



普通高等教育“十二五”规划教材

大学物理实验

刘汉臣 等 编

DAXUE WULI SHIYAN



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

目录

第一章 物理实验的基本知识 1
第一节 物理实验的目的和意义 1
第二节 物理实验的基本方法 2
第三节 物理实验的误差分析 3
第四节 物理实验的数据处理 4
第五节 物理实验的安全与环保 5

第二章 力学实验 6



普通高等教育“十二五”规划教材

大学物理实验

刘汉臣 李 编

第一章 物理实验的基本知识 1
第一节 物理实验的目的和意义 1
第二节 物理实验的基本方法 2
第三节 物理实验的误差分析 3
第四节 物理实验的数据处理 4
第五节 物理实验的安全与环保 5

ISBN 978-7-313-13011-1

定价：35.00元

本书是普通高等教育“十二五”规划教材，可作为高等院校物理专业及相关专业的教材，也可供从事物理实验工作的工程技术人员参考。



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书根据《高等学校物理学本科指导性专业规范》，结合近年来的教学实践，在原有物理实验教材的基础上并参考兄弟院校教材编写而成。本书内容包括绪论、测量误差与数据处理、常用仪器与测量方法简介、认知性实验、基本实验、设计性实验等6章，共70余个实验。

本书适合作为高等院校工科类学生在校期间进行物理实验教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验 / 刘汉臣 成鹏飞主编. —上海: 同济大学出版社, 2015. 10

ISBN 978-7-5608-6007-7

I. ①大… II. ①刘… III. ①物理学—实验—高等学校—教材 IV. ①O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 208914 号

普通高等教育“十二五”规划教材

大学物理实验

主编 刘汉臣 成鹏飞

责任编辑 陈佳蔚 责任校对 徐春莲 封面设计 李志伟 策划 卞玉清

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(上海市四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 三河市海新印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 18.5

字 数 456000

版 次 2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-6007-7

定 价 39.80 元

本书若有印装质量问题, 请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

编审委员会

主 编 刘汉臣 (西安工程大学)

成鹏飞 (西安工程大学)

副 主 编 王秋萍 (西安工程大学)

严祥安 (西安工程大学)

王安祥 (西安工程大学)

编 委 陈爱民 (西安工程大学)

张国青 (西安工程大学)

李连碧 (西安工程大学)

苏耀恒 (西安工程大学)

王 军 (西安工程大学)

前 言

本书根据《高等学校物理学本科指导性专业规范》，结合近年来的教学实践，在原有物理实验教材的基础上并参考兄弟院校教材编写而成。

本书内容包括绪论、测量误差与数据处理、常用仪器与测量方法简介、认知性实验、基本实验、设计性实验等6章，共70余个实验。按照教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会的建议，本书要求学生用标准误差处理数据，并初步引入不确定度的概念。为了加深对物理实验原理和方法的学习与理解，本书适当加强了这部分内容，始终把侧重点放在对学生的基本训练方面。为有利于学生实验能力的培养，在相当一部分实验中，我们安排了设计性实验的要求，意在使学生的学习与思考深入一步，学会自行建立物理模型和提出设计性实验的实施方案。同时，为了不使教材篇幅过长，本书在叙述方面力求简明扼要，有些公式希望学生自己去推导，有些内容的理解需要查阅相关资料。我们认为这对于学生主动学习和发现问题的能力是一种锻炼与培养。教材只能作为主要的学习参考书，重要的是教师恰当的教育、引导和学生积极探索的学习过程。

本书于2002年首次出版，通过教学实际使用，进行了数次修订。本次出版进行了大范围的修改，加入了认知性实验，对设计性实验部分进行了扩展，对基本实验进行了全面修订。参加编写工作的有陈爱民、成鹏飞、李连碧、刘汉臣、苏耀恒、王秋萍、王安祥、王军、严祥安、张国青等。全书由刘汉臣、成鹏飞统稿并任主编，王秋萍、严祥安、王安祥负责各部分的统稿并任副主编。

由于编者水平所限，书中的错误、疏漏之处在所难免，恳请使用本书的教师和学生不吝赐教，以便我们进一步提高本书的水平。

编 者

2015年9月

目录

CONTENTS

第1章 绪论	1
1.1 物理实验课的地位、作用和任务	1
1.2 物理实验课的教学程序	2
1.3 怎样学好物理实验课	3
第2章 测量误差与数据处理	5
2.1 测量与误差	5
2.1.1 物理量	5
2.1.2 测量	5
2.1.3 测量误差	6
2.2 误差的分类	7
2.2.1 系统误差	7
2.2.2 随机误差	9
2.2.3 粗大误差	12
2.2.4 精密度、准确度、精确度	13
2.3 直接测量量的误差估算	14
2.3.1 单次直接测量量的误差及结果表示	14
2.3.2 多次直接测量量的误差及结果表示	15
2.4 间接测量量的误差估算	16
2.4.1 间接测量量的近真值和绝对误差	16
2.4.2 间接测量量的标准偏差	17
2.5 测量结果的不确定度	19
2.5.1 不确定度的概念	19
2.5.2 不确定度的两类分量	19
2.5.3 合成不确定度	19
2.6 有效数字	20
2.6.1 有效数字	20
2.6.2 有效数字的运算规则	21
2.6.3 使用有效数字应注意的问题	22

2.6.4	数值的修约规则	23
2.7	实验数据处理方法	23
2.7.1	列表法	24
2.7.2	图示法	24
2.7.3	逐差法	26
2.8	最小二乘法直线拟合	27
	习题	29
第3章	常用仪器与测量方法简介	31
3.1	长度测量仪器	31
3.1.1	长度及其单位	31
3.1.2	长度测量仪器	31
3.2	质量测量仪器	35
3.2.1	物理天平	36
3.2.2	单臂天平	37
3.3	时间测量仪器	38
3.3.1	机械停表	38
3.3.2	电子停表	38
3.4	电磁学测量仪器	39
3.4.1	电流的测量	39
3.4.2	电压的测量	40
3.4.3	电表的主要参数	40
3.4.4	电表使用注意事项	40
3.4.5	检流计	41
3.4.6	电阻的测量	43
3.4.7	多用电表	43
3.4.8	几种电学仪器和元器件简介	44
3.5	光学测量仪器	47
3.5.1	望远镜	47
3.5.2	读数显微镜	48
3.5.3	测微目镜	49
3.6	仪器使用的几种基本调节技术	50
3.6.1	水平调节	50
3.6.2	铅直调节	50
3.6.3	仪器的零点调节	50
3.7	测量方法简介	51
3.7.1	比较法	51

3.7.2	放大测量法	51
3.7.3	补偿法	51
3.7.4	模拟法	52
3.7.5	零示法	52
3.7.6	替代法	52
3.7.7	电测法	52
3.7.8	光测法	53
第4章	认知性实验	54
4.1	低温的获得与温度的测量	54
4.1.1	低温的获得	54
4.1.2	低温的温度测量	54
4.1.3	低温温度计的安装和作用	55
4.2	热敏电阻温度特性的测量	57
4.2.1	热敏电阻温度特性	57
4.2.2	惠斯通电桥原理	58
4.3	阻尼振动与受迫振动	59
4.4	二维碰撞运动的研究	60
4.5	硬币起飞	63
4.6	碰撞打靶	64
4.7	驻波与克拉尼图形	65
4.8	编钟探秘	68
4.9	声波测距	70
4.10	用频闪仪测量周期性运动物体的频率	72
4.11	简谐运动的研究	74
4.12	半导体电性能测试	76
4.13	电子束的电偏转和磁偏转	78
4.13.1	电子束的电偏转	78
4.13.2	电子束的磁偏转	80
4.14	静电感应及其应用	82
4.15	静电与水	85
4.16	静电场中的“单摆”	87
4.17	单相旋转磁场的产生和应用	88
4.18	白光再现全息照相	90
4.19	用复合光栅滤波实现光学图像微分	93
4.20	光的偏振	96
4.20.1	菲涅耳公式	96

4.20.2	布儒斯特角的计算	97
4.20.3	反射和折射的偏振特性	97
4.20.4	1/4 波片、圆偏振光和椭圆偏振光	99
4.21	各向异性晶体光学性质的观测和研究	100
4.21.1	消光	100
4.21.2	消色	101
4.21.3	锥光	102
4.21.4	光性正负	104
4.22	光通信	107
4.23	激光监听	109
第5章	基本实验	111
实验一	物体密度的测量	111
实验二	拉伸法测钢丝的弹性模量	114
实验三	液体表面张力的测定	118
实验四	相速与群速的测量	121
实验五	超声波探伤	125
实验六	固体导热系数的测量	130
实验七	压力传感器特性研究	133
实验八	多普勒效应测声速	137
实验九	金属热膨胀系数的测量	142
实验十	伏安法测电阻	145
实验十一	惠斯通电桥测电阻	148
实验十二	电位差计的使用	154
实验十三	示波器的使用	159
实验十四	巨磁电阻效应及其应用	167
实验十五	铁磁材料的磁滞回线和基本磁化曲线	173
实验十六	电表改装及校正	179
实验十七	太阳能电池基本特性测试	182
实验十八	霍尔效应及霍尔元件基本参数的测量	189
实验十九	等厚干涉	196
实验二十	分光计的调节和使用	199
实验二十一	用光栅测定光波波长	203
实验二十二	单缝衍射测波长	207
实验二十三	光的偏振现象的研究	210
实验二十四	光电传感器	216
实验二十五	光电效应	223

实验二十六 迈克耳孙干涉仪	228
实验二十七 红外物理特性及应用	232
实验二十八 傅里叶光学与空间频谱	238
实验二十九 弗兰克-赫兹实验	243
实验三十 激光全息照相	249
第6章 设计性实验	255
6.1 设计性实验的一般概念	255
6.2 设计性实验的一般程序	256
6.3 物理模型的建立	256
6.4 仪器的选配原则与最佳测量条件的确定	257
6.4.1 根据物理模型中各个物理量的特性选配仪器	258
6.4.2 根据设计要求的精度合理选配仪器	258
6.4.3 根据误差等量分配原则选择仪器或实验方法	258
6.4.4 测量最佳条件的选择	259
6.4.5 被测对象的选择	260
6.5 拟定实验程序	260
6.6 设计举例	261
6.7 设计性实验选题	263
实验一 实验仪器选择与误差分配的应用	263
实验二 用非平衡电桥测温度	263
实验三 密度测定	264
实验四 滑线变阻器的特性研究	265
实验五 电源内阻和输出功率特性研究	266
实验六 用自组半导体温度计测量温度	266
实验七 透明固体(液体)折射率的测定	267
实验八 用干涉法测量载流康铜丝的温度	267
6.8 更多的设计性实验选题	268
实验九 音频测量	269
实验十 光学合成李萨如图形	269
实验十一 电磁感应和磁悬浮实验	269
实验十二 微小长度的测量	270
实验十三 天平与秤	270
实验十四 密度测量	271
实验十五 力与运动规律的实验研究	272
实验十六 气体(或液体)温度计的设计	273
实验十七 气体压强计的设计	273

附 录	274
附录 1 中华人民共和国法定计量单位表	274
附录 2 基本物理常数	278
附录 3 标准大气压下不同温度时纯水的密度	279
附录 4 不同温度下与空气接触的水的表面张力系数	280
附录 5 20 ℃时常见固体和液体的密度	280
附录 6 20 ℃时某些金属的弹性模量	281
附录 7 某些液体的动力黏度	281
附录 8 我国部分城市的重力加速度	282
附录 9 某些金属和合金的电阻率及其温度系数	282
附录 10 物质的相对介电常数	283
附录 11 实验室常用光源的谱线波长	283
附录 12 某些液体的折射率	284
附录 13 某些晶体的折射率	284

第1章 绪 论

1.1 物理实验课的地位、作用和任务

以物质的结构、运动规律以及相互作用为研究内容的物理学,是建立在实验基础之上的。物理学是一门实验科学,物理学的概念、定律和理论的建立、发现和形成,无一不以实验为基础,并始终受到实验的检验。例如,杨氏干涉实验使光的波动学说得以确立;赫兹的电磁波实验使麦克斯韦的电磁场理论获得普遍认可;卢瑟福的 α 粒子散射实验揭开了原子的秘密;近代的高能粒子对撞实验使人类深入到物质的最深层——原子核和基本粒子内部来探索其规律性。在物理学发展过程中,人类积累了丰富的实验方法,创造了众多构思精巧的实验仪器,这些方法和仪器已广泛应用于各个学科和生产实践之中,如计量、激光、半导体、大规模集成电路、电子学、真空技术、超导、航空航天技术、纳米技术等,成为推动科学技术发展的强有力的工具。

教育部颁发的《高等工科大学物理实验课程教学基本要求》指出:物理实验是对高等工业学校学生进行科学实验基本训练的一门独立的必修课程,是学生进入大学后受到系统实验方法和实验技能训练的开端。物理实验教学和物理理论教学具有同等重要的地位。它们既有深刻的内在联系和配合,又有各自的任务和作用。

本课程的具体任务如下:

(1)使学生在物理实验的基本知识、基本方法和实验技能诸方面受到系统的训练。主要学习如何根据实验思想确定合理的实验方法,正确选择和使用仪器,掌握各种基本测量技术,能对数据进行处理、判断和分析实验结果等。

(2)通过对实验现象的观察、分析和对物理量的测量,加深对物理学原理的认识和理解。

(3)培养与提高学生的科学实验能力,包括:

- ①自学教材及资料,作好实验准备的能力;
- ②正确使用仪器进行观察、测量的能力;
- ③对实验现象进行判断、分析的能力;
- ④进行数据处理、误差分析和正确表达实验结果的能力;

⑤拟定实验方案,完成设计性实验的能力;

⑥主动探索的创造思维能力.

(4)培养学生的科学研究素养,包括:

①理论联系实际和实事求是的工作作风;

②严谨认真的工作态度;

③独立思考、深入钻研的探索精神;

④团结协作、遵守纪律和爱护公物的优良品德.

1.2 物理实验课的教学程序

物理实验课是在教师指导下,由学生独立进行的运用实验手段、研究物理问题的学习过程,其教学程序分以下三个阶段进行.

1. 预习

实验前,必须认真阅读教材,查阅有关资料,明确实验原理、实验目的、测量方法和主要实验步骤,在此基础上写出预习报告.预习报告的内容应包括实验名称、目的、原理、电路图或光路图、记录表格等.未做好实验预习者不得进行实验.

2. 实验操作

首先应根据教材或仪器说明书熟悉仪器,了解仪器的正确使用方法,检查实验仪器及配件是否齐全、完好,记录主要实验仪器的规格、型号,然后进行仪器调试.实验时应按照“先定性观察、后定量测量”的原则,先仔细观察并认真记载所研究的实验现象,按实验要求作检验性操作,待结果正常,方可正式开始测量,把数据记入记录表格,注意有效数字和单位.要重视实验现象的观察、记载与分析.原始数据记录须经教师检查认可.实验结束后应整理好实验仪器,搞好室内卫生,方可离开实验室.

3. 撰写实验报告

实验报告是学生实验结果的书面汇报.通过撰写实验报告,可培养学生的归纳和分析能力以及文字表达能力.实验报告一律用统一的实验报告纸书写,要求书写工整,图表正规,文字简练通顺,数据齐全合理.一份完整的实验报告,一般应包括以下内容:

(1)实验名称.

(2)实验目的.

(3)实验原理(用简练的文字写出实验的基本原理、基本公式,画出电路图或光路图或实验装置示意图等).

(4)实验仪器(包括仪器名称、型号、规格等).

(5)实验内容(简述实验测量的主要内容).

(6)实验数据(应记入表格中)。

(7)数据处理(包括主要运算过程、误差估算、完整实验结果等。若用作图法处理数据时,应严格按作图规则,画出规范实验图线,并求出实验结果)。

(8)问题讨论(包括回答思考题;对实验现象观察结果的分析;对实验方法及装置的改进意见;其他心得体会等)。

实验报告应附有任课教师签字的原始数据记录,应在规定时间内完成并上交。

1.3 怎样学好物理实验课

物理实验课学习的最大特点是“既动脑,又动手”,在教师的指导下,学生应积极发挥在实验过程中的主导作用,亲身实践每一个实验的全过程,循序渐进地达到培养与提高科学实验素养和能力的目的。

在具体学习过程中,应注意做到以下几点:

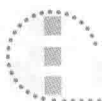
(1)坚持对实验原理、实验方法和仪器装置进行深入的理解与分析,在提高动手能力的基础上注重实验设计思想的学习与研究。因为只有这样,才能不以仅仅获得实验数据为满足,而是从实验方法的构思与实验装置的设计等方面进行综合分析,掌握实验理论与方法的精髓,从而为能力培养和今后进行科学实验打下坚实的基础。

(2)应养成良好的实验习惯,重视实验课各个环节的学习。良好实验习惯的形成,来源于平时一点一滴的积累。例如,每次实验之前,都要认真预习,充分查阅资料,对实验内容和要求做到心中有数;实验时,首先要安排好仪器装置或线路的布局,选择适宜的操作方式进行测量;实验中,要善于观察各种现象并及时记录,测量数据要细心准确;实验结束后,应有一份完整而真实的原始数据记录,并应及时撰写实验报告。物理实验课的每一个环节都是密切相关的有机系统,只有每个环节的工作都细致到位,才能保证整个实验顺利进行。

(3)应注意培养一丝不苟、勤奋求实的实验作风和洞察入微的观察习惯。实验是科学,科学的东西来不得半点虚假。是否具有严谨的实验作风,是科学实验研究成败的关键。因此,对每一次实验、每一种实验现象、每一组数据,都要以严肃的态度进行观察并详细记录,并注意观察异常现象,努力分析产生异常的原因并予以解决。

(4)要养成对实验内容善于进行反思的习惯,在实践的基础上,提出新的测量方法和实验方案,并设法予以验证。这一过程实质上是活跃思想、启发思维的过程,它能加深对实验内容的理解与掌握,对培养和提高学生的实验素养和能力十分有益。

(5)要自觉培养独立分析和解决问题的能力。由于各种因素的影响,实际的实验结果与理论结果总有误差,要善于分析产生误差的原因及类型,研究消除和修正误差的方法。在实验过程中,仪器装置不可避免地可能出现故障,遇到这种情况,首先要力求自己



分析,自己动手去解决,即使请教师解决,也要留意观察,细心体会教师是如何解决的。可以说,能否发现和排除仪器故障,是实验能力强弱的重要体现,一定要注重这方面的锻炼。

总之,只要勤于动手,善于动脑,严谨求实,深入钻研,理论联系实际,善于发现问题和解决问题,就一定能学好物理实验。

附录 1 物理实验报告格式

一、实验名称

二、实验目的

三、实验原理

四、实验器材

五、实验步骤

六、实验数据

七、实验结果

八、实验结论

九、实验心得

十、实验总结

十一、实验评价

十二、实验反思

十三、实验展望

十四、实验附录

十五、实验参考文献

十六、实验指导教师

十七、实验日期

十八、实验地点

十九、实验小组

二十、实验记录

二十一、实验报告

二十二、实验总结

二十三、实验评价

二十四、实验反思

二十五、实验展望

第2章 测量误差与数据处理

2.1 测量与误差

2.1.1 物理量

量是物质、物体或现象可以定性区别和定量描述的一种属性,是描述运动规律的一个重要的基本概念.量由数值与单位两部分组成.

根据国际标准化组织的建议和我国国家标准的规定,物理量分为以下 11 类:

- (1)空间和时间的量,如长度、角度、时间、速度等;
- (2)周期及有关现象的量,如频率、波长、振幅、阻尼系数等;
- (3)力学的量,如质量、密度、力、功、能、流量等;
- (4)热学的量,如热力学温度、热量、热容、热导率等;
- (5)电磁学的量,如电流、电势、磁通量、磁导率等;
- (6)光及有关电磁辐射的量,如发光强度、光能量、照度、辐射强度等;
- (7)声学的量,如声压、声速、声强、声功率等;
- (8)物理化学及分子物理学的量,如物质的量、阿伏伽德罗常量、摩尔质量、渗透压、玻尔兹曼常量等;
- (9)原子和核子物理学的量,如原子质量、电子质量、普朗克常量、里德伯常量等;
- (10)核反应与电离辐射的量,如粒子通量密度、活度、吸收剂量等;
- (11)固体物理学的量,如霍尔系数、汤姆逊系数、里查德逊常量等.

可以说,工程技术中绝大部分的测量都是物理量的测量,这些量的测量方法与装置大多是物理实验测量方法与装置的移植或延伸.

单位是表述测量结果必不可少的组成部分.在物理学发展过程中曾建立过各种不同的单位制,使用中常造成混乱.1960 年,国际计量大会正式通过使用一种通用的适合一切计量领域的单位制,叫国际单位制,用符号“SI”表示.1984 年 2 月,我国国务院颁布命令,决定采用 SI 单位制统一我国的计量单位,因此,物理实验中的单位实行 SI 制.

2.1.2 测量

物理实验不仅要定性地观察物理现象,而且需要对物理量的大小进行定量测量.测量

就是将被测量与选作计量单位的同类量作比较,通过操作手段获得被测量大小的过程。测量结果应包含物理量的大小和单位。

作为比较标准的测量单位,其大小是科学地人为规定的。例如,国际单位制(SI)是世界唯一公认的科学单位制,选定了7个基本物理量,即长度(米)、质量(千克)、时间(秒)、电流强度(安培)、热力学温度(开尔文)、物质的量(摩尔)和发光强度(坎德拉)的单位为基本单位,其他物理量的单位可由这些基本单位导出,故称导出单位。

根据测量方法、测量条件的不同,测量又分为以下几类:

1. 直接测量

直接测量指可用测量仪器直接读出测量结果的测量。相应的物理量称为直接测量量。如用米尺或游标卡尺测量长度,用停表测时间,用电压表测量电压等。

2. 间接测量

先测出与被测量量相关的直接测量量,然后代入已知的函数关系式进行计算,从而求得测量值,这一类测量称为间接测量,相应的物理量称为间接测量量。例如,直接测量圆柱体直径 d 和高度 h ,然后按函数关系式 $V = \frac{\pi}{4} d^2 h$ 求出圆柱体体积。对圆柱体体积的测量就是间接测量。

3. 等精度测量

在相同测量条件下对同一物理量进行的多次重复性测量。例如,在相同环境下,同一个测量者用同样的仪器和方法,对同一个被测量量作重复测量。由于各次测量的条件相同,因此测量结果的可靠性是相同的。这种测量就是等精度测量。

4. 非等精度测量

在不同的测量条件下对同一物理量进行的多次测量。由于在测量的过程中,测量环境、测量者、测量仪器、测量方法等有所不同,因此在测量条件变更前后,测量结果的可靠性会不相同。这样的测量称为非等精度测量。

所谓测量条件,是指一切能影响测量结果、本质上又可控制的全部因素。包括:测量者、测量仪器、测量方法、环境条件等。环境条件是指测量过程中环境的温度、湿度、大气压力、气流、光照、振动、辐射强度等。

2.1.3 测量误差

在一定条件下,被测量的物理量存在一个客观的真实数值,称为该物理量的真值,用 μ 表示。而用实验手段测量出来的值,称为该物理量的测量值,用 x 表示。由于受仪器准确度、测量方法、环境因素等客观条件的限制,任何实验测量都无法得到真值,测量值与真值之间总存在差异。这种差异称为测量误差,简称误差,表示为 $x - \mu$ 。

误差具有与被测量相同的单位,它是可正可负的,表征测量值偏离真值的大小和方向。

对于大多数物理量来说,它们的真值是不知道的。为了计算误差,常采用多次等精度测量的平均值近似地代替真值,称为近真值或最佳值,用 $\bar{x}$ 表示。