

大学 物理实验

DAXUE WULI SHIYAN

DAXUE

DAXUE

WULI

SHIYAN

管亮 吕云宾 陈九畴 张华林 等 编著

DAXUE
WULI
SHIYAN

湖南师范大学出版社

大学 物理实验

DAXUE WULI SHIYAN

管 亮 吕云宾 陈九畴 张华林
吴喜军 饶益花 郝 军 黎民红
胡解生 罗伯绥 何冬慧 尹 岚 编著

湖南师范大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理实验 / 管亮等编著. —长沙: 湖南师范大学出版社, 2007. 2

ISBN 978 - 7 - 81081 - 684 - 7

I. 大... II. 管... III. 物理学—实验—高等学校—教材
IV. 04 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 022578 号

大学物理实验

◇管 亮 吕云宾 陈九畴 张华林 等 编著

◇责任编辑: 莫 华 张宽信 刘 金

◇责任校对: 胡晓军

◇出版发行: 湖南师范大学出版社

地址/长沙市岳麓山 邮编/410081

电话/0731. 8853867 8872751 传真/0731. 8872636

网址/http: //press. hunnu. edu. cn

◇经销: 湖南省新华书店

◇印刷: 湖南航天长宇印刷有限责任公司

◇开本: 787 × 1092 1/16

◇印张: 23. 25

◇字数: 536 千字

◇版次: 2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷

◇书号: ISBN 978 - 7 - 81081 - 684 - 7

◇印数: 1—4000 册

◇定价: 40. 00 元

前 言

大学物理实验是理工科学生必修的重要基础课程之一. 根据全国工科物理实验课程指导小组颁发的《高等工科大学物理实验课程教学基本要求》和国内工科院校, 特别是我校的具体情况, 我们编写了这本实验教材. 编写中我们参考了其他高校的物理实验教材, 更重要的是编入了本教研室二十多年的教学成果和经验. 其中陈九畴老师的《实验数据尾数修约方法的研究》、《设计性教学探讨》分别在1988年、1994年分别获湖南省物理学会优秀论文奖和校级优秀教学成果奖; 由何毅、管亮、向东等老师研制的“大学物理仿真实验软件”获湖南省级一等奖; 由胡解生、向东、管亮等老师研制的近代光电综合实验仪(用于光的干涉实验中的观察和测量)获第三届全国高校物理教学仪器评比三等奖.

在编写中我们注重了以下几个特点:

1. 本书主要供非物理专业的理、工科学生使用, 旨在使学生通过学习本课程后能比较系统地掌握进行科学实验的基本知识、学会进行科学实验的基本方法、提高进行科学实验的基本技能, 培养学生独立操作、独立思考、独立处理问题的能力.

2. 在测量与误差及数据处理中注意强调建立正确的概念. 要求学生在实验中逐步学会用误差分析思想科学地指导实验的进行、用误差分析思想处理实验数据、用误差分析思想设计实验. 为尽快与国际误差处理方法接轨, 还介绍了不确定度的概念和处理方法. 在数据处理的中间结果中强调取两位可疑数, 最后结果只取一位可疑数. 在数值尾数修约中, 分析了四舍五入法、凑偶法、综合法的优缺点, 建议

所有实验尾数中的修约不用凑偶法,而用四舍五入法,只在重要的科研中才用综合法.

3. 为了培养学生的主观能动性和探索精神,在每个实验的实验目的栏中首先提出了本实验所应掌握和熟悉的内容,还提出了不少书中没有回答的问题,由学生自己去分析、研究和探讨.

4. 为了增加学生的知识面,为便于不同院校采用本教材,对同一实验的不同实验方法、不同实验仪器尽量作了简要的介绍.

5. 书中融入了编者和本教研室全体老师在长期的实验教学中的教学方法和成果,以达抛砖引玉之目的.

6. 本书还简要介绍了物理学史、实验物理学史、中国古代对物理学的贡献等.

本书主要由南华大学数理学院物理实验教研室的管亮、吕云宾、陈九畴、张华林、吴喜军、饶益花、郝军、黎民红、胡解生、罗伯绥、何冬慧、尹岚等老师共同编写,共同讨论、修改,最后由陈九畴统稿、校对.

本书参阅并选用了其他院校的教材与讲义的部分内容和部分插图,在此谨致深切的谢意.

由于时间仓促、水平有限,书中缺点和错误在所难免. 诚恳希望使用本书的师生及其他读者批评指正.

编 者

2006 年 9 月

目 录

绪论	(1)
----	-----

第一编 测量、误差及数据处理

1.1 测量、误差的基本概念	(6)
1.2 随机误差的规律性研究	(14)
1.3 实验数据处理、误差计算及结果表示的方法	(17)
1.4 测量的有效数字	(21)
1.5 粗大误差的剔除准则和方法	(30)
1.6 处理系统误差的一般知识	(33)
1.7 测量结果的不确定度	(38)
1.8 非等精度测量结果的综合评定	(44)
1.9 处理实验数据的其他方法	(45)

第二编 基本实验方法

2.1 科学实验的形成、性质及作用	(55)
2.2 科学实验的基本类型	(56)
2.3 基本实验方法简介	(58)

第三编 基本实验技术与操作规则

3.1 科学仪器的作用	(63)
3.2 物理实验基本操作技术与系统误差的消减	(63)
3.3 物理实验操作规则	(67)

第四编 常用物理量测量简介

4.1 基本物理量的计量	(71)
4.2 常用物理量测量简介	(83)
4.3 常用测量仪器、主要技术性能、特点一览表	(89)
4.4 常用物理量测量及测量仪器简介	(99)

第五编 力学、热学实验

5.1 长度、体积和密度的测量	(124)
-----------------	-------

5.2 气垫技术	(127)
5.3 用拉伸法测金属丝的杨氏模量	(133)
5.4 重力加速度的测定	(137)
5.5 转动惯量的测定	(140)
5.6 测金属的线膨胀系数	(147)
5.7 非良导体热导率的测定	(150)
5.8 比热容的测定	(152)
5.9 液体表面张力系数的测定	(158)
5.10 液体粘滞系数的测定	(161)
5.11 多普勒效应综合实验	(169)

第六编 电学、磁学实验

6.1 万用电表的使用、制流与分压	(176)
6.2 电阻的测量	(179)
6.3 晶体二极管整流电路	(186)
6.4 单级低频放大器的测试	(191)
6.5 电偶极子电场的描记及描绘模拟心电图	(193)
6.6 滑线变阻器的使用与特性研究	(195)
6.7 电表的改装及设计万用电表	(198)
6.8 模拟法测静电场	(202)
6.9 电位差计测电源电动势	(207)
6.10 电子束在电磁场中的偏转	(212)
6.11 示波器的使用	(218)
6.12 磁场强度的测定	(229)
6.13 灵敏电流计的研究	(238)

第七编 光学实验

7.1 薄透镜焦距的测定	(244)
7.2 分光计的调整及三棱镜折射率的测定	(249)
7.3 等厚干涉——牛顿环、劈尖	(254)
7.4 光的衍射	(258)
7.5 光的偏振	(263)

第八编 综合性实验

8.1 非电量电测技术简介	(269)
8.2 常用传感器简介	(271)
8.3 热电转换技术的观测	(273)

8.4 设计光电转换实验	(283)
--------------------	-------

第九篇 设计性实验

9.1 设计性实验基本知识简介	(287)
9.2 设计性实验项目	(299)

第十编 近代物理实验

10.1 全息照相	(305)
10.2 迈克尔逊干涉仪	(310)
10.3 密立根油滴实验——电子电荷的测量	(314)
10.4 光电效应测普朗克常数	(321)
10.5 夫兰克-赫兹实验	(327)

第十一编 核物理实验

11.1 放射性探测的基本技术	(335)
11.2 核磁共振	(337)

附录一 中华人民共和国法定计量单位	(347)
附录二 常用物理数据表	(350)
附录三 物理实验大事年表	(358)
参考文献	(364)

绪 论

物理,见物而明其理.物理学就是探索和研究事物产生、发展、消亡的道理.

物理学从本质上来讲是一门实验科学.物理现象的发现、物理定律的建立、物理理论的发展都必须以严格的物理实验为基础,并受到物理实验的检验.

实际上任何科学理论都是以其科学实验为基础、并受其检验的,实践是检验真理的唯一标准.

一、实验与实验研究方法

要改造世界必先认识世界.在古代,人们主要靠直接观察自然现象来总结和掌握自然规律,随着人们对客观世界认识的发展和深入,单凭直接观察满足不了人们的需要,故逐渐产生了实验,来加快认识的过程.

1)实验:用人为的方法有控制地再现自然现象,并从中进行仔细的观察和认真的探测,这一过程就是实验.

2)实验研究的方法

科学研究的方法有两种:一种是实验研究的方法,另一种是理论研究的方法.

把实验中观察到的大量现象和探测到的众多数据,加以总结、归纳和抽象,找出事物的内在联系和规律,这种研究科学的方法叫实验研究方法.

理论研究的方法虽不直接进行实验,但理论研究课题的提出及研究结果的检验都必须通过实验,所以实验是理论的源泉和裁判.

二、实验物理学的形成

在古老的物理学领域中,同样主要靠直接观察物理现象来总结物理规律,随着物理学的深入发展,逐渐产生了实验,但早期的实验并不重要,直到伽利略用实验的方法否定了亚里士多德“力是速度的原因”的论断后,物理实验才成为研究物理学不可缺少的前提和条件,才逐步形成了“物理学是一门实验科学”的说法,大量的实验及测量得到大量的数据,迫使人们研究实验数据的处理方法,这样就逐渐形成了专门的实验数据处理的理论,使实验结果的处理有了完整的理论基础.

亚里士多德认为物体运动速度的有无和大小,是由它是否受力以及力的大小直接决定的,当“推一个物体的力不再推它时,物体便归于静止”.还认为地面上轻重不同的物体下落的速度不同,重物下落较快,轻物下落较慢.这位“圣哲”的错误观念维持了两千年之久,直到伽利略用实验才弄清物体保持运动是不需要力的,加速度才是力作用的结果;且自由落体的加速度与物体的重量无关.

物理实验的发展在很大程度上受到技术发展的制约,实验虽然可以给技术找到出路,但实验需要技术提供条件.工业革命促进了技术的发展,技术的发展又使实验有了很大的提高,直到20世纪,物理实验才逐渐形成了自己的独立体系.

早期的物理实验大多用机械的方法进行.不论是力、热,还是电、磁,或是光,都是用机械装置和机械方法测量,如测长用尺子,测重用杠杆,测温用热胀冷缩,测电用金箔的张角……这种机械的测量方法是一切科学实验的基础,机械装置也是一切测量仪器的基础,“机械的方法”构成了物理实验中的一大支柱.

自19世纪以来,电磁技术迅猛发展,实验手段有了新的提高,使测量日趋迅速化、实时化.

20世纪60年代激光的问世,使古老的光学技术焕发了青春,测量精度一下子提高了几个数量级.与此同时,计算技术和计算工具都有了长足的发展.至此,实验物理学完成了以机、电、光、算为主干的完整体系.

实验物理学的具体内容大体可分为三个部分.首先是研究创造再现物理现象的特殊条件(如恒温、绝热、稳压等),其次是研究测量方法和测量手段(仪器).这两点往往又不能截然分开,有条件存在才能谈测量方法,而又只有在有测量方法时才能判断测量条件是否成立.

最后是研究从测量结果中总结规律和对实验结果的正确评价,即实验数据的处理理论.

三、中国古代对物理学的贡献

中国古代物理学是近代物理学的先驱之一,历代曾出现过不少杰出人物对物理学的发展做出了贡献.例如远在两千多年前的春秋战国时期,墨子的著作《墨经》中对力学和光学知识进行了记载.其光学原理就记载了八条:第一、二、五条是论述光的生成和光与影的关系;第三条论述针孔成像;第四条说明光的反射原理;第六至八条是论述平面镜、凹面镜、凸面镜的聚光成像原理.这些论述类似于现在的摄影应用原理,是世界上最早的摄影光学著作,但因当时的科学技术不发达,故还没有具备产生摄影技术的物质条件.

又如宋代的沈括在《梦溪笔谈》中对声学、光学、磁学等知识进行了研究和记述;赵友钦所做的大型光学实验——小罅景实验(即小孔成像实验)等,这些在当时世界上均处于领先地位.

中国高举世界文明的火炬率先进入封建社会.当时中国以发达的农业、先进的技术、灿烂的文化,走在世界的前列.封建社会科学技术发展的高峰在中国.我国的文学艺术在唐朝发展到高峰,科学技术则是在宋代最为成熟.寻找中国科技史的轨迹,往往会发现各项发明创造的主焦点都在宋代.我国的四大发明——火药、指南针、印刷术和造纸术更是中华民族的骄傲,它们输入欧洲,也给欧洲的科学技术发展带来了黎明.它既是欧洲封建社会的催命符,也是近代资产阶级诞生的助产士.

马克思曾对指南针等中国古代的几大发明给予了极高的评价,认为它是欧洲资产阶级发展的必要前提.许多欧洲人自鸣得意的发明,中国人的祖先早已捷足先登.虽然人们一谈起避雷针,就想到18世纪美国科学家富兰克林,可是法国旅行家勃里欧别·戴马甘兰游历

中国之后,于1688年写了一部叫做《中国新事》的书早就记载说:“当时中国屋宇的屋脊两头,都有一个仰起的龙头,龙口吐出曲折的金属舌头,伸向天空,舌根连接着一根很细的铁线直通地下,这种奇妙的装置在发生雷电的时候就大显神通,若雷电击中了屋宇,电流就会从龙舌沿铁线下行到地底,起不了破坏作用。”至于地动仪、浑天仪、指南车等更是驰名世界的科学奇珍。

四、物理实验课的地位及作用

实验物理学是物理学的一个重要基础分支,其任务是探讨如何用实验方法去研究物理。

前面已说到,物理理论都必须以严格的物理实验为基础,并受到物理实验的检验,即实验是理论的源泉;同时实验又是验证理论的手段和裁判,物理学作为一门科学,其产生和发展都是以物理实验为基础的,坚持理论与实验相结合,是物理学乃至任何科学发展的唯一道路。

如只有在杨氏干涉实验完成之后才确立了光的波动学说;麦克斯韦提出了电磁场理论并预言了电磁波的存在,但只有当其后的赫兹做了电磁波的产生、发射、传播和接受的实验之后才被大家承认;杨振宁、李政道提出的“至少在基本粒子弱相互作用领域内宇称不守恒”的理论,也只有被吴健雄的实验证明后才被大家所公认,从而才有可能在1957年获得诺贝尔物理学奖。

实验又是理论付诸应用的桥梁,掌握理论的目的是为了改造世界,然而当理论付诸应用时仍要通过实验。如热核聚变可产生巨大的能量,在能源十分紧张的今天极其引人注目,然而这种能源到目前还不能有控制(还只能控制热核裂变)地利用,要利用它,还必须经过很多艰苦的实验,所以实验是理论启用的必经之路。

物理学这门实验科学,它从头到尾、自古到今都离不开实验,但这并非说实验比理论更重要。理论是行动的指南,没有理论指导的实验是盲目的,而理论上的需要又促进了实验的发展。再从物理的整个发展过程来看,物理实验和物理理论是相互促进、相得益彰的,既不能因为理论对实验具有指导意义而轻视实验,也不能因为没有实验就没有理论而不要理论。

所以实验与理论的差异不是轻重关系的不同,而仅仅只是它们的研究任务和研究方法不同,即物理实验和物理理论课具有同等重要的地位。面向世界、面向未来的高级工程技术人才,不但要掌握有深、广的理论知识,而且还要具有较强的动手能力和独立解决具体问题的能力和素养。

五、物理实验课程教学基本要求

原国家教委对高等工科院校物理实验课程下达了如下教学基本要求:

科学实验是科学理论的源泉,是工程技术的基础,作为培养德智体美全面发展的高级工程技术人才的高等工业学校,不仅要使学生具备比较深广的理论知识,而且要使学生具有从事科学实验的较强能力,以适应科学技术不断进步和社会主义建设迅速发展的需要。

1. 物理实验课程的任务

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基础课程,

是学生进入大学后受到系统的实验方法和实验技能训练的开端,是所有理、工科类专业对学生科学实验训练的重要基础。

物理学是一门实验科学。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,又有各自的作用和任务。

本课程应使学生在中学物理实验的基础上,按照循序渐进的原则,学习物理实验知识和方法,得到实验技能的训练,从而初步了解科学实验的主要过程与基本方法,为今后的学习和工作奠定良好的实验基础。

物理实验课程的具体任务是:

(1)通过对实验的观察、分析和对物理量的测量,学习物理实验知识,加深对物理学原理的理解。

(2)培养与提高学生的实验能力,其中包括:

- 1)能够借助教材和仪器使用说明书正确使用常用仪器;
- 2)能够通过阅读实验教材或资料做好实验前的准备;
- 3)能够运用物理学理论对物理实验现象进行初步的判断和分析;
- 4)能够正确记录和处理实验数据,绘制曲线,说明实验结果,撰写合格的实验报告;
- 5)能够完成简单的具有设计内容的实验。

(3)培养与提高学生的科学实验素养。

即具有理论联系实际和实事求是的科学作风;严肃认真、刻苦钻研的工作态度;主动研究、勇于攀登的探索精神;相互合作、共同研究的协作风格;遵守纪律、注意安全的高尚情操;讲究卫生整齐、爱护公共财产的优良品德。

2. 物理实验课程的教学基本要求

(1)在教学中要适当介绍一些物理实验史料和物理实验在工程技术中的应用知识,对学生进行辩证唯物主义世界观和方法论的教育,使学生了解科学实验的重要性,明确物理实验课程的地位、作用 and 任务。

(2)在整个实验教学过程中,要教育学生养成良好的实验习惯,爱护公共财产,遵守安全制度,树立优良的学风。

(3)要求学生了解测量和误差的基本知识,具有正确处理实验数据的初步能力,其中包括下列内容:测量误差的基本概念;直接测量的误差计算,仪器误差、读数误差等进行估算;间接测量的误差计算;处理实验数据的一些重要方法,例如列表法、作图法和一元线性函数的最小二乘法等。

教学中要注意系统误差的分析,让学生了解系统误差消除和减小的方法。

(4)通过物理实验的基本训练,要求学生做到:

- 1)能够自行完成预习、实验和撰写报告等主要实验程序。
- 2)能够调整常用的实验装置,并基本掌握常用的操作技术。例如零位调整,水平、铅直调整,光路的等高共轴调整,消除视差调节,逐次逼近调节……根据给定的电路图正确接线等。
- 3)了解物理实验中常用的实验方法和测量方法。例如比较法、放大法、模拟法、补偿法、平衡法和干涉法等方法。

4)能够进行常用物理量的一般测量.例如长度、质量、时间、热量、温度、电流强度、电压、电动势、电阻、磁感应强度、折射率、波长等.

5)了解常用仪器的性能,并学会其使用方法.例如测长仪器、计时仪器、测温仪器、变阻器、电表、直流电桥、直流电势(位)差计、通用示波器、低频信号发生器、分光计、常用电源和常用光源等.

在进行以上各项的基本训练的过程中,要重视对物理现象的观察和分析,引导学生理论联系实际去指导实践、解决实验中的问题.

(5)要开设一定数量的近代物理、应用性或综合性物理实验,以有利于学生理解近代物理概念,了解物理实验技术的应用,提高进行综合实验的能力.

(6)要开设少量的设计性实验或具有设计性内容的实验,使学生对实验方法的考虑、测量仪器的选择和配合、测量条件的确定等方面受到初步的训练.

(7)随着计算机的逐渐普及,应在实验教学中适当使用计算机.

第一编 测量、误差及数据处理

任何科学实验,都要用实验方法去研究和掌握自然规律. 实验中不仅要定性观察各种实验现象,而且还要定量测量有关待测量的大小,并找出它们之间的数量关系,故任何实验都有测量,又由于受到实验方法不可能绝对完善、测量仪器的精度不可能绝对高、测量环境不可能绝对稳定等原因的影响,所有的测量都不可能绝对精确,即任何测量都不可能没有误差. 从实验中测得大量的实验数据,再进行整理和归纳,找出各量之间的规律,求得实验的结果和误差,估算出测量结果的可靠程度,这就是数据处理.

测量与误差是一门专门的科学,要深入地讨论和研究它,不但要有丰富的实验经验,而且还要有较多的数学知识,这里只能介绍一些最简单的基本知识,希望大家着重地了解它们的物理意义,学会简单的数据处理及误差计算的方法,领会误差分析思想对指导做好实验的重大意义.

1.1 测量、误差的基本概念

1.1.1 测量

1.1.1.1 测量的基本概念

(1)测量的定义:测量就是把待测量与一个选来作为标准的同类量进行比较的过程,得到待测量与同类标准量最小计量单位的倍数关系.

(2)仪器的分度值:用任何仪器测量前,必先求出其分度值,仪器分度值是指仪器能精确测准的一个最小计量单位,等分刻度仪器的分度值一般是指一个最小等分格所代表的待测量大小,常用符号 δx 表示,其数学计算式为:

$$\delta x = \text{量程数} / \text{最小等分格数}$$

凡数字显示仪器的分度值一般是它的一个最小步进值.

如米尺分度值 $\delta L = 1000 \text{ mm} / 1000 \text{ 格} = 1 (\text{mm/格})$; 对量程为 2.5 V、刻度盘有 100 个最小等分格的电压表的分度值 $\delta U = 2.5 / 100 = 0.025 (\text{V/格}) \cdots \cdots$

(3)仪器的读数原理:凡用等分格刻度(线性关系)的仪器测量时,首先要精确读取一个最小等分格的整数倍,再估读到 1/10 格(或 1/2,如 50 分游标卡尺;或 1/5,如物理天平等).

对非等分格(非线性关系)刻度(如欧姆刻度盘)的仪器,应根据其非线性情况把估读的

那一位数读好。

凡数字显示的仪器,其读数方法是记录所显示的全部数字,一般不需要估读。

(4) 读数与示值: 读数是用仪器直接测量时,其读数盘或显示器指示的数,如刻度显示仪器是多少格(包括十分之几格);示值是读数所代表的待测量大小,一般它们之间的关系为: 示值 = 分度值 $\times$ 读数。

(5) 单位: 根据定义令系数为 1 的那个量叫单位。

如令米尺的一小格为 1, 则单位为 mm; 令米尺的 10 小格为 1, 则单位为 cm……

(6) 测量值与单位的关系: 测量值是通过直接测量或间接测量所测得的结果。对同一待测量来说,所用单位越小,测量值越大;单位越大,测量值越小。

(7) 真值: 当对某量进行测量时,该量在客观上存在一个恒定不变的真实值,叫该量的真值,它不因测定值大小的不同而改变,且永远也无法测到。它只能随着科学技术的发展,使测量结果越来越接近于真值。

1.1.1.2 测量的种类

(1) 按待测量是否能直接从仪器上测得其结果的方法把所有测量分为:

1) 直接测量: 指待测量能直接与仪器进行比较,得到测量值的测量。

2) 间接测量: 指待测量的值无法直接从仪器上测得,而必须设计出一套实验装置,先直接测量与它有关的一个或几个直接测量量的大小,再按它们之间的相关函数式求出待测量大小的测量。

(2) 根据测量条件的不同,所有的测量又可分为以下两种:

1) 等精度测量: 在把影响测量精度的所有因素(如测量方法、测量仪器、环境条件、测量人等)都保持不变的情况下对同一待测量进行多次测量所得到的测量列叫等精度测量。

2) 非等精度测量: 在对同一量的多次测量中,由于改变了一个或几个影响测量精度的因素所得到的测量列叫非等精度测量。

等精度测量的数据处理比较容易,非等精度测量的数据处理非常复杂,故绝大部分实验都用等精度测量,只有在无法采用等精度测量的条件下才用非等精度测量。

1.1.2 测量误差

实验和测量的目的是为了得到待测量的真值,但由于各种原因,任何待测量的真值永远无法测到,即任何测量都有误差,且只能随着科学技术的发展,使测量误差越来越小,但永远无法消除。所以,误差存在于一切测量之中,且贯穿于整个测量过程的始终,每使用一种仪器,每进行一次测量,都不可避免地会给测量值带来或大或小的误差,且测量中所使用的理论方法越繁多,使用的仪器越复杂,所经历的测量时间越长,则引起误差的机会和可能性越大,误差有可能越大,甚至有可能使测量结果埋葬在误差之中,达不到精确测量的目的。

测量结果误差的大小,反映了我们对客观世界的认识接近于客观真实的程度。故在任何实验测量中,要想尽一切办法,采用一切措施,消除一切可以消除的误差,尽量减少那些无法消除的误差,使测量结果尽量接近于真实值。

1.1.2.1 测量误差的定义

待测量的测定值 N 与其真值 N'_0 的差叫测量误差,用符号 $\Delta N'_0$ 表示,故

$$\Delta N'_0 = N - N'_0 \quad (1-1-1)$$

实际上应叫 $\Delta N'_0$ 为真误差,由于任何待测量的真值永远无法测到,故任何待测结果的真误差也永远无法求出,所以在实验的数据处理中,用按某种规定所求的值 N_0 来代替真值 N'_0 (叫 N_0 为代真值或近真值),故测量结果与近真值的差叫近真误差,用 ΔN_0 表示:

$$\Delta N_0 = N - N_0 \quad (1-1-2)$$

习惯上叫近真误差 ΔN_0 为测量误差.

1.1.2.2 测量误差的主要来源

测量结果的误差主要由以下五个方面产生:

(1) 仪器误差

在正确使用仪器条件下,仪器本身所允许产生的最大误差叫仪器误差,这是由于仪器本身结构的不完善所引起的,它又主要由以下三个方面产生:

1) 读数误差

这里所指的读数误差与在相同条件下测同一待测量时,我测和他测的读数可能不同,我这次测和下次测的读数可能不同,所表示的读数误差具有不同的性质和内容,它主要由仪器结构不完善产生,如:

① 刻度误差:一般仪器的刻度盘均是按严格的等分格(线性关系)或其他标准(非线性关系,如欧姆表刻度盘等)刻度的,它们的刻度线所处位置与其标准位置会有或多或少的差异,故读数时依刻度线读出的值与其标准值之间就必有误差,加上刻度线总要有一定的宽度才能引起人们的视觉,而标准位置只是一个无穷小量,尽管读数时用刻度线宽度的中线去读,但在判断中也总会有误差.

② 校准误差:仪器的校准误差是指仪器经校准后,按某标准规定所允许产生的误差.厂家对成批生产的仪器除特殊情况外均采用统一刻度,仪器各零部件虽在生产每道工序中均有严格的质量检查,但各校定值都允许有一定的误差范围,特别是在总装后出厂前都要进行校准,但一般每批产品中按有关规定只任意抽校一定比例的产品,且被抽校的产品中也只对某些量程中的某些刻度进行校准,同时对被校点也允许它与标准仪器有一定的误差,即使被校点与标准仪器完全相同,而标准仪器也是有误差的,只是标准仪器的误差更小.至于那些未被抽校刻度、量程的仪器亦同样有误差.

③ 仪器读数分辨率所引起的误差:仪器读数分辨率可用其分度值来定义,即它能精确读准的最小计量单位,如米尺分度值为 1 mm,10 分游标卡尺、千分尺的分度值分别为 0.1 mm 和 0.01 mm,显然它们的分辨率越来越高,其测量误差就越来越小.

④ 仪器读数调节装置不完善,如用丝扣或齿轮等组合的读数装置的回程差.由于其齿合间必有一定的间隙(无此间隙则转不动),故正向或反向旋转读数调节装置测量同一位置时的读数不同,二者之差叫回程差.此时对各点位置测量时,只能按同一方向旋转调节装置严格对正各测点去测量;或对各测点按正、反向各测一次,取其平均值,即可消除回程差.

2) 稳定误差

仪器的稳定误差实际是指仪器在未达稳定状态时所产生的额外误差.如电子仪器的稳

定误差是由于电子元件的老化,电气性能对温度的敏感性降低;机械装置仪器的稳定误差由机械元件磨损、弹性疲劳的产生等原因所致. 还如仪器读数调节机构的松动,某些接线或旋钮接触不良,电路工作不稳定、零点漂移、电气性能受到内部或外部的干扰、寄生阻抗的产生等,都能引起稳定性误差,特别是当被测参数很小或工作频率很高时,可能会产生显著的误差.

3) 动态误差

有的被测量的大小随实验测量时间的不同而变化,若要测出某些特定时刻被测量的大小,则这种测量叫动态测量. 在快速测量中(如校准电表),由于电路中的过渡过程,电表的阻尼时间及有限的调节速度等,所测结果产生的误差叫动态误差. 但仪器校准的动态误差可用每个被校点由大到小再又从小到大的两方向过此点时各测一值,取其两值的平均值就消除了这种动态误差.

(2) 使用误差

因测量人对仪器使用不当而使测量值产生的额外误差叫使用误差. 如许多测量仪器在测量前都必须认真严格地调正读数装置的零点,或读出零点的示值,若未做此工作而其零点不准时,则每个测量值中均含有此零点误差;又如电子仪器使用时,一般均要求预热一定时间后才准调节和测量,如未经预热,仪器还未达稳定的工作状态就测量会出现误差;再如要求严格调整到水平或垂直状态的仪器,未调整到规定的状态就测等都会出现使用误差. 所以凡不按仪器的操作规程,没有精心把各仪器设备调定到规定状态所测量的所有的数据中都含有使用误差. 实验一定要消除使用误差,所以测量人一定要正确使用仪器,严格按各仪器的规程进行操作,都把各仪器严格调整到它们的最佳工作状态才进行测量.

(3) 人身误差(又叫个人误差)

观测者本人因感觉器官或运动器官的某些缺陷或心理上的某些特点和不良习惯使测量结果中产生的额外误差,叫人身误差. 特别是靠人眼、耳来判断,或靠手、脚的动作来测得结果时尤为突出. 如有的人在测量时,头习惯性地偏向一边或斜视去读取数据会有视差;又如用停表测时间时,有的人有习惯性的超前或滞后等. 同时人身误差还与观测者当时的精神状态密切相关,这就是要求实验者全神贯注的理由.

(4) 环境条件误差(又叫影响误差)

实验时环境的温度、湿度、气压、电磁场、机械振动、声音、光照等因素中的一种或几种发生改变时,测量值的大小改变而引起的测量误差叫环境误差. 有时其中某些因素甚至会造成仪器的损害. 所以实验时一定要保证实验对环境所提出的条件得到满足,或根据环境条件的变化对测量值进行修正,如水的密度随其温度不同而变化,标准电池的标准电动势随温度不同而变化等,环境温度要随时查表修正它们的值,否则会对结果产生误差.

(5) 理论方法误差

由于实验中所采用的理论方法不完善,或测量所依据的理论不严密,或理论计算公式的近似性,或理论方法所提出的条件在实验中无法达到等原因使测定值产生的误差叫理论方法误差.

如用伏安法测电阻中,不管是电流表内接还是外接,由于电流表、电压表内阻的存在,而无法在单独测出加在待测电阻两端电压 U 的同时,又单独测出流过待测电阻中的电流 I ,若