

班级 _____ 学号 _____ 姓名 _____ 教师签字 _____

实验日期 2025.11.4 预习成绩 2/10 总成绩 _____

实验名称 液体黏度的测定

一. 实验预习

实验指导书中提到，在本实验中，如果小钢球从蓖麻油液面处开始下落，初速度为零，最初是加速运动，随着速度的增大，其受到的黏滞力也将增大，因此该过程是一个加速度越来越小的加速运动。但是实际操作时，小钢球是从距离液面 h 高度开始下落的，请分析一下，小钢球进入蓖麻油之后，是做加速运动还是减速运动？设小钢球质量为 m ，直径为 d ，小球密度为 ρ ，蓖麻油密度为 ρ_0 ，黏滞系数为 η ，黏滞力由斯托克斯定律给出，无需作修正，忽略空气对小钢球的作用力。

$$mgh = \frac{1}{2} m V_0^2$$



$$\therefore V_0 = \sqrt{2gh}$$

$$\begin{array}{c} \uparrow F_{\text{浮}} \\ \downarrow F_{\text{黏}} \\ \downarrow G \end{array} \left\{ \begin{array}{l} G = mg \\ F_{\text{浮}} = \rho_0 g \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^3 \\ F_{\text{黏}} = 6\pi\eta rV = 3\pi\eta dV \end{array} \right. \Rightarrow a = \frac{G - F_{\text{浮}} - F_{\text{黏}}}{m}$$

$$\text{平衡时 } a=0 \quad \therefore F_{\text{黏}} = mg + F_{\text{浮}} = 3\pi\eta dV_{\text{平}}$$

$$\therefore V_{\text{平}} = \frac{dg(\rho - \rho_0)}{18\eta}$$

$V_0 > V_{\text{平}}$: 减速

$V_0 = V_{\text{平}}$: 匀速

$V_0 < V_{\text{平}}$: 加速

数据表

千分尺的系统误差 = 0.101 mm

液体温度 T (°C)	颗粒 序号	测量直径 d' (mm)	真实直径 d (mm)	下落时间 t (s)	液体粘度 η (kg m ⁻¹ s ⁻¹)	液体粘度平均值 $\langle \eta \rangle$ (kg m ⁻¹ s ⁻¹)
35	1	1.010	1.000	18.66	0.317	0.3168
	2	1.011	1.001	18.69	0.318	
	3	1.010	1.000	18.82	0.319	
	4	1.012	1.002	18.69	0.318	
	5	1.012	1.002	18.34	0.312	
40	6	1.010	1.000	13.75	0.234	0.234
	7	1.012	1.002	13.82	0.235	
	8	1.010	1.000	13.68	0.232	
	9	1.011	1.001	13.75	0.234	
	10	1.010	1.000	13.84	0.235	
45	11	1.010	1.000	10.57	0.180	0.1786
	12	1.010	1.000	10.66	0.181	
	13	1.012	1.002	10.41	0.178	
	14	1.010	1.000	10.40	0.177	
	15	1.011	1.001	10.41	0.177	
50	16	1.010	1.000	7.97	0.135	0.1338
	17	1.011	1.001	7.81	0.133	
	18	1.011	1.001	7.82	0.133	
	19	1.011	1.001	7.91	0.135	
	20	1.012	1.002	7.78	0.133	
55	21	1.012	1.002	5.88	0.100	0.100
	22	1.012	1.002	5.94	0.101	
	23	1.010	1.000	5.90	0.100	
	24	1.010	1.000	5.94	0.101	
	25	1.010	1.000	5.87	0.100	

教师姓名	
教师签名	

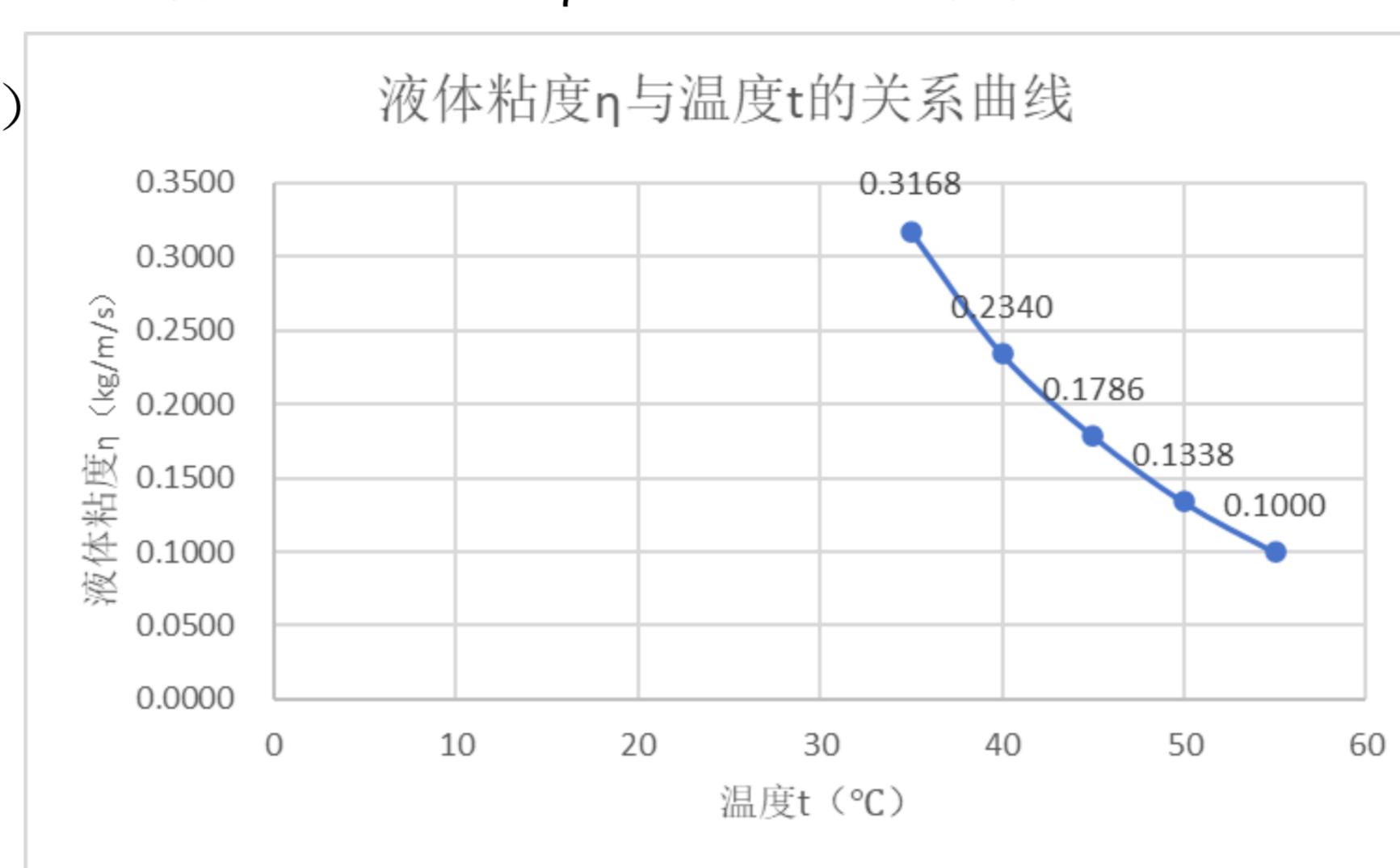
三. 数据处理

(利用测得的数据计算各温度下蓖麻油的黏度, 绘出黏度-温度关系曲线, 推导出 η 的相对不确定度公式, 然后计算某个温度下 η 的不确定度, 并完整表达测量结果, 要有详细的计算过程, 格式工整)

$$\eta = \frac{d^2(p-p_0)t}{18L}$$

$$E_\eta = \sqrt{\left(2 \frac{u_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{u_t}{t}\right)^2}$$

在 35°C 情况下:



Excel 绘图得到

$$\textcircled{1} \bar{d} = \frac{1.000 + 1.001 + 1.000 + 1.002 + 1.002}{5} = 1.001 \text{ mm}$$

$$\text{标准偏差, A类不确定度: } S_d = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(0.001)^2 + 0 + (0.001)^2 + (0.001)^2 + (0.001)^2}{4}} = 0.001 \text{ mm}$$

$$\text{仪器误差, B类不确定度: 千分尺仪器误差 } \Delta_{\text{仪}} = 0.004 \text{ mm}$$

$$\therefore u_{B,d} = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{\sqrt{3}} \approx 0.0023 \text{ mm}$$

$$\therefore u_d = \sqrt{s_d^2 + u_{B,d}^2} \approx 2.5 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\textcircled{2} \bar{t} = \frac{18.66 + 18.69 + 18.82 + 18.69 + 18.34}{5} = 18.64 \text{ s}$$

$$\text{标准偏差, A类不确定度 } S_t = \sqrt{\frac{\sum (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(0.02)^2 + (0.05)^2 + (0.18)^2 + (0.05)^2 + (-0.3)^2}{4}} \approx 0.1787 \text{ s}$$

$$\text{仪器误差, B类不确定度 } \Delta_{\text{仪},t} = 0.15 \text{ s}$$

$$u_{B,t} = \frac{\Delta_{\text{仪},t}}{\sqrt{3}} \approx 0.0577 \text{ s}$$

$$u_t = \sqrt{s_t^2 + u_{B,t}^2} \approx 0.187 \text{ s}$$

$$\therefore E_\eta = \sqrt{\left(2 \cdot \frac{0.0025}{1.001}\right)^2 + \left(\frac{0.187}{18.64}\right)^2} \approx 3.55\%$$

$$u_\eta = \langle \eta \rangle E_\eta \approx 0.0112 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\eta = (0.317 \pm 0.011) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

四. 实验结论及现象分析

蓖麻油的黏度随温度升高显著降低。从 35°C 的 $0.3168 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 到 55°C 的 $0.1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 液体黏度由分子间内摩擦力决定。温度升高时，分子热运动加剧，分子间平均距离增大，相互作用力减弱，流动阻力减小，因此黏度下降。

五. 讨论题

1. 讨论本实验中出现实验误差的原因。
2. 请解释为什么液体的黏度是随着温度上升而下降。
3. 如果小球在靠近玻璃管壁处下落，会对液体黏度的实验测量值有什么影响？
4. 如果玻璃管是倾斜的，会对液体黏度的实验测量值有什么影响？

1. 仪器误差；人为计数、读数误差；其他误差等。

2. 液体黏度由分子间内摩擦力决定。温度升高时，分子热运动加剧，分子间平均距离增大，相互作用力减弱，流动阻力减小，因此黏度下降。

3. 管壁会限制液体流动，产生额外黏滞阻力，使小球下落速度减小，时间变长会使测量的黏度值偏大。

4. 小球下落路径变长，且竖直方向的有效下落速度减小，导致下落时间变长，因此会使计算出的黏度值偏大。