

臺灣二〇〇七年國際科學展覽會

科 別：物理學

作品名稱：“液”滴活泉-探討液滴與液面的碰撞與振盪

學校 / 作者：國立新竹女子高級中學 陳姹蓉
國立新竹女子高級中學 謝文娟



陳姹蓉(左)

因為從小習琴，我對音樂有種不可言喻的熱愛愛，不僅被巴哈曲子音律合諧之美所著迷，莫札特筆下精巧的音符更組成無數撼動人心的鉅作。我有英文與演講方面之長才。國小國中皆曾代表學校參加全市（縣）演講比賽，國中時一試便通過全民英檢中級考試。另外，高二上學期代表學校參加外交小尖兵英語種子隊選拔活動榮獲全國第三名，並於 2006 年初代表台灣到荷蘭、比利時參訪。在課外活動方面我喜愛球類運動及跑步，主動參加校內各項體育競賽。

謝文娟(右)

我從小喜歡閱讀，從偉人傳記到世界經典名著，都來者不拒，現在我尤其喜歡的是閱讀英文小說，而我最喜歡的就是哈利波特。英文小說使我的文學內涵增進不少，而且也更加提升了我的英文能力。目前，我已通過了全民英檢中高級了。在課業之餘，我熱愛運動，特別是球類運動，我也常常在運動會中參加許多的比賽，運動，不僅使我身體保持健康，也讓我時時保持愉快的心情。

”液”滴活泉-探討液滴與液面的碰撞與振盪

Liquid Lives Out the Crown

Abstract

As soon as a drop from the same liquid falls to the surface of the liquid, a crown emerges, which is followed by a Liquid Column shortly afterward. In order to measure the diameter of the short-lived crown and the height of the liquid column, we developed two incredible and useful devices for each one of that.

After a series of experiments and discussion, we decided to adopt collision and oscillation to illuminate the phenomenon. And the details are in the reports.

”液”滴活泉-探討液滴與液面的碰撞與振盪

壹、摘要

液滴活泉：一種碰撞與振盪的交合，也是表面張力與黏滯力的拉鋸。碰撞的同時與表面張力交柔展現皇冠；振盪的同時與黏滯力以圓形波動吞噬液滴。

望冠興嘆：激起的液體皇冠徑和隆起的液柱高猶如曇花一現，測量技術就簡單設備而言是窮則思變的契機。

滴滴入扣：滴落小液滴如質點的碰撞，隨著液面的振盪，而終止於波心；滴落大液滴如多個小液滴集體行動，如聖誕老公公灑落糖果般，爾後激盪擾動迴旋不已。

貳、研究動機

從小家人就有喝牛奶的習慣，偶然間發現倒牛奶時，杯中牛奶微微濺起的水花有美妙古典幾何之美，拿錄影機拍下格放仔細觀察現象，可發現液滴向周圍散射產生女王頭上皇冠似的濺起水花，隨即於中央隆起擎天液柱，隨後是擴散振幅較小的圓形波消失在沉思中，使人不禁遐思液體與液面間的碰撞，為什麼會激起如此有趣的形狀。它訴說著自然奧秘的因子：碰撞、表面張力、黏滯力…。有哪些因素會影響液體濺起的皇冠徑和隆起的液柱高呢？

參、研究目的

一、在同一種液體種類下探討：

(一)液滴大小對液體隆起的液柱高、濺起皇冠徑大小的關係。

(二)液滴落下高度對液體隆起的液柱高、濺起皇冠徑大小的關係。

二、在同一高度下探討：

(一)液滴大小對液體隆起的液柱高、濺起皇冠徑大小的關係。

(二)液體種類對液體隆起的液柱高、濺起皇冠徑大小的關係。

三、在相同液滴大小下探討：

(一)液滴落下高度對液體隆起的液柱高、濺起皇冠徑大小的關係。

(二)液體種類對液體隆起的液柱高、濺起皇冠徑大小的關係。

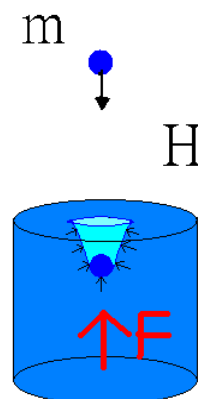
肆、實驗原理

觀念一—碰撞與壓力：

液滴質量 m 以高度 H 自由落下，觸及液面的瞬間速度

$V = \sqrt{2gH}$ 劃過液面，在界面留下比液滴體積大的空

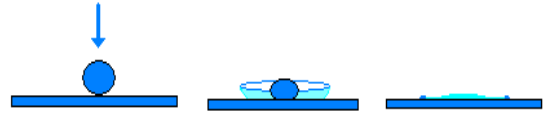
氣泡，周圍的液體因壓力作用(如圖)，產生大於液滴質量的浮力，合力作用向上，隨即散射出水花，噴濺出皇冠似的水花，爾後隆起液柱：



- (a)液滴質量 m 越大、體積大，碰撞於液面時，形變成扁平狀的液滴散射面積變大，此時，因液面對液滴作用向上散射開來而激起皇冠。
 (b)滴落高度 H 愈大，即落入液面速度越大，觸及液面下拉作用力就大，瞬間於界面下拉開較大的空氣泡，立即因液體之壓力作用，產生合力向上較大，故必推擠液體向上形成擎天的液柱。

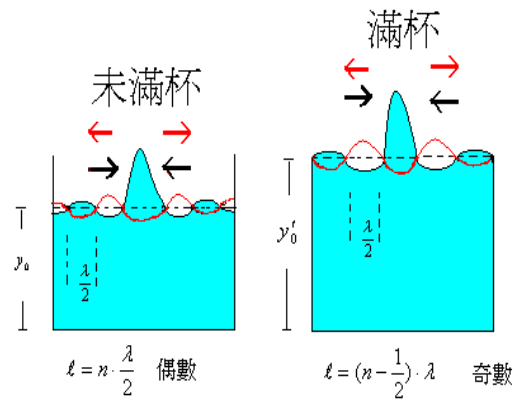
觀念二—碰撞與液滴散射：

液滴觸及界面時，液滴形變成扁平狀向水平方向散射開來，此時，黏滯力先展現出來，當散射面積大而液膜薄時，表面張力顯現而拉出圓形膜的端點，散出成液珠如圖。



觀念三—振盪與液柱：

液滴碰撞液面後，因下拉的空氣泡受壓力做向上合力激起液柱，隨後因液面能量的吸收而振盪使液柱隆起。液滴落入液面作功而振盪，由波心向外圍傳遞，當其碰撞到未滿杯器壁時，以器壁為自由端反射回來，水槽寬度若為 $\ell = n \cdot \frac{\lambda}{2}$ ，便可於



波心再隆起液柱；器壁為滿杯時，即以器壁為固定端射回來，水槽寬是 $\ell = (n - \frac{1}{2}) \cdot \lambda$ 的話，恰可於再波心隆起液柱。

觀念四—碰撞與能量

m 是液滴， M 是液體及水槽重

$$m\bar{v} = (m + M)\bar{v}_c$$

$$\frac{1}{2}mv_c^2 = \frac{1}{2}\rho w^2 y_0^2$$

⇒ 消逝在液體振盪中

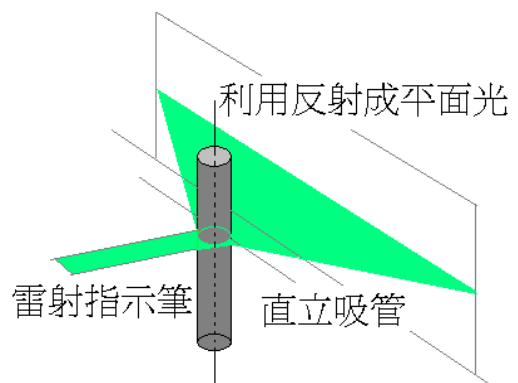
$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_c^2 = E_{k_i} = \frac{M}{m + M} \cdot \frac{1}{2}mv^2$$

⇒ 消逝在液體增溫中

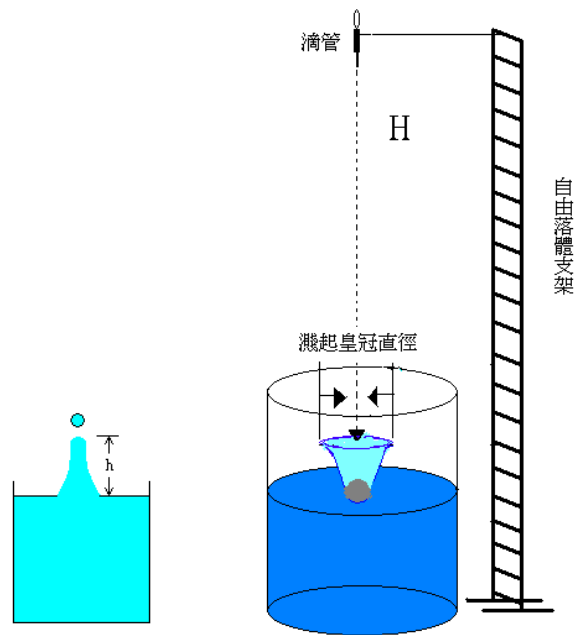
伍、研究設備及器材

一、器材

- (一) 液體種類：水、奶精(1 匙/L)、牛奶(保久乳)、豆漿



- (二)2000ml 燒杯、平底鍋 二個
- (三)滴管、筆管、小珍珠吸管
- (四)尺(最小刻度 1mm)、捲尺、長尺
- (五)方格紙
- (六) 雷射指示筆
- (七)DV 攝影機
- (八)10ml 量筒 數支
- (九)直徑測量器
- (十)試管夾 數支
- (十一)升降台
- (十二)電子秤
- (十三) 支架(自由落體實驗用)



二、實驗裝置：利用簡易設備裝置如圖

三、名詞解釋

- (一)H：滴落高度。
- (二)h：隆起的液柱高。
- (三)D：濺起的皇冠徑。
- (四)臨界高度下限：液滴落下形成液柱和液滴皇冠最小高度。
臨界高度上限：液滴落下形成液滴皇冠最大高度。
- (五)A 管：正常滴管套上小珍珠管。
- (六)B 管：修剪過的滴管。
- (七)C 管：筆管改製。

陸、研究過程或方法

一、基本檢測：

(一) 液滴大小(體積、質量)的檢測

方法 1：分別用 A、B 兩管號管吸取液體至 2ml，再慢慢將滴管中的液體滴入燒杯內，計算所滴的次數，求液滴平均的體積。

方法 2：將小燒杯放於電子秤，將其歸零，在慢慢將滴管中的液體滴入燒杯中，以十滴為一次，測其質量，求液滴平均質量。

各別液體三種液滴的體積

水

(ml)

管子	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th	9 th	10 th	平均
A	0.08	0.09	0.10	0.09	0.10	0.10	0.09	0.10	0.10	0.11	0.096
B	0.11	0.10	0.11	0.13	0.10	0.10	0.09	0.10	0.10	0.09	0.103
C	用改製的筆管從 10ml 量筒中固定吸取 0.5ml 的液體										0.5

牛奶 (ml)

管子	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th	9 th	10 th	平均
A	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.09	0.08	0.08	0.07	0.078
B	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.084
C	用改製的筆管從 10ml 量筒中固定吸取 0.5ml 的液體										0.5

豆漿 (ml)

管子	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th	9 th	10 th	平均
A	0.06	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.062
B	0.08	0.07	0.07	0.10	0.10	0.08	0.08	0.08	0.07	0.10	0.083
C	用改製的筆管從 10ml 量筒中固定吸取 0.5ml 的液體										0.5

奶精 (ml)

管子	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th	9 th	10 th	平均
A	0.08	0.09	0.07	0.09	0.08	0.09	0.08	0.09	0.09	0.08	0.084
B	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09	0.092
C	用改製的筆管從 10ml 量筒中固定吸取 0.5ml 的液體										0.5

各別液體三種液滴的質量

牛奶 (g)

管子	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th	9 th	10 th	平均
A	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.080
B	0.08	0.09	0.08	0.10	0.08	0.09	0.09	0.09	0.10	0.08	0.090
C	0.55	0.57	0.48	0.58	0.47	0.55	0.57	0.45	0.61	0.52	0.535

豆漿 (g)

管子	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th	9 th	10 th	平均
A	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08	0.083
B	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.09	0.10	0.10	0.091
C	0.42	0.50	0.60	0.55	0.56	0.54	0.58	0.58	0.55	0.58	0.550

奶精 (g)

管子	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th	9 th	10 th	平均
A	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.071
B	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.09	0.09	0.08	0.089
C	0.30	0.42	0.37	0.32	0.44	0.46	0.65	0.57	0.47	0.52	0.452

(二)各別液體的密度 ρ ($\frac{g}{ml}$)

液體種類(平均)	水	牛奶	豆漿	奶精
ρ	1.000	1.052	1.158	0.904

(三)四種液體表面張力($10^{-5} N/cm$)

液體	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	平均
水	63	63	63	63	63	63
牛奶	53	53	54	54	53	53.4
豆漿	53	54	53	54	54	53.6
奶精	54	54	54	53	54	53.8

(四)各種液體形成柱高的臨界高度：隆起液柱高的最小高度和濺起皇冠的臨界高度，表示滴落高度 H 若大於某一值的話，碰撞時立即濺射而出成毛冠；滴落高度 H 若小於某一值時，皇冠跟液柱就不存在。

水皇冠

管子	A(平均)	B(平均)	C(平均)
下限(cm)	18.13	9.70	9.47
上限(cm)	137.82	126.72	137.47

牛奶皇冠

管子	A(平均)	B(平均)	C(平均)
下限(cm)	21.03	12.50	12.99
上限(cm)	135.42	158.33	127.02

豆漿皇冠

管子	A(平均)	B(平均)	C(平均)
下限(cm)	45.00	33.95	22.88
上限(cm)	134.80	127.05	139.93

奶精皇冠

管子	A(平均)	B(平均)	C(平均)
下限(cm)	19.33	10.05	9.94
上限(cm)	138.20	126.92	138.96

液柱下限 (cm)

液體	管子	A	B	C
水		6.0	4.8	4.3
牛奶		5.3	5.2	2.9
豆漿		3.9	4.0	3.3
奶精		4.1	2.9	3.0

(五)滿杯與未滿杯的比較：因未滿杯在拍攝和觀察以及測量上不便，於是以下操作，以滿杯進行實驗。

二、測量方法

(一)濺起皇冠徑：用鐵棒彎成正方形，於對邊上裝兩條橡皮筋，以文書夾固定之，便可靠文書夾的平移來測出皇冠的直徑大小。



(二)隆起液柱高：使用自由落體實驗支架來輔助測量 h ，先用水水平目視定位測斷珠或 h 頂端，然後用平行液面的雷射指示筆來校正三兩次而後確認，當雷射碰到液體時會散射，或阻斷平面光，散射情形會在投影幕上出現，可直接讀出 h 高度。



三、實驗操作

實驗(一)-水：

- 1.取用 A 管，改變滴落高度 H 自 80、90、100、110、120、130、140 公分處，讀取不同滴落高度 H 下的液柱高 h 五次和皇冠徑 D 五次，各求平均並紀錄。
- 2.取用 B 管，重複 1.的步驟。
- 3.取用 C 管，重複 1.的步驟。

實驗(二)-牛奶：

- 1.取用 A 管，改變滴落高度 H 自 80、90、100、110、120、130、140 公分處，讀取不同滴落高度 H 下的液柱高 h 五次和皇冠徑 D 五次，各求平均並紀錄。
- 2.取用 B 管，重複 1.的步驟。
- 3.取用 C 管，重複 1.的步驟。

實驗(三)-豆漿：

- 1.取用 A 管，改變滴落高度 H 自 80、90、100、110、120、130、140 公分處，讀取不同滴落高度 H 下的液柱高 h 五次和皇冠徑 D 五次，各求平均並紀錄。
- 2.取用 B 管，重複 1.的步驟。
- 3.取用 C 管，重複 1.的步驟。

實驗(四)-奶精：

- 1.取用 A 管，改變滴落高度 H 自 80、90、100、110、120、130、140 公分處，讀取不同滴落高度 H 下的液柱高 h 五次和皇冠徑 D 五次，各求平均並紀錄。
- 2.取用 B 管，重複 1.的步驟。
- 3.取用 C 管，重複 1.的步驟。

柒、實驗數據與分析

一、實驗數據

A^* 、 B^* 、 C^* 代表 A、B、C 管的液滴

以下實驗皆為多次平均值紀錄

(一)水---濺起皇冠徑 D (cm)

液滴 H (cm)	A*	B*	C*
80	1.93	2.58	4.02
90	2.33	2.92	3.99
100	2.65	3.05	4.38
110	3.12	3.45	4.85
120	3.49	3.70	4.91
130	3.95	3.93	4.87
140	4.10	4.24	4.91

水---隆起液柱高 h (cm)

液滴 H (cm)	A*	B*	C*
80	1.50	2.13	3.50
90	1.93	1.87	3.63
100	2.17	2.00	3.07
110	2.10	2.23	3.63
120	2.50	2.17	3.77
130	2.30	2.23	3.20
140	2.90	2.13	4.53

(二)牛奶---濺起皇冠徑 D (cm)

液滴 H (cm)	A*	B*	C*
80	1.68	3.04	4.17
90	2.59	2.66	5.28
100	3.85	3.69	5.43
110	4.01	3.97	5.53
120	2.18	3.22	5.11
130	2.34	3.12	5.51
140	2.20	3.23	5.35

牛奶---隆起液柱高 h < cm >

液滴 H < cm >	A*	B*	C*
80	1.60	2.30	2.60
90	2.30	2.77	3.27
100	2.40	2.57	3.70
110	2.53	2.27	4.53
120	1.73	2.40	2.90
130	1.67	2.47	3.20
140	1.53	2.87	3.43

(三)豆漿---濺起皇冠徑 D < cm >

液滴 H < cm >	A*	B*	C*
80	2.61	3.11	4.69
90	2.33	2.6	4.87
100	2.76	3.03	5.18
110	3.29	3.23	5.13
120	2.45	3.3	5.26
130	3.15	3.59	5.21
140	2.70	3.20	5.36

豆漿---隆起液柱高 h < cm >

液滴 H < cm >	A*	B*	C*
80	2.43	2.67	3.70
90	2.43	1.93	3.50
100	2.03	1.83	2.70
110	2.80	2.13	2.83
120	3.70	2.97	3.13
130	4.23	3.37	4.40
140	2.67	3.33	4.20

(四)奶精---濺起皇冠徑 D < cm >

H 液滴	A*	B*	C*
80	2.92	2.76	3.91
90	2.95	3.27	4.62
100	3.27	3.20	4.89
110	3.41	3.38	5.21
120	2.72	3.35	4.47
130	3.23	3.56	4.94
140	3.18	3.54	5.16

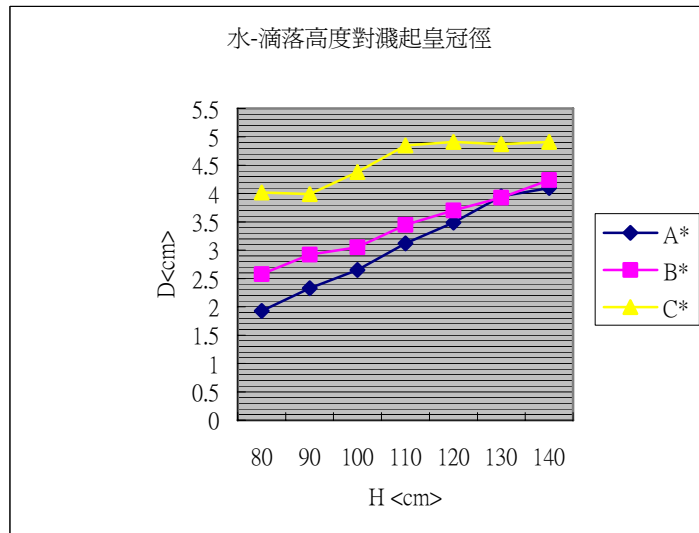
奶精---隆起液柱高 h (cm)

液滴 H (cm)	A*	B*	C*
80	2.07	2.97	3.50
90	2.27	2.13	3.43
100	2.17	2.17	3.30
110	2.13	2.23	3.20
120	2.57	2.90	2.93
130	2.73	2.60	3.20
140	2.83	2.73	3.40

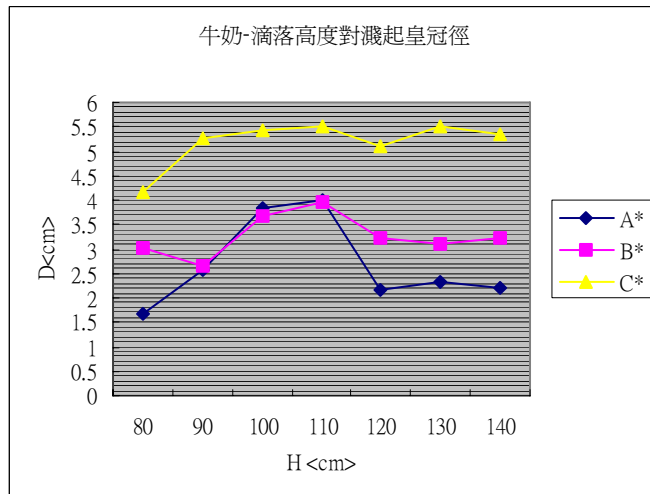
二、圖表與分析

(一)在同一種液體種類下探討：

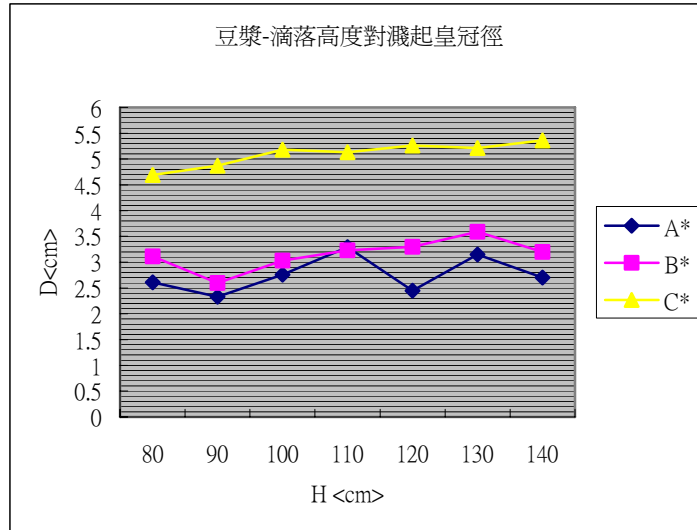
- 1.液滴大小對液體濺起皇冠徑、隆起液柱高大小的關係。
- 2.液滴落下高度對液體濺起皇冠徑、隆起液柱高大小的關係。



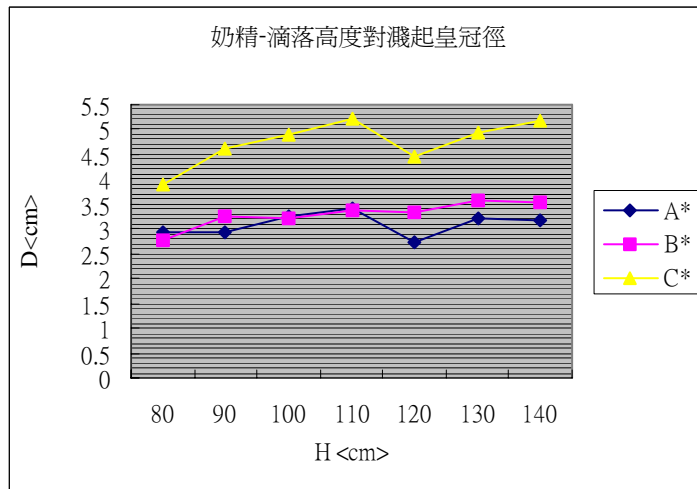
分析：隨著滴落高度的增加，三種液滴大小的液滴所濺起的皇冠徑都隨之增大。而 C* 的增加曲線和 A* B* 有稍稍不同，可能是因為 C* 液滴約是 A* B* 的五倍大。



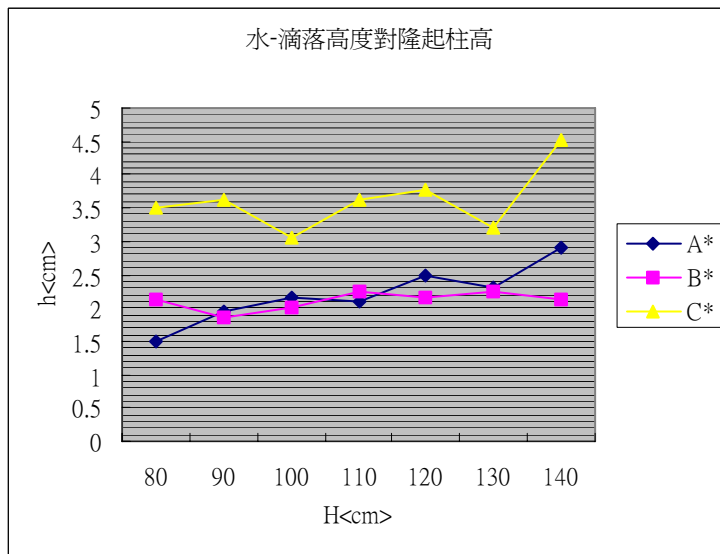
分析：上圖中，牛奶滴分別在三個管下滴落的液滴在 90cm 到 120cm 間曲線變化極異常，和水濺起的皇冠會隨著高度增加而增加的概念似乎不一樣。這是因為牛奶這種液體的性質。



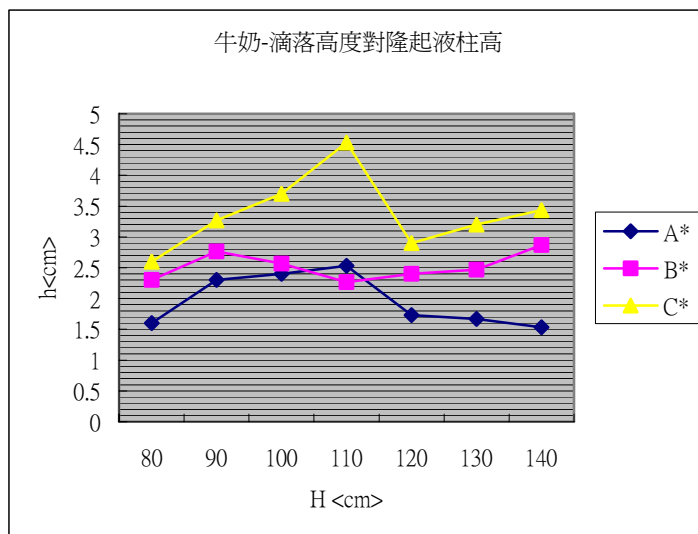
分析：三條曲線的變化類似，但是很明顯的，C*的液滴濺起皇冠徑較大，和 C*液滴的質量大小可能有關。



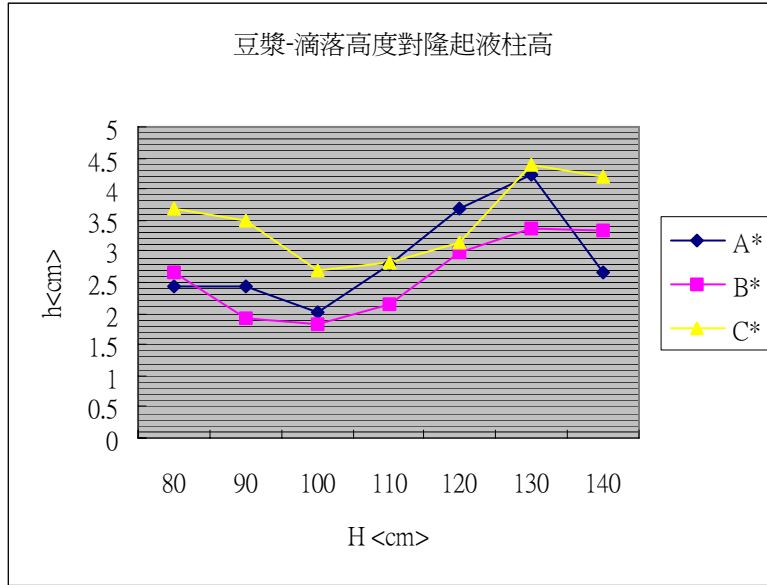
分析：此圖中三條曲線都會在 110cm 到 130cm 下降，其原因可能與液體的特性有關。



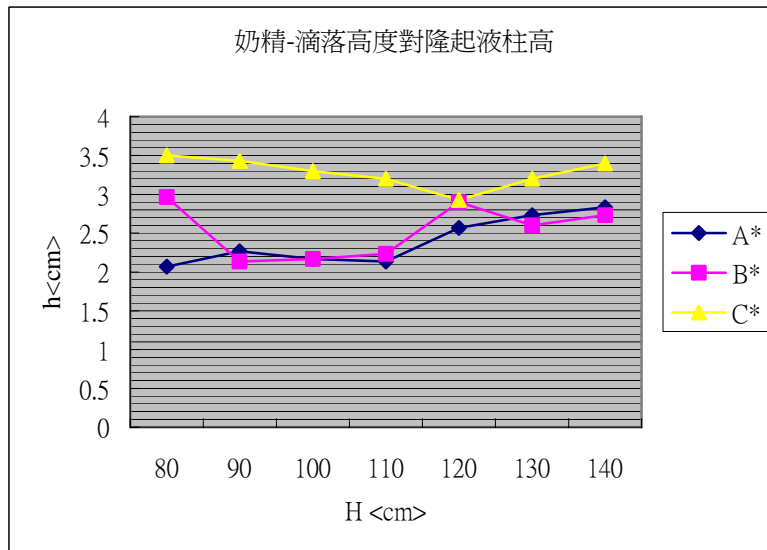
分析：A* B* 的曲線相近但是 C*的差之千里，此現象可能與 C*液滴質量之大小有明顯的關係。



分析：從圖中可以讀到曲線的變動關係，液滴三個管中在 80cm 到 90cm 間皆是上升的情形，爾後一直到 120cm 才漸趨平穩。其中有液滴在 110cm 的表現直得我們注意。尤其是 C*的。或許我們可以說，牛奶呈現最佳隆起液柱時是 C* 110cm。

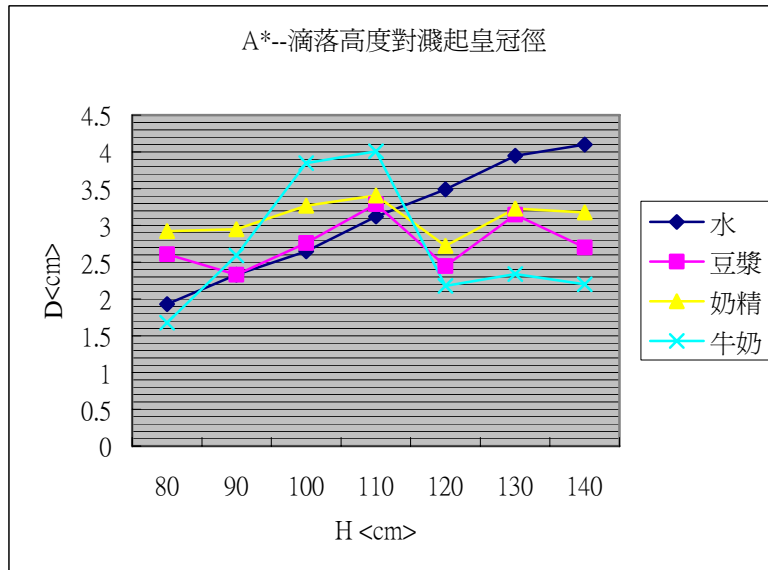


分析：從曲線的變化得知豆漿三個管的隆起液柱高似乎都有一種美妙的規律性存在。

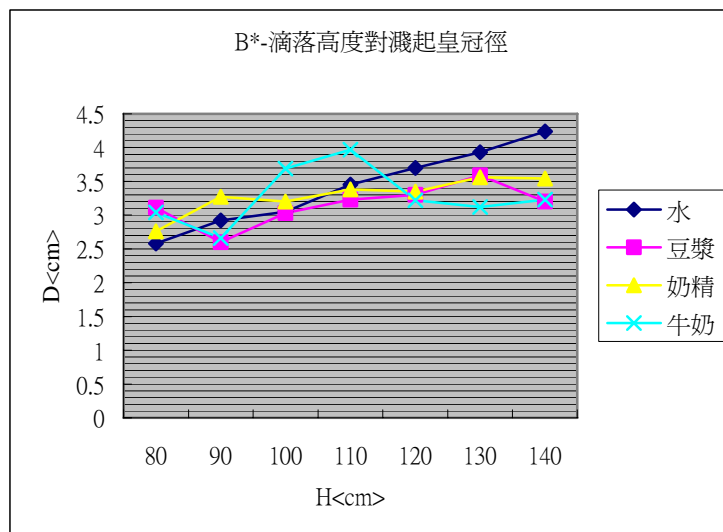


分析：凌亂可能是形容這張圖的最好詞彙，但是我們仍能從其中得到 C*液滴質量對隆起液柱高影響的訊息。

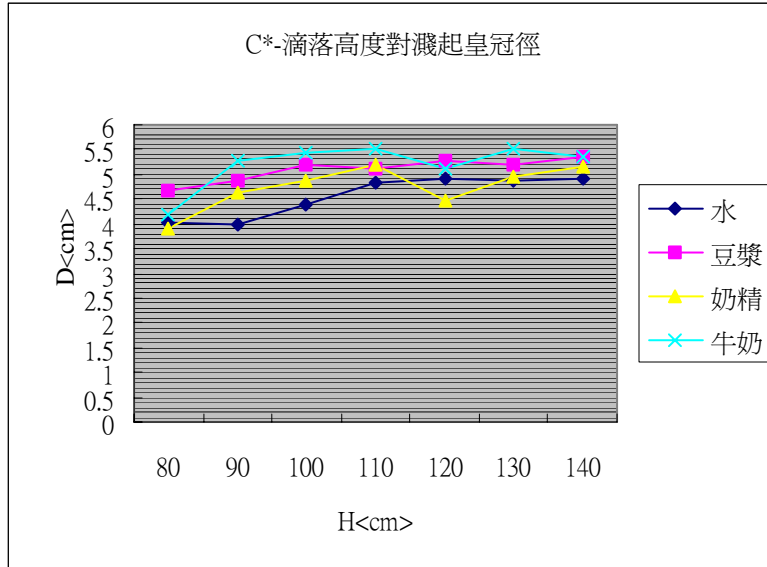
(二)在相同液滴大小下探討



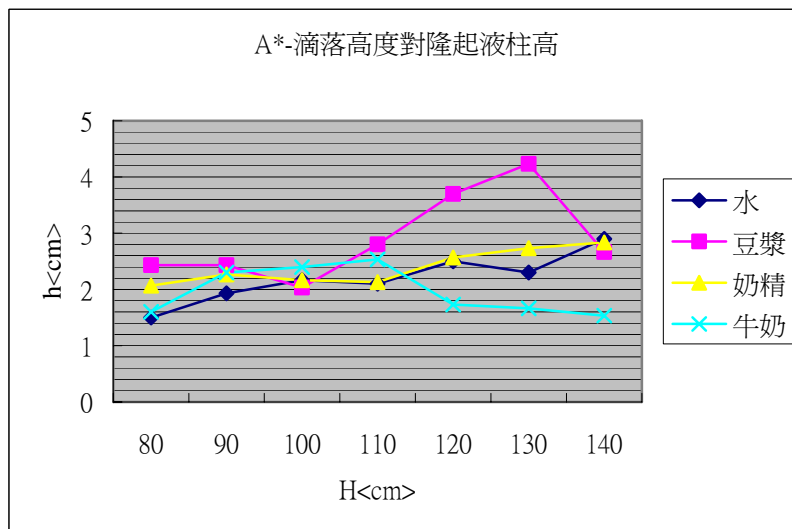
分析：豆漿、奶精、牛奶的曲線變化大概相似但是為什麼牛奶在90cm 到110cm之間濺起皇冠徑會是這麼的大呢？或許這和我們取用牛奶有關。得知此一概念後，我們往後每測牛奶皆用新開的。



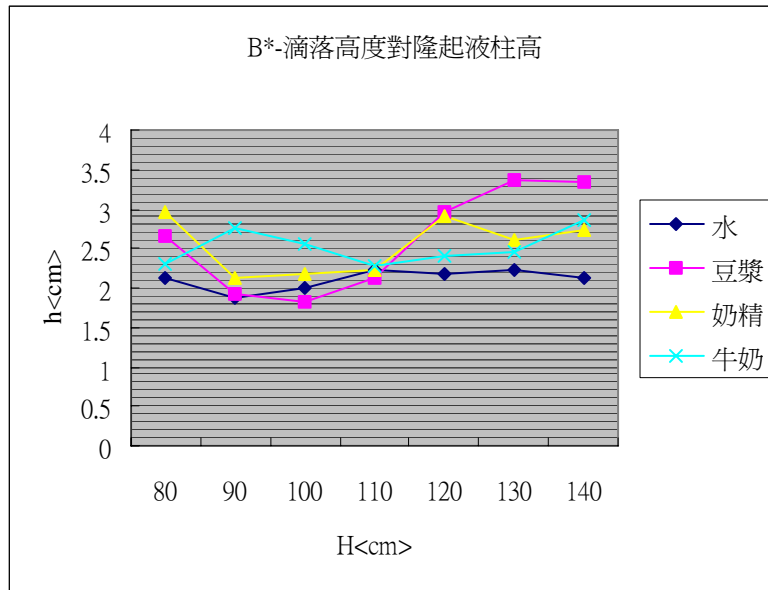
分析：在B*下的水、豆漿、奶精三曲線放在一起有一種吸引人的美其變化趨勢：濺起皇冠徑隨著滴落高度的增加而增大。其中水的變化比較大而明顯。



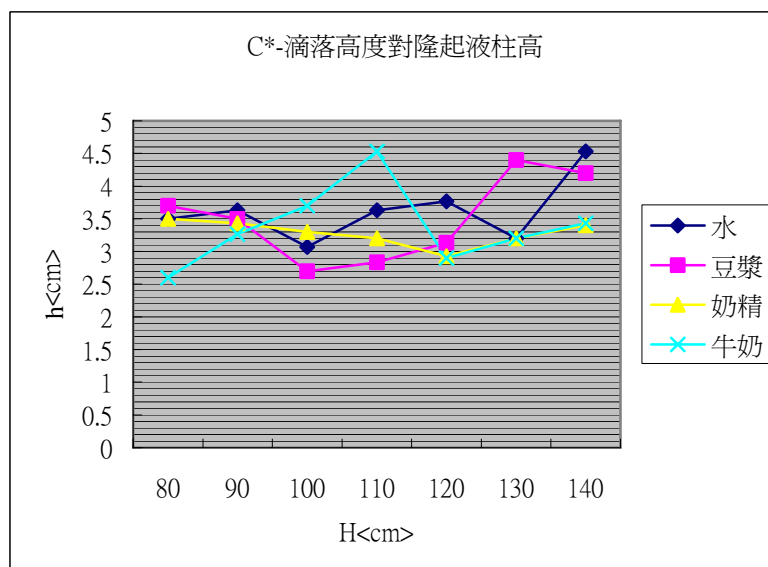
分析：C*四種液體的變化趨勢滿雷同的。值得注意的是120cm。四種液體在120cm的濺起皇冠徑不是保持原狀就是變小。



分析：豆漿的曲線異常。可能是因為我們做實驗的時間太長導致豆漿的均勻度和黏稠度改變。



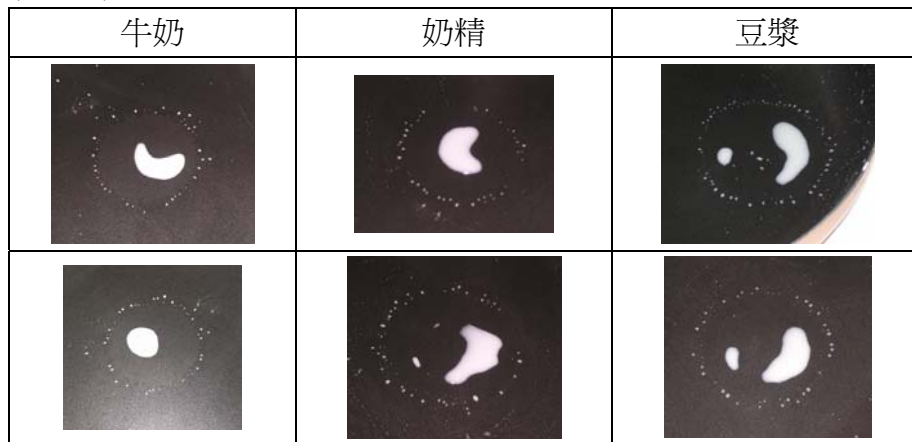
分析：B*的隆起液柱高中，水、豆漿、奶精三種液體的變化趨勢都是先降再升，有的升的緩如水；有的升的激烈如豆漿。唯獨牛奶，異常。



分析：如同在 B*下各種液體的隆起液柱高：水、豆漿、奶精是類似的，牛奶是異常的。但是由上下三張圖的比較，牛奶似乎也有自己的曲線變化形式：先升後降再升。但是 A*下的牛奶”再升”不太明顯。

三、實驗驗證：

液滴與固體表面的碰撞，散射呈輻射狀液滴於最外側，拍攝於平底鍋 (Teflon)



捌、計算與分析 <所代入 h 與 D 皆為測量所得的平均值>

一、 h/H 與 h/D ，兩者對 H 的關係

(一) 隆起液柱高除以滴落高度之值與滴落高度的關係($h/H-H$)

水- h/H

液滴 H <cm>	A*	B*	C*
80	0.02	0.03	0.04
90	0.02	0.02	0.04
100	0.02	0.02	0.03
110	0.02	0.02	0.03
120	0.02	0.02	0.03
130	0.02	0.02	0.02
140	0.02	0.03	0.04

牛奶- h/H

液滴 H <cm>	A*	B*	C*
80	0.02	0.03	0.03
90	0.03	0.03	0.04
100	0.02	0.03	0.04
110	0.02	0.02	0.04
120	0.01	0.02	0.02
130	0.01	0.02	0.02
140	0.01	0.02	0.02

豆漿-h/H

液滴 H <cm>	A*	B*	C*
80	0.03	0.03	0.05
90	0.03	0.02	0.04
100	0.02	0.02	0.03
110	0.03	0.02	0.03
120	0.03	0.02	0.03
130	0.03	0.03	0.03
140	0.02	0.02	0.03

奶精-h/H

液滴 H <cm>	A*	B*	C*
80	0.03	0.04	0.04
90	0.03	0.02	0.04
100	0.02	0.02	0.03
110	0.02	0.02	0.03
120	0.02	0.02	0.02
130	0.02	0.02	0.02
140	0.02	0.02	0.02

(二)隆起液柱高除以濺起皇冠徑之值與滴落高度的關係(h/D-H)

水-h/D

液滴 H <cm>	A*	B*	C*
80	0.78	0.83	0.87
90	0.83	0.64	0.91
100	0.82	0.66	0.70
110	0.67	0.65	0.75
120	0.72	0.59	0.77
130	0.58	0.57	0.66
140	0.71	0.50	0.92

牛奶-h/D

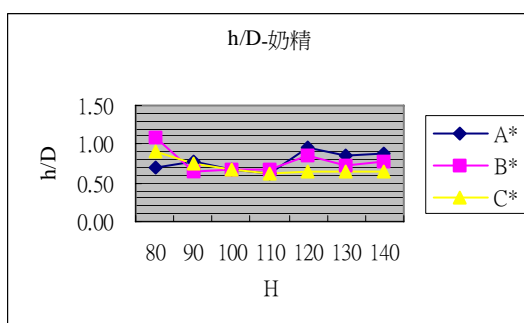
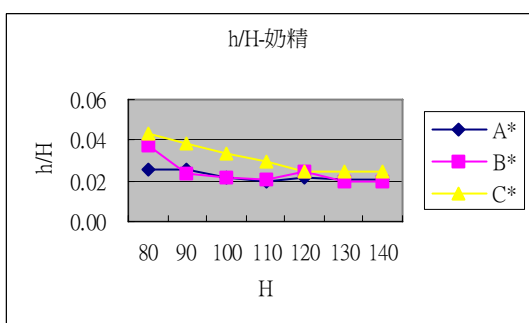
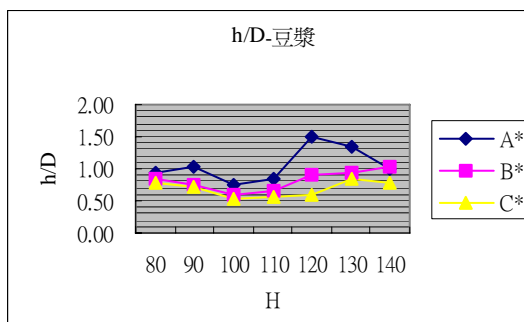
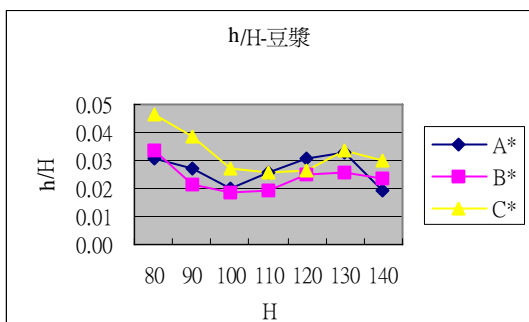
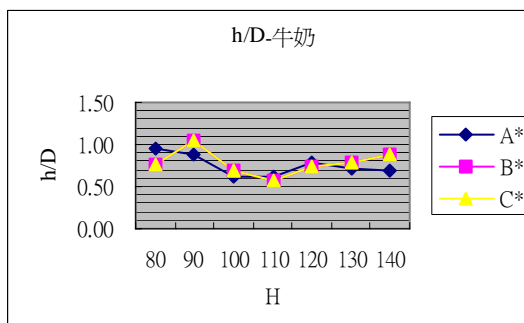
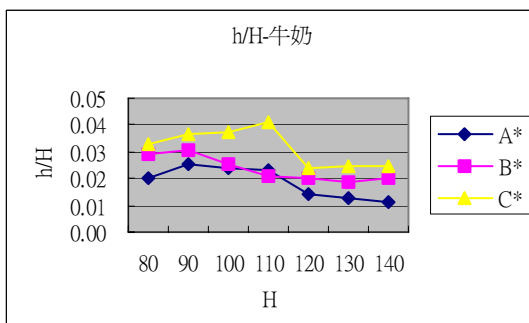
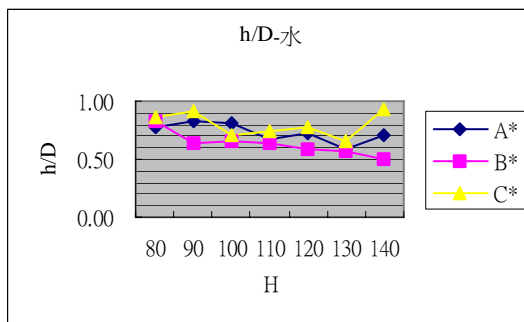
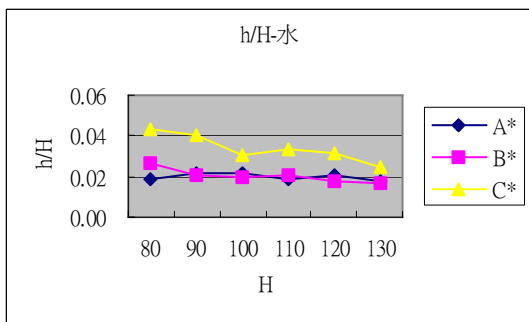
液滴 H<cm>	A*	B*	C*
80	0.95	0.76	0.76
90	0.89	1.04	1.04
100	0.62	0.70	0.70
110	0.63	0.57	0.57
120	0.79	0.75	0.75
130	0.71	0.79	0.79
140	0.70	0.89	0.89

豆漿-h/D

液滴 H <cm>	A*	B*	C*
80	0.93	0.86	0.79
90	1.04	0.74	0.72
100	0.74	0.60	0.52
110	0.85	0.66	0.55
120	1.51	0.90	0.60
130	1.34	0.94	0.84
140	0.99	1.04	0.78

奶精-h/D

液滴 H<cm>	A*	B*	C*
80	0.71	1.08	0.90
90	0.77	0.65	0.74
100	0.66	0.68	0.67
110	0.62	0.66	0.61
120	0.94	0.87	0.66
130	0.85	0.73	0.65
140	0.89	0.77	0.66



分析：在同一種液體下，h/H-H 及 h/D-H 兩種圖都有相類似的曲線變化。

二、濺起皇冠徑除以滴落高度之值與滴落高度的關係(D/H-H)

水-D/H

液滴 H<cm>	A*	B*	C*
80	1.29	1.21	1.15
90	1.21	1.56	1.10
100	1.22	1.53	1.43
110	1.49	1.55	1.34
120	1.40	1.71	1.30
130	1.72	1.76	1.52
140	1.41	1.99	1.08

牛奶-D/H

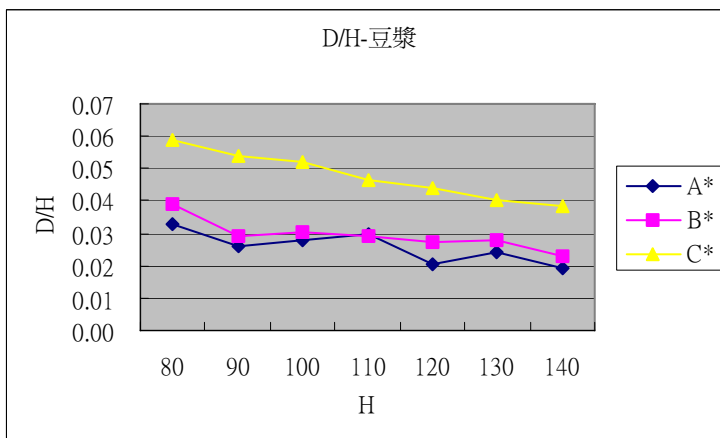
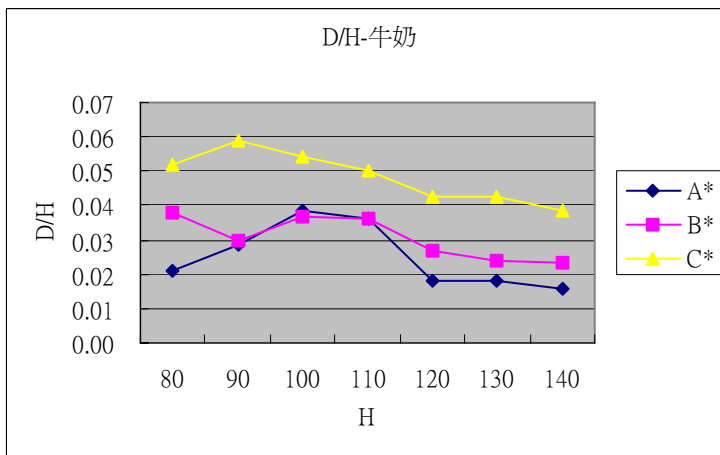
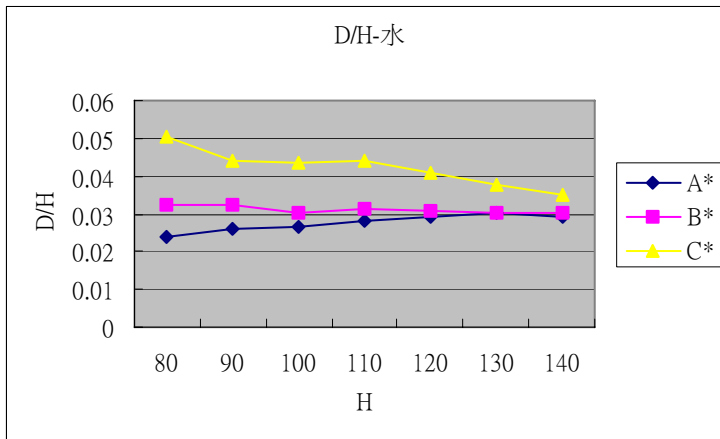
液滴 H<cm>	A*	B*	C*
80	0.02	0.04	0.05
90	0.03	0.03	0.06
100	0.04	0.04	0.05
110	0.04	0.04	0.05
120	0.02	0.03	0.04
130	0.02	0.02	0.04
140	0.02	0.02	0.04

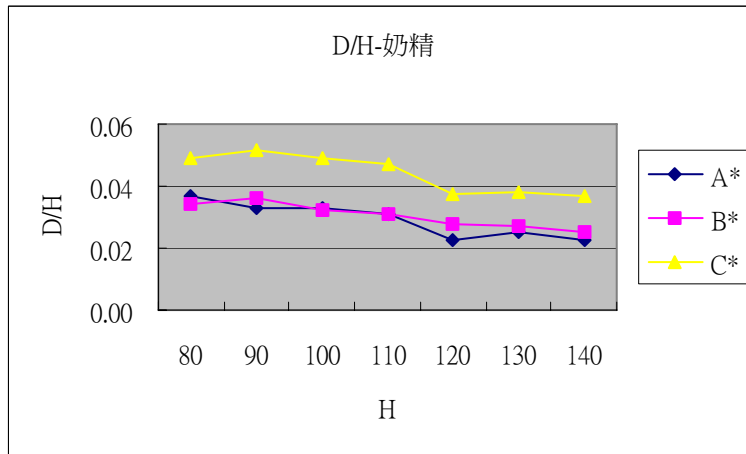
豆漿-D/H

液滴 H<cm>	A*	B*	C*
80	0.03	0.04	0.06
90	0.03	0.03	0.05
100	0.03	0.03	0.05
110	0.03	0.03	0.05
120	0.02	0.03	0.04
130	0.02	0.03	0.04
140	0.02	0.02	0.04

奶精-D/h

液滴 H<cm>	A*	B*	C*
80	0.04	0.03	0.05
90	0.03	0.04	0.05
100	0.03	0.03	0.05
110	0.03	0.03	0.05
120	0.02	0.03	0.04
130	0.02	0.03	0.04
140	0.02	0.03	0.04





分析：從圖中得知每一種液體都有其獨特的變化曲線以外，同一種液體中 A* B* 的曲線相近，但是明顯小於 C*。然而，每一種液體，除了水以外，曲線都隨著 H 的增加而降低。

三、恢復係數 $e = \frac{\sqrt{2gh'}}{\sqrt{2gH}}$ ($h' = \frac{h}{\sqrt{2}}$)

水-e

液滴 H<cm>	A*	B*	C*
80	0.115	0.137	0.176
90	0.123	0.121	0.169
100	0.124	0.119	0.147
110	0.116	0.120	0.153
120	0.121	0.113	0.149
130	0.112	0.110	0.132
140	0.121	0.104	0.151
平均	0.119	0.118	0.154

牛奶-e

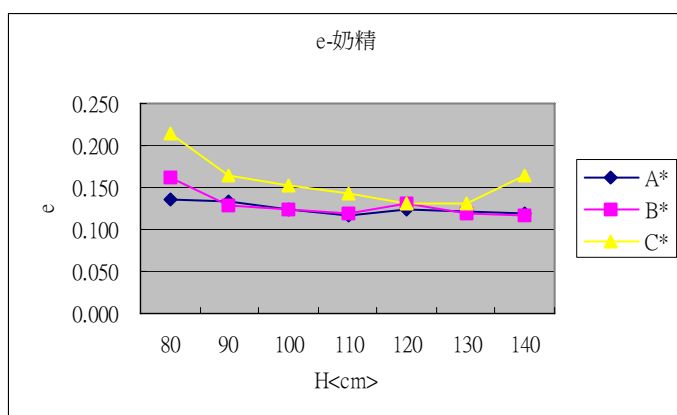
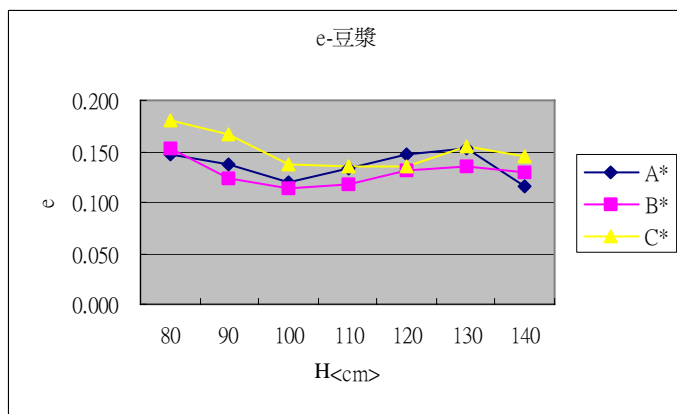
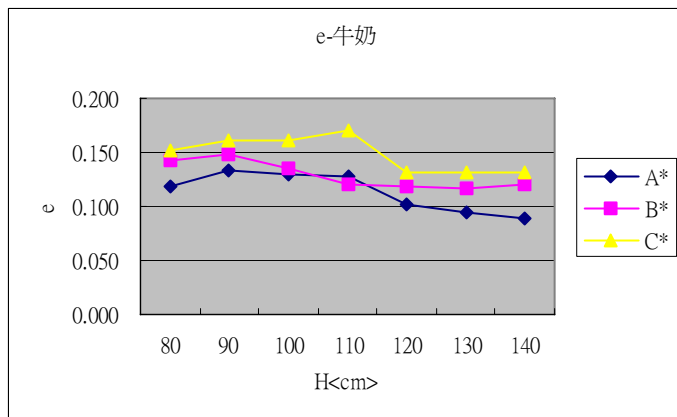
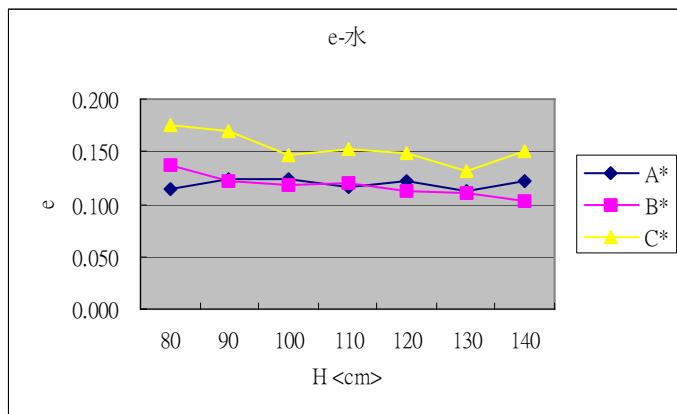
液滴 H <cm>	A*	B*	C*
80	0.119	0.143	0.152
90	0.134	0.147	0.160
100	0.130	0.135	0.162
110	0.128	0.121	0.171
120	0.101	0.119	0.131
130	0.095	0.116	0.132
140	0.088	0.120	0.132
平均	0.114	0.129	0.148

豆漿-e

液滴 H <cm>	A*	B*	C*
80	0.147	0.154	0.181
90	0.138	0.123	0.166
100	0.120	0.114	0.138
110	0.134	0.117	0.135
120	0.148	0.132	0.136
130	0.152	0.135	0.155
140	0.116	0.130	0.146
平均	0.136	0.129	0.151

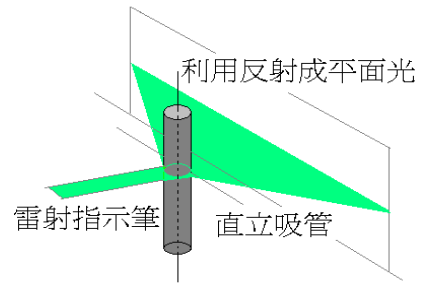
奶精-e

液滴 H <cm>	A*	B*	C*
80	0.135	0.162	0.214
90	0.133	0.129	0.164
100	0.124	0.124	0.153
110	0.117	0.120	0.143
120	0.123	0.131	0.131
130	0.122	0.119	0.132
140	0.120	0.117	0.163
平均	0.125	0.129	0.157



玖、實驗討論

一、測量隆起液柱高 h 是本實驗高難度的挑戰，要確認最高點的位置確實不易，經多次的改進，以雷射指示筆射直立吸管製造平面光罩的原理，利用平面光罩阻斷的方法成功測定 h ，是實驗測量技術上的第一突破。















二、測量濺起的皇冠徑是對眼睛作超級疲勞轟炸，可以說是”稍縱即逝”，後來我們用鐵棒彎成正方形，於對邊裝上兩條橡皮筋，以文書夾固定之，便可靠文書夾的平移完美的測出皇冠徑 D 大小，是實驗測量技術上的第二突破。



三、由 DV 紀錄影帶慢速格放中發現，當水滴落入液面後，我們可以明顯看到滴落的水落入水中，產生比液滴體積大的空氣泡，周圍的液體因壓力作用大於液滴質量的浮力，合力作用向上，隨即散發出水花，噴濺出皇冠似的水花，爾後隆起液柱。

四、液滴滴落後碰撞的瞬間，液面起伏不是很大，緊接著便是皇冠的形成。在皇冠消逝後，繼而隆起 1 到 3 個液柱，且在較高的滴落高度 H 下，常會有斷珠。最後液柱消逝後，液面在波動越來越小下漸漸平靜。

液滴落下 	皇冠形成 	皇冠消逝 	液柱隆起 
液柱拉長 	液柱下收 	液柱收縮 	液柱消逝 
再次隆起液柱 	二次液柱形成斷珠 	二次斷珠懸空 	二次斷珠下縮 

- 五、在 DV 錄影播放時我們發現，滴落高度 H 較低、液滴較小時，滴落後，液面起伏較小，但也可濺起皇冠；反之，若 H 較高、液滴較大時，形成過程較長，且皇冠存在的時間較久。
- 六、在同一種液體下討論，當滴落高度增大，濺起皇冠徑會有隨之增大的特性。其中水的變化比較為規律而明顯，應該是因為水為純物質，且表面張力較大所致，而其他液體較不穩定是因為液體為膠體溶液的因素。
- 七、在同一種液體下討論發現，水與豆漿的隆起液柱高有明顯的獨特規律。而牛奶和奶精之所以變化較大，可能是液體不均勻造成的：奶精是我們用粉泡製而成的，在皇冠或液柱的頂端均勻度很低；牛奶則是因為我們所使用的是冷凍過且品質較不好的保久乳。
- 八、濺起良好的皇冠和隆起美妙的液柱高並不是隨意的巧合，必須要在適當的液滴大小、某一範圍的滴落高度及液體的配合下才能產生。因此，除了碰撞因素外，液體本身的基本性質，如表面張力和黏度皆會影響，不可忽略。
- 九、當滴落高度 H 上升到某一程度時，雖然隆起的液柱高 h 會變的較矮，但其濺射出的斷珠之高不會因此而降低，且斷珠直徑大於液柱直徑。
- 十、在皇冠消逝後，周圍的液體會以旋轉的方式回流至中央，且使得液柱在上升過程中有些微旋轉，直到隆起的液柱消失後才變的較不清楚。此現象於液滴大、滴落高度 H 大至某值時會特別明顯。
- 十一、在實驗計算中我們巧妙的發現，各種液體的 $h/H-H$ 及 $h/D-H$ 皆有不同而獨特的函數圖形，但同一液體的兩種圖形相似，也就是說，對同一種類型的液體而言，同一液柱高所對應的皇冠徑 D 與滴落高度 H 有一定的特性曲線。
- 十二、由 D/H 的圖可看出：在同液體中，A、B 管曲線相近，而 C 管液滴 D/H 的比值則大於前述兩者。因此，同液體中，皇冠徑 D 與滴落高度 H 的比值與液體的質量有密切關係。
- 十三、由實驗數據可得：A、B 管液滴較小，控制較簡單，且觸及液面穩定性高，可視為質點，如實驗原理—觀念四，液滴 m 以 $\sqrt{2gH}$ 的速度碰撞液面，濺起皇冠徑與隆起液柱高較有規律性，也是這次實驗的較佳選擇。
- 十四、做實驗時，選用 C 管的液滴質量為約 A、B 管的五倍大，且 C 管不像 A、B 管一樣於管口自然形成液滴，因此要穩定控制液滴落下相對的就很困難。所以偶爾液滴會形成長液或間斷成兩節以上的形式落入液面，於探討相關性質時，它算是”破壞組”，卻也在這次數據計算分析中成為完美的對照組，可以說是”苦惱、後悔”選用 C 管液滴的心得。
- 十五、恢復係數的討論：由恢復係數 $e = \frac{\sqrt{2gh'}}{\sqrt{2gH}} = \frac{\sqrt{h'}}{\sqrt{H}}$ 的計算與分析得知：在同一種液體下，A、B 管液滴的恢復係數幾乎相等，而 C 管液滴的恢復係數 e 則明顯大於前兩者，因此我們可以判斷出 A、B 管的液滴滴入液面的情

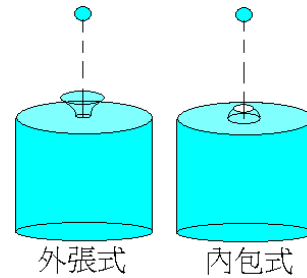
形可視為碰撞。而此恢復係數為一定值，且與液體種類的黏度，有絕對的相關性，C 管所滴出的液滴已不是”液滴”，故不可視為碰撞。

拾、研究結果

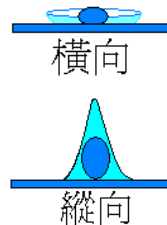
一、液滴落入液面的碰撞衝擊超過表面波能夠傳播的速波 $\sqrt{gy_0}$ ，無法散開的能量把液體推高，且以向上的阻力最小，拉出薄膜皇冠，端點甚至於形成斷點的圓水珠。



二、液滴碰撞液面後，因下拉的空氣泡受壓力做向上合力隆起液柱，隨後因液面能量的吸收而振盪再隆起水柱。不同表面張力會形成不同的皇冠形式：表面張力大者會形成內包式，若較小者，則形成外張式。



三、由實驗觀察和實驗數據可發現：隆起的液柱高不太穩定的原因，可能與液滴碰撞液面瞬間的形狀有關：液滴於同一高度落下，若在縱向變大時落入液面，則隆起的液柱高會較高，但皇冠較不明顯；反之，若液滴在橫向變大時落入液面，則隆起液柱高會較低，且濺射出的皇冠較為顯著。



四、液滴與液體碰撞，第一次隆起柱高後，隨即落回下收，能量向四周液面傳送；經反射若器壁間距恰為半波長奇數倍時，會再次隆起柱高，爾後回落的時候，最上端與下部的上升速度不同，與黏度大小的作用，液滴分離開來，就像二、三滴的小球一樣，且黏度越大所形成的斷珠越少。



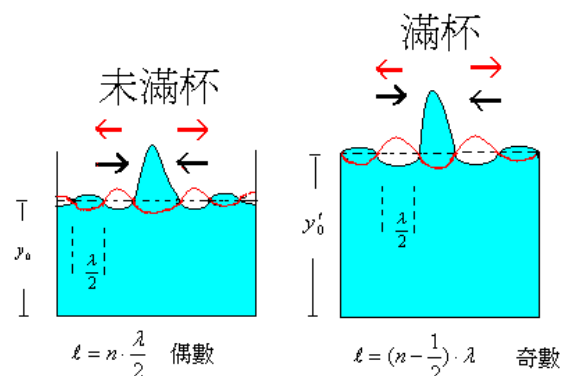
五、第一次隆起的液柱是因為碰撞所造成；而第二次以後隆起的液柱則是振盪與反射的所形成的。且由實驗觀察得知，斷珠通常出現於最後一個隆起的液柱。

六、滿杯實驗時，液面微小振盪似乎以器壁邊緣為固定端反射振盪；未滿杯時，液面振盪則是以器壁為自由端反射。水槽寬度若為

$\ell = n \cdot \frac{\lambda}{2}$ ，便可於波心再隆起液柱；器壁為滿

杯時，即以器壁為固定端射回來，水槽寬是

$\ell = (n - \frac{1}{2}) \cdot \lambda$ 的話，恰可於再波心隆起液柱。



- 七、液滴質量 m 以高度 H 自由落下，觸及液面的瞬間速度 $V = \sqrt{2gH}$ 劃過液面，在界面留下比液滴體積大的空氣泡。周圍的體因壓力作用，如圖，產生大於液滴質量的浮力，合力作用向上，隨即散射出水花，噴濺出皇冠似的水花，而後隆起液柱。表面張力決定橫向的作用，影響濺起皇冠徑的大小；黏滯力決定縱向的作用，影響隆起液柱的高低。
- 八、從 $h/H-H$ 及 $h/D-H$ 的函數特性曲線可了解，我們認為落下與隆起的質量差異極小，將其能量相除可得到 h/H 的比值，同於剩下能量和原本能量的比值。又由於每一種液體有其獨特性，推論在液滴碰撞時，隆起液柱高 h 不同和液體的特性有密切關係。
- 九、由 D/H 圖可偵測出另一個發現：除了水以外，其他三種液體濺起的皇冠徑皆會隨著滴落高度 H 的增大則 D/H 的比值變小，表示濺起皇冠的增加率(D/H) 隨著滴落高度 H 增大而變小。

十、由恢復係數 $e = \frac{\sqrt{2gh'}}{\sqrt{2gH}} = \frac{\sqrt{h'}}{\sqrt{H}}$ 的計算與分析得知：在同一種液體下，A、B

管液滴的恢復係數幾乎相等，而 C 管液滴的恢復係數 e 則明顯大於前兩者，因此我們可以判斷出 A、B 管的液滴滴入液面的情形可視為碰撞。而此恢復係數為一定值，且與液體種類的黏度，有絕對的相關性。

拾壹、感想與展望

『創意專題實驗』是教科書外、課堂外難得的珍貴體驗。以為「簡單的現象」，深入後才看到「不簡單的內在」；看似「小小的問題」，踏入後才發現「問題的繁瑣」。原來，「美而有趣的自然現象」背後有令人激賞的奧秘。物理之美在我心中，時而碰撞時而振盪，不能停止。

拾貳、參考資料及其他

- 一、吳友仁編 物理基礎觀念第 2 冊 東江圖書公司印行
- 二、林明瑞編 物質科學物理篇(下冊) 南一書局
- 三、褚德三 物質科學物理篇(下) 龍騰文化事業公司編印
- 四、Young Munson Okishi 原著 杜鳳棋譯 流體力學—精裝版 高立圖書有限公司
- 五、Frank M.White 著 莊書豪 姜太倫譯 流體力學 美商麥格羅·希爾國際股份有限 公司

評語

此專題以落下的液滴落在液面或固體表面時碰撞所生的圖形或動態變化為研究對象，取材頗為生活化，且有豐富的物理內涵。唯一美中不足的是缺乏足夠的資料(例如：碰撞瞬間的動態照片及量化分析)。