

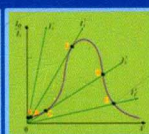
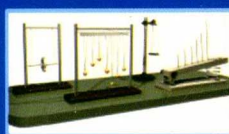


普通高等教育农业部“十二五”规划教材
全国高等农林院校“十二五”规划教材

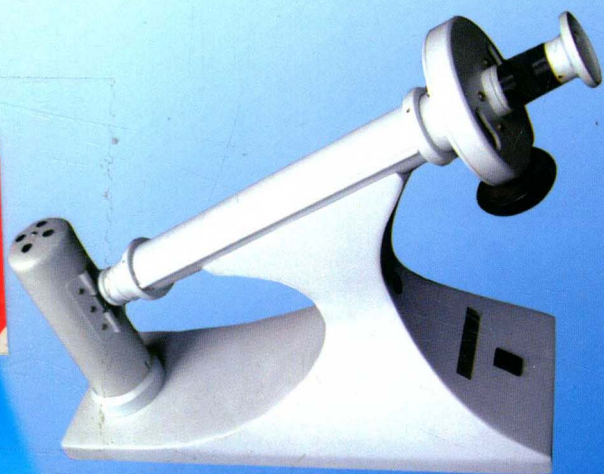


大学物理实验

Daxue Wuli Shiyan



王永刚 曹学成 高峰 陈洪叶 等◎编著



中国农业出版社

普通高等教育农业部“十二五”规划教材
全国高等农林院校“十二五”规划教材

大学物理实验

王永刚 曹学成 高 峰 陈洪叶 等 编著

中国农业出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验 / 王永刚等编著. —北京: 中国农业出版社, 2011. 8(2018. 2 重印)

全国高等农林院校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-109-15745-3

I. ①大… II. ①王… 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(2011)第 146685 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

策划编辑 薛 波

文字编辑 薛 波

北京万友印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2011 年 8 月第 1 版 2018 年 2 月北京第 6 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 20

字数: 480 千字

定价: 32.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本教材是全国高等农林院校“十二五”规划教材，介绍了实验数据处理的基本理论和方法、基本实验仪器的使用方法，选编了典型的基础物理、近代物理和现代物理实验以及设计性和研究性实验共 40 多个，介绍了仿真实验及若干实例，以及演示实验 23 个。本教材在加强基础知识、基本方法和基本操作训练的同时，也初步介绍了近代物理中的一些常用实验方法、实验技术、实验仪器和物理原理，此外还介绍了当代的一些先进技术，作为研究性实验内容面向教师和学生，使教材更具时代气息。

本教材在编写中加强了实验原理的讲解，内容充实，深入浅出。此外，在基础物理实验、提高性实验、近代物理实验中还设置了预习思考题和实验后思考题，便于学生有的放矢地准备实验，加深对物理规律、实验思想的理解。

本教材可作为理、工、农及生命科学类各专业的物理实验教学用书，也可作为实验技术人员和教师的参考书。

编审人员

主 编	王永刚	曹学成	高 峰	陈洪叶
副主编	姜贵君	赵文丽	周海亮	丛晓燕
参 编	孙丰伟	韩 岳	陈 军	郭秀梅
	刘智新	王文宁	鲍钢飞	
主 审	郭华北	原所佳		

前 言

本教材是为适应教育部有关教育教学改革的要求,在总结我们十多年实验教学改革实践的基础上,汲取了当前国内外优秀教学改革成果编写而成的。本教材是全国高等农林院校“十二五”规划教材,是在山东省教育厅、山东省财政厅“高等学校基础学科建设专项资金”、山东省 2009 年度高等学校教学改革研究项目“大学物理教学资源平台建设与教学模式创新研究”、山东农业大学“‘1522’课程建设质量工程”、山东农业大学 2009 年度教育教学研究课题等资助下完成的,是山东农业大学实施“高等教育质量工程”以来所取得的研究成果之一。

本书是为高等院校理工、农林、生命科学类各专业开设的大学物理实验公共基础课所编写的教材,包括物理实验数据处理的基本理论与方法、基本实验仪器的使用方法、基础物理实验、提高性实验、近代物理实验、设计性实验、研究性实验、仿真实验、演示实验共九章,其中包括部分开放选做实验和面向学生科研训练项目的研究性实验。可以满足 72 学时以下大学物理实验课程的教学需要。

教材选编了典型的基础物理、近现代物理实验共 40 多个,演示实验 23 个和部分仿真实验,在加强基础知识、基本方法和基本操作技能训练的同时,还增加了面向教师和学生的近现代物理实验的理论、实验仪器和先进实验技术,使教材更具有时代气息。同时,教材加强了对实验原理的讲解,内容充实,深入浅出,在基础物理实验、提高性实验、近代物理实验中设置了预习思考题和实验后思考题。

本教材由山东农业大学王永刚、曹学成、高峰、陈洪叶主编,山东农业大学郭华北教授和山东交通学院原所佳教授主审。本书的编写分工如下:王永刚编写前言、第一章、第五章和实验九、实验十六、实验十七、实验二十一、附录;曹学成编写绪论、第三章、实验十八、实验十九、实验二十二、实验二十七;高峰编写第二章、第四章、实验六、实验八、实验十五、实验三十、实验三十一;陈洪叶编写实验三、实验四、实验十六、实验二十九;姜贵君编写第九章、实验二、实验五、实验二十三;赵文丽编写第八章、实验十二、实验十三、实验二十、实验二十六;周海亮编写第六章、实验十一、实验二十五;丛晓燕编写第三章、实验十、实验十四、实验二十八;孙丰伟编写第六章、实验十七;韩岳编写实验三十九、实验四十、实验四十二;陈军编写实验三十八、

实验四十一；郭秀梅编写实验十、实验十八、实验十九；刘智新编写实验七；王文宁编写实验二十四；鲍钢飞审阅了第七章、第八章、第九章。

另外，所有编者还完成了对其他编者所编写实验项目内容的补充、修改与审稿工作。最后由王永刚、曹学成负责对全书内容进行了修改与补充，并总纂定稿。

郭华北教授和原所佳教授仔细审阅了此书，并提出了许多宝贵意见。中国农业出版社有关人员在本书的编辑出版过程中付出了大量的劳动，在此一并致谢！

在编写本书的过程中，我们借鉴和吸纳了许多相关教材和参考文献的内容（见书后参考文献），对这些教材和文献的作者表示衷心的感谢。

对于本书中的缺点和不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

2011年5月

目 录

前言

绪论	1
第一章 物理实验数据处理的基本理论与方法	5
第一节 测量及其误差	5
一、测量及其分类	5
二、测量误差的基础知识	6
三、随机误差的估计	9
第二节 不确定度	11
一、引入不确定度的依据	11
二、不确定度的基本概念	12
三、直接测量的不确定度的计算	12
四、间接测量的不确定度的计算	16
第三节 有效数字及其运算规则	20
一、测量结果的有效数字	20
二、有效数字的运算规则	21
第四节 实验数据处理的常用方法	23
一、列表法	23
二、作图法	24
三、逐差法	28
四、线性回归法	29
附录 1 几种重要的概率分布	33
附录 2 科学型计算器统计功能简介	35
习题	37
第二章 基本实验仪器的使用方法	39
一、游标卡尺	39
二、螺旋测微器	40
三、读数显微镜	41
四、电子秒表	42
五、电源	43
六、变阻器	44
七、电表	46
八、光源	49
九、功率函数信号发生器	50
十、示波器	52

第三章 基础物理实验	56
实验一 静态杨氏模量的测量	56
实验二 用刚体转动仪测量转动惯量	61
实验三 测量液体的黏滞系数	66
实验四 测量液体的表面张力系数	71
实验五 测量空气的比热容比	76
实验六 密立根油滴实验	79
实验七 板式电势差计测电源电动势	85
实验八 电子示波器的使用	91
实验九 霍尔效应的测量和应用	98
实验十 电表改装与校准	106
实验十一 交流电桥	112
实验十二 牛顿环与劈尖干涉	122
实验十三 迈克尔逊干涉仪的调节与使用	128
实验十四 用分光计测光波波长	135
实验十五 单缝衍射光强分布的测量	141
实验十六 偏振光旋光实验	147
第四章 提高性实验	159
实验十七 压电陶瓷特性研究	159
实验十八 声速的测定	164
实验十九 磁滞回线的测量	172
实验二十 光学全息照相	179
实验二十一 磁阻效应及磁阻传感器特性的研究	186
实验二十二 动态杨氏模量的测量	193
实验二十三 AD590 集成电路温度传感器的特性研究及应用	199
实验二十四 PN 结物理特性的研究	205
实验二十五 声光效应实验	212
第五章 近代物理实验	222
实验二十六 塞曼效应实验	222
实验二十七 夫兰克-赫兹实验	229
实验二十八 测量金属电子逸出功	235
实验二十九 光电效应法测量普朗克常量	240
实验三十 光速的测定	245
实验三十一 小型摄谱仪及其应用	252
实验三十二 微波电子顺磁共振	257
第六章 设计性实验	267
实验三十三 利用迈克尔逊干涉仪测定空气的折射率	267
实验三十四 测量液体的表面张力系数	267

实验三十五 数字温度计的设计	268
实验三十六 光的偏振特性研究	268
实验三十七 测定塑料薄膜的吸收光谱	268
第七章 研究性实验	270
实验三十八 扫描隧道显微镜实验	270
实验三十九 单光子计数实验	271
实验四十 表面磁光克尔效应实验	274
实验四十一 脉冲核磁共振实验	276
实验四十二 荧光分光光度计实验	277
第八章 仿真实验	280
一、计算机仿真物理实验概述	280
二、计算机仿真物理实验举例	282
三、评价与展望	291
第九章 演示实验	292
一、实验目的	292
二、实验方式	292
三、实验项目及内容提要	292
四、实验报告	297
附录	298
附录一 中华人民共和国法定计量单位	298
附录二 常用基本物理常量数据表	300
参考文献	308

绪 论

一、物理实验课的目的与任务

大学物理实验是教育部规定的可单独设课的基础实验课,是高等农林院校规模最大、学生受益面最广的实验课之一。因此,提高物理实验课的开设水平,提高学生发现问题、分析问题和动手解决问题的能力,培养学生具备良好的创新能力与科学素养,不断提高教育教学质量,是大学物理实验课的中心目标。

物理学是自然科学的基础,物理学就其本质而言是一门实验科学,它的各种规律的发现及理论的建立均是由实验得来或经实验验证的,其理论及先进的实验方法和技术被广泛应用于各科学领域,例如显微镜、电子计算机、激光、核磁共振扫描与诊断仪、X光透视、B超诊断、CT诊断、光谱分析仪、核辐射技术、各种传感器等在工农业上已得到广泛的应用,促进了其他学科的飞速发展,并衍生出了一批交叉学科和边缘学科。因此,当前物理实验教学改革的任务就是要以物理实验的思想方法、误差分析、物理量的测量和物理规律的研究为线索,注重“基本思想、基本方法、基本测量”的基础训练,扩大综合性、设计性和研究性实验的比例。物理实验要适应现代科学技术的高速发展,贴近科学技术的前沿,贴近工农业生产实践活动,要能激发学生的学习热情和创新欲望。

目前,全国高等农林院校大多已经发展成为融农、林、理、工等于一体的多学科性大学,物理实验教学的内容和模式应随之进行改革。根据学科专业的不同,可把实验分成三个层次:第一层次为农林类物理实验,主要是为农林及生命科学类本科专业开设的必修课,实验内容主要是基础物理实验和面向专业的设计性及研究性实验;第二层次为理工类物理实验,主要是为理工科类学生开设的必修课,在第一层次的基础上,适当增加若干综合性、设计性及近代物理实验;第三层次为理科物理实验,主要是为电子信息、通信工程和地理信息系统等专业开设的必修课,包括以综合性、设计性实验为主的基础物理实验和以近现代物理实验为主的提高性实验。总之,根据不同专业开设多种研究性实验,供有能力和有兴趣的学生选做,如纳米材料扫描隧道显微镜分析、太阳能光伏技术应用研究、植物生长发育过程中吸收光谱规律的研究、微弱信号检测实验研究、强场和弱场中动植物生长变化研究等。通过加强实践环节教学,让学生形成研究、探索、创新的理念。

“十二五”期间,山东农业大学物理实验室要建设成现代化的、开放的高水平实验室,逐步扩大物理实验选课的范围,让理、工、农、林和文科相关专业的学生都能接受现代物理实验的训练,从大学一年级起就面向对物理实验感兴趣,又有潜力的学生提供发明、创新的实验园地,培育一批大学期间就有创新发明潜力,能为高新技术产业作出贡献的优秀科技人才。把物理实验室建设成既能承担本校本科生物理实验教学任务,又能承担一定的研究生科

研项目，同时向社会开放的物理科技活动的基地。

二、物理实验课的教学模式

目前，物理实验课的主要教学模式是在绪论课上集中讲解各实验的原理，实验课上的授课重点将转向在教师指导下学生独立完成实验方案设计、实验操作、数据处理及分析。

1. 实验课的编组方式 物理实验课采取“大班大循环”编组的方式进行。每个实验室安排4个实验项目（4学时/个）32套仪器，可同时容纳32人做实验，学生在每个实验室内小循环完成4个实验项目，在多个实验室内大循环完成所选择的全部实验项目。每次实验课大家所做的实验不一样，变教师统一辅导为个别辅导，学生独立完成实验。

这种编组方式的主要优点是：①优化资源配置，用较少的资金实现学生每人一套仪器，达到培养学生独立思考、独立操作的目的；②提高了仪器的利用率，减少了开支，使仪器快速更新成为现实；③减少因搬动仪器带来的损坏，减少实验技术人员的工作量；④实现了实验室半开放，使学生在做本次实验时就能看到下次实验所用仪器，做到提前预习。

由于实验课上教师不统一辅导，会给学生实验带来一定的困难。为此，要求学生做到课前预习，每次实验课前要写好预习实验报告，上课时带到实验室由教师检查，通过后方可进行实验，未完成预习实验报告者不得进行实验。

2. 使用网络化物理实验课教学平台 加强计算机及其网络在大学物理实验中的应用，构建大学物理实验网络化教学平台。通过将大学物理实验教学课件、教学视频上网，供学生在网上观看学习。向学生开放演示实验室、计算机仿真实验室，在实验学时较少的情况下，完成尽量多的实验内容。通过这个网络平台，将物理实验的文字、声音、图像、动画有机地结合起来，学生可以通过网络选课和预习实验，给学生学习实验理论和实验操作提供了一个立体化的便捷平台。同时，在实验室里配备计算机，使学生能现场处理实验数据，作出实验数据图线。

3. 采用分层次实验教学，引导学生自主实验 大学物理实验采用分层次实验教学模式，根据专业将大学物理实验分成三个层次。通过增加选做实验，扩大实验室开放，增设大学物理演示实验和仿真实验，逐步实现有层次的分类实验教学，增加学生对物理实验项目的选择性和学习的自主性，同时实现教学资源的有效利用。

大学物理实验要不断引入演示教学、模拟教学、多媒体教学、网络教学等新的实验方法和手段。扩大实验室开放和实验实习资源共享，推进大学生创新性实验计划；探索多层次、多类型的实验教学模式。

三、物理实验课的主要教学要求

为了高质量地完成大学物理实验，实现大学物理实验课程的教学目标。学生在物理实验课程的学习中具体要做到以下几点。

1. 实验课前预习 做好实验的重要前提是在课前预习实验。在动手做实验前，要仔细研读实验教材，查阅相关资料，明确实验任务、实验原理、实验仪器和操作要点，了解操作步骤和在实验过程中的注意事项等。在此基础上，要求学生提前写出预习实验报告，其内容包括实验题目、实验目的、实验原理、实验步骤、实验方案等，画好原理图、数据记录

表等。

2. 实验操作 课堂实验操作是成功完成实验的最重要的一步，主要有以下三点：①学生来上课时务必携带实验教材、计算工具、绘图工具，要先将预习报告交教师检查，无预习报告者不得做实验。②动手做实验前应先结合仪器，了解实验仪器的工作原理、使用方法及注意事项，经教师允许后再进行实验；对电学实验，需经教师检查合格后方可接通电源；对光学仪器，要轻拿轻放，不要用手接触光学镜面。③注意观察实验现象，认真正确记录测量数据，经教师检查正确后再结束实验操作。

3. 实验报告的撰写与提交 实验报告是实验工作的全面总结，有一定的内容要求和格式要求，在完成这些内容后要当堂提交实验报告，教师要对实验报告进行逐项检查，经教师允许后才能离开实验室。一份合格的实验报告一般应包括如下内容：

- (1) 标题、姓名、班级、学号、实验组号、日期。
- (2) 实验仪器。
- (3) 实验目的。
- (4) 实验原理。简要叙述实验的基本原理，包括基本概念及定义、原理所依据的主要公式及公式成立所应满足的实验条件、实验所能解决的问题及解决的思路方法，不要照抄照搬教材上的内容。原理部分要求画出原理图、连接线路图或实验装置示意图，不要要求画实验装置实物图、仪器面板标识图等。画图要用铅笔并使用直尺、圆规等专用绘图工具。
- (5) 实验步骤。依据实验任务和实验过程写明实验步骤，步骤要简单明了，不要照抄教材上的步骤。
- (6) 数据记录及数据处理。测量的数据要按要求记录在相应的表格中，表格要使用直尺、圆规等专用绘图工具来画。要认真完成数据的计算、曲线绘制和误差处理，有些实验结果需要使用计算机进行数据处理，请同学们按要求依次使用。
- (7) 小结及回答问题。实验完成后要对所得实验结果进行分析，包括实验现象、实验中遇到的关键问题、实验的改进建议等。同时，根据实验要求，在实验报告上解答一部分实验思考题。

4. 实验成绩评定标准 根据教学大纲的要求，教师对每个实验项目都制定了具体的考核办法和评分标准。实验课上，教师会对每一位学生的操作做出详细的记录，依据评分标准评定学生本次实验的成绩，期末总成绩取全部实验成绩的平均值。实验成绩的评定标准如表 0-0-1 所示。

表 0-0-1 大学物理实验评分标准

考察项目		基本要求	成绩（100 分）
预习实验报告	报告项目	专业、班级、组号、学号、日期、实验目的、仪器、原理、步骤、数据及处理等项目齐全	10
	报告书写	书写认真工整，图表绘制规范	10
	原理、步骤	原理叙述简洁，公式推导简明扼要，绘制了基本原理图、线路图、光路图等	10
		步骤正确、完整合理	10

(续)		
考察项目	基本要求	成绩 (100 分)
实验操作	独立正确地连接线路	30
	独立正确地测试数据，操作符合规程	
数据处理	数据合理、处理方法正确、结果正确	20
	读数及处理有效数字正确	10
课堂纪律、实验态度	未完成预习实验报告者、抄袭或伪造数据者、不符合请假手续旷课者、迟到 15 分钟以上者	本次实验判为 0 分

大学物理实验课的开设，不仅能帮助我们理解和掌握所学的物理理论，更重要的是培养我们的实验技能，培养独立思考、独立操作、理论联系实际、分析问题、解决问题的能力。希望通过大学物理实验课程的学习给每一位同学带来有益的启迪，培养我们严谨的、科学的工作态度和工作作风，为今后的学习、研究和工作奠定良好的基础。希望每一位同学能借助物理实验这个平台，积极探索，善于思考，敢于质疑，勇于创新！

第一章

物理实验数据处理的基本理论与方法

第一节 测量及其误差

一、测量及其分类

(一) 测量的概念

通过操作仪器，在确定的物理条件下，获得物理量与物理量基本单位的比值的过程，称为测量。测量包含以下几个因素：

1. 测量条件 测量条件包括测量者、测量所涉及的物理原理、测量方法、测量仪器、测量环境（如温度、湿度、风速）、测量程序等。在不同的测量条件下，对同一测量对象的测量结果可能不同，所以在给出具体测量结果时，应指明测量条件。

2. 测量结果 即测量中所记录下来的被测量物理量的数值和单位。按照测量的定义，物理仪器给出的测量结果是物理量与所选定的该物理量的某一基本单位的比值，因此测量结果由数值和单位两部分组成，缺一不可。国际单位制（SI 制）是最为广泛采用的单位制，其中规定了 7 个基本单位，分别是米（m）、千克（kg）、秒（s）、安培（A）、开尔文（K）、摩尔（mol）和坎德拉（cd）（其定义详见本书附录 I）。其他物理量的单位均可由这些基本单位导出，称为国际单位制的导出单位。

3. 测量结果的可重复性 在选用相同测量仪器、相同测量方法和相同测量环境的条件下，采用相同测量程序对同一被测量物理量的多次测量，其结果应是一致的。对于科学的测量过程，即使测量由不同测量者来完成，在其他测量条件相同的情况下，要求测量结果是可以重复出现的。不能重复的测量结果作为孤例不被科学界承认。

(二) 测量的分类

测量的分类方法很多，按照获得测量结果的方式可把测量分为两类：直接测量和间接测量。

1. 直接测量 通过测量仪器直接读取物理量的测量结果，这种测量称为直接测量，相应物理量称为直接测量量。

2. 间接测量 有些物理量在某一测量过程中，其测量结果没有或者不能通过测量仪器直接读取，但是可以通过测量其他物理量并按照已知的函数关系计算得出，这种获得测量结果的方式称为间接测量，这种物理量称为间接测量量。

此外，对于同一物理量采用不同物理仪器测量得到的结果可以不同，根据结果的准确程度，可以分为高精度测量和低精度测量，或称为精测和粗测。[参考下文“二、测量误差的基础知识”中“（四）测量结果的总体评价”部分对精密度、正确度和准确度概念的阐述]

二、测量误差的基础知识

在物理实验中对各种物理量进行测量，而测量经验告诉我们：①测量结果同物理量的真实值总有偏离。例如，用万用电表欧姆挡测电阻，如果忘记事先调零，所测得的电阻值就会总是偏大或偏小。②即使考虑到仪器设计、操作者习惯等因素，对同一物理量的多次测量，测量结果也不尽相同。例如，用秒表测量同一物体经过同一高度的下落时间，无论操作者如何精心测量，由于人眼对起始位置、终止位置的判断和按动秒表启动、停止时间操作的随机差异，多次测量的结果并不相同，表现为测量结果呈现随机起伏的特性。为了定量评价测量结果的好坏，引入误差的概念。

（一）真值和误差

1. 真值和约定真值 在确定的时刻、确定的位置和确定的物理条件下，被测量所具有的量值，称为真值。真值是一个客观值，无论测量与否，物理量的真值都是客观存在的。因此，真值与测量无关。

真值是一个理想化的概念，测量者实际上不可能知道。但是在具体实验中，取非常接近真值并可以在特定条件下作为真值的替代值使用的数值，称为约定真值。

2. 误差 测量经验表明，无论如何精心设计，任何测量都不可能绝对准确。测量器具的结构或原理存在固有限制，实验者的偏好，环境条件的变化等，使得物理量的测量值与真值相比，必然存在一定的偏离。测量值与真值的差值称为误差。

误差的定义式为

$$\Delta = x - A \quad (1-1-1)$$

其中， x 为测量值， A 为真值， Δ 为误差。 Δ 反映了测量值与真值偏离的大小和方向，又称为绝对误差。 Δ 数值大说明测量值与真值偏离大， Δ 数值小说明偏离小。

为了比较不同测量结果的偏离程度，定义相对误差

$$E = \left| \frac{\Delta}{A} \right| \times 100\% \quad (1-1-2)$$

由相对误差可以比较不同测量结果的优劣， E 大说明测量值与真值的相对偏离程度大。例如，对于 1 m 的物体的长度测量绝对误差为 1 mm（米尺），而 1 cm 的物体的测量绝对误差为 0.02 mm（游标卡尺），虽然后者的绝对误差小，但相对误差大，所以后者的测量结果并不好。

3. 误差的计算 由式（1-1-1）、式（1-1-2）计算误差有时在实验中是做不到的，因为一般事先并不知道真值。实际计算时，用约定真值代替真值，这样可以近似计算出绝对误差和相对误差。有时，在真值不可得的情况下，通过对同一物理量的多次测量值取算术平均值作为真值的近似值（称为“近真值”），也可以计算出绝对误差和相对误差。

（二）误差的分类和误差产生的原因

误差按其特征和产生的原因可以分为三类：系统误差、随机误差和粗大误差。

1. 系统误差 在一定条件下，对同一物理量的多次重复测量，误差的大小和符号保持不变；或者改变实验条件时，误差按确定的规律变化，这类误差称为系统误差。例如，电流表在实验前未调零，而是有 +1 mA 的初始值，那么每次测量值都会有额外的 +1 mA 的系统性偏离，此时误差为定值。再如，显微镜手轮偏心，导致测量结果出现周期性的偏大和偏

小,此时误差表现为规律性的涨落。又如,受热膨胀的金属尺,其测量值将小于被测物的真值,误差随待测长度的增长而变大,此时误差具有累积性。系统误差还可以表现为其他复杂的规律性。

系统误差具有确定性,表现为当测量条件不变时,系统误差的大小和符号也保持不变。因此,当实验条件不改变时,重复测量无法发现系统误差,也不可能通过重复测量达到减小或消除系统误差的目的。

系统误差产生的原因多种多样,可以归结为:①仪器误差。如仪器未调节水平,秒表频率失准等。②方法误差。例如,测量单摆周期要求摆角接近 0° ,实验中做不到而引起测量结果出现误差。③环境误差。例如,热胀冷缩引起的仪器季节性偏差,月球引力造成的实验数据的波动等。④人员误差。例如,用秒表计时,测量者总是习惯于提前或迟滞计时操作。

一般来说,仪器生产部门已把测量方法、环境因素、人员素质等引起的误差都计入所谓仪器误差中提供给测量者。我国国家计量技术规范对测量仪器的最大允许误差(简称最大允差,也称允许误差限)都有具体的规定,如150 mm的钢板尺的最大允差为 ± 0.10 mm;量程为125 mm、分度值为0.02 mm的游标卡尺,最大允差为 ± 0.02 mm等。所以测量时通常把仪器误差作为系统误差来对待,这样可以简化实验数据处理的过程,特别是有利于学生较快掌握实验误差处理的方法。

2. 随机误差 在相同实验条件下,即使消除了系统误差,对同一物理量的多次重复测量仍然在一定数值范围内随机取值,测量值与真值的这类误差称为随机误差。概率和统计理论证明,随机误差的取值符合一定的统计规律,可以用概率统计的方法研究和描述。同时,由于随机误差具有在真值正负两侧随机取值的特点,可以通过多次测量减小测量值的随机误差。

随机误差的产生原因可以归结为两点:①测量过程中存在随机的对被测物、测量仪器、测量者的干扰,这些干扰的出现是无法控制的,并且是无规律的。如人员走动带来的随机的振动或电磁干扰,电子仪器的白噪声等。②被测物本身的不确定性。例如被测金属样品的长度随环境温度的变化等。这时待测物理量没有确定的测量值,只能用替代值(如测量值的算术平均值)作为真值使用。

系统误差和随机误差并不是独立存在的,在任何一次实验中,二者都同时出现。例如仪器刻度的估读值既包含有总是偏大或偏小的系统误差,又包含有每次估读值或大或小各不相同的偶然误差。

系统误差和随机误差的划分并不是泾渭分明的,在一定条件下可以相互转化。例如,直径标称值相同的小钢球经由相同的工艺制成,就某一颗钢球来说,它具有确定的制造误差,如果用这颗钢球完成一项实验的多次测量,测量结果与标称值的误差是系统误差。另一方面,对于这一批钢球来说,钢球直径与标称值的误差又是随机误差。

3. 粗大误差 大幅度地偏离其他测量结果的误差称为粗大误差。这类误差通常是由于仪器偶然偏离正常工作状态、或者测量者粗心大意记录、算错实验值、或者测量者操作方法不正确等引起的。粗大误差不应包含在设计和操作正确的测量中,处理测量数据时应剔除异常的测量值。

(三) 实验误差分析和消除方法

三类误差中,粗大误差明显偏离其他测量结果而容易被发现,通过剔除粗大误差可以保