



普通高等学校“十三五”数字化建设规划教材

DAXUE WULI SHIYAN

大学物理实验

主编 杜保立



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS



普通高等学校“十三五”数字化建设规划教材

大学物理实验

主 编 杜保立

副主编 宋爱琴

赵玉环

乔文涛



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验 / 杜保立主编. —北京: 北京大学出版社, 2019. 3
ISBN 978-7-301-30253-8

I. ①大… II. ①杜… 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(2019)第 028251 号

书 名 大学物理实验
DAXUE WULI SHIYAN
著作责任者 杜保立 主 编
责任编辑 张 敏
标准书号 ISBN 978-7-301-30253-8
出版发行 北京大学出版社
地 址 北京市海淀区成府路 205 号 100871
网 址 <http://www.pup.cn>
电子信箱 zpup@pup.cn
新浪微博 @北京大学出版社
电 话 邮购部 010-62752015 发行部 010-62750672 编辑部 010-62765014
印 刷 者 长沙超峰印刷有限公司
经 销 者 新华书店
787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.25 印张 504 千字
2019 年 3 月第 1 版 2019 年 3 月第 1 次印刷
定 价 48.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题, 请与出版部联系, 电话: 010-62756370

内 容 简 介

本书是编者在多年大学物理实验教学实践和教学改革的基础上,根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会编制的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010 版),在原有讲义和教材的基础上经过精练和筛选编写而成.全书共 7 章,分别是物理测量技术基本方法、测量不确定度与数据处理方法、基础性实验、近代与综合性实验、设计性与提高性实验、计算机实测实验和计算机仿真实验.本书的编写由浅入深、循序渐进,注重培养学生的观测、研究能力和独立实验能力.本书适合作为高等学校理工科专业的大学物理实验教材.



本书是河南理工大学物理实验中心教师在多年大学物理实验教学实践和教学改革的基础上,根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会编制的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010版),在原有讲义和教材的基础上经过精练和筛选,编写的适合高等学校理工科专业的大学物理实验教材。

近年来,为适应我国高等教育蓬勃发展趋势,结合我校自身特色,河南理工大学物理实验中心打破了传统力、热、光、电、近代物理实验的界限,将它们融合重组,建成5个教学平台,即公共基础实验教学平台、综合性实验分类教学平台、应用物理实验教学平台、网络虚拟实验平台、拓展和创新科学实践平台。以培养学生的综合素质、实践能力和创新能力为主题,各平台之间协同发展、相互促进,形成了一个有机结合、运转有序的整体。考虑到不同专业的具体情况,河南理工大学物理实验中心依据学生的专业类别和培养目标,建立了专业大类分类培养教学体系。具体做法是将传统的力、热、光、电、近代物理实验整合在一起进行优化重组,协调地配置教学资源,将大学物理实验分为若干适合不同专业大类的教学模块,从预备性、基础性实验模块到有针对性的分大类训练模块,使实验教学内容更好地体现分类培养的理念。

本书无论在整体编排上还是在每类实验的编写中,编者均遵循由浅入深、循序渐进的原则,合理地将大学物理实验划分为基础性实验、近代与综合性实验、设计性与提高性实验和计算机实测、仿真实验,形成了基础与现代科技相融合的分层次的课程体系。第1章物理实验中的基本测量方法、第2章误差理论和数据分析以及第3章的16个基础性实验,着重阐述了物理实验的基本知识和实验方法。第4章近代与综合性实验、第5章设计性与提高性实验共包含33个实验,涉及物理学更前沿和更广泛的领域,着重培养学生对近代物理和前沿物理的把握能力。第6章计算机实测实验阐述了利用计算机对各种物理量进行监视、测量、记录和分析的基本方法。第7章计算机仿真实验涉及利用计算机和软件通过人机对话界面和动画仿真操作,模拟物理实验的操作方法和具体实例。

本书是在河南理工大学物理实验中心多年使用的大学物理实验讲义和教材的基础上,通过补充新实验项目和改进原有实验项目完成的。参加本书编写的有杜保立、宋爱琴、赵玉环、乔文涛、蔡小琳、王勤、吴亚丽、邹波蓉。教材框架、实验项目及内容方案确定、统稿和定稿由杜保立完成。物理实验中心李宝华、曹伟涛、张培峰、崔燕岭、韩旭、李卫彬、王永强、李晓华、赵晓霞、陈亮、侯秀芳、闫玲玲和物理系刘振深、王宝基、曹国华、康朝阳等对本书的编写和校对提出了宝贵的修改意见,赵军良、李立新、李明等教授对书稿进行了认真的审读。曾政杰编辑了

教学资源,魏楠、苏娟提供了版式和装帧设计方案,在此一并表示感谢。

本书已列为普通高等学校“十三五”数字化建设规划教材。编写期间,我们参阅了许多兄弟院校的教材,吸收了国内外物理实验教材改革的经验,学校物理与电子信息学院、教务处对本书的出版给予了极大的关心和支持,在此表示衷心感谢。

由于我们的水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2019年1月

绪论	001
第 1 章 物理测量技术基本方法	005
1.1 比较法	005
1.2 放大法	006
1.3 平衡法	008
1.4 补偿法	008
1.5 模拟法	009
1.6 干涉法	010
1.7 转换法	010
第 2 章 测量不确定度与数据处理方法	013
2.1 测量与误差	013
2.2 有效数字及其运算法则	020
2.3 测量的不确定度和结果的表达	023
2.4 常用数据处理方法	028
第 3 章 基础性实验	034
实验 3.1 固体密度的测量	034
实验 3.2 数字万用表的使用	040
实验 3.3 示波器使用	045
实验 3.4 用三线摆测定刚体的转动惯量	052
实验 3.5 用扭摆法测刚体的转动惯量	056
实验 3.6 等厚干涉——牛顿环	059
实验 3.7 等厚干涉——劈尖	065
实验 3.8 表面张力系数的测定	068
实验 3.9 磁阻效应实验	073
实验 3.10 pn 结测温研究	076
实验 3.11 空气比热容比测定	082
实验 3.12 分光计调节及棱镜折射率的测定	084
实验 3.13 惠斯通电桥的原理与使用	091
实验 3.14 薄透镜焦距的测定	095

实验 3.15	动态磁滞回线的测量	100
实验 3.16	模拟法测绘静电场	108
第 4 章	近代与综合性实验	113
实验 4.1	空气中声速的测定	113
实验 4.2	迈克耳孙干涉仪	118
实验 4.3	RLC 电路	121
实验 4.4	微波光学特性实验	127
实验 4.5	霍尔效应实验	131
实验 4.6	稳态法测不良导体的导热系数	139
实验 4.7	光栅衍射	144
实验 4.8	液体黏滞系数的测定	149
实验 4.9	弗兰克-赫兹实验	154
实验 4.10	核磁共振	157
实验 4.11	拉伸法测杨氏模量(一)	161
实验 4.12	拉伸法测杨氏模量(二)	166
实验 4.13	电子荷质比的测定	169
实验 4.14	光电效应	173
实验 4.15	全息照相	175
实验 4.16	切变模量和转动惯量的测量	179
实验 4.17	冷却法测定金属的比热容	185
第 5 章	设计性与提高性实验	189
实验 5.1	地磁场的测量	189
实验 5.2	用法布里-珀罗干涉仪测定钠黄光双线波长差	193
实验 5.3	用非线性电路研究混沌现象	197
实验 5.4	梁弯曲法测杨氏模量	202
实验 5.5	测量金属钨的逸出功	206
实验 5.6	晶体的电光调制	211
实验 5.7	晶体的声光调制	217
实验 5.8	密立根油滴实验	220
实验 5.9	偏振光研究	224
实验 5.10	液晶电光效应	231
实验 5.11	阿贝折射仪的使用	234
实验 5.12	弦振动的研究	240
实验 5.13	光干涉法测金属棒的线膨胀系数	245
实验 5.14	电表的改装和校准	249
实验 5.15	费米-狄拉克分布	254
实验 5.16	光纤传输技术实验	259

第 6 章 计算机实测实验	266
实验 6.1 计算机实测物理实验简介	266
实验 6.2 用计算机实测技术研究冷却规律	269
实验 6.3 用计算机实测技术研究声波和拍	273
实验 6.4 用计算机实测技术研究弹簧振子的振动	276
实验 6.5 用计算机实测技术研究单摆	281
实验 6.6 用计算机实测技术研究点光源的光照度与距离的关系	283
第 7 章 计算机仿真实验	286
实验 7.1 计算机仿真实验系统简介	286
实验 7.2 利用单摆测重力加速度	290
实验 7.3 光杠杆法测热膨胀系数	293
实验 7.4 作图法测刚体的转动惯量	295
实验 7.5 动态法测杨氏模量	300
实验 7.6 卡文迪什扭秤法测量万有引力常数	304
附录	311
附录 A 中华人民共和国法定计量单位	311
附录 B 基本物理常数	313
参考文献	315



绪 论

一、物理实验的地位和作用

物理学是研究物体的运动规律、物质的结构及其相互作用的科学,是自然科学中最基础、最活跃的学科之一.物理学的形成与发展是以实验为基础的.物理学的研究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,然后再回到实验中去接受检验.实验是物理科学的基础,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,也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,如果出现了与该定律相违背的新的实验事实,那么便需要修正原有的物理定律或理论,因此物理实验是物理理论的基础,它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应用提供支持.近几十年来,物理学和其他学科发展迅猛,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,更是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,人们逐渐认识到理工科及师范院校加强对学生进行物理实验训练的重要性.理论课是进行物理实验必要的基础,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,从而达到加深和扩大学生物理知识的目的.

二、物理实验课程的任务

物理实验是一门独立的必修基础实验课程,是对高校理工科学生进行科学实验训练的一门基础课程,是理工科各专业后续实验课程的基础,是大学生从事科学实验工作的入门课程.它的主要任务如下.

(1) 通过实验方法和实验技能的基本训练,要求学生做到以下几点.

- ① 能够自行阅读实验教材和资料,概括实验原理和方法的要点,做好实验前的准备.
- ② 能够借助教材或仪器说明书正确使用常用仪器,掌握基本物理量的测量方法和实验操作技能.
- ③ 能够运用物理学理论对实验现象进行初步的分析判断.
- ④ 能够正确记录和处理实验数据、绘制实验曲线、分析实验结果、撰写合格的实验报告.
- ⑤ 能够完成简单的具有设计性内容的实验.

(2) 培养并逐步提高学生观察和分析实验现象的能力,以及理论联系实际的独立工作能力.通过对实验的观察、测量、分析和判断,加深对物理学相关概念和定律的理解.

(3) 培养学生文明实验的良好作风、严谨的科学实验素质、理论联系实际和实事求是的科学态度、爱护公物和遵守纪律的良好道德.

总之,实验教学以培养学生科学实验能力和提高学生科学实验素养为重点,使学生在获取知识的自学能力、运用知识的综合分析能力、动手实践能力、设计创新能力以及严肃认真的作风、实事求是的科学态度等方面得到训练与提高.

三、物理实验课程的基本程序

物理实验是在教师和教材的指导下,由学生独立进行的课程.为了达到物理实验课程的目的,完成物理实验课程的任务,必须充分发挥学生的主动性,调动学生的学习积极性,使学生自觉地、创造性地获得知识和技能.为此,应高度重视物理实验课程的三个基本教学环节,即课前预习、课堂操作和撰写实验报告.

1. 课前预习

课前预习是做好实验的关键.

一次实验课的时间有限,从熟悉仪器到测出数据,任务繁重.若课前不明确实验的目的、要求、原理和方法,不知道要测量哪些物理量、用什么仪器和怎样测量,不明确实验的思路和基本过程,不了解本次实验的重点,上课时就不可能做好实验.可以肯定地说,实验能否顺利进行,能否获得预期的结果,在很大程度上取决于预习是否充分.因此,每次做实验之前必须认真预习.

预习时主要阅读实验教材,必要时还需参考其他资料,以求基本掌握实验的整体概况,明确实验目的,看懂实验原理,了解实验内容与实验步骤.对实验中使用的仪器和装置,要阅读教材中有关仪器介绍部分,了解使用方法和注意事项.如果条件允许,在实验室预习才是最科学、最合理的方式.总之,要通过课前预习和思考,在脑海中形成一个初步的实验方案,并在此基础上写出预习报告.预习报告的内容包括实验名称、实验目的、实验原理、实验仪器、实验内容和步骤以及数据记录和处理表格.表格的设计要清晰、明确、简洁、规范.

2. 课堂操作

课堂操作是实验课的中心环节.

在动手实验之前,要先认识和清点所用仪器、装置和器具,了解其主要功能、量程、级别、操作方法和注意事项,不要急于测量.

实验时,要有目的、有计划地进行操作.

首先是布置、安装(或接线)和调试仪器.仪器的布局要合理,以方便操作和读数,特别要考虑到实验者和仪器的安全.合理选择仪器量程,严格遵守使用说明和操作规程,细致、耐心地将仪器调整到最佳工作状态.在电磁学实验中,接线完毕后,学生应自己先检查,再请指导教师复查,确认正确无误后才能接通电源.

调试完毕后即可开始实验.起初可做探索性实验操作,粗略地观察一下实验过程,若无异常现象,便可正式进行实验.如有异常现象,应立即停止实验,认真分析,仔细排查,并向指导教师反映,待找出原因、排除异常后再开始实验.

测量时要将原始数据整齐地记录在预习时已经准备好的数据处理表格中,注意数据的有效数字和单位.不要用铅记录,也不要先草记在另外的纸上再誊写在数据表格中,这样容易出错,而且不属于第一手的“原始记录”了.如果记录的数据有错误,可用一斜线轻轻画掉,把正确的原始数据写在旁边,但不得涂改数据.要牢记原始数据是实验的最珍贵资料.

实验完毕后,暂时保持测试条件,请教师审阅实验记录.

最后,经教师确认并签字后,再复原整理仪器,离开实验室.

3. 撰写实验报告

撰写实验报告是对所做实验的系统总结,是学生表达能力和信息交流能力的集中体现,也是交流实验成果的媒介.

实验报告应写在专用的实验报告纸上,要求层次分明、字迹清楚、文理通顺、简明扼要、图表规范、结论明确.书写实验报告是培养学生分析、总结问题的能力,是提高学生文化素养和综合素质的一个重要方面.

实验报告的内容一般包括如下几个方面.

(1) 实验名称.

(2) 实验目的.

(3) 实验仪器.

(4) 实验原理.在对实验原理充分理解的基础上,实验者用自己的语言简要叙述有关的实验原理(包括电路图、光路图、原理和实验装置示意图),测量和计算所依据的主要公式,式中各量的物理含义、单位以及公式成立必须满足的实验条件等.

(5) 实验步骤.除简要地写出实验进行的主要程序之外,还应包括实验中观察了哪些物理量,测量了哪些物理量,调节的要领和技巧,以便必要时重复或检验已经完成的实验.

(6) 数据处理.在数据处理中要完成计算、作图、误差估算及结果表达等工作.要把原始数据按有效数字列成科学的表格,使阅读者能纵观全局、一目了然.在数据处理和误差运算中,应有主要过程,做到言之有据、结果可信.实验结果的表达,不仅要指出测量值的大小,而且必须按要求用误差范围的估算或不确定度来评定测量结果.

(7) 分析讨论.分析讨论的内容相当广泛,可以深入探讨实验现象或进一步进行误差分析,也可以对实验本身的设计思想、实验仪器、实验方法的改进写出自己的心得体会或建设性意见,甚至根本不同的意见.通过对思考题的回答,还可以进一步深入理解物理实验的理论.分析讨论将为学生在更高层次上发挥自己的聪明才智提供一个自由思考的广阔空间.

四、实验室规则

为了能很好地完成物理实验课的任务,取得良好的学习效果,学生应认真遵守如下实验室规则.

(1) 上课时必须携带课前准备好的预习报告和数据记录表格,经教师检查后方可进行实验.

(2) 遵守课堂纪律,保持安静的实验环境.

(3) 使用电源时,须经教师检查线路并许可后才能接通电源.

(4) 爱护仪器,实验中按仪器说明书使用,违反使用说明造成仪器损坏的应照章赔偿,公用工具用完后立即归还原处.

(5) 完成实验后,数据须经教师审查签字,然后将仪器整理还原,将桌面和凳子收拾整齐,方可离开实验室。

(6) 实验报告应在下次实验时交给任课教师。

(7) 因故请假请履行请假和补课手续。

五、考核方法

(1) 物理实验为公共必修课程,成绩分优秀、良好、中等、及格和不及格五个等级。

(2) 物理实验课采取督导型考核机制,认真做实验,并且完成实验报告优良者,成绩为优良;实验操作及报告成绩排在全校后十分之一左右的同学需参加期末笔试,参加考试的同学成绩仅由卷面成绩决定,不及格需重修。

(3) 无论任何原因造成实验报告缺失或未完成全部实验项目者,成绩为不及格,需参加下年度重修。

物理测量技术基本方法

任何物理实验都离不开物理量的测量. 物理测量泛指以物理理论为依据, 以实验装置和实验技术为手段进行测量的过程. 待测物理量的内容非常广泛, 它包括力学量、热学量、电磁学量和光学量等. 测量的精度与测量方法及测量手段密切相关. 同一物理量, 在不同测量范围内其测量方法也不同, 即使在同一范围内, 精度要求也可能不同, 这就可能存在多种测量方法, 选用何种方法要看待测物理量在哪个范围和对测量精度的要求. 例如, 长度的测量覆盖了整个物理学研究的尺度范围——小到微观粒子、大到宇宙深处($10^{-16} \sim 10^{26}$ m), 可分别选用电子显微镜、扫描隧道显微镜、激光干涉仪、光学显微镜、螺旋测微器、游标卡尺、直尺、射电望远镜等不同的测量手段. 随着科学技术的不断发展, 测量方法与手段也越来越丰富, 可以测量的物理量的范围也越来越广泛, 人类对物质世界的认识也越来越深入.

测量方法的分类有许多种. 按被测量获得方法来划分, 有直接测量法、间接测量法和组合测量法; 按测量过程是否随时间变化来划分, 可分为静态测量法和动态测量法; 按测量数据是否通过对基本量的测量而得到, 可分为绝对测量法和相对测量法; 按测量技术, 可分为比较法、放大法、平衡法、补偿法、模拟法、干涉法、转换法等. 本章对按测量技术分类的几种方法做一个概括介绍.

1.1 比较法

测量就是将被测物理量与一个被选作计量标准单位的同类物理量进行比较, 找出被测量是计量单位多少倍的过程. 比较法就是将被测量与标准量进行比较而得到测量值的方法, 可见, 所有的测量广义上来讲都属于比较测量. 比较法是物理测量中最普遍、最基本、最常用的测量方法, 分为直接比较法和间接比较法.

1.1.1 直接比较法

将被测量与已知的同类物理量或标准量直接进行比较, 测出其大小的测量方法, 称为直接比较测量法. 它所使用的测量仪表通常是直读指示式仪表, 仪表刻度预先用标准量仪进行分度和校准, 它所测量的物理量一般为基本量. 例如, 用米尺、游标卡尺或螺旋测微器等测量长度, 用秒表或数字毫秒计测量时间, 用量杯测量液体体积, 用砝码在等臂天平上测量质量, 用伏特表测量电压等. 对测量人员来说, 除了将其指示值乘以测量仪器的常数或倍率外, 无须做附加的操作或计算. 直接比较法具有以下特点.

- (1) 同量纲:被测量与标准量的量纲相同。
- (2) 同时性:被测量与标准量是同时发生的,没有时间的超前或滞后。
- (3) 直接可比:被测量与标准量直接比较而得到被测量的值。

直接比较法的测量不确定度受测量仪器或量具自身测量不确定度的制约,因此,提高测量准确度的主要途径是减小仪器的测量误差。由于直接比较法的测量过程简单方便,在物理量测量中的应用较为广泛。

1.1.2 间接比较法

由于多数物理量的标准量具难以制成,无法通过直接比较法来测量,可以利用物理量之间的函数关系,先制成与被测量有关的物理量的测量仪器或装置,再利用这些仪器或装置与被测物理量进行比较。这种借助于一些中间量或将被测量进行某种变换来间接实现比较测量的方法称为间接比较法。例如,在测量待测电阻时,用万用电表可以直接给出电阻值,可视为直接测量。也可用图 1-1-1 所示的测量方法间接给出待测电阻的阻值。在

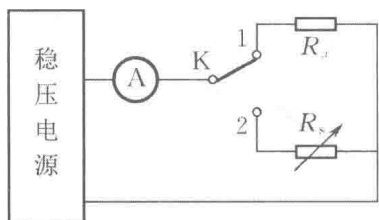


图 1-1-1 间接比较法示意图

图 1-1-1 中,保持稳压电源输出电压 U 不变,调节标准电阻 R_s 的阻值,使得开关 K 在“1”“2”位置时电流表的指示一致,可得到 $R_x = R_s = \frac{U}{I}$ 。又如,对简谐变化的交流信号的频率测量有许多种实现方式,用频谱仪、示波器等仪器均可直接测量,也可以将待测信号与可调的标准信号同时输入示波器进行合成,通过观察合成信号的李萨如图形,由标准信号得到被测信号的频率。

1.2 放 大 法

在物理量的测量中,有时由于被测量很小,导致无法被实验者或仪器直接感受和反应,如果直接用给定的某种仪器进行测量就会造成很大的误差。这种情况下可先通过一些途径将被测量放大,然后再进行测量。将物理量按照一定规律加以放大后进行测量的方法称为放大法。这种方法对微小物体或对物理量的微小变化量的测量十分有效。

1.2.1 累积放大法

在物理实验中经常会遇到对某些物理量进行单次测量时可能会产生较大的误差,如测量单摆的周期、等厚干涉相邻明条纹的间隔、纸张的厚度等,此时可将这些物理量累积放大若干倍后再进行测量,称为累积放大法(叠加放大法)。累积放大法的优点是在不改变测量性质的情况下,将被测量扩展若干倍后再进行测量,从而增加测量结果的有效数字位数,减小测量的相对误差。例如,如果用秒表来测量单摆的周期,假设单摆的周期为 $T=2.0\text{ s}$,而人操作秒表的平均反应时间为 $\Delta T=0.2\text{ s}$,则单次测量周期的相对误差为 $\frac{\Delta T}{T}=10\%$ 。但是,如果将测量单摆的周期改为测量 50 次,那么因人的反应时间而引入的相对误差会降低到

$$\frac{\Delta T}{50T} = 0.2\%.$$

累积放大法的优点是对被测物理量简单重叠,不改变测量性质但可以明显减小测量的相对误差,增加测量结果的有效位数.在使用累积放大法时应注意:① 累积放大法通常是以增加测量时间来换取测量结果有效位数的增加,这要求在测量过程中被测量不随时间变化;② 在累积测量中要避免引入新的误差因素.

1.2.2 机械放大法

利用机械部件之间的几何关系,使标准单位量在测量过程中得到放大的方法称为机械放大法.游标卡尺与螺旋测微器都是利用机械放大法进行精密测量的典型例子.以螺旋测微器为例,套在螺杆上的微分筒被分成 50 格,微分筒每转动一圈,螺杆移动 0.5 mm.每转动一格,螺杆移动 0.01 mm.如果微分筒的周长为 50 mm(即微分筒外径约为 16 mm),微分筒上每一格的弧长相当于 1 mm,这相当于螺杆移动 0.01 mm 时,在微分筒上却变化了 1 mm,即放大了 100 倍.

机械放大法的另一个典型例子是机械天平.用等臂天平称量物体质量时,如果靠眼睛判断天平的横梁是否水平,很难发现天平横梁的微小倾斜.通过一个固定于横梁且与横梁垂直的长指针,就可以将横梁微小的倾斜放大为较大的距离(或弧长)量.

1.2.3 光学放大法

常用的光学放大法有两种.一种是使被测物通过光学装置形成放大的像,以增加显示的视角,便于观察判别,从而提高测量精度,如常用的测微目镜、读数显微镜等.另一种是使用光学装置将待测微小物理量进行间接放大,通过测量放大的物理量来获得微小物理量.例如,测量微小长度和微小角度变化的光杠杆镜尺法,就是一种常用的光学放大法.

1.2.4 电学放大法

在物理实验中往往需要测量变化微弱的电信号(电流、电压或功率),或者利用微弱的电信号去控制仪器的某些结构的运行,必须用电子放大器将微弱电信号放大后才能有效地进行观察、控制和测量.电信号的放大是物理实验中最常用的技术之一,包括电压放大、电流放大、功率放大等.电信号放大作用是由三极管完成的.最基本的交流放大电路为共发射极三极管放大电路(见图 1-2-1).当微弱信号 V_i 由基极和发射极之间输入时,在输出端就可获得放大了一定倍数的电信号 V_o .由于电信号放大技术成熟且易于实现,也常将其他非电量转换为电量放大后再进行测量.例如,利用光电效应测普朗克常量的实验中,是将微弱光信号先转换为电信号再放大后进行测量;接收超声波的压电换能器是将声波的的压力信号先转换为电信号,再放大进行测量.但是,对电信号放大通常会伴随着对噪声的等效放大,信噪比没有得到改善甚至会有所降低.因此,电信号放大技术通常是与提高信号信噪比技术结合使用的.

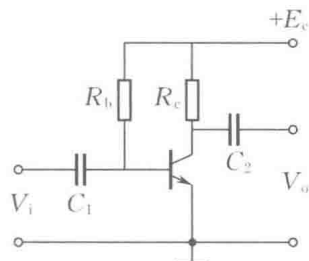


图 1-2-1 共发射极三极管放大电路

1.3 平衡法

平衡态是物理学中的一个重要概念. 在平衡态下, 许多复杂的物理现象可以用比较简单形式进行描述, 一些复杂的物理关系亦可以变得十分简明, 实验条件会保持在某一定状态, 观察会有较高的分辨率和灵敏度, 从而容易实现定性和定量的物理分析.

所谓平衡态, 其本质就是各物理量之间的差异逐步减小到零的状态. 判断测量系统是否已达到平衡态, 可以通过“零示法”测量来实现, 即在测量中, 不是研究被测物理量本身, 而是让它与一个已知物理量或相对参考量进行比较, 通过检测并使这个差值为零时, 再用已知量或相对参考量描述待测物理量. 利用平衡态测量被测物理量的方法称为平衡法. 例如, 利用等臂天平称衡时, 当天平指针处在刻度的零位或在零位左右等幅摆动时, 天平达到力矩平衡, 此时待测物体的质量和砝码的质量(作为参考量)相等; 温度计测温度是热平衡的典型例子; 惠斯通电桥测电阻亦是一个平衡法的典型例子, 属于桥式电路的一种.

1.4 补偿法

补偿测量法是通过调整一个或几个与被测物理量有已知平衡关系(或已知其值)的同类标准物理量, 去抵消(或补偿)被测物理量的作用, 使系统处于补偿状态(或平衡状态), 从而保证被测量与标准量之间具有确定的关系, 由此可得被测物理量, 这种测量方法称为补偿法. 补偿法往往要与平衡法、比较法结合使用.

如图 1-4-1 所示, 两个电池与检流计串接成闭合回路, 两个电池正极与正极相接, 负极与负极相接. 调节标准电池的电动势 E_0 的大小, 当 E_0 等于 E_x 时, 回路中没有电流通过(检流计指针指零), 这时两个电池的电动势相互补偿了, 电路处于补偿状态. 因此, 利用检流计就可判断电路是否处于补偿状态, 一旦处于补偿状态, 则 E_x 与 E_0 大小相等, 就可得到待测电池的电动势大小. 这种测量电动势(或电压)的方法就是典型的补偿法.

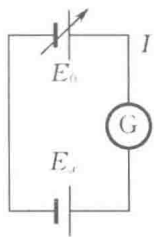


图 1-4-1 补偿法

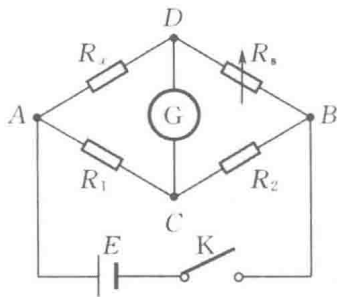


图 1-4-2 惠斯通电桥

如图 1-4-2 所示的惠斯通电桥, 图中 R_s , R_1 和 R_2 为标准电阻, R_x 为待测电阻. 调节 R_s , 当通过检流计的电流为零时, C 和 D 两点的电位相等, 桥臂上的电压相互补偿, 此时电桥处于平衡状态, 则有