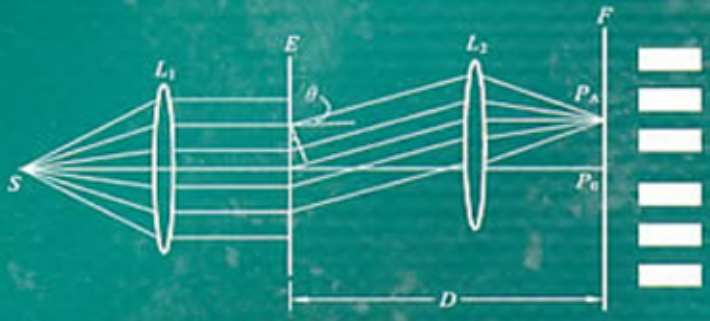
普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等院校物理精品教材

大学物理实验（下册）

——综合设计性实验

魏健宁　余剑敏　谢卫军　主编



华中科技大学出版社
http://www.hustp.com

需要全本请访问 www.ertongbook.com

普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等院校物理精品教材

大学物理实验(下册)

——综合设计性实验

主　编　魏健宁　余剑敏　谢卫军
副主编　江长双　陈振华　钟健松
编　者　余剑敏　钟健松　刘志强
　　陈振华　江长双

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书基于高等院校物理实验课开设的实际情况，在多年大学物理实验教学实践的基础上编写而成的。本书分上、下两册，按基础性实验、综合设计性实验组织教学内容；内容主要包括误差和数据处理的基本知识，以及力学、热学、电磁学、光学、近代物理实验等共61个实验。本书在介绍实验基本原理与实验方法、实验内容与步骤时，力求繁简适当、通俗易懂，在部分实验的附录中还介绍了著名物理学家及实验相关的技术发展、最新成果和展望，希望激发学生的学习兴趣，并能适应不同层次学校教学的需求，具有较强的可读性和实用性。

本书可作为高等学校理工类本科生大学物理实验课程的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验(下册)——综合设计性实验/魏健宁　余剑敏　谢卫军　主编. —武汉：华中科技大学出版社，2011.3

ISBN 978-7-5609-6850-6

Ⅰ.大…　Ⅱ.①魏…　②余…　③谢…　Ⅲ.物理学-实验-高等院校-教材　Ⅳ.O4-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第028366号

大学物理实验(下册)——综合设计性实验　　魏健宁　余剑敏　谢卫军　主编

策划编辑：王汉江　周芬娜
责任编辑：王汉江　冯传禄
封面设计：潘　群
责任校对：李　琴
责任监印：周治超
出版发行：华中科技大学出版社(中国·武汉)
　　武昌喻家山　　邮编：430074　　电话：(027)87557437
录　　排：华中科技大学惠友文印中心
印　　刷：华中科技大学印刷厂
开　　本：787mm×1092mm　1/16
印　　张：14
字　　数：364千字
版　　次：2011年3月第1版第1次印刷
定　　价：26.00元

本书若有印装质量问题，请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线：400-6679-118　竭诚为您服务
版权所有　侵权必究

前　言

物理实验在物理学的建立和发展中起着十分重要的作用，它具有自身的特点，包括实验知识、实验方法、实验仪器的使用等方面的内容，所以在高等院校开设大学物理理论课的同时，往往要开设一定量的大学物理实验课。通过“普通物理实验”这门课的学习，学生可以学会一些基本的实验方法，掌握基本仪器的使用方法和基本数据的处理方法，得到规范化的实验方法训练，养成良好的实验习惯，独立完成实验，在实验能力和实验素养等方面得到严格的良好的培养，为后续的物理理论课乃至今后的科学技术工作打下坚实的基础。

本书是在总结九江学院物理实验教学中心基于本校物理实验课开设的实际情况，以及多年大学物理实验教学实践的基础上，吸取了目前高校物理实验的一些新实验、新思想，结合本校实验教学改革的实际情况编写而成的。本书的原讲义是由担任相关课程的余剑敏、钟健松、江长双、刘志强、陈振华等教师完成的，在使用过程中又经过了九江学院物理实验教学中心全体任课教师的补充和完善，因此它是九江学院物理实验教学中心实验任课教师集体劳动的成果。

实验教学任务需要由实验教师和实验技术人员组成的协作团体共同承担，它是一项集体事业，是一项需要讲责任、讲精神、讲奉献的事业。本书的编写，是众多教师共同努力的成果，是集体智慧的结晶。本书的参编者有魏健宁、余剑敏、谢卫军、钟健松、江长双、刘志强、陈振华等老师，由魏健宁、余剑敏负责统稿和定稿。本书的完成还要特别感谢王殿元、聂映中、罗江龙、刘坚强、潮兴兵、邹俊生、杨锋涛、常章用、黄天成、余傲秋、胡华等老师，感谢他们在物理实验教学与物理实验室建设中付出的艰辛劳动和提出的宝贵建议。

在本书的编写过程中，九江学院实验中心的领导和老师给编者提供了很大的便利，在此，我们谨对所有对本书作出贡献的同志表示衷心的感谢。在本书编写中，编者参阅了兄弟院校的大学物理实验教材，在此也一并致谢。

由于编者知识水平和教学经验所限，再加上本书由多人编写而成，各人风格不尽相同，在整合上难以统一，因此书中难免存在不妥之处，望读者加以指正，以便本书进一步完善与提高。

编　者

2010 年 12 月

目　　录

上篇:综合性实验

实验 1　声速测量 …… (1)
实验 2　液体黏度的测量 …… (6)
实验 3　热电偶的定标 …… (13)
实验 4　冰的溶化热的测定 …… (16)
实验 5　非平衡直流电桥电阻温度计的研究 …… (21)
实验 6　混沌特性及加密通信实验 …… (25)
实验 7　方波的傅里叶分解与合成 …… (33)
实验 8　高温超导材料的导电性能与转变温度的测量 …… (40)
实验 9　迈克尔逊干涉仪的调整及应用 …… (45)
实验 10　单缝衍射的光强分布研究 …… (52)
实验 11　显微镜放大率和数值孔径的测定 …… (57)
实验 12　光速测量实验 …… (62)
实验 13　全息照相 …… (67)
实验 14　光电比色计测溶液的浓度 …… (72)
实验 15　磁光效应综合实验 …… (77)
实验 16　液晶电光效应特性研究 …… (95)
实验 17　光谱测量实验 …… (100)
实验 18　塞曼效应实验 …… (112)
实验 19　冉绍尔-汤森效应实验 …… (119)
实验 20　各向异性磁阻传感器的使用和磁场测量 …… (129)
实验 21　密里根油滴实验 …… (136)
实验 22　夫兰克-赫兹实验 …… (144)
实验 23　核磁共振 …… (151)
实验 24　微波段电子自旋共振实验 …… (174)
实验 25　超声波探伤与测厚 …… (185)

下篇:设计性实验

实验 26　用板式电位差计测量电池的电动势 …… (194)
实验 27　电子秤的设计与制作 …… (197)
实验 28　液体温度计的设计与定标 …… (201)
实验 29　交流调光灯的设计与制作 …… (203)
实验 30　直流稳压电源的设计与制作 …… (205)
实验 31　数字温度计的设计 …… (208)
实验 32　基于补偿原理的伏安法测低值电阻电路的设计 …… (212)
实验 33　偏振光的观测与研究 …… (214)

实验1　声速测量

声波是一种在弹性媒质中传播的机械波，振动频率低于20 Hz的声波称为次声波，频率在20～20000 Hz的声波称为可闻声波，频率高于20000 Hz的声波称为超声波。声波的波长、频率、强度、传播速度等都是声波的基本参数。对这些量的测量是声学技术的重要内容。声速的测量在声波定位、探伤、测距中有着广泛的应用。

超声波的传播速度在同一媒质中与声速相同，但它具有波长短、穿透能力强、易于定向传播等优点，因而在超声波段进行声速的测量比较方便。在实际应用中，超声波在测距、定位、测液体流速、测量材料弹性模量、测量气体温度瞬间变化等方面，都有重要意义。

(1) 工程学方面的应用：水下定位与通信、地下资源勘查等。

(2) 生物学方面的应用：剪切大分子、生物工程及处理种子等。

(3) 诊断学方面的应用：A型、B型、M型、D型、双功及彩超等。

(4) 治疗学方面的应用：理疗、治癌、外科、体外碎石、牙科等。

测量声速最简单的方法之一是利用声速与振动频率 f 和波长 λ 之间的关系。由于超声波具有波长短、能定向传播等特点，所以在超声波段进行声速测量是比较方便的。本实验就是测量超声波在空气中的传播速度的实验。超声波的发射和接收一般要通过电磁振动与机械振动的相互转换来实现，最常见的是利用压电效应和磁致伸缩效应。

【实验目的】

(1) 学习在超声中用振幅极值法则测量声速的方法。

(2) 掌握相关仪器(示波器、信号发生器、频率计等)的使用方法。

【实验仪器】

示波器、低频信号发生器(附数字频率计)、SW-1型声速测量仪、同轴电缆。

【实验原理】

声速是描述声在媒介中传播快慢的物理量。声音既然是波，就有固定的频率和波长。声速可以利用关系式 $v=\nu\lambda$ 测得。声波频率 ν 可用频率计直接测量，声波波长 λ 的测量则可采用共振干涉法——驻波法和相位比较法两种方法测得。

1. 共振干涉法——驻波法

驻波法的原理如图1所示，由发射器 S_1(声源)发射出一定频率的平面声波，经空气传播到相距一定距离的接收器 S_2，如果发射面与接收面垂直，则在发射面与接收面之间就会形成入射波与反射波的多次叠加。当发射面与接收面之间的距离 L 为 $\lambda/2$ 的整数倍时，空气中形成稳定的驻波共振现象。驻波某些点的振动始终加强，其振幅是两列行波的振幅之和，这些点称为波腹；而另一些点的合振幅为零，这些点称为波节。相邻两波节或两波腹间的距离就是半个波长。

驻波场中空气质点位移图像不能直接观察到，但是由质点位移引起的声压却可以通过仪

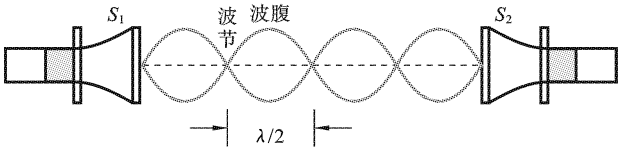


图 1 驻波法原理图

器加以观测。声场中以空气质点为波腹的地方,声压最大;而空气质点为波节的地方,声压为零。形成驻波后的反射面 S_2 处,空气质点的位移恒为零,当声波与反射面之间的距离 L 改变时,反射面 S_2 处的声压振幅也随之改变,其数值在极大值与极小值间周期变化,满足

$$P\left(L\pm\frac{\lambda}{2}\right)=P(L)$$

反射处声压振幅的大小可通过示波器观测到,随 L 周期性的变化可以从示波器上观察,从而可以求出半波长 $\lambda/2$,即

$$|L_{n+1}-L_n|=\frac{\lambda}{2} \tag{1}$$

有

$$v=\nu\lambda=2\nu|L_{n+1}-L_n| \tag{2}$$

2. 相位比较法

根据振动和波的理论,设发射器 S_1 处的声振动方程为

$$x=A_1\cos(\omega t+\varphi_1) \tag{3}$$

若声波在空气中的波长为 y,则声波沿波线传到接收器 S_2 处的声振动方程为

$$y=A_2\cos(\omega t+\varphi_2)=A_2\cos\left(\omega t+\varphi_1-\frac{2\pi(S_2-S_1)}{\lambda}\right) \tag{4}$$

从 S_1 发出的平面超声波通过媒质到达接收器 S_2,在发射波和接收波之间就会产生相位差,S_1 处和 S_2 处的声振动的相位差为

$$\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1=-\frac{2\pi(S_2-S_1)}{\lambda}=\frac{2\pi L}{\lambda}=2\pi\nu\frac{L}{v} \tag{5}$$

负号表示 S_2 处的相位比 S_1 处的落后,其值取决于发射器与接收器之间的距离 $L=S_2-S_1$。

示波器 Y 轴和 X 轴的输入信号是两个频率相同而有一定相位差的正弦波,而荧光屏上光点的运动则是频率相同、振动方向相互垂直的两个简谐振动的合运动,合运动的轨迹方程为

$$\frac{x^2}{A_1^2}+\frac{y^2}{A_2^2}-\frac{2xy}{A_1A_2}\cos(\varphi_1-\varphi_2)=\sin^2(\varphi_2-\varphi_1) \tag{6}$$

该方程是椭圆方程,椭圆的图形由相位差决定。

图 2 给出了相位差从 0 到 2π 之间几个特殊值的图形。假如初始的图形如图 2(a)所示,接收器移动距离为半波长 $\frac{\lambda}{2}$,则图形变化如图 2(c)所示,接收器移动距离为一个波长 λ 时,图形变化如图 2(e)所示,所以观测其李萨如图形,就能确定声波的波长。在两个信号同相或反相时呈斜直线来判断相位差的大小,其优点是斜直线情况判断相位差最为敏锐。

当 $\varphi_2-\varphi_1=\pm2k\pi$ ($k=0,1,2,\cdots$)时,轨迹方程为

$$y=\frac{A_2}{A_1}x \tag{7}$$

质点的运动轨迹是斜率为 A_2/A_1 的直线,如图 2(a)所示。

当 $\varphi_2-\varphi_1=\pm(2k+1)\pi$ ($k=0,1,2,\cdots$)时，轨迹方程变为

$$y=-\frac{A_2}{A_1}x \tag{8}$$

质点轨迹是斜率为 $-A_2/A_1$ 的直线，如图 2(c)所示。

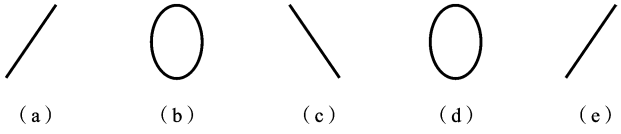


图 2　同频率垂直振动合成的李萨如图形

(a) $\Delta\varphi=0$；(b) $\Delta\varphi=\pi/2$；(c) $\Delta\varphi=\pi$；(d) $\Delta\varphi=3\pi/2$；(e) $\Delta\varphi=2\pi$

改变 S_1 和 S_2 之间的距离 L，相当于改变发射波和接收波之间的相位差，荧光屏上的图形也随 L 变化而不断变化。显然，S_1、S_2 之间距离改变半个波长 $\Delta L=\lambda/2$，则有 $\Delta\varphi=\pi$。随着振动的相位差从 0～π 的变化，李萨如图形从斜率为正的直线变为椭圆，再变到斜率为负的直线。因此，每移动半个波长，就会重复出现斜率符号相反的直线。测得了波长 λ 和频率 ν，根据式 $v=\lambda\nu$即可计算出室温下声音在媒质中传播的速度。声速测量实验装置如图 3 所示。

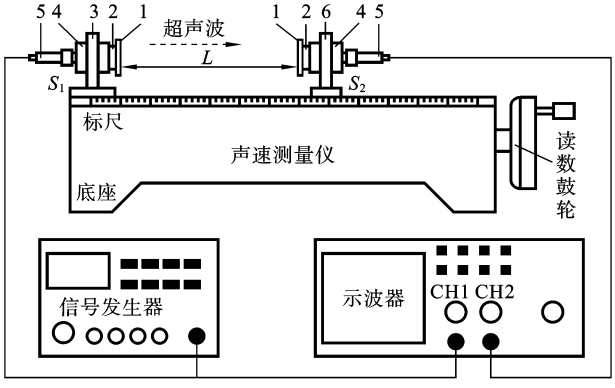


图 3　声速测量实验装置图

1—增强片；2—压电陶瓷管；3—固定支架；4—变幅杆；5—同轴电缆线；6—可动支架

【实验仪器介绍】

1. 声速测量仪

声速测量仪必须配上示波器和信号发生器才能完成测量声速的任务。声速测量仪示意图如图 4 所示。

2. 换能器(压电陶瓷)

声速测量仪是利用压电体的逆压电效应制成的，在信号发生器产生的交变电压作用下，压电体产生机械振动而在空气中激发出超声波。本仪器采用的是锆钛酸铅制成的压电陶瓷管或称压电换能器。将它粘接在合金制成的阶梯形变幅杆上，再将它们与信号发生器连接就组成超声波发生器，如图 5 所示。压电陶瓷在一交变电场作用下，会发生周期性的伸长与缩短。当交变电场频率与压电陶瓷管的固有频率相同时，振幅最大。这个振动被传递给变幅杆，使它产生沿轴向的振动，于是变幅杆的端面在空气中激发出超声波。本仪器的压电陶瓷的振动频率在 40 kHz 以上，相应的超声波波长为几毫米。由于它的波长短，定向发射性能好，所以是比较理想的波源。

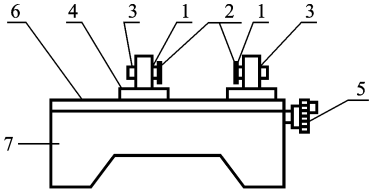


图 4　声速测量仪示意图

1—压电换能器;2—增强片;3—变幅杆
4—可移动底座;5—刻度鼓轮;6—标尺;7—底座

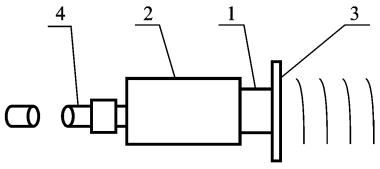


图 5　超声波发生器原理图

1—压电陶瓷管;2—变幅杆
3—增强片;4—缆线

【实验内容与步骤】

1. 调制测试系统

按图 3 所示连接电路,将两换能器的距离调整到 5 cm 左右,然后调节谐振频率(大于38.5 kHz,因换能器而异),直到示波器上的电压信号达到最大值为止。

2. 用驻波法测量声波波长 λ(选做内容)

调节示波器,直到荧光屏上显示稳定的波形,然后连续调节接收器 S_2 到发射器 S_1 的距离。测出相继产生 10 个极大值的位置 x_i,用逐差法测算出波长 λ。

3. 用相位比较法测量声波波长 λ

示波器置于“x-y”工作方式,“CH1”输入发射器 S_1 信号,“CH2”输入接收器 S_2 信号,适当选择示波器“V/div”,屏上出现李萨如图形,转动距离调节鼓轮,连续地移动 S_2 的位置(向前或者向后,必须是同一个方向),当李萨如图形由椭圆变为直线(包括正、负斜率两种情况)时,记录接收器位置 x_i,连续记录 16 个数据。

【数据记录及处理】

实验频率 f=_____ kHz;　　实验室温度 t=_____℃;

$\Delta_{f仪}$=_____ kHz;　　$\Delta_{X仪}$=_____ mm。

测量次数 i	位置 x_i/mm	测量次数 i	位置 x_i/mm	$L_i=x_{i+8}-x_i$/mm
1		9		
2		10		
3		11		
4		12		
5		13		
6		14		
7		15		
8		16		

对以上测量方法所得数据按以下步骤计算。

(1) 用逐差法计算 L_i,并求其平均值 $\bar{L}$ 及不确定度 $U(L)$。

(2) 计算波长平均值 $\bar{\lambda}$ 及不确定度 $U(\lambda)$。

(3) 计算波速平均值 $\bar{v}$ 及不确定度 $U(v)$。

(4) 计算声速的理论值 $v_s=331.45+0.59t$=_____。

(5) 将实验值与理论值进行比较，计算出百分误差。

$\Delta\bar{v}=|\bar{v}-v_s|=$_____；　　$E=\dfrac{\Delta\bar{v}}{v_s}\times 100\%=$_____。

【注意事项】

(1) 实验前应了解压电换能器的谐振频率。

(2) 实验过程中要保持激振电压不变。

【思考题】

1. 换能器的反射面与发射面过小，或不垂直会对实验产生什么影响？

2. 用逐差法处理数据的优点是什么？

3. 实验前为什么先要找到压电陶瓷换能器的最佳工作点？怎样调整其最佳工作点？

4. 相位比较法为什么选直线图形作为测量基准？从斜率为正的直线变到斜率为负的直线过程中相位改变了多少？

实验 2　液体黏度的测量

在流动的液体中，各流体层的流速不同，则在相互接触的两个流体层之间的接触面上，会形成一对阻碍两流体层相对运动的等值而反向的摩擦力。流速较慢的流体层给相邻流速较快的流体层一个使之减速的力，而该力的反作用力又给流速较慢的流体层一个使之加速的力。这一对摩擦力称为内摩擦力或黏滞阻力，流体的这种性质就是流体的黏滞性。黏滞阻力 f 的大小与所取流体层的面积 ΔS 和流体层之间的速度空间变化率 $\mathrm{d}u/\mathrm{d}r$ 的乘积成正比，即 $f=\eta\Delta S\dfrac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}r}$。其中系数 η 为黏度（也称内摩擦系数或黏滞系数，其国际单位为 Pa·s），它是表征液体黏滞性强弱的重要参数，取决于液体的性质和温度。对液体而言，它随温度的升高而迅速减少。

不同流体具有不同的黏度，同种流体在不同的温度下其黏度的变化也很大。黏度的测量在化学、医学、水利工程、材料科学、机械工业和国防建设中有着重要意义。例如，现代医学发现，许多心血管疾病都与血液黏度的变化有关，血液黏度的增大会使流入人体器官和组织的血流量减少，血液流速减缓，使人体处于供血和供氧不足的状态，这可能引起多种心脑血管疾病和其他许多身体不适症状。因此，测量血液黏度的大小是检查人体血液健康的重要指标之一。又如，在用管道输送石油时根据输送石油的流量、压力差、输送距离及石油的黏度来设计输送管道的直径；再如，高速运动的飞行器在穿越或返回大气层时，溜冰运动员做高速滑行或急速旋转时，都要考虑大气的黏度带来的影响。

根据黏滞定律直接测量难度很大，一般都采用间接测量的方法。测量液体黏度的方法有很多种，如常用的落球法、落针法、转叶法等。本实验主要介绍落针法和落球法两种测量液体黏度的方法。

一、落针法测液体的黏度

本实验用落针法测量液体在不同温度下的黏度。中空长圆落针在待测液体中垂直下落，通过测量针的收尾速度确定黏度。采用霍尔传感器和多功能秒表计测量落针的速度，并将黏度显示出来。对待测液体进行水浴加热，通过温控装置，达到预定的温度。巧妙的取针和提针装置，使测量过程极为简单。

【实验目的】

（1）用落针法测液体的黏度。

（2）研究液体黏度在不同温度下的变化规律。

【实验仪器】

PH-IV 型变温黏度测试仪、落针、提针磁铁。

【实验原理】

如果液体是无限广延的，且液体的黏度又较大，落针的半径很小，适当调节落针的密度，那

么实验过程中所产生的涡流可忽略不计，则此时附着在落针表面的液体与周围液体之间的黏滞力满足斯托克斯定律，即

$$f=6\pi\eta R_2 v \tag{1}$$

式中，η 为液体的黏度；R_2 为落针的半径；v 为落针的运动速度。

在实验过程中，落针落入黏性液体（如蓖麻油）中会受到三个力的作用：重力 P（竖直向下）、浮力 N（竖直向上）和黏滞力 f（竖直向上）。其中，只有黏滞力随落针的速度增加而增大。落针开始时做加速运动，当下落速度达到一定值时，这三个力的矢量和为零，由牛顿运动定律知，落针将以某一速度做匀速直线运动，此速度称为收尾速度。设向下方向为坐标轴正向，则运动方程为

$$P-N-f=0$$

即

$$\rho g V-\sigma g V-6\pi\eta R_2 v=0 \tag{2}$$

由此解得

$$\eta=\frac{\rho g V-\sigma g V}{6\pi r v} \tag{3}$$

式中，ρ 为落针的密度；σ 为液体密度；g 为本地的重力加速度；V 为落针的体积。

式(2)忽略油的上表面和筒底的影响，又假定落针沿圆筒中心轴竖直下落近似成立。实验中落针在管中下落，管的深度和直径有限，不符合斯托克斯定律的“无限广延”的假设，另外有时需考虑湍流的影响，其判据雷诺数与落针的线半径、速度有关，速度越大，湍流效应越大。故对上式要进行修订。

实验应用公式为

$$\eta=\frac{gR_2^2 t}{2L}(\rho-\sigma)\left(1+\frac{2}{3L_r}\right)\left(\ln\frac{R_1}{R_2}-\frac{R_1^2-R_2^2}{R_1^2+R_2^2}\right) \tag{4}$$

式中，g 为本地的重力加速度；R_1 为容器内筒半径；R_2 为落针外半径；L 为两磁铁同名磁极的间距；t 为落针两磁铁经过传感器的时间；$L_r=\dfrac{L-2R_2}{2R_2}$。

【实验仪器介绍】

变温式落针黏度计由本体、落针、霍尔传感器、单片机计时器和控温系统五部分组成。其实物图如图 1 所示。

1. 黏度计本体

本体部分是由有机玻璃管制成的内外两个圆筒，仪器竖直固定在水平机座上，如图 2 所示。管长 550 mm，内筒内直径 40 mm，外筒直径 60 mm。内筒盛待测液体，内外筒之间注水，进行水浴加热。机座上固定一块高 600 mm 的铝合金板，距底 240 mm 处安装霍尔传感器。容器旁竖立一根直杆，杆上套有一永久磁铁制成的取针装置。容器顶部有一永久性磁铁制成的投针装置。

2. 落针

如图 3 所示，落针是有机玻璃制成的中空细长圆柱体，总长 L 为 185 mm，外半径 $R_2=3.5$ mm，直径 d 为 5.7 mm，有效密度为 ρ。下端为圆球状，上端为圆台状。内部装有两个永久磁铁，异名磁极相对，同名磁极间的距离为 170 mm。落针体积为 7080 mm^3，其质量为 16.6 g（备用针质量为 11.6 g）。它的内部可放不同数量的铅条来改变落针的有效密度。

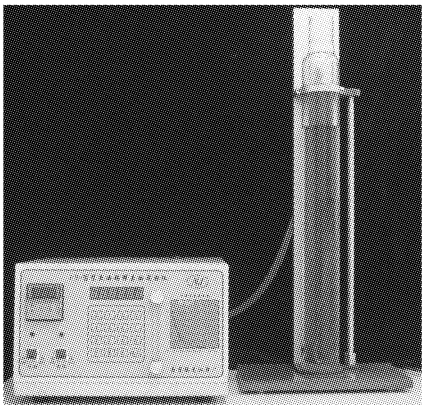


图 1　实验仪器实物图

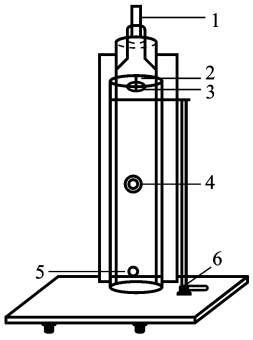


图 2　黏度计本体图

1—投针装置;2—温度探头
3—出水口;4—霍尔传感器
5—入水口;6—提针装置

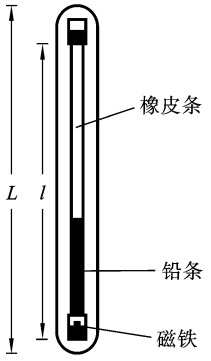


图 3　落针结构

3. 霍尔传感器

灵敏度极高的开关型霍尔传感器输出信号通过屏蔽电缆、航空插头接到单片机,每当磁铁经过霍尔传感器时,传感器即输出一脉冲,同时 LED(发光二极管)点亮。这种传感器的优越性在于可以用于非透明液体的测量。

4. 单片机计时器

SD-A 型多功能毫秒计用于计时和处理数据,硬件采取 MCS-51 微处理器。霍尔传感器产生的脉冲经整形后由单片机输入,计时器完成两次脉冲时间的计时,接收参数的输入,并将结果显示出来。

5. 控温系统

控温系统由水泵、加热装置及控温装置组成。当需要水浴加热时,微型水泵运转,水流自黏度计本体的底部流入,自顶部流出,开成水循环加热,并通过控温装置的调节,达到预定温度。温度指示的精度为 0.5 ℃。

【实验内容与步骤】

(1) 将仪器放在平整的桌面上,将待测液体注满容器,用底脚螺母调节平台水平,即将圆筒容器竖直。

(2) 将仪器本体的橡皮管连接到温控系统上。下面的橡皮管连接到温控系统后面板上的出水孔,再将上面的橡皮管连回入水孔。

(3) 接通电源,打开测试仪电源开关,显示“PH-2”,此为初始状态,仪器每次复位后也从此状态开始。

(4) 打开控温开关,此时温控器显示表显示一数字,这就是当前情况下水箱中水的温度,也就是油的初温 t_0。

(5) 用提针装置把落针提起。按“2”键,显示“H”或“L”,表示毫秒计进入计时待测状态。稍待片刻,用投针装置放下落针,液晶显示时间(单位:毫秒),第一次按“A”键显示落针的有效密度(2260 kg/m^3)、第二次按“A”键显示蓖麻油的有效密度(950 kg/m^3)(其他液体根据实验指导老师提示修改)、第三次按“A”键显示该设定参数下的液体黏度,记下相应数据。用提针

装置将针提起，重复上述过程，共测量 5 次。

(6) 利用温控器上的按钮把温度调到所需要的值，开始进行水浴加热。在水浴加热过程中红色指示灯亮，到达设定温度后红色指示灯熄灭，表示正在保温。由于热惯性，需待一段时间后，才能达到热平衡，记下此时液体的温度。重复步骤(5)。

(7) 依次设置不同的温度，多次测量。根据实验情况测 8～10 组数据，但要注意温度不得超过 50 ℃。

(8) 用列表法和作图法处理数据。

【数据记录及处理】

N	T/℃									
	T_0+2	T_0+4	T_0+6	T_0+8	T_0+10	T_0+12	T_0+14	T_0+16	T_0+18	T_0+20
1										
2										
3										
4										
5										
$\bar{\eta}$										

根据测得的数据绘出液体黏度与温度的关系曲线图(时间为横坐标，黏度为纵坐标)。

【注意事项】

(1) 调节螺母使机座保持水平。应让落针沿圆筒中心轴线保持竖直下落。

(2) 用提针装置将落针拉起悬挂后，应稍待片刻，再将落针投下，进行测量。

(3) 应让落针沿圆筒中心轴线保持竖直下落。

(4) 加热液体不能超过 50 ℃。

(5) 温度间隔不能太大，一般为 2～3 ℃。

(6) 接通电源前，将温度设置低于室温，一般为 0 ℃。

(7) 取落针后，再使毫秒计处于待计时状态。

【思考题】

1. 斯托克斯定律成立的条件是什么？

2. 落针法测液体的黏度实验中，如何测量落针的速度？

二、落球法测液体的黏度

本实验采用落球法测量液体的黏度。如果一小球在黏滞液体中铅直下落，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，因此小球受到黏滞阻力，它的大小与小球下落的速度有关。当小球做匀速运动时，测出小球下落的速度，就可以计算出液体的黏度。

【实验目的】

(1) 了解用斯托克斯公式测定液体黏度的原理,掌握其适用条件。

(2) 学习用落球法测定液体的黏度的方法。

【实验仪器】

YJ-RZT-II 数字智能化热学综合实验平台、液体黏度实验仪(见图 4)、光电转换实验模板、连接电缆、直径为 2 mm 小钢球、甘油(自备)、直尺、千分尺、数字温度传感器、小磁钢及重锤部件、激光器、接收器、量筒、导球管、物理天平、测温探头。

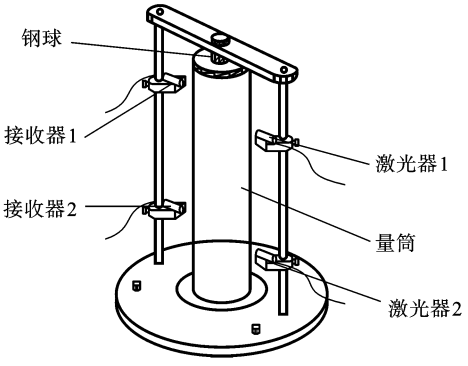


图 4 液体黏度实验仪

【实验原理】

当金属小球在黏性液体中下落时,它受到三个铅直方向的力:小球的重力 mg(m 为小球质量)、液体作用于小球的浮力 ρgV(V 是小球体积,ρ 是液体密度)和黏滞阻力 F(其方向与小球运动方向相反)。如果液体是无限广延的,且液体的黏性又较大,小球下落速度 v 较小,则有

$$F=6\pi\eta r v \tag{5}$$

式中,r 是小球的半径;η 称为液体的黏度,其单位是 Pa·s。

式(5)称为斯托克斯公式。

小球开始下落时,由于速度小,所以阻力也不大;但随着下落速度的增大,阻力随之增大;最后,三个力达到平衡,即

$$mg=\rho gV+6\pi\eta v r$$

于是,小球做匀速直线运动,由上式可得

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

令小球的直径为 d,并用 $m=\frac{\pi}{6}d^3\rho'$,$v=\frac{l}{t}$,$r=\frac{d}{2}$ 代入上式,得

$$\eta=\frac{(\rho'-\rho)gd^2t}{18l} \tag{6}$$

式中,ρ' 为小球材料的密度;l 为小球匀速下落的距离;t 为小球下落 l 距离所用的时间。

实验时,待测液体必须盛于容器中(见图 5),故不能满足无限深广的条件,实验证明,若小球沿筒的中心轴线下降,式(6)须做如下改动方能符合实际情况:

$$\eta=\frac{(\rho'-\rho)gd^2t}{18l}\cdot\frac{1}{\left(1+2.4\frac{d}{D}\right)\left(1+1.6\frac{d}{H}\right)} \tag{7}$$

式中,D 为容器内径;H 为液柱高度。

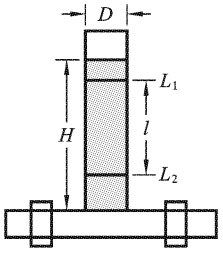


图 5

【实验内容与步骤】

(1) 调整黏度测定仪及实验准备。

① 调整底盘水平　调节底盘旋钮，使底盘基本水平。

② 将实验装置的上、下两个激光器接通电源，连接方法如图 6 所示，并可看见其发出红光。

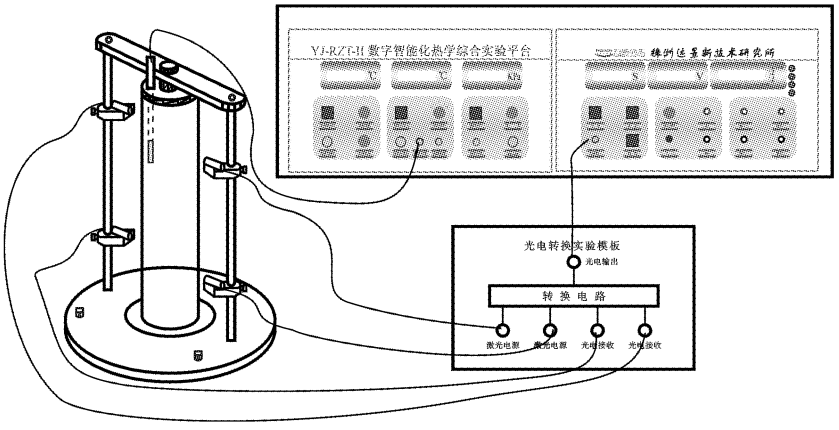


图 6　实验装置图

③ 将盛有被测液体的量筒放置到实验装置底盘中央，并在实验中保持位置不变、在仪器横梁中间部位放置小磁钢及重锤部件，调节上、下两个激光器及接收器，使红色激光束平行地对准重锤线后，收回小磁钢及重锤部件。

④ 在实验装置上放置导球管、小球用乙醚；酒精混合液清洗干净，并用滤纸吸干残液，备用。

⑤ 将小球放入导球管，下落过程中，观察其是否能阻挡光线并计数，若不能，重复上面步骤③。

(2) 用数字温度计测量油温，在全部小球下落完后再测量一次油温，取平均值作为实际油温。

(3) 用天平测量 10～20 颗小钢球的质量 m，用千分尺测量小球直径并计算其体积，计算小钢球的密度 ρ'，用游标卡尺测量筒的内径 D，用米尺测量油柱深度 H。

(4) 下落小球匀速运动速度的测量。

① 插接好光电接收器插头，使激光器红色激光束正好射在光电接收器的接收小孔中，并依次遮光检查其工作状况，使其能准确计时。

② 按功能键选择适当的量程，按复位键清零，将小球放入导球管，当小球落下，阻挡上面的红色激光束时，光线受阻，此时手动按计时器的启动开关开始计时，到小球下落到阻挡下面的红色激光束时，再次按下计时器的启动开关计时停止，读出下落时间，重复测量 6 次以上，求平均值。

③ 移开量筒，将米尺置于上、下两个激光束之间，测出上、下两个激光束之间的距离。

④ 计算下落小球匀速运动速度。

(5) 计算甘油的黏度。

(6) 将测量结果与公认值进行比较(20 ℃时甘油的黏度为 1.499×10^{5} Pa·s)。

【数据记录及处理】

根据实验内容表格自拟。

【注意事项】

(1) 小钢珠直径可用读数显微镜读出,也可以用千分尺测量,但千分尺必须正确使用,防止将钢珠(直径 2 mm)压扁而引起误差。

(2) 测量液体温度时,须用精确度较高的温度计。

(3) 激光束不能直射人的眼睛,以免损伤眼睛。

(4) 小球取出后,须用卫生纸擦干待用。

(5) 实验时应保持小球导管的干净,以免粘住小球难以下落。

【思考题】

1. 若小球在下落过程中,球表面附有小气泡,将使测出的匀速运动的速度值偏大还是偏小?

2. 如果遇到待测液体的 η 值较小,而钢珠直径较大,这时为何须用式(7)计算?

3. 用激光光电开关测量小球下落时间的方法测量液体黏滞系数有何优点?

4. 液体的黏滞系数和哪些因素有关?如果在实验时室温有变化,对小球的下落速度有何影响?