实验日：2020.09.08　组号：B4　预习成绩：_________　总成绩：______________

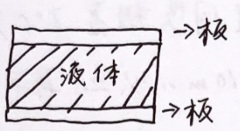
实验（一）液体黏度测定

一．实验目的

实验目的：1. 了解有关液体黏性知识，学习用落球法测液体黏度。
2. 掌握读数显微镜的使用方法。

二．实验原理

实验原理：液体流层之间的摩擦力称为黏滞力，若有如下装置：



板间距为x，面积为S，对上板施加横向力F，保持下板不动，则有：

$$F=\eta S\frac{v}{x}$$

其中v为上板匀速运动速度，η为"黏度"，单位为Pa·s或$kg\cdot m\cdot s^{-1}$。

当一小球在液体中缓慢下落时，球体积很小，液体在各方向上无限宽广，由斯托克斯公式，有黏滞力为：

$$F=6\pi\eta v r$$

当小球下落匀速时，黏滞力、重力、浮力平衡，有：

$$\frac{4}{3}\pi r^3(\rho-\rho_0)g=6\pi\eta v r$$

得：

$$\eta=\frac{2}{9}\frac{(\rho-\rho_0)gr^2}{v}$$

在液体高为H，内径为D的圆筒形容器中修正为：

$$\eta=\frac{1}{18}\frac{(\rho-\rho_0)gd^2}{v(1+2.4\frac{d}{D})(1+3.3\frac{d}{2H})}$$

由于装置中用于测量段长为L且其上下界远离液体上下界，故：

$$\eta=\frac{1}{18}\frac{(\rho-\rho_0)gtd^2}{L(1+2.4\frac{d}{D})}$$

只需测量 ~~L及t即可~~ 相关变量即可计算得到η。

三．数据处理

数据处理

1. 计算不同温度下液体黏度、相对误差及不确定度.

(1) $T=30°C$

$$\bar{\eta}=\frac{1}{18}\frac{(\rho-\rho_0)gt(\bar{d})^2}{L(1+2.4\frac{\bar{d}}{D})}=\frac{1}{18}\frac{(7.80\times10^3-0.95\times10^3)\times9.78\times27.8\times(0.991\times10^{-3})^2}{2\times10^{-1}\times(1+2.4\times\frac{0.991\times10^{-3}}{2\times10^{-2}})}=0.453\ Pa\cdot s$$

$$S_{\bar{D}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(d_i-\bar{d})^2}{n(n-1)}}=\sqrt{\frac{0.013^2+0.007^2+0.009^2+0.010^2+0.006^2}{5\times4}}=\cancel{0.0046637\ mm}\ 0.005\ mm$$

$$u_1=\frac{\Delta_{仪}}{C}=\frac{0.01}{\sqrt{3}}=\cancel{0.00577\ mm}\ 0.006\ mm$$

$$u_d=\sqrt{S_{\bar{D}}^2+u_1^2}=0.008\ mm$$

$$u_t=\frac{\Delta_{仪}}{C}=\frac{0.2}{\sqrt{3}}=0.2\ s$$

$$E_\eta=\frac{u_\eta}{\bar{\eta}}=\sqrt{\left(\frac{\partial\ln\eta}{\partial d}\right)^2u_d^2+\left(\frac{\partial\ln\eta}{\partial t}\right)^2u_t^2}=\sqrt{\left(\frac{2}{d}-\frac{2.4}{D+2.4d}\right)^2u_d^2+\left(\frac{1}{t}\right)^2u_t^2}$$

$$=\sqrt{\left(\frac{2}{0.991\times10^{-3}}-\frac{2.4}{2\times10^{-2}+2.4\times0.991\times10^{-3}}\right)^2\times\cancel{0.008}\,(0.008\times10^{-3})^2+\left(\frac{1}{27.8}\right)^2\times0.2^2}$$

$$=1.7\%$$

$$u_\eta=E_\eta\cdot\bar{\eta}=0.008\ \cancel{mm}\ Pa\cdot s$$

∴有:

$$\boxed{\begin{array}{l}\eta=\bar{\eta}\pm u_\eta=(0.453\pm0.008)\ mm\\ E_\eta=1.7\%\\ (置信概率\ P=68.3\%)\end{array}}$$

(2) $T=36°C$

$$\bar{\eta}=\frac{1}{18}\frac{(\rho-\rho_0)gt(\bar{d})^2}{L(1+2.4\frac{\bar{d}}{D})}=\frac{1}{18}\frac{(7.80\times10^3-0.95\times10^3)\times9.78\times17.8\times(0.996\times10^{-3})^2}{2\times10^{-1}\times(1+2.4\times\frac{0.996\times10^{-3}}{2\times10^{-2}})}=\cancel{0.29352\ Pa\cdot s}\ 0.294\ Pa\cdot s$$

$$S_{\bar{D}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(d_i-\bar{d})^2}{n(n-1)}}=\sqrt{\frac{0.005^2+0.007^2+0.003^2+0.014^2+0^2}{20}}=\cancel{0.003735\ mm}\ 0.004\ mm$$

$$u_2=\frac{\Delta_{仪}}{C}=\frac{0.01}{\sqrt{3}}=0.006\ mm$$

$$u_d=\sqrt{S_{\bar{D}}^2+u_2^2}=0.007\ mm$$

$$u_t=\frac{\Delta_{仪}}{C}=\frac{0.2}{\sqrt{3}}=0.2\ s$$

$$E\eta = \frac{U\eta}{\bar{\eta}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln \eta}{\partial d}\right)^2 U_d^2 + \left(\frac{\partial \ln \eta}{\partial t}\right)^2 U_t^2} = \sqrt{\left(\frac{2}{d} - \frac{2.4}{D+2.4d}\right)^2 U_d^2 + \left(\frac{1}{t}\right)^2 U_t^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{2}{0.996\times10^{-3}} - \frac{2.4}{2\times10^{-2}+2.4\times0.996\times10^{-3}}\right)^2 \times (0.007\times10^{-3})^2 + \left(\frac{1}{17.8}\right)^2 \times 0.2^2} =$$

$$= 1.3\%$$

$$U\eta = E\eta\cdot\bar{\eta} = 0.004\ Pa\cdot s$$

有：

$$\boxed{\begin{array}{l} \eta = \bar{\eta} \pm U\eta = (0.294 \pm 0.004)\ Pa\cdot s \\ E\eta = 1.3\% \\ (\text{置信概率 } P = 68.3\%) \end{array}}$$

(3) $T = 42°C$

$$\bar{\eta} = \frac{1}{18}\frac{(\rho-\rho_0)gt(\bar{d})^2}{L(1+2.4\frac{\bar{d}}{D})} = \frac{1}{18}\frac{(7.8\times10^3-0.95\times10^3)\times9.78\times12.8\times(\cancel{a}\,1.004\times10^{-3})^2}{2\times10^{-1}\times(1+2.4\times\frac{1.004\times10^{-3}}{2\times10^{-2}})} = 0.214\ Pa\cdot s$$

$$S_{\bar{D}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(d_i-\bar{d})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0.003^2+0.004^2+0^2+0.002^2+0.003^2}{20}} = \cancel{0.0013784\ mm}\ 0.002mm$$

$$u_3 = \frac{\Delta_{仪}}{C} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.006\ mm$$

$$U_d = \sqrt{S_{\bar{D}}^2 + u_3^2} = 0.006\ mm$$

$$U_t = \frac{\Delta_{仪}}{C} = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.2\ s$$

$$E\eta = \frac{U\eta}{\bar{\eta}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln \eta}{\partial d}\right)^2 U_d^2 + \left(\frac{\partial \ln \eta}{\partial t}\right)^2 U_t^2} = \sqrt{\left(\frac{2}{d} - \frac{2.4}{D+2.4d}\right)^2 U_d^2 + \left(\frac{1}{t}\right)^2 U_t^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{2}{1.004\times10^{-3}} - \frac{2.4}{2\times10^{-2}+2.4\times1.004\times10^{-3}}\right)^2 \times (0.006\times10^{-3})^2 + \left(\frac{1}{12.8}\right)^2 \times 0.2^2}$$

$$= 1.4\%$$

$$U\eta = E\eta\cdot\bar{\eta} = 0.003\ Pa\cdot s$$

有：

$$\boxed{\begin{array}{l} \eta = \bar{\eta} \pm U\eta = (0.214 \pm 0.003)\ \cancel{mm}\ Pa\cdot s \\ E\eta = 1.4\% \\ (\text{置信概率 } P = 68.3\%) \end{array}}$$

(4) $T = 48^\circ C$

$$\bar{\eta} = \frac{1}{18}\frac{(\rho-\rho_0)gt(\bar{d})^2}{L(1+2.4\frac{\bar{d}}{D})} = \frac{1}{18}\frac{(7.8\times10^3-0.95\times10^3)\times9.78\times8.2\times(1.007\times10^{-3})^2}{2\times10^{-1}\times(1+2.4\times\frac{1.007\times10^{-3}}{2\times10^{-2}})} = 0.138\ Pa\cdot s$$

$$S_{\bar{D}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(d_i-\bar{d})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0.001^2+0.002^2+0.002^2+0.001^2+0^2}{4\times5}} = 0.001mm$$

$$u_{4} = \frac{\Delta_{仪}}{C} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.006mm$$

$$u_d = \sqrt{S_{\bar{D}}^2 + u_4^2} = 0.006mm$$

$$u_t = \frac{\Delta_{仪}}{C} = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.2s$$

$$E_\eta = \frac{u_\eta}{\bar{\eta}} = \sqrt{\left(\frac{\partial\ln\eta}{\partial d}\right)^2u_d^2+\left(\frac{\partial\ln\eta}{\partial t}\right)^2u_t^2} = \sqrt{\left(\frac{2}{d}-\frac{2.4}{D+2.4d}\right)^2u_d^2+\left(\frac{1}{t}\right)^2u_t^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{2}{1.007\times10^{-3}}-\frac{2.4}{2\times10^{-2}+2.4\times1.007\times10^{-3}}\right)^2\times(0.006\times10^{-3})^2+\left(\frac{1}{8.2}\right)^2\times0.2^2}$$

$$= 3\%.$$

$$u_\eta = E_\eta\cdot\bar{\eta} = 0.004\ Pa\cdot s$$

有：

$$\boxed{\begin{array}{l} \eta = \bar{\eta}\pm u_\eta = (0.138\pm0.004)\ Pa\cdot s \\ E_\eta = 3\% \\ (\text{置信概率 } P = 68.3\%) \end{array}}$$

(5) $T = 58^\circ C$

$$\bar{\eta} = \frac{1}{18}\frac{(\rho-\rho_0)gt(\bar{d})^2}{L(1+2.4\frac{\bar{d}}{D})} = \frac{1}{18}\frac{(7.8\times10^3-0.95\times10^3)\times9.78\times5.1\times(0.989\times10^{-3})^2}{2\times10^{-1}\times(1+2.4\times\frac{0.989\times10^{-3}}{2\times10^{-2}})} = 0.080\ Pa\cdot s$$

$$S_{\bar{D}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(d_i-\bar{d})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0.008^2+0.004^2+0.001^2+0.005^2+0.001^2}{4\times5}} = 0.008\ mm$$

$$u_{5} = \frac{\Delta_{仪}}{C} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.006mm$$

$$u_d = \sqrt{S_{\bar{D}}^2 + u_5^2} = \cancel{0.009}\ 0.010mm$$

$$u_t = \frac{\Delta_{仪}}{C} = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.2s$$

$$E_\eta = \frac{u_\eta}{\bar{\eta}} = \sqrt{\left(\frac{\partial\ln\eta}{\partial d}\right)^2u_d^2+\left(\frac{\partial\ln\eta}{\partial t}\right)^2u_t^2} = \sqrt{\left(\frac{2}{d}-\frac{2.4}{D+2.4d}\right)^2u_d^2+\left(\frac{1}{t}\right)^2u_t^2}$$

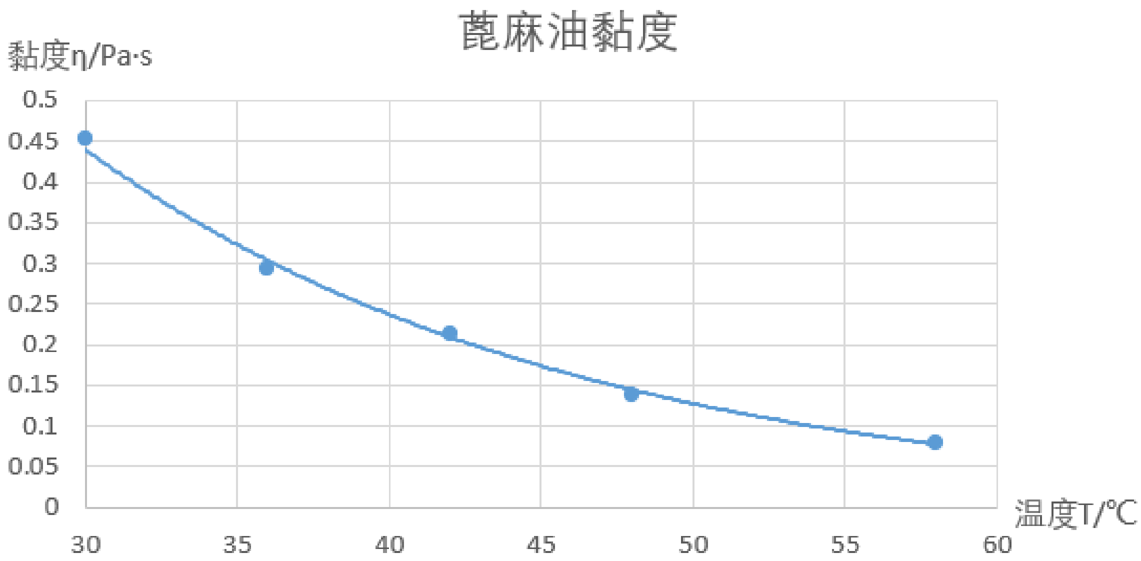
$$= \sqrt{\left(\frac{2}{0.989\times10^{-3}}-\frac{2.4}{2\times10^{-2}+2.4\times0.989\times10^{-3}}\right)^2\times(0.010\times10^{-3})^2+\left(\frac{1}{5.1}\right)^2\times0.2^2} = \cancel{4.2}\ 4\%$$

$u_\eta = E_\eta \cdot \bar{\eta} = 0.003\ Pa\cdot s$

有：

$$\boxed{\begin{array}{l} \eta = \bar{\eta} \pm u_\eta = (0.08 \pm 0.003)\ Pa\cdot s \\ E_\eta = 4\% \\ \text{置信概率}\ P = 68.3\% \end{array}}$$

2.绘制液体粘度与温度的关系曲线



四．实验结论及现象分析

经计算，蓖麻油在不同温度下的黏度为：

温度 T/℃	30	36	42	48	58
黏度 η/Pa·s	0.453	0.294	0.214	0.138	0.080

可见蓖麻油的黏度随温度的升高而降低，且温度越高，黏度的下降率越慢。

五．讨论问题

1.落球法在实验中出现实验误差的原因：

答：①每个温度下只进行了一组实验，因此偶然误差较大；②在落球法实际操作的过程中，难以保证小球沿圆柱形容器的中线下落，因此公式的修正及时间的测量可能会存在误差。

2.为什么液体的黏度随温度的上升而下降：

答：液体分子间距较小，彼此之间比较紧密，温度升高使分子动能升高，促进分子间流动，使液体黏度下降。

3.如果小球在靠近玻璃管壁处下落，会对液体黏度测量值有什么影响：

答：根据公式：

$$\eta=\frac{1}{18}\frac{\left(\rho-\rho_0\right)gt\overline{d}^2}{L\left(1+2.4\frac{\overline{d}}{D}\right)}$$

小球靠近玻璃管壁下落相当于式中 D 比实际值偏大，会使 η 的测量结果比准确值偏大。

4.如果玻璃管是倾斜的，对黏度的测量有什么影响：
答：根据公式：

$$\eta=\frac{1}{18}\frac{\left(\rho-\rho_0\right)gt\overline{d}^2}{L\left(1+2.4\frac{\overline{d}}{D}\right)}$$

如果玻璃管是倾斜的，小球在下落过程中会距离管壁越来越近，相当于 D 比实际值偏大，同时小球下落的距离 L 也会比实际值偏小，二者对于液体黏度的作用效果相同，均会使液体黏度比准确值偏大。

实验现象观察与原始数据记录

小球编号	直径测量次数	x_1(mm)	x_2(mm)	$d=\|x_1-x_2\|$(mm)	$\bar{d}$(mm)	T(°C)	t(s)
1	1	14.715	13.709	1.006	1.007	48	8.2
	2	14.727	13.718	1.009			
	3	13.723	14.732	1.009			
	4	14.727	13.720	1.007			
	5	13.725	14.731	1.006			
2	1	14.810	15.811	1.001	1.004	42	12.8
	2	15.815	14.807	1.008			
	3	14.821	15.825	1.004			
	4	15.809	14.807	1.002			
	5	14.821	15.828	1.007			
3	1	14.331	13.350	0.981	0.989	58	~~5.0~~ 5.1
	2	13.348	14.340	0.992			
	3	13.352	14.340	0.988			
	4	14.339	13.345	0.994			
	5	13.345	14.335	0.990			
4	1	14.516	13.512	1.004	0.991	30	27.8
	2	13.515	14.509	0.994			
	3	14.500	13.508	0.992			
	4	13.521	14.502	0.981			
	5	14.502	13.517	0.985			
5	1	12.125	11.124	1.001	0.996	36	17.8
	2	11.122	12.125	1.003			
	3	12.124	11.125	0.999			
	4	11.140	12.122	0.982			
	5	12.125	11.129	0.996			

教师签名：王[illegible]

学生	姓名	学号	日期
签字			

教师	姓名
签字	