

探討溫度、濃度對液體內部阻力的影響

高中組物理第一名

台灣省立彰化女子高級中學

作者：朱清華·賴慧珠
黃麗卿·陳美齡
林裕玲

指導老師：李瑞華，施烱崇

一、動機：

從教材中，我們得知固體間有摩擦阻力，而液體於流動中亦有內部阻力，其大小是否與物質種類、溫度、濃度等因素有關呢？有何關係式呢？這些問題引起我們探討的興趣。故作此實驗，以得其結論。

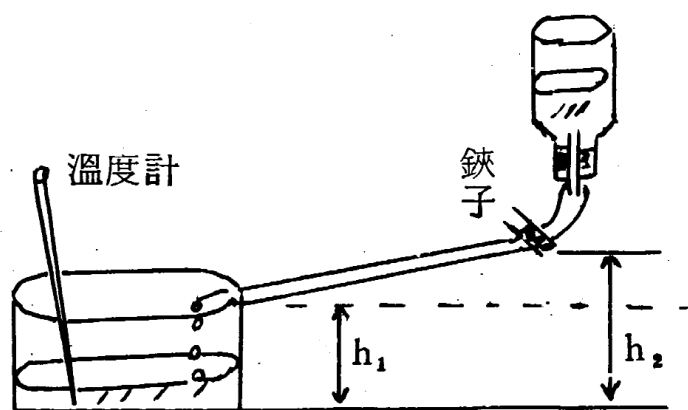
二、實驗目的：

- (一)設計十三種實驗裝置。
- (二)經由三實驗裝置，測各種液體的黏度，而求出其溫度和黏度的關係式。
- (三)經由實驗，求各種液體的濃度和黏度的關係。
- (四)求各種混合溶液的分子率 and 黏度的關係。

三、儀器與材料：

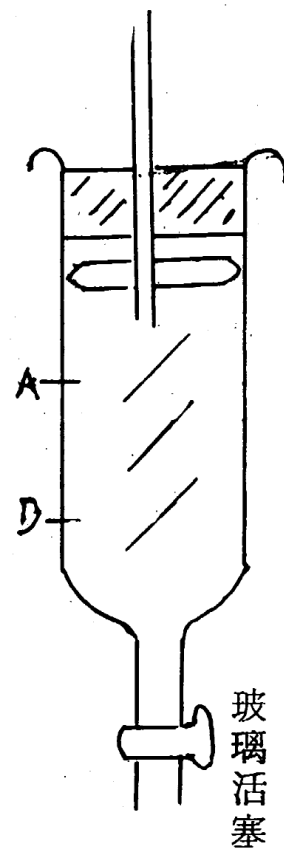
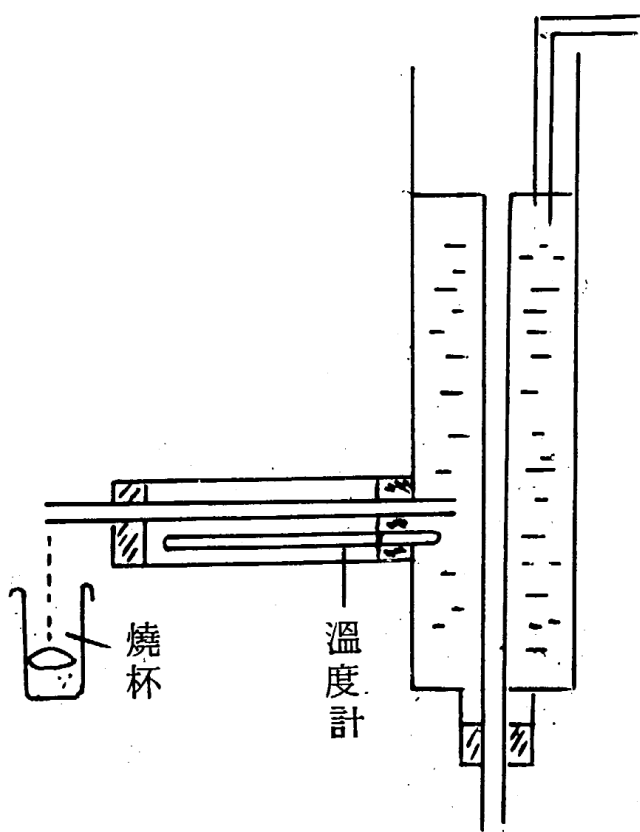
測驗黏度儀器三組A，B，C（如圖一，二，三）。

(圖一)



(圖二)

(圖三)



量筒、停錶、苯、酒精、甘油、蒸餾水、溫度計、凡士林、滴管、水銀、蓖麻油、鋼球、四氯化碳、比重計、毛細管、銀丹。

四、原 理：

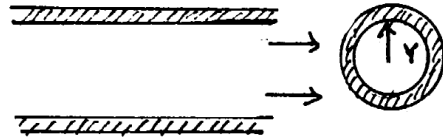
(一)實驗裝置 A 和 B (如圖一、二)之原理如下：

液體通過管中，其接近於管壁之層，可謂始終靜止，其速以漸近中心者漸大。若假想管中液體由多數共軸空圓筒而成，內外筒接觸面因有相對運動，生成類似摩擦之抵抗。在內筒者受外筒者之阻尼，而被更內筒者牽引，此阻尼之性質，即黏滯性。

相距 Δr 內外層之速差為 ΔV ，則液體所生應變為 $\frac{\Delta V}{\Delta r}$ ，

而單位面積上依黏滯性之抵抗為

$$E = \eta \frac{\Delta V}{\Delta r},$$



η 為液體之黏滯係數 (即黏度)，即本實驗所欲測定之值。實驗方法係令液體通過長毛細管中測定之，如管孔半徑為 R 厘米，管長 ℓ 厘米，管兩端壓力之差為每平方厘米 P 達因， t 秒間流過之液體體積為 V 立方厘米，則該液體之黏度為：

$$\eta = \frac{\pi P t R^4}{8 V \ell} = \frac{\pi h \rho g t R^4}{8 V \ell} \quad [\text{C.G.S. 單位}]$$

(二)實驗裝置 (如圖三) C 之原理如下：

用同一容器、同一球體，於恒溫下對各種液體，測定在各液體中落下一定距離所需之時間。

設半徑 r 之固體圓球，在黏度為 η 之液體中以一定速度 V 墜下時，則其球體所受之重力，必與其所受之液體阻力相等。

$$\frac{4}{3} \pi r^3 (D-d) g = f V = 6 \pi \eta r V,$$

$$\therefore \eta = \frac{2 g r^2 (D-d)}{9 V} = \frac{2 g r^2 (D-d) t}{9 \ell},$$

式中 t 爲時間， D 和 d 分別爲球體和液體的密度。

五、實驗步驟：

(一)用實驗裝置 A。

- 1 將毛細管以洗滌液洗至極潔淨，後用蒸餾水沖洗，烘乾之。
- 2 先檢毛細管之孔徑，是否各處相同，以毛細管置入水銀槽中，吸入約數厘米之水銀線送向管內各處，檢查其線長是否相同，測其長 l 及質量 m 後，則管徑 $R = \sqrt{\frac{m}{\pi l \rho}}$ 。
- 3 以量杯承接滴下的純水，算出流量爲 V ，並記經過時間爲 t 秒。
- 4 測液面距毛細管之垂直高度 h_1 ，求毛細管兩端壓力之差。
- 5 由以上所得 l ， R ， t ， V ， P 各值代入公式，求黏度大小。
- 6 求在不同溫度下，水的黏度。在同溫測三次得一平均值。

(二)用實驗裝置 B。

- 1 依上述同法測出於不同溫度下水的黏度。
- 2 依上述同法測在不同溫度下乙醇的黏度。
- 3 依上述同法測不同溫度下，不同濃度的乙醇的黏度。
- 4 同上法測定甲醇—乙醇比例不同的混合溶液之黏度，求分子率和黏度關係。

(三)用實驗裝置 C。

- 1 將小墜球（銀丹）由導引管送入，測定墜球最下端經過二點處所需時間，並記取溫度。
- 2 測三次以求其平均值，求得水在不同溫度下的黏度。
- 3 同上法以鋼球測定甘油在各溫度下之墜落時間。
- 4 按常法分別測定墜球及試液比重，求甘油黏度。
- 5 同上法測定四氯化碳—苯，乙醇—甲醇比例不同混合溶液之黏度，求分子率和黏度關係。

六、測定結果：

(一)純水在不同溫度下的黏度（用裝置 A）。

1 毛細管的半徑。

	長度 L (cm)	質量 m (g)	半 徑 $r = \sqrt{\frac{m}{\pi L P}}$	半 徑 平均 值
1	3.8	3.89	0.1548 cm	0.153 cm
2	2.9	2.80	0.1503 cm	
3	3.8	3.82	0.1534 cm	

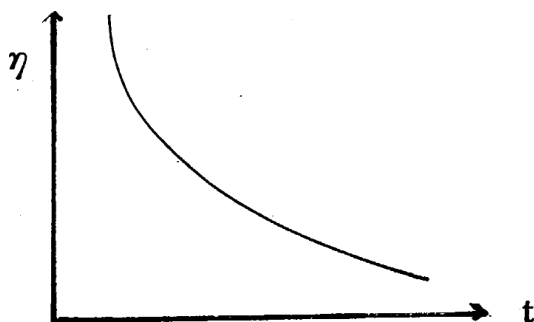
2 純水的溫度與黏度。

$\ell = 29.0 \text{ cm}$, $h = 8.9 \text{ cm}$ 。

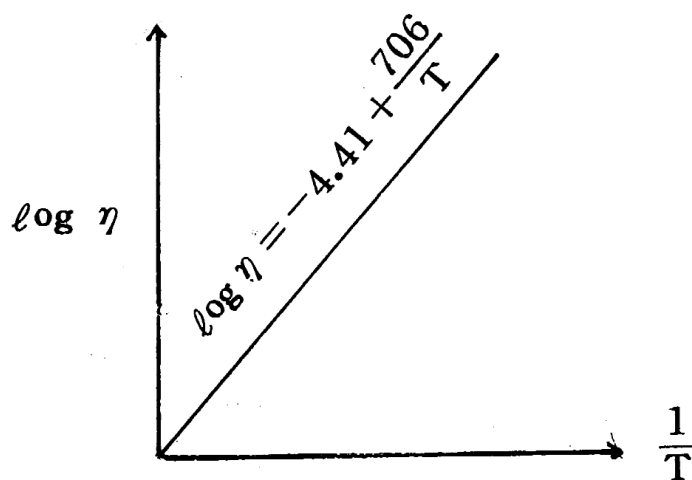
溫 度	$\frac{1}{T}$	時間 t	體積 V	$\eta = \frac{\pi R^4 \rho g h t}{8 V \ell}$ ($\times 10^{-2}$)	平均值 η ($\times 10^{-2}$)	$\log \eta$
14°C	0.00348	8.0	50	1.035	1.042	-1.982
		4.7	30	1.013		
		5.0	30	1.078		
16°C	0.00346	4.2	30	0.906	0.981	-2.008
		3.0	20	0.970		
		3.3	20	1.067		
19°C	0.00342	7.7	50	0.996	0.938	-2.027
		8.4	60	0.906		
		11.3	80	0.914		
30°C	0.00330	9.8	80	0.792	0.035	-2.095
		9.8	80	0.792		
		10.2	80	0.825		
32°C	0.00328	9.9	80	0.800	0.798	-2.097
		9.7	80	0.784		
		10.0	80	0.808		
34°C	0.00326	9.4	80	0.760	0.768	-2.114
		9.7	80	0.784		
		9.4	80	0.760		

36°C	0.00323	9.2	80	0.744	0.749	- 2.925
		9.2	80	0.744		
		9.4	80	0.760		
38°C	0.00321	9.2	80	0.744	0.744	- 2.128
		9.4	80	0.760		
		9.0	80	0.728		
40°C	0.00366	9.1	80	0.736	0.722	- 2.141
		9.2	80	0.744		
		8.5	80	0.687		

3. 純水的溫度與黏度關係曲線。



4. 純水的溫度倒數與黏度對數關係曲線。



⊕ 1 純水在不同溫度下的黏度（用裝置 B）。

(1) 毛細管半徑。

	長度 L (cm)	質量 m (g)	半 徑 $r = \sqrt{\frac{m}{\pi L \rho}}$	平 均 值
1	5.2	4.28	0.1388 cm	0.138 cm
2	8.5	6.93	0.1381 cm	
3	8.0	6.48	0.1377 cm	

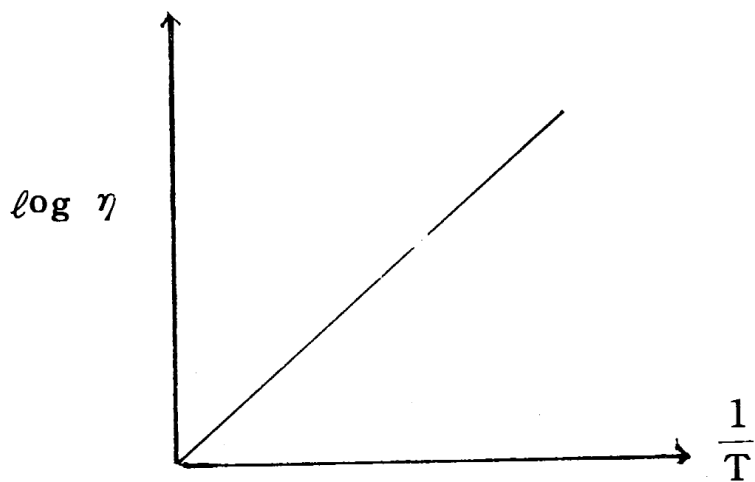
(2) 純水的溫度與黏度。

$$\ell = 29.8 \text{ cm}, \quad h = 16 \text{ cm}。$$

溫 度	$\frac{1}{T}$	時間 t	體積 V	$\eta = \frac{\pi R^4 P t}{8 V \ell}$ ($\times 10^{-2}$)	平均值 ($\times 10^{-2}$)	$\log \eta$
4°C	0.00361	11.6	44.0	1.9671	1.9670	-1.7063
		9.5	36.0	1.9675		
		5.8	22.0	1.9667		
7°C	0.00357	5.2	22.0	1.7520	1.7520	-1.7565
		6.1	40.0	1.7515		
		6.1	26.0	1.7525		
9°C	0.00354	16.0	75.0	1.5986	1.5211	-1.8182
		9.0	46.0	1.4660		
		10.0	50.0	1.4986		
13°C	0.00349	6.0	32.0	1.4050	1.4692	-1.8416
		2.9	16.0	1.3581		
		11.1	13.5	1.5547		
15°C	0.00347	4.1	24.0	1.2801	1.3981	-1.8539
		8.0	41.0	1.4621		
		9.9	51.0	1.4545		

18°C	0.00343	5.0	32.0	1.1708	1.2209	-1.9136
		10.0	55.5	1.3501		
		4.8	31.5	1.1418		
28°C	0.00332	6.1	51.0	0.9012	0.9116	-2.0402
		6.1	50.0	0.9211		
		6.7	55.0	0.9127		
38°C	0.00321	3.0	35.0	0.6521	0.6540	-2.1844
		2.8	33.0	0.6438		
		3.2	36.0	0.6641		
48°C	0.00311	2.5	35.0	0.5321	0.5333	-2.2730
		2.3	33.0	0.5279		
		2.2	30.0	0.5410		
53°C	0.00307	2.6	41.0	0.4810	0.4853	-2.3139
		2.9	45.0	0.4821		
		2.6	40.0	0.4930		
68°C	0.00293	2.3	51.0	0.3303	0.3303	-2.4811
		2.3	50.0	0.3406		
		2.2	52.0	0.3200		

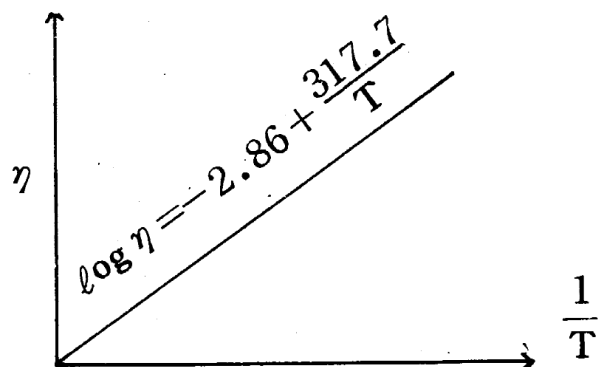
(3) 純水的溫度倒數與黏度對數之關係曲線。



2(1) 99%乙醇的溫度與黏度。

溫度	$\frac{1}{T}$	時間 t	體積 V	$\eta = \frac{\pi R^4 \rho g h t}{8 V \ell}$	平均值 η	$\log \eta$
53°C	0.00306	11.2	19.0	0.01270	0.01279	-1.8928
		6.2	30.0	0.01230		
		10.2	47.0	0.01270		
49°C	0.00312	8.0	25.0	0.01318	0.01419	-1.8580
		5.4	14.5	0.01534		
		10.9	32.0	0.01403		
39°C	0.00320	0.2	2.5	0.01469	0.01469	-1.8329
		1.4	14.5	0.01579		
		0.3	32.0	0.01359		
32°C	0.00327	2.7	6.5	0.01712	0.01620	-1.8252
		5.1	14.0	0.01501		
		2.0	5.0	0.01648		
24°C	0.00336	5.2	11.5	0.01863	0.01836	-1.7956
		10.2	22.0	0.01910		
		6.1	14.5	0.01733		
2°C	0.00363	2.0	20.0	0.01940	0.01944	-1.7113
		6.1	50.0	0.02060		
		2.7	25.0	0.01820		

(2) 99%乙醇的溫度和黏度關係曲線。



3. 不同濃度的乙醇溫度與黏度。

(1) 90%乙醇溫度與黏度。

溫度	時間	體積	$\eta = \frac{\pi R^4 \rho g h t}{8 V \ell}$	平均值 η
49 °C	4.3	17.0	0.01350	0.01350
	5.6	22.5	0.01340	
	9.2	36.5	0.01360	
39 °C	6.0	20.0	0.01383	0.01380
	3.1	13.5	0.01376	
	5.1	22.0	0.01389	
32 °C	4.0	18.0	0.01332	0.01485
	6.0	22.0	0.01635	
	4.1	10.5	0.01489	
24 °C	3.9	10.5	0.01781	0.01689
	4.3	13.0	0.01586	
	5.5	15.5	0.01701	
19 °C	1.5	13.0	0.02060	0.02198
	1.6	3.0	0.02198	
	1.7	3.0	0.02335	

(2) 80%乙醇溫度與黏度。

溫度	時間	體積	$\eta = \frac{\pi R^4 \rho g h t}{8 V \ell}$	平均值 η
49 °C	7.0	32.0	0.01311	0.01282
	3.1	16.0	0.01161	
	10.1	44.0	0.01376	
39 °C	5.1	19.0	0.01287	0.01294
	5.9	21.0	0.01347	
	9.5	36.5	0.01248	

32°C	5.4	19.0	0.01363	0.01393
	7.0	23.0	0.01459	
	3.4	12.0	0.01358	
24°C	4.8	17.5	0.01644	0.01589
	7.1	27.5	0.01547	
	13.0	49.0	0.01577	
19°C	4.0	14.0	0.01712	0.01699
	6.9	25.0	0.01654	
	9.1	31.5	0.01731	

(3) 70%乙醇溫度與黏度。

溫度	時間	體積	$\eta = \frac{\pi R^4 \rho g h t}{8 V \ell}$	平均值 η
49°C	2.1	6.5	0.01331	0.01215
	0.9	4.0	0.00927	
	3.2	9.5	0.01331	
39°C	3.0	14.0	0.01153	0.01249
	5.0	21.0	0.01280	
	2.2	9.0	0.01350	
32°C	4.0	15.5	0.01257	0.01322
	6.0	23.5	0.01243	
	13.1	43.5	0.01466	
24°C	5.0	16.0	0.01522	0.01548
	2.0	7.0	0.01391	
	3.2	9.0	0.01731	
19°C	1.0	4.0	0.01340	0.01585
	2.2	7.0	0.01690	
	3.2	10.0	0.01721	

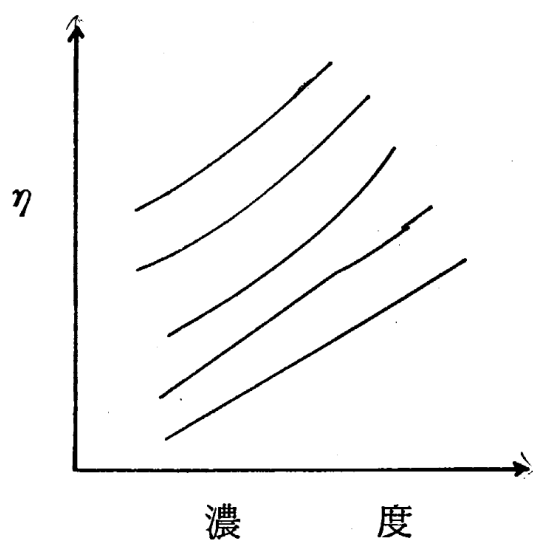
(4) 60%乙醇溫度與黏度。

溫度	時間	體積	$\eta = \frac{\pi R^4 \rho g h t}{8 V \ell}$	平均值 η
49 °C	5.0	24.0	0.01121	0.01131
	4.0	19.0	0.01133	
	7.0	33.0	0.01141	
39 °C	3.0	12.0	0.01218	0.01157
	5.0	23.0	0.01036	
	15.0	60.0	0.01218	
32 °C	6.0	26.0	0.01242	0.01249
	4.1	17.0	0.01292	
	8.1	36.0	0.01210	
24 °C	7.1	27.0	0.01415	0.01498
	2.1	7.0	0.01614	
	3.0	11.0	0.01467	
19 °C	5.0	16.5	0.01623	0.01540
	3.0	9.0	0.01476	
	10.0	32.0	0.01522	

(5) 不同濃度的乙醇溫度與黏度。

溫度 黏度 濃度	19 °C	24 °C	32 °C	39 °C	49 °C
99 %	0.002206	0.01836	0.01620	0.01469	0.01419
90 %	0.02198	0.01689	0.01485	0.01383	0.01350
80 %	0.01699	0.01589	0.01393	0.01294	0.01282
70 %	0.01585	0.01548	0.01322	0.01249	0.01215
60 %	0.01540	0.01498	0.01249	0.01157	0.01131

(6) 乙醇的濃度與黏度之恒溫曲線。



(B) 1 水的溫度與黏度關係 (用裝置 C)。

(1) 小塑膠球。

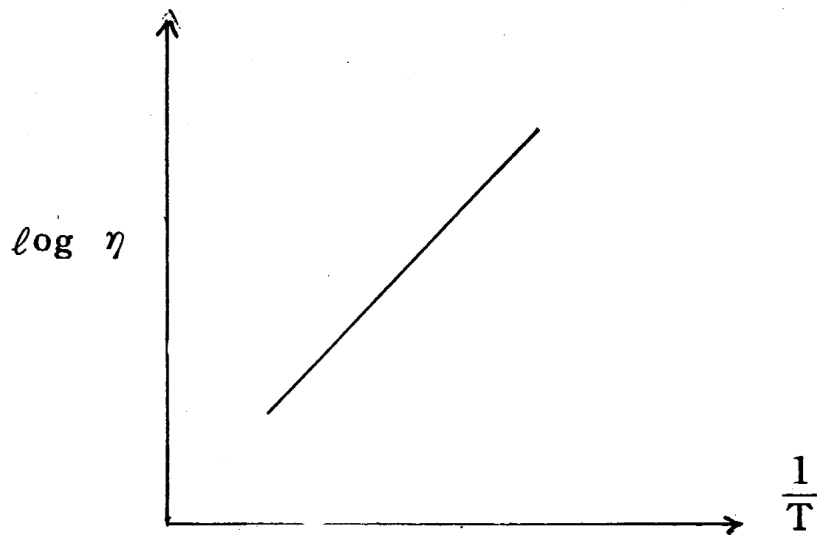
塑膠球直徑 (mm)	直徑平均值	半徑 r	質量 M	密度 D
2.420	0.234 cm	0.117 cm	$\frac{90 \text{ mg}}{7 \text{ 個}} = 12.9 \text{ mg/個}$	1.925 g/cm ³
2.315				
2.285				
2.340				

(2) 水的溫度與黏度。

$$\ell = 10 \text{ cm}$$

溫度	$\frac{1}{T}$	時間				$\eta = \frac{2gr^2(D-d)t}{9\ell}$	$\log \eta$
		1	2	3	平均		
45°C	0.00314	2.2	2.0	2.4	2.2	0.599	- 0.2226
55°C	0.00305	1.9	1.7	1.8	1.8	0.505	- 0.2968
65°C	0.00295	1.6	1.7	1.5	1.6	0.430	- 0.3666
75°C	0.00287	1.2	1.4	1.6	1.4	0.380	- 0.4203
85°C	0.00279	1.2	1.3	1.1	1.2	0.336	- 0.4737
95°C	0.00271	1.2	1.1	1.0	1.1	0.305	- 0.5157

(3) 水的溫度倒數與黏度對數之關係曲線。



2 甘油的溫度與黏度關係。

(1) 鋼球。

鋼球直徑 (mm)	直 徑 平 均 值	半 徑 r	質 量 M	$D = \frac{M}{V}$ 密 度
1.882	0.191 cm	0.096 cm	$\frac{940 \text{ mg}}{32 \text{ 個}}$ = 29.3 mg / 個	7.94 g / cm ³
1.975				
1.895				

(2) 甘油的溫度與黏度。

$$l = 10 \text{ cm}$$

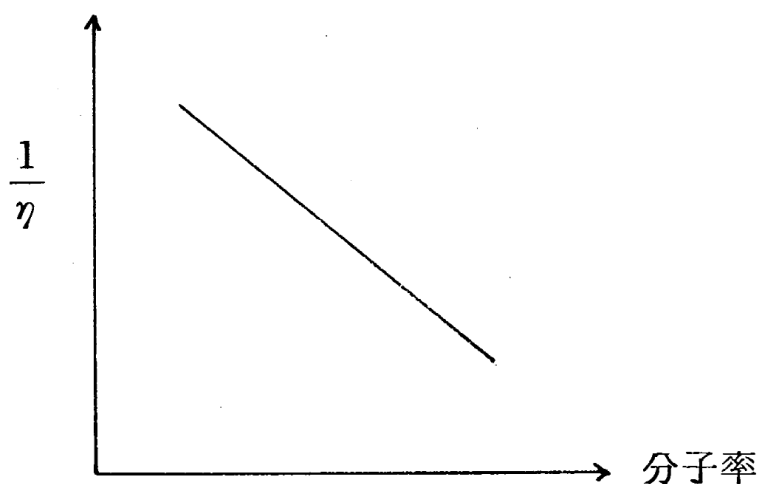
銀丹直徑 (mm)	直 徑 平 均 值	半 徑 r	質 量 M	密 度 D
2.415	0.234 cm	0.117 cm	$\frac{320 \text{ mg}}{22 \text{ 個}}$ = 14.5 mg / 個	2.164 g / cm ³
2.315				
2.255				
2.355				

(3) 苯和四氯化碳混合溶液的分子率和黏度。

$$\text{苯分子數} = \frac{150 \times 0.88}{78} = 1.6923$$

混合液 密度	四氯化碳 體積	時間			四氯化碳 分子數	分子率	$\eta = \frac{2gr^2(D-dt)}{9l}$	$\frac{1}{\eta}$
		1	2	平均				
0.975	20	0.9	1.1	1.00	0.2078	0.1093	0.3545	2.8211
1.005	30	0.9	1.2	1.05	0.3117	0.1555	0.3627	2.7563
1.010	40	1.1	1.1	1.10	0.4156	0.1971	0.3748	2.6425
1.030	50	1.1	1.2	1.15	0.5195	0.2348	0.3887	2.5721
1.040	60	1.2	1.2	1.20	0.6234	0.2692	0.4019	2.4879

(4) 苯和四氯化碳混合溶液的分子率和黏度倒數之關係曲線。



七、討論與結論

- (一) 每次變更插入溢出管之深淺，增減液面高度次復置液面高度不變，漸次減短毛細管之長以測各黏度而平均之，當較為準確。
- (二) 測定乙醇黏度時，於液面上放些蓖麻油液以避免蒸發，當較為準確。
- (三) 若用毛細管法，測定黏度較大之液體時，其流下時間甚久，並

因常有液體附著於管壁，故甚難測得精確結果，此時可用落體法測定，較為準確。

(四)用落體法測定，黏度較小之落體時，誤差較大，因墜球落下時間甚短，須改用毛細管法測定，較為準確。

(五)液體之黏度因溫度升高而降低，因溫度增高分子因之結合力被破壞，分子間滑動更易，以致其黏度低。

(六)水和乙醇的黏度的對數和絕對溫度的倒數成正比，即液體的黏度和溫度的關係式為

$$\log \eta = A + \frac{B}{T} \quad \circ$$

(七)由實驗結果得知液體的黏度隨溶液濃度的增大而增大。

(八)一般混合溶液，分子率愈大，黏度愈大。

(九)混合溶液黏度的倒數與分子率（分子數）之關係曲線成一直線時，表示該溶液為理想溶液，即兩者之間無化學效應，且其性質呈加成性。