

16 实验报告 = 26 井

天津大学本科实验报告专用纸

学院 自动化学院 专业 自动化 班级 4 姓名 刘嘉欣 学号 3016203094

课程名称 大学物理实验 A 实验日期 2017年12月4日 成绩 88 9.1

同组实验者

一、实验题目：落球法测定液体的黏度

二、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。

三、实验仪器

黏度测量装置，游标卡尺，停表，温度计，密度计，米尺，移液显微镜等。

四、实验原理

如图1所示，小球在液体中下落时，受到三个方向的力，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 $\rho g V$ (ρ 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，若液体黏度较大，小球的直径较大，下落运动过程中不产生旋涡，则根据斯托克斯定律，小球所受的黏性力 $F = 3\pi\eta vd$ ，式中 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 $\rho V g = 3\pi\eta vd + \rho_0 V g$ 。于是，小球开始做匀速直线运动 (此时的运动速度称为收尾速度)。将小球体积 $V = \frac{4}{3}\pi d^3/6$ 代入上式，整理后可得液体的黏度 $\eta = \frac{(\rho - \rho_0)gd^2}{18v}$ 。

实验时，待测液体盛在内直径为 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_h 和理想条件的速度 v 存在如下关系： $v = v_h (1 + 2.4 \frac{D}{d}) (1 + 1.6 \frac{D}{d})$ 。

式中 h 是液体的深度，当 $h \gg d$ 时， $\eta = \frac{(\rho - \rho_0)gd^2}{18(1 + 2.4 \frac{D}{d})}$ 。

由式 $\eta = \frac{(\rho - \rho_0)gd^2}{18(1 + 2.4 \frac{D}{d})}$ 可以看出，只要测得 ρ, ρ_0, d, D, v 和 t 各量，即可求出液体的黏度 η 。

当小球的密度较大，直径不是太大，液体的黏度较小时，小球在液体中的收尾速度 v 会达到较大的值。可用奥西里斯-果尔斯基公式描述液体运动状态对斯托克斯公式的影响，即 $F = 3\pi\eta vd (1 + \frac{1}{16} Re - \frac{19}{1280} Re^2 + \dots)$ ，其中 Re 为雷诺数，是表征液体运动状态的量纲为1的参量，并且当 $Re < 0.1$ 时，可认为 $F = 3\pi\eta vd$ 和 $\eta = \frac{(\rho - \rho_0)gd^2}{18(1 + 2.4 \frac{D}{d})}$ 成立。当 $Re > 1$ 时，还需考虑 $F = 3\pi\eta vd (1 + \frac{1}{16} Re - \frac{19}{1280} Re^2 + \dots)$ 中一阶修正项的影响；当 $Re > 1$ 时，还需考虑其中高阶修正项。

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，选用的小球直径应适当小一些。本实验由于采用直径为 1mm 的小钢球，在我们测量的温度范围内雷诺数远小于0.1，故可直接采用 $\eta = \frac{(\rho - \rho_0)gd^2}{18(1 + 2.4 \frac{D}{d})}$ 计算黏度。

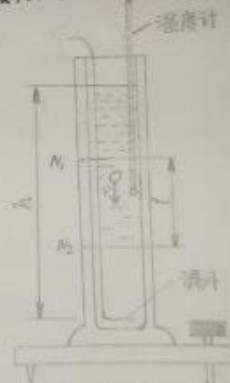


图1 黏度测定

天津大学本科生实验报告专用纸

五. 实验步骤

1. 用移测显微镜测出小钢球直径 d ，进行6次测量，计算平均值及测量不确定度，并填入表格中。
2. 测量量筒上下两标线 N_1 和 N_2 的高度差 l ，记录数据。同时，使用游标卡尺测量量筒内径 D 记录数据。
3. 记录实验室给出的小球密度 ρ ，并使用密度计测量液体密度 ρ_0 ，记录数据。
4. 实验开始前后各测一次温度，并取两次平均值作为实验时的液体温度。
5. 用小镊子夹起小钢球，将球体投入液体中，用停表测出小球经过距离 l 所用的时间 t ，重复6次操作，将实验数据记录在表格中。

六. 实验数据处理与分析

1. 各实验仪器数据

液面高度差 l/cm	24.60
液面直径 D/cm	8.545
实验前温度 $T_1/^\circ C$	20.90
实验后温度 $T_2/^\circ C$	20.91
平均温度 $T/^\circ C$	20.61
液体密度 $\rho_0/g \cdot cm^{-3}$	0.9600
钢球密度 $\rho/g \cdot cm^{-3}$	7.670
重力加速度 $g/m \cdot s^{-2}$	9.80

2. 对实验中多次测量数据的记录

次数	1	2	3	4	5	6
$r_{上}/mm$	0.000	0.045	0.082	0.083	0.034	0.090
$r_{下}/mm$	1.000	1.040	1.067	1.065	1.024	1.067
d/mm	1.000	0.985	0.985	0.982	0.990	0.977
t/s	66.65	64.94	65.25	65.94	64.97	65.53

教师签字:

年 月 日

天津大学本科实验报告专用纸

学院_____ 年级_____ 专业_____ 班级_____ 姓名_____ 学号_____

课程名称_____ 实验日期_____ 成绩_____

同组实验者_____

3. 处理实验数据

$$\bar{d} = \frac{\sum d_i}{6} = \frac{5.922}{6} = 0.987 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \eta = \frac{1 \cdot \rho \cdot g \bar{d}^2 \bar{t}^2}{18 \eta (H + \frac{2}{3} \bar{d})} = 0.9228 (\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$$

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{6} = \frac{393.30}{6} = 65.55 \text{ s}$$

此外: $t_{0.95} = 2.57, \quad \bar{T} = \frac{T_1 + T_2}{2} = 20.61^\circ \text{C}$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{6 \times 5}} = 3.212 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$S_t = \sqrt{\frac{\sum (t_i - \bar{t})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum (t_i - \bar{t})^2}{6 \times 5}} = 0.27 \text{ s}$$

$$u_d = \sqrt{(\tan \alpha S_d)^2 + \frac{1}{2} \Delta^2} = \sqrt{(2.57 \times 3.212 \times 10^{-3})^2 + \frac{1}{2} \times 0.01^2} = 0.011 \text{ mm}$$

$$u_t = \sqrt{(\tan \alpha S_t)^2 + \Delta^2} = \sqrt{(2.57 \times 0.27)^2 + 0.14^2} = 0.7 \text{ s}$$

$$u_r = \frac{u_g}{\eta} = \sqrt{\frac{u_d^2 + u_t^2}{(\rho \cdot g)^2} + 4 \left(\frac{u_d}{\bar{d}} \right)^2 + \left(\frac{u_t}{\bar{t}} \right)^2 + \left(\frac{u_g}{\bar{g}} \right)^2}$$

$$= \sqrt{\frac{0.028^2 + 0.001^2}{(6.71)^2} + 4 \times \frac{0.011^2}{0.987^2} + \frac{0.7^2}{65.55^2} + \frac{2^2}{246.0^2}}$$

$$= \sqrt{1.744 \times 10^{-5} + 4.968 \times 10^{-4} + 1.14 \times 10^{-4} + 6.6 \times 10^{-5}}$$

$$= \sqrt{6.94 \times 10^{-4}}$$

$$= 0.03$$

$$u_g = u_r \eta = 0.03 \times 0.9228 = 0.028 (\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$$

天津大学本科实验报告专用纸

4. 实验结果及不确定度数据

\bar{d}/mm	\bar{t}/s	$\eta/(\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1})$
0.987	65.55	0.9228

$S\bar{d}/\text{mm}$	$S\bar{t}/\text{s}$	U_d/mm	U_t/s	U_r	$U\eta/(\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1})$
3.212×10^{-3}	0.27	0.011	0.7	0.03	0.028

5. 实验结论: 在 $T = 20.61^\circ\text{C}$ 时, $\eta = (0.923 \pm 0.028) \text{ kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$

$P = 95\%$

七. 实验误差分析与实验感想

1. 误差分析: (1) 首先由于对液面直径等只进行一次测量, 其测量数据存在一定偏差, 虽此数据对于整个实验的影响相较于其他数据而言影响较小, 但对于实验的准确性仍存在影响, 不能忽视。改进方法: 使用适合的高精度仪器测量; 多次测量求平均等均可减小此误差。

(2) 液面直径是一定的, 其是否可以拟合出一个合适的实验环境与 D 与 d 相对大小相关, 故其对于实验准确性存在一定影响。

(3) 小钢球直径的误差影响是相较于最大的, 主要由于 d 在公式中为平方, 使其影响加倍, 另外由于 d 本身极小, 测量上更易产生较大的误差, 因而对实验结果影响较大。

关于时间 t 的影响, 秒表的精度为 0.01s, 而人的反应速度远大于此分度, 人为操作测量时间其精度是难以保证的, 因而在实验过程中会由于人为因素而对实验结果产生较大的影响。改进措施: 提高实验人员操作水平, 尽量减小人为误差。

(5) 温度的影响: 室温并不是保持稳定不变的, 且实验装置也没有保温装置, 由于存在温度越低, η 越大的关系, 则由于实验室内温度的变化也会造成误差。改进方法: 加一个恒温装置, 测定某一温度下 η 值。

教师签字:

年 月 日

天津大学本科生实验报告专用纸

学院_____ 年级_____ 专业_____ 班级_____ 姓名_____ 学号_____

课程名称_____ 实验日期_____ 成绩_____

同组实验者_____

2. 实验感想

在本次实验, 操作步骤等都比较简单, 但同时想要测取较好的实验结果也不容易。整个实验过程大体可以分为两个版块, 一是对时间 t 的测量, 二是对小钢球 d 的测量。在测量时间 t 时需注意以下要点: 保持视线与液面黑线平行以较为准确的测量时间 t , 避免视线仰视或俯视均会造成时间 t 测量不准, 其中仰视时先于平视时计时, 俯视时晚于平视时计时。另外, 本次实验使用了不同的长度测量仪器进行测量, 除了常见的木尺以外, 有游标卡尺和移测显微镜, 可以看出使用何种器材取决于待测物的尺寸以及精度要求, 在平时实验中, 我们也应注意合理选用实验器材, 提高测量的准确度。

另外, 实验中老师对于原始数据中存在问题给了一一指导, 而在实验容易遗忘的细节老师也给予了指证, 如单位换算, 数据保留有效位数等问题, 因而在今后实验中也应牢记这些细节。

八. 拓展与设计

$$Re = Vd\rho/\eta \quad \text{水的密度: } \rho = 1\text{g/cm}^3$$

$$\text{在本实验中: } d = 10.96 \pm 0.06\text{mm}$$

在 $\frac{Vd}{\eta} < 0.1$ 时, 不必修正

$$0.1 < \frac{Vd}{\eta} < 1 \text{ 时, } F = 3\pi\eta Vd \left(1 + \frac{5}{16} Re\right)$$

$$\frac{Vd}{\eta} > 1 \text{ 时, } F = 3\pi\eta Vd \left(1 + \frac{5}{16} Re - \frac{19}{1280} Re^2\right)$$

高度差 $h = 24.60 \text{ cm}$

$\rho = 0.9600 \text{ g/cm}^3$

信箱号: 26号

液面直径 8.545 cm

$\rho = 7.670 \text{ g/cm}^3$ (铜球)

$T_{\text{前}} = 20.70^\circ\text{C}$

$$\eta = \frac{(\rho - \rho_0) g d^2 t}{18 \mu (1 + 2.4 \frac{\rho_0}{\rho})}$$

$T_{\text{后}} = 20.92^\circ\text{C}$

$\bar{T} = 20.61^\circ\text{C}$

\bar{T}

$g = 9.8 \text{ m/s}^2$

\bar{g}

次数	1	2	3	4	5	6
t/s	66.65	64.94	65.25	65.94	64.97	65.53
V/mL	0.37	0.38	0.38	0.37	0.38	0.38
F/mm	0.000	0.045	0.082	0.083	0.034	0.090
F_0/mm	1.000	1.030	1.067	1.065	1.024	1.067
d/mm	1.000	0.985	0.985	0.982	0.990	0.977

η

$$\eta - \text{Pa}\cdot\text{s} = \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$$

$\rho - \rho_0 = 6.71 \text{ g/cm}^3$

$$\bar{d} = \frac{\sum d}{6} = 0.987 \text{ mm}$$

$$\bar{t} = \frac{\sum t}{6} = 65.55 \text{ s}$$

$$\eta = \frac{(\rho - \rho_0) g d^2 \bar{t}}{18 \mu (1 + 2.4 \frac{\rho_0}{\rho})} = \frac{6.71 \times 10^3 \times 9.8 \times (0.987 \times 10^{-3})^2 \times 65.55}{18 \times 2.4 \times 10^{-2} \times (1 + 2.4 \times \frac{0.987}{85.45})} = 0.9228$$

刘迎 9#

2017. 12. 4