

大学物理实验报告

哈尔滨工业大学(深圳)

班级 6班 学号 2023311027 姓名 包宇 教师签字 _____

实验日期 2024.9.23 预习成绩 _____ 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。

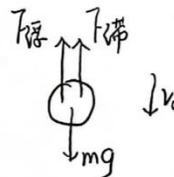
不妨设向下为 z 方向, 对小球, 当其从起始点, 下落到水面时, 有:

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 - 0$$

$$\text{则 } v_0 = \sqrt{2gh}$$

其中 v_0 为接触液面时的速度

在小球刚进入液体的时刻, 受力分析如图:



$$F_{\text{浮}} = G_{\text{排}} = m_{\text{油}}g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_0 g$$

$$F_{\text{滞}} = 6\pi\eta v_0 r = 6\pi\eta r \sqrt{2gh}$$

$$mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$$

$$\text{则合力 } F_{\text{合}} = mg - F_{\text{浮}} - F_{\text{滞}} = \frac{4}{3}\pi r^3 g (\rho - \rho_0) - 6\sqrt{2gh} \pi r \eta$$

易知: $\rho > \rho_0$, 当 $F_{\text{合}} = 0$ 得:

$$h = h_0 = \frac{2gr^4(\rho - \rho_0)^2}{81\eta^2}$$

当 $h > h_0$ 时, $F_{\text{合}} < 0$, 做减速运动

当 $h < h_0$ 时, $F_{\text{合}} > 0$, 做加速运动

~~~~~

二. 实验现象及原始数据记录

0.765  
0.784  
0.772  
0.770  
0.789

| 小钢球编号 | 直径测量次数 | 叉丝的竖直刻线与小球像左侧相切时测微鼓轮读数 $x_1$ (mm) | 叉丝的竖直刻线与小球像右侧相切时测微鼓轮读数 $x_2$ (mm) | 蓖麻油温度 $T$ (°C) | 小钢球下落时间 $t$ (s) |
|-------|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|-----------------|
| 1     | 1      |                                   |                                   | 30             | 39.66           |
|       | 2      |                                   |                                   |                |                 |
|       | 3      |                                   |                                   |                |                 |
|       | 4      |                                   |                                   |                |                 |
|       | 5      |                                   |                                   |                |                 |
| 2     | 1      |                                   |                                   | 35             | 29.33           |
|       | 2      |                                   |                                   |                |                 |
|       | 3      |                                   |                                   |                |                 |
|       | 4      |                                   |                                   |                |                 |
|       | 5      |                                   |                                   |                |                 |
| 3     | 1      |                                   |                                   | 40             | 21.63           |
|       | 2      |                                   |                                   |                |                 |
|       | 3      |                                   |                                   |                |                 |
|       | 4      |                                   |                                   |                |                 |
|       | 5      |                                   |                                   |                |                 |
| 4     | 1      |                                   |                                   | 45             | 18.99           |
|       | 2      |                                   |                                   |                |                 |
|       | 3      |                                   |                                   |                |                 |
|       | 4      |                                   |                                   |                |                 |
|       | 5      |                                   |                                   |                |                 |
| 5     | 1      |                                   |                                   | 50             | 11.61           |
|       | 2      |                                   |                                   | 55             | 9.12            |
|       | 3      |                                   |                                   |                |                 |
|       | 4      |                                   |                                   |                |                 |
|       | 5      |                                   |                                   |                |                 |

|    |                                                                                       |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 教师 | 姓名                                                                                    |
| 签字 |  |

### 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  $\eta$  的相对不确定度公式, 然后计算某个温度下  $\eta$  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)

答:

1、 $\eta$ 的相对不确定度公式的推导

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

$$S_{\bar{D}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (d_i - \bar{d})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0.011^2 + 0.008^2 + 0.004^2 + 0.006^2 + 0.013^2}{5 \times 4}} = 0.045mm$$

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

$$u_d = \sqrt{S_{\bar{D}}^2 + u_1^2} = 0.046mm$$

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

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

$$u_{\eta} = E_{\eta} \cdot \bar{\eta}$$

将各个温度下的实验数据代入上式, 得到下表:

| 温度 $T/^{\circ}$ | 液体黏度 $\eta/Pa \cdot s$ | 相对不确定度 $E_{\eta}/\%$ | $u_{\eta}/Pa \cdot s$ |
|-----------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| 30              | 0.407                  | 5.94                 | 0.024                 |
| 35              | 0.301                  | 6.30                 | 0.019                 |
| 40              | 0.222                  | 6.78                 | 0.015                 |
| 45              | 0.164                  | 7.43                 | 0.012                 |
| 50              | 0.119                  | 8.38                 | 0.010                 |
| 55              | 0.094                  | 9.32                 | 0.009                 |

以  $T=30^{\circ}$  的蓖麻油为例, 有:

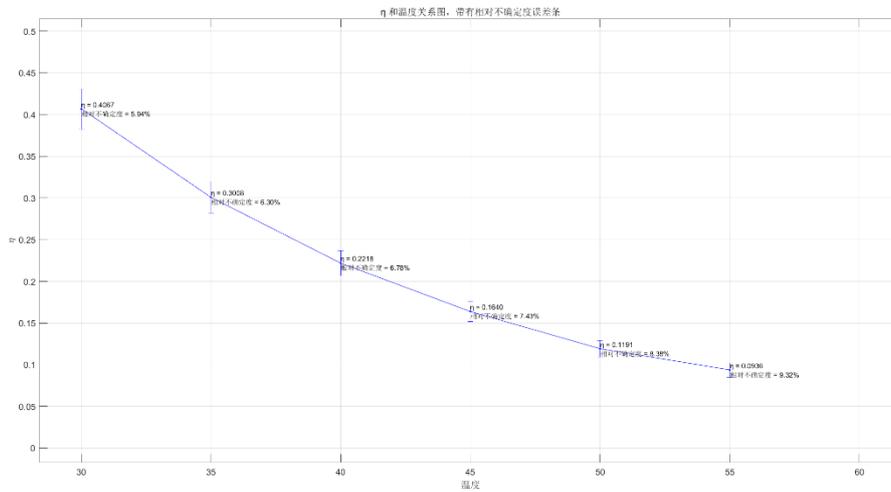
$$\eta = \bar{\eta} \pm u_{\eta} = (0.407 \pm 0.024) Pa \cdot s$$

$$E_{\eta} = 5.94\%$$

(置信概率  $P=68.3\%$ )

对于其它温度下的蓖麻油， $\eta$ 的不确定度在表格中已给出。

2、绘制黏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    | 35    | 40    | 45    | 50    | 55    |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 液体黏度 $\eta/Pa \cdot s$ | 0.407 | 0.301 | 0.222 | 0.164 | 0.119 | 0.094 |

由此可见，蓖麻油的黏度随温度的升高而降低，且温度越高，黏度下降的速率就越慢。

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？

答：

1、

- (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容器的中线下落，因此公式的修正

及时间的测量可能存在误差

2、液体分子间距较小，彼此之间紧密排布，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、根据公式

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

小球靠近玻璃管壁相当于式中  $D$  比实际值偏大，会使  $\eta$  的测量结果偏大。

4、根据公式

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

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  $L$  会比实际值偏小，二者对于液体黏度的测量结果作用效果相同，均会使  $\eta$  的测量结果偏大。