

浙江大学

本科实验报告

课程名称：普通物理学实验 II

姓 名：高玮轩

学 号：3230105892

学 院：竺可桢学院

专 业：人工智能（图灵班）

指导教师：张建华

报告日期：2024 年 10 月 17 日

浙江大学实验报告

课程名称:	普通物理学实验 II	实验类型:	综合
实验项目名称:	液体黏性系数的测定		
学生姓名:	高玮轩	学号:	3230105892
实验地点:	紫金港 东四-232	实验日期:	2024 年 10 月 16 日

引言

在流动的液体中，流速不等的流体形成不同的流层，各流层之间因速度不等而存在内摩擦力，称为粘滞阻力，它会阻碍流层的相对运动。根据流体力学知识可知，粘滞阻力 f 的大小与流层间的接触面积 A 及垂直于速度方向的速度梯度 $\frac{dv}{dy}$ 成正比，即

$$f = \eta A \frac{dv}{dy}$$

粘滞系数 η 的大小与液体的性质及温度有关。温度升高，液体的粘滞系数减小，而气体则相反。粘滞系数的测定在航空、造船、桥梁、化学、医学、水利工程中都有重大的实际意义，

实验原理

1. 当金属小球在粘性液体中下落时，它受到三个铅直方向的力：小球的重力 mg (m 为小球质量)、液体作用于小球的浮力 $\rho g V$ (V 是小球体积， ρ 是液体密度) 和粘滞阻力 F (其方向与小球运动方向相反)。如果液体无限深广，在小球下落速度 v 较小情况下，有

$$F_1 = 6\pi\eta r v$$

上式称为斯托克斯公式，其中 r 是小球的半径； η 称为液体的黏性系数。

而其受到的浮力可表示为

$$F_2 = \frac{4\pi}{3} r^3 \rho_1 g$$

其中 ρ_1 是液体的密度， g 是重力加速度，球体受到的重力为

$$F_3 = \frac{4\pi}{3} r^3 \rho_2 g$$

其中 ρ_2 是小球的密度，当球体运动一段时间后，三种力平衡，即

$$F_1 + F_2 = F_3$$

此时，球体将以匀速 v 运动（也成为收尾速度）。因此，通过测量小球的收尾速度，可以求得液体的黏性系数：

$$\eta = \frac{2gr^2(\rho_2 - \rho_1)}{9v}$$

此处的 v 可以在球体下降某一过程中测量其通过某一区间 s 所用的时间 t ，从而求得。

$$\eta = \frac{2gtr^2(\rho_2 - \rho_1)}{9s}$$

在实际测量中, 液体并非无限扩展, 且容器的边界效应对球体受到的粘滞力有一定影响, 因此实际测量中, 需对斯托克斯公式进行修正, 对于在无限长, 半径为 R 的圆柱形液体轴线上下落的球体, 修正后的粘滞力为

$$F = 6\pi\eta rv(1 + 2.4 \frac{r}{R})$$

如此一来, 液体的黏性系数可表示为

$$\eta = \frac{2gtr^2(\rho_2 - \rho_1)}{9s(1 + 2.4 \frac{r}{R})}$$

实验目的

1. 了解物体在液体中运动所受的粘滞阻力、并测定流体的粘滞系数 η 。
2. 研究液体粘滞系数随温度变化的关系。

实验仪器

1. 液体粘滞系数测定仪, 内含蓖麻油
2. 游标卡尺
3. 螺旋测微器
4. 小钢珠
5. 配有水泵的水浴加热装置
6. 控温仪
7. 秒表

实验内容

5.1) 参考实验常量

- 内筒内半径: $R = 18.5\text{mm}$
- 蓖麻油密度: $\rho = 950 \text{ kg/m}^3$
- 室温 $T = 22.5 \text{ }^\circ\text{C}$

5.2) 实验一：落球法测粘滞系数

在玻璃皿中任取六粒钢珠, 用螺旋测微器测出直径取平均值。再用镊子将钢珠放入蓖麻油中自由下落, 测出室温下小钢珠匀速通过某段距离 L 所需的时间, 再将所有数据代入公式, 计算粘滞系数 η 及不确定度。

5.2.1) 实验数据

为保证钢珠做匀速运动, 在测量仪靠下一段选取 $L = 10.0\text{cm}$
螺旋测微器测得六枚钢珠直径如下

i	1	2	3	4	5	6
$d_i(\text{mm})$	2.965	3.010	3.000	3.000	2.990	2.984

则平均值 $\bar{d} = 2.992\text{mm}$, $r = 1.496 \times 10^{-3}\text{m}$

测量六枚钢珠下落距离 $L = 0.1\text{m}$ 所用的时间, 得结果如下

i	1	2	3	4	5	6
$t_i(\text{s})$	3.03	3.45	2.87	2.90	2.97	3.25

计算 $v_i = \frac{L}{t_i}$ 并代入公式, 得蓖麻油粘滞系数如下

i	1	2	3	4	5	6
$\eta_i(\text{kg}/(\text{ms}))$	0.855	0.973	0.809	0.817	0.838	0.916

求得平均值 $\bar{\eta} = 0.857 \text{ kg}/(\text{ms})$

查表知蓖麻油在 22.5 摄氏度下的粘滞系数为 $0.79 \text{ kg}/(\text{ms})$, 则相对误差为

$$E = \frac{\bar{\eta} - \eta_0}{\eta_0} \times 100\% = \frac{0.857 - 0.79}{0.79} \times 100\% = 8.48\%$$

A 类不确定度为

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\eta_i - \bar{\eta})^2}{n(n-1)}} = 0.048 \text{ kg}/(\text{ms})$$

B 类不确定度为

$$u_B = \frac{\Delta_{\text{B}}}{\sqrt{3}} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.006 \text{ kg}/(\text{ms})$$

综合不确定度为

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0.048^2 + 0.006^2} = 0.048 \text{ kg}/(\text{ms})$$

则最终结果为

$$\eta = 0.857 \pm 0.048 \text{ kg}/(\text{ms})$$

5.3) 实验二：测量蓖麻油的粘滞系数随温度的变化

1. 对待测液体进行水浴加热, 到达设定温度后进行保温, 由于热惯性, 需待一段时间后, 才能达到平衡。
2. 选择 5 个不同的温度点, 使小钢珠从中间自由落下, 测出小钢珠经过某段距离 L 的时间, 算出液体粘滞系数。
3. 作液体粘滞系数随温度变化的关系曲线图。

选择五枚大小相近的钢珠, 测得其直径平均值为 3.000mm , 则 $r = 1.5 \times 10^{-3}\text{m}$, 从 30 摄氏度开始, 每次升高 5 摄氏度进行一次测量, 测量数据如下

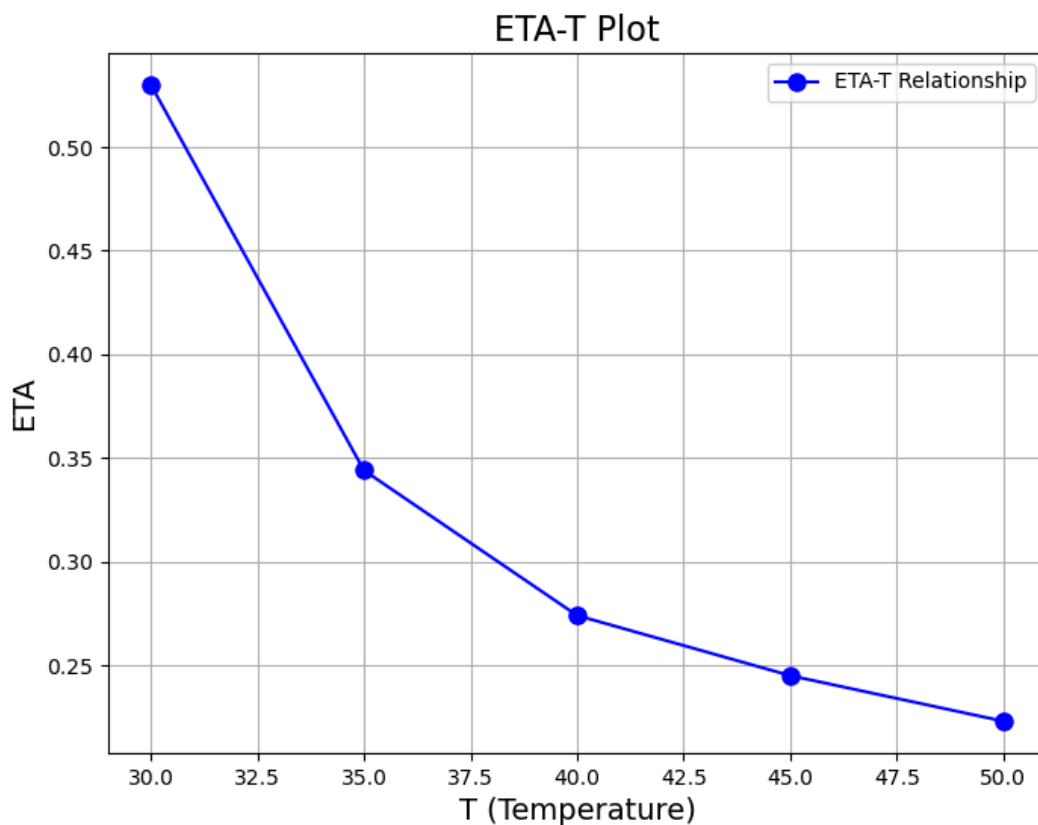
i	1	2	3	4	5
T_i	30	35	40	45	50
$t_i(\text{s})$	1.88	1.22	0.97	0.87	0.79

计算 $v_i = \frac{L}{t_i}$ 并代入公式, 得蓖麻油粘滞系数如下

i	1	2	3	4	5
---	---	---	---	---	---

$\eta_i(\text{kg}/(\text{ms}))$	0.530	0.344	0.274	0.245	0.223
---------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------

作出液体粘滞系数随温度变化的关系曲线图



误差分析

- 读数时，控温装置指示灯熄灭后，可能在温度计尚未稳定的情况下读取读数，导致测量的时机出现偏差，从而出现结果误差。
- 小钢珠略有生锈，导致其密度与实际值有所偏差，从而影响实验结果。
- 螺旋测微器年久失修，可能存在读数误差，从而影响实验结果。
- 在测量下落时间时，由于肉眼观察与手动操作秒表，可能存在人为误差，从而影响实验结果。
- 测量仪所在平台，尽管经过调整，仍有可能不与地面平行，导致小钢珠不能竖直下落，导致实验结果误差。

思考题

1. 影响液体粘性系数的因素有哪些？

- 液体温度：由图像可看出，温度升高，液体的粘滞系数减小，这是因为分子之间的吸引力减弱，使流动性增强。
- 压力：对于大多数液体，压力的变化对粘性影响较小。但在非常高的压力下，粘性会增加，因为分子之间的距离缩短，流动受限。

- 分子结构：分子间的相互作用力（如氢键、范德华力）越强，粘性越大。长链分子（如聚合物）或有极性基团的分子通常具有较高粘性。
 - 外部场：某些具有极性 or 含磁性纳米粒子的流体，其粘性会受到电场或磁场的影响。
2. 设计一个不用传感器的测量液体粘性系数的实验方案，要求：简述实验方法和基本原理，画出系统原理框图。

1. 实验原理：同实验一

2. 实验方法：

1. 准备工作： 选择合适的小球（如钢球、玻璃球），并测量其半径 r 和质量 m
将待测液体倒入透明竖直管内，并标记上下两点（距离 L ）

2. 实验步骤：

让小球从液面下方某一固定高度静止释放。

测量小球从上标记点到下标记点的下落时间 t

3. 数据处理：

计算小球的下落速度 $v = \frac{L}{t}$

使用斯托克斯定律计算液体的粘性系数

3. 系统原理框图

