再提起來。本來我認為肥皂水會在鐵絲框上形成肥皂膜，結果竟出乎我意料之外，膜向框的中心凹進去了，形成一些三角形、梯形、正方形的小面積，而且每次浸泡的結果膜形、膜數都相同。這引起我很大的興趣，我決定做各種形狀的鐵絲框，和同學一起研究，探討肥皂膜的秘密。

二、研究目的

- (一) 研究各種不同形狀的鐵絲框浸入肥皂水後的結果。
- (二) 研究改變浸泡鐵絲框方法的結果。
- (三) 研究鐵絲框大小改變對膜形、膜數的影響。
- (四) 研究鐵絲框大小改變對膜的持久性之影響。
- (五) 研究同形狀、大小不同的鐵絲框重疊在一起所形成的膜。
- (六) 研究肥皂水的溫度對膜的持久性之影響。
- (七) 研究肥皂水的濃度對膜的持久性之影響。
- (八) 研究不同濃度肥皂水的黏稠度。
- (九) 研究將鐵絲框上的面逐一遮掉對膜形成的影響。
- (十) 研究改變膜內外的壓力對膜之影響。
- (十一) 研究在近似真空狀態的容器內操作實驗對膜之影響。

(2) 探討鐵絲框內的膜形、膜數與鐵絲框形狀的關係。

(3) 計算正立方體、正三角錐鐵絲框內膜的總面積和該形狀的表面積及體積的關係。

三、研究材料

1. 鷹王肥皂絲 2. 珍珠板 3. 溫度計 4. 吸管 5. 秤 6. 尺
7. 鐵絲框 8. 黏度計 9. 碼錶

四、研究過程和結果

用 100 °C 的熱水將肥皂絲溶解，配成 1 %、5 %、10 %、15 %、20 % 的肥皂水。除 1 % 濃度在室溫下不結凍外，其他濃度的肥皂水在 40 °C 以下會凝固，使用時再加熱至 50 °C 使其完全溶解，並維持恆溫。

實驗一：各種不同形狀的鐵絲框浸入肥皂水中再提起的結果如何？

方法：使用 1 % 的肥皂水，將 16 種形狀的鐵絲框浸入再提起，觀察形成的膜形及膜數。

結果：見表一

表一 各種不同形狀鐵絲框浸入肥皂水後的結果

鐵絲框的形狀	膜的位置				鐵絲框的形狀	膜的位置			
	上	中	下	旁		上	中	下	旁
1. 正三角柱	3 △	1 線	3 △	3 □	9. 六角柱	6 □	1 ○	6 □	6 △
2. 等腰三角柱	3 △	1 線	3 △	3 □	10. 八角柱	8 □	1 ○	8 □	8 △
3. 正方柱	4 □	1 □	4 □	4 △	11. 圓柱 (2) ✕	2 D	1 □	2 D	
4. 長方柱	4 □	1 □	4 □	4 △	12. 圓柱 (3) ✕	3 ∇	1 線	3 ∇	3 □
5. 正立方體	4 □	1 □	4 □	4 △	13. 圓柱 (4) ✕	2 □ 2 □	1 □	2 □ 2 □	4 ∇

6.菱形柱	4□	1□	4□	4△	14.半圓柱	1D	1□	1D	
7.梯形柱	4□	1□	4□	4△	15.正三角錐	3△	1點	3△	
8.五角柱	5□	1○	5□	5△	16.正四角錐	1□		2□ 2△	4△

* 圓柱(2)、(3)、(4)各為上下底的圓形由2、3、4根鐵絲連接。

實驗二：改以肥皂水流入、流出的方式浸泡鐵絲框，膜還會和實驗一所得的結果相同嗎？

方法：利用虹吸原理將肥皂水流入、流出。

結果：改變浸泡鐵絲框的方法所得的膜形、膜數和實驗一的結果完全相同。

實驗三：改變正立方體、正三角錐的大小，鐵絲框內的膜形、膜數會不會改變？

方法：兩種形狀各做6、8、10、12公分四個鐵絲框。

結果：大小不同，形狀相同的鐵絲框其膜形、膜數均不會改變，但膜的大小會隨框的大小而改變。

實驗四：改變正立方體、正三角錐的大小，膜的持久性會不會改變？

方法：同實驗三的鐵絲框，測框離水面至膜的其中一面破掉的時間。

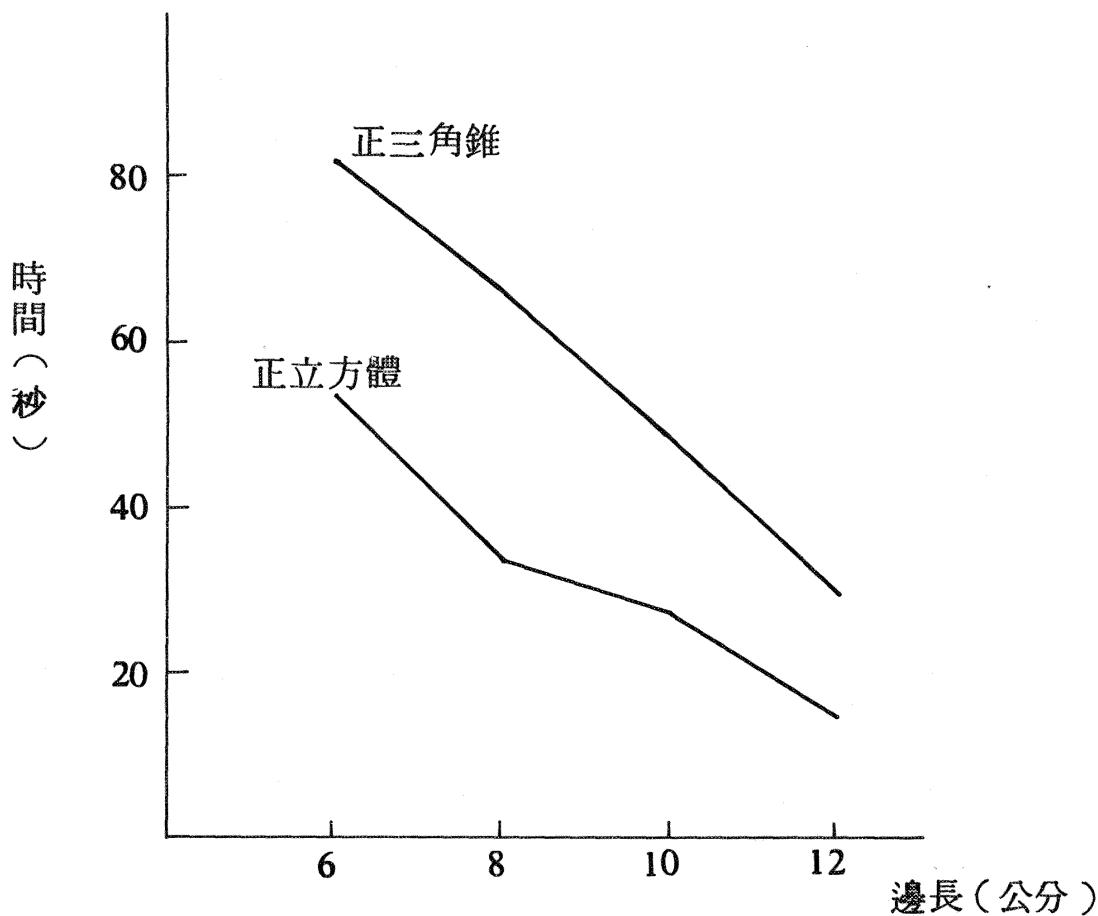
結果：越大的鐵絲框膜維持的時間越短。見圖一。

實驗五：把兩個大小不同的正立方體、正三角錐重疊會形成怎樣的膜？

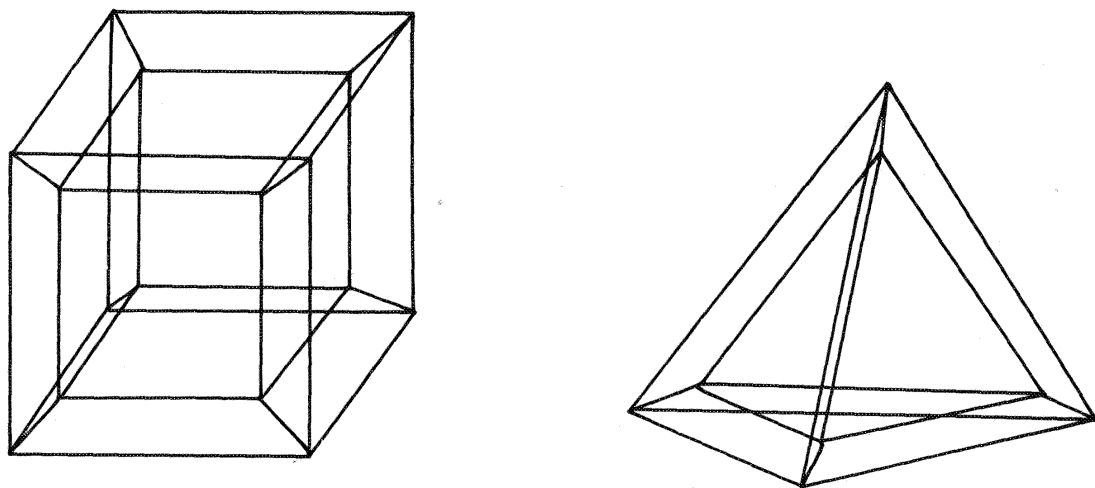
方法：同實驗三的鐵絲框，將同形狀的鐵絲框重疊。

結果：1.兩個正立方體重疊多出12個梯形的膜，連小正方體內原有的13個膜共25個膜。見圖二。

2.兩個正三角錐重疊多出6個梯形的膜，連小正三角錐內原有的6個膜共12個膜。見圖二。



圖一 改變框的大小對膜持久性的影響



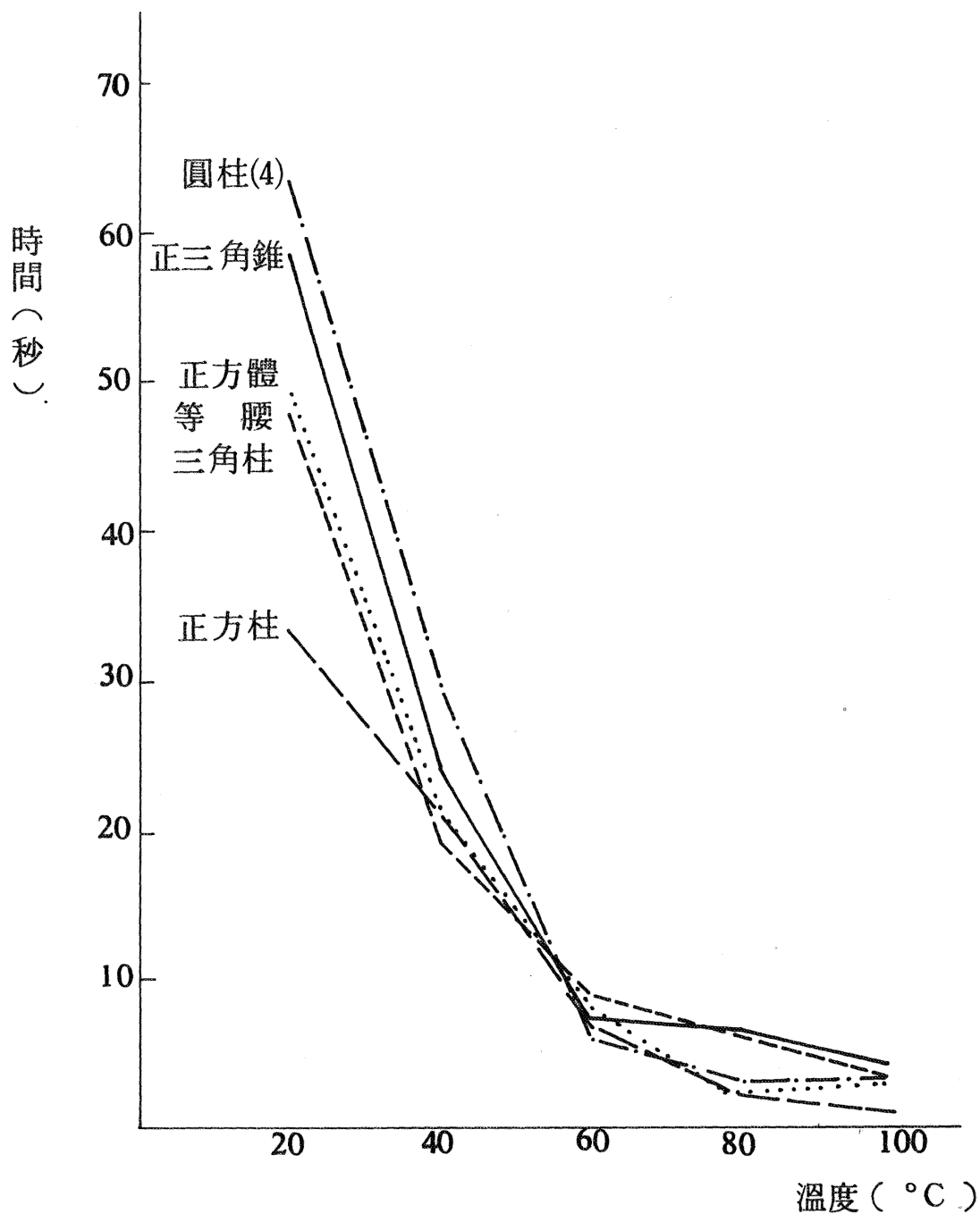
圖二 兩個正立方體、正三角錐重疊多出的膜

實驗六：肥皂水的溫度會不會影響膜的持久性？

方法：將 1% 的肥皂水以 20、40、60、80、100 °C 五種溫度，測框離水面至膜破的時間。

結果：溫度越高膜越快破掉，60 °C 以上膜的持久性極差，皆在 10

秒以下；在 20 °C 的狀況下膜的持久性最佳。見圖三。

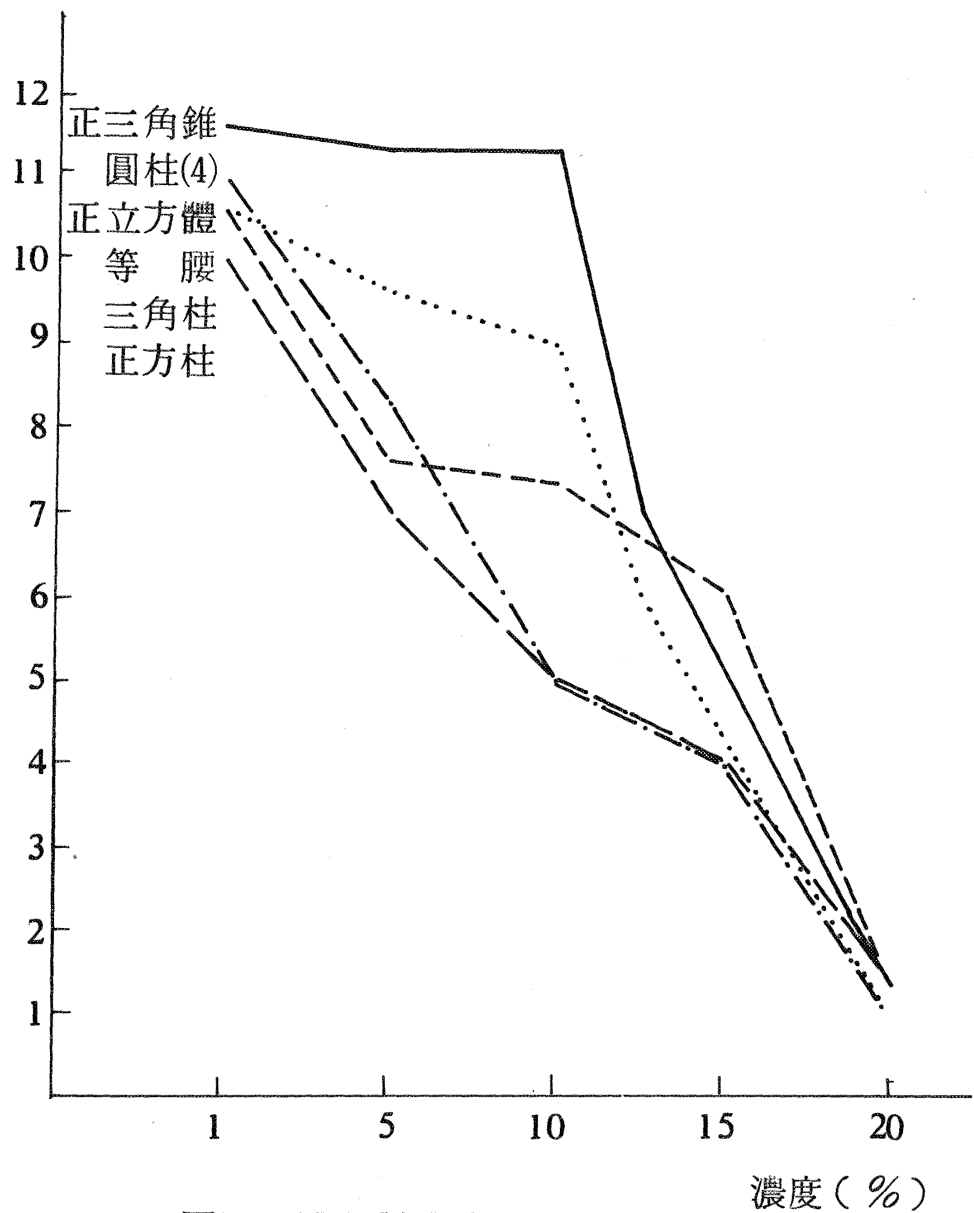


圖三 溫度對膜持久性的影響

實驗七：肥皂水的濃度會不會影響膜的持久性？

方法：將 1 %、5 %、10 %、15 %、20 % 五種濃度的肥皂水維持在 50 °C 實驗，測框離水面至膜破的時間。

結果：濃度 1 % 的肥皂水膜的持久性最佳，濃度越高膜越快破掉。濃度 20 % 時在形成正常膜形後馬上破掉。見圖四。

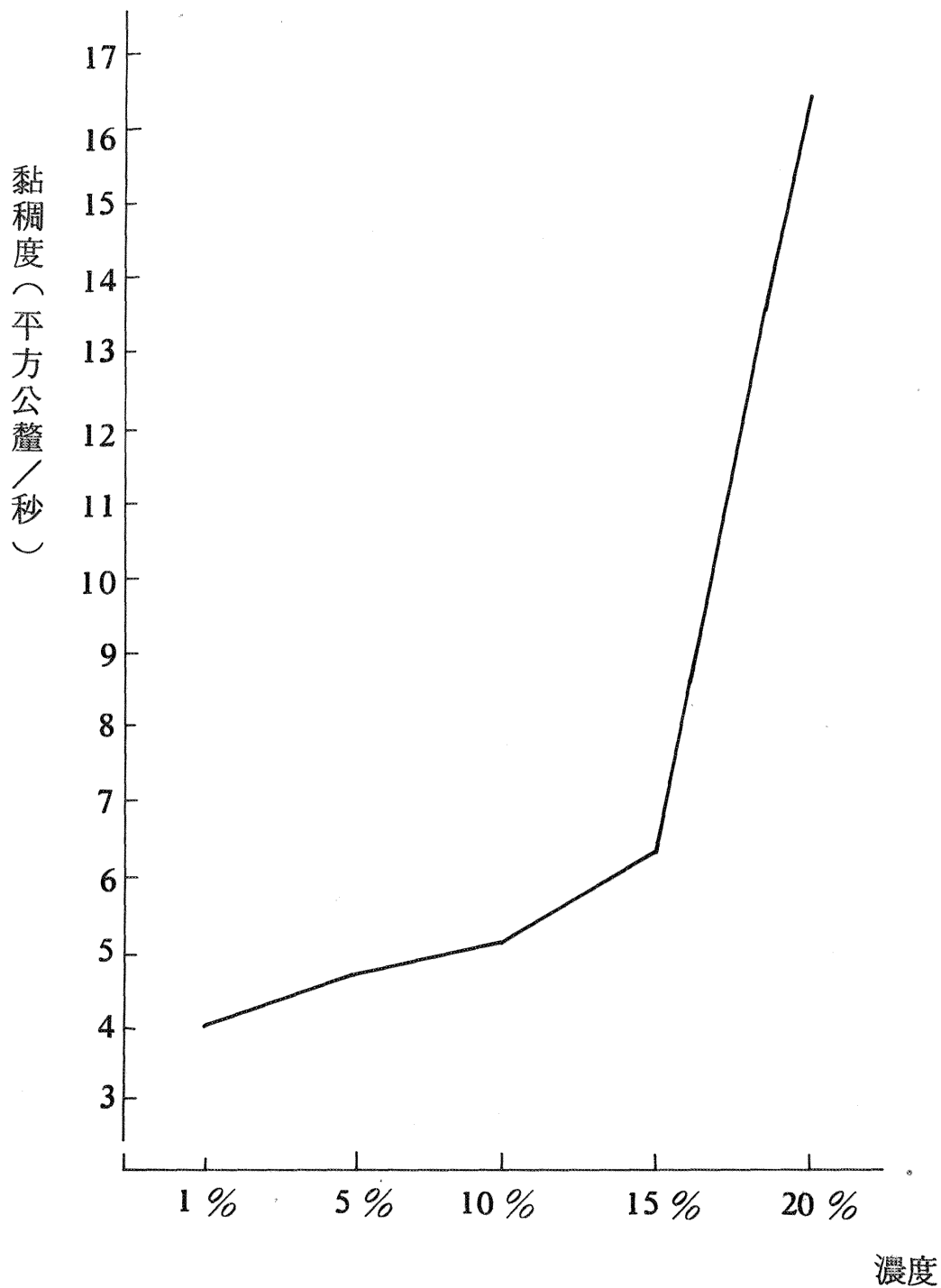


圖四 濃度對膜持久性的影響

實驗八：求出各種濃度肥皂水的黏稠度。

方法：同實驗七的肥皂水，測肥皂水通過黏度計的時間，再代入 $V = kt$ 的公式。

結果：肥皂水濃度越高通過黏度計所花的時間越長，黏稠度越大。見圖五。



圖五 不同濃度肥皂水的黏稠度

實驗九：將正立方體、正三角柱上的面逐一遮掉對膜的形成有沒有影響？

方法：用珍珠板將鐵絲框上的面遮掉，觀察膜的形成。

結果：用珍珠板遮住的面其膜沒有如實驗一向內凹，可見這個方向沒有大氣壓力向內壓，膜是由其他方向的力共同作用達到平

衡而形成的，其膜形、膜數和實驗一有所不同。見表二、表三。

表二 正立方體逐一遮掉面後所得的結果

遮住的面數和方法	一面	兩面		三面		四面		五面
	任何一面	相鄰	相對	三面緊接	三面成口形	四面拉緊	四面成口形	任何五面
膜數	9	6	5	3	3	1	1	1
膜形	4△ 2△ 1□ 2△	4△ 1□ 1△	5□	2△ 1△	3□	1□	1□	1□
現象	除內凹遮住的面外，其他的五面膜都向內凹。	除凹遮住的兩面外，其他的面膜向內凹。	與前一情況因板子位置的不同造成膜形、膜數的差異。	板的數目、位置造成膜形的不同，膜的邊有弧度。	三片膜成一Y形。	有斜的膜，另一面無法成膜。兩面沒有遮住，但只有一面形成。	開始時上下各有一膜，逐漸向內縮至兩膜貼合成一膜。	一片膜在出口處稍向內凹。

※不計被珍珠板遮掉的面。

表三 正三角柱逐一遮掉面後所得的結果

遮住的面數和方法	一 面		兩 面			三 面			四 面	
		1 □	1 △	2 □	2 △	1 □ 1 △	3 □	2 □ 1 △	1 □ 2 △	3 □ 1 △
膜數	5	6	2	3	3	1	1	1	1	0
膜形	1 △ 4 △	3 △ 3 △	2 △	3 □	1 △ 2 △	1 △	1 △	1 □	1 △	
現象	凹遮住的面向外，其他四面的膜均向內。	與形前、膜數的情況因板子位置的差異造成膜。	底面不見。另外兩個△的膜形成在框上。	只形成中央三個成Y形的膜。	中央有一片不等邊梯形。未遮△的面向內凹，成爲兩個△，中。	兩個△往內縮至兩膜在柱中央成一膜。	△在框上。	只形成一片□在中央。	△膜往內縮一點。	底面先形成□，往上縮至不見。

※不計被珍珠板遮掉的面。

實驗十：在相對的膜完全貼合前用吸管向膜內吹氣，改變膜內外的壓力平衡，膜可以退回到鐵絲框上嗎？

方法：利用膜上附著的小肥皂泡用吸管向內吹氣。

結果：吹氣後膜逐漸鼓起，若再繼續吹，膜會向外突起，形狀傾向球體。把膜內空氣吸出一點，膜可以剛好在鐵絲框上，但有點弧度。

綜合實驗一、九、十，鐵絲框在提離肥皂水時水面下膜內的氣壓接近真空，水面上膜外爲大氣壓力，所以應是膜外的壓力大於膜內，膜被往內壓，兩面相對的膜直退到兩膜貼在一起變爲一膜，膜兩側的

壓力平衡爲止。由此我們推論，若使膜在真空的環境中生成膜可能會如實驗十的結果，因此我們設計了如下的實驗。

實驗十一：利用抽氣的方法使容器內形成近似真空的狀態操作實驗，形成的膜會是怎樣的？

方法：把鐵絲框置於容器底部，用抽氣機抽成近似真空後灌入肥皂水，蓋過框後再抽出肥皂水，觀察膜的形成。

結果：本實驗因設備不足沒有得到預期的結果。因爲肥皂膜維持的時間很短，而且膜很脆弱，抽氣會造成水流和氣流，膜被拉向抽氣口的方向而改變膜形。

實驗十二：探討膜形、膜數和鐵絲框形狀的關係。

方法：根據表一。

結果：1. 上+中+下+旁

三角柱的總膜數是 $3 + 0 + 3 + 3 = 9$

四角柱的總膜數是 $4 + 1 + 4 + 4 = 13$

五角柱的總膜數是 $5 + 1 + 5 + 5 = 16$

六角柱的總膜數是 $6 + 1 + 6 + 6 = 19$

八角柱的總膜數是 $8 + 1 + 8 + 8 = 25$

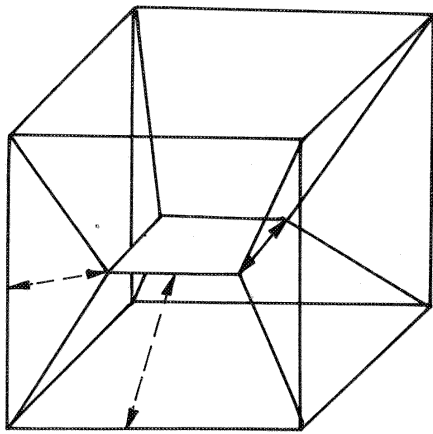
除了三角柱的總膜數爲 $3 \times 3 = 9$ 外，其他形狀的角柱其總膜數可用（底的邊數 $\times 3 + 1$ ）來表示。

2. 越多邊形的角柱其膜數越多，中間那片膜的形狀就是底邊的形狀，只是小一點。

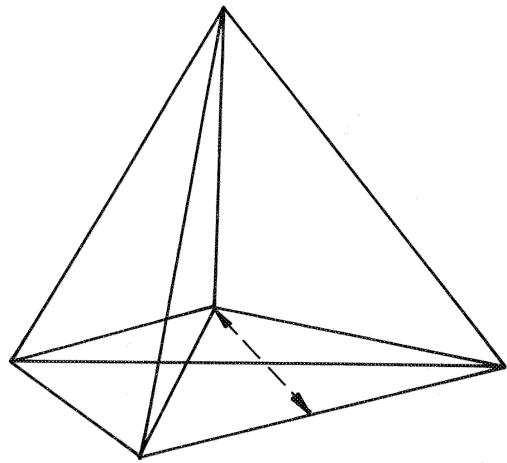
實驗十三：計算正立方體、正三角錐鐵絲框內膜的總面積和該形狀的表面積及體積的關係。

方法：1. 量出正立方體框內等腰梯形的高、等腰三角形的高和小正方形的邊長。計算十三個膜的總面積、框的表面積及體積。見圖六。

2. 量出正三角錐框內等腰三角形上的高。計算六個膜的總面積框的表面積及體積。見圖七。



圖六 正立方體內梯形、三角形上的高及正方形的邊長



圖七 正三角錐內三角形膜上的高

結果：1.以邊長10公分的正立方體為例：共有八個相等的梯形（高5.6公分）、四個相等的三角形（高7.6公分）、一個正方形（邊長3.2公分）。

$$8 \times \square = 8 \times (3.2 + 10) \times 5.6 \div 2 = 295.68 \cdots \textcircled{1}$$

$$4 \times \triangle = 4 \times 10 \times 7.6 \div 2 = 152 \cdots \textcircled{2}$$

$$1 \times \square = 1 \times 3.2 \times 3.2 = 10.24 \cdots \textcircled{3}$$

$$\text{膜的總面積} = \textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} = 457.92 \cdots \textcircled{4}$$

$$\text{框的表面積} = 6 \times 10 \times 10 = 600 \cdots \textcircled{5}$$

$$\text{框的體積} = 10 \times 10 \times 10 = 1000 \cdots \textcircled{6}$$

$$\text{膜面積和表面積的關係} = \textcircled{4} \div \textcircled{5} \div 0.763$$

$$\text{膜面積和體積的關係} = \textcircled{4} \div \textcircled{6} \div 0.458$$

2.以邊長10公分的正三角錐為例：共有六個相等的三角形（高3.8公分）。

$$\text{膜的總面積} = 6 \times 10 \times 3.8 \div 2 = 114 \cdots \textcircled{1}$$

$$\text{框的表面積} = 4 \times 10 \times 8.7 \div 2 = 174 \cdots \textcircled{2}$$

$$\text{框的體積} = \frac{1}{3} \times \frac{\textcircled{2}}{4} \times 8.2 = 118.9 \cdots \textcircled{3}$$

$$\text{膜面積和表面積的關係} = \textcircled{1} \div \textcircled{2} \div 0.655$$

$$\text{膜面積和體積的關係} = \textcircled{1} \div \textcircled{3} \doteq 0.959$$

五、討論

- (一)正三角錐、三角柱形成膜的邊是直線，其他角柱各膜雖有不同的形狀，但它們的邊都不是很直的線，而是有一點弧度的曲線。這可能和三角錐、三角柱本身面數少，往內壓的力量方向較少之故。
- (二)不論是以鐵絲框浸入肥皂水中再提起，或以肥皂水流入蓋過鐵絲框再排出，都不影響形成的膜形和膜數。
- (三)膜形、膜數受鐵絲框形狀的影響而不受框大小的影響。
- (四)框越大膜所受的張力越大，膜越不易持久。
- (五)形狀相同大小不同的框重疊，在內框內會形成原有的膜形，在內外框間會有新膜生成。
- (六)肥皂水的溫度增高其分子間的內聚力減小，故膜的持久性變短。
- (七)肥皂水的濃度越高黏稠度就越高，膜也越不易持久。
- (八)肥皂水的黏稠度在濃度 1 % 到 15 % 間幾乎成一直線，一超過 15 % 就急劇上升，可見在濃度 15 % 附近可能有一臨界點，超過這一點肥皂液的性質改變。因此濃度 20 % 的其膜的持久性和其他濃度相差甚多。
- (九)肥皂水的濃度超過臨界點時肥皂分子不再是個別的自由分子，而是形成疏水基向內，親水基向外的大團球狀構造，此構造流動較不易，故黏稠度一下升高許多。
- (十)正三角錐框的表面只有四面，形成的膜數只有六面，不連續面比實驗六所使用的其他框少很多，故其膜的持久性最佳。
- (十一)把框上的面用珍珠板遮住後膜形、膜數會改變可知氣體對每個方向都有壓力，板子阻斷了該方向的壓力，膜就沒有向內凹陷。
- (十二)若向膜內的小空間吹氣，使內部的壓力變大就可使膜退回框上，甚至成球體。膜形的大小視膜內氣壓大小而定。
- (十三)除靜止的大氣壓力外，水流和氣流也是力的方式，也會影響膜的形成，可見膜是各種力共同作用的結果。
- (十四)正三角錐膜的總面積和體積比為 0.959，膜所受的張力較小，持

久性較佳。

六、結 論

- (一)各種形狀的鐵絲框泡過肥皂水後肥皂膜會向框內凹陷進去，形成許多三角形、梯形、正方形、長方形、扇形、半圓形、多角形的小面積膜，而且每次浸泡的結果都相同。
- (二)鐵絲框上的面數越多在框內形成的肥皂膜數就越多。側面的鐵絲數一樣多的各種鐵絲框其膜數相同，但膜形會有些不同。
- (三)除三角柱外，其他形狀的多角柱其總膜數 = (底的邊數 \times 3 + 1)。
- (四)肥皂膜的形狀和數目受鐵絲框形狀的影響而不受框大小的影響。
- (五)肥皂膜的持久性會受鐵絲框的大小、肥皂水的溫度、濃度、黏稠度的影響。鐵絲框小、肥皂水為室溫，濃度和黏稠度小的其膜的持久性較佳，反之則劣。
- (六)將鐵絲框上的面逐一遮掉阻斷該面往內的大氣壓力，改變膜內的壓力，或改變膜在形成時環境的壓力，都可讓我們了解各種力的作用都會影響膜形和膜數。框內形成的膜是受各種力共同作用的結果。

七、參考資料

- (一)表面物理化學
- (二)形的奧秘
- (三)小牛頓
- (四)中華兒童百科全書
- (五)大不列顛百科全書
- (六)歷屆科展優勝作品專輯

評 語

將各種幾何形狀之鐵絲框浸過肥皂水，使其形成各種肥皂膜。討論表面張力之性質及張力的平衡對肥皂膜之影響。實驗詳實週詳。亦頗能掌握物理意義。