

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 物理科

探究精神獎

030120

Velocity V.S Sticky

—探討速度和黏滯性的關係

學校名稱：桃園市立平興國民中學

作者： 國二 謝御軒	指導老師： 鍾沅蓁
---------------	--------------

關鍵詞：液體黏滯性、加速度、阻力

摘要

生活中會使用各式各樣不同的黏滯性的液體。黏滯性不同，造成物體掉落時的阻力也不同。本研究利用自製斜坡和自由落體模擬器裝置產生不同的初速，使鋼珠滾入和垂直掉入裝載不同黏滯性液體的量筒中，探究其阻力與黏滯係數變化差異。實驗結果顯示，膠水黏滯性最大，鋼珠進入膠水過程中速度變化量亦最大，而不同溫度的水，對鋼珠在滾動時並無顯著影響，而當鋼珠滾動進入液體中時，帶動不同黏滯性液體運動，使得其阻力產生振盪的有趣現象，且其黏滯係數在球產生滾動時，呈現震盪變化。而當球自由落下時，球不滾動，黏滯係數將維持較穩定的數值。

壹、 研究動機

小的時候常常好奇奶奶在倒茶時因為動作太快而導致茶從杯內濺出，煮飯時倒入鍋內的油卻沒這容易濺出，後來才知道原來是"黏滯性"的關係。上了國二我們開始接觸物理，在一次整理實驗室的時後發現了一組有趣的機器，去問了老師之後發現它是一組有關力的測量工具，其中我最感興趣的就是光電計時器，於是我上網查了功能，才知道它原來可以用來計時。將它配合我一直很想探討的黏滯性，設計這個實驗。後來在某次的游泳活動中，發現有同學在水中滾動，也有同學是直接落入水中，看起來運動狀況不太相同，於是我便思索小球滾動與否，是否將影響其黏滯性，因此設計了一系列有趣的實驗研究小球的運動速度與黏滯性的關係。

貳、 研究目的

- 一、運用光電計時器，探討鋼珠由斜面滑下，掉入不同黏滯性的液體中所需的時間。
- 二、運用錄影，探討鋼珠由斜面滑下，掉入不同黏滯性的液體中所需的時間。
- 三、運用光電計時器，探討鋼珠由自由落體模擬器落下，掉入不同黏滯性的液體中所需的時間。
- 四、運用錄影，探討鋼珠由自由落體模擬器落下，掉入不同黏滯性的液體中所需的時間。
- 五、運用光電計時器，探討鋼珠由斜面滑下，掉入不同溫度水中所需的時間。
- 六、運用錄影，探討鋼珠由斜面滑下，掉入不同溫度水中所需的時間。

七、運用光電計時器，探討鋼珠由自由落體模擬器落下，掉入不同溫度水中所需的時間。

八、運用錄影，探討鋼珠由自由落體模擬器落下，掉入不同溫度水中所需的時間。

九、運用錄影，探討鋼珠由斜面滑下，掉入不同濃度的大豆沙拉油中所需的時間。

十、運用錄影，探討鋼珠由自由落體模擬器落下，掉入不同濃度大豆沙拉油中所需的時間。

參、 研究設備及器材

一、實驗材料

自來水、100%大豆沙拉油、膠水、沐浴乳、冰塊

二、實驗器具

光電計時器 1 組(圖 3.1)、量筒 2 個(100 ml)、自製固定器 2 組(圖 3.2)、自製斜坡(圖 3.3) 鐵製底座 1 組(圖 3.4)、直徑 1.910cm，質量 28.14g 鋼珠 2 顆(圖 3.5)、光源 1 組(圖 3.6)、陶瓷攪拌加熱器 1 台(圖 3.7)自製量筒固定器(自由落體用)(圖 3.8)、自由落體模擬器(電磁鐵)(圖 3.9)。



圖 3.1：光電計時器

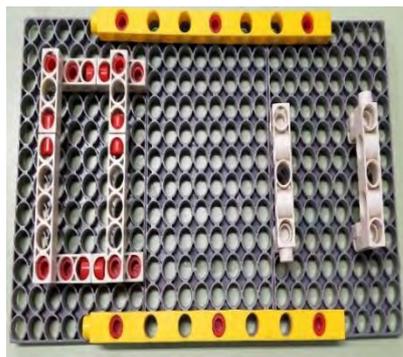


圖 3.2：自製固定器



圖 3.3：自製斜坡



圖 3.4:鐵製底座



圖 3.5:鋼珠



圖 3.6:光源



圖 3.7:陶瓷加熱攪拌器

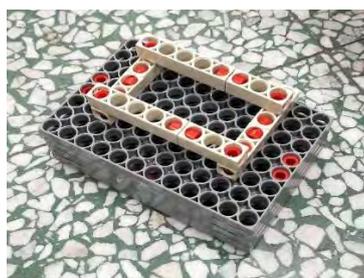


圖 3.8：自製量筒固定器



圖 3.9：自由落體模擬器

肆、 研究過程或方法

圖 4.1 為研究流程分析圖，將實驗分成兩大組，因為測量鋼珠落下的初速不同，分別是斜坡組和自由落體組。而在兩大組中又個別細分成錄影組和光電計時器組。但是因為油水混合物是混濁的，所以只使用錄影的方式，錄影的同時，我們會在量筒斜後方架設光源，以清楚的辨識鋼珠的所在位置。

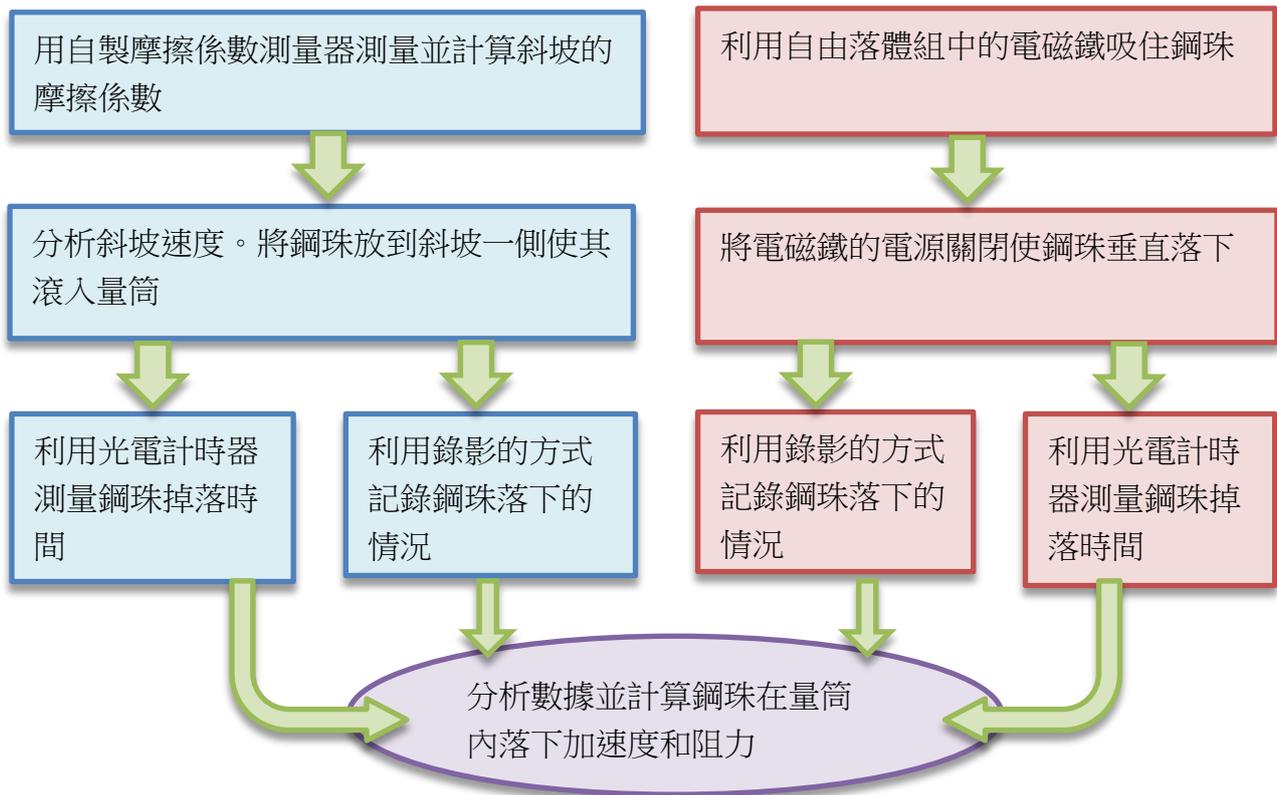


圖 4.1 研究流程分析圖

一、歷屆科展比較

	第 56 屆全國科展	第 49 屆全國科展	第 48 屆全國科展
名稱	"黏"綿不絕—液體黏滯性對物質沉降影響探討	自製漂浮法實驗裝置探討液體介面與黏滯力之關係	「如膠似漆乎」—液體的黏滯性之研究
實驗	探討不同黏滯性的溶液對於氣泡上升中的速率、軌跡和氣泡體積影響	設計簡易的黏滯字數測量方法並探討儀器中轉盤的角速度對時間的變化、不同液高和溫度對水的黏滯力的關係	以外插法求量筒口徑趨近無限大時球的終端速度。用自製研發實驗裝置測量液體旋轉之高度、週期並與黏度進行比較與討論。
差異	本實驗裝置與上列實驗完全不相同，且我們是探討不同黏滯性的液體對垂直或滾動落下的鋼珠造成的阻力變化與其落下所需時間的影響。		

二、資料蒐集

(一) 膠水：依成分不同可分為二種：

(1). 聚乙烯醇 (PVA)、水、防腐劑。(2). 樹脂和水。(3). 聚乙烯醇 (PVA)、水、硼砂。

(二) 大豆油 (英語: Soybean oil) 又稱豆油、常見者多為大豆沙拉油，是從大豆中提取的植物油脂，日常食用油。

三、實驗說明

(一) 自製摩擦係數測量器測量並計算斜坡的摩擦係數

1. 利用鐵架、紙板、量角器和自製斜坡組成摩擦係數測量器，如圖 4.2

2. 目的是為了測量斜坡的摩擦係數。



(二) 架設斜坡裝置利用光電計時器測量鋼珠掉落時間

圖 4.2: 摩擦係數測量器

1. 這裡使用光電計時器、固定器、斜坡、鐵製底座和塑膠量筒組成，如圖 4.3

2. 取兩個光電閘的間距 15 cm。

3. 利用固定器固定斜坡和量筒的距離



圖 4.3: 利用光電計時器和斜坡測量鋼珠掉落時間

(三) 水的溫度調整

1. 利用陶瓷加熱攪拌器加熱自來水，分別到 50°C、40°C、30°C。
2. 利用冰塊將水分別降溫至 20°C、10°C。

(四) 利用錄影的方式記錄鋼珠在油水混合液落下的情況

1. 調配不同濃度的大豆沙拉油

濃度(%)	10	20	30	40	50
自來水(ml)	180	160	140	120	100
大豆沙拉油(ml)	20	40	60	80	100
沐浴乳(ml)	10	10	10	10	10

2. 將光源放置在量筒的斜角，並架設手機錄影(與桌子垂直)
3. 利用 Movavi Video Editor 14(影片剪輯程式)找到固定時段的用時

(五) 架設自由落體模擬器利用光電計時器測量鋼珠掉落時間

1. 這裡由光電計時器、量筒固定器、自由落體模擬器、鐵製底座和塑膠量筒組成，如圖 4.4
2. 兩個光電閘的間距剛好為 15 cm
3. 利用固定器固定斜坡和量筒的距離



圖 4.4：利用光電計時器和自由落體模擬器測量鋼珠掉落時間

四、實驗操作

實驗材料分為：基本組：水、空氣、油、膠水。

溫度組：10°C、20°C、30°C、40°C、50°C、70°C、90°C。

油水混合組：10%、20%、30%、40%、50%

(一)用自製摩擦係數測量器測量並計算斜坡的摩擦係數

- 1.運用方型鐵塊進行摩擦係數測量。
- 2.將鐵塊放置於斜坡一端，將斜坡慢慢抬升，直到鐵塊下滑那瞬間停下，並記錄角度。
- 3.代入公式(公式一)算出摩擦係數(m：質量、g：重力、 μ ：摩擦係數、N：正向力)

$$mg\sin\theta = \mu N = mg\cos\theta \quad (\text{公式一})$$

(二) 算出斜坡速度

- 1.代入公式(公式二)算出動摩擦係數 μ ： $f = \mu N$ (公式二)
- 2.算出動摩擦力 f 後代入公式(公式三)算出合力 F： $F = mg\sin\theta - mg\cos\theta$ (公式三)
- 3.接著要代入公式(公式四)算出斜坡的加速度： $F = ma$ (公式四)
- 4.最後將 a 代入公式(公式五)算出斜坡末速： $V^2 = V_0^2 + 2aS$ (公式五)

(三) 利用光電計時器測量鋼珠掉落時間

- 1.先將光電計時器的功能調到「間距」這個功能
- 2.將球放到斜坡一側，接著放手讓它往下滑 如圖 4.5。
- 3.記錄鋼珠掉落於 A、B 感應器之間的時間與鋼珠對 A、B 感應器的遮光時間。如圖 4.6 所示。



圖 4.5：鋼珠下滑示意圖



圖 4.6：儀器數據示意圖

- 4.每一組中的不同變因一律都測量五次取平均值
- 5.將鋼珠對 A 感應器的遮光時間除以鋼珠的直徑 1.9cm(公式六)算出鋼珠在量筒的初速，而末速則是將鋼珠對 B 感應器的遮光時間除以鋼珠的直徑 1.9cm(公式七)。

最後將末速減初速除以總用時(公式八)也就是鋼珠掉落於 A、B 感應器之間的時間就可以算出其加速度。

$$\frac{0.019}{t_A} \text{ (m/s) (公式六)}$$

$$\frac{0.019}{t_B} \text{ (m/s) (公式七)}$$

$$a = \frac{V_t - V_0}{t} \text{ (m/s}^2\text{) (公式八)}$$

(四) 利用錄影的方式記錄鋼珠落下的情況

- 1.將實驗器具架設完成，按下開始鍵開始錄影
- 2.將球放到斜坡一側，放手讓它往下滑/ 將自由落體模擬器(電磁鐵)的電源切掉，使鋼珠落下。
- 4.錄完後將影片放到 Movavi Video Editor 14 進行觀察，並記錄每個時段鋼珠掉落的距離與時間。
- 5.計算每段距離鋼珠掉落的速率
- 6.分析距離：將鋼珠在固定時間掉落的距離前後相加除以二(公式九)，也就是說如果有 10 段距離則分析距離就有九段。

$$\frac{S_1 + S_2}{2} \text{ (公式九)}$$

- 7.分析時間(位置)：將鋼珠掉落的固定時段前後相加除以二(公式十)，也就是說如果有 10 個時段則分析時間就有九個時段

$$\frac{t_1 + t_2}{2} \text{ (公式十)}$$

- 8.將每段距離鋼珠掉落的速率前後相加除以其相對的分析時間就可以得到加速度

9.最後算出阻力：f=阻力、w=鋼珠質量×重力、B=浮力 (鋼珠體積×液體密度)、

m=鋼珠質量、a=加速度。(公式十一)

$$f = w - B - ma \text{ (公式十一)}$$

伍、 研究結果

一、 架設斜坡裝置，以光電計時器測量鋼珠掉落時間

(一) 表 5.1 鋼珠在不同液體中落下的用時、平均用時，在 A、B 感應器遮光時間，A、B 感應器的平均遮光時間，A、B 感應器的平均速率與平均加速度關係表，由表可知：黏滯性：膠水 >大豆沙拉油 > 水 >空氣；用時：膠水 > 大豆沙拉油 > 水 > 空氣。而表中之加速度：空氣>水>大豆沙拉油>膠水，且加速度為負時，代表合力 F 向上；加速度為正時，代表合力 F 向下。

表 5.1：鋼珠在不同物質中落下的情形 (光電計時器、斜坡)。

代測物	空氣	水	大豆沙拉油	膠水
用時(s)	0.1000	0.2308	0.3022	10.5185
	0.1006	0.2316	0.3053	10.5260
	0.1009	0.2396	0.3089	10.5500
	0.1011	0.2427	0.3171	10.6542
	0.1017	0.2463	0.3314	10.6993
平均用時(s)	0.1009	0.2382	0.3130	10.5896
鋼珠在 B 感應器遮光時間(s)	0.0100	0.0254	0.0361	1.6042
	0.0103	0.0258	0.0376	1.6730
	0.0104	0.0248	0.3440	1.7050
	0.0105	0.2130	0.0385	1.7471
	0.0108	0.0287	0.0407	1.4946
鋼珠在 B 感應器的平均遮光時間(s)	0.0104	0.0252	0.0375	1.6448
鋼珠在 B 感應器的平均速率(m/s)	1.8269	0.7540	0.5072	0.0116
鋼珠在 A 感應器遮光時間(s)	0.0158	0.0386	0.0846	0.4419
	0.0157	0.0406	0.0443	0.7959
	0.0162	0.0846	0.0189	1.1485
	0.0161	0.0204	0.0485	0.8532
	0.0165	0.0837	0.0109	0.8531
鋼珠在 A 感應器的平均遮光時間(s)	0.0161	0.0536	0.0414	0.8185
鋼珠在 A 感應器的平均速率(m/s)	1.1831	0.3546	0.4585	0.0232
平均加速度(m/s ²)	6.3837	1.6766	0.1556	-0.0011

(二) 表 5.2 為鋼珠在不同溫度的水中落下的用時、平均用時，在 A、B 感應器遮光時間，A、B 感應器的平均遮光時間，A、B 感應器的平均速率與平均加速度關係表，由表可知：加速度為負，合力 F 向上；加速度為正，合力 F 向下。推測可能是鋼珠

滾動，造成液體局部流動，因此需要更長得掉落距離或更明顯的溫度差距才有顯著的效果。

表 5.2：鋼珠在不同溫度水中落下的情形(光電計時器、斜坡)

溫度(°C)	50	40	30	20	10
用時(s)	0.1713	0.1833	0.2225	0.2399	0.1928
	0.1793	0.1837	0.2313	0.2476	0.1931
	0.1817	0.2223	0.2323	0.2490	0.1987
	0.1897	0.2225	0.2325	0.2533	0.2022
	0.2115	0.2299	0.2465	0.2597	0.2135
平均用時(s)	0.1867	0.2069	0.2330	0.2499	0.2001
鋼珠在 B 感應器遮光時間(s)	0.0256	0.0266	0.0262	0.0249	0.0214
	0.0246	0.0268	0.0256	0.0238	0.0265
	0.0140	0.0261	0.0261	0.0245	0.0243
	0.0248	0.0262	0.0262	0.0266	0.0361
	0.0257	0.0249	0.0282	0.0256	0.0267
鋼珠在 B 感應器的平均遮光時間(s)	0.0229	0.0261	0.0265	0.0251	0.0270
鋼珠在 B 感應器的平均速率(m/s)	0.8282	0.7274	0.7181	0.7576	0.7037
鋼珠在 A 感應器遮光時間(s)	0.0126	0.0105	0.0323	0.0354	0.0325
	0.0140	0.0250	0.0686	0.0490	0.0166
	0.0578	0.0322	0.0667	0.0354	0.0341
	0.0222	0.0342	0.0391	0.0416	0.0254
	0.0126	0.0063	0.0537	0.0423	0.0243
鋼珠在 A 感應器的平均遮光時間(s)	0.0238	0.0216	0.0521	0.0407	0.0266
鋼珠在 A 感應器的平均速率(m/s)	0.7970	0.8780	0.3648	0.4664	0.7148
平均加速度(m/s ²)	0.1675	-0.7278	1.5161	1.1653	-0.0556

二、利用錄影分析鋼珠從斜坡落入量筒和鋼珠在量筒中落下的情形

(一) 表 5.3 為鋼珠在溫度為 10°C、20°C、30°C、40°C、50°C 水中的時間區間、分析時間、分析距離、距離及其速率、平均加速度與阻力關係表，其中鋼珠所受的浮力為 1.836 gw：可知在不同溫度的水中其**阻力有震盪之情形**，推論是因為**鋼珠的滾動**，造成**阻力的振盪變化**，且此時**阻力之方向仍然為向上**。

表 5.3：鋼珠在不同溫度水中落下的情形(錄影、斜坡)

溫度	10°C
----	------

時間區間 (S)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
0.000~0.033			2.30	79.31		
0.033~0.066	0.03	2.50	2.70	81.82	-76.00	-1.56
0.066~0.100	0.07	5.10	2.50	73.53	247.43	-1.57
0.100~0.133	0.10	7.60	2.50	75.76	-66.51	-1.56
0.133~0.166	0.13	9.95	2.20	66.67	275.48	-1.57
0.166~0.200	0.17	12.45	2.80	82.35	-468.25	-1.55
0.200~0.233	0.20	14.85	2.00	60.61	649.16	-1.58
0.233~0.266	0.23	17.10	2.50	75.76	-459.14	-1.55
0.266~0.300	0.27	19.35	2.00	58.82	505.49	-1.57
0.300~0.333	0.30	21.10	1.50	45.45	399.07	-1.57

溫度 20°C

時間區間 (S)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
0.000~0.033			2.50	86.21		
0.033~0.066	0.03	2.25	2.00	60.61	775.78	-1.58
0.066~0.100	0.07	4.50	2.50	73.53	-385.77	-1.55
0.100~0.133	0.10	7.00	2.50	75.76	-66.51	-1.56
0.133~0.166	0.13	9.50	2.50	75.76	0.00	-1.56
0.166~0.200	0.17	12.00	2.50	73.53	66.51	-1.56
0.200~0.233	0.20	14.50	2.50	75.76	-66.51	-1.56
0.233~0.266	0.23	16.75	2.00	60.61	459.14	-1.57
0.266~0.300	0.27	18.75	2.00	58.82	53.21	-1.56
0.300~0.333	0.30	20.75	2.00	60.61	-53.21	-1.56

溫度 30°C

時間區間 (S)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
0.000~0.033			2.00	68.97		
0.033~0.066	0.03	1.45	0.90	27.27	1263.42	-1.60
0.066~0.100	0.07	2.70	1.60	47.06	-590.63	-1.54
0.100~0.133	0.10	5.00	3.00	90.91	-1308.96	-1.52
0.133~0.166	0.13	7.75	2.50	75.76	459.14	-1.57
0.166~0.200	0.17	10.35	2.70	79.41	-109.08	-1.56
0.200~0.233	0.20	12.85	2.30	69.70	289.99	-1.57
0.233~0.266	0.23	15.25	2.50	75.76	-183.65	-1.56
0.266~0.300	0.27	17.75	2.50	73.53	66.51	-1.56

0.300~0.333	0.30	20.25	2.50	75.76	-66.51	-1.56
溫度 40°C						
時間區間 (S)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
0.000~0.033			2.00	68.97		
0.033~0.066	0.03	1.75	1.50	45.45	712.45	-1.58
0.066~0.100	0.07	3.75	2.50	73.53	-838.06	-1.54
0.100~0.133	0.10	6.25	2.50	75.76	-66.51	-1.56
0.133~0.166	0.13	8.75	2.50	75.76	0.00	-1.56
0.166~0.200	0.17	11.00	2.00	58.82	505.49	-1.57
0.200~0.233	0.20	13.50	3.00	90.91	-957.78	-1.53
0.233~0.266	0.23	16.00	2.00	60.61	918.27	-1.59
0.266~0.300	0.27	18.50	3.00	88.24	-824.75	-1.54
0.300~0.333	0.30	21.00	2.00	60.61	824.75	-1.58
溫度 50°C						
時間區間 (S)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
0.000~0.033			2.00	68.97		
0.033~0.066	0.03	1.90	1.80	54.55	436.97	-1.57
0.066~0.100	0.07	3.90	2.20	64.71	-303.30	-1.55
0.100~0.133	0.10	6.25	2.50	75.76	-329.90	-1.55
0.133~0.166	0.13	8.50	2.00	60.61	459.14	-1.57
0.166~0.200	0.17	10.85	2.70	79.41	-561.36	-1.54
0.200~0.233	0.20	13.35	2.30	69.70	289.99	-1.57
0.233~0.266	0.23	15.75	2.50	75.76	-183.65	-1.56
0.266~0.300	0.27	18.25	2.50	73.53	66.51	-1.56
0.300~0.333	0.30	20.75	2.50	75.76	-66.51	-1.56

圖 5.1 為鋼珠在溫度為 10°C、20°C、30°C、40°C、50°C 水中的位置與時間關係圖。

由此圖我們可以知道不管溫度是多少，鋼珠位置和時間都是成正相關的

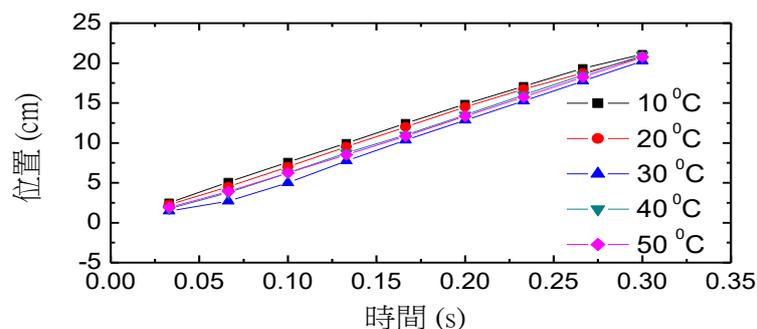


圖 5.1：鋼珠在溫度為 10°C、20°C、30°C、40°C、50°C 水中的位置與時間關係圖

圖 5.2 為鋼珠在溫度為(a) 10°C、(b) 20°C、(c) 30°C、(d) 40°C 與(e) 50°C 水中的距離與阻力關係圖。由此圖可知，(b)除了第一點到第二點下降較明顯，其餘的變化沒有這麼大，(d)第五點到第九點起伏較大。我們由圖可知，在不同溫度的水中其阻力有震盪之情形，我們推論因球的滾動，造成阻力的振盪變化，且此時阻力之方向，仍為向上的方向。

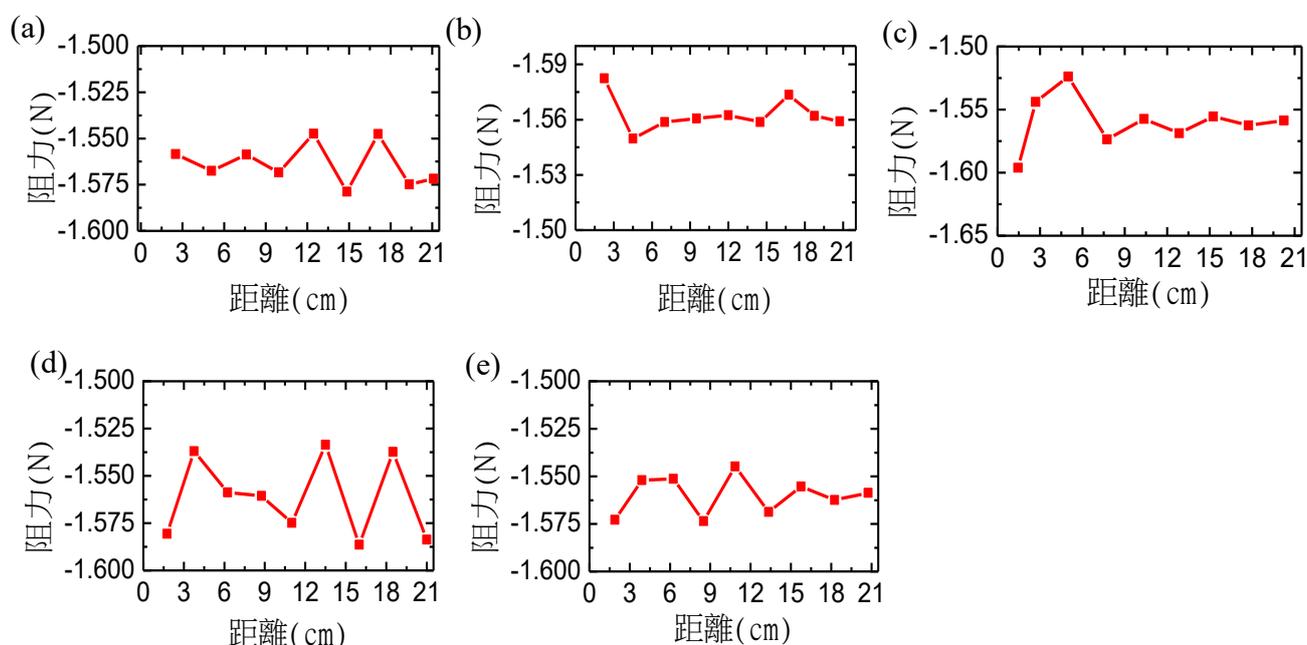


圖 5.2：鋼珠在溫度為(a)10°C、(b)20°C、(c)30°C、(d)40°C 與(e)50°C 水中的距離與阻力關係圖

(二)表 5.4 為鋼珠在空氣、水及油中的時間、分析距離、距離及其速率、平均加速度與阻力關係表。由此表可知空氣組每次掉落的速率越來越快，而加速度卻越來越小，阻力越來越大，但是水和油就沒有這麼明顯的變化。空氣組最後一欄是因為鋼珠已經到底了所以推測如果鋼珠一直持續往下掉平均加速度可能會愈來愈小阻力也可能會愈來愈大。

表 5.4：鋼珠在不同物質中落下的情形(錄影、斜坡)

	時間 (s)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
空氣	0.000~0.033			1.00	34.48		
	0.033~0.066	0.03	1.50	2.00	60.61	-791.62	0.29
	0.066~0.100	0.07	4.00	3.00	88.24	-824.75	0.30
	0.100~0.133	0.10	7.75	4.50	136.36	-1436.67	0.31
	0.133~0.166	0.13	12.75	5.50	166.67	-918.27	0.30
	0.166~0.200	0.17	17.50	4.00	117.65	1463.27	0.23
	時間 (s)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)

油	0.000~0.033			2.00	68.97		
	0.033~0.066	0.03	2.00	2.00	60.61	253.32	-2.44
	0.066~0.100	0.07	4.50	3.00	88.24	-824.75	-2.41
	0.100~0.133	0.10	7.25	2.50	75.76	372.47	-2.44
	0.133~0.166	0.13	9.35	1.70	51.52	734.62	-2.45
	0.166~0.200	0.17	11.60	2.80	82.35	-920.53	-2.41
	0.200~0.233	0.20	14.00	2.00	60.61	649.16	-2.45
	0.233~0.266	0.23	16.50	3.00	90.91	-918.27	-2.41
	0.266~0.300	0.27	19.00	2.00	58.82	957.78	-2.46
	0.300~0.333	0.30	21.00	2.00	60.61	-53.21	-2.43
	0.333~0.366	0.33	23.00	2.00	60.61	-459.14	-2.42
	0.366~0.400	0.37	24.50	1.00	29.41	931.17	-2.46
	0.400~0.433	0.40	26.00	2.00	60.61	-931.17	-2.41
		時間 (s)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)
水	0.000~0.033			2.00	68.97		
	0.033~0.066	0.03	1.75	1.50	45.45	712.45	-2.70
	0.066~0.100	0.07	3.75	2.50	73.53	-838.06	-2.66
	0.100~0.133	0.10	6.00	2.00	60.61	385.77	-2.69
	0.133~0.166	0.13	7.75	1.50	45.45	459.14	-2.69
	0.166~0.200	0.17	9.25	1.50	44.12	39.91	-2.68
	0.200~0.233	0.20	11.00	2.00	60.61	-492.19	-2.67
	0.233~0.266	0.23	12.75	1.50	45.45	459.14	-2.69
	0.266~0.300	0.27	14.50	2.00	58.82	-399.07	-2.67
	0.300~0.333	0.30	16.25	1.50	45.45	399.07	-2.69

圖 5.3 為鋼珠在空氣、油及水中的位置與時間關係圖。前三點三者位置接近，但第四點鋼珠在空氣比在其餘兩者下降多，推測鋼珠在空氣中的阻力較油與水小。

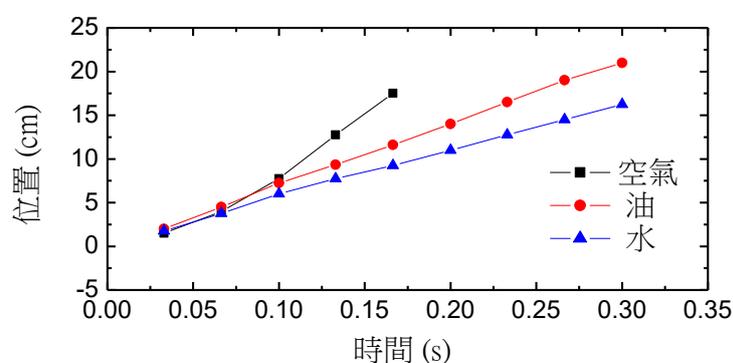


圖 5.3：鋼珠在空氣、油及水中的位置與時間關係圖

圖 5.4 為鋼珠在(a)空氣、(b)油與(c)水中的距離與阻力關係圖。(a)的線條趨勢較無振

盪現象，而鋼珠在油與水中，出現顯著的阻力振盪現象，我們推測造成此現象原因，乃是因為鋼珠由斜面滾動下來後，除了鋼珠垂直落下時會造成阻力，鋼珠在滾動時，也會在切線方向因滾動造成阻力使得其阻力總量值產生振盪現象，且由其阻力數值正值可發現，滾動造成之阻力效果使得其阻力方向向下。

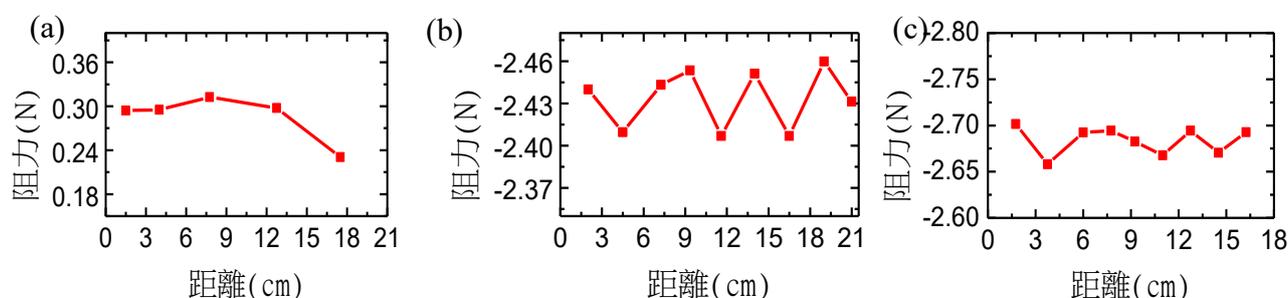


圖 5.4：鋼珠在(a)空氣、(b)油與(c)水中的距離與阻力關係圖

(三)表 5.5 為鋼珠在膠水中的時間、分析距離、距離及其速率、平均加速度與阻力關係表。因為膠水用時較空氣、油和水長很多，所以另外討論。由此表可知其平均加速度也是有正有負，但阻力卻非常一致。

表 5.5：鋼珠在膠水中落下情形(錄影、斜坡)

時間 (s)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
0~0.5		2.20	4.40		
0.5~1	1.75	0.80	1.60	-5.60	-2.35
1~1.5	2.65	0.50	1.00	-1.20	-2.35
1.5~2	3.55	0.50	1.00	0.00	-2.35
2~2.5	4.25	1.00	2.00	2.00	-2.35
2.5~3	4.85	1.00	2.00	0.00	-2.35
3~3.5	5.75	0.40	0.80	-2.40	-2.35
3.5~4	6.65	0.60	1.20	0.80	-2.35
4~4.5	7.25	1.00	2.00	1.60	-2.35
4.5~5	7.85	0.50	1.00	-2.00	-2.35
5~5.5	8.65	0.50	1.00	0.00	-2.35
5.5~6	9.25	0.50	1.00	0.00	-2.35
6~6.5	9.95	0.70	1.40	0.80	-2.35
6.5~7	10.85	0.80	1.60	0.40	-2.35
7~7.5	11.50	0.20	0.40	-2.40	-2.35
7.5~8	12.10	0.80	1.60	2.40	-2.35

8~8.5	12.85	1.00	2.00	0.80	-2.35
8.5~9	13.45	0.50	1.00	-2.00	-2.35
9~9.5	13.95	0.50	1.00	0.00	-2.35
9.5~10	14.65	0.50	1.00	0.00	-2.35
10~10.5	15.45	0.50	1.00	0.00	-2.35
10.5~11	16.15	0.80	1.60	1.20	-2.35
11~11.5	16.85	0.20	0.40	-2.40	-2.35
11.5~12	17.55	1.00	2.00	3.20	-2.35
12~12.5	18.15	0.50	1.00	-2.00	-2.35
12.5~13	18.85	0.50	1.00	0.00	-2.35
13~13.5	19.55	0.50	1.00	0.00	-2.35
13.5~14	20.15	0.50	1.00	0.00	-2.35
14~14.5	20.75	0.50	1.00	0.00	-2.35
14.5~15	21.15	1.00	2.00	2.00	-2.35

圖 5.5、圖 5.6：鋼珠在膠水中的位置與時間關係圖與鋼珠在膠水中的距離與阻力關係圖。膠水黏滯性大，阻力變化起伏在一定的範圍內，且相當顯著。因此推測，膠水的黏滯性，對物體轉動時產生的阻力影響較為顯著，且造成之阻力方向亦為向上。

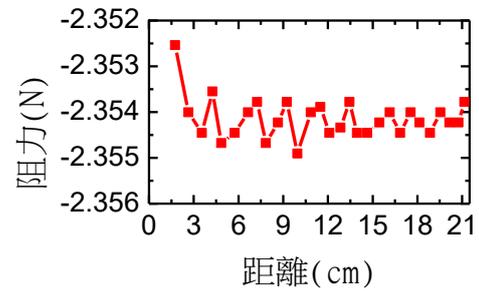
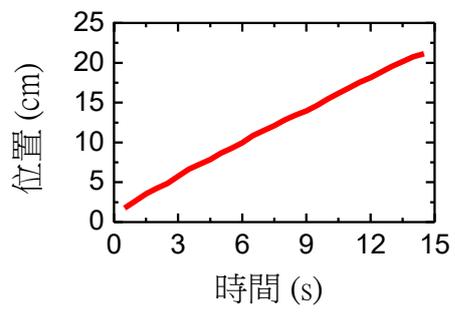


圖 5.5：鋼珠在膠水中的位置與時間關係圖

圖 5.6：鋼珠在膠水中的距離與阻力關係圖

(四)下表 5.6 為鋼珠在油水比例分別為 10%、20%、30%、40%及 50%中的時間、分析時間、分析距離、距離、速率、平均加速度與阻力關係表。這組比較特別的地方是代測物為油、水混合物。數據不規則的原因也可能是混合不均勻

表 5.6：鋼珠在不同濃度油水混合液中落下的情形(錄影、斜坡)

油水比例 (%)	時間 (s)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
10	0.000~0.033			2.50	86.21		
	0.033~0.066	0.03	2.50	2.50	75.76	316.65	-2.58
	0.066~0.100	0.07	5.05	2.60	76.47	-21.28	-2.57

0.100~0.133	0.10	7.55	2.40	72.73	111.74	-2.58	
0.133~0.166	0.13	10.50	3.50	106.06	-1010.10	-2.55	
0.166~0.200	0.17	13.25	2.00	58.82	1410.06	-2.61	
0.200~0.233	0.20	15.50	2.50	75.76	-513.15	-2.56	
0.233~0.266	0.23	18.00	2.50	75.76	0.00	-2.57	
0.266~0.300	0.27	20.50	2.50	75.76	0.00	-2.57	
油水比例	時間	分析時間	分析距離	距離	速率	平均加速度	阻力
(%)	(s)	(S)	(cm)	(cm)	(cm/s)	(cm/s²)	(N)
20	0.000~0.033			1.20	41.38		
	0.033~0.066	0.03	1.75	2.30	69.70	316.65	-2.33
	0.066~0.100	0.07	3.65	1.50	44.12	763.56	-2.46
	0.100~0.133	0.10	5.90	3.00	90.91	-1396.76	-1.85
	0.133~0.166	0.13	8.15	1.50	45.45	1377.41	-2.63
	0.166~0.200	0.17	10.50	3.20	94.12	-1452.63	-1.84
	0.200~0.233	0.20	13.25	2.30	69.70	740.02	-2.45
	0.233~0.266	0.23	15.90	3.00	90.91	-642.79	-2.06
	0.266~0.300	0.27	18.40	2.00	60.61	904.57	-2.50
	0.300~0.333	0.30	20.90	3.00	90.91	-904.57	-1.99
油水比例	時間	分析時間	分析距離	距離	速率	平均加速度	阻力
(%)	(s)	(S)	(cm)	(cm)	(cm/s)	(cm/s²)	(N)
30	0.000~0.033			4.00	137.93		
	0.033~0.066	0.03	3.00	2.00	60.61	2343.18	-3.03
	0.066~0.100	0.07	5.65	3.30	97.06	-1088.14	-2.07
	0.100~0.133	0.10	8.65	2.70	81.82	454.94	-2.50
	0.133~0.166	0.13	11.25	2.50	75.76	183.65	-2.43
	0.166~0.200	0.17	13.75	2.50	73.53	66.51	-2.39
	0.200~0.233	0.20	16.50	3.00	90.91	-518.80	-2.23
	0.233~0.266	0.23	19.50	3.00	90.91	0.00	-2.37
油水比例	時間	分析時間	分析距離	距離	速率	平均加速度	阻力
(%)	(s)	(S)	(cm)	(cm)	(cm/s)	(cm/s²)	(N)
40	0.000~0.033			2.50	86.21		
	0.033~0.066	0.03	2.50	2.50	75.76	316.65	-2.64
	0.066~0.100	0.07	5.00	2.50	73.53	66.51	-2.57
	0.100~0.133	0.10	7.35	2.20	66.67	204.86	-2.61
	0.133~0.166	0.13	10.10	3.30	100.00	-1,010.10	-2.27
	0.166~0.200	0.17	13.00	2.50	73.53	790.17	-2.78
	0.200~0.233	0.20	15.50	2.50	75.76	-66.51	-2.54
	0.233~0.266	0.23	18.25	3.00	90.91	-459.14	-2.43

油水比例 (%)	時間 (s)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
	0.266~0.300	0.27	20.75	2.00	60.61	904.57	-2.81
50	0.000~0.033			3	103.4483		
	0.033~0.066	0.03	2.75	2.50	75.76	839.11	-2.96
	0.066~0.100	0.07	5.25	2.50	73.53	66.51	-2.74
	0.100~0.133	0.10	7.60	2.20	66.67	204.86	-2.78
	0.133~0.166	0.13	10.10	2.80	84.85	-550.96	-2.57
	0.166~0.200	0.17	12.75	2.50	73.53	337.88	-2.82
	0.200~0.233	0.20	15.35	2.70	81.82	-247.43	-2.65
	0.233~0.266	0.23	18.10	2.80	84.85	-91.83	-2.70
	0.266~0.300	0.27	20.50	2.00	60.61	723.65	-2.93

圖 5.7 為鋼珠在油水比例為(a)10%、(b)20%、(c)30%、(d)40%與(e)50%中的距離與阻力關係圖。(b)鋼珠在 20%的油水混合液中起伏較大，反之(e)鋼珠在 50%的油水混合液中起伏沒這麼大，推測可能是濃度愈大起伏越小。

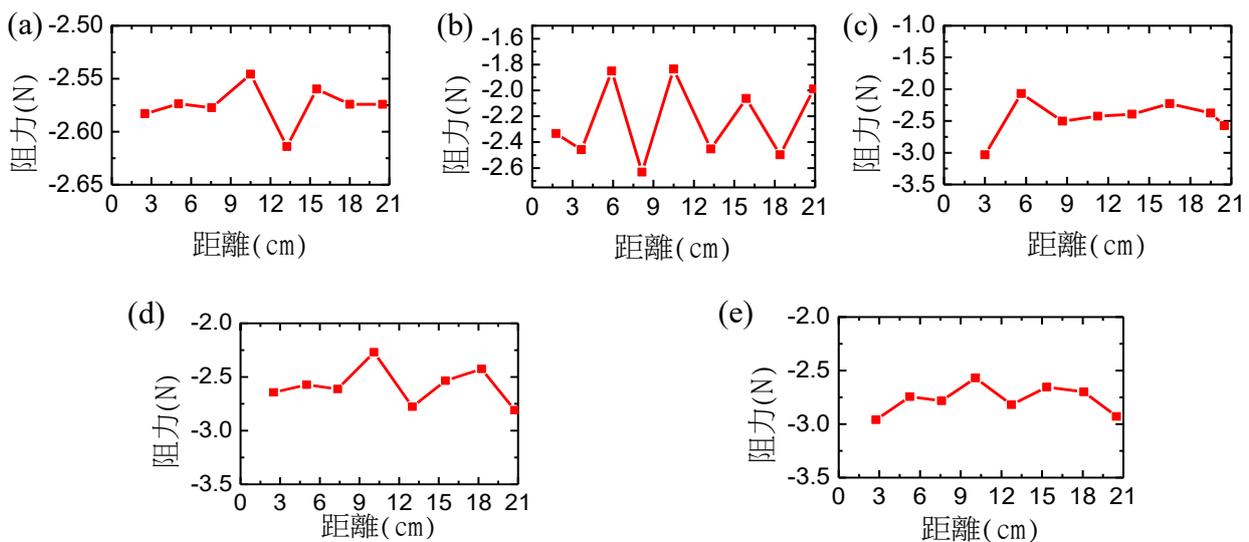


圖 5.7：鋼珠在油水比例為(a)10%、(b)20%、(c)30%、(d)40%與(e)50%中的距離與阻力關係圖

圖 5.8 為鋼珠在油水比例分別為 10%、20%、30%、40%及 50%中位置與時間關係圖。20% 線條明顯比其他的低一些，可能是跟圖 5.7 的(b)起伏大有關。

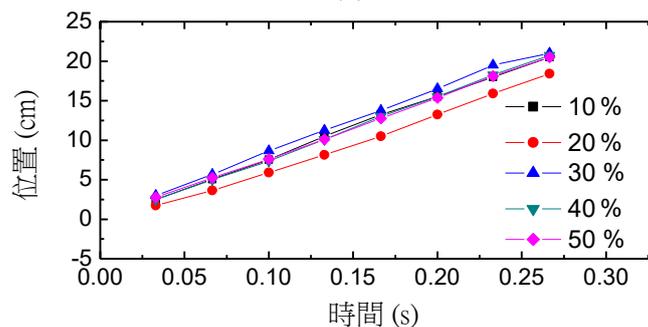


圖 5.8：鋼珠在油水比例分別為 10%、20%、30%、40%及 50%中位置與時間關係圖

三、架設自由落體模擬器利用光電計時器測量鋼珠掉落時間

(一) 下表 5.7 為鋼珠在不同物質中落下的用時、平均用時，在 A、B 感應器遮光時間、平均遮光時間、平均速率，及其平均加速度。

1. 由表 5.7 可以看到該物質黏滯性越大所用的時間就愈長(黏滯性：膠水>大豆沙拉油>水>空氣；用時：膠水>大豆沙拉油>水>空氣)，鋼珠在空氣中自由落下時，合力向下，而水、油與膠水中的合力向上。

表 5.7：鋼珠在不同物質中落下的情形(光電計時器、自由落體)

代測物	空氣	水	大豆沙拉油	膠水
用時(s)	0.1085	0.1911	0.5645	7.0832
	0.1087	0.1944	0.5789	7.2004
	0.1089	0.1956	0.5790	7.6942
	0.1089	0.1968	0.6048	7.7237
	0.1091	0.1976	0.6122	8.1675
平均用時(s)	0.1088	0.1951	0.5879	7.5738
鋼珠在 B 感應器遮光時間(s)	0.0092	0.0205	0.0372	1.0216
	0.0093	0.0222	0.0335	1.0402
	0.0094	0.0228	0.0407	0.9818
	0.0094	0.0234	0.0389	1.2471
	0.0095	0.0188	0.0367	1.1437
鋼珠在 B 感應器的平均遮光時間(s)	0.0094	0.0215	0.0374	1.0869
鋼珠在 B 感應器的平均速率(m/s)	2.0299	0.8821	0.5080	0.0175
鋼珠在 A 感應器遮光時間(s)	0.0176	0.0210	0.0401	0.6504
	0.0172	0.0154	0.0273	0.8504
	0.0175	0.0230	0.0369	0.8769
	0.0170	0.0190	0.0353	0.7453
	0.0169	0.0214	0.0294	0.7583
鋼珠在 A 感應器的平均遮光時間(s)	0.0172	0.0200	0.0338	0.7763
鋼珠在 A 感應器的平均速率(m/s)	1.1021	0.9519	0.5621	0.0245
平均加速度(m/s ²)	8.5262	-0.3579	-0.0920	-0.0009

(二) 下表 5.8 為鋼珠在不同溫度的水中落下的用時、平均用時，在 A、B 感應器遮光時間、平均遮光時間、平均速率，及其平均加速度。因為在斜坡組使用溫差為 10°C 成效不

明顯，所以將溫差改為 20°C。鋼珠在 A、B 感應器的平均遮光時間和平均速率 90°C~10°C 有明顯在遞增

表 5.8：鋼珠在不同溫度的水中落下的情形(光電計時器、自由落體)

溫度(°C)	90	70	50	30	10
用時(s)	0.1867	0.1849	0.1900	0.1901	0.1903
	0.1881	0.1854	0.1922	0.1915	0.1916
	0.1948	0.1859	0.1989	0.1982	0.1957
	0.1959	0.1965	0.1988	0.1984	0.1970
	0.1971	0.1871	0.1994	0.1984	0.1973
平均用時(s)	0.1925	0.1880	0.1959	0.1953	0.1944
鋼珠在 B 感應器遮光時間(s)	0.0200	0.0235	0.0247	0.0241	0.0236
	0.0178	0.0227	0.0243	0.0242	0.0251
	0.0218	0.0174	0.0244	0.0242	0.0285
	0.0221	0.0232	0.0200	0.0257	0.0258
	0.0175	0.0229	0.0211	0.0250	0.0228
鋼珠在 B 感應器的平均遮光時間(s)	0.0198	0.0219	0.0229	0.0246	0.0252
鋼珠在 B 感應器的平均速率(m/s)	0.9577	0.8660	0.8297	0.7711	0.7552
鋼珠在 A 感應器遮光時間(s)	0.0206	0.0217	0.0218	0.0219	0.0220
	0.0178	0.0214	0.0235	0.0225	0.0292
	0.0218	0.0180	0.0226	0.0225	0.0294
	0.0221	0.0216	0.0213	0.0185	0.0229
	0.0175	0.0226	0.0205	0.0212	0.0195
鋼珠在 A 感應器的平均遮光時間(s)	0.0200	0.0211	0.0219	0.0213	0.0246
鋼珠在 A 感應器的平均速率(m/s)	0.9519	0.9022	0.8660	0.8912	0.7724
平均加速度(m/s ²)	0.0299	-0.1925	-0.1854	-0.6148	-0.0884

四、利用錄影分析鋼珠從斜坡落入量筒和鋼珠在量筒中落下的情形

(一) 下表 5.9 和圖 5.9 為鋼珠在溫度為 10°C、20°C、30°C、40°C、50°C 水中的時間區間、分析時間、分析距離、距離及其速率、平均加速度與阻力關係表。由此表可知 10°C 的阻力變化最大，且每一組的第一個速率都比其組的所有的速率大，可能是一開始掉落速率還沒有被黏滯性影響。

表 5.9：鋼珠在不同溫度的水中落下的情形(錄影、自由落體)

浮力(gw)

1.84

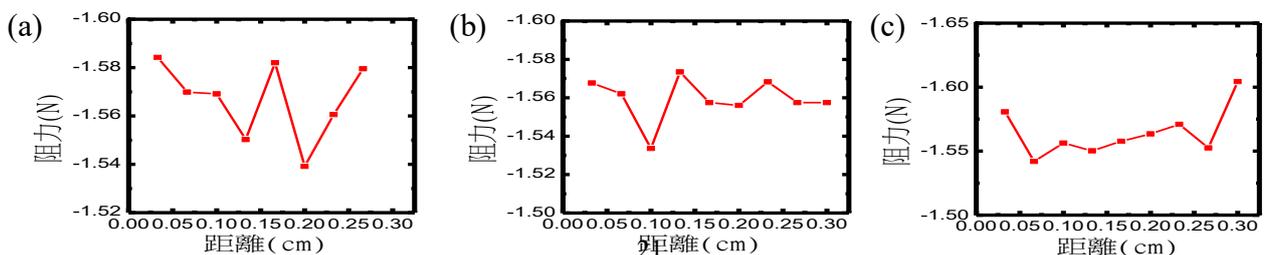
溫度 (°C)	時間 (s)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
10	0.000~0.033			3.00	103.45		
	0.033~0.066	0.03	2.75	2.50	75.76	839.11	-1.58
	0.066~0.100	0.07	5.10	2.20	64.71	329.90	-1.57
	0.100~0.133	0.10	7.10	1.80	54.55	303.30	-1.57
	0.133~0.166	0.13	9.10	2.20	66.67	-367.31	-1.55
	0.166~0.200	0.17	10.90	1.40	41.18	760.90	-1.58
	0.200~0.233	0.20	12.70	2.20	66.67	-760.90	-1.54
	0.233~0.266	0.23	14.90	2.20	66.67	0.00	-1.56
	0.266~0.300	0.27	16.75	1.50	44.12	673.11	-1.58

溫度 (°C)	時間 (s)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
30	0.000~0.033			2.00	68.97		
	0.033~0.066	0.03	2.00	2.00	60.61	253.32	-1.57
	0.066~0.100	0.07	4.00	2.00	58.82	53.21	-1.56
	0.100~0.133	0.10	6.50	3.00	90.91	-957.78	-1.53
	0.133~0.166	0.13	9.25	2.50	75.76	459.14	-1.57
	0.166~0.200	0.17	11.85	2.70	79.41	-109.08	-1.56
	0.200~0.233	0.20	14.60	2.80	84.85	-162.29	-1.56
	0.233~0.266	0.23	17.25	2.50	75.76	275.48	-1.57
	0.266~0.300	0.27	19.85	2.70	79.41	-109.08	-1.56
	0.300~0.333	0.30	21.60	0.80	75.76	-110.73	-1.56

溫度 (°C)	時間 (s)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
50	0.000~0.033			2.00	68.97		
	0.033~0.066	0.03	1.75	1.50	45.45	712.45	-1.58
	0.066~0.100	0.07	3.65	2.30	67.65	-662.46	-1.54
	0.100~0.133	0.10	6.00	2.40	72.73	-151.65	-1.56
	0.133~0.166	0.13	8.60	2.80	84.85	-367.31	-1.55
	0.166~0.200	0.17	11.50	3.00	88.24	-101.10	-1.56
	0.200~0.233	0.20	14.40	2.80	84.85	101.10	-1.56

	0.233~0.266	0.23	17.00	2.40	72.73	367.31	-1.57
	0.266~0.300	0.27	19.60	2.80	82.35	-287.33	-1.55
	0.300~0.333	0.30	21.50	1.00	30.30	1553.73	-1.60
溫度 (°C)	時間 (s)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
70	0.000~0.033			3.00	103.45		
	0.033~0.066	0.03	2.50	2.00	60.61	1298.25	-1.60
	0.066~0.100	0.07	5.00	3.00	88.24	-824.75	-1.54
	0.100~0.133	0.10	7.75	2.50	75.76	372.47	-1.57
	0.133~0.166	0.13	10.35	2.70	81.82	-183.65	-1.56
	0.166~0.200	0.17	12.85	2.30	67.65	423.02	-1.57
	0.200~0.233	0.20	15.35	2.70	81.82	-423.02	-1.55
	0.233~0.266	0.23	18.10	2.80	84.85	-91.83	-1.56
	0.266~0.300	0.27	20.50	2.00	58.82	776.86	-1.58
溫度 (°C)	時間 (s)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
90	0.000~0.033			3.00	103.45		
	0.033~0.066	0.03	2.75	2.50	75.76	839.11	-1.58
	0.066~0.100	0.07	5.35	2.70	79.41	-109.08	-1.56
	0.100~0.133	0.10	8.00	2.60	78.79	18.62	-1.56
	0.133~0.166	0.13	10.50	2.40	72.73	183.65	-1.57
	0.166~0.200	0.17	12.85	2.30	67.65	151.65	-1.56
	0.200~0.233	0.20	15.35	2.70	81.82	-423.02	-1.55
	0.233~0.266	0.23	18.10	2.80	84.85	-91.83	-1.56
	0.266~0.300	0.27	20.50	2.00	58.82	776.86	-1.58

圖 5.9 為鋼珠在溫度為(a)10°C、(b)30°C、(c)50°C、(d)70°C 與(e)90°C 水中的距離與阻力關係圖。(c)、(d)、(e) 第一點到第二點阻力都明顯下降、倒數三點阻力都明顯上升，尤其是(e)，可能是因為 90°C 溫度高難保持。



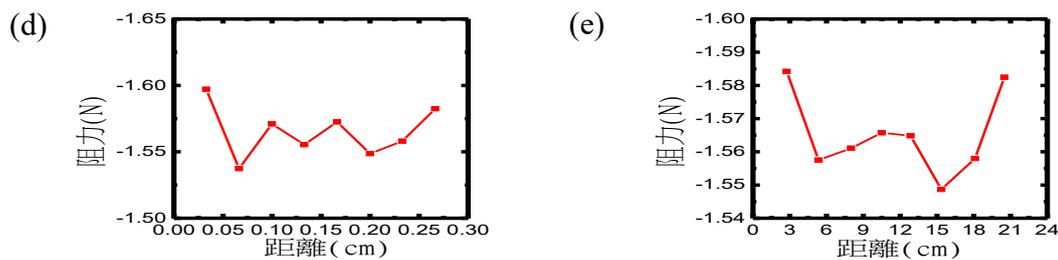


圖 5.9：鋼珠在溫度為(a)10°C、(b)30°C、(c)50°C、(d)70°C 與(e)90°C 水中的距離與阻力關係圖

圖 5.10 為鋼珠在溫度為 10°C、20°C、30°C、40°C、50°C 水中的位置與時間關係圖。10°C 後半段線條比其餘的偏差了一點，可能是因為溫度低較容易吸收外界熱量。

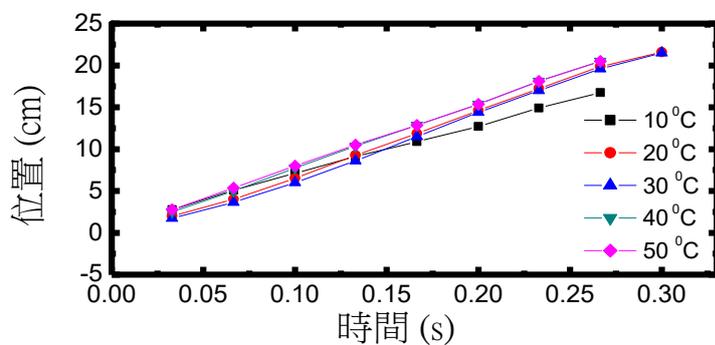


圖 5.10：鋼珠在溫度為 10°C、20°C、30°C、40°C、50°C 水中的位置與時間關係圖

(二) 下表 5.10 表鋼珠在空氣、水及油中的時間、分析距離、距離及其速率、平均加速度與阻力關係表。由此表可知空氣組每次掉落的速率越來越快空氣組最後一欄是因為鋼珠已經到底了所以推測如果鋼珠一直持續往下調速率會越來越快。而除了空氣以外，由和水的阻力都是負的。

表 5.10：鋼珠在空氣、水及油中落下的情形(錄影、自由落體)

	時間 (s)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
空氣	0.000~0.033	0.03		2.00	68.97		
	0.033~0.066	0.07	2.75	3.50	106.06	-1124.09	0.30
	0.066~0.100	0.10	6.25	3.50	102.94	93.12	0.27
	0.100~0.133	0.13	10.50	5.00	151.52	-1449.97	0.31
	0.133~0.166	0.17	16.00	6.00	181.82	-918.27	0.30
	0.166~0.200	0.03	20.50	3.00	88.24	2793.52	0.19
浮力							0.00387

	時間 (s)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
油	0.000~0.033			2.20	75.86		
	0.033~0.066	0.03	2.10	2.00	60.61	462.30	-2.45
	0.066~0.100	0.07	4.00	1.80	52.94	228.80	-2.44
	0.100~0.133	0.10	5.90	2.00	60.61	-228.80	-2.43
	0.133~0.166	0.13	7.90	2.00	60.61	0.00	-2.43
	0.166~0.200	0.17	9.90	2.00	58.82	53.21	-2.43
	0.200~0.233	0.20	11.90	2.00	60.61	-53.21	-2.43
	0.233~0.266	0.23	13.90	2.00	60.61	0.00	-2.43
	0.266~0.300	0.27	15.90	2.00	58.82	53.21	-2.43
	0.300~0.333	0.30	17.65	1.50	45.45	399.07	-2.44
	0.333~0.366	0.33	19.40	2.00	60.61	-1836.55	-2.38
0.366~0.400	0.37	21.15	1.50	44.12	492.19	-2.45	
浮力				2.71			
	時間 (s)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
水	0.000~0.033			1.50	51.72		
	0.033~0.066	0.03	2.00	2.50	75.76	-728.29	-2.66
	0.066~0.100	0.07	4.50	2.50	73.53	66.51	-2.68
	0.100~0.133	0.10	7.25	3.00	90.91	-518.80	-2.67
	0.133~0.166	0.13	10.00	2.50	75.76	459.14	-2.69
	0.166~0.200	0.17	12.75	3.00	88.24	-372.47	-2.67
	0.200~0.233	0.20	15.75	3.00	90.91	-79.81	-2.68
	0.233~0.266	0.23	18.25	2.00	60.61	918.27	-2.71
	0.266~0.300	0.27	20.75	3.00	88.24	-824.75	-2.66
浮力				2.96			

圖 5.11 為鋼珠在(a)空氣、(b)油與(c)水中的距離與阻力關係圖。(b)鋼珠在油中落下數據較斜坡組的穩定很多，可能是因為自由落體使鋼珠垂直落下比較不會滾動。

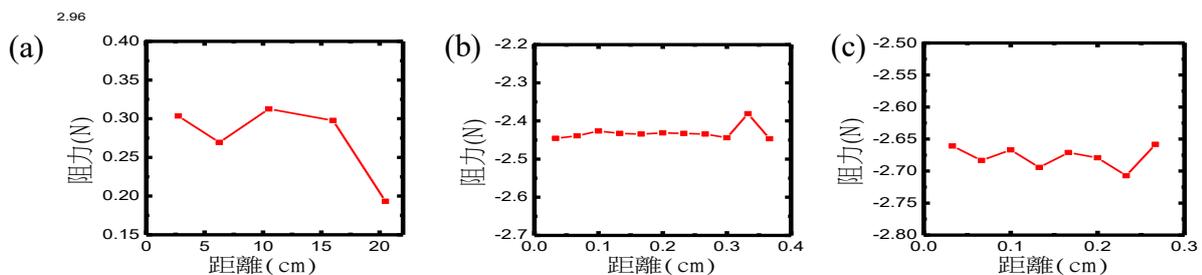


圖 5.11：鋼珠在(a)空氣、(b)油與(c)水中的距離與阻力關係圖

圖 5.12：鋼珠在空氣、油及水中的位置與時間關係圖。油的線條較空氣平直，所以黏滯性大小會影響其加速度。

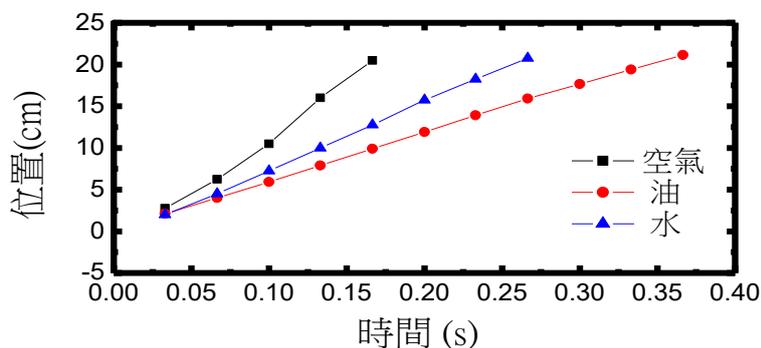


圖 5.12：鋼珠在空氣、油及水中的位置與時間關係圖

(三) 下表 5.11 為鋼珠在膠水中的時間、分析距離、距離及其速率、平均加速度與阻力關係表。因為膠水用時較空氣、油和水長很多，所以另外討論。由此表可知其平均加速度有正有負，但因為其黏滯性大，阻力非常一致。

表 5.11：鋼珠在膠水中落下的情形(錄影、自由落體)

時間 (s)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
0~0.5			2.2	4.4		
0.5~1	0.5	1.50	0.8	1.6	-5.60	-2.35
1~1.5	1.0	2.15	0.5	1.0	-1.20	-2.35
1.5~2	1.5	2.65	0.5	1.0	0.00	-2.35
2~2.5	2.0	3.40	1.0	2.0	2.00	-2.35
2.5~3	2.5	4.40	1.0	2.0	0.00	-2.35
3~3.5	3.0	5.10	0.4	0.8	-2.40	-2.35
3.5~4	3.5	5.60	0.6	1.2	0.80	-2.35
4~4.5	4.0	6.40	1.0	2.0	1.60	-2.35
4.5~5	4.5	7.15	0.5	1.0	-2.00	-2.35
5~5.5	5.0	7.65	0.5	1.0	0.00	-2.35
5.5~6	5.5	8.15	0.5	1.0	0.00	-2.35
6~6.5	6.0	8.75	0.7	1.4	0.80	-2.35
6.5~7	6.5	9.50	0.8	1.6	0.40	-2.35
7~7.5	7.0	10.00	0.2	0.4	-2.40	-2.35
7.5~8	7.5	10.50	0.8	1.6	2.40	-2.35
8~8.5	8.0	11.40	1.0	2.0	0.80	-2.35
8.5~9	8.5	12.15	0.5	1.0	-2.00	-2.35

9~9.5	9.0	12.65	0.5	1.0	0.00	-2.35
9.5~10	9.5	13.15	0.5	1.0	0.00	-2.35
10~10.5	10.0	13.65	0.5	1.0	0.00	-2.35
10.5~11	10.5	14.30	0.8	1.6	1.20	-2.35
11~11.5	11.0	14.80	0.2	0.4	-2.40	-2.35
11.5~12	11.5	15.40	1.0	2.0	3.20	-2.36
12~12.5	12.0	16.15	0.5	1.0	-2.00	-2.35
12.5~13	12.5	16.65	0.5	1.0	0.00	-2.35
13~13.5	13.0	17.15	0.5	1.0	0.00	-2.35
13.5~14	13.5	17.65	0.5	1.0	0.00	-2.35
14~14.5	14.0	18.15	0.5	1.0	0.00	-2.35
14.5~15	14.5	18.90	1.0	2.0	2.00	-2.35
15~15.5	15.0	19.55	0.3	0.6	-2.80	-2.35
15.5~16	15.5	19.80	0.2	0.4	-0.40	-2.35
16~16.5	16.0	20.15	0.5	1.0	1.20	-2.35
16.5~17	16.5	20.75	0.7	1.4	0.80	-2.35
17~17.5	17.0	21.50	0.8	1.6	0.40	-2.35
浮力(gw)					2.63	

圖 5.13、圖 5.14：分別為鋼珠在膠水中的距離與阻力關係圖、鋼珠在膠水中的位置與時間關係圖。膠水黏滯力大阻力都在一定的範圍內，每次落下的距離也都差不多。

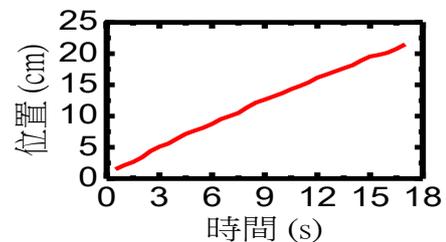
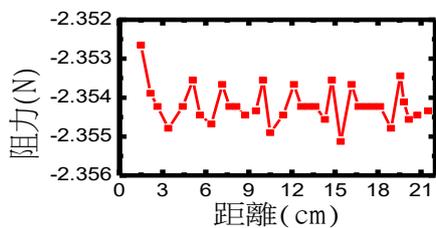


圖 5.13：鋼珠在膠水中的距離與阻力關係圖 圖 5.14：鋼珠在膠水中的位置與時間關係圖

(四) 下表為鋼珠在油水比例分別為 10%、20%、30%、40%及 50%中的時間、分析時間、分析距離、距離、速率、平均加速度與阻力關係表鋼珠在 10%混合液落下的阻力沒比較大的變化，20%和 30%的第一個到第二個阻力下降明顯，第二個到第三個阻力均上升，而 40%和 50%第一個到第二個阻力都大幅度的上升，但到第三個又有下降的趨勢推測可能是液體混合不均的緣故。

表 5.12：鋼珠在不同濃度的油水混合液中落下的情形(錄影、自由落體)

油水比例 (%)	時間 (s)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
10	0.000~0.033			2.00	68.97		
	0.033~0.066	0.03	2.50	3.00	90.91	-664.96	-2.56
	0.066~0.100	0.07	5.50	3.00	88.24	79.81	-2.58
	0.100~0.133	0.10	8.25	2.50	75.76	372.47	-2.58
	0.133~0.166	0.13	10.85	2.70	81.82	-183.65	-2.57
	0.166~0.200	0.17	13.60	2.80	82.35	-15.96	-2.57
	0.200~0.233	0.20	16.25	2.50	75.76	199.86	-2.58
	0.233~0.266	0.23	18.75	2.50	75.76	0.00	-2.57
	0.266~0.300	0.27	21.00	2.00	60.61	452.28	-2.59

浮力(gw)

2.85

油水比例 (%)	時間 (s)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
20	0.000~0.033			2.00	68.97		
	0.033~0.066	0.03	2.15	3.00	69.70	-664.96	-2.06
	0.066~0.100	0.07	4.55	3.00	73.53	-114.40	-2.21
	0.100~0.133	0.10	7.40	2.50	96.97	-699.71	-2.05
	0.133~0.166	0.13	10.40	2.70	84.85	367.31	-2.35
	0.166~0.200	0.17	13.30	2.80	88.24	-101.10	-2.22
	0.200~0.233	0.20	16.30	2.50	90.91	-81.02	-2.22
	0.233~0.266	0.23	19.05	2.50	75.76	459.14	-2.37
	0.266~0.300	0.27	21.05	2.00	45.45	904.57	-2.50

浮力(gw)

2.52

油水比例 (%)	時間 (s)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
30	0.000~0.033			1.00	34.48		
	0.033~0.066	0.03	1.50	2.00	60.61	-791.62	-2.15
	0.066~0.100	0.07	3.50	2.00	58.82	53.21	-2.39
	0.100~0.133	0.10	6.00	3.00	90.91	-957.78	-2.10
	0.133~0.166	0.13	9.00	3.00	90.91	0.00	-2.37

	0.166~0.200	0.17	11.75	2.50	73.53	518.80	-2.52
	0.200~0.233	0.20	14.75	3.50	106.06	-971.08	-2.10
	0.233~0.266	0.23	18.25	3.50	106.06	0.00	-2.37
	0.266~0.300	0.27	21.25	2.50	73.53	97.11	-2.40
浮力(gw)					2.85		
油水比例 (%)	時間 (s)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
40	0.000~0.033			3.00	103.45		
	0.033~0.066	0.03	2.50	2.00	60.61	1298.25	-2.92
	0.066~0.100	0.07	5.10	3.20	94.12	-1000.35	-2.27
	0.100~0.133	0.10	8.10	2.80	84.85	276.69	-2.63
	0.133~0.166	0.13	11.25	3.50	106.06	-642.79	-2.37
	0.166~0.200	0.17	14.75	3.50	102.94	93.12	-2.58
	0.200~0.233	0.20	17.75	2.50	75.76	811.45	-2.78
	0.233~0.266	0.23	20.25	2.50	75.76	0.00	-2.55
浮力(gw)					2.52		
油水比例 (%)	時間 (s)	分析時間 (S)	分析距離 (cm)	距離 (cm)	速率 (cm/s)	平均加速度 (cm/s ²)	阻力 (N)
50	0.000~0.033			3.00	103.45		
	0.033~0.066	0.03	2.50	2.00	60.61	1298.25	-3.09
	0.066~0.100	0.07	5.00	3.00	88.24	-824.75	-2.49
	0.100~0.133	0.10	8.00	3.00	90.91	-79.81	-2.70
	0.133~0.166	0.13	10.75	2.50	75.76	459.14	-2.85
	0.166~0.200	0.17	13.50	3.00	88.24	-372.47	-2.62
	0.200~0.233	0.20	16.75	3.50	106.06	-532.10	-2.57
	0.233~0.266	0.23	20.00	3.00	90.91	459.14	-2.85
浮力(gw)					2.52		

圖 5.15 為鋼珠在油水比例為(a)10%、(b)20%、(c)30%、(d)40%與(e)50%中的距離與阻力關係圖。

(a)鋼珠在10%的油水混合液中落下的數據較其他都穩定很多，可能是因為混合較均勻的關係。

其餘的因為混合不均阻力變化大。

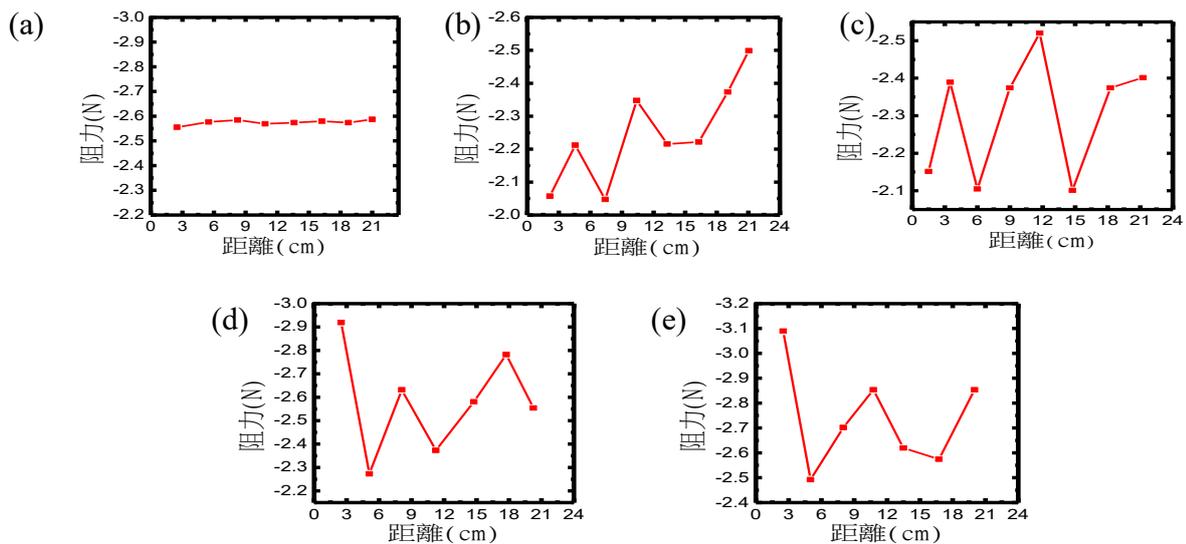


圖 5.15：鋼珠在油水比例為(a)10%、(b)20%、(c)30%、(d)40%與(e)50%中的距離與阻力關係圖

圖 5.16 為鋼珠在油水比例分別為 10%、20%、30%、40%及 50%中位置與時間關係圖。不同濃度的混合液隨時間，位置原本有重疊，但後來有逐漸散開在回到重疊，可能是攪拌不均導致油水分離，通過介面後加速度就不同了。

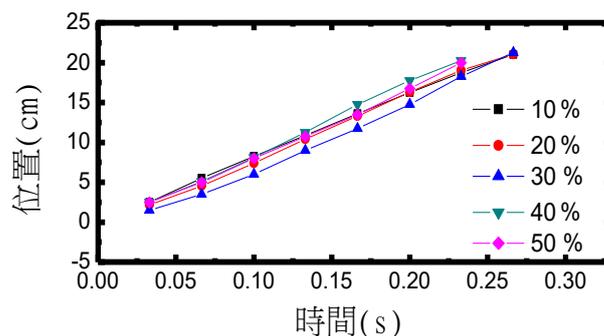


圖 5.16：鋼珠在油水比例分別為 10%、20%、30%、40%及 50%中位置與時間關係圖

陸、 討論

一、根據研究結果，除了加速度，液體黏滯性對鋼珠造成的阻力也可能是使其掉落距離不一致的其中一個原因，此外鋼珠從斜坡滑落，因此推測鋼珠在量筒內也是一邊滾一邊落下，這也可能是造成掉落時間和距離不一的關係。

二、斜坡組中用光電計時器測量時間中的基本組(空氣、水、油及膠水)，可以發現黏滯性大小明顯影響鋼珠掉落的用時，黏滯性愈大鋼珠掉落的用時就愈長。加速度:空氣>水>油>膠水，符合了黏滯性愈大加速度愈小。而合力 F 的方向:如果 a 為正則 F 向下、液體阻力較小；若 a 為負則 F 向上、液體阻力較大。溫度組的 50~20°C 隨著溫度下降，鋼珠落下

的用時就越長，但到了 10°C 鋼珠落下的用時又變短到和 40°C 的差不多。

三、在斜坡組中利用錄影的方式分析的數據中，加速度有負有正，**膠水阻力變化較小**。錄影組的基本組及溫度組和光電計時器的基本組及溫度組相似處其實不多，但用錄影的方式可以分析出比較多不同的東西。接著討論油水混合液的部分，不同濃度的每一組中，都會有個加速度特別小，**而阻力無顯著差異**。

四、自由落體組中油水組，**10% 油水混合溶液阻力變化較小**。我們推測是因就算油和水的比例不同，但加的乳化劑(沐浴乳)都是 10ml，所以導致濃度愈大愈難混合在一起。

五、在用光電計時器和自由落體模擬器測量鋼珠掉落時間中我們**加大了溫差**，但加速度並沒有顯著影響。在斜坡上滑下時，鋼珠**滾動與移動所造成的阻力總效果，會影響鋼珠滾動的阻力方向**。油的**黏滯性較小**，使得其滑下過程的**滾動造成的影響較小**，反之，膠水的**黏滯性大**，使其滑下過程中，**滾動造成的影響更為顯著**。

六、自由落體組和斜坡組的比較：**直接落下鋼珠滾動幅度較小所以不會造成較多變因**。

由圖 6.1 可知**自由落體組阻力較斜坡組的穩定**，推測是因為**斜坡使鋼珠滾動導致振盪較大，而自由落體組振盪較小**。

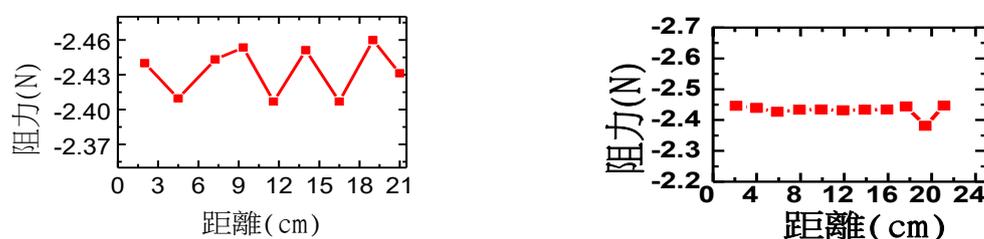


圖 6.1：鋼珠在油中的距離與阻力關係圖，(前)為斜坡組，(後)為自由落體組

由圖 6.2 可知若鋼珠**垂直**落入量筒液體**阻力方向為上**，鋼珠本身**受阻力面積也較為固定**。但鋼珠落入量筒並在量筒內持續**滾落**，鋼珠受**阻力面積不固定**，且**鋼珠轉動可能會帶動液體向上或向下流動**，因此造成**阻力方向不一**，並**造成阻力振盪**。

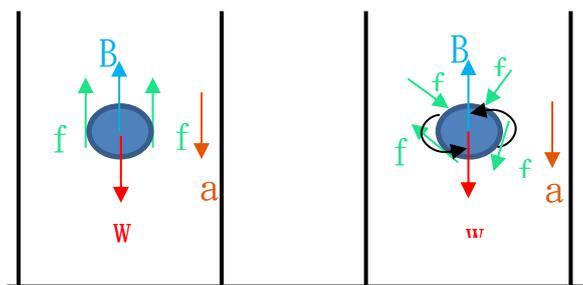


圖 6.2：鋼珠在量筒中的阻力振盪示意圖

七、運用 Stoke's Drag 定律(公式十二)，分析黏滯係數變化： $f_{阻}=3\pi\eta vD$ (公式十二)

η 代表黏滯係數， V 代表鋼珠球的體積， D 代表鋼珠球的直徑。圖 6.3(a)為斜坡組實驗之鋼珠在油中的黏滯係數變化，圖 6.3(b)為自由落體組之鋼珠在油中的黏滯係數變化，由圖知鋼珠球產生滾動時，黏滯係數振盪，而鋼珠不滾動時，黏滯係數穩定。

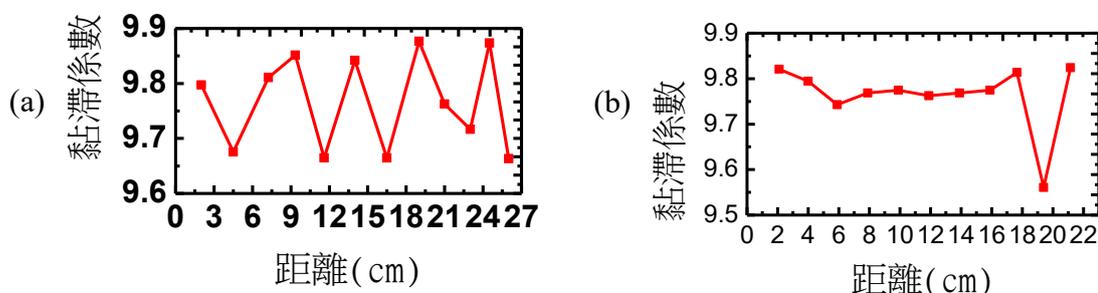


圖 6.3(a)為斜坡組實驗之鋼珠在油中的黏滯係數變化，圖 6.3(b)為自由落體組之鋼珠在油中的黏滯係數變化。

柒、 結論

- 一、鋼珠的滾動會影響其在不同液體中的加速度、掉落時間、距離和阻力變化。
- 二、黏滯性愈大，鋼珠掉落的用時愈長，代表此時所產生之阻力越大。
- 三、膠水對鋼珠造成的阻力都起伏在一定範圍內，且阻力變化較小
- 四、油水混合液中，混合液越均勻，阻力變化越小。
- 五、當加速度為正時，則合力向下，液體阻力小；加速度為負，則合力向上、液體阻力大。
- 六、當物體由滾動落下黏滯係數震盪變化，自由落下黏滯係數較穩定。

捌、 參考資料

- 1.中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 • "黏"綿不絕—液體黏滯性對物質沉降影響探討
- 2.中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 • 逆流而上~測量物體於流體中所受阻力之創新實驗設計與簡易方法
- 3.中華民國第四十八屆中小學科學展覽會 • 「如膠似漆乎」—液體的黏滯性之研究臺灣 2013 國際科學展覽會 • 水中的華爾滋
- 4.臺灣 2006 年國際科學展覽會 • 氣泡在黏滯性液體中的運動
- 5.翰林版自然與生活科技課本(2016) • 第五冊第一章直線運動

【評語】 030120

研究結果有太多不確定的推論，研究討論亦同。較有趣的發現是"滾動"造成"係數"的震盪的部分值得深入討論。

裝置設計製作良好，現象呈現清晰，參考前人作品有所擴充精進。

速度與粘滯性的關係。自製的斜坡讓鋼珠產生自由落體運動，滾落帶有黏滯性的液體中，探究液體黏滯阻力與速度變化的相關關係。由其實驗結果顯示，鋼珠在不同的黏滯液體中，並無相關的規則。其討論認為與鋼珠在液體中的轉動或滾動有相當大的關係。實驗的系統性整理與創新性、完整性稍嫌不足，但儀器的使用及相關的理論探討是正確的。

非常具有探究精神。

摘要

生活中會使用各式各樣不同的黏滯性的液體。黏滯性不同，造成物體掉落時的阻力也不同。本研究利用自製斜坡和自由落體模擬器裝置產生不同的初速，使鋼珠滾入和自由掉入裝載不同黏滯性液體的量筒中，探究其阻力與黏滯係數變化差異。實驗結果顯示，膠水黏滯性最大，鋼珠進入膠水過程中速度變化量亦最大，而不同溫度的水，對鋼珠在滾動時並無顯著影響，而當鋼珠滾動進入液體中時，帶動不同黏滯性液體運動，使得其阻力產生震盪的有趣現象，且其黏滯係數在鋼珠產生滾動時，呈現震盪變化。而當鋼珠自由落下時，鋼珠不滾動，黏滯係數將維持較穩定的數值。

壹、研究動機

小時候常常好奇奶奶在倒茶時因為動作太快而導致茶從杯內濺出，煮飯時倒入鍋內的油卻沒這麼容易濺出，後來才知道原來是"黏滯性"的關係。上了國二我們開始接觸物理，在一次整理實驗室時，發現一組有趣的實驗儀器，去問了老師之後，了解它是一組有關力的測量工具，其中我最感興趣的就是光電計時器，於是我上網查了功能，才知道它原來可以用來計時。於是，將它配合我一直很想探討的黏滯性，設計此實驗。後來在某次的游泳活動中，發現有同學在水中滾動，也有同學是直接落入水中，看起來運動狀況不太相同，於是我便思索鋼珠滾動與否，是否將影響其黏滯性，因此設計了一系列有趣的實驗研究鋼珠的運動速度與黏滯性的關係。

貳、研究目的

- 一、運用光電計時器和錄影，探討鋼珠由斜面滑下，掉入不同黏滯性的液體中所需的時間、加速度和阻力。
- 二、運用光電計時器和錄影，探討鋼珠由自由落體模擬器落下，掉入不同黏滯性的液體中所需時間、加速度和阻力。
- 三、運用光電計時器和錄影，探討鋼珠由斜面滑下，掉入不同溫度水中所需的時間、加速度和阻力。
- 四、運用光電計時器和錄影，探討鋼珠由自由落體模擬器落下，掉入不同溫度水中所需的時間、加速度和阻力。
- 五、運用錄影，探討鋼珠由斜面滑下，掉入不同濃度的大豆沙拉油中所需的時間、加速度和阻力。
- 六、運用錄影，探討鋼珠由自由落體模擬器落下，掉入不同濃度大豆沙拉油中所需的時間、加速度和阻力。

參、研究設備及器材

實驗材料:自來水、100%大豆沙拉油、膠水、沐浴乳、冰塊
 實驗器具:光電計時器(圖 3.1)、塑膠量筒(圖 3.2)、鋼珠(圖 3.3)、鐵製底座(圖 3.4)、自由落體模擬器(圖 3.5)、自製固定器(圖 3.6)、自製斜坡(圖 3.7)、自製量筒固定器(圖 3.8)



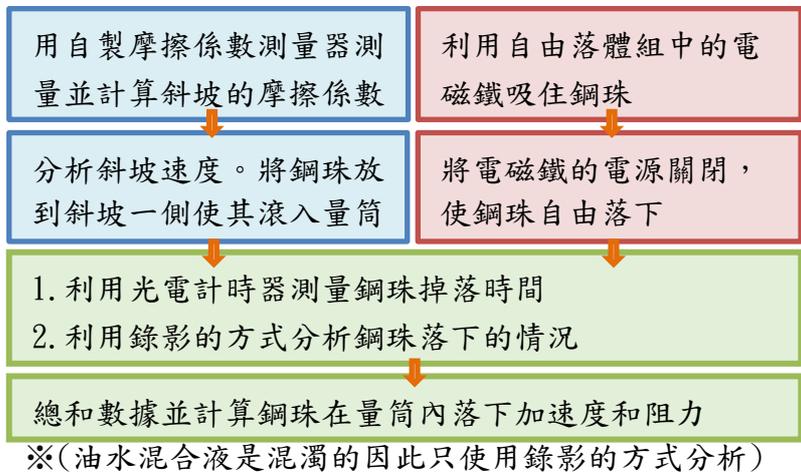
(圖 3.1) (圖 3.2) (圖 3.3) (圖 3.4) (圖 3.5)



(圖 3.6) (圖 3.7) (圖 3.8)

肆、研究過程與方法

一、研究流程圖



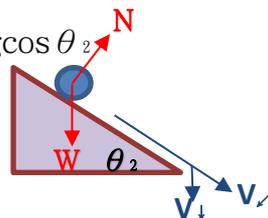
二、實驗操作

- (一) 求斜坡摩擦係數：鐵塊放於斜坡一端，將斜坡抬升，至鐵塊下滑瞬間記錄量角器的角度(圖 4.1(a))。
- (二) 求鋼珠在管內掉落時間：管內分別為：空氣、不同溫度水(水溫調整利用陶瓷加熱攪拌器加熱自來水到 50°C、40°C、30°C、20°C、10°C 用冰塊降溫)、油
1. 光電計時器調到「間距」功能
2. 鋼珠由斜坡上端下滑(圖 4.1(b))
- 自由落體模擬器的電源切掉使鋼珠落下(圖 4.1(c))。
3. 分別記錄鋼珠掉落於 A、B 感應器間的時間與鋼珠對 A、B 感應器的遮光時間。每一組測量五次取平均值。
- (三) 改以錄影的方式重測鋼珠落下時間，並在管內多增加不同比例的油、水混合液 210ml(油、水比例不同，沐浴乳均 10ml)



三、實驗分析：

1. 計算摩擦係數： $mgsin\theta_1 = umgcos\theta_1$
2. 鋼珠在斜坡受之合力： $F = mgsin\theta_2 - umgcos\theta_2$
3. 鋼珠在斜坡的加速度： $F = ma$
4. 鋼珠在斜坡末速：(1) $V_2^2 = V_0^2 + 2aS$
(2) $V_1 = V_2 \times cos\theta_2$



管內運動分析：

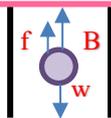
1. 將末速(鋼珠對 B 感應器遮光時間除以鋼珠直徑)減初速(鋼珠對 A 感應器遮光時間除以鋼珠直徑)除以鋼珠掉落於 A、B 感應器之間的時間算出加速度。

$$\frac{0.019}{t_A} \text{ (m/s)} - \frac{0.019}{t_B} \text{ (m/s)} \quad a = \frac{V_t - V_0}{t}$$

2. 將每段距離鋼珠掉落的速率前後相加除以其相對的分析時間就可以得到加速度，之後算出阻力(f=阻力、w=鋼珠質量×重力、B=浮力(鋼珠體積×液體密度)、m=鋼珠質量、a=加速度)

分析距離:將鋼珠在固定時間掉落的距離前後相加除以二
 分析時間:將鋼珠掉落的固定時段前後相加除以二

$$f = w - B - ma$$



四、歷屆科展比較：

	第 56 屆全國科展	第 49 屆全國科展	第 48 屆全國科展
名稱	"黏"綿不絕—液體黏滯性對物質沉降影響探討	自製漂浮法實驗裝置探討液體介面與黏滯力之關係	「如膠似漆乎」—液體的黏滯性之研究
實驗	探討不同黏滯性的溶液對於氣泡上升中的速率、軌跡和氣泡體積影響	設計簡易的黏滯字數測量方法並探討儀器中轉盤的角速度對時間的變化、不同液高和溫度對水的黏滯力的關係	以外插法求量筒口徑趨近無限大時球的終端速度。用自製研發實驗裝置測量液體旋轉之高度、週期並與黏度進行比較與討論。
差異	本實驗裝置與上列實驗完全不同，且我們是探討不同黏滯性的液體對自由或滾動落下的鋼珠造成的阻力變化與其落下所需時間的影響。		

伍、研究結果

一、用自製摩擦係數測量器測量並計算斜坡的摩擦係數：

經過測量後我們發現斜坡的 θ_2 約為 27° ，因此摩擦係數 μ 約為**0.45**，再使用前頁的公式依序算出合力 F 約為11.229(N)、加速度 a 約為 $0.561(m/s^2)$ ，末速 V_f 約為 $4.035(m/s)$ 和 V_i 約為**1.832(m/s)**。

二、用光電計時器分析鋼珠由斜坡滾到量筒後在量筒內運動情形：

表 5.1: 鋼珠在不同物質中落下的平均用時，A 感應器的平均速率、B 感應器的平均速率與平均加速度關係表

代測物	空氣	水	大豆沙拉油	膠水
平均用時(s)	0.1009	0.2382	0.3130	10.5896
鋼珠在 A 感應器的平均速率(m/s)	6.3837	1.6766	0.1556	-0.0011
鋼珠在 B 感應器的平均速率(m/s)	1.8269	0.7540	0.5072	0.0116
平均加速度(m/s^2)	6.3837	1.6766	0.1556	-0.0011

由表 5.1 可知**空氣黏滯性最小，加速度最大；膠水黏滯性最大，加速度最小。且加速度為負，合力 F 向上；加速度為正，合力 F 向下。**

表 5.2: 鋼珠在不同溫度水中落下的平均用時，A 感應器的平均速率、B 感應器的平均速率與平均加速度關係表

溫度($^\circ C$)	50	40	30	20	10
平均用時(s)	0.1867	0.2069	0.2330	0.2499	0.2001
鋼珠在 A 感應器的平均速率(m/s)	0.7970	0.8780	0.3648	0.4664	0.7148
鋼珠在 B 感應器的平均速率(m/s)	0.8282	0.7274	0.7181	0.7576	0.7037
平均加速度(m/s^2)	0.1675	-0.7278	1.5161	1.1653	-0.0556

由表 5.2 可知溫度對其加速度沒有顯著影響。且**加速度為負，合力 F 向上；加速度為正，合力 F 向下。**

三、用錄影分析鋼珠由斜坡滾到量筒後在量筒內運動情形：

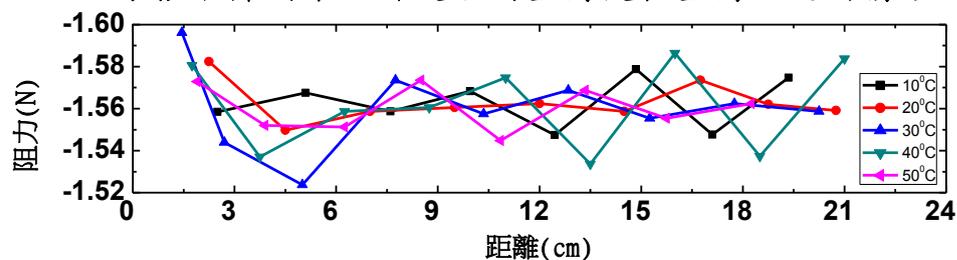


圖 5.1: 鋼珠在溫度為 $10^\circ C$ 、 $20^\circ C$ 、 $30^\circ C$ 、 $40^\circ C$ 、 $50^\circ C$ 水中的距離與阻力關係圖

由圖 5.1 可知在不同溫度的水中其**阻力有震盪之情形**，推論是因為**鋼珠的滾動，造成阻力的震盪變化，且此時阻力之方向仍然為向上**

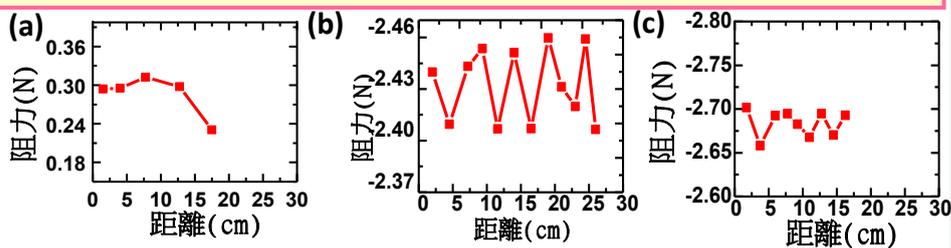


圖 5.2: 鋼珠在空氣(a)、油(b)及水(c)中的距離與阻力關係圖

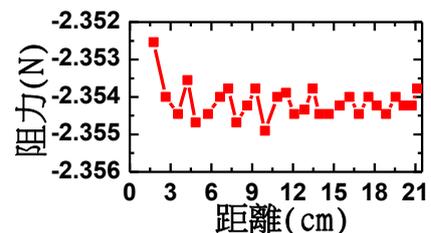


圖 5.3: 鋼珠在膠水中的距離與阻力關係圖

由圖 5.3 可知**膠水黏滯性大，阻力變化起伏在一定的範圍內，且相當顯著。因此推測，膠水的黏滯性，對物體轉動時產生的阻力影響較為顯著，且造成之阻力方向亦為向上。**

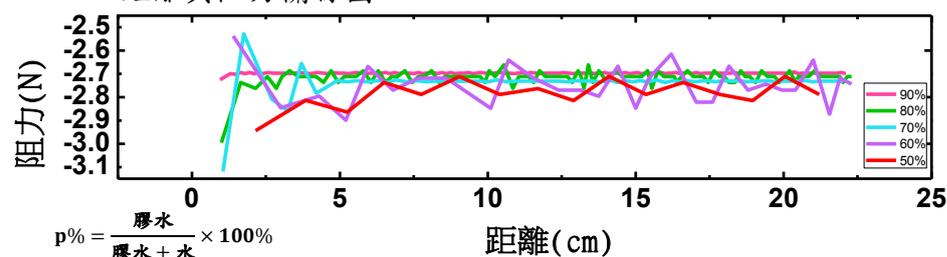


圖 5.4: 鋼珠在不同濃度膠水中的距離與阻力關係圖

由圖 5.4 可知**膠水濃度越小，黏滯性越小，阻力震盪也越明顯。**

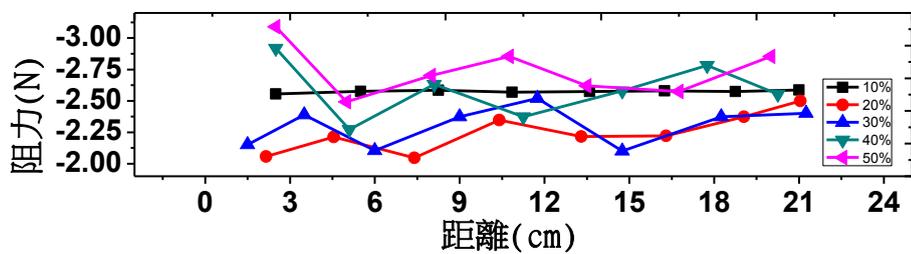


圖 5.5: 鋼珠在油水比例為 10%、20%、30%、40%及 50% 中的距離與阻力關係圖

由圖 5.5 可知鋼珠在 10% 的油水混合液中落下阻力較其他穩定很多，推測是因為混合較均勻的關係。其餘的因為混合不均阻力變化較大。

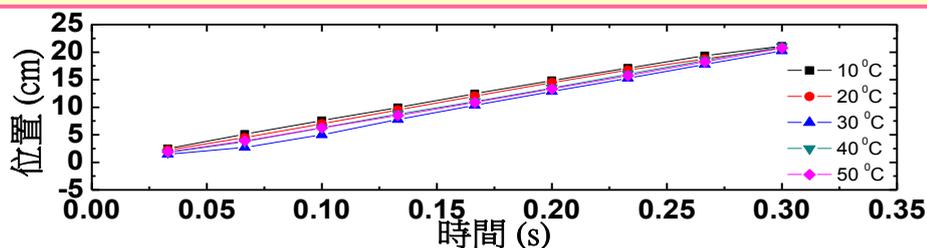


圖 5.6: 鋼珠在溫度為 $10^\circ C$ 、 $20^\circ C$ 、 $30^\circ C$ 、 $40^\circ C$ 、 $50^\circ C$ 水中的位置與時間關係圖

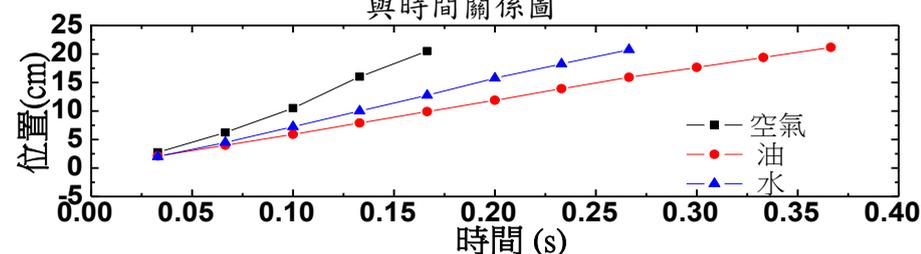


圖 5.7: 鋼珠在空氣、油及水中的位置與時間關係圖

由圖 5.7 可知前三點三者位置接近，但第四點鋼珠在**空氣比在其餘兩者下降多**，推測鋼珠在空氣中的阻力較油與水小。

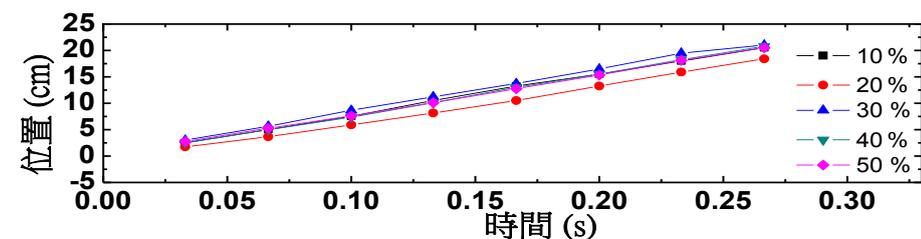


圖 5.8: 鋼珠在油水比例為 10%、20%、30%、40%及 50% 中的位置與時間關係圖

四、用光電計時器和自由落體模擬器分析鋼珠掉入量筒內的運動情形：

表 5.3: 鋼珠在不同物質中落下的平均用時，A 感應器的平均速率、B 感應器的平均速率與平均加速度關係表

代測物	空氣	水	大豆沙拉油	膠水
平均用時(s)	0.1088	0.1951	0.5879	7.5738
鋼珠在 A 感應器的平均速率(m/s)	1.1021	0.9519	0.5621	0.0245
鋼珠在 B 感應器的平均速率(m/s)	2.0299	0.8821	0.5080	0.0175
平均加速度(m/s^2)	8.5262	-0.3579	-0.0920	-0.0009

由表 5.3 可知，鋼珠在空氣中自由落下時，合力向下，而水、油與膠水中的合力向上。

表 5.4: 鋼珠在不同溫度水中落下的平均用時，A 感應器的平均速率、B 感應器的平均速率與平均加速度關係表

溫度($^\circ C$)	90	70	50	30	10
平均用時(s)	0.1925	0.1880	0.1959	0.1953	0.1944
鋼珠在 A 感應器的平均速率(m/s)	0.9519	0.9022	0.8660	0.8912	0.7724
鋼珠在 B 感應器的平均速率(m/s)	0.9577	0.8660	0.8297	0.7711	0.7552
平均加速度(m/s^2)	0.0299	-0.1925	-0.1854	-0.6148	-0.0884

五、用錄影和自由落體模擬器分析鋼珠掉入量筒後在量筒內運動情形：

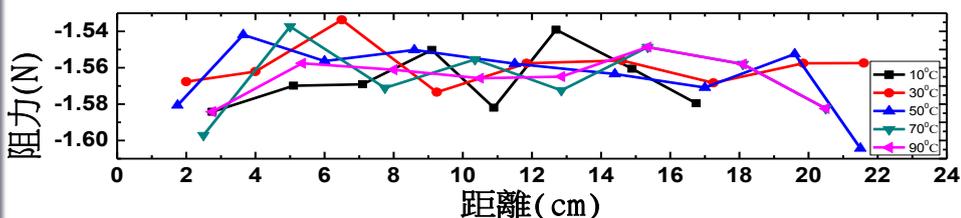


圖 5.9: 鋼珠在溫度為 $10^\circ C$ 、 $30^\circ C$ 、 $50^\circ C$ 、 $70^\circ C$ 與 $90^\circ C$ 水中的距離與阻力關係圖

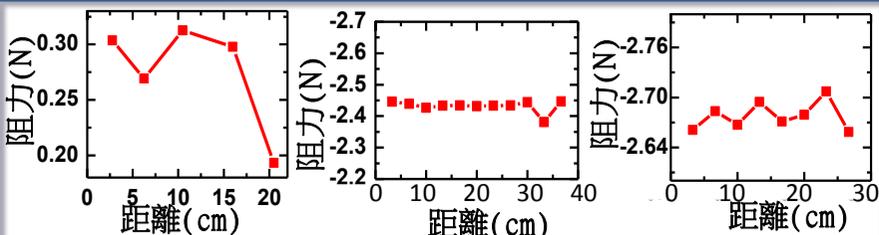


圖 5.10：鋼珠在空氣、油及水中的距離與阻力關係圖

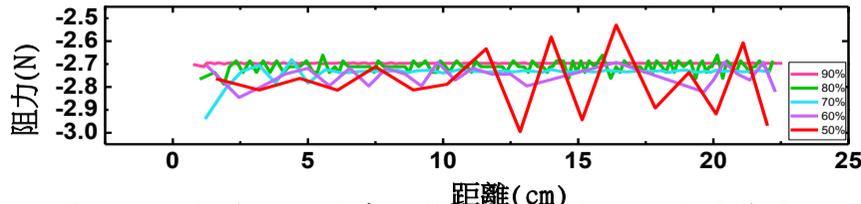


圖 5.11：鋼珠在不同濃度膠水中的距離與阻力關係圖

由圖 5.11 可知鋼珠在濃度較小的膠水中阻力變化較大，由此可知膠水黏滯性愈小，阻力震盪愈大。

$$p\% = \frac{\text{膠水}}{\text{膠水} + \text{水}} \times 100\%$$

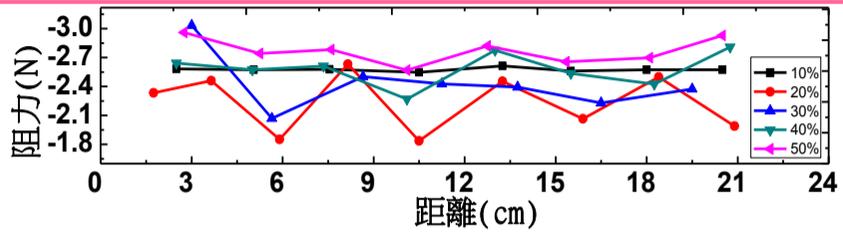


圖 5.12：鋼珠在油水比例 10% 到 50% 中的距離與阻力關係圖

由圖 5.12 可知鋼珠在 10% 的油水混合液中落下的阻力一樣較其他都穩定很多。原因推測也是因為混合不均勻而導致阻力變化較大。

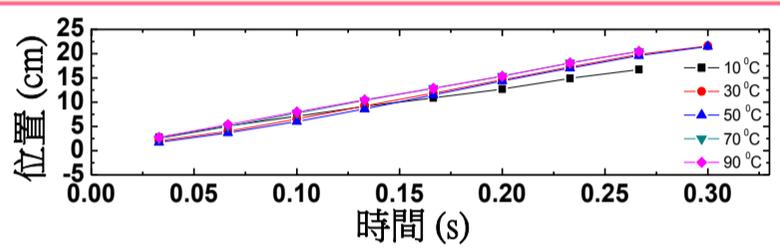


圖 5.13：鋼珠在溫度為 10°C、30°C、50°C、70°C 與 90°C 水中的位置與時間關係圖

由圖 5.13 可知 10°C 後半段線條比其餘的偏差了一點，推測是因為溫度低較容易吸收外界熱量。

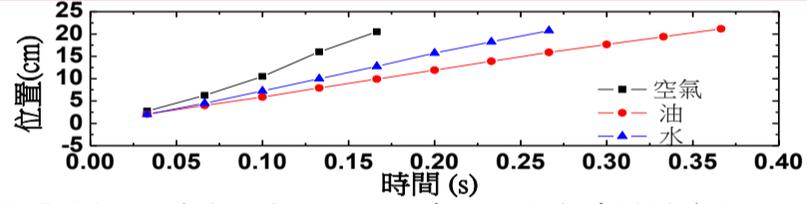


圖 5.14：鋼珠在空氣、油及水中的位置與時間關係圖

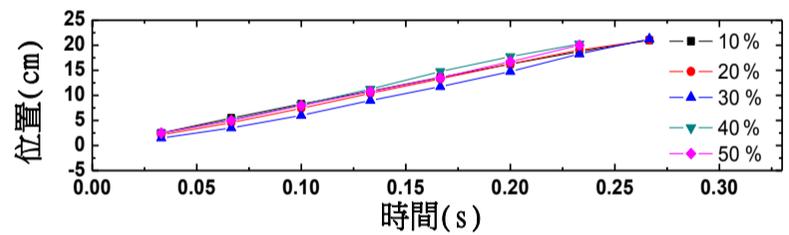


圖 5.15：鋼珠在油水比例分別為 10%、20%、30%、40% 及 50% 中位置與時間關係圖

由圖 5.15 可知不同濃度的混合液隨時間，位置原本有重疊，但後來有逐漸散開在回到重疊，推測是攪拌不均導致油水分離，通過油水界面後加速度就不同了。

陸、討論

- 根據研究結果，除了加速度，液體黏滯性對鋼珠造成的阻力，可能是使其掉落距離不一致的其中一個原因，此外，由於鋼珠從斜坡滑落，我們推測鋼珠在量筒內也是一邊滾一邊落下，這也可能是造成掉落時間和距離不一的原因。
- 斜坡組中用光電計時器測量時間中的基本組(空氣、水、油及膠水)，可以發現黏滯性大小明顯影響鋼珠掉落的用時，黏滯性愈大鋼珠掉落的用時就愈長。加速度：空氣 > 水 > 油 > 膠水，符合了黏滯性愈大加速度愈小。而合力 F 的方向：如果 a 為正則 F 向下、液體阻力較小；若 a 為負則 F 向上、液體阻力較大。溫度組的 50~20°C 隨著溫度下降，鋼珠落下的用時就越長，但到了 10°C 鋼珠落下的用時又變短到和 40°C 的相近。
- 在斜坡組中利用錄影的方式分析的數據中，加速度有負有正，膠水阻力變化較小。錄影組的基本組、溫度組和光電計時器的基本組、溫度組相似處不多，但用錄影的方式可以進一步分析物理量。而油水混合液實驗，不同

濃度的溶液中，存在加速度相對較小的結果，而阻力無顯著差異。

四、自由落體組中的油水組，10% 油水混合溶液阻力變化較小。推測是因加的乳化劑(沐浴乳)都是 10ml，所以導致濃度愈大愈難混合在一起。

五、光電計時器和自由落體模擬器測量鋼珠掉落時間實驗中，我們加大了溫差，但加速度並無顯著影響。在斜坡上滑下時，鋼珠滾動與移動所造成的阻力總效果，會影響鋼珠滾動的阻力方向。油的黏滯性較小，使其滑下過程中，滾動造成的影響較小；膠水的黏滯性大，使其滑下過程中，滾動造成的影響更為顯著。

六、自由落體組和斜坡組比較：

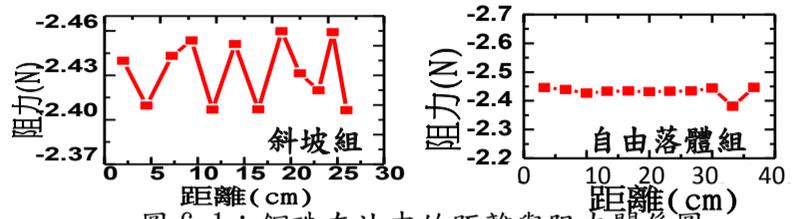


圖 6.1：鋼珠在油中的距離與阻力關係圖

由圖 6.1 可知斜坡組阻力震盪較自由落體組大，推測原因因為斜坡使鋼珠滾動導致震盪較大。

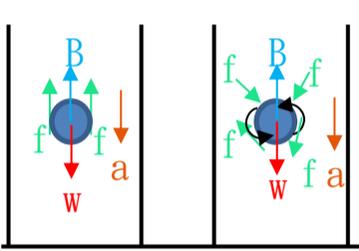


圖 6.2：鋼珠在量筒中的阻力震盪模擬圖

由圖 6.2 可知若鋼珠自由落入量筒液體阻力方向為上，鋼珠受阻力面積較為固定。但鋼珠落入量筒並在量筒內持續滾落，鋼珠受阻力面積不固定，且鋼珠轉動可能會帶動液體向上或向下流動，因此造成阻力方向不一，並造成阻力震盪。

七、分析黏滯係數:Stoke's Drag 定律： $f_m = 3\pi\eta VD$
 η :黏滯係數， V :鋼珠體積， D :鋼珠直徑。

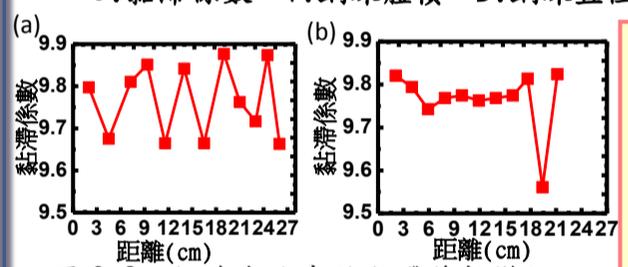


圖 6.3：鋼珠在油中的黏滯係數變化。

(a)斜坡組 (b)自由落體組

由圖 6.3 可知鋼珠產生滾動時，黏滯係數震盪，而鋼珠不滾動時，黏滯係數穩定。

柒、結論

- 鋼珠的滾動會影響其不同液體中的加速度、掉落時間、距離和阻力變化。
- 液體黏滯性愈大，鋼珠掉落的用時愈長，代表此時所產生之阻力越大。
- 膠水對鋼珠造成的阻力都起伏在一定範圍內，且阻力變化較小
- 油水混合液中，混合液越均勻，阻力變化越小。
- 當加速度為正時，則合力向下，液體阻力小；加速度為負，則合力向上、液體阻力大。
- 當鋼珠由滾動落下黏滯係數震盪變化，自由落下黏滯係數較穩定。

捌、未來展望

此實驗可以運用於將藥物注射進血液，分析藥物在血液中黏滯性的變化。以類似的計算，找出血液對藥物進入時所造成的阻力，就能判斷應如何注射藥物使其順暢進入血液，而不會因血液的黏滯性使藥物速度變慢，或可以使其更快到達目的地，讓患者減少等待藥效發揮的時間。

玖、參考資料

- 中華民國第 56 屆中小學科學展覽會。"黏"綿不絕—液體黏滯性對物質沉降影響探討
- 中華民國第 55 屆中小學科學展覽會。逆流而上~測量物體於流體中所受阻力之創新實驗設計與簡易方法
- 中華民國第 48 屆中小學科學展覽會。「如膠似漆乎」—液體的黏滯性之研究
- 臺灣 2006 年國際科學展覽會。氣泡在黏滯性液體中的運動
- 臺灣 2013 年國際科學展覽會。水中的華爾滋
- 翰林版自然與生活科技課本(2016)。第五冊第一章直線運動