

4

班级信箱号: 34#

天津大学物理实验报告

信息 学院 2013 年级 通信工程 专业 四 班 姓名 刘楠 成绩 8.8

实验日期: 2014年07月14日 学号 201320427 同组实验者

实验题目: 用落球法测定液体的黏度

一. 实验目的

根据斯托克斯定律用落球法测定液体黏度

二. 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

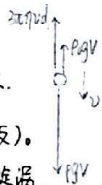
三. 实验原理

1. 如图所示, 小球在液体中下落时, 受到3个铅直方向的力, 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, 如果液体黏度较大, 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, 小球所受的黏性力 $F = 3\pi\eta v d$ (1-1)式中: η 是液体的黏度; d 是小球的直径; v 是小球的速度。2. 开始时小球下落速度较小, 黏性阻力也较小, 因而小球作加速运动。随着小球速度的增加, 黏性阻力也增加。最后, 上述3种力达到平衡, 即 $\rho g V = 3\pi\eta v d + \rho_0 g V$ 。于是, 小球开始作匀速直线运动 (此时的运动速度称为收尾速度)。将小球体积 $V = \frac{1}{6}\pi d^3$ 代入上式, 整理后得液体的黏度 $\eta = \frac{(\rho - \rho_0)gd^2}{18v}$ (1-2)3. 实验时, 待测液体盛在内径为 D 的量筒中, 因而小球在下落过程中不满足无限广延条件。考虑到容器壁的影响, 式 (1-2) 应修正为 $\eta = \frac{(\rho - \rho_0)gd^2}{18v(1 + 2.4\frac{d}{D})}$ (1-3)式中: v 是给定实验条件下的小球收尾速度, 可以通过测量上下两标线 M, N 之间的距离 l 和小球下落过程中经过 l 所需的时间 t 得到。即 $v = l/t$ 。于是式 (1-3) 可改写为 $\eta = \frac{(\rho - \rho_0)gd^2}{18l(1 + 2.4\frac{d}{D})}$ (1-4)由式 (1-4) 可以看出, 只要测得 ρ, ρ_0, d, D, l 和 t 各量, 即可求出液体的黏度 η 。

4. 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, 选用的小球直径应当小一些。



天津大学物理实验报告

附 页

四. 实验步骤

1. 用乙醚和酒精的混合液清洗小钢球以去除污迹, 再用滤纸吸干残液。
2. 用5个大小相同的小钢球做实验, 用移液显微镜测量1个小球的直径 d , 反复测量5次。
3. 调节量筒竖直, 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的密度 ρ , 用游标卡尺测量量筒内壁内径 D 。
4. 在实验前后各测一次油温, 记为 T_1, T_2 , 然后求平均, 作为实验时的油温 T , 并用密度计测量油的密度 ρ_0 。
5. 用小镊子夹起小钢球, 将球体用油润湿后, 沿量筒中轴线投入油中, 用停表测出小球经过距离 l 所需的时间 t , 用小镊子夹起另一个钢球, 重新落球, 反复测量5次。

五. 数据处理

1) 实验数据

- ① 量筒内径 $D = 8.25 \text{ cm}$ (用 0.05 mm 分度值的游标卡尺测量)
- ② 上下两标线距离 $l = 20.00 \text{ cm}$ (用 mm 分度的米尺测量)
- ③ 实验前温度 $T_1 = 25.7^\circ\text{C}$, 实验后温度 $T_2 = 26.1^\circ\text{C}$, 平均值 $T = 25.9^\circ\text{C}$, 对应油密度 $\rho_0 = 0.860 \text{ g/cm}^3$ (用分度值 0.01 g/cm^3 的密度计测量); 其他数据见下表 (小球直径 d 使用 0.01 mm 分度的移液显微镜测量; 下落时间用 0.01 分度的机械停表测量)。

表1-1 用落球法测定液体的黏度实验用不同小球时相应的时间读数

序号	小钢球直径/mm			下落时间/s		
	d	\bar{d}	S_d	t	\bar{t}	S_t
1	0.686	0.693	0.002	91.315	90.90	0.26
2	0.697			91.565		
3	0.689			90.225		
4	0.695			90.575		
5	0.690			91.065		

实验室给出的小钢球密度 $\rho = 7.670 \pm 0.014 \text{ (g/cm}^3\text{)}$, 重力加速度取 980 cm/s^2 则在 25.9°C 中, 计算油黏度 $\eta = 0.782 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

> 测量不确定度分析

天津大学物理实验报告

天津大学物理实验报告

附 页

信息 学院 2013 年级 通信工程 专业 四 班 姓名 刘楠 成绩

实验日期: 2014年10月14日 学号 301304272 同组实验者

实验题目: 用落球法测定液体的黏度

根据 (1-4), 把 g 视为常量, 修正项引起的测量不确定度略去, 可是黏度 η 的相对不确定度

$$\frac{U_{\eta}}{\eta} = \sqrt{\left[\frac{U(d)}{d}\right]^2 + 4\left(\frac{U(l)}{l}\right)^2 + \left(\frac{U(t)}{t}\right)^2 + \left(\frac{U(\rho)}{\rho}\right)^2} \quad (1-5), \text{ 其中 } U(\rho) = \sqrt{U_{\rho}^2 + U_{\rho_0}^2}$$

1) 小钢球直径 d 的测量标准不确定度 U_d 由两部分组成: 一是 A 类不确定度 $U_A = t_{0.98} \cdot S_d = 0.002 \text{ (mm)}$; 二是 B 类不确定度, 与移测显微镜的示值误差有关, $U_B = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 5.8 \times 10^{-3} \text{ (mm)}$, 所以测量钢球直径的合成标准不确定度

$$U_d = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = 6.1 \times 10^{-3} \text{ (mm)} \quad (P=68.3\%)$$

2) 测量距离 l 的标准不确定度 U_l : 由于上下两板较密, 用米尺测量时, 设其误差限 $\Delta_l = 2 \text{ mm}$, 于是 $U_l = \frac{\Delta_l}{\sqrt{3}} = 1.2 \text{ (mm)}$ ($P=68.3\%$)

3) 下落时间 t 的测量不确定度: A 类标准不确定度 $U_A = t_{0.98} \cdot S_t = 0.26 \text{ (s)}$; 停表的示值误差限 $\Delta = 0.1 \text{ s}$, 设开停表的对准误差各不超过 0.1 s , 于是 B 类标准不确定度 $U_B = \sqrt{3 \times \left(\frac{0.1}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0.1 \text{ (s)}$, 所以时间 t 的测量标准不确定度 $U_t = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = 0.28 \text{ (s)}$ ($P=68.3\%$)

4) 油密度的测量标准不确定度 U_{ρ} : 油密度 ρ 用密度计测量, 可以取密度计的标度值作为仪器示值误差限, 所以 $U_{\rho} = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = 0.006 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ ($P=68.3\%$)

5) 钢球密度测量的标准不确定度 $U_{\rho_0} = 0.014 \text{ g/cm}^3$, 将分析所得各测量值的标准不确定度代入式 (1-5), 得 $\frac{U_{\eta}}{\eta} = 0.019 = 1.9\%$

所以, 油黏度的测量标准不确定度 $U_{\eta} = 1.9\% \times \eta = 0.015 \text{ (Pa} \cdot \text{s)}$ ($P=68.3\%$)

测量结果: 油在温度为 25.9°C 时的黏度 $\eta = (0.782 \pm 0.015) \text{ (Pa} \cdot \text{s)}$ ($P=68.3\%$) $U_{\eta} = 1.9\%$

六. 注意事项及感悟

1) 注意事项

① 实验前清洗小球上的污迹, 以免影影响实验数据。

② 用移测显微镜测小球直径 d 时, 不要直接测量小球两边界, 要离开一段距离后再测, 防止空程影响数据。

③ 用小镊子夹起小钢球后, 将球体用油浸湿, 以免影响数据。

④ 落球时, 要以量筒中央落球, 以免容器内壁对其产生影响, 影响数据。

2) 感悟

通过本次实验, 我又重新的学习了游标卡尺和千分尺的读数, 以前虽然学过但是却忘了; 还学会了用移测显微镜测小钢球的直径, 又学会了一种新仪器, 心里挺开心的; 这次实验教会了我怎样测液体黏度, 并知道了黏度除与 $\eta = \frac{(P \cdot \rho) \cdot d^2}{8 \cdot l \cdot (H + 2.4 \cdot \rho)}$ 中的各个量有关之外, 还与温度有关, 温度越高, 液体黏度越小; 说实话, 以前不知道黏度单位是 $\text{Pa} \cdot \text{s}$, 更不知道 $1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, $1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{ P (泊)}$; 这篇实验报告自己独立完成, 锻炼了自己的动手能力。



() 作业纸

系别 信息 班级 通信 姓名 刘莉 第 30132042 页

量筒内径 D 8.215cm

上下标线 l 20.00cm

小钢球密度 ρ 7.670 ± 0.04 (g/cm³)

实验前油温 T_1 25.7℃

$$T = \frac{(T_1 + T_2)}{2} = 25.9^\circ\text{C}$$

实验后油温 T_2 26.1℃

油密度 ρ_0 0.960 (g/cm³)

测得次数	小钢球直径/mm			下落时间/s		
	d	\bar{d}	S_d	t	\bar{t}	S_t
1	0.696	0.693	0.002	91.315	90.90	0.26
2	0.697			91.565		
3	0.689			90.225		
4	0.695			90.315		
5	0.690			91.065		

PTK

2014. 10. 14

45#