

高 等 学 校 教 材

大学物理实验

主编 方莉俐 王秀杰 副主编 丁星星 李林 郭颖 张莹

高 等 学 校 教 材

大学物理实验

DAXUE WULI SHIYAN

主 编 方莉俐 王秀杰

副主编 丁星星 李 林 郭 颖 张 莹

编 委 葛向红 罗银燕 闫 慧 李 红 张玉广 刘 敏



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010年版)编写的。本书首先介绍了测量误差基本知识、常用数据处理方法以及物理实验常用仪器的使用,然后按照基础实验、综合性实验、设计性实验、研究性实验的层次布局实验项目,实验项目内容涵盖了力学、热学、电磁学、光学和近代物理实验。本书注重教学内容的时代性和先进性,与现代科学技术、工程技术接轨,兼顾物理学的各个方面。本书对实验原理的叙述详细,计算公式推导完整,实验步骤具体,数据处理要求规范。

本书可作为普通工科院校大学物理实验课程的教材,也可作为其他工科专业实验教学的参考用书,还可供实验教师和实验技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/方莉俐,王秀杰主编.--北京:
高等教育出版社,2013.6
ISBN 978-7-04-037309-7

I. ①大… II. ①方… ②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(2013)第 088940 号

策划编辑 缪可可	责任编辑 缪可可	封面设计 王 睢	版式设计 余 杨
插图绘制 尹 莉	责任校对 孟 玲	责任印制 韩 刚	

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京汇林印务有限公司
开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 20.25
字 数 370 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2013年6月第1版
印 次 2013年6月第1次印刷
定 价 32.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 37309-00

前 言

物理学是揭示自然界奥秘、探索自然规律的科学。物理学的本质是研究物质的基本结构、性质和运动规律,是推动人类文明进步和社会发展的强大动力,在为 21 世纪培养合格科技人才的工作中起着至关重要的作用。

大学物理实验课是高等理工科院校对学生进行科学实验基本训练的必修基础课程,是本科生接受系统实验方法和实验技能训练的开端。我们在多年物理实验教学过程中积极进行实验教学探索,积累了丰富的经验,组织多年从事物理实验教学和参与实验教学的教师们编写了本书。本书是我们多年教学经验的总结,更是多年教学改革经验的总结。

为了提高学生的科学素质,培养学生的创新能力,大学物理实验教学既要使学生得到基本实验技能的训练,又要使学生在综合能力方面得到提高,本书在选择实验内容时注重时代性和先进性,注重与现代科学技术、工程技术接轨,兼顾物理学的各个方面,将实验内容分为基础性实验、综合性实验、设计性实验和研究性实验几个部分,同时努力将最新的科技成果渗透到大学物理实验教学中,以此来激发学生的学习积极性。

本书对实验原理叙述详细,计算公式推导完整,实验步骤具体,数据处理要求规范。为了使学生懂得测量误差的基本概念,具有数据处理的初步能力,本书将误差和数据处理作为一章单独编写,同时将误差和数据处理方法落实到不同的实验中去练习、巩固,使误差计算和数据处理能力的培养贯穿于本书的始终。一般常用仪器的使用也单独编写一章集中介绍,便于学生随时翻阅,在具体的实验中这些常用的仪器将不再介绍。一些专用仪器分散在相应实验中加以介绍。

本书由方莉俐、王秀杰担任主编,具体分工如下:方莉俐编写了第 2 章、实验 4.13、实验 6.6、实验 6.7、实验 6.8;王秀杰编写了绪论、第 1 章、实验 5.5、实验 5.6、附录;丁星星编写了实验 4.14、实验 4.15、实验 5.1、实验 5.2、实验 5.3;李林编写了实验 3.5、实验 4.2、实验 4.3、实验 4.4、实验 4.5;郭颖编写了实验 3.2.1、实验 3.3、实验 3.10、实验 3.11、实验 4.1;张莹编写了实验 4.6、实验 4.7、实验 4.8、实验 4.9;葛向红编写了实验 6.1、实验 6.2、实验 6.3、实验 6.4、实验 6.5;罗银燕编写了实验 3.1、实验 3.4、实验 3.6、实验 3.7;闫慧

编写了实验 4.10、实验 4.11、实验 4.12；李红编写了实验 3.9、实验 3.12、实验 3.13；张玉广编写了实验 3.2.2、实验 3.2.3、实验 3.8；刘敏编写了实验 5.4。

在编写过程中，我们参阅了许多兄弟院校的相关实验教材，并作了个别的引用，在此表示衷心的感谢。同时我们也对为本书的编写与出版做出贡献的梁富增、冯宝莉、肖冰、冯军兰老师表示衷心的感谢。

由于编者水平和条件所限，书中难免有不妥或疏漏之处，恳请读者批评指正。

编者

2013 年 5 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权. 任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》, 其行为人将承担相应的民事责任和行政责任; 构成犯罪的, 将被依法追究刑事责任. 为了维护市场秩序, 保护读者的合法权益, 避免读者误用盗版书造成不良后果, 我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击. 社会各界人士如发现上述侵权行为, 希望及时举报, 本社将奖励举报有功人员.

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

绪论	1
----------	---

第 1 章 测量误差与数据

处理	5
1.1 测量与误差	5
1.2 测量误差的估算	7
1.3 有效数字及其运算	10
1.4 实验数据的处理	
方法	13

第 2 章 物理实验常用仪器 ... 18

2.1 概述	18
2.2 长度测量仪器	19
2.3 质量测量仪器	26
2.4 时间测量仪器	28
2.5 温度测量仪器	32
2.6 电磁测量仪器	35
2.7 光学测量仪器及	
器件	54

第 3 章 基础实验 60

实验 3.1 物体密度的	
测定	60
实验 3.2 转动惯量的	
测定	65
实验 3.2.1 用扭摆法测定	
物体的转动	
惯量	65
实验 3.2.2 用三线摆测量刚体的	
转动惯量	71

实验 3.2.3 用转动惯量仪验证	
刚体转动惯量的	
平行轴定理	75

实验 3.3 示波器的使用 ...	80
-------------------	----

实验 3.4 磁场测量与	
描绘	91

实验 3.5 用电位差计测热	
电偶的电动势 ...	95

实验 3.6 电表的改装	99
--------------------	----

实验 3.7 静电场描绘	104
--------------------	-----

实验 3.8 用惠斯通电桥测	
电阻	108

实验 3.9 用双臂电桥测低	
电阻	113

实验 3.10 分光计的调节和	
使用	117

实验 3.11 用牛顿环测量	
球面的曲率	
半径	126

实验 3.12 单缝衍射光强	
分布的测定 ...	130

实验 3.13 用最小偏向	
角法测色散	
曲线	134

第 4 章 综合性实验 138

实验 4.1 用拉伸法测量	
金属丝的杨氏	
模量	138

实验 4.2	用霍耳位置传感器 测杨氏模量	144	实验 5.2	组装望远镜和 显微镜	229
实验 4.3	用显示驻波法 测定空气中 的声速	150	实验 5.3	电磁感应与磁悬 浮实验	231
实验 4.4	霍耳效应及 其应用	155	实验 5.4	粒状材料及不规则 物体密度的 测定	233
实验 4.5	偏振光的观测 与研究	165	实验 5.5	物理电学设计性 实验	237
实验 4.6	迈克耳孙干涉 实验	173	实验 5.5.1	电路元件伏安特 性的测绘	238
实验 4.7	密立根油滴 实验	179	实验 5.5.2	基本电路的 测量	243
实验 4.8	用光的干涉法 测量金属丝的 电阻率	185	实验 5.5.3	电桥法测定 电阻	245
实验 4.9	用传感器测定 空气的比 热容比	190	实验 5.6	光敏传感器光电 特性的研究	247
实验 4.10	用落针法测定 液体的动力 黏度	194	实验 5.6.1	光敏电阻的特性 测试	251
实验 4.11	金属电子逸出功 的测定	199	实验 5.6.2	硅光电池的特性 测试	252
实验 4.12	衍射光栅	205	实验 5.6.3	光敏二极管的特 性测试	254
实验 4.13	光速的测量	211	实验 5.6.4	光敏三极管的特 性测试	256
实验 4.14	用示波器法测量铁 磁材料的磁化曲线 和磁滞回线	217	实验 5.6.5	光纤传感器原理及 其应用	257
实验 4.15	电阻电容串联电 路暂态过程的 研究	223	第 6 章	研究性实验	259
第 5 章	设计性实验	228	实验 6.1	氢原子光谱	259
实验 5.1	筛选电阻	228	实验 6.2	弗兰克-赫兹 实验	264
			实验 6.3	光电效应测普朗 克常量实验	268
			实验 6.4	全息照相	274

实验 6.5	塞曼效应	283
实验 6.6	气体放电等离子 体的研究	289
实验 6.7	复合电镀实验 (一)——赫尔 槽实验	296

实验 6.8	复合电镀实验 (二)——金属-固 体微粒复合膜电 铸工艺研究	298
附录		308
参考文献		314

绪 论

一、物理实验的意义与任务

物理学的形成与发展是以实验为基础的. 物理学的研究方法通常是在观察和实验的基础上, 对物理现象进行分析、抽象、概括和总结, 从而建立物理定律, 进而形成物理理论, 再回到实验中去经受检验. 实验是物理学的基础, 也是物理知识的源泉, 加强物理实验是物理教学的时代特征, 又是提高物理教学质量的先决条件.

在研究物理现象时, 实验的任务不仅是观察物理现象, 更重要的是找出各物理量之间的数量关系, 找出它们变化的规律. 任何一个物理定律的确定, 都必须依据大量的实验材料. 即使已经确定的物理定律, 如果出现了新的实验事实和这个定律相违背, 也需要在新的实验基础上修正原有的物理定律或物理理论, 因此我们说, 物理实验是物理理论的基础, 也是物理理论正确与否的试金石.

物理实验既为开拓新理论、新领域奠定基础, 又为丰富和发展物理学开辟了广阔的天地. 最近数十年来, 物理学和其他学科一样发展很快, 尤其是核物理、激光、电子技术和计算机等现代化科学技术的发展, 更反映了物理实验技术发展的新水平. 科学技术的发展越来越体现出物理实验技术的重要性, 基于这方面的原因, 人们逐渐感到理工科院校加强对学生进行物理实验训练的重要性. 在实验过程中, 通过理论的运用与现象的观测分析, 理论与实验相互补充, 从而加深和提高学生的物理知识.

在理工科院校, 大学物理实验是一门独立开设的课程, 是学生进入大学后首先接受动手能力系统训练的实践课程, 是各专业后继实验课程的基础之一. 通过物理实验对学生进行系统地实验技能训练, 可使学生学到很多在实际工作中非常有用的知识和技能, 同时, 大学物理实验还有益于培养科学的工作态度, 在实验中逐步养成勤于思考、善于观察、认真细致、一丝不苟的良好习惯和工作作风. 概括起来, 它的主要任务有以下三个方面.

(1) 通过对物理现象的观察、分析和对物理量的测量、处理, 学习物理实验的基本知识, 加深对物理基本概念、基本规律的理解. 学习物理实验的实验方法及其物理思想, 有助于思维与创造能力的培养.

(2) 使学生获得必要的实验知识和操作技能,培养学生初步具有正确使用仪器进行测量、记录和处理数据、正确绘制实验图表、完整表示实验结果、分析实验结果及其产生误差原因以及撰写合格实验报告等方面的能力,进一步培养学生具备运用知识进行综合分析和设计创新的能力。

(3) 培养学生严格、细致、实事求是、刻苦钻研、一丝不苟的科学态度,以及爱护国家财产的良好品质;培养学生善于动脑、乐于动手、讲究科学方法、遵守操作规程、注意安全等良好习惯。

二、实验物理学的形成及其内容

与物理学发展的同时,实验综合了科学技术的成就,发展形成了自身的科学体系,成为系统性较强的独立学科——实验物理学。它在内容上包括了许多物理课本所包括不了的理论知识、方法和技能,主要表现在以下几个方面。

(1) 实验手段(仪器、设备)的发展。表现在从简单的测量仪器,发展为以机、电、光为基础的,门类齐全、并日益扩展的仪器系列,精确度不断提高,适用范围不断拓展,自动化程度不断提高。遥感、遥控、遥测技术的应用,使仪器已经从简单的物理原理脱胎出来,成为独立体系。

(2) 通过对现象的观测、实验方案的设计、过程控制以及资料分析、结果归纳等一系列实验方法,在前人积累和现代科学技术的基础上,在方法论上发展成较完整的体系。

(3) 综合了数学、物理等学科的成就,形成了实验的数据处理、误差分析的严格理论体系,并成功地指导着实验的各个环节,使之顺利进行。

(4) 为解决各种精确测量和精密实验中的实际问题,综合利用了多学科和多种专业技术的交叉,形成了实验物理学的独立科学技术体系。

三、实验课的要求

实验与理论课不同,它的特点是学生在教师的指导下自己动手,独立地完成实验任务。通常,每个实验项目的学习都要经历3个阶段。

1. 课前预习

实验前必须认真阅读教材,做好必要的预习,才能按质、按量、按时完成实验。同时,预习也是培养阅读能力的学习环节。阅读时要以实验目的为中心,搞清楚实验原理、操作要点、数据处理及其分析方法等;要反复思考实验原理、仪器装置及操作、数据处理等,以实现实验目的。预习时要尽量精心构思,写出预习报告,内容包括:名称、目的、原理摘要、主要步骤、数据记录表格等内容。

2. 进行实验

进入实验室首先根据教材或仪器说明书熟悉仪器,特别注意仪器使用的注意事项,在实验操作前要认真听老师的讲解,在老师的指导下了解仪器的使用方

法. 对于连线较为复杂的实验, 应先连线, 经老师检查确认无误后方可接通电源进行实验. 进行实验时, 应合理操作、集中精力、仔细观察、认真思考, 把实验数据和观察到的实验现象及时细心记录下来, 实验数据要记录在预习报告中画好的表格内. 实验记录经老师检查合格签字后, 若有错误应重新做实验. 最后整理好仪器方可离开实验室.

3. 撰写实验报告

撰写实验报告, 这是完成一个实验题目的最后程序, 也是对实验进行全面总结分析的一个过程, 必须予以充分重视. 通常实验报告分为以下几个部分.

(1) 实验目的: 要求逐条写清楚本实验的实验目的.

(2) 实验原理: 在理解的基础上, 用简短的文字扼要地阐述实验原理, 切忌整篇照抄, 力求做到图文并茂, 用图表示原理图、电路图或者光路图. 写出实验所用的主要公式, 说明式中各物理量的意义和单位, 以及公式适用条件(或必要的实验条件).

(3) 实验仪器: 要求列出实验中实际使用的仪器的名称、规格、型号、编号和数量.

(4) 实验步骤: 根据实际操作过程写出主要的实验步骤和安全注意事项.

(5) 实验数据: 将实验中测量的数据以表格的形式罗列出来, 数据记录应做到整洁、清晰而有条理, 便于计算与复核. 在标题栏内要注明单位. 数据不得任意涂改.

(6) 数据处理: 按照实验要求计算有关物理量, 计算时先将文字公式化简, 再代入数值进行运算. 按照规范形式写出完整的实验结果. 误差计算要预先写出误差公式. 需要画图时必须画在坐标纸上.

(7) 思考题: 完成实验指导教师规定的思考题, 必要时还需写出对该实验的体会和建议.

实验报告是实验工作的总结, 是实验操作、观察测量、数据分析等一系列过程后永久性的科学记录. 编写实验报告有助于锻炼逻辑思维能力, 把自己在实验中的思维活动变成有形的文字记录, 发表自己对本次实验结果的评价和收获. 实验报告可供他人借鉴, 促进学术交流. 因此, 编写实验报告要求做到书写清晰、字迹端正、数据记录整洁、图表合适、文理通顺、内容简明扼要.

四、实验室规则

为了保证实验正常进行, 以及培养严肃认真的工作作风和良好的实验习惯, 要求学生遵守以下实验室规则.

(1) 学生应在课程表规定时间内进行实验, 不得无故缺席或迟到. 实验时间若要更动, 必须经实验室同意.

(2) 学生在每次实验前对要做的实验应进行预习,并在预习的基础上,写出预习报告.

(3) 进入实验室后,应主动向实验指导教师出示预习报告,经过教师检查认为合格后,方可以进行实验.

(4) 实验时应携带必要的物品,如实验教材、文具、计算器和草稿纸等.

(5) 进入实验室后,核对自己使用的实验仪器与要做的实验是否相符,实验前应细心观察仪器构造,在老师讲解后再开始做实验,严格遵守各种仪器仪表的操作规则及注意事项.尤其是电学实验,线路接好后先经教师检查,经许可后才可接通电路,以免发生意外.

(6) 实验完毕后应将实验数据交给教师检查,实验合格者教师予以签字通过,并当场记录课堂成绩.将实验仪器整理好并打扫实验室卫生后方可离开.要求每个学生必须在规定时间内完成实验,不得拖堂,实在做不完的,与老师预约时间补做实验.

(7) 如有仪器损坏应及时报告教师,并填写损坏单,注明损坏原因,按有关规定进行赔偿.

第 1 章

测量误差与数据处理

1.1 测量与误差

一、测量

科学实验都是以测量为基础的. 要研究一些科学现象, 了解物质特性, 验证科学定律等都要进行测量. 所谓测量就是将待测物理量与规定作为标准单位的同类物理量通过一定的方法进行比较, 比较所得的倍数即为待测量的测量值. 在物理实验中, 测量一般被分为两类, 一类是直接测量, 另一类是间接测量. 待测量也分为直接测量量和间接测量量. 直接测量就是用已知的标准单位与待测定物理量直接进行比较, 或从已用标准量校对的仪器表上直接读出待测物理量的测量值, 如用米尺测量物体的长度, 用电表来测量电路中的电流和某段电路两端的电压, 用天平测物体的质量等. 但是, 大多数物理量都不能直接测量出它的大小, 而是依据待测量与几个直接测量之间的函数关系, 得到待测物理量的量值, 这样的测量称为间接测量. 如测量某金属长方体的密度 ρ , 可用游标卡尺或螺旋测微器测出它的长(a)、宽(b)和高(c), 再用天平测出它的质量 m , 然后通过函数关系 $\rho = m/V(a, b, c)$, 计算出金属长方体的密度. 随着科学技术的发展, 很多以前的间接测量都变成了直接测量, 如对电功率可用功率表直接测量, 对速度也可用速度表来直接测量.

应注意的是, 测量所得的结果是数据, 而不是单一的数值, 它应由数值和单位两部分组成.

二、测量误差

客观上讲, 反映物质某种特性的物理量都具有客观的真实值, 称为这种物理量的真值, 测量的目的就是力求得到这个真值. 但是, 在实际测量中都受到依据的测量理论和测量方法、所使用的测量仪器、测量时所处的环境条件以及测量人

员的技术水平等诸多因素的影响和限制,使测量结果与客观存在的真值之间总是存在着差值,这种差值被称为该测量值的测量误差(又称测量值的绝对误差),简称为误差。

$$\text{绝对误差} = \text{测量值}(N') - \text{真值}(N)$$

测量误差大小反映了测量结果的准确程度。

误差存在于一切测量之中,而且贯穿于测量的全过程。因此,在进行实际测量时,从确定实验方案、选择实验方法到选用实验仪器,都要考虑误差问题。根据实验结果精确度的要求来制订方案、确定实验方法和选用实验仪器。但是,应注意,采用的测量方法越复杂,使用的仪器越多,测量经历的时间越长,引起误差的机会就越多,最后也不一定能达到提高精度的目的。因此,实验时应根据具体的实验要求和误差限度来制订方案,确定方法和选用合适的仪器。不是仪器精度越高越好,选择仪器时应即能满足实验对精度的要求又能尽量节省,以最低的代价换取最优的结果。

三、误差分析

误差产生的原因是多方面的。根据误差的来源和性质,一般将误差分为系统误差、偶然误差和过失误差三类。

1. 系统误差

在同一实验条件下(实验方法、仪器、环境和实验人员都不变),多次测量同一量时,误差的大小和符号保持不变,或者按一定的规律变化,这种误差称为系统误差。它的来源大致可分为以下几个方面:

(1) 仪器误差。这是由于所使用的仪器本身不够准确或者没有按规定使用而引起的。例如等臂天平两臂不是绝对相等,仪器仪表刻度不准确,仪器本身有误差,如使用走时比较快的秒表测量时间,多次测量时时间 t 总是偏大,而且是偏大一个固定的值。使用未经校准的仪器测量也会造成误差,有时使用仪器前需要调零,忘记调零也会造成误差。

(2) 方法误差。这是由于测量所依据的理论或实验方法不完善,或者是实验的条件未达到理论公式所规定的要求。例如,用伏安法测电阻时,采用不同的连接方法,电表的内阻对测量结果的影响是不同的,电表内阻的影响总是存在的。再如用单摆来测重力加速度时,要求单摆的偏转角度要小,若角度过大也会带来误差。

(3) 个人误差。这是实验人员个人因素带来的误差,这通常与实验人员的反应速度、固有习惯等因素有关。如观察刻度线读数时,习惯偏向一个方向,使读数总是偏大或偏小,又如用秒表测单摆周期时,有些人反应速度过快或过慢,在按动秒表时总是提前或者滞后。

(4) 环境误差. 这是环境条件的影响造成的, 如温度、气压、湿度、电磁场、杂散光等.

系统误差的特点是确定性. 经过多次测量总是使测量结果固定的偏大或偏小, 因此系统误差是不能利用多次测量来消除或减小的. 那么如何才能消除或减小系统误差呢? 可以通过校准仪器、改进实验装置、改进实验方法, 或对实验结果进行理论上的修正等来消除或减少系统误差. 发现和减少实验中的系统误差是一项困难的工作, 需要对整个实验所依据的理论、方法、选用的仪器等可能引起的误差诸方面逐一加以分析, 这就要求实验人员有非常丰富的实验经验.

2. 偶然误差

在同一条件下, 对某一物理量进行多次测量时, 即使排除了产生系统误差的原因, 仍然会出现绝对值和符号都以不可预测的方式变化的误差, 这种误差称为偶然误差, 也称随机误差或统计误差. 偶然误差主要来源于实验仪器的有限精度和实验人员的感官灵敏度, 包括实验人员操作不够熟练, 估读数值不准, 或周围环境的干扰, 如温度的微小起伏、电源电压的波动、震动、杂散电磁场的影响等.

偶然误差的出现就某次测量来说是毫无规律的, 其大小和符号都不可预知. 但对某一测量值来说, 当测量次数足够多时, 就会发现偶然误差是遵从统计规律的. 其特点是: 正方向误差与负方向误差出现的次数大体相当; 数值较少的误差出现的次数较多, 数值很大的误差如果在没有测量错误的情况下几乎不出现. 这一规律的在测量次数越多时, 表现得越明显.

根据偶然误差分布特性, 在多次测量中正向误差和负向误差出现次数大体相等, 在一定条件下可通过增加测量次数的方法来减少这种误差. 用多次测量的平均值来表示测量结果可以减少偶然误差的影响.

同时, 偶然误差的大小也体现了测量值的分散程度, 偶然误差越大说明测量值越分散. 对偶然误差作出估计, 才能表现出测量的精确程度.

3. 过失误差

过失误差是由于实验人员人为的过失造成的. 例如实验人员使用仪器时, 操作不规范, 或观察、记录数据时粗心大意、马马虎虎等都会造成过失误差. 过失误差是完全可避免的, 因此实验中要求实验者一定要精力集中、态度认真、细心观察和记录, 以获得正确的测量结果.

1.2 测量误差的估算

在假定系统误差已被完全消除的情况下, 我们来讨论偶然误差的处理问题. 下面先讨论直接测量量的误差估算, 然后再讨论间接测量量的误差估算.

一、单次测量结果的误差估算

在进行物理实验时,如果对某一物理量的测量精度要求不太高,只需进行一次测量时,或者根据客观条件只能进行一次测量时,可根据仪器出厂检定书上注明的误差或仪器上注明的误差作为单次测量误差.如果仪器上没有注明仪器误差,也可取仪器最小刻度的一半作为单次测量的误差.

二、多次测量结果的误差估算

当对某一物理量进行测量时,一般情况下都要进行多次重复测量以减少测量的偶然误差,将多次测量值得平均值作为测量结果.

1. 算术平均值

在同一条件下,对某一物理量 N 进行 K 次测量,测量值分别为 $N_1, N_2, \dots, N_K$, 用 $\bar{N}$ 表示平均值,则

$$\bar{N} = \frac{1}{K}(N_1 + N_2 + \dots + N_K) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K N_i \quad (1-1)$$

根据统计误差理论,随着测量次数 K 的增大,算术平均值就越接近真值.在实际多次测量中,往往用 K 次测量值的平均值作为测量结果的最佳估计结果,称为近真值或最佳值.当测量次数 $K \rightarrow \infty$ 时, $\bar{N} = N(\text{真值})$.

2. 偶然误差的计算方法

因为各种原因和条件所限,真值 N 是不可能得到的,测量值只是真值的近似值.但是,在多次测量中,其平均值 $\bar{N}$ 是真值的最好近似值,因此在实际计算中可以用 $\bar{N}$ 来代替真值 N .把测量值与平均值的差称为偏差,用 V_i 表示,即

$$V_i = N_i - \bar{N} \quad (1-2)$$

偏差与误差之间是有区别的.但是,随着测量次数的增多,他们之间的差值将逐渐减至很小.所以,今后我们不再区分偏差与误差.

误差的处理方法有很多种,目前常用的就是算术平均误差、标准误差、不确定度和相对误差.

(1) 算术平均误差

由(1-2)式可知,在多次测量中,每次所得的测量值都与平均值之间有误差,这误差可能为正也可能为负.为了避免直接求和使正负误差相互抵消的情况发生,并考虑到最坏情况,将这 K 个误差取其绝对值,然后再求平均值,即

$$\Delta N = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K |\Delta N_i| = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K |N_i - \bar{N}| \quad (1-3)$$

式中 ΔN 称为算术平均误差,它代表一系列测量中由于偶然因素而引起的平均