

大学物理实验报告

第一部分（实验目的与原理）

学部（院）电子信息学院 姓名乔洪煜寒 学号2028410073 专业电科

实验日期 _____ 成绩 _____

【实验名称】

用落球法测液体的黏度

【实验目的】

1. 观察液体的黏性现象
2. 学习用落球法测液体的粘滞系数

【实验原理】

黏性力：

在稳定流动的流体中，由于平行于流动方向各层流体速度不同，在相互接触的两层液体之间就有力的作用。流速较快的一层使流速较慢的一层加速，流速较慢的一层使流速较快的一层减速。于是在各层之间就有摩擦力产生，这一作用力称为内摩擦力或黏性力，液体取这一性质称为黏性。

黏性力的方向平行于接触面，其大小与速度梯度及接触面积成正比，比例系数 η 称为黏度（粘滞系数），它由液体的特性和温度所决定，且随着温度的升高而减小，是表征液体黏性强弱的重要参数。

液体粘滞性的测量是非常重要的，对液体粘滞性的研究在医疗、航空、水利、机械润滑和液压传动等领域有广泛的应用。

测量液体粘滞系数的方法有多种，如落球法（斯托克斯法）、毛细管法、转筒法、平板法和振动法等。其中落球法是最基本的一种，它可用于测量粘度较大的透明或非透明液体，如蓖麻油、变压器油、甘油等。本实验采用落球法测量液体的黏度系数。

粘滞系数的测量：

落球法是将小球放入液体中让其落下，以测定液体的粘滞系数，此方法适用于系数较

大的液体的测量。

假设小球在无限广延的液体中下落,由于附着于球面的液层与周围其他液层之间存在着相对运动,产生摩擦力,即小球受到黏性力。它的大小与小球下落的速度有关。

根据斯托克斯定律,小球所受到的黏性力 f 为:

$$f = 6\pi\eta r v = 3\pi\eta d v$$

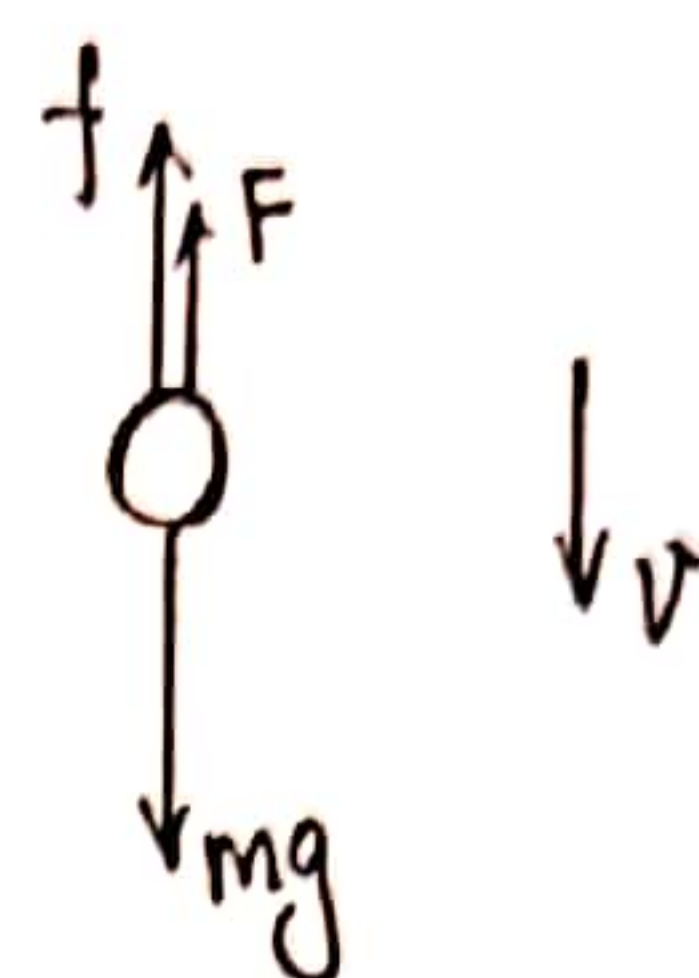
式中 d 是小球的直径, v 是小球的速度, η 为液体粘滞系数

斯托克斯定律要求液体是无限广延的且无旋涡产生。故所用的小球是光滑的,而且半径应当适当小。

粘滞系数的测量:

当金属小球在粘性液体中下落时

受到三个恒直方向的力 \Rightarrow { 小球的重力 mg
液体作用于小球的浮力 f
黏性阻力 F (其方向与小球运动方向相反)



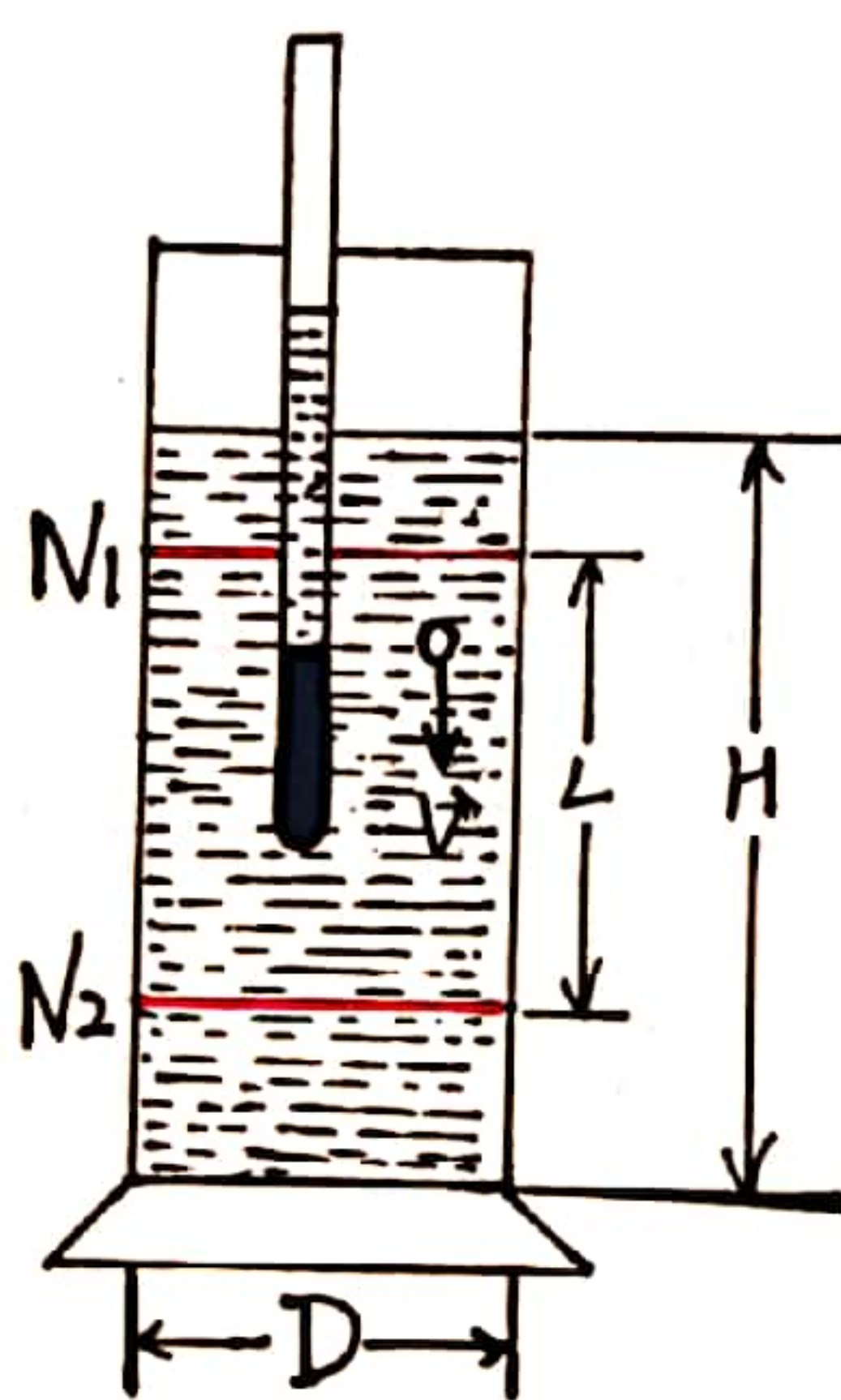
粘滞系数的测量:

实验时,待测液体盛于容器中,故不能满足无限广延的条件,实验上式应该进行修正。

修正表达式为:

$$\eta = \frac{(\rho_0 - \rho_{\text{液}}) g d^2 t}{18L(1 + 2.4 \frac{d}{D})}$$

式中 D 为容器的内径



【实验仪器】

FD-VM-II型落球法液体粘滞系数测定仪、螺旋测微器、钢尺、水银温度计、密度计、镊子、小钢球等

大学物理实验报告

第二部分（实验记录）

学部（院）电子信息学院 姓名乔洪煜寒 学号2028410073 专业电科实验日期 2021.4.15 成绩 _____【原始实验数据及实验现象记录】 千分尺初读数 $d_0 = -0.010\text{mm}$

序号	1	2	3	4	5	6
末读数 (mm)	2.475	2.360	2.480	2.465	2.475	2.476
小球直径 d_i (mm)	2.485	2.370	2.490	2.475	2.485	2.486
下落时间 t_i (s)	11.55	11.43	11.42	11.45	12.50	11.48
$\overline{N_i N_2}$ (cm)	25.70	25.60	25.65	25.68	25.72	25.70

$$\rho_{\text{球}} = 7.800 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{液}} = 0.961 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$T_{\text{液}} = 22.05^\circ\text{C}$$

$$D = 62.00 \text{ mm}$$

大学物理实验报告

第三部分（实验方法与结果讨论）

学部（院） 电子信息学院 姓名 乔洪煜寒 学号 2028410073 专业 电科

实验日期 _____ 成绩 _____

【实验方法及步骤】

1. 将小钢球及镊子用乙醚、酒精混合液清洗干净（或用干净的纱布或软纸揉搓其表面使其洁净），擦干备用。用千分尺测量小球的直径，共测6个小钢球，每个球从不同的方向测量3次，求出小钢球的平均直径，并将6个小钢球编号待用。
2. 调整粘滞系数测量装置及实验仪器
 - (1) 调节粘度计的底板至水平，以保证玻璃圆筒中心轴线处于铅直状态。
 - (2) 启动激光计时器，先选用一个没有测量直径的小球从钢球导管中沿量筒轴线下落，观察小球能否阻断上下两束激光，如没有阻断激光束，则适当调整激光器位置，再调节接受器的位置，使激光束透过量筒的液体后到达激光接受器
3. 将小球放入钢球导管，当小球落下，阻挡上面的红色激光束，激光计时器开始记时，到小球落到阻挡下面的红色激光束时，停止记时，读出下落时间。按复位键，继续下一个小钢球的测量，直至测完6个小钢球
4. 用温度计测量油温，在全部小球下落后再测量一次油温，取平均值作为实际油温。
5. 用液体密度计测量蓖麻油的密度
6. 利用钢尺测量上下两个激光束之间的距离
7. 计算液体的粘度及标准不确定度

【实验数据处理及实验结果】

序号	1	2	3	4	5	6
末读数(mm)	2.475	2.360	2.480	2.465	2.475	2.476
小球直径 d_i (mm)	2.485	2.370	2.490	2.475	2.485	2.486
下落时间 t_i (s)	11.55	11.43	11.42	11.45	12.50	11.48
$N_i N_2$ (cm)	25.70	25.60	25.65	25.68	25.72	25.70

(1) 小球直径 d

$$A类: S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n(n-1)}} = 1.91 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$B类: \sigma_d = \frac{\Delta d_{\text{仪}}}{\sqrt{3}} = \frac{0.004 \text{ mm}}{\sqrt{3}} = 2.31 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$u_{cd} = \sqrt{S_{\bar{d}}^2 + \sigma_d^2} = 1.93 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

(2) 下落时间 t

$$A类: S_{\bar{t}} = \sqrt{\frac{\sum (t_i - \bar{t})^2}{n(n-1)}} = 1.99 \times 10^{-2} \text{ s}$$

$$u_{ct} = S_{\bar{t}} = 1.99 \times 10^{-2} \text{ s}$$

(3) 下落距离 $N_i N_2$

$$A类: S_{N_i N_2} = \sqrt{\frac{\sum (N_i N_2 - \overline{N_i N_2})^2}{n(n-1)}} = 1.78 \times 10^{-2} \text{ cm}$$

$$B类: \sigma_{N_i N_2} = \frac{\Delta N_i N_2 \cdot 1\%}{\sqrt{3}} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} \text{ cm} = 0.0577 \text{ cm}$$

$$u_{c, N_i N_2} = \sqrt{S_{N_i N_2}^2 + \sigma_{N_i N_2}^2} = 6.04 \times 10^{-2} \text{ cm}$$

综上所述得

$$\frac{u(\eta)}{\bar{\eta}} = \sqrt{\left(\frac{u_{cd}}{\bar{d}}\right)^2 + \left(\frac{u_{ct}}{\bar{t}}\right)^2 + \left(\frac{u_{c, N_i N_2}}{\bar{N_i N_2}}\right)^2} = 9 \times 10^{-3}$$

$$u(\eta) = 8.304 \times 10^{-3} (\text{Pa} \cdot \text{s})$$

$$\eta = \bar{\eta} \pm u(\eta) = (0.923 \pm 8.304 \times 10^{-3}) (\text{Pa} \cdot \text{s})$$

【问题讨论】

(1) 如何判断小球达到匀速运动状态?

答: 降低上面激光器的高度, 测量小球通过下面一段液体所用的时间。

(2) 仔细观察液体密度计的结构, 说明它的工作原理。

答: 浮力与浸入液体的体积呈正比关系。由于密度计所受的浮力一定(等于重力), 所以液体密度和浸入液体的体积成反比关系, 这样造成了密度计的刻度上小下大。而且刻度的变化不应当是线性的, 即如果密度计的粗细是均匀的, 刻度的变化不应当是均匀的。但是看到实验室的密度计基本是均匀的, 这可能是因为其范围比较小, 不均匀性没有明显地被察觉。