

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

佳作

040208

液面跳跳球－界面化學液體表面現象研究

學校名稱：國立彰化高級中學

作者： 高二 陳君毅 高二 林民麒 高二 郭秉憲	指導老師： 劉曉倩
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：凱氏效應、膠束、界面活性劑

液面跳跳球--界面化學液體表面現象研究

摘要

各種清潔劑的主要成分是界面活性劑，界面活性劑是一個分子同時含有親油基（長鏈碳氫脂肪基），和親水基（鉀、鈉、銨、乙醇胺等）的化學物質之總稱。可分為四大類，即陽離子、陰離子、兩性離子和非離子型。界面活性劑以一定濃度的流體成束狀流下時，會在底部形成小隆起，隨後出現如水花般的彈跳，此現象稱為「凱氏效應」。

實驗發現，界面活性劑在滴下的瞬間若無液體在下方堆疊，則無法觀察到此液滴彈跳現象。此外我們想更進一步研究溫度對不同界面活性劑的影響，找出臨界溫度，此時分子間黏合力接近零，表面張力會變小，藉由對界面活性劑的了解可以找出界面化學中，分子間作用力的關係。

壹、研究動機

有一天洗澡時，意外發現將洗潔乳的噴頭拿高時，滴下來的液體會在液面上產生如跳舞般地彈射，這種特別的現象引起我相當大的興趣。於此，我著手開始研究各種清潔劑及其他具有黏稠性分子量極大的化合物，希望能藉由對各種液體液面彈跳現象的了解，知悉各種界面活性劑的性質，找出發生此現象的原因。

貳、研究目的

- 1、探討各種類型界面活性劑中具有凱氏效應的液體。
- 2、將具有凱氏效應的界面活性劑與水配製成不同濃度，探討不同濃度與凱氏效應的關係。
- 3、探討具有凱氏效應的界面活性劑在一定濃度下，溫度與液體表面張力的關係
- 4、探討落下高度與凱氏效應液體之彈跳角度、彈射面積的關係。

參、研究設備及器材

一、設備儀器：

量筒 20ml、50ml、100ml 數個	錐形瓶五個
自製凱氏效應測定器數個	燒杯五個
鐵架	漏斗
滴管	加熱板
容量瓶 50ml、100ml 數個	滴定管 50ml 五個
蝴蝶夾	玻棒
鐵尺	試管架
相機	



圖一 自製凱氏效應測定器



圖二 加熱板



圖三 陽離子界面活性劑



圖四 陰離子界面活性劑

二、藥品：

- 1.陽離子型：三烷基苯甲銨鹽
- 2.陰離子型：十二烷基苯磺酸鈉、月桂醇聚醚硫酸脂鈉鹽、十二烷基硫酸鈉
- 3.其他：聚乙烯醇、聚丙烯醇鈉
- 4.水

肆、研究過程及方法

一、研究原理

(一) 界面活性劑的性質：

人類使用最早的界面活性劑俗稱肥皂，其化學簡式為 RCOOM (R：長鏈烷基，M：鹼鹽)，所謂界面活性劑就是一個分子中同時含有長鏈烷基（如脂肪酸等）之親油基及足以使油性部份在水中分散或溶解之親水基的化學物質總稱。

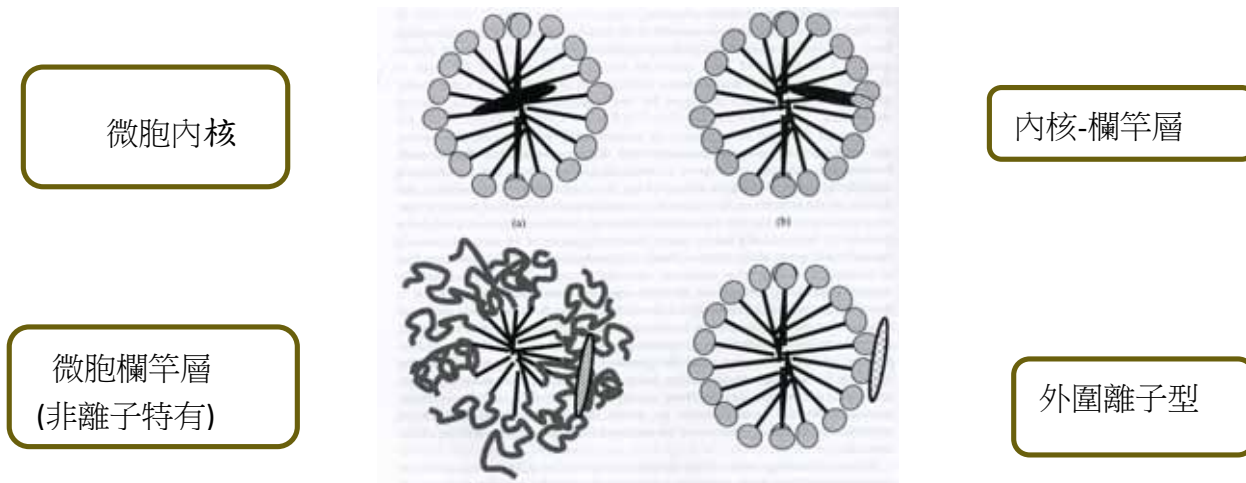
界面活性劑必須具有下列基本性質：

- (1) 表面吸附性。
- (2) 表面面膜形成性及排列性。
- (3) 表面張力降低性。
- (4) 微胞 (micell) 形成性。

當不溶或難溶於水的非極性物質與達臨界微胞濃度 (CMC) 水溶液混合後，發現水對非極性液體的溶解度有上升現象。或是水加入達臨界微胞濃度非水溶液時，原本與水不相溶或難溶的液體，其對水溶解度有上升的現象。這樣原本不能相容的兩液體，在加入界面活性劑，且達臨界微胞濃度後，兩液體有溶解的現象稱為溶化(solubilization)。

其原因是水溶液中界面活性劑達臨界微胞濃度時，界面活性劑之疏水基會集合於內部，而親水基排出向外，形成內部為非極性，表面為極性的微胞(micelle)。

當難溶水的非極性液體加入達臨界微胞濃度水溶液時，會有部分非極性液體溶於微胞內，增加非極性液體在水溶液中的溶解度。而溶化現象的界面活性劑稱為溶化劑(solubilizer)，被溶化於微胞內化合物稱為被溶化物(solubilizate)。



(二) 界面活性劑的分類

界面活性劑分子可分為親油基 (lipophilic group)、連結基與親水基 (hydrophilic group) 三部分，溶於水後可視親油部分解離成陰離子、陽離子、兩性離子 (因水溶液之 pH 而解離成陽或陰離子) 或不解離成離子，而分為陰離子性界面活性劑、陽離子性界面活性劑、兩離子性界面活性劑和非離子性界面活性劑等四大類。

界面活性劑種類		化學通式
陽離子性	羧酸鹽類	RCOONa
	硫酸鹽	ROSO ₃ Na
	硫磺酸鹽	通式為 RSO ₃ Na
陰離子性	醋酸鹽	CH ₃ COOM
非離子性	聚氧乙烯烷基醚	RO-(CH ₂ CH ₂ O) _n -H
兩離子性	類似胺基酸	RR'C(NH ₂)COOH

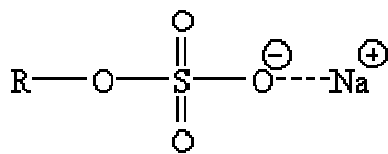
1. 陰離子性界面活性劑

皂類可以簡式 RCOOM 表示之，最簡單的分子是醋酸鹽 (CH₃COOM)，鹼鹽除 Na、K、Ca 外，尚有有機胺鹽。

Na 皂皆為弱酸之強鹼鹽，例如醋酸钠水溶液水解後成鹼性 (pH = 9.4)。

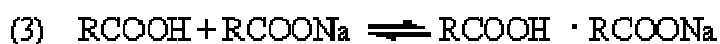
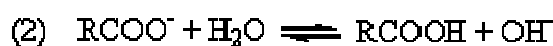
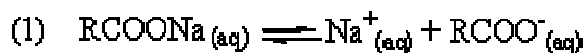
相反的，酸三乙醇胺鹽是強酸之弱鹼鹽，其水溶液 pH 約 5.5。脂肪酸鹽為鹼皂乃因脂肪酸遠比醋酸更為弱酸，脂肪酸鈉水溶液水解時 pH 為 10~11。

而當脂肪酸之碳數增加，則水解率亦上升；肥皂濃度增加時，水解率先降低再上升，游離脂肪酸則隨肥皂濃度之增而增加。



陰離子性界面活性劑
(烷基硫酸鈉)

水解反應如下：



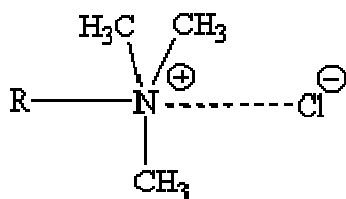
2. 陽離子性界面活性劑

典型的陽離子性界面活性劑為有機胺鹽類和第四級銨鹽類等，前者構造式如氯化

銨，但其中最至少有一個 H 原子被長鏈烷基所取代，長鏈烷基為鹼性，但其磺酸鹽水溶液却呈現弱酸性。後者除氮元素之第四級銨鹽外，尚包括磷、硫等元素與四個烷基鍵結後，以陰離子之 Cl⁻、Br⁻、I⁻、CH₂OSO₃⁻、C₂H₅OSO₃⁻等配位結合而成。

純粹之第四級銨鹽應為近中性，具有極大之表面吸附、表面活性。與其他相同碳數基之陰離性、非離子性界面活性劑比較時，其水溶液最大，亦即此界面活性劑本身之 HLB 值大（親水性－親油性之平衡值）。再者，第四級銨氫氧化物具強鹼性，可利用為觸媒。

而陽離子活性劑之一般應用方面，是在具有殺菌、防霉、殺蟲性者甚多。其他尚有適合於均染緩染劑、直接染料堅牢度增進劑、織物柔軟劑、防水劑、對於紡績之靜電防止劑、軟式洗濯劑、塑膠凝固液之噴嘴梗塞防止及溶液之澄清劑、硫化礦等之浮選劑、鋼之酸蝕抑制劑、橡膠加硫促進劑等。



陽離子性界面活性劑
(烷基三甲基氫化銨)

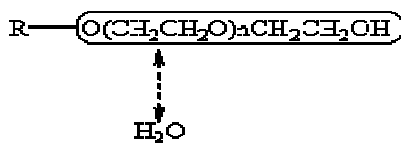
3.非離子性界面活性劑

前述之鹽類性除陰陽二型以外，尚有非鹽類性者，即非電離性界面活性劑。所謂非離子活性劑，均為多價醇之誘導，其水溶液所具有之界面活性，曾被認為分子全體所發出者。

代表性之非離子性界面活性劑如聚氧乙烷烷基醚〔RO-(CH₂CH₂O)_n-H〕之水溶液為酸性（pH= 5~6）。但一般製品仍以調製成中性者為多。其他多元醇之脂肪酸如山梨糖脂肪酸酯，因山梨糖醇中有 5 個 -OH 基，其結合人之脂肪酸個數可自由調整，結合數愈少對水之親和性愈大，而結合之脂肪酸碳數，亦可由辛酸至硬脂酸任意選擇，所生之多元醇脂肪酸酯之 HLB 值可由低值至高值間變化。也就是可合成自油溶性至水溶性。

而聚氧乙烷系、聚氧乙烷－聚氧丙烷系非離子性界面活性劑，會因聚合度之不同，水溶液開始完全透明溶解，但在一定溫度下會刻變濁的現象，亦即所謂的濁點（clouding point）。此乃因活性劑分子中氧化乙基水和現象改變所致，在加熱至一定溫度時，產生脫水和（dehydration）現象而使溶解性消失。

非離子活性劑之一般應用在於合成高分子聚合合用乳化劑、可塑劑、金屬清淨劑、纖維度保持劑，纖維加工劑、醫藥化粧品基劑、潤滑劑，離型劑、電染色劑等。

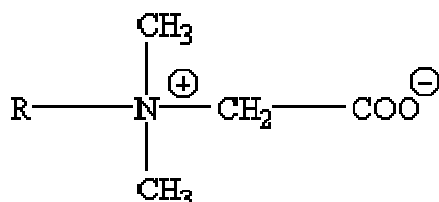


非離子性界面活性劑
(聚氧乙烷烷基醚)

4.兩離子性界面活性劑

常見的兩離子性界面活性劑的構造類似胺基酸（ $RR'C(NH_2)COOH$ ），即分子中有胺基和酸基，在酸性溶液中，分子中的胺基與酸作用而溶解；在鹼性溶液中，酸基與鹼中和而有水溶液性，因此純物質具有等電點。

兩離子性界活性劑之主用途有洗髮精基劑、潤絲精基劑、柔軟劑（毛髮、纖維）、防銹劑等。



兩離子性界面活性劑
(烷基二甲基內乙醯銨鹽)

膠體或粒子在溶液中都會帶有電位，稱為界面電位或界達電位，當膠體表面的電性為零電位時，就稱為等電位點。固體之表面電荷經對應電荷平衡後，形成一「電雙層」(electric double layer)。廣義而言，電雙層乃由一吸附層(又稱 Stern layer，緊鄰於表面)，及擴散層(diffusion layer)組成在電雙層理論中，表面電位雖然無法實際測得，但是吸附層及擴散層之剪切面電位可由界達電位(zeta potential)推估出來。因此，界達電位成為顆粒之穩定性及電泳速度(electrophoretic mobility)之重要指標。

(三) 界面活性劑膠束現象

清潔劑是一種界面活性劑，當活性劑在溶液中的濃度超過某一臨界值後，其分子或離子會締合形成聚集體，稱為膠束。膠束開始明顯形成時的濃度稱為臨界膠束濃度，是表面活性劑的重要參數之一。

(四) 界面活性劑常見添加劑

一般界面活性劑的微胞量隨添加鹽類量增加而增加，就離子型界面活性劑形成的微胞而言，添加相反電荷離子鹽類時，可中和微胞表面電荷，減低界面活性劑分子聚集時的排斥力，降低臨界微胞濃度(CMC)，增加微胞的聚合數，提高對非極性物溶化量。亦即加入電解質會影響界面活性劑的表面張力及表面電荷分佈情形。

(五) 界面活性劑與溫度關係

溫度上升有利於離子型界面活性劑形成更多微胞，故有提升了溶化量。但對非離子型界面活性劑水溶液而言，溫度低時非離子型界面活性劑未形成微胞，所以不會發生溶化現象，與油混合的溶液可能呈現混濁或兩相區。研究溫度對界面活性劑的影響可以幫助我們在洗淨衣物或日常生活用品時的參考。

二、研究方法

(一)、各種界面活性劑及其他具有黏稠狀特性的液體表面彈跳現象之研究。

1. 以鐵架和蝴蝶夾固定滴定管，分別取 50ml 的三烷基苯甲銨鹽、十二烷基苯磺酸鈉、聚乙烯醇、聚丙烯醇鈉及水。流體從上方倒入，並穩定流速滴下。下方置一塊玻璃，滴定管及自製凱氏效應測定器底部距培養皿均為 5cm 以攝影機在旁拍攝紀錄。

(二)、將具有凱氏效應的界面活性劑與水配製成不同濃度，探討不同濃度與凱氏效應的關係。

1. 將具有凱氏效應液體，稀釋(或濃縮)成原濃度的2倍、1倍、0.9倍、0.8倍、0.7倍、0.5倍、0.25倍，重複作彈跳實驗，觀察並紀錄之。

(三)、探討溫度對凱氏效應的影響。

1. 將具有凱氏效應液體緩慢加熱，重複二之實驗。
2. 將具有凱氏效應液體以冷劑緩慢降溫，重複二之實驗。

(四)、探討落下高度與凱氏效應液體之彈跳角度、彈射面積和最大彈射距離的關係。

1. 將具有凱氏效應液體在2.5cm、5cm、7.5cm、10cm、12.5cm之不同高度落下，重複二之實驗。
2. 在流體落至玻璃表面時，以攝影機觀測其反彈的彈射角度及其所彈射的面積。

伍、研究結果

一、各種界面活性劑及其他具有黏稠狀特性的液體表面彈跳現象之研究。

種類	陽離子型	陰離子型	其他		
	三烷基苯甲銨鹽	十二烷基苯磺酸鈉	水	聚乙烯醇	聚丙烯醇鈉
凱氏效應	無	有	無	無	無

二、將具有凱氏效應的界面活性劑與水配製成不同濃度，探討不同濃度與凱氏效應的關係。

	2M	1M	0.9M	0.8M	0.7M	0.5M	0.25M
十二烷基硫酸鈉	有	有	有	有	無	無	無
月桂醇聚醚硫酸脂鈉鹽	無	有	有	有	有	有	無
十二烷基苯磺酸鈉	有	有	無	無	無	無	無

※經過實驗，形成凱氏效應的液體以月桂醇聚醚硫酸脂鈉鹽的反應最為明顯，故實驗四的實驗全使用月桂醇聚醚硫酸脂鈉鹽溶液來測量數據。

三、探討溫度對凱氏效應的影響。

1. 將具有凱氏效應液體緩慢加熱。

	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C
凱氏效應的有無	有	有	有	不明顯	不明顯	液體冒泡

2. 將具有凱氏效應液體以冷劑緩慢降溫。

	70°C	60°C	50°C	40°C	30°C	20°C
凱氏效應的有無	不明顯	有	有	有	液體凝固	液體凝固

四、探討落下高度與凱氏效應液體之彈跳角度、彈射面積的關係。

1.高度 2.5 CM

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
彈射角度	不規則	不規則	不規則	不規則	不規則	不規則
彈射半徑	<0.1cm	<0.1cm	<0.1cm	<0.1cm	<0.1cm	<0.1cm
彈射面積	<0.1cm ²	<0.1cm ²	<0.1cm ²	<0.1cm ²	<0.1cm ²	<0.1cm ²
最大彈射距離	<0.1cm	<0.1cm	<0.1cm	<0.1cm	<0.1cm	<0.1cm

2.高度 5.0 CM

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
彈射角度	不規則	不規則	不規則	不規則	不規則	不規則
彈射半徑	0.8cm	0.9cm	0.9cm	1.0cm	0.8cm	0.88cm
彈射面積	0.64 π cm ²	0.81 π cm ²	0.81 π cm ²	1.00 π cm ²	0.64 π cm ²	0.7744 π cm ²
最大彈射距離	2.2cm	2.2cm	2.2cm	2.2cm	2.2cm	2.2cm

3.高度 7.5 CM

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
彈射角度	不規則	不規則	不規則	不規則	不規則	不規則
彈射半徑	1.4cm	1.3cm	1.7cm	1.5cm	1.5cm	1.48cm
彈射面積	1.96 π cm ²	1.96 π cm ²	2.89 π cm ²	2.25 π cm ²	2.25 π cm ²	2.1904 π cm ²
最大彈射距離	3.0cm	3.0cm	3.0cm	3.0cm	3.0cm	3.0cm

4.高度 10.0 CM

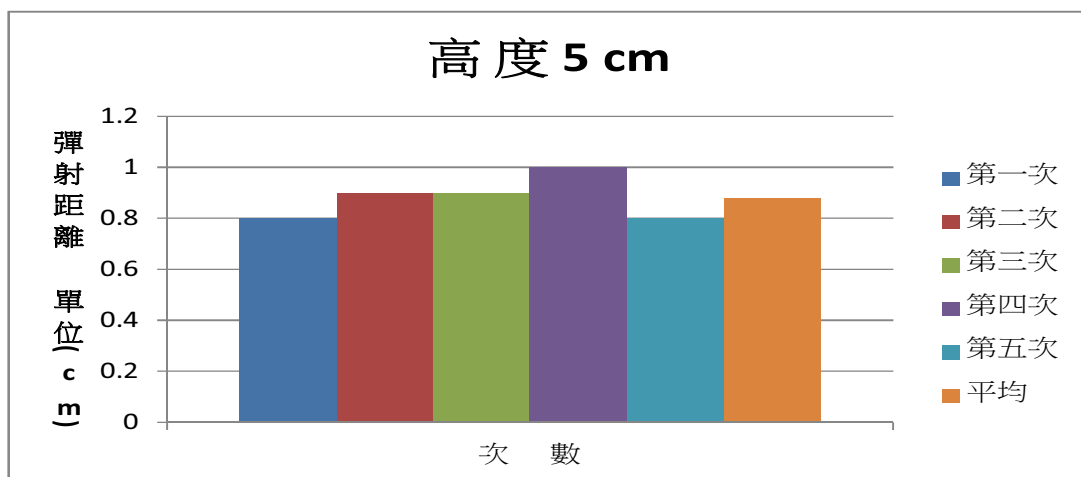
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
彈射角度	不規則	不規則	不規則	不規則	不規則	不規則
彈射半徑	2.5cm	2.7cm	2.4cm	2.6cm	2.5cm	2.54cm
彈射面積	6.25π cm^2	7.29π cm^2	5.76π cm^2	6.76π cm^2	6.25π cm^2	6.4516π cm^2
最大彈射距離	4.7cm	4.7cm	4.7cm	4.7cm	4.7cm	4.7cm

5.高度 12.5 CM

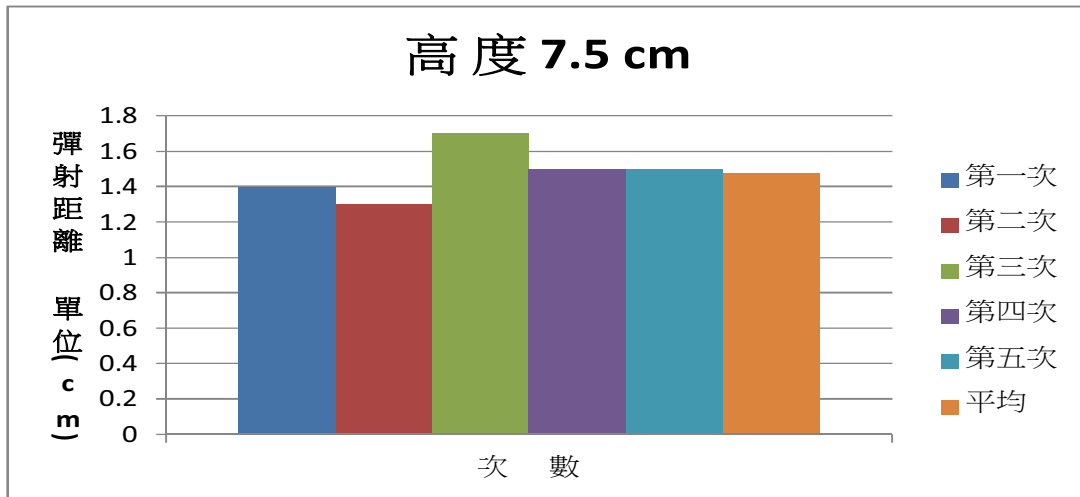
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
彈射角度	不規則	不規則	不規則	不規則	不規則	不規則
彈射半徑	4.6cm	5.0cm	5.1cm	4.8cm	5.0cm	4.90cm
彈射面積	21.16π cm^2	25.00π cm^2	26.01π cm^2	23.04π cm^2	25.00π cm^2	24.0100 πcm^2
最大彈射距離	8.0cm	8.0cm	8.0cm	8.0cm	8.0cm	8.0cm

陸、討論

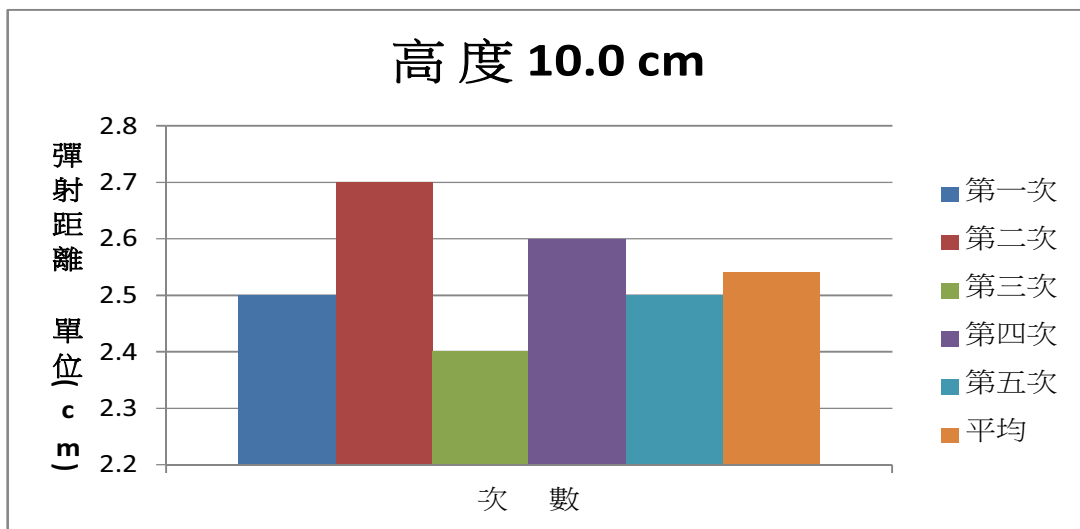
(一)彈射距離隨著高度變化的比較



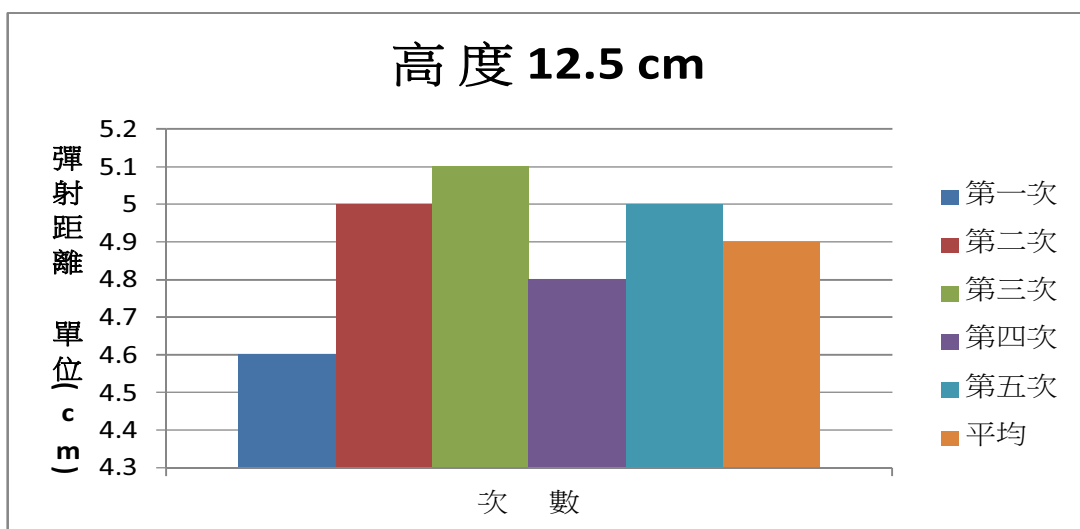
圖五 h = 5cm 彈射距離與次數長條圖



圖六 h = 7.5cm 彈射距離與次數長條圖



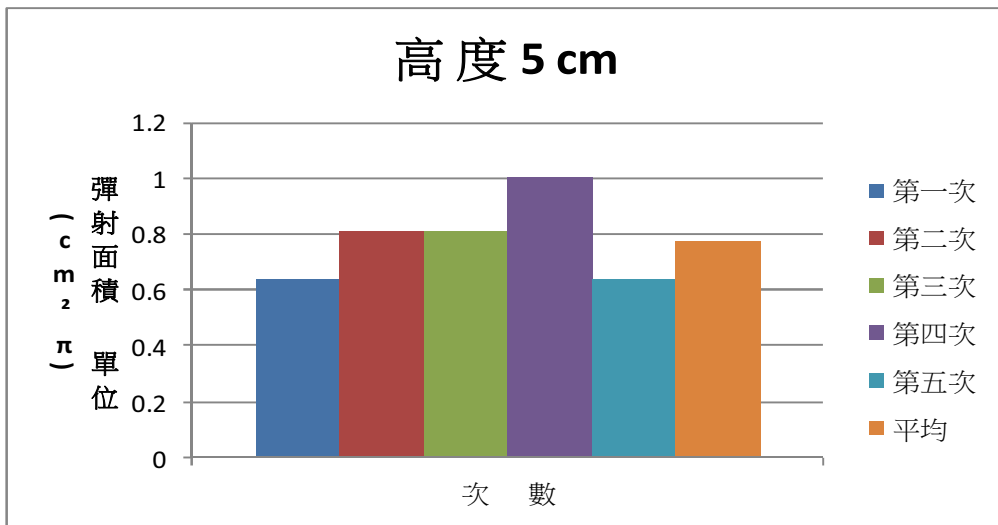
圖七 h = 10.0cm 彈射距離與次數長條圖



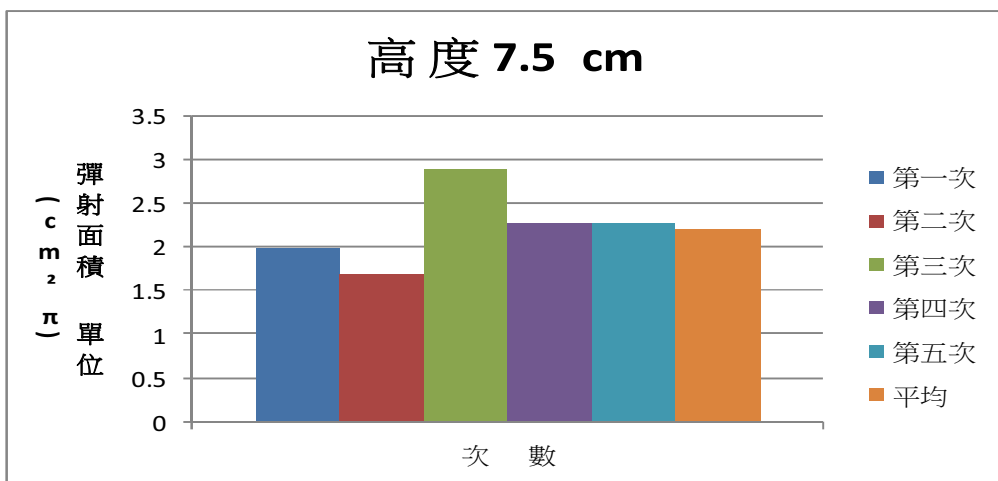
圖八 h = 12.5cm 彈射距離與次數長條圖

由圖五、六、七、八可知，隨著液面流下高度的增加，每一次測得的彈射距離也就越遠，足見高度與彈射距離的正相關性。我們推測與液體落在表面上時的高度越高時，液面的彈跳就會較明顯。

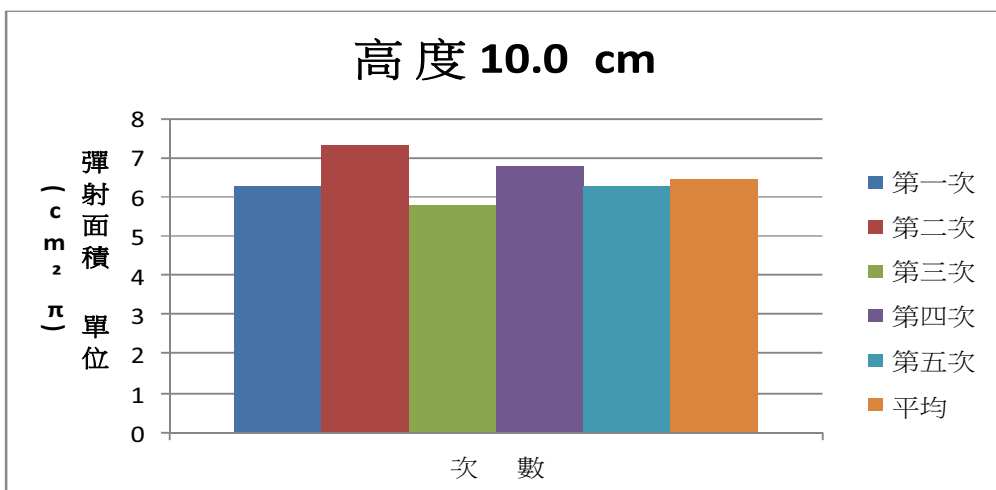
(二) 彈射面積隨著高度變化的比較



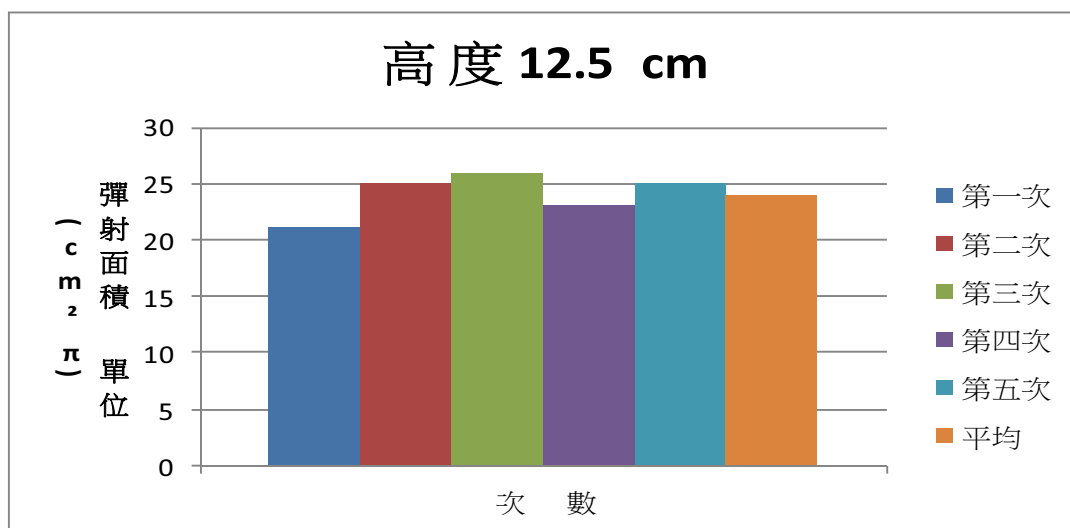
圖九 h = 5cm 彈射面積與次數長條圖



圖十 h = 7.5cm 彈射面積與次數長條圖



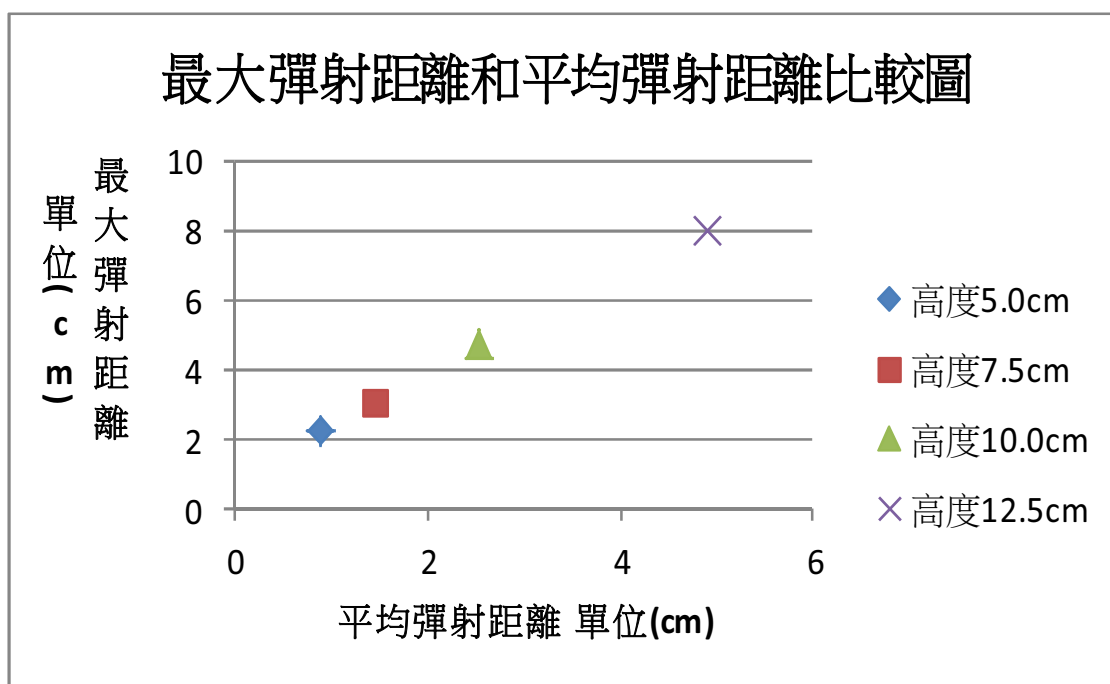
圖十一 h = 10.0cm 彈射面積與次數長條圖



圖十二 h = 12.5cm 彈射面積與次數長條圖

由圖九、十、十一、十二也可以發現，隨著高度的變高，液體濺射的面積也會相對的擴大，高度和彈射面積成正相關。

(三) 最大彈射距離與平均彈射距離的比較



圖十三 最大彈射距離和平均彈射距離的比較斜率圖

在實驗數據的分析之中，我們發現一件有趣的現象，那就是最大彈射距離與平均彈射距離成正比的關係。由圖十三可知，最大彈射距離和平均彈射距離之間的斜率為一水平線(斜率=2)，成正相關，因此我們只要測出一具凱氏效應的液體的平均彈射距離，就能大致推估出最大的彈射距離了。

柒、結論

一、實驗一結論

我們挑選了幾樣液體來測定凱氏效應的有無，有的黏稠、有的易流動，經過了實驗測試，實驗四結論我們發現，並不完全和液體的黏稠度有關。諸如聚乙烯醇、聚丙烯醇鈉、三烷基苯甲銨鹽等黏稠性高的液體，也不會產生凱氏效應，而且水也沒有明顯的表面彈跳現象。值得注意的是，陰離子界面活性劑清潔效果佳且凱氏效應明顯，而陽離子界面活性劑容易乳化，不會產生凱氏效應。

二、實驗二結論

使用陰離子界面活性劑的原料(Ex:月桂醇聚醚硫酸脂鈉鹽、十二烷基苯磺酸鈉等)來配置各種特定濃度的液體，並測定其是否具有凱氏效應。結果發現，就月桂醇聚醚硫酸脂鈉鹽來說，並非濃度越高就有愈佳的彈射現象出現，顛覆了我們原本的預期。在適當的濃度範圍內(如 1M~0.5M)，液體可以具有良好的反應，濃度太高(如 2M)，液體黏滯性太強，分子間的作用力大，現象不明顯；濃度太低(如 0.25M)，黏滯性不足，也無法產生如此現象。

三、實驗三結論

在固定體積(包括溶劑和溶質的定量)下，我們調整溫度並測定液體的狀態，發現升溫的過程中，液體從透明逐漸轉成混濁而至於冒泡(可能是沸騰)，彈射現象也變得不明顯；而在冷卻的過程中，液體也從液體而變成了固體而無法流動。由此可見，與實驗二有類似的情形發生，那就是須在適當的溫度(如 40°C~60°C)下，凱氏效應才能明顯的發生。

四、實驗四結論

在不同的高度下，彈射面積和最大彈射距離也不盡相同。隨著高度的增加，彈射面積和最大彈射距離與之成正相關。尤其是將彈射半徑和最大彈射距離相比時，更會驚奇的發現，它們彼此之間幾乎成兩倍的關係成長！！這樣奇妙巧合到底代表著什麼，或許相當值得探討。至於彈射的角度，由於過於隨機分布，所以沒有辦法精確測量，有待未來的繼續討論。

捌、未來展望

界面活性劑的種類與彈跳現象有關。這種溶液表面現象在一般的純液體表面並不易觀察，在高中課程中對於界面化學的介紹並不多，也因此身為在學中的學生，將會盡我們的努力，從界面活性劑表面交界處短程分子間作用力，去了解液體表面電荷分布、水分子間的氫鍵及添加劑之間的相互關係，找出潛藏在其中的道理；進一步地可以靈活運用界面活性劑在一些化學反應中奈米微粒形成大小的研究。

玖、參考資料及其他

化學化工大辭典

張有義、郭蘭生編譯。膠體及界面化學入門。Duncan J Shaw 原著。高立圖書有限公司出版。

張裕祺編著。表面處理。高立圖書有限公司出版。

賴耿陽編著。界面活性劑應用實務。復漢出版社。

賴耿陽編譯。表面處理。復文書局出版。

賴耿陽編譯。靜電對策實務。復文書局出版。

【評語】 040208

題目十分有趣，也有部分的成果。建議加強數據之呈現方式，例如以圖片（或短片）方式展現跳躍之現象。此外亦應加強學理之解釋，例如凱氏效應原理之瞭解。