

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

第三名

031604

「如膠似漆乎」－液體的黏滯性之研究

學校名稱：桃園縣立內壢國民中學

作者：	指導老師：
國二 陳子寧	鍾文憲
國二 陳雅菁	陳文盛

關鍵詞： 黏滯性、終端速度、溫度

作品名稱：「如膠似漆乎」－液體的黏滯性之研究

摘要

拿湯匙想舀出蜂蜜沖泡突然湯匙滑落瓶中，其緩慢下沉狀態激起了好奇心，觸發想進行液體的黏度之實驗研究。研究包括：

- 一、應用不同口徑量筒，以外插法求出量筒口徑趨近無限大時小球的終端速度，避免量筒邊界影響力，進一步成功地推算出液體的黏度為何。
- 二、逐一有計畫地改變了液體的溫度，從實驗數據歸納出液體黏度會隨溫度變化的情形為何。
- 三、創意設計，測量高黏滯性液體流過漏斗的時間，積極討論，建立其物理科學模型與理論架構為何，以能預測液體的黏度數值，發現了從實際的實驗結果與我們所建立的理論模式之黏度的預測趨勢非常吻合，誤差極小，可成功作為預測液體黏度之有效研究方法與物理模式理論架構。
- 四、自製研發實驗裝置測量液體之撞到障礙物而能開始旋轉的高度以及其旋轉的週期為何，並且能與黏度進行比較與討論，探討其間的關係與原因為何。

壹、研究動機

由於之前寒流來襲，那時突然想喝一杯熱騰騰的蜂蜜茶以溫暖凍僵的身軀，於是拿了長柄湯匙想舀出蜂蜜，期待著這透明瓶子在待會兒能為我帶來美好的溫存，看著看著，口水無意識地流了出來，不小心鬆了手，湯匙滑落了瓶中，忽然我發現一件很奇怪的事情：那湯匙為何會緩慢地沈入瓶底，速度之慢有別於平時之情形，真是激起我極大的好奇心。隔天，我問理化老師為什麼？老師建議我自己找答案解開謎底，開始了這一系列以液體黏度為主題的探討實驗與研究活動。在如此認真投入的過程中，十分感謝老師與爸媽長時間日日夜夜的指導與支持陪伴，讓我們經歷了一次富有課本多處教材科學原理內涵的學習之旅，且又能運用創意研討出解決各個問題的研究方法與器具設計，充分聯結與應用了課本多處教材之所學，探討與歸納出重要的科學性質為何，此次的研究除了能夠成功且有效地推得液體黏度為多少，並發現了許多與液體黏度相關的性質，亦研發分析創立了物理科學模型與理論架構，能加以預測不同液體的黏度為何，而可以廣泛應用於日常生活當中，例如：機械潤滑油的使用、引擎機油的選用、液晶螢幕的鋪成…等等，研究過程漫長但卻十分充實，實是獲益豐富良多。

註：教材之相關性【教學單元】：

- | | |
|-------------|-----------------------|
| 國中自然與生活科技課本 | 第一冊（康軒版）§7-2 解決問題的方法 |
| 國中自然與生活科技課本 | 第一冊（康軒版）§7-3 傳達構想的方法 |
| 國中自然與生活科技課本 | 第三冊（康軒版）§1-1 長度與體積的測量 |

國中自然與生活科技課本	第三冊（康軒版）§1-2 質量與密度的測量
國中自然與生活科技課本	第三冊（康軒版）§2-2 水溶液
國中自然與生活科技課本	第四冊（康軒版）§6-1 力與平衡
國中自然與生活科技課本	第四冊（康軒版）§6-2 萬有引力
國中自然與生活科技課本	第四冊（康軒版）§6-4 摩擦力
國中自然與生活科技課本	第四冊（康軒版）§7-1 認識壓力
國中自然與生活科技課本	第四冊（康軒版）§7-3 浮力與物體的浮沈
國中自然與生活科技課本	第五冊（康軒版）§1-3 速率與速度
國中自然與生活科技課本	第五冊（康軒版）§1-4 加速度與等加強度運動
國中自然與生活科技課本	第五冊（康軒版）§2-1 牛頓第一運動定律
國中自然與生活科技課本	第五冊（康軒版）§2-2 牛頓第二運動定律
國中自然與生活科技課本	第五冊（康軒版）§2-3 牛頓第三運動定律
國中自然與生活科技課本	第五冊（康軒版）§3-3 功能轉換與能量守恆

貳、研究目的

- 一、不斷改變器材組合與實驗方法，逐一有計劃地改變量筒的口徑，使用外插法求出量筒口徑趨近無限大時小球的終端速度，以避免量筒的邊界影響力，進一步推算出液體的黏度。
- 二、特別設計研究方法，逐一有計劃地改變液體溫度，建立液體黏度隨溫度變化之關係式。
- 三、發揮創意，設計儀器及方法測量液體流過玻璃漏斗的時間，並能分析與建立一套完整的物理科學模型與理論架構，探討此流過的時間與液體黏度的關係為何，且能依此模型理論基礎，成功地預測出液體之黏度為何。
- 四、自製研發出實驗裝置與研究方法，進行液體從圓管鉛直流下，撞到擋板後液體會旋轉不停之實驗研究，探討液體流下撞到障礙物而能開始旋轉的高度以及旋轉的週期分別與液體黏度之重要關係為何，並分析出其相關原因為何。

參、研究設備及材料 <圖 1><圖 2>

一、設備：

數位錄放影機	鐵架(角鋼)	量筒	玻璃漏斗
電腦螢幕	支架	電子秤	燒杯
數位攝影機	檯燈	游標尺	溫度計
個人電腦	電子錶	計算機	電磁爐

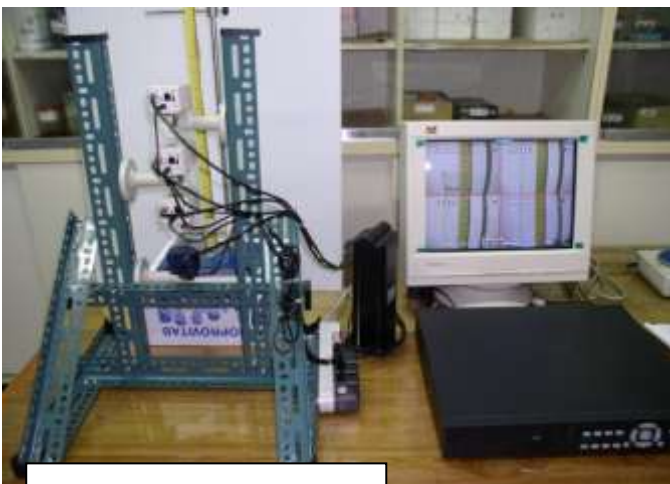


圖 1、實驗設備



圖 2、實驗設備

二、器材：

沙拉油	BB 彈	大膠帶	雙面膠
沐浴精	小鋼珠	延長線	塑膠板
蜂蜜	光碟片	塑膠瓶	錫箔紙
膠水	鑷子	小湯匙	直尺

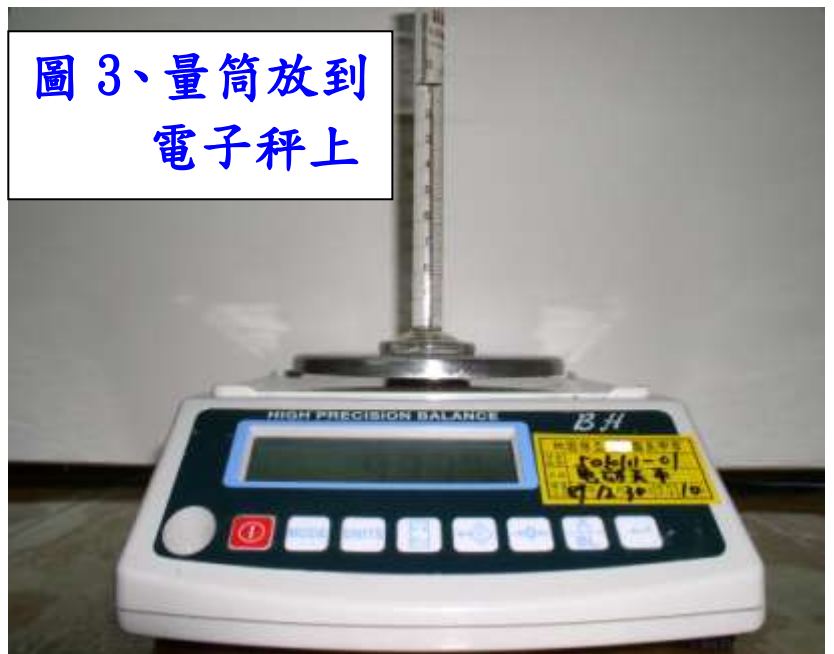
肆、研究過程或方法

根據我們的自然與生活科技 2 上課本，第 1 章「基本測量」，1-1「長度與體積的測量」、1-2「質量與密度的測量」，使得我們能夠加以相關連結運用，應用相關之理論與實驗技術，進行以下之研究方法與實驗過程，說明如下：

一、測量液體的密度：<圖 3>

- (一) 把空的小量筒(10ml)放在電子秤上並歸零。
- (二) 拿下小量筒裝入少許的待測液體，量出液體的體積。
- (三) 再把此量筒放到電子秤上，直接測出液體的質量，求出液體的密度。

圖 3、量筒放到電子秤上



二、測量量筒的內徑：<圖 4>

用游標尺測量容量大小不同量筒的口徑。

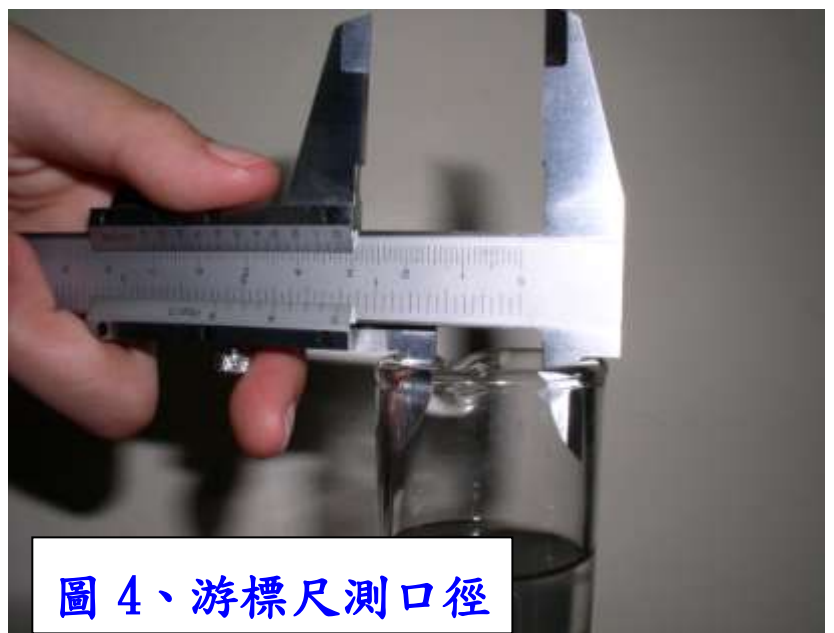
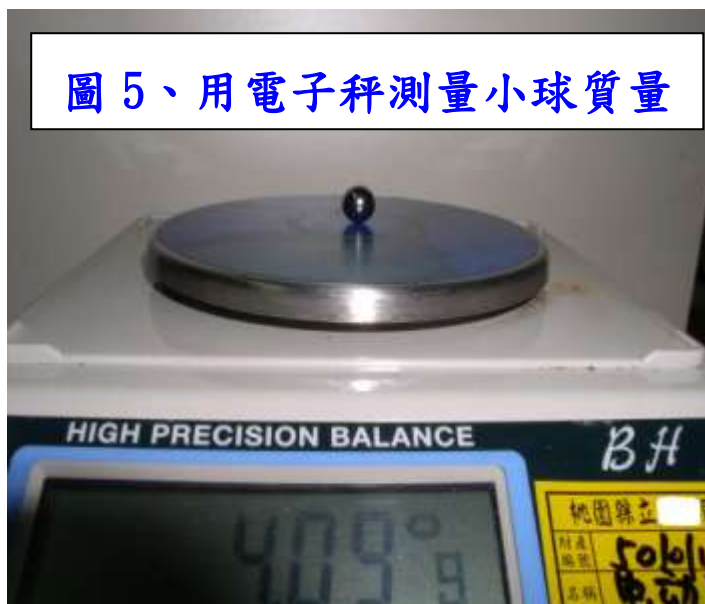


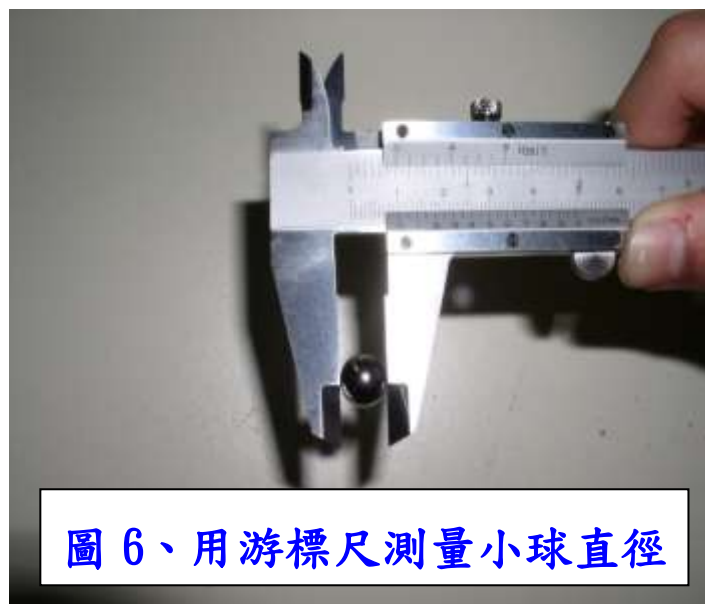
圖 4、游標尺測口徑

三、測量小球的質量與直徑：〈圖 5〉〈圖 6〉

(一)用電子秤測量小球質量。



(二)用游標尺測量小球直徑。



根據我們的自然與生活科技 2 上課本的第 2 章「物質的世界－水溶液」，2 下課本的第 6 章「常見的力－力與平衡、萬有引力、摩擦力」、第 7 章「壓力與浮力」，以及 3 上課本的第 1 章「直線運動」、第 2 章「力與運動－牛頓運動定律、圓周運動」、第 3 章「功與能－功能轉換與能量守恆」等物理原理的學習與了解，讓我們能夠加以相關連結應用，分析出小球在黏滯液體中鉛直落下的受力狀態與運動過程為何，並能夠再自己創造實驗方法與物理模型理論架構，來進一步研究和預測出液體的黏度為何，其研究過程與方法說明如下：

四、拍攝小球在黏滯液體中鉛直落下的過程：〈圖 7〉〈圖 8〉

(一)將待測液體分別倒入 6 個容量不同的量筒(500ml、250ml、100ml、50ml、25ml、10ml)中。

(二)先把小球浸泡在裝有待測液體的小燒杯中，藉以去除球體表面的氣泡，減少實驗誤差。

(三)用鑷子夾出小球放入量筒正中央位置，同時以四台數位攝影機，拍攝小球在黏滯液體中掉落從上到下四部分的過程，最後將影像轉存到 CD-R 光碟片中。

(四)利用 VideoStudio10 剪輯需要的影像，量出小球落下 30mm 高度所花的時間，即可算出其終端速度。

(五)將量筒放入熱水中，以隔水加熱方式改變液體的溫度，每隔 5°C 重複以上實驗步驟測量一次。

(六)用 Excel 分析所得的實驗數據。

圖 7、
拍攝小
球在黏
滯液體
中掉落
的情形

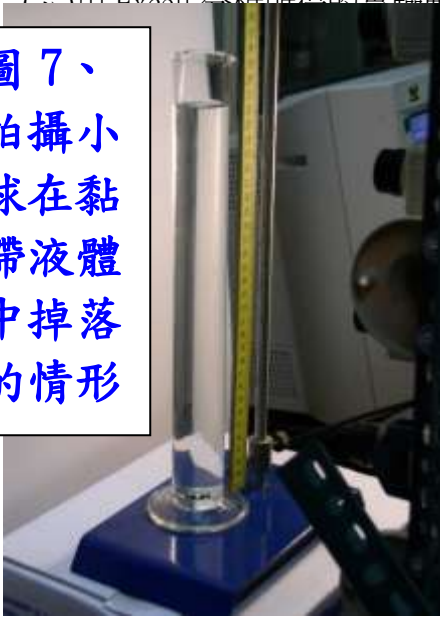
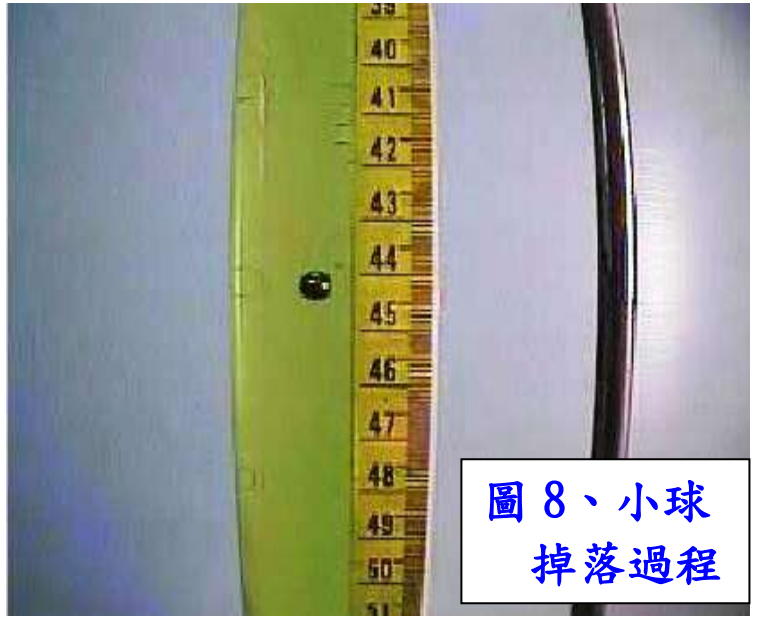


圖 8、小球
掉落過程



五、測量液體流過玻璃漏斗的時間：<圖 9>

- (一)把漏斗的底部塞住，倒入 50ml 的液體。
- (二)液體完全靜止後，打開底部讓液體流出並立即以電子錶記錄其流完的時間。

圖 9、
液體流
出漏斗



六、測量液體鉛直流下撞到擋板恰可開始旋轉的高度及週期：

<圖 10> <圖 11>

- (一)將液體注入自製塑膠瓶中，調整擋板高度使流體恰好可以開始旋轉，並記錄其高度。
- (二)使用電子錶測量流體轉 10 圈的時間，做五次求其週期之平均值。

圖 10、
測量擋
板高度

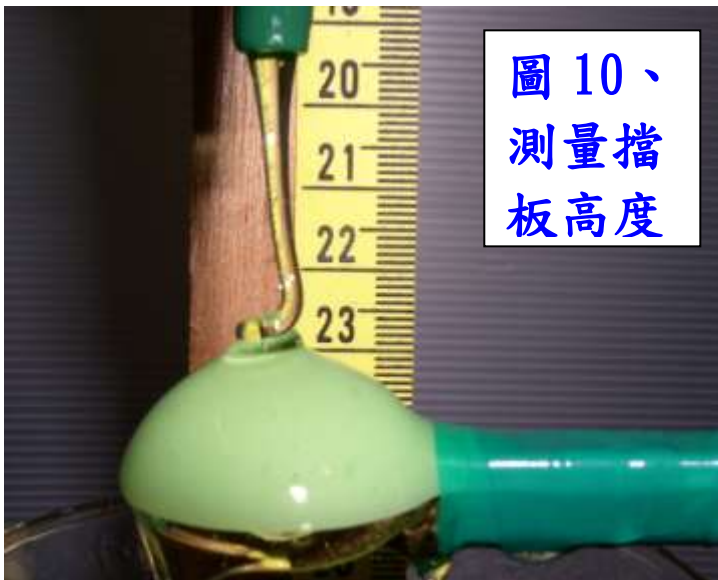
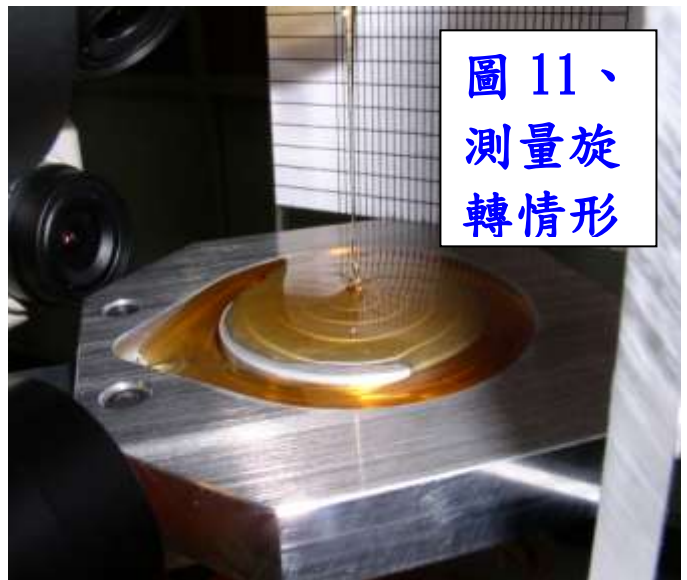


圖 11、
測量旋
轉情形



伍、研究結果

一、液體的密度：

液體	沙拉油	沐浴精	蜂蜜	膠水
密度 $\rho'(\text{g/cm}^3)$	0.83	0.90	1.46	0.97

二、量筒的內徑：

量筒	500ml	250ml	100ml	50ml	25ml	10ml
口徑(mm)	46.35	34.70	24.90	22.10	15.50	10.80

三、小球的直徑、質量及密度：

在實驗中，我們採用軸承上的小鋼珠，因為它的球形較好且尺寸一致，可減少測量誤差。

直徑 d(mm)	2(鋼珠)	3(鋼珠)	4(鋼珠)	5(鋼珠)	6(鋼珠)	6(BB 彈)
質量 m(g)	0.04	0.13	0.27	0.51	0.88	0.11
密度 $\rho(\text{g/cm}^3)$	9.55	9.20	8.06	7.80	7.78	0.97

四、終端速度：

在口徑不同的量筒中裝有同溫度的同種液體，使同樣的小球在流體中鉛直落下。分別測出終端速度。以終端速度 v_t 為縱座標，以量筒口徑的倒數 $\frac{1}{D}$ 做橫座標，建立座標系。

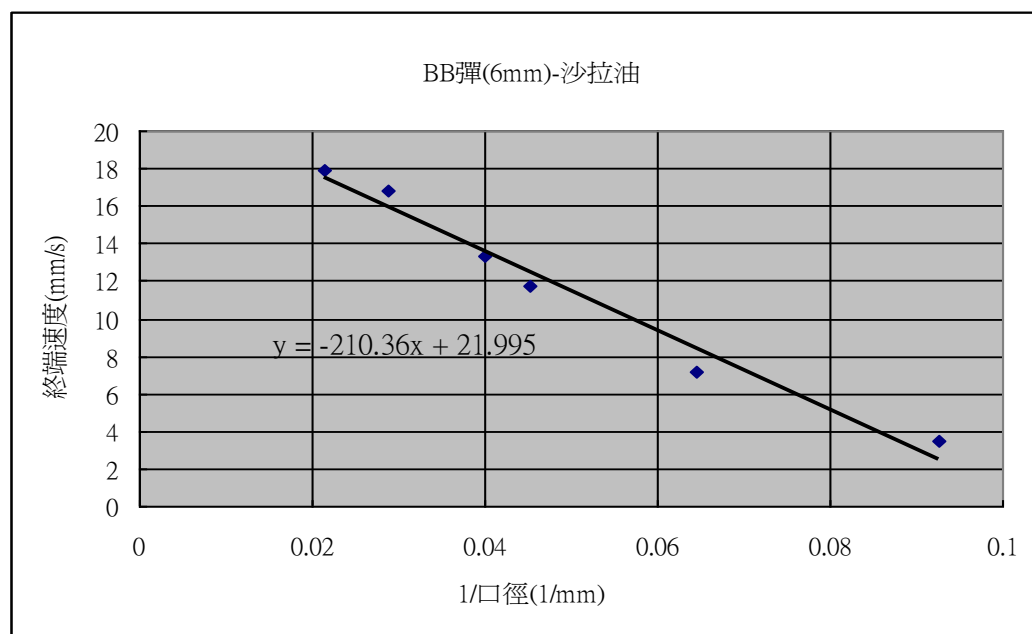
對所測得數據描點，找出相關的直線並外推到與縱軸相交，縱座標的「截距」就是 $\frac{1}{D} = 0$ ($D \rightarrow \infty$) 量筒口徑 D 趨近無限大時小球的「終端速度」。

(一) 沙拉油

1. 直徑 6mm BB 彈在沙拉油中落下的終端速度(溫度 17°C)

1/口徑(1/mm)	0.0215	0.0288	0.0401	0.0452	0.0645	0.0926
終端速度(mm/s)	17.9	16.8	13.3	11.7	7.2	3.5

= > 量筒口徑趨近無限大時，小球的終端速度 = 22.00 mm/s

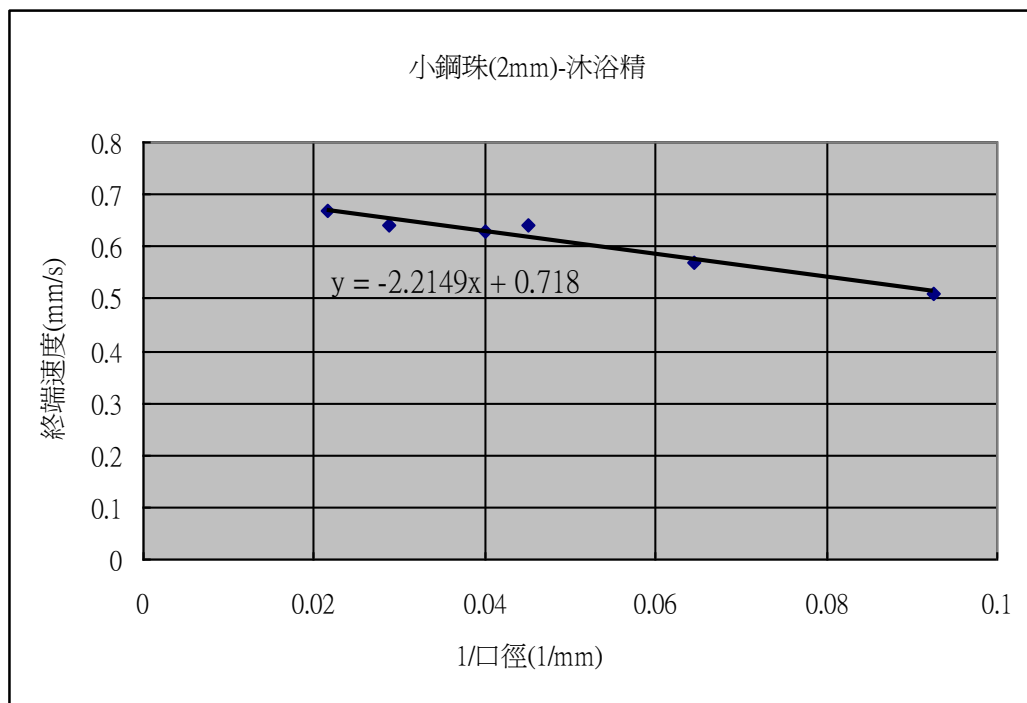


(二) 沐浴精

1. 直徑 2mm 小鋼珠在沐浴精落下的終端速度(溫度 15°C)

1/口徑(1/mm)	0.0215	0.0288	0.0401	0.0452	0.0645	0.0926
終端速度(mm/s)	0.67	0.64	0.63	0.64	0.57	0.51

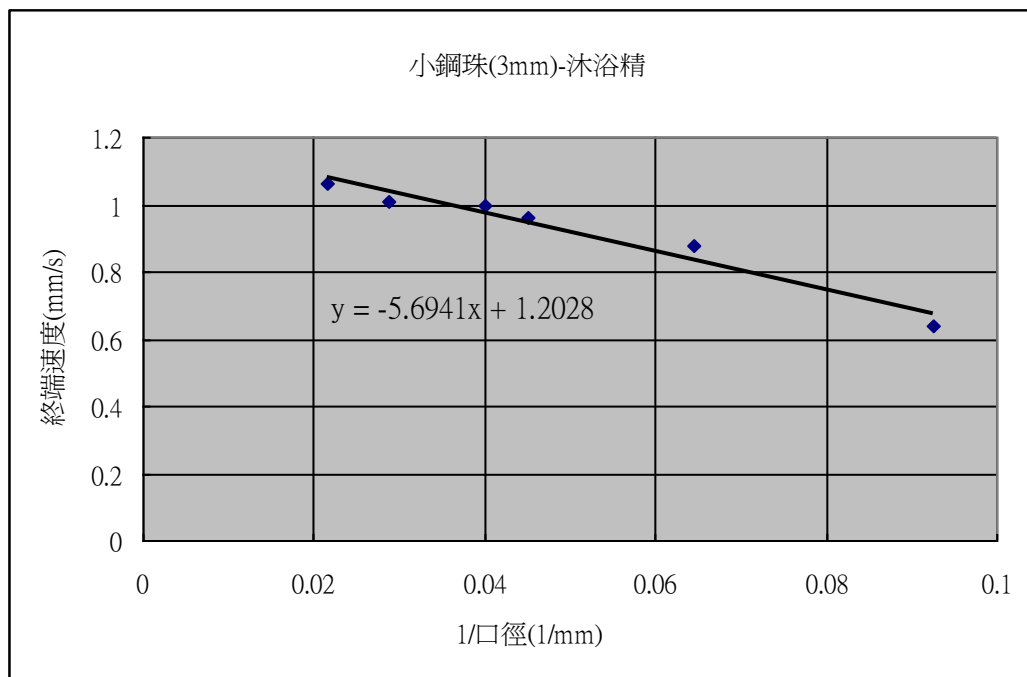
=> 量筒口徑趨近無限大時，小球的終端速度=0.72 mm/s



2. 直徑 3mm 小鋼珠在沐浴精落下的終端速度(溫度 13°C)

1/口徑(1/mm)	0.0215	0.0288	0.0401	0.0452	0.0645	0.0926
終端速度(mm/s)	1.06	1.01	1.00	0.96	0.88	0.64

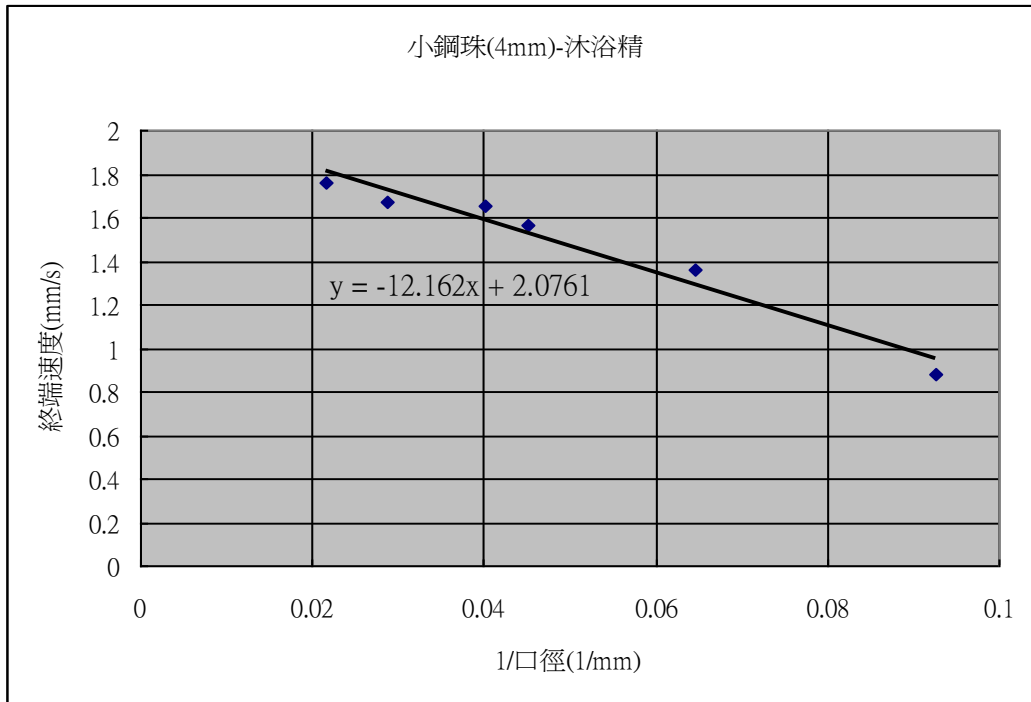
=> 量筒口徑趨近無限大時，小球的終端速度=1.20 mm/s



3.直徑 4mm 小鋼珠在沐浴精落下的終端速度(溫度 13°C)

1/口徑(1/mm)	0.0215	0.0288	0.0401	0.0452	0.0645	0.0926
終端速度(mm/s)	1.76	1.71	1.65	1.57	1.36	0.89

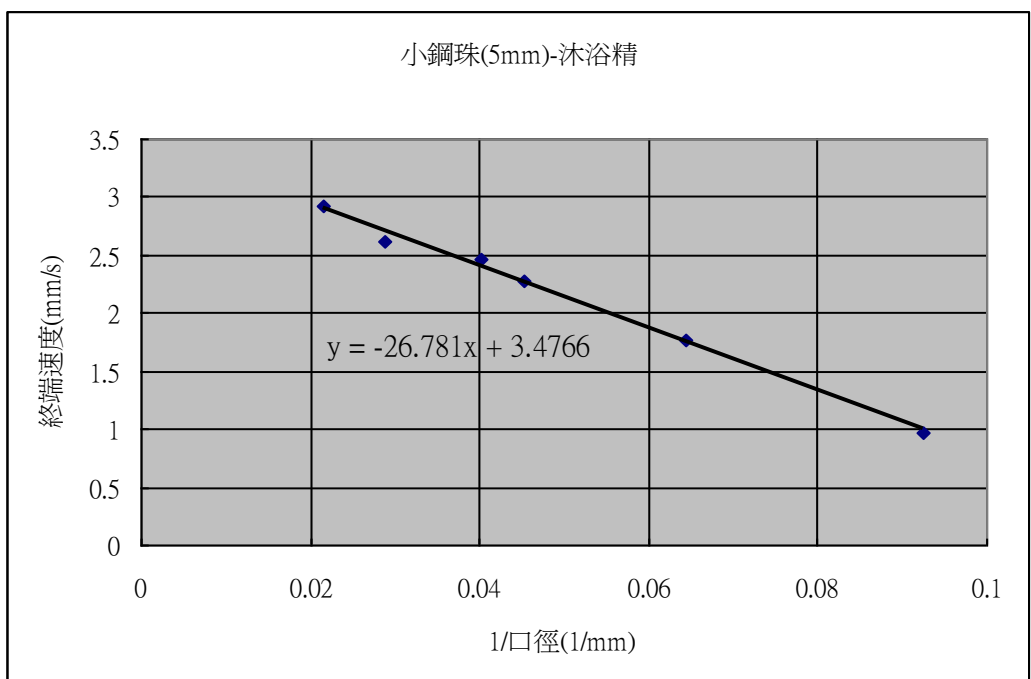
=> 量筒口徑趨近無限大時，小球的終端速度=2.08 mm/s



4.直徑 5mm 小鋼珠在沐浴精落下的終端速度(溫度 13°C)

1/口徑(1/mm)	0.0215	0.0288	0.0401	0.0452	0.0645	0.0926
終端速度(mm/s)	2.92	2.61	2.46	2.28	1.77	0.97

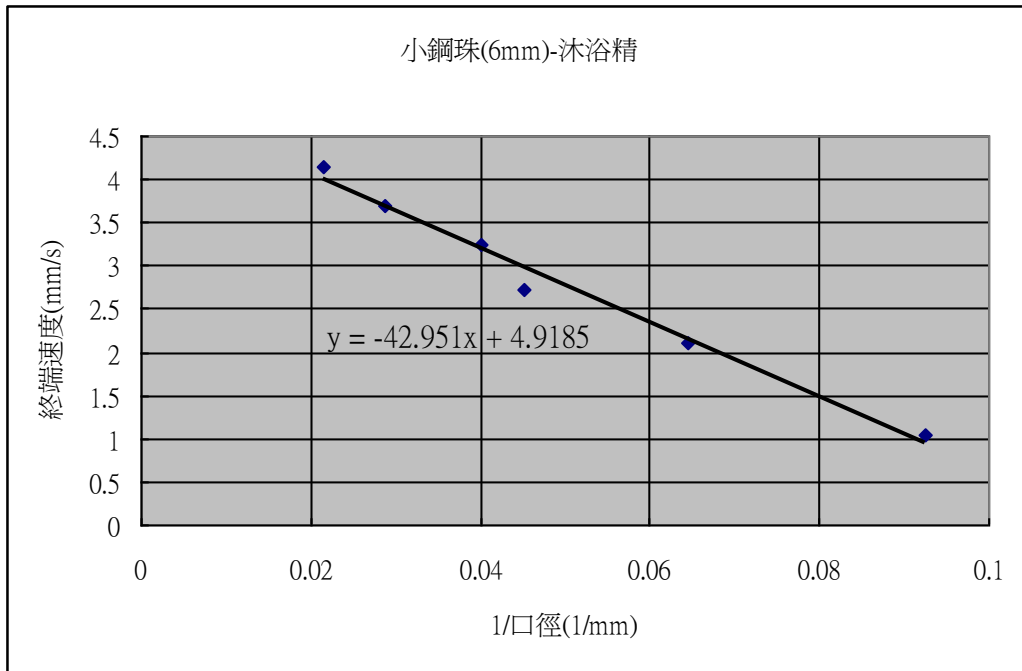
=> 量筒口徑趨近無限大時，小球的終端速度=3.48mm/s



5.直徑 6mm 小鋼珠在沐浴精落下的終端速度(溫度 13°C)

1/口徑(1/mm)	0.0215	0.0288	0.0401	0.0452	0.0645	0.0926
終端速度(mm/s)	2.92	2.61	2.46	2.28	1.82	0.98

=> 量筒口徑趨近無限大時，小球的終端速度=4.92 mm/s

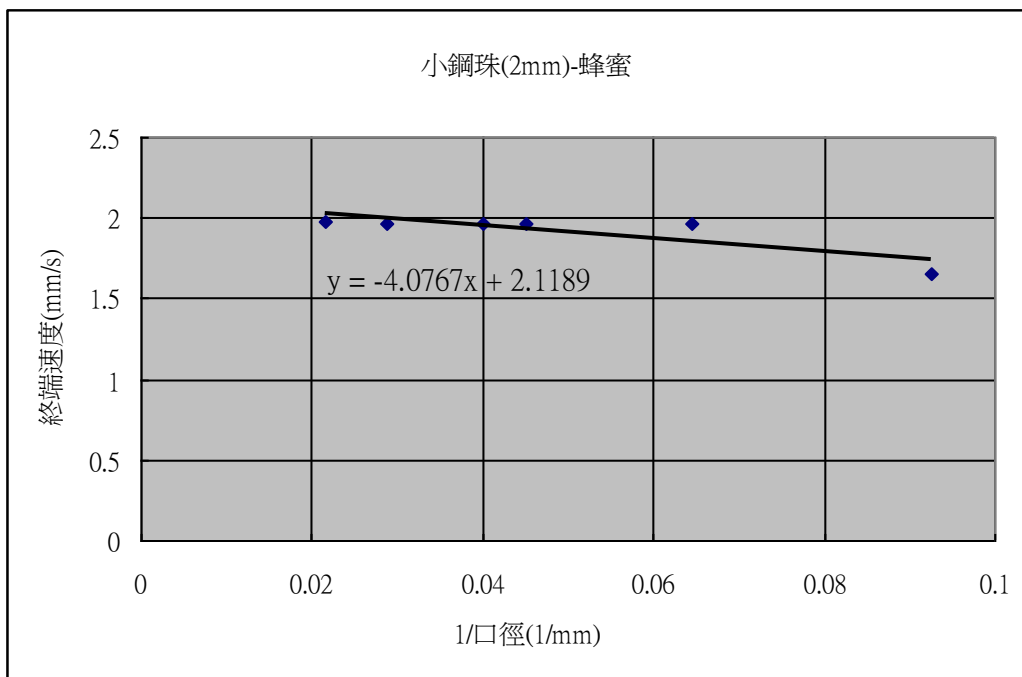


(三) 蜂蜜

1.直徑 2mm 小鋼珠在蜂蜜中落下的終端速度(溫度 23°C)

1/口徑(1/mm)	0.0215	0.0288	0.0401	0.0452	0.0645	0.0926
終端速度(mm/s)	1.98	1.97	1.97	1.97	1.97	1.66

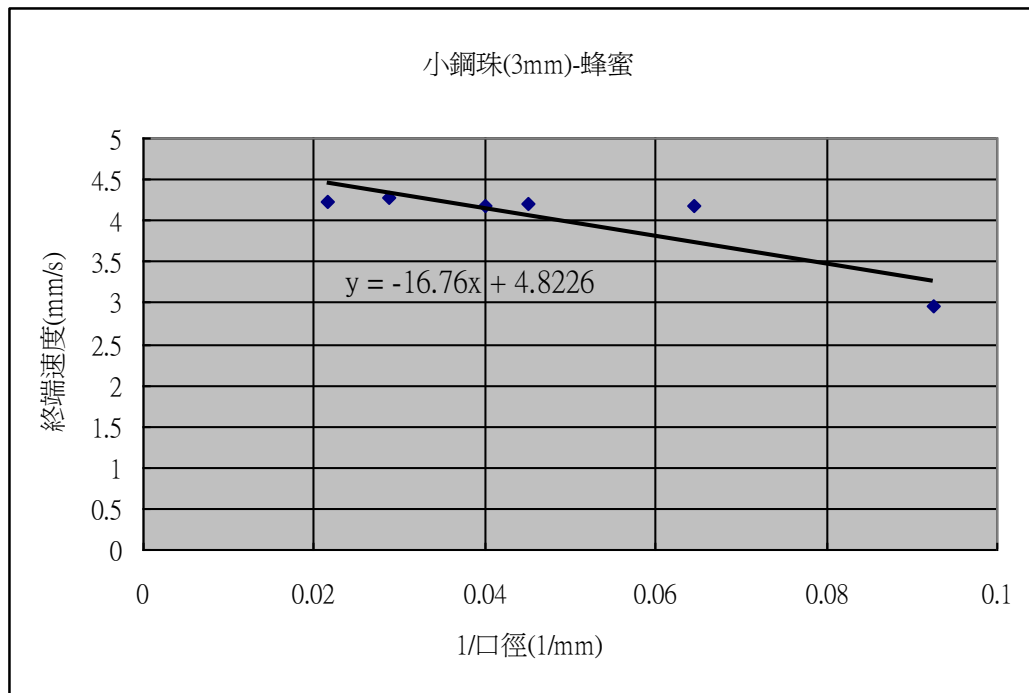
=> 量筒口徑趨近無限大時，小球的終端速度=2.12 mm/s



2.直徑 3mm 小鋼珠在蜂蜜中落下的終端速度(溫度 23°C)

1/口徑(1/mm)	0.0215	0.0288	0.0401	0.0452	0.0645	0.0926
終端速度(mm/s)	4.24	4.27	4.18	4.20	4.18	2.96

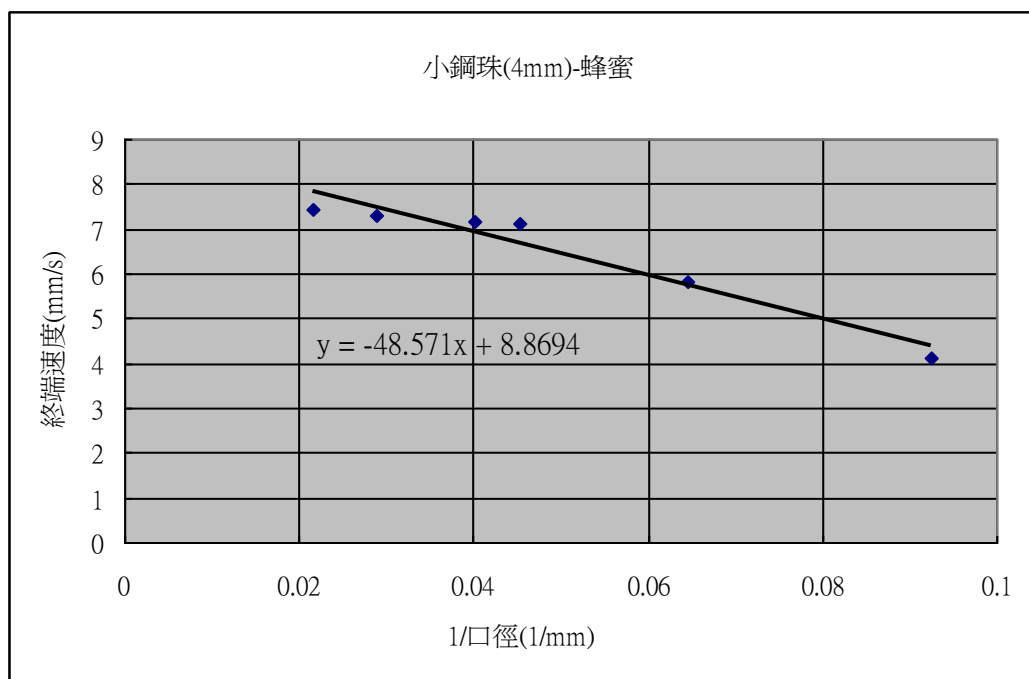
=> 量筒口徑趨近無限大時，小球的終端速度=4.82mm/s



3.直徑 4mm 小鋼珠在蜂蜜中落下的終端速度(溫度 23°C)

1/口徑(1/mm)	0.0215	0.0288	0.0401	0.0452	0.0645	0.0926
終端速度(mm/s)	7.43	7.32	7.18	7.14	5.81	4.12

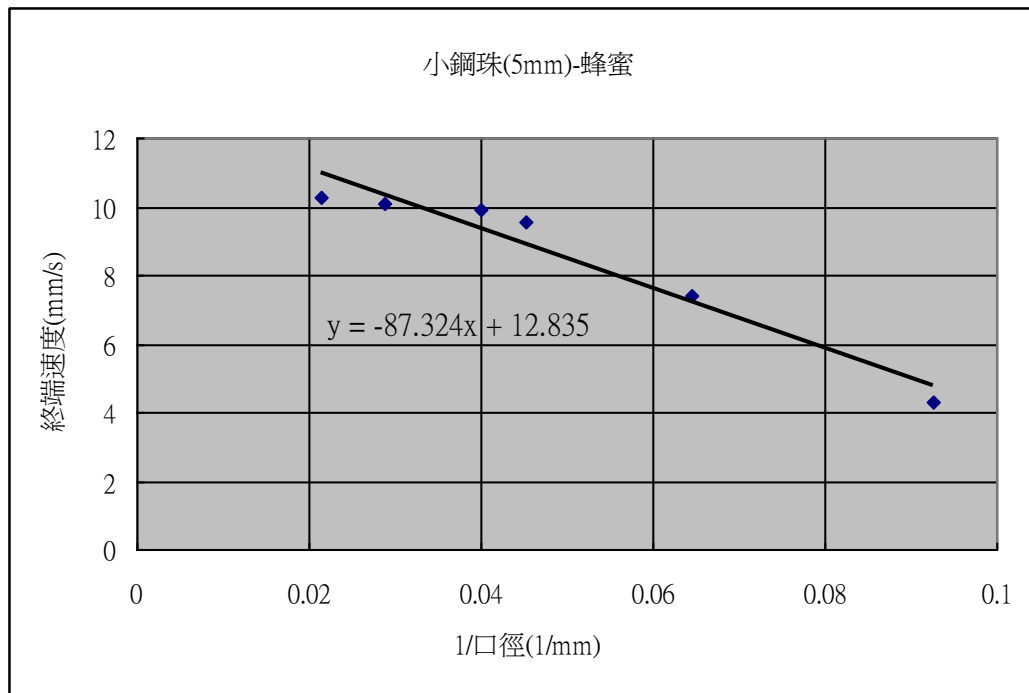
=> 量筒口徑趨近無限大時，小球的終端速度=8.87 mm/s



4.直徑 5mm 小鋼珠在蜂蜜中落下的終端速度(溫度 23°C)

1/口徑(1/mm)	0.0215	0.0288	0.0401	0.0452	0.0645	0.0926
終端速度(mm/s)	10.24	10.07	9.90	9.55	7.41	4.28

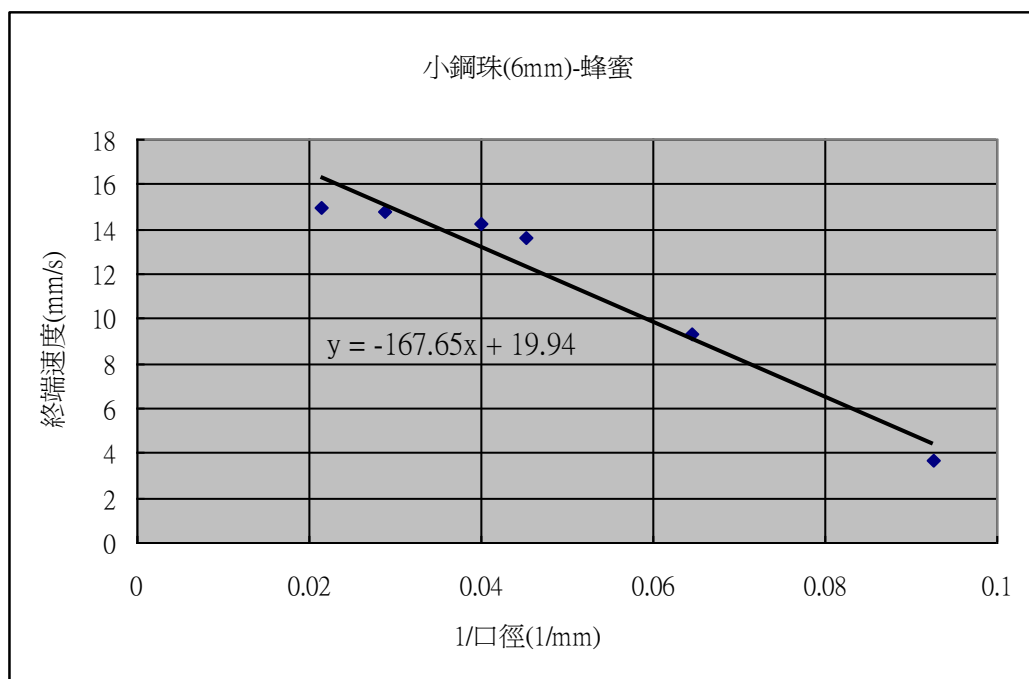
=> 量筒口徑趨近無限大時，小球的終端速度=12.84mm/s



5.直徑 6mm 小鋼珠在蜂蜜中落下的終端速度(溫度 23°C)

1/口徑(1/mm)	0.0215	0.0288	0.0401	0.0452	0.0645	0.0926
終端速度(mm/s)	15.00	14.78	14.22	13.57	9.35	3.65

=> 量筒口徑趨近無限大時，小球的終端速度=19.94mm/s

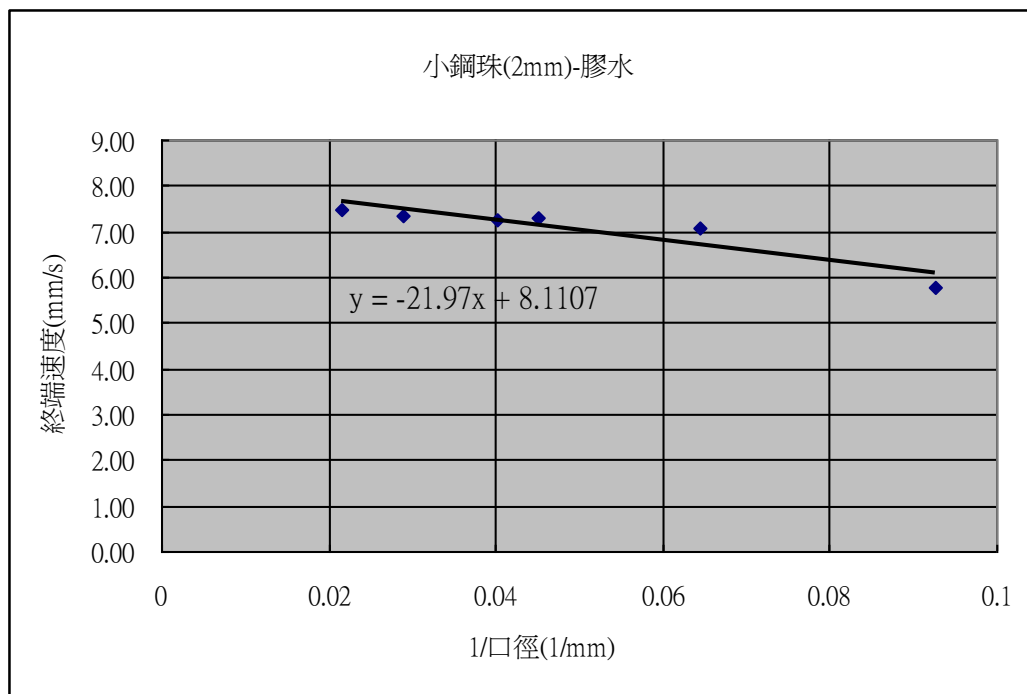


(四) 膠水

1.直徑 2mm 小鋼珠在膠水中落下的終端速度(溫度 23°C)

1/口徑(1/mm)	0.0215	0.0288	0.0401	0.0452	0.0645	0.0926
終端速度(mm/s)	7.46	7.33	7.26	7.30	7.09	5.78

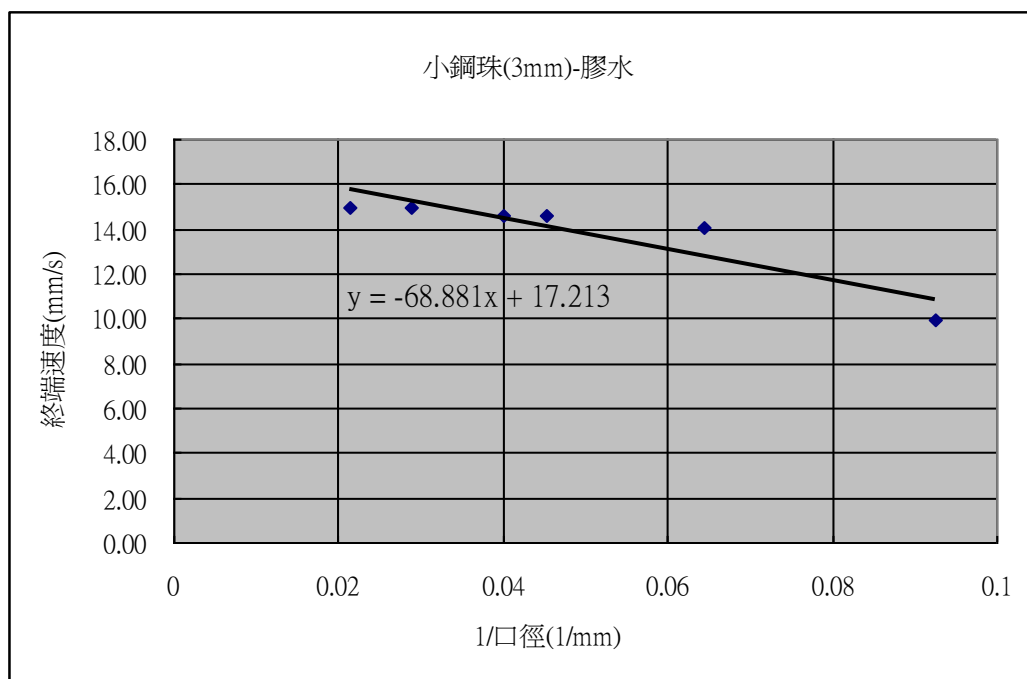
=> 量筒口徑趨近無限大時，小球的終端速度=8.11mm/s



2.直徑 3mm 小鋼珠在膠水中落下的終端速度(溫度 23°C)

1/口徑(1/mm)	0.0215	0.0288	0.0401	0.0452	0.0645	0.0926
終端速度(mm/s)	15	15	14.63	14.56	14.02	9.90

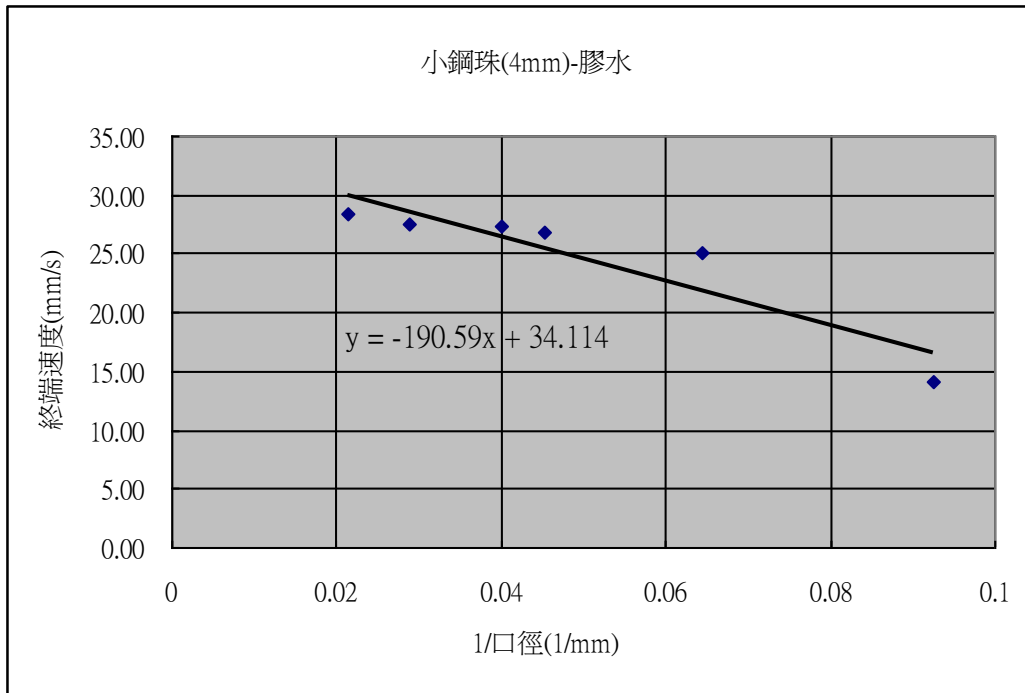
=> 量筒口徑趨近無限大時，小球的終端速度=17.21mm/s



3.直徑 4mm 小鋼珠在膠水中落下的終端速度(溫度 23°C)

1/口徑(1/mm)	0.0215	0.0288	0.0401	0.0452	0.0645	0.0926
終端速度(mm/s)	28.30	27.52	27.27	26.79	25.00	14.02

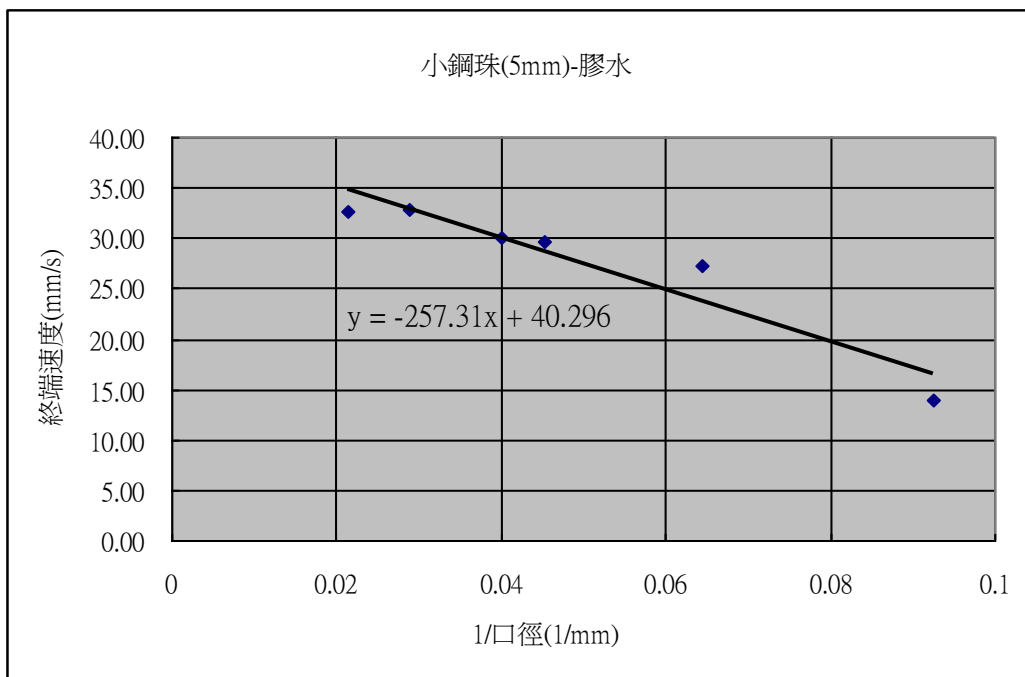
=> 量筒口徑趨近無限大時，小球的終端速度=34.11mm/s



4.直徑 5mm 小鋼珠在膠水中落下的終端速度(溫度 23°C)

1/口徑(1/mm)	0.0215	0.0288	0.0401	0.0452	0.0645	0.0926
終端速度(mm/s)	32.61	32.93	30.00	29.70	27.27	13.95

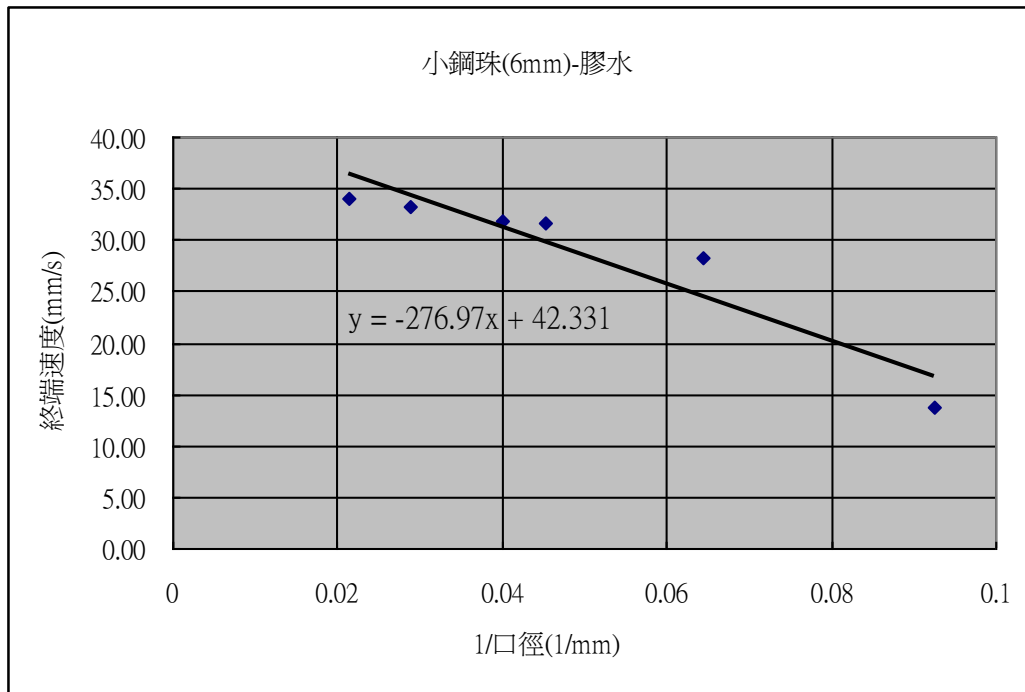
=> 量筒口徑趨近無限大時，小球的終端速度=40.30mm/s



5.直徑 6mm 小鋼珠在膠水中落下的終端速度(溫度 23°C)

1/口徑(1/mm)	0.0215	0.0288	0.0401	0.0452	0.0645	0.0926
終端速度(mm/s)	34.09	33.33	31.91	31.58	28.31	13.70

=> 量筒口徑趨近無限大時，小球的終端速度=42.33mm/s



(五) 同一量筒(500ml)不同液體溫度下，直徑 2mm 小鋼珠在各種不同液體中落下的終端速度

溫度(°C)	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
沐浴精(mm/s)	3.33	7.41	9.93	25.00	32.26
蜂蜜(mm/s)	5.77	9.29	9.52	23.44	31.58
膠水(mm/s)	13.33	13.64	14.42	14.93	24.39

五、50ml 液體流過玻璃漏斗的時間：

液體	沐浴精	蜂蜜	膠水
時間(秒)	449.9	145.8	111.0

六、液體鉛直流下，撞到擋板恰好可以開始旋轉的高度及週期：

液體	沐浴精	蜂蜜	膠水
高度(mm)	20	30	37
週期(秒)	0.90 ¹⁵ ~	0.33	0.17

陸、討論

一、自製實驗裝置，推算黏滯液體的黏度：

(一) 物理原理討論與分析：

根據我們的自然與生活科技 2 下課本的第 6 章「常見的力—力與平衡、萬有引力、摩擦力」、第 7 章「壓力與浮力」，以及 3 上課本的的第 1 章「直線運動」、第 2 章「力與運動—牛頓運動定律」等物理原理的學習與了解，讓我們能夠加以相關連結應用，分析出小球在黏滯液體中鉛直落下時受到的力量分別為小球的重力、浮力、及液體黏滯阻力，進一步分析為小球在黏滯液體中鉛直落下時，由於附著於球面的液層與周圍其他液層之間存在著相對運動，因此小球受到了液體的黏滯阻力，小球落下的速度越快，則受到液體的黏滯阻力就越大，直到作用在小球身上的所有力量達到平衡了，則小球就會固定速度（終端速度）作等速度運動，而此時測量小球的終端速度，我們就可以進一步推算出液體的黏度為何。

1. 小球的重力 mg m ：小球的質量 g ：重力加速度
2. 浮力 $\rho'gV = \rho'g(\frac{m}{\rho}) = (\frac{\rho'}{\rho})mg$ ρ ：球體密度 ρ' ：液體密度
3. 液體黏滯阻力 $f = 6\pi\eta rv$ ，上式稱為斯托克斯公式(Stokes' law)，為我們所尋找與諮詢的資料，其中 η 為液體的黏度(黏滯係數)； r 是小球半徑； v 是小球速度。

小球開始落下時，由於速度尚小，故液體的黏滯阻力還不大；但隨著下落速度的增大，液體的黏滯阻力也隨之增大。最後當小球在液體中達到終端速度(v_t)時，也就是驅使球體往下的重力、往上的浮力與往上的阻力三力達成平衡時，即

$$mg = (\frac{\rho'}{\rho})mg + 6\pi\eta rv_t$$

整理後

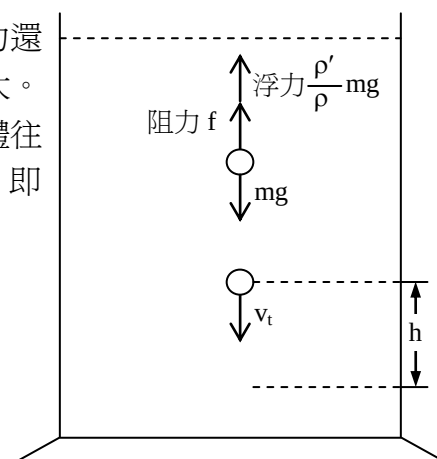
$$mg' = 6\pi\eta rv_t \quad g' = (1 - \frac{\rho'}{\rho})g \quad \dots\dots\dots (1)$$

由(1)式得知終端速度 v_t

$$v_t = \frac{mg'}{6\pi\eta r} = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g'}{6\pi\eta r} = \frac{2}{9\eta} \rho g' r^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

由(1)式得知液體的黏度 η

$$\eta = \frac{mg'}{6\pi r v_t} = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g'}{6\pi r v_t} = \frac{2\rho g' r^2}{9v_t} \quad \dots\dots\dots (3)$$



實驗裝置的簡圖

(二) 液體黏度的討論與推算：

1.沐浴精 液體黏度 $\eta = \frac{2\rho g'r^2}{9v_t}$

小鋼珠	r(mm)	ρ (g/cm ³)	ρ' (g/cm ³)	g' (m/s ²)	v_t (mm/s)	T (°C)	η (Pa·s)	黏度平均值
1	1	9.55	0.9	8.88	0.72	15	26.2	29.6
2	1.5	9.2	0.9	8.84	1.2	13	33.9	
3	2	8.06	0.9	8.71	2.08	13	30.0	
4	2.5	7.8	0.9	8.67	3.48	13	27.0	
5	3	7.78	0.9	8.67	4.92	13	27.4	

2.蜂蜜 液體黏度 $\eta = \frac{2\rho g'r^2}{9v_t}$

小鋼珠	r(mm)	ρ (g/cm ³)	ρ' (g/cm ³)	g' (m/s ²)	v_t (mm/s)	T (°C)	η (Pa·s)	黏度平均值
1	1	9.55	1.46	8.30	2.12	23	8.3	7.1
2	1.5	9.2	1.46	8.24	4.82	23	7.9	
3	2	8.06	1.46	8.02	8.87	23	6.5	
4	2.5	7.8	1.46	7.97	12.84	23	6.7	
5	3	7.78	1.46	7.96	19.94	23	6.2	

3.膠水 液體黏度 $\eta = \frac{2\rho g'r^2}{9v_t}$

小鋼珠	r(mm)	ρ (g/cm ³)	ρ' (g/cm ³)	g' (m/s ²)	v_t (mm/s)	T (°C)	η (Pa·s)	黏度平均值
1	1	9.55	0.97	8.80	8.11	23	2.3	2.4
2	1.5	9.2	0.97	8.77	17.21	23	2.3	
3	2	8.06	0.97	8.62	34.11	23	1.8	
4	2.5	7.8	0.97	8.58	40.30	23	2.3	
5	3	7.78	0.97	8.58	42.33	23	3.2	

二、設計實驗，探討液體黏度隨液體溫度的變化關係：

寒流改變液體溫度而影響了實驗結果，此一觸發使我們也設計研究方法，在測量液體黏度的實驗中，我們發現液體的黏度會隨溫度有很靈敏的變化，例如：在寒流來襲時，液體的黏性明顯變大。根據實驗數據，我們也建立了液體的黏度隨溫度變化的關係為何。

（一）液體黏度 η 隨液體溫度 T 變化的實驗數據：

1.沐浴精

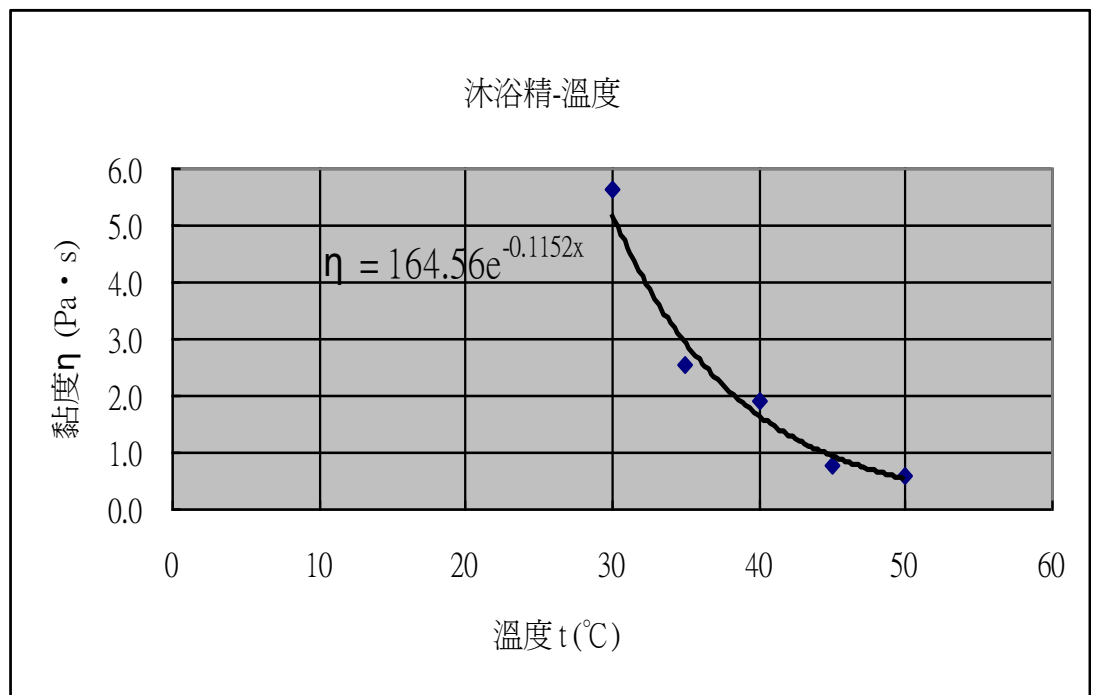
依據第 14 頁實驗數據：

同一量筒(500ml)不同液體溫度下，直徑 2mm 小鋼珠在沐浴精液體中落下的終端速度：

溫度(°C)	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
沐浴精(mm/s)	3.33	7.41	9.93	25.00	32.26

加以整理如下表，利用液體黏度 $\eta = \frac{2\rho g' r^2}{9v_t}$ ，可得不同液體溫度所對應之液體黏度為何。

小鋼珠	r(mm)	ρ (g/cm ³)	ρ' (g/cm ³)	g' (m/s ²)	v_t (mm/s)	T (°C)	η (Pa·s)
	1	8.06	0.9	8.71	3.33	30.0	5.7
	1	8.06	0.9	8.71	7.41	35.0	2.5
	1	8.06	0.9	8.71	9.93	40.0	1.9
	1	8.06	0.9	8.71	25.00	45.0	0.8
	1	8.06	0.9	8.71	32.26	50.0	0.6



2.蜂蜜

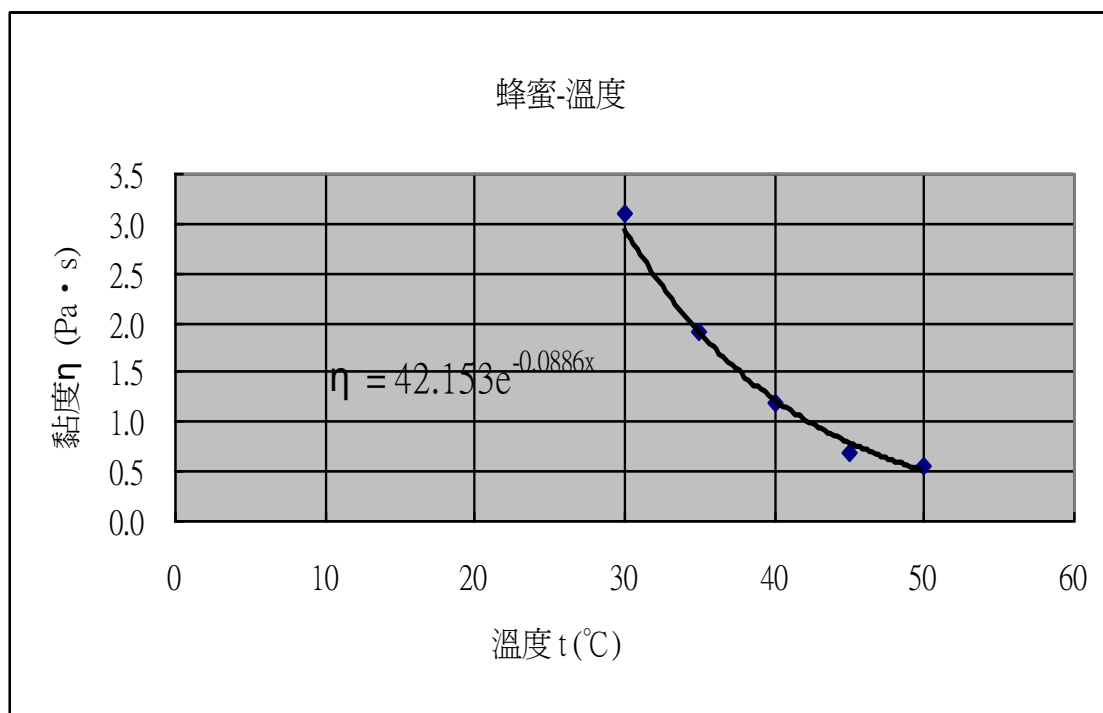
依據第 14 頁實驗數據：

同一量筒(500ml)不同液體溫度下，直徑 2mm 小鋼珠在蜂蜜液體中落下的終端速度：

溫度(°C)	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
蜂蜜(mm/s)	5.77	9.29	9.52	23.44	31.58

加以整理如下表，利用液體黏度 $\eta = \frac{2\rho g' r^2}{9v_t}$ ，可得不同液體溫度所對應之液體黏度為何。

小鋼珠	r(mm)	ρ (g/cm ³)	ρ' (g/cm ³)	g' (m/s ²)	v_t (mm/s)	T (°C)	η (Pa·s)
	1	8.06	1.46	8.02	5.77	30.0	3.1
	1	8.06	1.46	8.02	9.29	35.0	1.9
	1	8.06	1.46	8.02	9.52	40.0	1.2
	1	8.06	1.46	8.02	23.44	45.0	0.7
	1	8.06	1.46	8.02	31.58	50.0	0.6



3.膠水

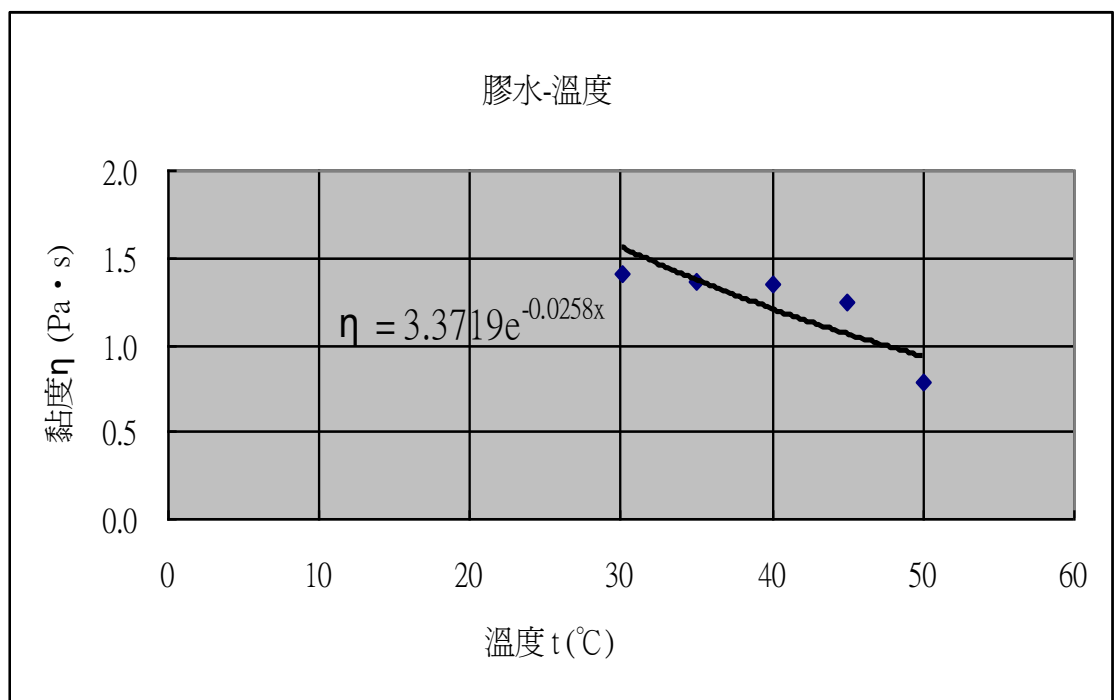
依據第 14 頁實驗數據：

同一量筒(500ml)不同液體溫度下，直徑 2mm 小鋼珠在膠水液體中落下的終端速度：

溫度(°C)	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
膠水(mm/s)	13.33	13.64	14.42	14.93	24.39

加以整理如下表，利用液體黏度 $\eta = \frac{2\rho g' r^2}{9v_t}$ ，可得不同液體溫度所對應之液體黏度為何。

小鋼珠	r(mm)	ρ (g/cm ³)	ρ' (g/cm ³)	g' (m/s ²)	v_t (mm/s)	T (°C)	η (Pa·s)
	1	8.06	0.97	8.62	13.33	30.0	1.4
	1	8.06	0.97	8.62	13.64	35.0	1.4
	1	8.06	0.97	8.62	14.42	40.0	1.3
	1	8.06	0.97	8.62	14.93	45.0	1.2
	1	8.06	0.97	8.62	24.39	50.0	0.8



(二) 討論與解釋：

1. 利用 Excell 找出實驗數據的最佳化數學趨近。發現沐浴精及蜂蜜的黏度與溫度的關係是指數方程式，分別為：沐浴精： $\eta = 164.56e^{-0.1152T}$ ，蜂蜜： $\eta = 42.153e^{-0.0886T}$ ，也就是說液體的溫度越高，則液體的黏度會越小。
2. 液體溫度越高液體的黏性會越小，這是因為液體分子在低溫時排列較為緊密，分子間的內聚力較大，此內聚力為液體黏性主要部分，當溫度升高時，內聚力變小，因此液體的黏性也隨之變小。
3. 從以上三個黏度與溫度的關係圖看出，膠水黏度與溫度的關係顯著不同於沐浴精及蜂蜜，經過反覆觀察與討論，分析其原因為：膠水在隔水加熱而溫度較高時，膠水中會充滿了大量小氣泡，當小鋼珠落下撞到氣泡時，下降速率會增快許多，因此我們無法準確地量出小鋼珠的終端速度，進而影響了膠水黏度之推算，由前述之實驗數據與關係圖即可得知。
4. 黏度越高的液體，例如：沐浴精，黏度隨溫度的改變也會越靈敏。

三、發揮創意，設計儀器及方法，並創立物理模型理論架構來解釋液體流過玻璃漏斗的時間與黏度之關係，建立預測液體黏度之有效方法與物理模式：

(一) 物理模型建立與分析：

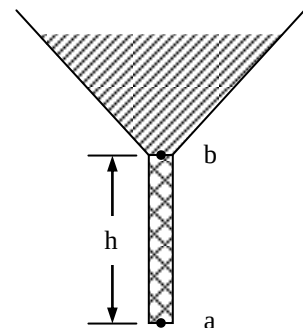
經由我們積極搜尋資料與諮詢學習，反覆探究及討論之後，對於我們所使用的黏性液體流過玻璃漏斗之物理模型，分析說明如下：

a、b 兩點之壓力差使液體從管口流出，
由白努利方程式

$$P_a + \frac{1}{2}\rho'v_a^2 + \rho'gh_a = P_b + \frac{1}{2}\rho'v_b^2 + \rho'gh_b \quad \cdots\cdots(4)$$

∵液體的黏度極大，所以 a、b 點液體流速緩慢 $v_a \approx v_b$ ，
管子上、下兩點壓力差

$$\Delta P = P_a - P_b = \rho'g(h_b - h_a) = \rho'gh \quad \cdots\cdots(5)$$



黏度 η 極大的液體流速緩慢，屬於穩定的層流狀態，假設流量與黏度是線性關係。

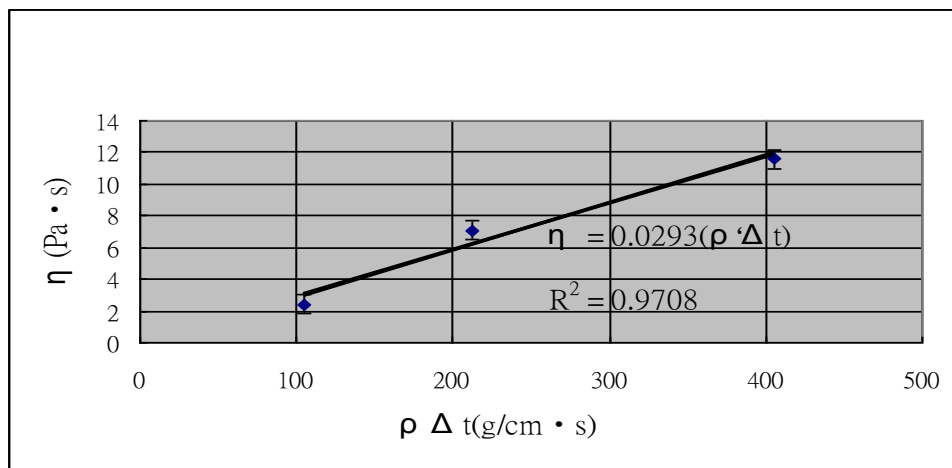
$$\text{即 流量} \propto \frac{\text{壓力差}}{\text{黏度}} \Rightarrow \frac{\Delta V}{\Delta t} \propto \frac{\Delta P}{\eta} \propto \frac{\rho'gh}{\eta} \propto \frac{\rho'}{\eta}$$

$$\text{當}\Delta V \text{ 固定時 } \eta \propto \rho'\Delta t \Rightarrow \eta = k\rho'\Delta t \quad k \text{ 為比例常數} \quad \cdots\cdots(6)$$

(二) 液體黏度的數值分析：

- 1.依據第 16 頁實驗數據，知道液體溫度 $T=23^{\circ}\text{C}$ 時，膠水平均黏度為 $2.4(\text{Pa}\cdot\text{s})$ ，而蜂蜜平均黏度為 $7.1(\text{Pa}\cdot\text{s})$ 。
- 2.我們沒有液體溫度 $T=23^{\circ}\text{C}$ 時，沐浴精的平均黏度實驗數據，故我們利用 17 頁沐浴精黏度與溫度的關係式 $\eta = 164.56e^{-0.1152T}$ ，找出 $T=23^{\circ}\text{C}$ ，沐浴精的黏度為 $11.6(\text{Pa}\cdot\text{s})$ 。
- 3.再依據第 14 頁各個液體流過漏斗的時間之實驗數據，畫出液體黏度 η 與液體密度乘上流過漏斗時間 $\rho'\Delta t$ 的關係式：

	膠水	蜂蜜	沐浴精
$\rho'\Delta t(\text{g}/\text{cm}^3\cdot\text{s})$	0.94×111	1.46×145.8	0.9×444.9
$\eta(\text{Pa}\cdot\text{s})$	2.4	7.1	11.6



- 4.從上面的圖形可得知實驗結果與我們所建立的物理模型理論模式相當吻合，誤差在 0.5 以內，可作為預測液體黏度之有效的研究方法與物理模型理論架構基礎，此亦為我們的重要創見。

四、研發出實驗裝置及方法，探討流體流下撞到障礙物而能開始旋轉的高度以及旋轉的週期分別與液體黏度的關係為何，並分析出其原因：

在實驗的過程中，我們倒出蜂蜜無意間發現，蜂蜜鉛直流下撞到燒杯底部竟然會旋轉不停，此現象引起我們莫大的好奇，因此，我們自製研發出實驗裝置與研究方法，讓液體流下並撞到擋板，調整擋板高度使流體開始旋轉，其結果歸納如下：

- (一) 液體黏度越大，擋板高度越低。
- (二) 液體黏度越大，旋轉週期越長。

針對以上之實驗結果，根據我們的自然與生活科技 3 上課本的的第 2 章「力與運動—牛頓運動定律、圓周運動」、第 3 章「功與能—功能轉換與能量守恆」等物理原理的學習與了解，讓我們能夠加以相關連結應用，討論與分析，並提出解釋為：若液體的黏度大，造成低的擋板高度即可使液體在低流速 v 時，也能產生足夠的黏滯力 $f(f = 6\pi\eta rv)$ 作為所需的向心力使流體旋轉。而又因為液體的黏度大，造成流體恰可旋轉的擋板高度低，液體掉下的高度短，位能釋放較少，速率較慢，流體旋轉也慢，故週期會變長。故在實驗中，我們也發現黏性太小的液體，例如：沙拉油是不會發生以上所說之旋轉現象。

柒、結論

針對我們當初的四大研究目的，我們得到的結論為：

研究目的一：自製實驗裝置，推算黏滯液體的黏度：

- 1.經由長時間不斷地改良器材設計與實驗方法，我們研究了多組內裝液體之不同口徑量筒中的下落小球終端速度之實驗，成功地以外插法求出量筒口徑趨近無限大時小球的終端速度為何，避免了量筒的邊界影響力，進一步成功地推算出液體的黏度(黏滯係數)為何。
- 2.把量得蜂蜜的黏度 $\eta = 7.1(\text{Pa} \cdot \text{s})$ 對照其他人的實驗數據 20°C ， $\eta = 6.5(\text{Pa} \cdot \text{s})$ ，相當接近，讓我們學到一個難得的經驗，即是利用數位攝影機、量筒、小鋼珠等一組簡易的裝置，也可以精確的測量出液體的終端速度及推算出液體的黏度。

研究目的二：設計實驗，探討液體黏度隨液體溫度的變化關係：

- 1.我們也特別設計了研究方法，逐一有計畫地改變了液體的溫度，從實驗數據歸納出了液體的黏度會隨溫度變化的情形為何，得知液體的溫度越高，則液體的黏度會越小。
- 2.由我們所設計的實驗研究亦得知的黏度越高的液體，例如：沐浴精，黏度隨溫度的改變也越靈敏。它反應了分子鍵結的方式與內聚的力量，於日常生活當中也有重要應用與影響，例如：寒帶汽車要選用低黏度的引擎機油、鋪成液晶螢幕時溫度須加以控制……等等。
- 3.研究發現膠水黏度與溫度的關係顯著不同於沐浴精及蜂蜜，經過反覆觀察與討論，分析其原因為：膠水在隔水加熱而溫度較高時，膠水中會充滿了大量小氣泡，當小鋼珠落下撞到氣泡時，下降速率會增快許多，因此我們無法準確地量出小鋼珠的終端速度，進而影響了膠水黏度之推算。

研究目的三：發揮創意，設計儀器及方法，並創立物理模型理論架構來解釋液體流過玻璃漏斗的時間與黏度之關係，建立預測液體黏度之有效方法與物理模式：

- 1.我們也發揮創意，設計儀器及方法，測量高黏滯性液體流過漏斗的時間，並建立了一套完整的物理科學模型與理論架構，以預測液體的黏度數值，而我們也發現了從我們實際的實驗結果與我們所建立的理論模式之黏度的預測趨勢是非常吻合的，誤差極小，可成功地作為預測液體黏度之有效的研究方法與物理模式理論架構基礎，而我們亦可依此可以測出液體之間相對黏度的特性，而可以自己製造出便利之液體黏度測量杯，應用於生活當中，此亦為我們的重要創見。

研究目的四：研發實驗方法，探討流體流下撞到障礙物而能開始旋轉的高度以及旋轉的週期分別與黏度的關係為何，並分析出其原因：

1. 我們也自製研發出了實驗裝置以測量液體之撞到障礙物而能開始旋轉的高度為何，以及其旋轉的週期為何，並歸納得到結果如下：

(1) 液體黏度越大，擋板高度越低。(2) 液體黏度越大，旋轉週期越長。

針對以上之實驗結果，我們也充分連結應用了課本自然課程之所學，提出了原因之解釋，說明於前頁之討論處，此一解釋也說明了黏性太小的液體，例如：沙拉油之所以難以發生以上所說之旋轉現象的原因為何。這樣的研究方法與研究結論，是我們查閱許多資料都沒有提及的，亦是我們獨創的科學研究方法與重要的一項新發現。

在此次如此認真投入且漫長的研究過程中，十分感謝老師與爸媽長時間日日夜夜的指導與支持陪伴，讓我們經歷了一次富有課本多處教材科學原理內涵的學習之旅，且又能運用創意研討出研究各個問題的實驗方法與器具設計，充分聯結與應用了課本多處教材之所學，探討與歸納出重要的科學性質為何，此次的研究除了能夠成功且有效地推得液體黏度為多少，並發現了許多與液體黏度相關的性質，亦研發分析創立了物理科學模型與理論架構，能加以預測不同液體的黏度為何，而可以廣泛應用於日常生活當中。參與此次的科學實驗研究活動，讓我們從實際的研究與討論中獲得了許多科學研究的知能，也體會學習到了團隊合作的重要性。回首過去這麼多日子以來，大家一起辛勤又認真投入的研究過程當中，一切自己親自去思考、設計、操作、討論及尋求各種問題的解決方法，實是充滿了科學研究的挑戰與研究的樂趣，而也由於大家晨昏與共的良好團隊合作精神，以及熱愛科學的不懈探究態度，讓我們能夠一起成功地在科學研究的快樂天堂裡遨翔前進、精進成長，得到了重要的研究結果，而每一次的相聚研究和討論都能讓我們對科學的學習有了新的認識與體會，對實驗的親臨操作更加熟悉，對科學的基礎知能也更加增加，而對科學的研究興趣又更是堅強旺盛了起來，一盞盞熱愛科學的燭火正在我們心中點燃明亮了起來，今後更要繼續承接著這充滿希望且真實美麗的科學研究光芒，繼續在科學知能探究的快樂殿堂裡認真學習、反省改進，將科學求真求實的最美精神傳承精進並發揚光大。感謝老師的熱忱指導，也感謝學校的全力支持，更感謝國家的用心鼓勵，我們將繼續在這科學探究的大道上繼續用心學習、用力邁進——「熱愛科學，永不止息」！

捌、參考資料及其他

- 一、林英智（主編）（2008）。國中自然與生活科技 第一冊。台北縣：康軒文教。
- 二、林英智（主編）（2008）。國中自然與生活科技 第三冊。台北縣：康軒文教。
- 三、林英智（主編）（2008）。國中自然與生活科技 第四冊。台北縣：康軒文教。
- 四、林英智（主編）（2008）。國中自然與生活科技 第五冊。台北縣：康軒文教。
- 五、林明瑞（主編）（2008）。高級中學物質科學物理篇（下）。台南市：南一書局。
- 六、盧衍祺（2001）。流體力學。台北市：國立編譯館。
- 七、邱士純、李欣芮、張成慧、廖珮如(2004)。終端速度。2008年1月2日，取自
<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/44/E/040112.pdf>
- 八、蔡孟真、曾之寧（2005）。垂涎欲滴-看黏滯性與表面張力。2008年1月6日，取自
<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/45/senior/0401/040113.pdf>
- 九、Stokes' law. (2007, October 27) Retrieved January 6, 2008, from
http://en.wikipedia.org/wiki/Stokes%27_law
- 十、Scott A. S. & Jeremy R. H. (2002) . *Fluid Mechanics: Stokes' Law and Viscosity*. Retrieved January 8, 2008, from Kentucky University Web site:
<http://www.engr.uky.edu/~egr101/ml/ML3.pdf>

【評語】 031604

1. 本作品討論各種液體黏滯性質，並能自行架設儀器能預測液體的黏度數值，相當具有應用價值。
2. 發現高黏滯性液體流下撞到障礙物有旋轉現象，值得更進一步的研究，如此作品將可更完整。
3. 作品完整性佳，相當難得。