

天津大学本科实验报告专用纸

学院 机械工程 年级 2016 专业 工程力学 班级 一班 姓名 冯旭阳 学号 3016201004

课程名称 落球法测定液体的黏度 实验日期 2017年12月11日 成绩 89

同组实验者

【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. 掌握落球法测定液体的黏度和方法

【实验仪器】

黏度测量装置,游标卡尺,停表,温度计,密度计,米尺,移测显微镜等。

【实验原理】

如图1所示,小球在液体中下落时,受到3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(G. G. Stokes, 1819-1903)定律,小球所受的黏性力

$$F = 3\pi\eta vd \quad (1)$$

式中 η 是液体的黏度, d 是小球的直径, v 是小球的速度。

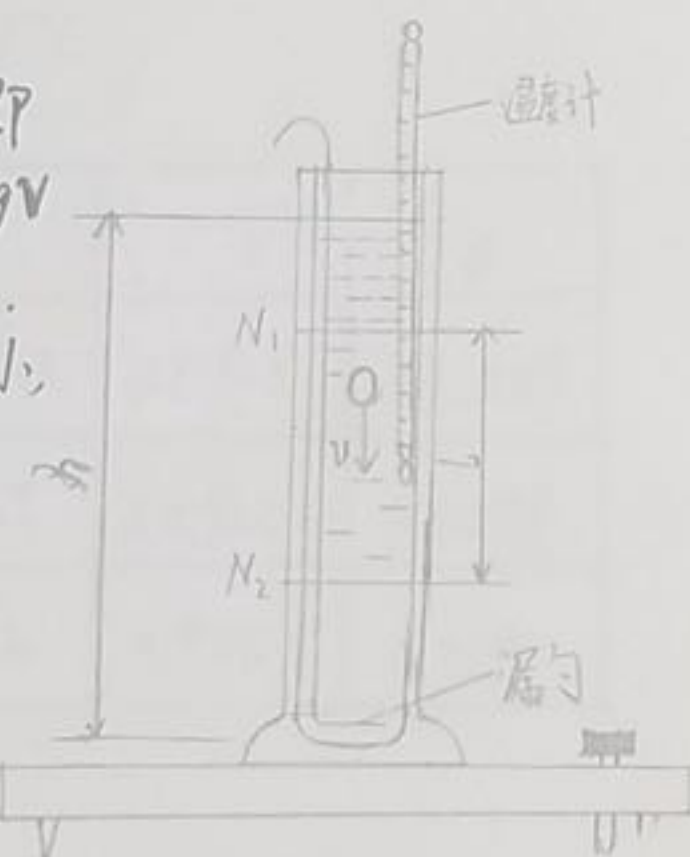


图1 黏度测定

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3种力达到平衡,

$$\rho V g = 3\pi\eta vd + \rho_0 V g$$

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 $V = \frac{1}{6}\pi d^3$ 代入上式,整理后可得液体的黏度

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

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_0 和理想条件的速度 v 存在如下关系。

天津大学本科实验报告专用纸

$$v = v_0(1 + 2.4\frac{d}{D})(1 + 1.6\frac{d}{D}) \quad (3)$$

式中 h 是液体的深度,当 $h \gg d$ 时,

$$\eta = \frac{(\rho - \rho_0)gd^2}{18v(1 + 2.4\frac{d}{D})} \quad (4)$$

从图11-1中 N_1, N_2 的距离,由式(11-5)可看出,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-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

$$F = 3\pi\eta vd(1 + \frac{3}{8}Re - \frac{1}{1280}Re^2 + \dots) \quad (5)$$

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

$$Re = vd\rho_0/\eta \quad (6)$$

当 $Re < 0.1$ 时,可认为式(11-4)成立;当 $0.1 < Re < 1$ 时,应考虑式(5)中一级修正项的影响;当 $Re > 1$ 时,还需要考虑(5)中的高次修正项。

为了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,故可直接用式(4)计算黏度。

【实验步骤】

1. 用移测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 置于离液面和筒底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的油温,并用密度计测量油的密度 ρ_0 。
5. 用小镊子夹起小钢球,将球体用油浸润后,沿量筒中轴线

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_____

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。

【数据表格及数据处理】

$$\rho = 7.670 \text{ g/cm}^3 \quad \rho_0 = 0.9552 \text{ g/cm}^3 \quad g = 9.801 \text{ m/s}^2$$

$$D = 86.30 \text{ mm} \quad l = 273.5 \text{ mm}$$

$$T_{\text{实验前}} = 22.1^\circ\text{C} \quad T_{\text{实验后}} = 22.2^\circ\text{C} \quad T = 22.15^\circ\text{C}$$

	1	2	3	4	5	6
x_1/mm	32.688	35.572	37.226	38.445	39.915	41.589
x_2/mm	33.702	36.591	38.237	39.427	40.903	42.599
$d = x_1 - x_2 /\text{mm}$	1.014	1.019	1.011	0.982	0.988	1.010

$$\bar{d} = 1.004 \text{ mm}$$

下落时间:

	1	2	3	4	5	6
t/s	68.28	67.53	68.62	68.56	68.46	68.25

$$\bar{t} = 68.28 \text{ s}$$

$$\eta = \frac{(\rho - \rho_0)gd^2t}{18L(1 + 2.4\frac{d}{D})} = 0.895 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

天津大学本科生实验报告专用纸

不确定度计算:

$$\text{已知 } \rho = 0.028 \text{ g/cm}^3 \quad \rho_0 = 0.001 \text{ g/cm}^3$$

$$u_d = \sqrt{(t_{0.95} S_t)^2 + \frac{1}{2} \Delta^2} \quad \text{其中 } \Delta = 0.0/\text{mm} \quad t_{0.95} = 2.57$$

$$S_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n(n-1)}} = 0.137 \text{ s}$$

$$\Rightarrow u_t = 0.352 \text{ s}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n(n-1)}} = 0.0062 \text{ mm}$$

$$u_d = 0.017 \text{ mm}$$

$$\because u_l = 2 \text{ mm} \\ \therefore u_r = \frac{u_g}{\eta} = \sqrt{\frac{u_\rho^2 - u_{\rho_0}^2}{(\rho - \rho_0)^2} + 4\left(\frac{u_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{u_t}{\bar{t}}\right)^2 + \left(\frac{u_l}{l}\right)^2} \quad \text{计算过程}$$

$$= 0.037$$

$$\therefore \mu_\eta = \eta u_r = 0.037 \times 0.895 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 0.033 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

在温度为 22.15°C 时

$$\eta = (0.895 \pm 0.033) \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

【结果分析与讨论】

1. 实验时小球下落时为何一定要从中心处下落,若小球偏离中心,会造成什么影响?

答:由于实验公式推导过程中假设了小球在无限广的液体中,而实际上是在有限广的液体中,要尽可能地减少实验误差,应当使小球四周受力对称,故应在中心处落下,否则将会增大系统性误差。

教师签字:

年 月

班级信箱号 006

班级信箱号
006

910114

天津大学

#54

本科生实验报告专用纸

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. 实验中温度不稳会怎样?

答: 粘度的大小取决于液体的性质与温度, 温度升高, 粘度将迅速减小, 因此, 欲准确测量液体的粘度, 必须精确控制液体温度。

3. 测量中, D , l 和 ρ 均为单次测量, 存在一定误差, 但由于相比于小球直径 d 的误差, 这几个量的误差都很小, 可以忽略。

天津大学本科生实验报告专用纸

教师签字:

年 月 日



天津大学

TIANJIN UNIVERSITY

$T_{\text{实验前}} = 22.1^{\circ}\text{C}$

$D = 86.30 \text{ mm}$

$T_{\text{实验后}} = 22.2^{\circ}\text{C}$

$T = 22.15^{\circ}\text{C}$

$\rho_0 = 0.9552 \text{ g/cm}^3$

$\rho = 7.670 \text{ g/cm}^3$

$l = 273.5 \text{ mm}$

$g = 9.801 \text{ m/s}^2$

	1	2	3	4	5	6
x_1/mm	32.688	35.572	37.226	38.445	39.915	41.589
x_2/mm	33.702	36.591	38.237	39.427	40.903	42.599
$d = x_1 - x_2 $	1.014	1.019	1.011	0.982	0.988	1.010
	1	2	3	4	5	6
$\Delta t/\text{s}$	68.28	67.53	68.62	68.56	68.46	68.25

$\bar{d} = 1.004 \text{ mm}$

$\bar{\Delta t} = 68.28 \text{ s}$

刘迎 9#

2017.12.11