

落球法测液体的黏滞系数

周诗韵

物理教学实验中心

1. 知识回顾

黏度的概念：

- 液体内部的摩擦力（又称黏滯力）
- 粘滯力的方向：平行于接触面
- 粘滯力大小：与接触面面积、接触面处的速度梯度成正比，比例系数称为黏度 η （又称黏滯系数）。

$$\tau = \eta \frac{dv}{dx} \Delta s$$

- 黏度的单位： $\text{Pa} \cdot \text{s}$

黏度的影响因素

1. 液体的种类、性质

Q: 酒精的黏度 _____ 蓖麻油的黏度。（大于，小于，等于）

1. 液体的温度

Q: 液体的黏度随温度的升高而_____。（升高，降低，不变）

- 黏度的测量方法：

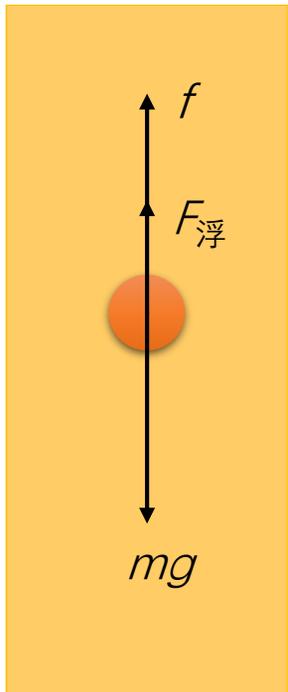
- (1) 泊肃叶法：通过测定在恒定压强差作用下，流经一毛细管的液体流量来求；

- (2) 转筒法：在两筒轴圆筒间充以待测液体，外筒作匀速转动，测内筒受到的粘滞力矩；

- (3) 阻尼法：测定扭摆、弹簧振子等在液体中运动周期或振幅的改变；

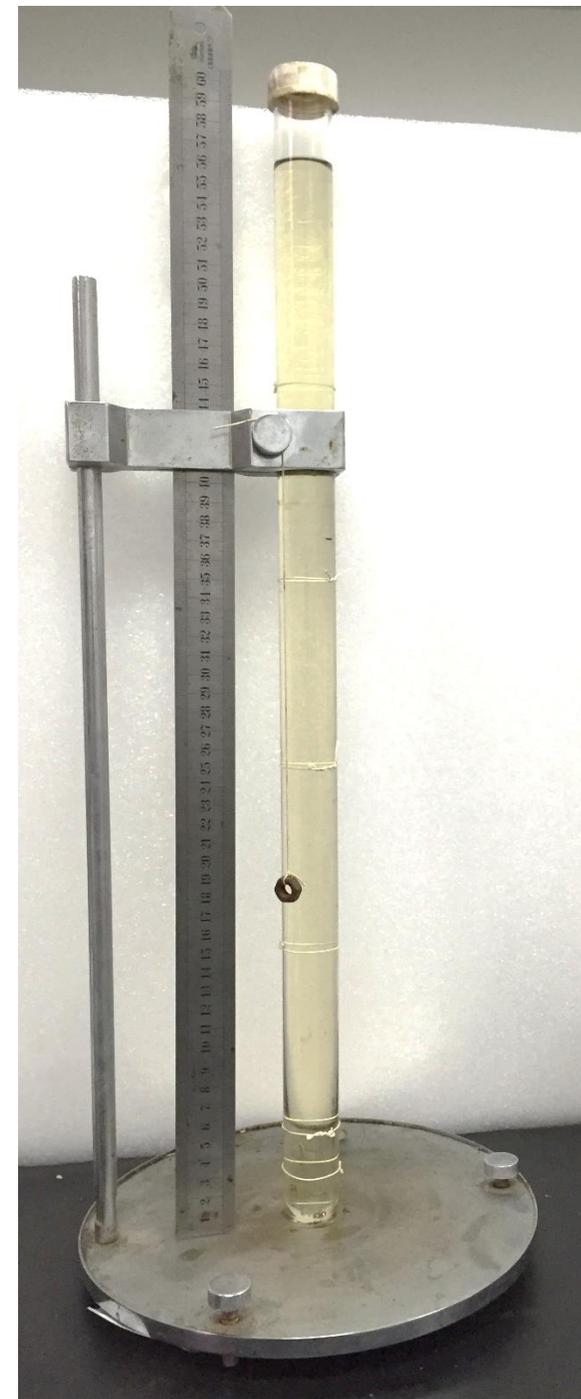
- (4) **落球法**：通过测量小球在液体中下落的运动状态来求。

2. 实验原理



- 在静止液体中缓慢下落的小球受力：
- 重力 $mg = \rho_{\text{球}} gV$
- 浮力
- 粘滞力：斯托克斯公式
- 匀速运动时： $mg = f + F_{\text{浮}} = 3\pi\eta vd$

$$\eta = \frac{(\rho_{\text{球}} - \rho_{\text{油}}) gd^2}{18v}$$



实验条件

- 1. 斯托克斯公式的成立条件?
 1. 无限深、无限广液体
 2. 小球
 3. 无湍流

$$\eta = \frac{(\rho_{\text{球}} - \rho_{\text{油}}) g d^2}{18\nu}$$

- 修正公式

- 有限深、有限广液体

- 湍流修正：在雷诺数 $Re = \frac{\rho_{油} d v}{\eta}$ 不是很小但是 $Re < 10$ 时，进行迭代修正

$$\eta' = \eta \left[1 + \frac{A}{\eta'} - \frac{1}{2} \left(\frac{A}{\eta'} \right)^2 \right]^{-1} \quad \text{其中} \quad A = \frac{3}{16} \rho_{油} d v$$

实验条件

- 2. v 如何测定?

$$v = \frac{l}{t}$$

钢尺

秒表

条件：
匀速运动

$$\eta = \frac{(\rho_{\text{球}} - \rho_{\text{油}}) g d^2}{18\nu}$$

- Q1. 从测量的角度, l 应该选择的大一些好, 还是小一些好?
- Q2. 计时起点如何确定?
- Q3. 用钢尺测量每条刻线的位置, 精确到0.1 mm。请问读数是否正确?

实验条件

$$\eta = \frac{(\rho_{\text{球}} - \rho_{\text{油}}) g d^2}{18\nu}$$

• 2. d 如何选择?

- 小一些 (0.8mm左右)
- ~~□ 大一些 (3 mm或者更大)~~

- ✓ 斯托克斯公式的条件
- ✓ 运动速度
- ✓ 湍流效应
- ✓ 计时起点

思考题

- 1. 落球法测量的适用范围是什么？能不能用它测量酒精的黏滞系数？
- 2. 如果小球偏离中轴线下落，会对黏度的测量值造成怎样的影响？
- 3. 如果选用较大直径的小球进行测量，通过计算和实验，从相对误差和不确定度的方面讨论对黏度测量值的影响。