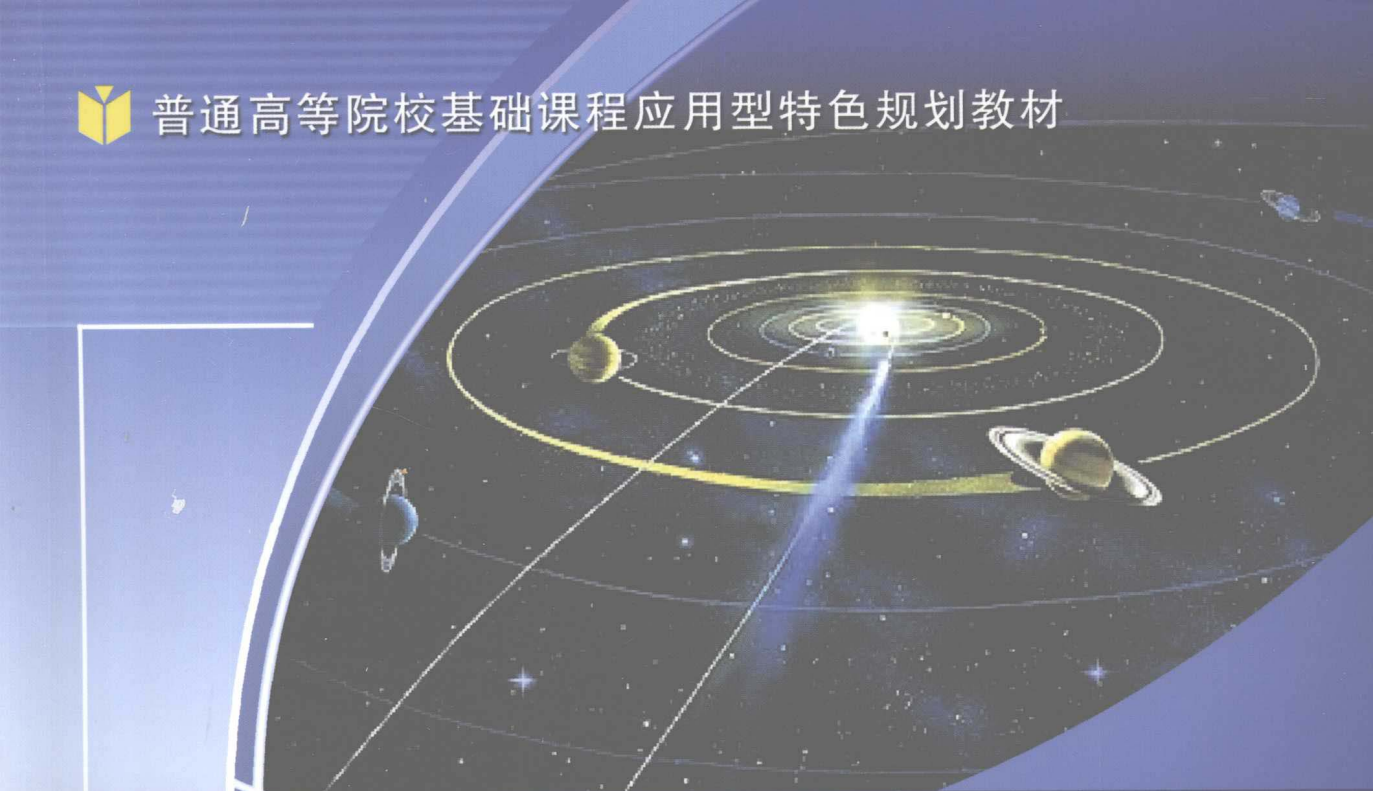




普通高等院校基础课程应用型特色规划教材



新世纪物理学实验教程

XINSHIJI WULIXUE SHIYAN JIAOCHENG

主编 吴大江 唐小迅



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

普通高等院校基础课程应用型特色规划教材

新世纪物理学实验教程

主	编	吴大江	唐小迅		
副	主	编	何明标	刘浦财	陈 光
总	审	邹 江	袁容民		

北京邮电大学出版社
· 北 京 ·

内 容 简 介

当代教育由“精英教育”向“大众化教育”转变,高等教育正由传授知识为主转变为提高实践能力、加强素质培养为主,特别要在教材方面体现这种精神。《新世纪物理学实验教程》是根据高等学校大学物理实验课程教学基本要求,吸取国内外精品教材的精华,在教学改革的实践和总结教学经验的基础上按实验方法进行编写的。全书共分为10章:第1章绪论、第2章基本仪器的使用、第3章比较法测量、第4章转换法测量、第5章稳态法测量、第6章放大法测量、第7章补偿法测量、第8章干涉法测量、第9章开放性实验和第10章模拟法及计算机仿真实验。附录中介绍了十大经典物理实验和百年诺贝尔物理奖与物理实验。

本书可作高等院校工科、各独立学院大学物理实验教材,也可供综合大学非物理专业、高等师范、成人教育和职工大学等院校作为大学物理实验教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

新世纪物理学实验教程/吴大江,唐小迅主编. —北京:北京邮电大学出版社,2007

ISBN 978-7-5635-1534-9

I. 新… II. ①吴…②唐… 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(2007)第 154774 号

书 名:新世纪物理学实验教程

主 编:吴大江 唐小迅

责任编辑:崔 珞

出版发行:北京邮电大学出版社

社 址:北京市海淀区西土城路10号(邮编:100876)

发 行 部:电话:010-62282185 传真:010-62283578

E-mail: publish@bupt. edu. cn

经 销:各地新华书店

印 刷:北京忠信诚胶印厂

开 本:787 mm×960 mm 1/16

印 张:14.5

字 数:312千字

印 数:1—3 000册

版 次:2008年8月第1版 2008年8月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-1534-9

定 价:24.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

序 言

物理学是重要的基础学科,是在长期实践和大量物理实验的基础上产生、发展和逐渐完善起来的,因此,物理学是一门理论与实践紧密结合的科学。此外,当今社会层出不穷的新技术、新产品,不但极大地丰富了人们的物质生活和精神生活,而且其研发、设计、试验、监测、检测等过程所需的基础理论、专业知识及相关技术,大都可以从大学物理和物理实验中找到渊源,或者是在其基础上经过提高、专业化而形成的。

近些年来,我国高等教育事业有了飞速的发展。在本科教育中,出现了一大批独立学院。这些学院以培养“应用型高级人才”为宗旨,以学生掌握职业技能,增强学生的市场适应能力和就业竞争能力为目标和要求。如何在这类学院中既保证学生掌握专业基础知识,又同时掌握职业技能,是这类学院所面临的课题,也对其基础课教学,特别对作为本科教学重要环节的实验教学提出了新的要求。作为科学技术基础的物理实验,面向应用型人才的培养和职业技术教育进行教学改革是不可避免的。

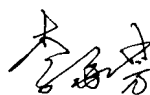
吴大江、唐小迅主编的《新世纪物理学实验教程》,正是顺应这一新形势、新要求应运而生,是物理实验教材改革的创新之作。他们在长期的大学物理和物理实验教学的基础上,根据新的教育对象、新的培养目标和要求,从实验目的、实验内容和实验形式三方面进行了大胆的探索。本教材具有如下三个明显的特点:

一、本教材以正确、熟练地掌握基本仪器、仪表的使用方法及基本的实验手段、测量方法为主要教学目的,突破了传统的以验证物理学基础理论为主要教学目的的框框,强调为学生职业技能学习奠定良好的基础,凸显了基础物理实验教学,为培养应用型高级人才的目标服务的宗旨。

二、本教材按照实验采用的测量方法的类型进行编排,进一步强调了从掌握实验方法到掌握测量技术的教学目的,凸显了基础实验教学与职业的技术需求相结合,突破了传统的大学物理实验以力学、热学、振(波)动、电学、光学、近代物理为顺序编排的框框。

三、本教材将基础实验和综合实验有机地结合,充分发挥计算机和网络的作用和学生的主观能动作用。学生自行设计实验方案和安排实验时间,分别用虚拟仪器设备仿真实验过程和用真实仪器完成实验。强调自主学习,凸显了能力的培养。

《新世纪物理学实验教程》是一枝刚开的山花,还需要剪枝、施肥,我们期待着山花烂漫的那天,她在丛中笑。我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不
断深入,具有结合独立学院实际、适合应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

①

① 李承芳现任武汉大学物理系系主任、博士生导师、物理学教授。

前 言

从某种意义上讲,没有精确的实验便没有真正的科学,在新世纪科技迅猛发展的时代尤其是这样。大到物理定律的确立、修正和创新,小到某一新产品的鉴定与使用,有哪一项能离开相应的实验呢?正是因为如此,无论是科学家还是工程技术人员都无一不珍视实验所得到的结果。这些结果往往是不惜付出高昂的代价、夜以继日地进行实验才得到的。由此可以看出,实验是多么的重要!特别是对于高级实用型人才培养,物理实验教学就显得尤其重要。

当代高等教育正由精英教育向大众化教育转变,各类教学型大学、独立学院像雨后春笋般地迅猛发展。为适应于“高级实用型人才培养中物理学实验教学——创新理念及基础技能的培养”的需要,大学物理学实验教材的研究迫在眉睫,《新世纪物理学实验教程》就应运而生。

新教材的特点是:基础知识要适应和紧密结合独立学院学生的实际,逐步提高学生的实验技能和分析研究问题的能力;教材重点突出培养学生科学实验的基本素质,使学生掌握科学实验的基本技能、实验的设计思想和基本物理实验方法;培养学生的科学思维和创新意识,激发学生的学习热情、强烈的求知欲望;培养学生理论联系实际和实事求是的科学作风、认真严谨的科学态度、积极主动的探索精神和坚韧不拔的意志力。在教学中将科学创新、创新思维和科学方法放在首位,以利创新人才的培养。实验教学的改革方案包括下面几项内容。

1. 重点突出和继承基础性、传统性实验,再现经典物理实验为辅

它主要包括基本物理量的测量,基本实验仪器的使用,基本实验技能的培训和基本测量方法和误差分析与数据处理方法等,特别强调实验方法和实验技能。

再现经典物理实验是使学生清楚地了解物理现象和物理过程,明确科学实验是推动科学发展的重要手段,锻炼学生的实践和实验能力,培养学生发现问题、分析问题和解决问题的能力。

主要体现在以下四个方面:

(1) 通过实验方法和实验系统的设计与讨论,以及实验数据处理与分析,增强学生的技能和对理论的掌握;

- (2) 通过仪器的使用和实验技能的训练,提高学生解决问题和综合利用知识的能力;
- (3) 在实验时,严格要求学生,使他们严格遵守实验规则、实事求是、认真负责,能够培养学生严谨的学习态度和作风;
- (4) 在具体的实验中,结合实际情况提出问题、分析问题和解决问题,增强对学生的创新思维和创造能力的培养。

2. 本教程创新之处在于按测量方法分章节划分,目的在于突出物理实验测量方法在物理实验中的重要地位

物理实验是由三部分组成:在实验室人为地实现自然界的物理现象、寻找物理规律和对物理量进行测量。物理实验和物理测量有着密切联系,在任何物理实验中,几乎都含有物理测量的内容;在探索物理规律的实验过程中,精密测量起着极其重要的作用。

物理实验测量方法是依据一定的物理现象、物理规律和物理原理,设置特定的实验条件,观察相关的物理现象和物理量的变化,研究物理量之间关系的手段。因此,物理实验测量方法是在减小误差、进行精密测量的物理实验之首选;掌握物理实验测量方法对培养实用型和创新型人才极为重要,是独立学院的一大特色。

3. 开展开放性实验和实用性实验技能的培训

电表改装实验实行开放性教学,经指导教师检验实验预习报告后,同学们方可进入实验室,自由组合、自主进行实验。实验过程中遇到问题时,经认真思考后,仍不能自我解决问题,可向教师请教,尽可能地自主完成实验。实验报告的要求与传统实验报告的要求一致。

摄影技术(图像信息采集及其处理)实验课程,进行摄影、放大和翻版等一系列摄影技术实验训练,增强形象思维能力,使智力开发和动手能力的协调发展,多掌握一门技能,激发学习和研究的兴趣,为未来就业提供更好的条件。

4. 近代物理实验

通过迈克尔逊干涉仪实验,对长度的精确地测量和光学测量,既可以掌握测量方法,又能进一步理解和体会:当年(1919年2月)在著名的天文学家阿瑟·埃丁顿(A. S. Eddington)率领下的科学探险船队,从西非的普林西比岛发出一封急电:“埃丁顿在9/10 s和9/5 s之间发现了太阳边缘的恒星位移,致贺致贺!”而收电人正是爱因斯坦,为此,实验验证了爱因斯坦广义相对论的正确性。

5. 计算机模拟仿真实验

将计算机引入物理实验,一方面可以进行模拟仿真实验;另一方面可以很好地学习、理解和掌握伽利略和爱因斯坦的**理想实验方法**,进行科学的探求和创新研究。通过模拟仿真实验,形象地描绘出抽象的(如静电场)图像,对计算机教学和物理教学均受益匪浅。

6. 应用教育技术,使用丰富的网络资源

通过校园网,充分利用公共教育资源(如教育部或高等教育出版社等),营造学生自主

学习的多元化模式。

7. 点燃同学们心中的火花是物理教学和物理实验教学的头等大事

为了点燃同学们心中的火花,我们增添附录 1(世界十大经典物理实验)和附录 2(百年诺贝尔物理学奖和物理实验)。同时,通过阅读这些资料,一方面可以增强同学们的阅历,使他们进一步了解物理学史;另一方面更为重要的是:学习大师们的思维方法、技巧,以利于创新人才的培养。

本书由吴大江和唐小迅主编,参编人员分工如下:

吴大江(第 1 章绪论、实验三、实验五、实验七、实验十和附录 1、附录 2);何明标(实验十九和实验二十一);唐小迅(第 2 章基本仪器的使用、实验十七、实验十八、实验二十和实验二十二);刘浦财(实验二、实验六、实验九和实验十二);陈光(实验一和实验十六);邢秀文(实验四、实验八和实验十一);曾祥贵(实验二十三);黄卢记(实验十三、实验十四和实验十五);第 10 章由黄卢记和何非凡编写。全书的结构、框架和统稿由吴大江承担。

本书的编写过程中,得到北京师范大学珠海分校、南昌大学和北京理工大学珠海学院各级领导和同仁的大力支持,特别是参阅和部分引用了兄弟院校的有关教材中的资料,在此表示衷心的感谢。由于水平有限,不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

吴大江

目 录

第 1 章 绪论

1.1 实验课程的地位、作用和任务	1
1.2 实验课程的基本教学程序	1
1.2.1 课前实验预习	2
1.2.2 课堂实验教学	2
1.2.3 课后实验报告	2
1.3 物理量的测量方法	3
1.4 物理量测量的数据处理	4
1.4.1 概述	4
1.4.2 关于测量误差	4
1.4.3 有效数字及其运算	10
1.4.4 数据处理	13
1.5 用 Excel 软件进行实验数据处理	20
习题	25

第 2 章 基本仪器的使用

2.1 力学实验常用仪器简介	27
2.2 电磁学实验常用基本仪器简介	32
2.3 光学实验基本仪器简介	40

第 3 章 比较法测量

3.1 直接比较法测量	44
3.2 间接比较法测量	44
3.3 实验一 长度和(均质圆柱体)密度的测量	45

第4章 转换法测量

4.1 参量转换法	48
4.2 能量转换法	48
4.3 实验二 声速的测量	49
4.4 实验三 三线摆法测量物体的转动惯量	57
4.5 实验四 参量转换法驻波研究	61
4.6 实验五 薄透镜焦距的测定	64
4.7 实验六 铁磁材料的磁滞回线和基本磁化曲线	70

第5章 稳态法测量

5.1 实验七 不良导体导热系数的测定	76
5.2 实验八 稳态法测量液体黏滞系数	80
5.3 实验九 PN 结正向压降与温度关系	82

第6章 放大法测量

6.1 累积放大法	86
6.2 机械放大法	86
6.3 电磁放大法	87
6.4 光学放大法	87
6.5 实验十 杨氏弹性模量的测定	88
6.6 实验十一 固体线膨胀系数的测量	93
6.7 实验十二 螺线管磁场的测量	95

第7章 补偿法测量

7.1 补偿法	105
7.2 用补偿法修正系统误差	105
7.3 实验十三 电位差计的使用	106
7.4 实验十四 非线性电阻伏安特性曲线测定	117
7.5 实验十五 双臂电桥测低电阻	122
7.6 实验十六 惠斯通电桥的使用	129

第8章 干涉法测量

8.1 实验十七 牛顿环和劈尖实验	133
8.2 实验十八 测光栅常数或光波波长	139

8.3	实验十九 测定三棱镜的折射率	148
8.4	实验二十 激光全息照相	153
8.5	实验二十一 迈克尔逊干涉仪的应用	157
第9章 开放性实验		
9.1	实验二十二 电表的改装	161
9.2	实验二十三 数码照相技术	167
第10章 模拟法及计算机仿真实验		
10.1	CAI1 测螺线管磁场	173
10.2	CAI2 热敏电阻	176
10.3	CAI3 示波器	180
10.4	CAI4 单透镜实验	189
10.5	CAI5 用分光计测棱镜折射率	193
10.6	CAI6 偏振光的研究	199
10.7	CAI7 弗兰克-赫兹实验	202
附录1 世界十大经典物理实验		207
附录2 百年诺贝尔物理学奖与物理实验		214
参考文献		218

第1章 绪 论

“千里之行，始于足下”。开设物理实验课的目的是为了进行实验技能、技巧的基本训练。同时，实验工作是非常艰辛而烦琐的，需要认真仔细和做事耐心的科学态度，科学是来不得半点马虎的。从现在做起，逐渐培养和形成严肃认真、一丝不苟的科学态度。

1.1 实验课程的地位、作用和任务

本课程是为高等教育由精英教育向大众化的教育转变，为培养应用型人才而设立的、独立的必修基础课程，是进行系统的实验方法和实验技能训练的开端，是对学生进行科学实验训练。同时，也是在中学物理实验的基础上，按照循序渐进的原则，指导同学们学习物理实验知识、方法和技能，使他们逐步掌握主要程序、步骤和方法而奠定坚实的实验基础。课程基本任务包括以下几个方面。

(1) 通过对实验现象的观察、分析和对物理量的测量，学习物理实验知识，并加深对物理学知识的理解。

(2) 培养和提高同学们的科学实验的能力，其中包括：

- ① 独立阅读实验教材或资料，做好实验前的各项准备工作；
- ② 借助于教材或仪器说明书，正确地使用仪器；
- ③ 运用物理学知识，对实验现象进行初步的分析和判断；
- ④ 正确地记录实验数据和有效地进行数据处理，说明实验结果和撰写合格的实验报告；
- ⑤ 完成简单的设计性实验。

(3) 培养和提高同学们的科学实验素养、理论联系实际和实事求是的科学作风、严格认真的工作态度、主动研究及探求的精神和遵守纪律、爱护公物的良好作风。

以上三项是理论学习所不能代替的，特别是对于高级实用型人才来说，只有具备较强的动手能力和现代科技实验的本领，才能适应现代科学技术飞速发展和社会主义市场经济的需要，重视实践、勤于亲自动手，就一定会有真才实学上有长足进展。

1.2 实验课程的基本教学程序

物理实验课程一般分为三个阶段。

1.2.1 课前实验预习

在进入实验室之前,必须认真阅读教材。在阅读教材时,做到认真思考,全面掌握、透彻理解实验原理、方法和步骤;多想想为什么要这样而不是那样,还有其他更好的方法吗?以便达到活跃思维和举一反三的目的。同时,便于掌握实验的关键所在,更好地控制实验过程,及时、迅速、准确地测得实验数据。通过预习,可以进一步了解仪器的工作原理和使用方法。

要写好预习报告,否则不允许进入实验室。预习报告的内容如下。

- (1) 目的要求。说明所做实验的目的和要求。
- (2) 实验原理。写出进行实验的依据和原理,在实验原理的公式中各物理量的意义、单位和其适用的条件以及测量的方法。必要时画图表示。
- (3) 使用仪器。写出主要实验仪器的原理、结构、性能和使用方法以及注意事项。
- (4) 数据记录。画出原始实验数据记录表格,表格中要注意各物理量的单位或换算的比率以及有效数字的位数。

在条件允许的情况下,尽可能地开放实验室,使同学们能对照仪器阅读有关资料,进一步熟悉仪器的使用方法和理解实验原理,以便更加主动地、独立地完成实验,达到进行实验教学的目的。

1.2.2 课堂实验教学

同学们应该准时进入实验室,先交实验预习报告;按分组就位,在教师的指导下(或独立地)进一步熟悉实验仪器、原理、方法、步骤及注意事项;然后检查仪器、材料、附件是否完好、齐备;随后就考虑实验系统的布局和合作者的分工,正确地组成实验测量系统,经教师认可后方可进行实验操作。

做实验时,要正确地调试仪器、仔细观察和分析实验现象、控制过程和测量各有关的物理量;根据实验条件和仪器的精度,正确地运用有效数字,如实地记录实验数据,确保数据的精确度,防止差错或遗漏。当对实验数据有疑问时,应该分析原因、改善条件,重新测量。不允许无根据地修改数据,测量结果的好坏直接影响实验的成败。

两人合作时,要分工合理、适时交换、轮流操作、相互协调,共同完成实验。千万不要一人懈怠或一人包办。

1.2.3 课后实验报告

实验报告是对实验过程及实验结果的全面总结,要简明扼要地将实验预习报告的内容和实验结果完整而真实地表达出来。实验报告要用统一规格的实验报告纸(可加附页),必须独立地及时完成。书写时,要字迹清楚、文字通顺、结果正确,好的实验报告应该作为研究资料保存。

完整的实验报告内容包括下面几个方面：

- (1) 实验名称、实验日期、实验者和合作者；
- (2) 实验目的和实验要求；
- (3) 实验原理和实验条件；
- (4) 实验数据、图表和实验数据处理；
- (5) 实验误差分析及问题讨论。

开放性实验安排在传统性实验之后进行，课后实验报告的要求一点也不能放宽。

1.3 物理量的测量方法

在生产实践和科学实验中，经常要求人们对物质的某些性质及其运动进行一系列的测量。例如对长度、质量、温度、电阻、电压、电流和速度等物理量的测量，就起着重大的作用。事实上，物理学作为一门定量科学就是建立在对物理现象进行精密测量的基础上。

所谓**测量**，就是把被测量与规定作为标准单位的同类量作比较的过程。测量的结果用被测量与测量标准单位的倍数值来表示。测量单位或测量单位的分数或倍数的复制的实体称为**度量**。用来比较被测量的标准单位的设备，叫做**测量仪器**。

测量方法分为直接测量法和间接测量法两种，将被测量直接与同类标准量比较的测量方法，称为**直接测量法**；当未知量不能直接测量时，而是测量与它有关的量，然后通过关系式求得这个量，这种方法称为**间接测量法**。例如，测量导体的电阻时，可用电流表测量导体内的电流 I ，同时用电压表测量其两端的电压，利用电学公式

$$R = \frac{U}{I}$$

计算出导体的电阻。间接测量法又有多多种方法：**转换法**、**稳态法**、**放大法**、**补偿法**、**干涉法**和**模拟法**等。直接测量法又分为直接计值法和比较法两种。

当被测的量是直接从仪器上获得的读数而确定的，这种方法叫做**直接计值法**，例如，用电流表测量电流，用功率表测量电功率……当被测量是与被测量的度量相比较而确定时，这种方法叫做**比较法**，例如，测量电压时，可将测量值与标准电池的电动势（电动势的度量）比较。比较法有如下几种。

(1) **零值法**。将被测的量对仪器的作用，被同类已知量的相反作用抵消到零，而得到未知量，这种方法叫做**零值法**，例如，测量电动势时，用已知电压来补偿它；测量电阻时，利用电桥，等等。

(2) **差作用法**。差作用法就是利用仪器测量未知量与已知量之间的差的方法，例如生产中用差作用法求钢材的损耗，等等。

(3) **代替法**。代替法就是利用已知量来代替未知量而不引起仪器读数变更的方法。

1.4 物理量测量的数据处理

在测量某些物理量时,仅仅记录下这些物理量的大小是不够的,还必须将实验测得的数据加以整理和归纳,去粗取精、去伪存真,估计所得数据的可靠程度,并对数据加以合理的处理。下面叙述数据处理的方法。

1.4.1 概述

由于测量技术的限制,实际上不可能测得一个物理量的绝对准确的数值。因此,测量值与真值之间必存在一个差值,即测量误差。例如,用一只米尺测量某一物体的长度,而米尺所有分度的间隔均偏大,则测量出的长度将偏小,于是在测量中引入“系统误差”。人们可以通过对仪器进行校正来消除系统误差。由于观察者眼睛的分辨本领和手的灵活性等各方面的限制,即使重复测量同一长度,所得的结果也会不同,有时偏大,有时偏小,产生所谓“偶然误差”。但是,各个测量值分散在其平均值附近。表 1-4-1 列出对某一长度 x 测量 10 次的数据,其中 V 表示测量值与平均值之间的偏差(绝对误差)。

表 1-4-1 x 和 V 对照

x/cm	63.57	63.58	63.55	63.56	63.56	63.59	63.55	63.54	63.57	63.57
V/cm	+0.01	+0.02	-0.01	0.00	0.00	+0.03	-0.01	-0.02	+0.01	+0.01
平均值/cm	63.56									

平均值: $\bar{x} = 63.56 \text{ cm}$, 由这些大小不等,符号有正有负的偏差 V ,可求得平均误差 $\overline{\Delta x} = 0.01 \text{ cm}$,真值为

$$\begin{aligned}x_{\text{真}} &= \bar{x} \pm \overline{\Delta x} \\x_{\text{真}} &= (63.56 \pm 0.01) \text{ cm}\end{aligned}\quad (1-4-1)$$

则平均误差或绝对误差为

$$\overline{\Delta x} = |x_{\text{真}} - \bar{x}| \quad (1-4-2)$$

1.4.2 关于测量误差

1. 测量误差的分类

在测量的过程中,测量误差是客观存在的。误差按其性质可分为系统误差、偶然误差和粗大误差(或称为过失误差)三种。

(1) 系统误差

在相同条件下多次测量同一物理量时,误差的绝对值和符号保持稳定;或在条件改变时,按某一确定的规律变化的误差,称为系统误差。系统误差产生的原因如下。

① 工具误差。例如,量尺的刻度不准,砝码未检定。

② 调整误差。例如,电压表、螺旋测微计的零点不准。

③ 习惯误差。由测量者的习惯而造成,例如,肉眼偏向一个方向。

④ 其他误差。例如,在测量过程中,始末温度、气压按一定规律变化而引起的系统误差;或采用的测量、计算方法不完善而引起的系统误差等。只要针对上述一些原因采取措施,系统误差是可以减小或消除的。

(2) 随机误差(或称为偶然误差)

在相同条件下多次测量同一物理量时,误差的绝对值和符号没有一定的规律,也不可预定,这就是随机误差。这种误差来源于人们的视觉、听觉、感觉能力的限制,以及实验环境等偶然因素的干扰。其误差的大小无定值,可正可负。

随机误差出现服从以下的统计规律:

测定值与真值相差较小的,出现的可能性较多。与真值相差很大的,出现的可能性较少;测定值与真值大于某量值的可能性或小于某量值的可能性是相等的。因此通过多次测量求平均值的方法可使随机误差相互抵消。为了减小随机误差主要采取多次测量的方法。

(3) 粗大误差(或称为过失误差)

粗大误差是指明显地超出规定条件下预期的误差,是在测量的过程中,某些突然发生的不正常的因素,例如,强大的外界干扰、测量条件的意外变化、测量者的疏忽大意等造成的。它是统计的异常值,属于失控或人为的错误,应该尽量避免。

2. 真值和算术平均值

物理量在客观上有着确定的数值,称为真值。由于受测量仪器精度的限制,真值不能得到。实验中,常对被测量进行多次测量,求出其平均值,作为近似真值。

算术平均值的求法:测量 n 次,若每次的测量值分别为 $I_1, I_2, I_3, \dots, I_i, \dots, I_n$, 则算术平均值为

$$\bar{I} = \frac{I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i \quad (1-4-3)$$

3. 精密度、准确度和精确度

在物理测量中,对测量的结果通常是用精密度、准确度和精确度三个概念来进行评价。

精密度是测量结果中随机误差大小的反映,其表现为测量数据离散度的大小。如果在多次测量中,所得到的数据,其数值变化不大,比较集中,也就是说测量的重复性好(随机误差小),则表明测量的精密度较高。

准确度是指所测得的实验结果与真值间的差异程度,标志了测量结果的可信程度。如差异愈大,那么准确度愈小。因此,准确度高,就意味着实验中的系统误差小。然而,精密度高的测量,其准确度不一定很高,可以说存在着较大的系统误差。例如,水槽温度的测量可以精确到千分之几度,假如没有对温度计进行校正(比如零点校正、压力校正及露丝校正),来消除系统的误差,则所测得的结果与水槽的真实温度可能有百分之几的差异,

这表明精密度高而准确度不高。所以准确度是在测量结果中系统误差的反映。

精确度是在测量的过程中,系统误差和随机误差的大小的综合反映。表现为测量数据的离散度(测量的可重复性)及测量数据的平均值与真值符合程度大小的综合表现。在多次测量中,所得数据,数值比较集中,即精密度高;而且比较均匀地分布在真值的周围,即准确度高。系统误差和偶然误差都较小,则表明测量的精确度较高。

例如,用分度为 $1/100$ 的水银温度计测量恒温水槽的温度,在 2 h 内,测得的结果在 $40.200^{\circ}\text{C} \sim 40.204^{\circ}\text{C}$ 之间变化,其最大值与最小值间的偏差为 0.004°C (实际上,这是恒温水槽本身所引起的偶然误差)。如果在 2 h 内,测量同样的次数,测得的结果在 $40.200^{\circ}\text{C} \sim 40.210^{\circ}\text{C}$ 之间变化,其最大值与最小值间的偏差为 0.010°C ,说明后者的精确度显然比前者差。

然而,在实际测量中,物理量的“真值”是不知道的,而是用多次测量的平均值作为“近真值”取代“真值”。这就导致测量的精密度高,也就是精确度高,用精密度取代了精确度。实际上是忽略了测量中系统误差对测量的影响,这就要求实验者在实验之前根据系统误差产生的原因,做好一系列的准备工作。比如,选择适当的仪器,并对仪器做好调节,纠正不良的测量习惯等,尽可能地减小系统误差,以保证测量在实现高精密度的情况下,同时实现高准确度。

实弹射击的弹着点,可以形象地说明精密度、精确度和准确度三者的概念上的意义,如图 1-4-1 所示。

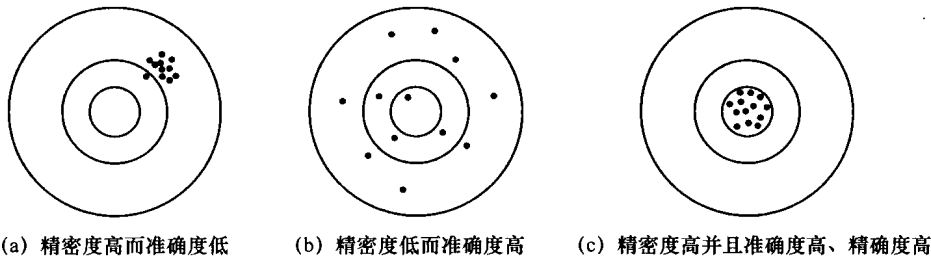


图 1-4-1 精密度、精确度和准确度

4. 直接测量结果的计算

误差表示法包括绝对误差和相对误差两种。

(1) 绝对误差

每次测量值与算术平均值(或公认值)之差的绝对值,称为绝对误差。例如,设棒的长度用 l 表示,单位是 cm。共测量 5 次,分别为 $l_1 = 2.32 \text{ cm}$, $l_2 = 2.34 \text{ cm}$, $l_3 = 2.36 \text{ cm}$, $l_4 = 2.33 \text{ cm}$, $l_5 = 2.35 \text{ cm}$;这些结果的平均值最接近于被测量棒的长度的真值,用 $\bar{l}$ 表示,即