

a. 实验名称：用落球法测定液体的黏度。

b. 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。

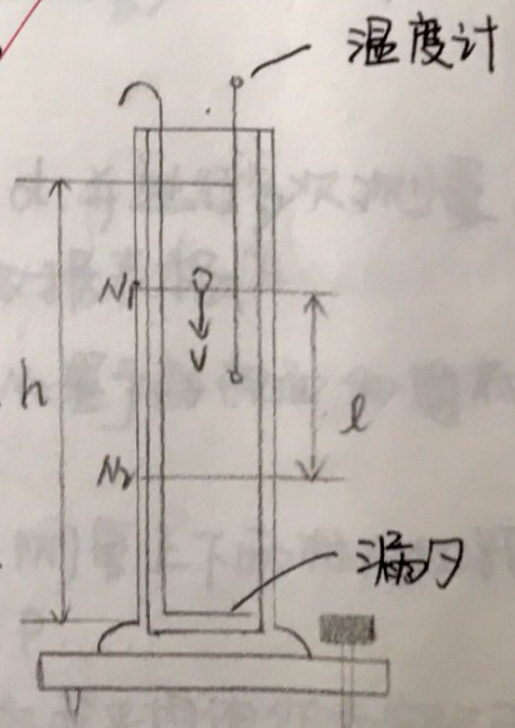
c. 实验 仪器：

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。

d. 实验原理：

如图所示，小球在液体中下落时，受到三个竖直方向的力，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 (其方向与小球的运动方向相反)。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

$$F = 3\pi\eta vd.$$



天津大学本科生实验报告专用纸

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 $\rho v g = 3\pi\eta v d + \rho_0 v g$. 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, $V = \frac{1}{6}\pi d^3$ 代入上式, 整理后可得液体的

$$\text{黏度 } \eta = \frac{(\rho - \rho_0)gd^2}{18v}$$

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大延的条件. 这时实际测量的速度 v_0 和理想条件的速度 v 存在如下关系

$$v = v_0 \left(1 + 2.4 \frac{d}{D}\right) \left(1 + 1.6 \frac{d}{h}\right), \quad h \text{ 是液体的深度. 当 } h \gg d \text{ 时}$$

$$\eta = \frac{(\rho - \rho_0)gd^2t}{18l \left(1 + 2.4 \frac{d}{D}\right)}$$

l 是图中 N_1, N_2 的距离. 由此式可以看出只要测得 ρ, ρ_0, d, D, l 和 t 各量即可求出液体的黏度 η .

当小球密度较大, 直径不是太小, 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. 可用奥西里斯公式描述液体运动状态对斯托克斯公式的影响.

$$\text{即 } F = 3\pi\eta v d \left(1 + \frac{3}{16} Re - \frac{19}{1280} Re^2 + \dots\right), \quad Re \text{ 是雷诺数}$$

教师签字: 王超
2016年12月26日

(59)

是表征液体运动状态的量为1的参量. 并且 $Re = \frac{vd\rho_0}{\eta}$

当 $Re < 0.1$ 时, 可认为式 $F = 3\pi\eta vd$ 和 $\eta = \frac{(P-P_0)gd^2t}{18l(1+2.4\frac{d}{b})}$ 成立;

当 $Re > 0.1$ 且 $Re < 1$ 时, 应考虑一级修正项的影响. 当 $Re > 1$ 时, 还需考虑, 高次修正项.

为保证小球在液体中下落时不产生涡旋, 其收尾速度不能太大, 选用的小球直径应适当小一些. 实验采用直径为 1mm 的小钢球, $Re \ll 0.1$, 故可直接用 $\eta = \frac{(P-P_0)gd^2t}{18l(1+2.4\frac{d}{b})}$ 计算粘度

e. 实验步骤.

1. 用移液显微镜测出小钢球直径 d , 并进行多次测量, 计算平均值及其测量不确定度. 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 置于液面和筒底 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球钢球的密度 ρ .

4. 在实验前后各测一次油的温度, 然后求平均值作为实验时

天津大学本科生实验报告专用纸

的油温,并用密度计测量油的密度 ρ .

5. 用小镊子夹起小球,将球体用油湿润后,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 ,重复操作,多次测量,设计数据表格,计算时间的不确定度.

f. 实验数据.

1. 实验前温度 $T_0 = 20.09^\circ\text{C}$, 实验后温度 $T = 20.11^\circ\text{C}$.

故 $\bar{T} = 20.10^\circ\text{C}$.

2. 标距 $l = 25.45\text{cm}$.

3. 量筒内径 $D = 85.80\text{mm} = 8.580\text{cm}$.

4. 小钢球密度 $\rho = 7.670\text{g/cm}^3$.

液体密度 $\rho_0 = 0.956\text{g/cm}^3$.

5. 小球直径.

测量	1	2	3	4	5	6	$\bar{d}(\text{mm})$
$d(\text{mm})$	0.999	0.994	1.004	0.998	0.988	0.970	0.992

6. 时间 t .

实验	1	2	3	4	5	6	$\bar{t}(\text{s})$
$t(\text{s})$	69.62	68.65	71.59	67.10	66.84	66.85	68.44(5)

教师签字:

年 月 日

天津大学本科实验报告专用纸

学院 机械学院 年级 2015 专业 工程力学 班级 2 姓名 李艺染 学号 3015220043

课程名称 落球法测液体粘度 实验日期 2016.12.26 成绩

同组实验者 无

9. 数据处理

$$\eta = \frac{(p-p_0)gd^2t}{18l(1+2.4\frac{d}{b})} = \frac{(7.670-0.956) \times 980.1 \times (0.0992)^2 \times 68.44}{18 \times 25.45 \times (1+2.4 \frac{0.0992}{8.580})}$$

$$= 9.412 \text{ Pa}.$$

粘度 η 的相对不确定度 $u_r = \sqrt{\frac{u_p^2 + u_{p_0}^2}{(p-p_0)^2} + 4(\frac{u_d}{d})^2 + (\frac{u_t}{t})^2 + (\frac{u_l}{l})^2}$

其中 $u_p = 0.029/\text{cm}^3$ $u_{p_0} \approx 0.001/\text{cm}^3$

$u_d = \sqrt{(t_{0.95} S_{\bar{d}})^2 + \frac{1}{2} \Delta^2}$, $\Delta = 0.01 \text{ mm}$. $t_{0.95}(6) = 2.57$

$u_t = \sqrt{(t_{0.95} S_{\bar{t}})^2 + \frac{1}{2} \Delta^2}$, $\Delta \approx 0.1 \text{ s}$.

$u_l \approx 1 \text{ mm}$.

$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{733 \times 10^{-6}}{6 \times 5}} = 4.943 \times 10^{-3} \text{ mm} = 0.4943 \times 10^{-3} \text{ cm}$

$S_{\bar{t}} = \sqrt{\frac{\sum (t_i - \bar{t})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{18.213}{6 \times 5}} = 0.779 \text{ s}$.

$\therefore u_d = \sqrt{(t_{0.95} S_{\bar{d}})^2 + \frac{1}{2} \Delta^2} = \sqrt{(4.943 \times 10^{-4} \times 2.57)^2 + \frac{1}{2} (0.001)^2} = 0.001454 \text{ cm}$

$u_t = \sqrt{(t_{0.95} S_{\bar{t}})^2 + \frac{1}{2} \Delta^2} = \sqrt{(2.57 \times 0.779)^2 + \frac{1}{2} \times 0.1^2} = 2.003 \text{ s}$.

$$\begin{aligned} \therefore u_r &= \sqrt{\frac{u_p^2 + u_{p_0}^2}{(p - p_0)^2} + 4\left(\frac{u_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{u_t}{t}\right)^2 + \left(\frac{u_e}{e}\right)^2} \\ &= \sqrt{\frac{0.02^2 + 0.001^2}{6.714^2} + 4 \times \left(\frac{0.001454}{0.0992}\right)^2 + \left(\frac{2.003}{62.44}\right)^2 + \left(\frac{0.1}{25.45}\right)^2} \\ &= 0.0417 \end{aligned}$$

根据 $u_r = \frac{u_\eta}{\eta}$

可得不确定度 $u_\eta = 0.0417 \times 9.412 = 0.3925$

教师签字:

年 月 日

实验原始数据

1. 实验前温度 20.09°C

小钢球 $\rho = 7.670 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

2. 标距 $l = 25.45 \text{ cm}$

3. 量筒内径 $D = 85.80 \text{ mm} = 8.580 \text{ cm}$

4. 液体密度 $\rho_0 = 0.956 \text{ g/cm}^3$

5. 小球直径 d .

	右 mm	左 mm	$d (\text{mm})$
1	28.7345	29.734	0.999
2	23.467	24.461	0.994
3	22.883	23.887	1.004
4	18.355	19.353	0.998
5	18.594	19.682	0.988
6	18.000	18.970	0.970

$$\bar{d} = 0.992 \text{ mm}$$

$$= 0.0992 \text{ cm}$$

6. 时间 t .

次数	1	2	3	4	5	6	$\bar{t} (\text{s})$
$t (\text{s})$	69.62	68.65	71.59	67.10	66.84	66.85	68.445

实验后温度: $T' = 21.10^{\circ}\text{C}$

$$\eta = \frac{(\rho - \rho_0) g d^2 t}{18 l (1 + 2.4 \frac{d}{D})} = \frac{(7.670 - 0.956) \times 980.1 \times (0.0992)^2 \times 68.44}{18 \times 25.45 \times (1 + 2.4 \times \frac{0.0992}{8.580})}$$

$$= \frac{4431.398}{470.811474} = 9.412$$