

天津大学物理实验报告

材料学院 2015 级材料成型专业

实验日期: 2016 年 12 月 12 日

实验题目: 落球法测定液体的黏度

【实验名称】: 落球法测定液体的黏度

【实验目的】: 1. 通过观察小球在液体中的运动过程, 了解液体的内摩擦现象 2. 掌握落球法测液体的黏度和方法

【实验原理】: 如图 11-1 所示, 小球在液体中下落时, 受到了三个方向的力, 即浮力 $\rho_0 g V$ (V 是小球的体积, ρ_0 是液体的密度) 小球的重力 $P g V$ (P 是小球的密度), 和黏性力 F (其方向与小球运动方向相反) 在无限广延的液体中, 如液体黏度较大, 小球的直径较小, 下落运动过程中不产生旋涡, 则根据斯托克斯定律小球受的黏性力 $F = 3\pi\eta v d$

其中 η 是液体的黏度, d 是小球的直径, v 是小球的速度。开始时小球下落速度较小, 黏性力也较小, 因而小球做加速运动。随着小球速度的增加, 黏性力也增加, 最后, 上述三种力达到平衡, 即 $P g V = 3\pi\eta v d + \rho_0 g V$

于是, 小球开始做匀速直线运动 (此时的运动称为收尾速度) 将小球体积 $V = \frac{4}{3}\pi d^3$ 代入上式, 整理后可得液体的黏度

$$\eta = \frac{(P - \rho_0) g d^2}{18v}$$

实验时, 将液体盛在内直径为 D 的量筒中, 因而小球在下落过程中不满足无限广延的条件, 这时实际测量的速度 v_0 和理想条件下的速度 v 存在如下关系

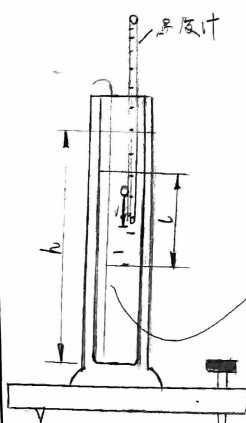
$$v = v_0 (1 + 2.4 \frac{v_0}{v}) (1 + 1.6 \frac{d}{D})$$

$$\eta = \frac{(P - \rho_0) g d^2 t}{18L(1 + 2.4 \frac{v_0}{v})}$$

L 是图中 N_1, N_2 的距离, 只要测得 P, ρ_0, d, D, L 和 t 各量, 即可求出液体黏度。

天津大学物理实验报告

附页



当小球的密度较大, 直径不是太小, 液体的黏度较小时, 小球在液体中收尾速度 v 会达到较大的值, 可用奥西-果尔斯基公式描述液体运动状态拖曳斯公式的影响, 即

$$F = 3\pi\eta v d (1 + \frac{5}{16} Re - \frac{19}{1280} Re^2 + \dots)$$

其中 Re 为雷诺数, 是表征液体运动状态的量为 1 的量并且 $Re = v d \rho_0 / \eta$

$$\text{当 } Re < 0.1 \text{ 时, } F = 3\pi\eta v d, \eta = \frac{(P - \rho_0) g d^2 t}{18L(1 + 2.4 \frac{v_0}{v})}$$

成立, 当 $0.1 < Re < 1$ 时, 应考虑式

$$F = 3\pi\eta v d (1 + \frac{5}{16} Re - \frac{19}{1280} Re^2 + \dots)$$

中的修正项, 为保证小球在液体中下落时不产生旋涡, 其收尾速度不能太大, 选用小球的直径应适当小一些。本实验由于采用直径为 1mm 的小钢球, 可用

$\eta = \frac{(P - \rho_0) g d^2 t}{18L(1 + 2.4 \frac{v_0}{v})}$

【实验仪器】: 黏度测量装置, 游标卡尺, 停表, 温度计, 密度计, 米尺, 移液管

【实验步骤】: 1. 用移液管取油, 测出小钢球直径 d , 并进行多次测量, 计算平均值及测量不确定度, 自行设计数据表格

2. 调节量筒竖直, 把上下两标线 N_1 和 N_2 置于前玻璃面和筒底 7-8cm 处

3. 用游标卡尺测量量筒内径 D , 用米尺测量上下两标线的距离 L , 记下实验室给出的小钢球密度 P

4. 在实验前向各测一次油的温度, 使各求平均值作为实验时的油温, 密度计测量油的密度 ρ_0

5. 用小镊子夹起小钢球, 将球体用油湿润后, 沿量筒中轴线投入油中, 使球经过距离 L 所需时间 t , 重复操作, 多次测量

王超 10

天津大学物理实验报告

材料学院 2015 级材料成型及专业

实验日期: 2016.11.11 实验者: 110101010101

实验题目:

并计算时间的不确定度。

【数据处理】

(1) 小球直径 d (mm) 数据

序号	S_1	S_2	$d = S_1 - S_2$
1	41.073	40.100	0.973
2	40.100	39.100	1.000
3	39.100	38.273	0.827
4	38.273	37.265	1.008
5	37.273	36.297	0.976
6	36.297	35.282	1.015

$$\bar{d} = \frac{1}{6}(d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6)$$

$$= \frac{1}{6}(0.973 + 1.000 + 0.827 + 1.008 + 0.976 + 1.015)$$

$$= 0.972 \text{ mm}$$

$$= 0.0972 \text{ cm}$$

(2) 其他数据: $\rho = 7.670 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (钢球)

$\rho_0 = 0.969 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (油)

$D = 8.50 \text{ cm}$ [量筒内径]

$l = 23.5 \text{ cm}$ [上下两标线距离]

实验前温度 $T_0: 18.8^\circ\text{C}$

实验后温度 $T_1: 19.5^\circ\text{C}$

$T = \frac{T_0 + T_1}{2} = 19.2^\circ\text{C}$

g 取 980.1 cm/s^2

天津大

页

(3) 油中小球匀速运动所需时间 t :

序号	所需时间 t / min
1	1.20'54
2	1.22'16
3	1.18'10
4	1.18'46
5	1.15'03
6	1.14'78

$$\bar{t} = \frac{1}{6}(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6)$$

$$= \frac{1}{6}(1.20'54 + 1.22'16 + 1.18'10$$

$$+ 1.18'46 + 1.15'03 + 1.14'78)$$

$$= 1.18'18$$

$$= 78.18 \text{ s}$$

【计算数据】: $\eta = \frac{(\rho - \rho_0)gd^2t}{18\eta(1 + 2.4\frac{D}{d})} = 11.18 = 1.118 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ $(T = 19.2^\circ\text{C})$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(0.973-0.972)^2 + (1.000-0.972)^2 + (0.827-0.972)^2 + (1.008-0.972)^2 + (0.976-0.972)^2 + (1.015-0.972)^2}{6 \times 5}}$$

$$= \sqrt{\frac{(0.001)^2 + (0.028)^2 + (0.145)^2 + (0.036)^2 + (0.004)^2 + (0.043)^2}{6 \times 5}}$$

$$= 2.76 \times 10^{-2} \text{ (mm)}$$

$$U_d = \sqrt{(t_{0.95} S_d)^2 + \frac{1}{2} \Delta^2} = \sqrt{(2.57 \times 2.16 \times 10^{-2})^2 + \frac{1}{2} \times (1 \times 10^{-2})^2} = 5.6 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$S_t = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(80.54-78.18)^2 + (82.16-78.18)^2 + (78.10-78.18)^2 + (78.76-78.18)^2 + (75.03-78.18)^2 + (74.78-78.18)^2}{6 \times 5}}$$

$$= \sqrt{\frac{236^2 + 3.98^2 + 0.08^2 + 0.28^2 + 3.15^2 + 3.4^2}{6 \times 5}}$$

$$= 1.19 \text{ s}$$

$$U_t = \sqrt{(t_{0.95} S_t)^2 + \frac{1}{2} \Delta^2} = \sqrt{(2.57 \times 1.19)^2 + \frac{1}{2} \times (0.1)^2} = 3.05 \text{ s}$$

天津大学物理实验报告

材料学院 2015 级 材料成型专业

实验日期: 2015.11.11 同组实验者: 王

实验题目:

代入 $\rho = 0.028 \text{ g/cm}^3$ $\rho_0 \approx 0.001 \text{ g/cm}^3$

$U = 1 \text{ mm}$

$$u_r = \frac{U\eta}{\rho} = \sqrt{\frac{U^2 \rho^2}{(\rho - \rho_0)^2} + 4 \left(\frac{U^2}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{U^2}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{U^2}{\rho} \right)^2}$$

$$= \sqrt{\frac{(0.028)^2 \times (0.001)^2}{(0.028 - 0.001)^2} + 4 \times \left(\frac{0.028}{0.028} \right)^2 + \left(\frac{0.028}{0.028} \right)^2 + \left(\frac{0.028}{0.028} \right)^2}$$

$$= \sqrt{1.74 \times 10^{-5} + 4 \times 3.32 \times 10^{-3} + 1.52 \times 10^{-3} + 1.81 \times 10^{-3}}$$

$$= 0.129 = 12.9\% \quad p = 95\%$$

$$\therefore u_r = U \cdot \eta = 11.18 \times 12.9\% = 1.44 = 0.144 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\therefore \eta = (1.118 \pm 0.144) \text{ Pa} \cdot \text{s} \quad (T = 19.2^\circ \text{C})$$

【误差分析】: 1. 存在温度变化, 对实验造成了较大的误差

2. 多次测量时, 小球可能受到液体的扰动而影响测量
所以应等液体稳定时再进行实验

3. 人工计时存在人的主观误差

4. 小球每次下落地点不一样, 存在在不同地区的下落时间不同的误差

5. 小球表面粗糙程度不同

【反思】: 1. 可以看出温度对实验会造成较大的误差, 所以应选用温度恒定的液体实验

2. 小球下落时间 t 由人工计时, 不同的人的主观误差较大, 可以改造成激光计时

3. 由实验发现, 当小球不在中心下落时, 测出的时间会较大。查阅发现, 器壁对液体的挤压会使得液体的粘滞阻力更大, 而越远离中心靠近器壁, 这种效果越明显, 从而使粘滞力越大, 测得的粘滞系数也随之增大。所以小球不可以靠内壁下落, 一定要在中心下落。