

物理实验报告

实验题目：用落球法测液体黏滞系数

学号：上桂 班级：2 班
同组 实验日期：十一月廿四日

成绩：
教师签名：*王红*

一、实验目的与要求

- (1) 学习实验原理，掌握仪器装置的使用方法
- (2) 用落球法测定液体的黏滞系数 η
- (3) 了解黏滞系数公式推导近似方法，弄懂黏滞力与液体的哪些性质有关。

二、实验仪器

黏滞系数测量仪、气泡水准器、小钢球、螺旋测微计
电子秒表、石磁铁、镊子、温度计

三、实验原理（用自己语言组织）

当一个小球在静止液体中下落时，将受到重力 mg 、浮力 F 和黏滞阻力 f 的作用。在无限广延液体中，若液体的黏滞系数较大，小球以速度 v 很小，则从流体力学的基本方程出发可以导出表达黏滞阻力的斯托克斯公式，即 $f = 3\pi\eta v d$
式中 η 为液体黏滞系数， d 是小球直径， v 是小球的运动速度，它与 f 成正比。小球进入液体后自由下落很短距离所受的三个作用力即达到平衡，小球将以终极速度 v_0 匀速下落平衡时

有 $mg = f + f'$ ，如图所示，即 $mg = \rho g V + 3\pi\eta v_0 d$
式中， ρ 为液体密度。将 $m = \frac{4}{3}\pi d^3 \rho$, $V = \frac{4}{3}\pi d^3$, $v_0 = L/t$ 代入

$$\eta = \frac{(P\rho)d^2 t}{18L}$$

式中 P 为小球密度， L 为小球匀速下落的距离， t 为下落 L 距离所用的时间。

河北工业大学物理实验中心网址：<http://wizx.hebut.edu.cn>

网上选课地址：<http://202.113.124.190>

实验中，小球是在内径为D的玻璃管中下落，不满足液体的无限广延条件。考虑圆筒器壁对小球下落的影响后，斯托克斯公式修改为： $f = 3\pi\eta v d \left(1 + 2.4 \frac{d}{D}\right) \left(1 + 3 \frac{d}{2H}\right)$ 式中，D和H分别是圆筒的内径和容器中液体的深度。又因实验条件易满足 $H \gg D$ ，对液体有限深度的修正项 $(1 + 3 \frac{d}{2H})$ 可不考虑，则修正公式简化为： $f = 3\pi\eta v d \left(1 + 2.4 \frac{d}{D}\right)$ 修正后液体的黏滞系数为： $\eta = \frac{(P - P_0) g d^2 t}{18 L \left(1 + 2.4 \frac{d}{D}\right)}$

则只要已知或测出 P, P_0, g, D, d, L 和 t 各参数，即可求得黏滞系数。

四、实验内容与步骤

1. 放上气泡水准器，调节盛有蓖麻油量筒的底座螺丝，观察水准泡，使量筒铅垂于水平面
 2. 选定筒外壁两条标线 N_1 、 N_2 之间的距离 L
 3. 用螺旋测微计测小钢球直径 d ，每个钢球在三维方向测量 3 次，取平均值 \bar{d} 。共测 5 个球，并编好待用，记录
 4. 用镊子夹住小球，为使其表面完全被油浸润，可先将小球在小油盒中浸一下，然后轻至量筒口快使之下落，用秒表测出小球下降通过路程 L 所需要的时间 t ，速度 $v_0 = \frac{L}{t}$
 5. 按以上方法分别测其余 4 个小球的下落速度 v_0 。
 6. 记下测量时蓖麻油的温度。
- 蓖麻油密度 ρ_0 、小球密度 ρ 、本地重力加速度 g ，玻璃管内径 D 由实验室给出。

五、数据记录（数据表格自拟）

小球下落距离 $L =$ mm，零点修正值 $d_0 =$ mm，油温 $T =$

小球	直径 d/mm	修正直径 \bar{d}/mm	时间 t/s	速度 v/s	粘度 $\eta/Pa\cdot s$
小球 1					
小球 2					
小球 3					
小球 4					
小球 5					

- 七、实验分析
- 若实验中忽略了油筒垂直，将给整个实验带来误差。
 - 小球应从中心下落，避免其碰撞油筒带来误差。
 - 测量时间时，应等小球进入液体中作匀速运动时再开始计时。
 - 用秒表计时要保证眼睛、小球和刻度线在同一水平线上。

思考题与思维拓展：

- 视线应与标志线水平，不能仰视或俯视，保持眼睛、小球以及刻度线处同一水平线。
- 修正后液体的黏滞系数为 $\eta = \frac{(4\pi)^2 g d^2 t}{18L (1+24\eta)}$ 各测量量相互独立
用微分法计算不确定度，对其求全微分。为了简化计算可先取对数
求其相对不确定度
- $\frac{V_0 - V}{V} < 10^{-4}$. $\frac{V_0 - V_0 [1 - \exp(-18\eta t / \rho d^2)]}{V_0} < 10^{-4}$ $\exp(-18\eta t / \rho d^2) < 10^{-4}$
 $-18\eta t / \rho d^2 < \ln 10^{-4}$ $\frac{18\eta t}{\rho d^2} > 4 \ln 10$ $t > 0.0042 s$ $V = V_0$.
 $s \approx 0.09 mm$ 故液面与标尺应取 $0.09 mm$
- 温度升高，黏滞系数将减小。
方案：①在液体中增加温控装置，在不同温度下分别测量 η .
②升温测量：从室温 T_0 开始，每隔 ΔT 升温， $T_0 = 20^\circ C$ 至 $T = 50^\circ C$. 令 $\Delta T = 5^\circ C$
测量小球下落 L 所需时间 t .
- 从 $T = 50^\circ C$ $\Delta T = 1^\circ C$ 测量 $T = 50^\circ C$ 和 $T = 20^\circ C$ 间小球下落 L 的时间 t
- 数据记录并且进行数据处理，得到相应结论。

大学物理实验指导

小球下落距离 $L=150\text{mm}$, 零点修正值 $d_0=0.000\text{mm}$, 油温 $T=19.5^\circ\text{C}$

五、数据记录(数据)

小球 系数	d/mm	\bar{d}/mm	t/s	\bar{t}/s	η/Pas
1	1.003		37.75		
	1.004	1.003	37.36	37.66	0.948
	1.002		37.67		
2	1.003		37.72		
	1.004	1.004	37.38	37.42	0.947
	1.004		37.16		
3	1.004		37.63		
	1.004	1.004	37.18	37.29	0.944
	1.004		37.66		
4	1.001		37.87		
	1.003	1.002	37.91	37.80	0.953
	1.002		37.63		
5	1.001		37.31		
	1.002	1.001	37.31	37.37	0.940
	1.001		37.44		

$\Delta d = 0.004\text{mm}$ $\Delta L = 2\text{mm}$ $\Delta t = 0.1\text{s}$

$P = 7.874 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ $P_0 = 0.957 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ $D = 20.0\text{mm}$

$L = 150\text{mm}$ $g = 9.80\text{m/s}^2$