

Study on the Experiment of the Viscosity Coefficient of Transparent Liquid by Falling-Ball Method

Zhicong Mai¹, Linghui Zhang², Shouliang Bu¹, Jianping Wen^{1*}

¹School of Physics and Optical Information Sciences, Jiaying College, Meizhou Guangdong

²School of Civil Engineering, Jiaying College, Meizhou Guangdong

Email: *wenjp@jyu.edu.cn

Received: Jan. 20th, 2018; accepted: Feb. 4th, 2018; published: Feb. 23rd, 2018

Abstract

In uniform motion in a falling ball method, the experiment of measuring liquid viscosity analysis balls with different positions and different motion state into the liquid was conducted, and then the influence of the viscous coefficient of transparent liquid was determined.

Keywords

Falling-Ball Method, Viscosity, Speed

落球法测透明液体黏度系数实验的扩展研究

麦炽聪¹, 张灵辉², 卜寿亮¹, 温建平^{1*}

¹嘉应学院, 物理与光信息科技学院, 广东 梅州

²嘉应学院, 土木工程学院, 广东 梅州

Email: *wenjp@jyu.edu.cn

收稿日期: 2018年1月20日; 录用日期: 2018年2月4日; 发布日期: 2018年2月23日

摘要

在匀速落球法测液体黏度的实验中, 研究选取不同水平位置 and 不同垂直位置释放, 小球以不同运动状态进入液体时对测定透明液体的黏滞系数的影响。

*通讯作者。

文章引用: 麦炽聪, 张灵辉, 卜寿亮, 温建平. 落球法测透明液体黏度系数实验的扩展研究[J]. 现代物理, 2018, 8(1): 1-7. DOI: 10.12677/mp.2018.81001

关键词

落球法, 黏度, 速度

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

各种实际液体具有不同程度的黏滞性, 当液体流动时, 平行于流动方向各层流体速度都不相同, 即存在着相对滑动, 于是在各层之间就有摩擦力产生, 这一摩擦力称为黏滞力, 它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[1], 液体的黏滞性的测量是大学物理实验中的重要内容。本文研究匀速落球法测液体黏度的实验中通过选取不同直径钢珠和不同水平位置释放小球, 进而分析小球以不同运动状态进入液体时对测定透明液体的黏滞系数的影响。

2. 实验原理

当金属小球在黏性液体中缓慢自由沉降时, 它受到三个竖直方向的力, 小球的重力 G 、液体作用在小球上的浮力 F 、和液体提供的黏滞阻力 f_1 (力的方向与小球的运动方向相反)。若液体深度无限, 小球的表面光滑, 半径为 r , 且下落速度 v 比较小, 斯托克斯指出, 小球此时在液体中受到的黏滞阻力为

$$f_1 = 6\pi\eta r v \quad (1)$$

上式为即斯托克斯公式, 式中 η 是液体的黏滞系数[2], 单位为 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

小球刚开始在液体中下落时, 速度非常小, 受到的黏滞阻力也非常小[3]。此时小球的重力大于浮力和黏滞阻力之和, 小球加速下落, 随着速度的增加, 黏滞阻力的大小也随之增大, 当小球达到一定速度时, 小球的重力等于浮力和黏滞阻力之和, 此时作用小球竖直方向上的三个力平衡[4], 有

$$G = F + f_1 \quad (2)$$

把公式(1)代入公式(2), 得

$$mg = \rho g V + 6\pi\eta r v \quad (3)$$

此时小球做匀速运动下落, 达到的速度 v 称为极限速度[5]。由上式得

$$\eta = \frac{(m - V\rho)g}{6\pi r v} \quad (4)$$

式中 m 为小球的质量, V 为小球的体积, ρ 为液体的密度。

设小球的密度为 ρ' , 小球的直径为 d , 则小球的质量 m , 代入公式(4), 整理得

$$\eta = \frac{(\rho' - \rho)gd^2t}{18l} \quad (5)$$

式中 l 为小球匀速下落的距离, t 为小球经过 l 距离所用的时间。

3. 实验方法与结果

3.1. 实验装置

实验器材有性开关控制小球下落装置、水平竖直方向上的可调节装置、1000 ml 量筒、钢尺(精确度为 0.05 cm)、

录像机、温度计、湿度计、小钢球、待测玉米油液体(密度 829 Kg/m^3)、计算机及相关软件(Photoshop, Vegas)。

实验中采用视频法和激光计时法进行测定。视频法是在盛有待测液体的量筒侧边沿竖直固定一把钢尺, 然后架设一台摄像机, 调节好摄像机能清晰拍摄到钢尺的刻度, 如图 1 所示。实验过程直接使用录像的方式记录钢珠在液体中下落的全过程。实验完成后使用计算机视频处理软件处理所得的实验视频, 按所需时间间隔或者图像帧数间隔截取图片, 随后再用图像处理软件, 把截取得的所有图片整合, 合成一幅小球下落运动轨迹图。最后把图像放大数倍, 读取每个小球在钢尺上所对应的刻度, 即可得到小球的位置。实验中选取摄像机的录像帧数为 30 帧, 则每两张图之间的时间间隔为 $1/30$ 秒。通过读取每两幅图小球位置对应钢尺的刻度, 即可得这 $1/30$ 秒内, 小球下落的距离, 求得小球下落速度[5]。

3.2. 实验方法

实验时, 分别设计在不同水平方向和竖直方向位置释放小球, 测量小球不同的运动状态对测量待测液体黏度的影响。

第一组实验: 使用直径约 1.0 mm 的小球, 小球在相同高度不同水平位置自由下落, 以量筒内壁作为参照, 取三个不同的位置释放小球。图 2 中 A 为小球的释放位置, d 为释放位置与量筒内壁的距离, d 的取值设置为 10 mm 、 20 mm 、 30 mm (量筒直径约为 60 mm)。

第二组实验: 使用直径约 1.0 mm 的小球, 在相同水平位置(量筒中心位置), 在不同的垂直高度释放小球, 让小球先做自由落体运动后再进入液体。由于释放的高度不同, 小球进入液体的初速度也不同。观测在一定范围内, 初速度不为零的小球进入液体后自由下落所得的实验结果是否有误差产生。以液面作为参照, 在液面中心竖直方向上取三个不同的位置释放小球。图 3 中 A 点为小球释放的位置, h 为释放位置与液面的距离, h 的取值设置为 50 mm 、 100 mm 、 150 mm 。

3.3. 实验数据与结果分析

3.3.1. 小球平均直径和密度的测量

实验使用 5 种直径不同的小球, 采用多次测量取平均值的方法, 每一种小球取 5 颗, 每颗在不同的位置测 2 次, 每种小球总共测量 10 次取平均值, 得到球①、小球②、小球③、小球④、小球⑤的平均直径和密度如表 1 所示。

3.3.2. 不同水平位置释放小球实验测量

实验时, 室温 23.5°C 。测量第一组实验时, 使用小球①, 采用视频法测定, 摄像机录像帧数为 30 帧。

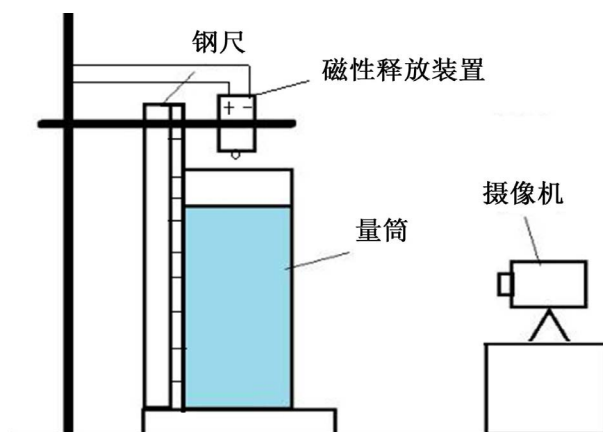


Figure 1. Schematic diagram of video experiment device
图 1. 视频法实验装置示意图

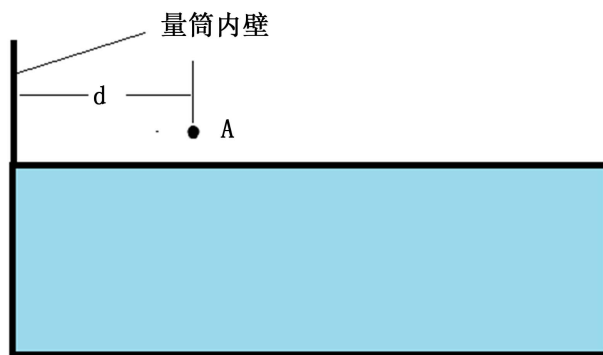


Figure 2. Free fall of different horizontal positions

图 2. 不同水平位置自由下落

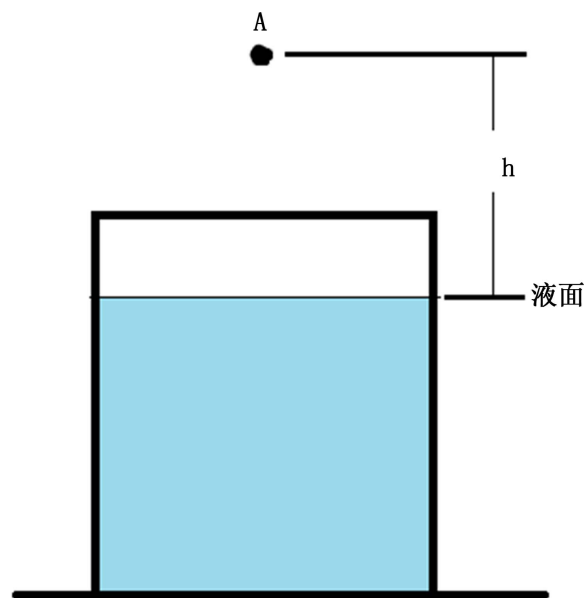


Figure 3. Free falling of different vertical positions

图 3. 不同垂直位置自由下落

Table 1. Ball diameter and density data sheet

表 1. 小球直径和密度数据表

	小球①	小球②	小球③	小球④	小球⑤
\bar{d} (mm)	1.006	1.502	2.007	4.509	5.004
密度(Kg/m ³)	7139	6779	8511	8100	7630

实验开始按参数设定要求投放小球至量筒液体中，录像保存。处理后的小球下落轨迹如图 4。

由图 4 读取的小球下落时间对应位移为每 10/30 s 下落 1.80 mm，按速度公式 $V = S/t$ 求得极限速度 $v = 0.018$ m/s，重力加速度取梅州实测值 9.7841 m/s²。时间 $t = 1$ s，黏滞系数实验测量结果如下表 2 所示。

小球在不同位置自由下落对实验结果影响微小，可以忽略不计。从运动过程分析，小球释放之前是刚好接触液面，即小球是在液体内部。释放小球，小球的初速度为零，慢慢加速下落，随着下落速度逐渐增加，受到的液体阻力也逐渐增大，加速度也随之减小，当加速度减少到零，小球即匀速下落。运动过程的速度变化如图 5 所示。

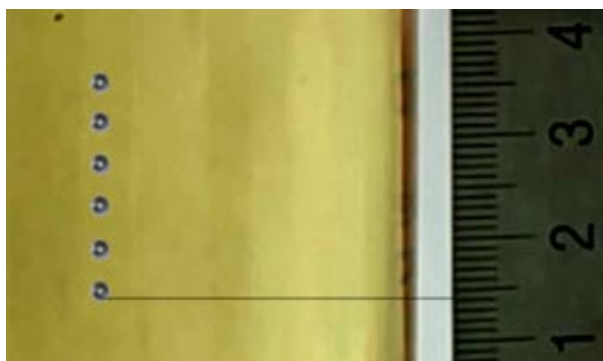


Figure 4. The drop location of the ball

图 4. 小球的下落位置图

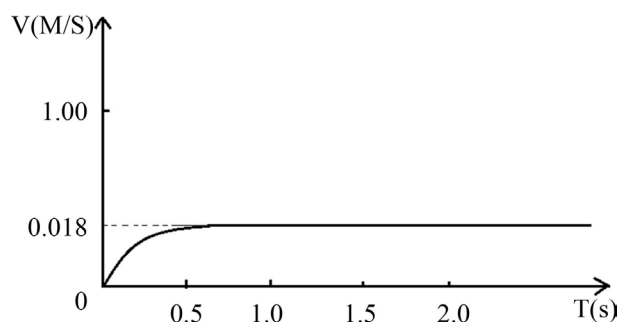


Figure 5. Shows the velocity variation of the ball at the horizontal position

图 5. 水平位置释放小球运动速度变化图

Table 2. Experimental results of the release of small balls at different horizontal positions

表 2. 不同水平位置释放小球实验结果

释放点与量筒内壁距离(mm)	极限速度(m/s)	黏滞系数(Pa·s)
10	0.018	0.1928
20	0.018	0.1928
30	0.018	0.1928

3.3.3. 不同垂直位置释放小球实验测量

第二组实验测量不同高度释放小球进入液体内，小球的极限速度都是 0.018 m/s，与第一组实验结果相符，代入公式(5)计算得 23.5℃得玉米油黏滞系数为 0.1928 Pa·s。实验数据如表 3。

实验中分析小球下落运动过程，释放高度越高，小球进入液体的初速度也越大。将释放高度 h 代入自由落体运动公式可得释放小球的高度 h 与对应速度。再把速度代入公式(1)计算初速度对应小球刚进入液体受到的黏滞阻力，整理数据得：

$$V = \sqrt{2 \times 9.7841 \times 0.05} = 0.989 \text{ m/s}$$

$$F = 6 \times \pi \times 0.1928 \times 0.000503 \times 0.989$$

$$F = 0.001807 \text{ N}$$

整理数据得下表 4。

小球①的平均质量为 0.0038 g，其重力 $G = 0.000037 \text{ N}$ ，由上表得自由落体后得小球刚进入液体时受

Table 3. Experimental results of the release of small balls at different vertical heights

表 3. 不同垂直高度释放小球实验结果

释放点与液面距离(mm)	极限速度(m/s)	黏滞系数(Pa·s)
50	0.018	0.1928
100	0.018	0.1928
150	0.018	0.1928

Table 4. Shows the corresponding table of release height and viscous resistance

表 4. 释放高度与黏滞阻力对应表

释放高度(mm)	50	100	150
初速度(m/s)	0.989	1.399	1.713
黏滞阻力(N)	0.001807	0.002557	0.003131

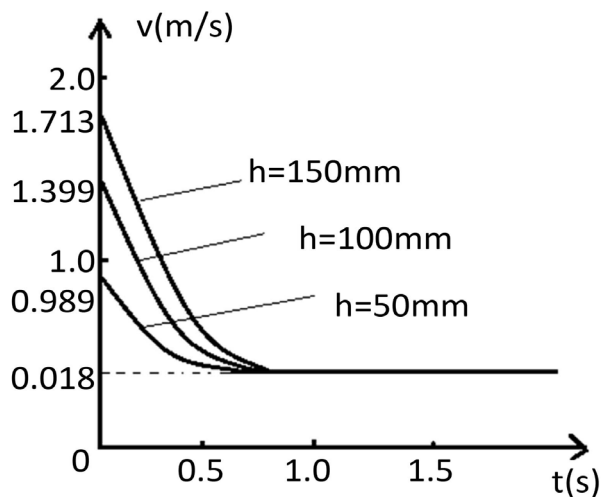


Figure 6. Shows the velocity change of the ball at different heights

图 6. 不同高度释放小球的速度变化示意图

到黏滞阻力远远大于小球的重力。进入液体的速度越大，受到的液体阻力越大，加速度也越大，所以减速越明显。小球的运动速度变化如图 6 所示。

4. 结论

在透明液体玉米油黏滞系数测量实验的研究中不同水平和垂直位置释放小球。实验结果表明，不同的水平位置和在一定高度范围内(15 厘米)释放小球进入液体对实验结果产生的误差微小。因此，在学生实验操作指导时，在适当范围可改变小球下落进入液体的状态，提高实验课堂教学效率。

基金项目

2017 嘉应学院大学物理教学团队建设项目；2015 嘉应学院科研自然科学基金项目(315E45)；2016 嘉应学院高等教育教学改革项目(416A19)。

参考文献 (References)

[1] 张也影. 流体力学(第二版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.

-
- [2] 杨兰田, 吴明遇. 力学[M]. 武汉: 华中师范大学出版社, 1992.
- [3] 周殿清. 物理实验[M]. 上海: 华东理工大学出版社, 2003.
- [4] 陈东生, 崔璐, 宦强. 数码相机在液体黏度测量中的应用[J]. 物理实验, 2005, 25(10): 37-39.
- [5] 温建平, 刘通宁, 张亦翻. 落球法测液体黏度实验的改进[J]. 广西物理, 2012, 33(3): 32-34.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-0916, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: mp@hanspub.org