

- # 大学物理实验(II)

● 国家级实验教学示范中心建设项目

● “十一五”期间广西高等学校重点教材立项项目

大学物理实验(Ⅱ)

DAXUE WULI SHIYAN

主 编 覃以威

副主编 卢森锴

易其顺

梁 兵



GUANGXI NORMAL UNIVERSITY PRESS

广西师范大学出版社

桂林 541004

内容提要

《大学物理实验》教材共两册,《大学物理实验》(Ⅰ)为基础性实验,《大学物理实验》(Ⅱ)为基本实验和综合性、设计性实验。本套教材由广西师范大学等广西 12 所高校长期从事物理实验教学的教师联合编写,适合广西各高校的具体情况,具有地方特色。

《大学物理实验》(Ⅱ)共有 45 个实验,其中基本实验 30 个,综合性、设计性实验 15 个,可作为高等学校本、专科物理专业和相关专业大学物理实验课程的教材,也可供其他相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验. Ⅱ / 覃以威主编. —桂林: 广西师范大学出版社, 2010.9
ISBN 978-7-5633-6091-8

I. 大… II. 覃… III. 物理学—实验—高等学校—教材 IV. O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 173626 号

广西师范大学出版社出版发行

(广西桂林市中华路 22 号 邮政编码: 541001)
(网址: <http://www.bbtpress.com>)

出版人: 何林夏

全国新华书店经销

桂林广大印务有限责任公司印刷

(广西桂林市临桂县金山路 168 号 邮政编码: 541100)

开本: 787 mm × 1 092 mm 1/16

印张: 16.75 字数: 350 千字

2010 年 9 月第 1 版 2010 年 9 月第 1 次印刷

印数: 0 001~2 000 册 定价: 31.60 元

如发现印装质量问题,影响阅读,请与印刷厂联系调换。

前 言

多年来,我们一直在进行普通物理实验教学体系改革的研究与实践探讨,包括课程体系的改革、教学内容和教学手段的改革。随着高等教育事业的发展,广西各高校的物理学专业与非物理理工类专业也在迅速发展,这对大学物理实验的课程体系和教学内容提出了新的要求。2007年,广西师范大学物理实验教学首先进行了较大的改革尝试,打破了普通物理实验中力学、热学、电学、光学四部分的界限,将其进行重组与融合,建立了具有三个层次的物理实验教学新体系。新的教学体系体现了由基础到前沿、由接受知识型到培养综合能力型的分层次教学思想;新的教学体系合理地减少了验证性实验,以创造更大空间地增加综合性、设计性实验。除增大综合性、设计性实验的比例外,还设有自选开放性实验,让学生根据自己的兴趣、爱好、特长进行自主学习,为学生个性化发展提供一个自主的学习空间。

广西师范大学物理实验教学的改革,得到了广西不少高校的响应。2008年底,广西师范大学物理实验教学中心被批准为国家级实验教学示范中心建设单位,大学物理实验教材建设被列为示范中心建设项目。项目吸收了广西师范大学物理科学与技术学院、广西民族大学物理与电子工程学院、广西师范学院物理与电子工程学院、玉林师范学院物理与信息科学系、河池学院物理与电子工程系、贺州学院物理与电子信息工程系、梧州学院数理系、钦州学院物理与电子工程系、百色学院物理与电信工程系的物理实验教学教师代表共同参与建设。2009年1月,在广西高校普通物理实验教学研讨会上,物理实验教学教师代表交流了各高校物理实验教学改革的经验和成果,经过充分讨论,一致认为联合编写适合广西高校具体情况、具有地方特色的大学物理实验教材很有必要,对推动广西高校物理实验教学改革具有重要的意义。

本套教材于2009年8月获“十一五”期间第二批广西高等学校重点教材立项,同年9月,我们推出了《大学物理实验》(I),并在参与项目建设的院校使用,得到了各校师生的一致好评,同时又吸收了广西民族师范学院、柳州师范高等专科学校、桂林师范高等专科学校的物理实验教学教师代表参加本教材的建设,使我们的物理实验教学改革成果得到进一步的推广。2010年9月《大学物理实验》(II)也将出版,至此本套教材全部出齐。

本项目在综合参考教材建设项目的各院校使用的自编讲义的基础上,融合各高校物理实验教学改革、研究和实践的成果,编写成《大学物理实验》(I)、《大学物理实验》(II)一套两本教材。本套教材采用分层次教学的新模式,既体现了创新性又具有很强的

的应用性,既突出了目前高校物理实验教学改革的方向,又适合各高校的具体情况,是一套具有地方特色的教材。

《大学物理实验》(Ⅰ)分为基础性实验和设计性实验两部分,适合本科物理专业或相近专业第一层次物理实验教学使用和本科非物理理工类专业大学物理实验课使用。《大学物理实验》(Ⅱ)为基本实验、综合性和设计性实验,供本科物理专业或相近专业第二层次物理实验教学使用。

本套教材在编写过程中充分考虑了各校的具体情况,使教材的内容尽量适应不同规格的实验仪器和教学要求。在某些实验中,可采用多种实验原理方法和使用不同的测量仪器,通常列出两三种常用的实验方法,供使用者选择。某些有多个实验使用到的仪器,通常在第一次使用该仪器的实验中作为附录介绍。

本套教材力求做到通俗易懂,便于学生阅读。

本套教材在筹备和编写过程中,得到了广西师范大学物理科学与技术学院院长杨永栩教授的大力支持和帮助;广西师范大学物理实验教学中心副主任王力虎教授、副主任陈赤老师也提出了许多宝贵意见;广西师范大学出版社集团唐丹宁编审自始至终都给予了大力的支持和帮助。在此一并致以衷心的感谢。

本套教材虽经多次商讨、审核,但错漏仍在所难免,敬请各位指导老师和同学多提宝贵意见和建议,以便进一步改进。

编 者

2010年8月

附 大学物理实验教材建设项目参与成员(即本套教材编写者)名单如下:

广西师范大学:覃以威 赵子珍 李 丹 胡君辉 何 映 孔文婕

广西民族大学:文国富 梁济仁 黄开连

广西师范学院:王向红 赵朝敏 甘启宙

玉林师范学院:邵 平 郑容森 黄 平

河池学院:卢森楷 苏建欢 韦吉爵

贺州学院:黄玛莉 杨雄珍 梁志超

梧州学院:陈伟华 蓝爱群 盖双旗 曾福军

钦州学院:陆安山 谢 冰 肖远新

百色学院:梁 兵 潘彩娟 黄红强

广西民族师范学院:易其顺 李凡生 余小英

柳州师范高等专科学校:李珏璇 潘晓明 曾宪彪

桂林师范高等专科学校:刘海英 杨翠云 傅 玲

目 录

基本实验	(1)
实验一 弦振动的研究及波传播速度的测量	(2)
实验二 用霍耳位置传感器及梁弯曲法测定杨氏模量	(6)
实验三 用 CCD 成像及伸长法测定金属丝的杨氏模量	(12)
实验四 阻尼振动	(16)
实验五 超声波声速的测量	(20)
实验六 复摆振动的研究	(26)
实验七 惯性秤实验	(29)
实验八 用混合量热法测定冰的熔解热	(33)
实验九 气体比热容比的测定	(36)
实验十 导热系数的测量	(40)
实验 10-1 准稳态法测量导热系数	(40)
实验 10-2 稳态法测量导热系数	(49)
实验十一 液体黏滞系数的测量	(55)
实验 11-1 落球法测液体的黏滞系数	(55)
实验 11-2 用黏度计测液体的黏滞系数	(59)
实验十二 用双臂电桥测量低电阻	(60)
实验十三 电表的改装与校准	(65)
实验十四 磁场的测量	(71)
实验 14-1 用霍耳效应测通电螺线管内轴向磁场分布	(71)
实验 14-2 用冲击电流计测通电螺线管内轴向磁场分布	(77)

实验 14-3 亥姆霍兹线圈磁场的测定	(81)
实验十五 热电传感器温度特性的研究	(87)
实验 15-1 热电阻、热敏电阻温度特性的研究	(87)
实验 15-2 热电偶温度特性的研究	(93)
实验 15-3 PN 结正向压降与温度关系的研究	(97)
实验十六 非平衡直流电桥的原理和应用	(102)
实验十七 交流电桥	(110)
实验十八 RLC 串联电路谐振特性的研究	(116)
实验十九 RLC 串联电路稳态特性的研究	(120)
实验二十 RLC 串联电路暂态过程的研究	(126)
实验二十一 电子束的偏转与聚集	(132)
实验 21-1 电子束的电偏转	(132)
实验 21-2 电子束的电聚焦	(136)
实验 21-3 电子束的磁偏转	(138)
实验 21-4 电子束磁聚焦及电子荷质比 e/m 的测定	(139)
实验二十二 铁磁材料动态磁滞回线的测量	(145)
实验二十三 周期电信号波形傅里叶分析	(152)
实验 23-1 BPF 带通滤波器幅频特性的研究	(152)
实验 23-2 周期电信号的分解与合成	(154)
实验 23-3 非正弦周期信号的傅里叶级数合成	(157)
实验 23-4 RLC 串联谐振电路选频特性与信号的分解	(158)
实验二十四 光具组基点的测定	(161)
实验二十五 光的衍射	(165)
实验 25-1 单缝衍射	(165)
实验 25-2 光栅衍射	(168)
实验二十六 分光计的调节与使用	(171)
实验 26-1 分光计的调节及用透射光栅测光波波长	(171)
实验 26-2 用分光计测玻璃棱镜的折射率	(177)
实验 26-3 用掠入射法测定液体的折射率	(179)

实验二十七 单色仪及其应用	(181)
实验二十八 利用光电效应测定普朗克常数	(185)
实验二十九 迈克尔逊干涉仪的调节与使用	(193)
实验三十 光的偏振现象的观测和分析	(199)
 设计性、综合性实验	 (205)
实验三十一 液体表面张力的研究	(206)
实验 31-1 液体表面张力系数测量实验仪的应用	(206)
实验 31-2 液体表面张力的研究	(209)
实验三十二 液体黏度与温度关系的研究	(210)
实验三十三 良导体导热系数的测定	(211)
实验三十四 水的比汽化热的测定	(213)
实验三十五 简易热电式温度计的制作与定标	(216)
实验三十六 限流电路和分压电路的研究	(218)
实验三十七 万用电表的制作和定标	(220)
实验 37-1 多量程万用电表的制作与定标	(220)
实验 37-2 简易万用电表的制作与定标	(224)
实验三十八 用示波法测量电容和电感	(225)
实验三十九 交流电路功率的测量和功率因数的研究	(227)
实验四十 热功当量的测量	(230)
实验四十一 自制双缝测光波波长	(232)
实验四十二 光纤光学与半导体激光器的电光特性实验	(233)
实验四十三 玻尔共振实验	(240)
实验四十四 天平的使用和研究	(249)
实验 44-1 分析天平与精密称衡	(249)
实验 44-2 天平振动的研究	(251)
实验四十五 LM99PC 微机型 CCD 单缝衍射仪的应用	(254)
主要参考文献	(258)

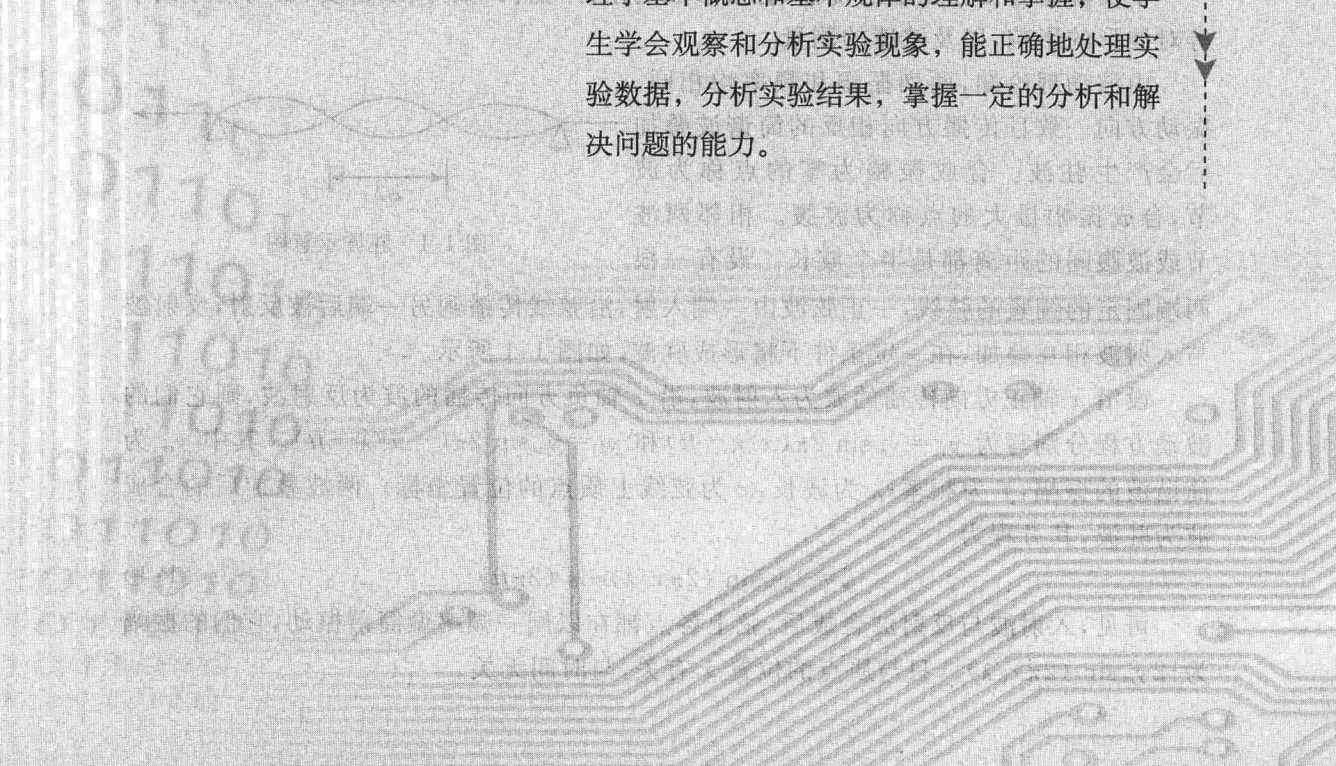
量感即更惠温引张还农和的临就这 一 确实

基本实验

【前言】前言

基本实验是普通物理实验中力学、热学、电磁学和光学实验的典型实验，是物理学专业以及相近专业大学物理实验课程的基本内容。

通过基本实验的系统训练，培养学生严谨的科学思维能力和理论联系实际、分析和解决实际问题的能力；使学生系统地掌握物理实验的基本知识、基本技能和基本方法，加深对物理学基本概念和基本规律的理解和掌握；使学生学会观察和分析实验现象，能正确地处理实验数据，分析实验结果，掌握一定的分析和解决问题的能力。



实验一 弦振动的研究及波传播速度的测量

【实验目的】

- (1)了解波在弦上的传播及驻波形成的条件。
- (2)学会测量弦振动的共振频率。
- (3)学会测量弦线的线密度。
- (4)学会测量弦振动时波的传播速度。

【仪器和用具】

电振音叉(频率为 100 Hz),弦线,分析天平,低频信号源,小滑轮,砝码及砝码托盘等。(或 THQ2B-1 型驻波实验仪,或 FB301 型弦振动研究实验仪,金属弦丝,砝码及砝码托盘,低频信号源,双踪示波器等)

【实验原理】

本实验研究波在弦上的传播,驻波形成的条件,弦长、张力、线密度、驱动信号频率等对波形的影响,以及波速的测量。

由波动理论知,两列振幅和频率均相同、振动方向一致且传播方向相反的简谐波叠加后会产生驻波。合成振幅为零的点称为波节,合成振幅最大的点称为波腹。相邻两波节或波腹间的距离都是半个波长。设有一根

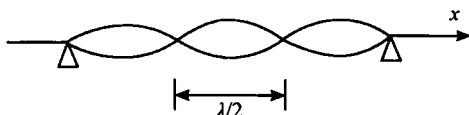


图 1-1 驻波示意图

两端固定的绷紧的弦线,一正弦波由一端入射,沿弦线传播到另一端后被反射,反射波与入射波相互叠加,在一定条件下将形成驻波,如图 1-1 所示。

设沿 x 轴正方向传播的波为入射波,沿 x 轴负方向传播的波为反射波,则它们的波动方程分别写为 $y_1 = y_m \sin 2\pi(x/\lambda - ft)$ 和 $y_2 = y_m \sin 2\pi(-x/\lambda - ft)$ 。其中 y_m 为简谐波的振幅, f 为频率, λ 为波长, x 为弦线上质点的位置坐标。两波叠加后的合成波为驻波,其方程为

$$y = 2y_m \sin(2\pi x/\lambda) \cos(2\pi ft) \quad (1-1)$$

可见,入射波与反射波合成后,弦上各点都在以同一频率做简谐振动,它们的振幅为 $|2y_m \sin(2\pi x/\lambda)|$,只与质点的位置 x 有关,与时间无关。

由于波腹处的质点振幅最大,可得波腹的位置为

$$x=(2k+1)\lambda/4, k=0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1-2)$$

相邻两波腹之间的距离为 $\lambda/2$ 。而波节处振幅为零,则波节的位置为

$$x=k\lambda/2 \quad (1-3)$$

可见,相邻两波节间的距离也是半个波长。

以上分析假定驻波由入射波和反射波叠加而成,而且弦的两端都被固定,通常是在驱动源的激励下,弦线发生受迫振动,形成横波。当波传到一端时都会发生反射。一般来说,反射波振幅小,而且并非所有反射波都同相位。当均匀弦线两个固定端之间的距离等于弦线中横波半波长的整数倍时,反射波就会同相,产生驻波,弦线会形成稳定的振动,即产生共振。当弦线的振动只有一个波腹时,该驻波为基波,基波对应的驻波频率为基频。当弦线的振动为两个波腹时,该驻波为二次谐波,对应的驻波频率为基频的两倍。一般情况下,基波的振动幅度比谐波的振动幅度要大得多。

下面就共振频率与弦长、张力、弦的线密度之间的关系进行分析。

只有当弦线的两个固定端的距离等于弦线中横波半波长的整数倍时,才能形成驻波,即有

$$L=n\frac{\lambda}{2} \text{ 或 } \lambda=\frac{2L}{n} \quad (1-4)$$

其中 L 为弦长, λ 为驻波波长, n 为波腹数。

根据波动理论,假设弦柔性很好,波在弦上传播速度 v 取决于两个变量:弦线的线密度 μ (即单位长度弦线的质量)和弦线的张力 T :

$$v=\sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (1-5)$$

由式(1-5)可知,当横波在质量均匀分布的弦线上传播时,其速度与弦线的张力有关。由波速的公式

$$v=f\lambda \quad (1-6)$$

可得波长

$$\lambda=\frac{1}{f}\sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (1-7)$$

谐振频率

$$f=\frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (1-8)$$

由式(1-7)可知,当弦线以一定的频率振动时,其波长与弦线的线密度和张力有关。而式(1-8)表明,对于弦长 L 、线密度 μ 和弦线张力 T 一定的弦,其自由振动的频率可包含对应 $n=1, 2, 3, \dots$ 的 $f_1, f_2, f_3, \dots$ 对应于 $n=1$ 的频率 f_1 就是基频,相应的其他频率称为 n 次谐波。

【实验内容与步骤】

1. 用电振音叉做振动源实验

实验装置如图 1-2 所示。将弦线(弦线的线密度可由实验室给出或自行测出)的

一端固定在电振音叉(音叉的固有频率为100 Hz)上,另一端绕过滑轮挂上砝码。

(1)观察弦振动时的驻波。

①根据音叉的频率和弦线的线密度,由式(1-7)计算弦长为30 cm时产生一个驻波所对应的弦线的张力。参照计算结果,选择适当的砝码放在砝码盘内,由砝码及砝码盘求出此时弦的张力 T 。

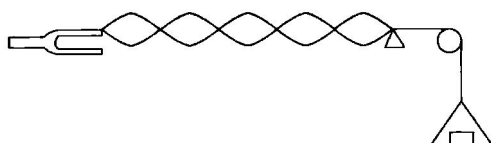


图 1-2 驻波实验装置示意图

②取弦长为20 cm左右,给电振音叉通上50 Hz、1~3 V的交流电,使音叉振动。

③逐渐增加弦线的长度,在出现 $n=1,2,3,\dots$ 个稳定、清晰的驻波波腹的情况下,分别测出弦长 L ,并由式(1-4)计算出波长 λ 。

④用式(1-5)计算波速,同时选取一组数据由式(1-6)计算波速,并比较两结果。

(2)研究波长与弦线张力的关系(选做)。增加砝码质量,并细调弦长使之产生共振,测出弦长 L ,计算波长 λ 。继续增加砝码质量,测量7~8个不同的张力 T 之下的波长。从测量数据研究 λ 与 T 的关系。

2. 用 THQ2B-1 型驻波实验仪或 FB301 型弦振动研究实验仪测共振频率及波的传播速度

THQ2B-1 型驻波实验仪如图 1-3 所示,实验仪使用电磁驱动器驱动金属弦线在磁场中发生振动,调节信号频率和电流大小,就可以改变振动的频率和波腹幅度。

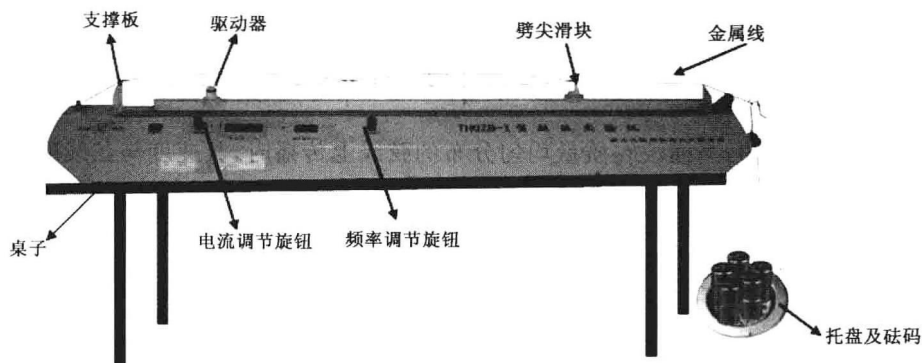


图 1-3 THQ2B-1 型驻波实验仪

(1)张力、线密度和弦长一定,改变驱动频率,观察驻波现象和驻波波形,测量共振频率。

①移动劈尖滑块,使得支撑板和劈尖滑块间距80 cm左右,装上弦线,挂上砝码,调节旋钮,使电流指示到一定值。调节频率调节旋钮,从小到大调节频率输出,调节过程中动作要缓慢,使弦线上产生稳定的、波形清晰的驻波,同时要细心地调节使波节处不动为止。适当移动驱动器,使驻波波形最清晰。

②记录共振频率、线密度、弦长、张力、弦线的波腹或波节的位置和个数。

③增加输出频率,连续找出几个共振频率(3~5个)并记录。

(2)张力和线密度一定,改变弦长,测量共振频率。

①移动劈尖滑块,使它置于导轨 70 cm 处,将弦线跨过定滑轮,在弦线末端挂上砝码托盘。

②在托盘上加 200 g 的砝码,打开电源开关。

③调节旋钮,使电流指示到一定值。调节频率调节旋钮,从小到大调节频率输出,调节过程中动作要缓慢,使弦线上产生稳定的、波形清晰的驻波,同时要细心地调节使波节处不动为止。适当移动驱动器,使驻波波形最清晰。

④记下波腹数(至少要有两个波腹),读出相邻两个波腹或波节的读数,由此可计算出横波的波长。

⑤依次调节劈尖滑块在导轨上分别处于 80 cm、90 cm 处,重复③和④步骤。记录相关的线密度、弦长、张力、波腹数等参数。

(3)弦长和线密度一定,改变张力,测量共振频率和横波在弦上的传播速度。

①将劈尖滑块置于导轨 60 cm 处不变,保证两个劈尖间距合适,在托盘中加 100 g 的砝码。

②调节频率调节旋钮,从小到大调节频率输出,使弦线上产生稳定的、波形清晰的只有一个波腹的驻波。此时的频率就是共振基频,记下此时的频率和弦线的张力。

③依次增加砝码 20 g,重复上面的②步骤,加到托盘的砝码为 200 g 为止。记录相关的线密度、弦长、张力、波腹数等参数,计算横波在弦上的传播速度。

(4)(选做)张力和弦长一定,改变线密度,测量共振频率和弦线的线密度。保持支撑板和劈尖滑块间距及弦线张力皆不变,换用不同的弦线,改变驱动频率,使弦线产生同样波腹数的稳定驻波。记录相关的弦长、张力等参数。

【数据记录与处理】

自拟表格记录数据,并进行数据处理。

【注意事项】

(1)弦上观察到的频率可能不等于驱动频率,一般是驱动频率的两倍,因为驱动器的电磁铁在一周内两次作用于弦。在理论上,使弦的静止波是驱动频率的整数倍都是可能的。

(2)在最初的波形中,偶尔会看到高低频率的波形叠加在一起,这种复合静止波的形成是可能的。例如,弦振动可以是驱动频率,也可以是它的两倍,因而形成复合波。

(3)悬挂和更换砝码时,动作应轻巧,以免使弦线崩断,造成砝码坠落而发生事故。

【思考题】

(1)通过实验,说明弦线的共振频率和波速与哪些因素有关?

(2)试将按公式求得的 μ 值与静态线密度 μ_0 值比较,分析其差异及形成原因。

(3)试用一种方法求出波速 v 与张力 T 的函数关系。

(4)如果弦线有弯曲或者粗细不均匀,对共振频率和形成驻波有何影响?

实验二 用霍耳位置传感器及梁弯曲法测定杨氏模量

【实验目的】

- (1) 用梁弯曲法测定金属的杨氏模量。
- (2) 学习掌握用霍耳位置传感器测微小位移量的原理和方法。

【仪器和用具】

霍耳位置传感器, 杨氏模量测定仪, 米尺, 游标卡尺, 螺旋测微计, 砝码, 待测材料 (一块黄铜、一块可铸锻铁)。

【实验原理】

1. 霍耳位置传感器

霍耳元件置于磁感应强度为 B 的磁场中, 在垂直于磁场方向通以电流 I , 则与这二者相垂直的方向上将产生霍耳电势差 U_H :

$$U_H = kIB \quad (2-1)$$

式(2-1)中, k 为元件的霍耳灵敏度。如果保持霍耳元件的电流 I 不变, 并使其在一个均匀梯度的磁场中移动时, 则输出的霍耳电势差的变化量

$$\Delta U_H = kI \frac{dB}{dZ} \cdot \Delta Z \quad (2-2)$$

式(2-2)中, ΔZ 为位移量, 此式说明, 若 $\frac{dB}{dZ}$ 为常数, 则 ΔU_H 与 ΔZ 成正比。

为实现均匀梯度的磁场, 如图 2-1 所示, 将两块相同的磁铁(磁铁截面积及表面磁感应强度相同)相对放置, 即 N 极与 N 极相对, 两磁铁之间留一等间距间隙, 霍耳元件平行于磁铁放在该间隙的中轴上。间隙大小视测量范围和测量灵敏度的要求而定, 间隙越小, 磁场梯度就越大, 灵敏度就越高。磁铁截面要远大于霍耳元件, 以尽可能地减小边缘效应的影响, 提高测量精确度。

磁铁间隙内中心截面处的磁感应强度为零, 若霍耳元件处于该处时, 输出的霍耳

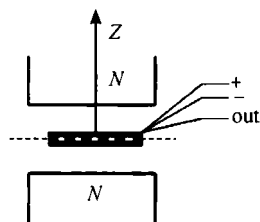


图 2-1 均匀梯度磁场示意图

电势差应该为零。当霍尔元件偏离中心沿 Z 轴发生位移时,由于磁感应强度不再为零,霍尔元件也就产生相应的电势差,输出的电势差大小可以用数字电压表测量。由此可以将霍尔电势差为零时元件所处的位置作为位移参考零点。

在均匀梯度磁场中,由式(2-2)可知,霍尔电势差与位移量之间存在一一对应的关系,当位移量较小($<2\text{ mm}$)时,其对应关系具有良好的线性。

2. 杨氏模量

固体、液体及气体在受外力作用时,形状与体积会发生或大或小的改变,这统称为形变。当外力不太大,因而引起的形变也不太大时,撤掉外力,形变就会消失,这种形变称之为弹性形变。弹性形变分为长变、切变和体变三种。

一段固体棒,在其两端沿轴方向施加大小相等、方向相反的外力 F ,其长度 l 发生改变 Δl ,以 S 表示横截面面积,称 F/S 为应力,相对长变 $\Delta l/l$ 为应变。在弹性限度内,根据胡克定律有

$$\frac{F}{S} = Y \frac{\Delta l}{l}$$

式中 Y 称为杨氏模量,其数值与材料性质有关,单位为 $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

在横梁中间挂一砝码使梁受力发生微小弯曲时,梁中存在一个中性面,面上部分发生压缩,面下部分发生拉伸,所以整体说来,可以理解为横梁发生形变,即可以用杨氏模量来描写材料的性质。

如图 2-2 所示,虚线表示弯曲梁的中心面,易知在中心面横梁既不拉伸也不压缩。取长为 dx 的一小段弯曲梁,设其曲率半径为 $R(x)$,所对应的张角为 $d\theta$,再取中性面上部距离为 y 、厚为 dy 的一层面为研究对象,那么,梁弯曲后其长变为 $(R(x) - y)d\theta$,所以,变化量为

$$(R(x) - y)d\theta - dx$$

又

$$d\theta = \frac{dx}{R(x)}$$

得

$$(R(x) - y)d\theta - dx = (R(x) - y) \frac{dx}{R(x)} - dx = -\frac{y}{R(x)} dx$$

则应变

$$\epsilon = -\frac{y}{R(x)}$$

根据胡克定律有

$$\frac{dF}{dS} = -Y \frac{y}{R(x)}$$

式中 dS 表示形变层的横截面积,即 $dS = bdy$, b 为梁的宽度。于是

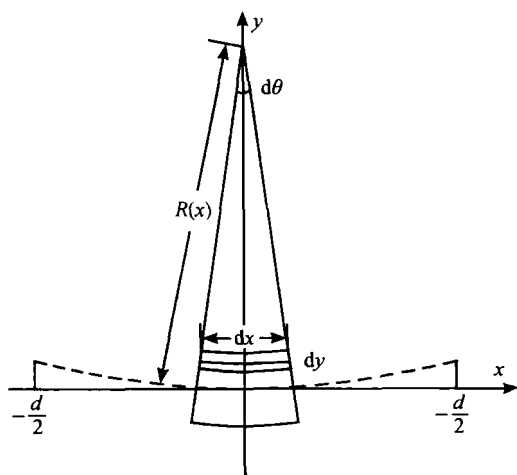


图 2-2 横梁发生微小形变示意图

$$dF(x) = -\frac{Yby}{R(x)}dy$$

此力对中性面的转矩为

$$d\mu(x) = |dF|y = \frac{Yb}{R(x)}y^2dy$$

而整个横断面的转矩 $\mu(x)$ 应是

$$\mu(x) = \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \frac{Yb}{R(x)}y^2dy = \frac{Yba^3}{12R(x)} \quad (2-3)$$

其中 a 为梁的厚度, 对梁上各点, 有

$$\frac{1}{R(x)} = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}$$

因梁的弯曲微小, 所以

$$\frac{dy}{dx} = 0$$

则有

$$R(x) = 1/\frac{d^2y}{dx^2} \quad (2-4)$$

梁平衡时, 梁在 x 处的转矩应与梁右端支撑力 $\frac{Mg}{2}$ 对 x 处的力矩平衡,

$$\mu(x) = \frac{Mg}{2} \left(\frac{d}{2} - x \right) \quad (2-5)$$

所以

根据式(2-3)、式(2-4)、式(2-5)可以得到

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{6Mg}{Yba^3} \left(\frac{d}{2} - x \right)$$

根据所讨论的问题的性质, 有边界条件: $y(0) = 0, \frac{dy}{dx} \Big|_{x=0} = 0$; 解上面的微分方程得到

$$y(x) = \frac{3Mg}{Yba^3} \left(\frac{d}{2}x^2 - \frac{1}{3}x^3 \right)$$

将 $x = \frac{d}{2}$ 代入上式, 得右端点的 y 值

$$y = \frac{Mgd^3}{4Yba^3}$$

又因为

$$y = \Delta Z$$

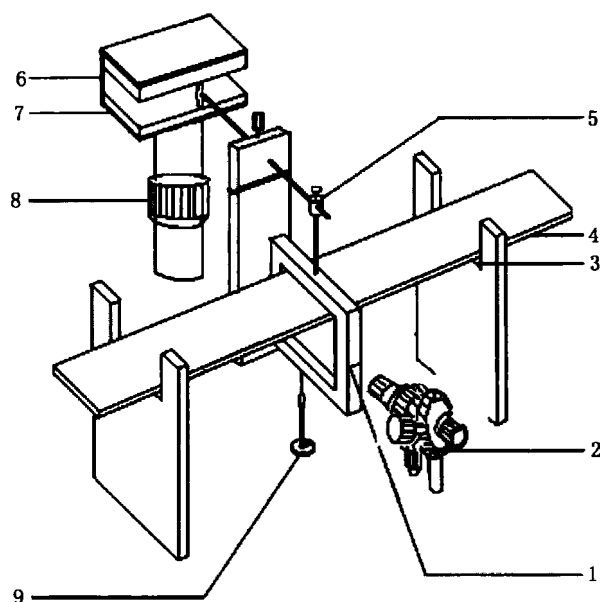
所以, 杨氏模量为

$$Y = \frac{d^3Mg}{4a^3b\Delta Z} \quad (2-6)$$

其中, d 为横梁两支撑端距离(即两刀口之间的距离), M 为所加砝码的质量, ΔZ 为梁中心由于外力作用而下降的距离, g 为重力加速度。

【实验内容与步骤】

杨氏模量测定仪的主体装置如图 2-3 所示。



1. 铜刀口上的基线 2. 读数显微镜 3. 刀口 4. 横梁 5. 铜杠杆(顶端装有 95A 型集成霍耳传感器) 6. 磁铁盒 7. 磁铁(N 极相对放置) 8. 调节架 9 砝码

图 2-3 杨氏模量测定仪的主体装置

1. 仪器的基本调节

(1) 将黄铜板穿在砝码铜刀口内,并安放在两立柱刀口的正中央位置。接着装上铜杠杆,将有传感器一端插入两立柱刀口中间,该杠杆中间的铜刀口放在刀座上。圆柱形拖尖应在砝码刀口的小圆洞内,传感器若不在磁铁中间,可以松弛固定螺丝使磁铁上下移动,或者用调节架上的套筒螺母旋动使磁铁上下微动,再固定之(圆柱体有固定螺丝)。注意杠杆上霍耳传感器的水平位置。

(2) 将铜杠杆上的三孔插座插在立柱的三孔插针上。将仪器电缆一端连接测量仪器,另一端插在立柱另外三孔插针上。接通电源,调节磁铁盒下的调节螺丝可以使磁铁上下移动,当毫伏表数值很小时,停止调节固定螺丝,然后调节调零电位器使毫伏表读数为零。大约预热 10 min,指示值即可稳定。

(3) 调节读数显微镜目镜,直到眼睛观察镜内的十字线和数字清晰,然后移动读数显微镜使通过其能够清楚地看到铜刀口上的基线。

2. 杨氏模量的测量和霍耳位置传感器的定标

转动读数显微镜的鼓轮使刀口架的基线与读数显微镜内十字刻度线吻合,记下初始读数值。逐次加上一定量的砝码(每次增加 10 g),使梁弯曲产生位移 ΔZ ;精确测量传感器信号输出端的数值 U ,并用测微目镜测量固定砝码架的位置 Z ,记录数据;再逐