

面向 21 世纪高校规划教材

大学实验物理教程

主 编 杜义林

副主编 孙文斌 凌 洁

中国科学技术大学出版社



面向 21 世纪高校规划教材

大学实验物理教程

主 编 杜义林

副主编 孙文斌 凌 洁

中国科学技术大学出版社

合 肥

内 容 提 要

本书依据教育部颁发的《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》，在多年教学改革实践的基础上，结合面向 21 世纪高等教育教学改革发展的需要而编写的。

全书分八章。38 个实验项目，由基础实验、综合应用实验、设计性实验三大板块组成，可以供不同的需要和培养目标组织教学，选择余地大。书中最后一章还编入计算机模拟物理实验，引导学生紧跟信息革命的时代步伐。全书内容的编写力求体现时代性和先进性，注重拓宽学生知识面，发展学生个人兴趣，提高学生知识创新能力，以适应时代发展的需要。

本书可以作为工科高等院校实验物理课程教材和教师教学参考书，也可供相关成人教育教学选用。

图书在版编目 (CIP) 数据

大学实验物理教程/杜义林主编. —合肥: 中国科学技术大学出版社, 2002.2
ISBN 7-312-01359-7

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 086998 号

凡购买中国科大版图书，如有白页、缺页、倒页者，由承印厂负责调换。

中国科学技术大学出版社出版

(安徽省合肥市金寨路 96 号，邮政编码：230026)

中国科学技术大学印刷厂印刷

全国新华书店经销

开本：787mm×1092mm 1/16 印张：15 字数：385 千字

2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月第 1 次印刷

印数：1—6000 册

ISBN 7-312-01359-7/O · 251

定价：20.00 元

前 言

本书依据教育部审定的《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》，在多年组织实验物理课堂教学，特别是近几年教学改革实践的基础上，通过几次自编教材的使用之后，结合高等教育发展的实际需要着力编写的。

全书分八章。38 个实验项目，分布在第五章、第六章和第七章中。全部内容分为：基础实验、综合应用实验、设计性实验三大板块，可以按不同需要和培养计划组织教学。

本书编写的特点主要体现在以下几个方面：

(1) **注重基础** 书中以一定的篇幅叙述实验物理的基本指导思想、基本实验方法、基本实验技能。其相关的基础实验占较大部分。考虑到学生在中学时期学习物理实验的实际基础，“实验指导”中比较细致地讲解了实验的关键环节和容易忽视的问题。

(2) **拓展知识面** 实验项目中对一个物理量的测量考虑几种测量方法；对一种仪器介绍几种功能和不同的使用；注意培养学生的逻辑思维，注重学习方法的引导和学习内容的延伸。

(3) **灵活性** 全书实验内容按基础、综合应用、设计三个层次划分。对于教学，可以根据学时进行内容的搭配组合；对学生，也可以根据自己的兴趣和自身对知识掌握的程度进行选修，这对扩大招生后，克服学生知识能力的差异，会起到好的作用。

(4) **实用性** 本书中的实验项目主要针对工科院校的教学特点，注意增加物性的测量。以提高学生分析问题和解决问题的能力。

(5) **时代性** 本书内容紧跟科学技术的发展，增加了综合应用的实验内容。书的最后一章是计算机模拟的物理实验，学生通过该部分内容的学习和接触，不仅可以起预习、提高真实实验的效果或复习巩固已学实验知识的作用，同时，对学生利用现代化工具建立科学实验的模拟研究的思想起到积极的影响。

本书集中了作者所在学校多年来物理实验教学改革成果，由杜义林、孙文斌、凌洁等执笔编写，其中，由杜义林编写第五章、第六章实验三十一和第七章以及第八章。由孙文斌编写第一章至第四章和附录。由凌洁编写第六章的实验十九至实验三十。全书由杜义林负责策划和统稿。本书在编写的过程中得到国内同行和安徽工业大学有关领导的大力支持，不少同室工作的老师们对书稿也提出了许多宝贵意见，同时，我们还参阅了兄弟院校的有关教材，汲取了其中的宝贵经验，作者所在单位的领导和教学管理部门，对书稿的全部内容进行了认真的审定，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，书中定有考虑不周之处，敬请指正。现代教育的发展已经不可能使一本教材多年不变，我们将紧跟时代步伐，不断深化课程教学改革，努力编写出更好更有特色的教材奉献给读者。

编 者

2001 年 10 月

学生实验守则

1. 实验前必须认真预习，明确要完成的实验目的、原理、步骤、要求、注意事项等，并写出预习报告，方可进实验室进行实验。

2. 物理实验实行每人一套仪器的学习方式，学生必须学会和养成独立思考、独自操作的习惯，努力提高自己的动手能力。

3. 学生必须在规定的时间内完成实验。因故不能做实验者，应向指导教师请假，所缺实验要在期末本课程考试前，按指定时间全部补齐，否则按学校规定不得参加课程考试。

4. 做实验要严肃认真，仔细观察，积极分析思考，如实记录实验数据。实验数据须经教师审查签字通过。实验失败或结果误差太大，应该重做。

5. 上课时，服从教师和实验室工作人员的指导。要保持安静，遵守纪律，不准动用与本实验无关的仪器设备。不准吸烟，不准随地吐痰，保持室内清洁卫生。

6. 实验中，要注意人身安全和设备安全。要爱护仪器设备，遵守操作规程。实验准备就绪后，经教师检查许可后进行实验。凡违反纪律或操作规程，损坏设备者，要填写损坏报告单，根据情节轻重、态度好坏进行教育、处分和赔偿。

7. 实验时要节约用水、电、气、药品、材料。

8. 实验结束后，整理好仪器设备、工具和周围环境，在实验卡上登记并经教师检查、实验室工作人员验收后，方可离开实验室。

9. 学生要根据要求，独立、认真地写好实验报告，并按规定及时上交。实验报告不合格或不及格者要重做。

目 次

前 言	i
学生实验守则	iii
绪 论	1
第一章 物理实验的基本方法	3
第一节 基本测量方法	3
第二节 物理实验基本调整技术	7
第三节 物理实验基本操作技术	8
第二章 测量与有效数字及误差	11
第一节 测量和有效数字	11
第二节 测量误差与误差分类	14
第三节 测量结果误差的计算	18
第三章 实验中常用的数据处理方法	23
第一节 列表法	23
第二节 图示法与图解法	23
第三节 逐差计算法	25
第四节 最小二乘法	25
第四章 常用基本仪器介绍	29
第五章 基本实验	49
实验一 刚体转动惯量的测定	49
实验二 物体密度的测定	54
实验三 气垫导轨的应用	58
实验四 液体表面张力系数的测量	64
实验五 不良导体导热系数的测定	66
实验六 电表的改装和校准	71
实验七 用惠斯通电桥测量电阻	73
实验八 用双臂电桥测量电阻温度系数	79

实验九 用电位差计测量热电偶的温差电动势	84
实验十 自组补偿电路测量电动势	88
实验十一 示波器的使用	89
实验十二 薄透镜焦距的测定	98
实验十三 光的等厚干涉测量	102
实验十四 单缝衍射	107
实验十五 分光计测量透明介质的折射率	111
实验十六 光栅衍射测量	116
实验十七 照相与暗室实验技术	120
实验十八 光电效应	130
第六章 综合与应用性实验	135
实验十九 金属杨氏弹性模量的测定	135
实验二十 固体线胀系数的测定	144
实验二十一 用霍耳效应测量磁场	147
实验二十二 铁磁材料居里点测量	153
实验二十三 热敏电阻测温仪的制作	157
实验二十四 超声波传播速度的测量	160
实验二十五 迈克耳逊干涉仪的调节与使用	165
实验二十六 微波的衍射和干涉	171
实验二十七 密立根油滴实验	177
实验二十八 夫兰克-赫兹 (F-H) 实验	183
实验二十九 全息照相	187
实验三十 光谱分析实验	190
实验三十一 传感器综合实验	194
第七章 设计性实验	202
第一节 设计性实验的性质和特点	202
第二节 实验方案的选择和仪器配套	202
第三节 设计性实验项目	205
实验三十二 谐振动的研究	205
实验三十三 用电位差计校准电表	206

实验三十四 非线性电阻特性的研究..... 207

实验三十五 线性电阻伏安法测量 209

实验三十六 金属丝的电阻率测量 209

实验三十七 光栅特性的研究 210

实验三十八 势阱、势垒模拟研究211

第八章 计算机模拟物理实验.....214

第一节 模拟实验及其作用 214

第二节 计算机模拟实验的内容组成..... 215

第三节 模拟实验运行举例 217

附录 物理量的单位及常用数据.....220

参考文献.....227

绪 论

人类改造自然的实践活动有两种：一是生产实践、二是科学实验。所谓科学实验，是人们按照一定的研究目的，借助必要的仪器设备，人为地控制或模拟自然现象，突出主要因素，对自然事物和现象进行精密、反复地观察和测试，探索其内部的规律性。这种对自然有目的、有控制的探索活动是现代科学技术发展的源泉。

物理实验不仅在其自身发展中有着重要的作用，而且对于推动自然科学、工程技术的发展也起着重要的作用。原子能、半导体和激光等最新科技成果仅仅依靠总结生产技术经验是发现不了的，只有在科学家的实验室里才会被发现。现代化的企业为了不断地改进生产过程和创新产品，都十分重视实验研究工作，都有相当规模的实验室。所以，科学实验是自然科学的根本，是工程技术的基础。特别是近代各学科相互渗透，发展了许多交叉学科，物理实验的构思、方法和技术与化学、生物学、天体学等学科相互结合，已经取得、并将取得更大的成果。我们要处理好实验与理论的关系，努力掌握科学实验技术，为服务于社会打下坚实的基础。

一、物理实验课的目的和任务

物理实验作为一门独立的基础课程，它有如下三方面的目的和任务：

（1）通过对实验现象的观察分析和对物理量的测量，使学习者掌握物理实验的基本知识、基本方法和基本技能；并能运用物理学原理、物理实验方法研究物理现象和规律，也同时加深对物理学原理的理解。

（2）培养与提高科学实验能力：

自学能力：能够自行阅读实验教材或参考资料，正确理解实验内容，在实验前做好实验准备。

动手实践能力：能够借助教材和仪器说明书，正确调整和使用常用仪器。

思维判断能力：能够运用物理学理论，对实验现象进行初步的分析和判断。

书面表达能力：能够正确记录和处理实验数据。绘制图线、分析实验结果，撰写合格的实验报告。

简单的设计能力：能够根据课题要求，确定实验方法和条件，合理选择仪器，拟定具体的实验程序。

（3）培养与提高学生从事科学实验的素质：理论联系实际和实事求是的科学作风；严肃认真的工作态度；主动进取的探索精神；遵守操作规程，爱护公共财物的优良品德；同学间相互协作、共同探索的作风。

二、物理实验过程的要求

要高效地学习、完成好一个实验，有 3 个环节必须遵循，它们是：

1. 实验预习

在实验前必须预习，弄清楚实验原理和内容，并对测量仪器和测量方法有所了解。在此环节，重点解决三个问题：**做什么**（这个实验最终要得到什么目的）；**根据什么去做**（实验课题的理论依据和实验方法）；**怎么做**（实验方案、条件、步骤和实验关键要领）。

在此基础上写好预习报告，报告内容包括：**实验名称**；**实验原理**（力求简要，如写出基本公式或画出实验线路）；**自拟好数据记录表格**。

2. 实验进行

进入实验室后，按照编组号，使用相应的实验仪器。仔细阅读仪器使用说明书或注意事项，根据事先设想好的实验步骤演练一下（不要通电），然后开始实验。若仪器发生故障时，应先自己分析原因，必要时在老师的指导下排除故障。

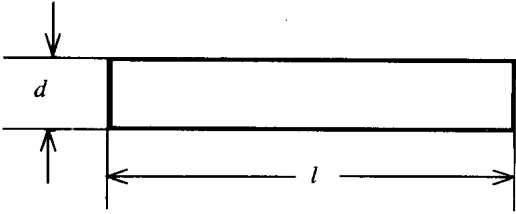


图 0-1

仔细观察物理现象和测量数据，用钢笔如实记录原始数据。另外，要记录主要仪器的名称和编号、仪器的精度和随时发现的问题，等等。

实验完毕，先将实验数据交教师审阅签字，然后整理好仪器，同时注意实验室整洁。

举例：测量圆柱体（图 0-1）的体积。

测算公式：
$$V = \frac{1}{4} \pi d^2 l$$

使用仪器：游标卡尺，精度 0.05mm，测量对象——圆柱体长度 l ；螺旋测微计，精度 0.01mm，测量对象——圆柱体直径 d 。

测量数据记录：

游标卡尺的零点读数 0.00mm、螺旋测微计的零点读数 0.010mm。测量结果列于下表。

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均值	修正值
$d(\text{mm})$	4.123	4.129	4.118	4.124	4.120	4.125	4.120			4.123	4.133
$l(\text{cm})$	9.725	9.720	9.720	9.725						9.723	9.723

注：单位统一写在前栏；发现错误不要涂改；小数点后尾数是“0”也要记上；记录表格中应留有余地，以备补充数据。

3. 写实验报告

这是对实验全过程的总结和深入理解的一个环节，应独立完成。内容包括：**实验名称**；**实验目的**；**实验原理**；**实验仪器**（标明仪器的规格和编号）；**实验步骤**（自己实际操作过程）；**数据处理**（误差分析）；**实验结果讨论**。

实验报告应力求文句通顺、简明扼要，把分析问题、解决问题能力放在重要地位。

第一章 物理实验的基本方法

第一节 基本测量方法

物理测量是泛指以物理理论为依据，以实验仪器和装置及实验技术为手段进行测量的过程。其内容非常广泛，它包括对力学量、分子物理与热学量、电学量和光学量的测量等。测量的方法也很多，按测量方法分类，可分为直接测量、间接测量、组合测量等；按测量内容分类，可分为电学量测量和非电学量测量两类；根据测量过程中被测物理量是否随时间的变化，又可分为静态测量和动态测量等等。在这里，仅对物理实验中常用的几种基本测量方法作扼要的介绍。

一、比较法

比较法是物理实验中最普遍、最基本的测量方法，它是将待测物理量与选作标准单位的物理量进行比较而得到测量值的。例如，用米尺来测量某一物体的长度就是最简单的比较法，其中最小分度毫米就是作为比较用的“标准单位”。在比较法中，被选作比较用的标准单位与待测量应该是同类物理量。

在直接比较中，标准单位一般可选标准量具。这样，测量的准确度主要决定于标准量具的准确度。

有些物理量难于制成标准量具，因而先制成与标准量值相关的仪器，再用这些仪器与待测量进行比较，这种仪器也可称为量具，比如温度计、电表等。

有时，光有标准量具还不够，还要配置“比较系统”，使被测量和标准量具能够实现比较。比如只有标准电池还不能测量电压，还需要由比较电阻等附属装置组成电位差计来测量电压，这些装置便称为比较系统。

在测量中常用的替代法、置换法，其实也是比较法的一种，它们的特点是异时比较。实际上，所有物理量的测量都是将待测量与标准量进行比较的过程。只不过比较的形式不那么明显而已。

二、放大法

在物理实验的测量中，有时由于被测量过分小，以至无法被实验者或仪器直接感觉和反应，这时可以先通过某种途径将被测量放大，然后再进行测量。放大被测量所用的原理和方法称为放大法。放大法有光学放大、电放大、积累放大几种。

光学放大测量：例如，在实验中可利用光杠杆原理把被测长度的变化量进行放大，使测量微小长度的变化成为可行，并能达到一定的测量精确度。

光杠杆法测量微小长度变化的装置原理见《金属杨氏模量测量》实验。 ΔL 是一个微小的长度变化量，当平面镜与标尺距离 D 远大于光杠杆臂长 b 后，经光杠杆转换后的变化量 ΔR 却是一个较大的量，可在标尺上直接读出。其关系式为：

$$\Delta R = \frac{2D}{b} \Delta L$$

其中， $\frac{2D}{b}$ 称为光杠杆装置的放大倍数。

一般在实验中 b 为 4~8cm， D 为 1~2m，这样，放大倍数可达到 25~100 倍。

另一种光放大是使被测物通过光学仪器形成放大像，便于观察判别，如采用测微目镜、读数显微镜等。

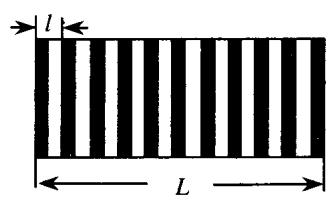


图 1-1-1

电放大测量：要对微弱的电信号（电压、电流、功率）进行有效的测量，借助于电路或电子仪器对微弱的电信号进行测量，是属于电放大法。

积累放大测量：我们要测量如图 1-1-1 所示的干涉条纹间距 l ， l 的数量级为 10^{-2} mm，为了减少测量的误差，一般不是逐地去测量，而是测量若干 (n) 个条纹总间距 $L=nl$ ，这就是积累放大法。

三、换测法

在物理学中，许多物理量之间存在着多种效应和关系，故可有各种不同的换测方法。这也是实验最富有启发性和开创性的一个方面。换测法大致可分为参量换测法和能量换测法两大类。

参量换测法：利用各种参量的变换及其变化的相互关系，以达到测量某一物理量的目的。这种测量方法，称参量换测法。该方法在物理实验中的应用是很多的。例如，最常见的玻璃温度计，就利用在一定范围内材料（水银、酒精等）的热膨胀与温度的线性关系，将温度测量转换为长度测量。

能量换测法：能量换测法是指某种形式的物理量，通过能量变换器，变成另一种形式物理量的测量方法。系统的主要部分由传感器和测量装置组成，传感器也就是能量变换器。

传感器种类很多，从原则上讲，所有物理量，比如尺寸、形状、速度、加速度、振动参量、光洁度等力学量以及湿度、压力、流量、湿度、气体成分等热学量，都总能找到与之相应的传感器，从而将这些物理量转换为其他信号进行测量。下面介绍几种比较典型的能量转换器的换测法。

1. 热电偶

热电偶是根据两种不同材料接触时会产生接触电动势的效应制造的。如图 1-1-2 中，两种不同金属 P ， Q 在 A ， B 两处相接，则在接触面 A 和 B 处均会产生接触电动势。这个电动势的大小和接触面的温度有关。当 A ， B 两处的温度相同时，电表 V 上没有显示，因为两个接触电动势大小相等，方向相反；当 A ， B 两处的温度不等时，高温处接触电动势较大，在电表 V 内便有电势差显

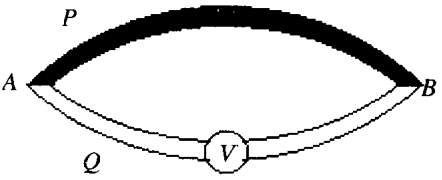


图 1-1-2 温差电动势产生原理

示。若已知一处温度，便可以查阅早先制好的经验表格或经验曲线，从而找出另一处的温度。

热电偶构造简单，测量温度的准确度高，测量范围宽，灵敏度高，在高、低温区应用均很广泛。

2. 压电传感器

压电传感器是一种典型的自发电式传感器。它是以某些晶体受力后，其表面产生电荷的压电效应为转换原理的传感器。压电晶体是力—电转换元件。它可以测量最终能变换为力的那些物理量，例如力、压力、加速度、振动等。

压电传感器具有使用频率宽、灵敏度高、信噪比高、结构简单、工作可靠、重量轻等优点。

3. 光电传感器

光电传感器是将光能转换成电学量的一种换能器，其变换的物理原理是光电效应。利用光电效应制造的光电管、光电倍增管等光电转换器件可以由光照后产生的电流或电压来测定相对光强等。光敏电阻、光导管是用来测量光束中某些频率光强的器件，它们所依据的原理是受某种光的照射后，电阻率会发生变化。而光电池等器件则是受到光照后会产生与光强有一定关系的电动势，从而可用测量电动势的办法来测量入射光强。

4. 霍耳元件传感器

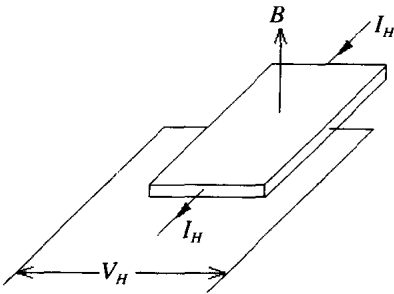


图 1-1-3 霍乐片示意图

霍耳元件传感器是利用半导体的霍耳效应制成的一种传感元件，其原理如图 1-1-3 所示。若在半导体薄片的两端通以控制电流 I_H ，在薄片的垂直方向上施加磁感应强度为 B 的磁场，那么，在垂直于电流和磁场的方向上将产生电动势 V_H ，这种现象称为霍耳效应。由理论推导，霍耳电动势 $V_H = K_H I_H B$ ，式中， K_H 称为霍耳元件的灵敏度或霍耳系数。上式表明霍耳电动势 V_H 的大小与电流 I_H 和磁感应强度 B 的大小成正比，其方向与 I_H 及 B 的方向有关。用霍耳元件测量磁场时，需要固定和控制电流，由霍耳电动势的大小和方向便可测得磁感应强度的大小和方向。

四、补偿法

补偿法在实验中常被使用，它定义如下：某系统受某种作用产生 A 效应，受另一种同类作用产生 B 效应，如果由于 B 效应的存在而使 A 效应显示不出来，就叫做 B 对 A 进行了补偿。

完整的补偿测量系统由待测装置、补偿装置、测量装置和指零装置组成。待测装置产生待测效应，要求待测量尽量稳定，便于补偿。补偿装置产生补偿效应，要求补偿量值准确达到设计的精度。测量装置可将待测量与补偿量联系起来进行比较。指零装置是一个比较系统，它将显示出待测量与补偿量比较的结果。比较方法可分为零示法和差示法两种。零示法称完全补偿，差示法称不完全补偿。一般都采取零示法，这是因为人的眼

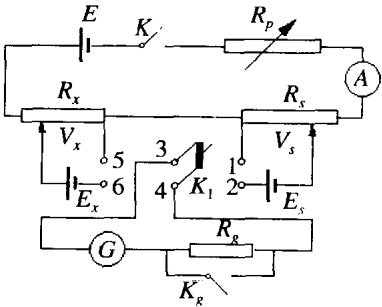


图 1-1-4 电位差计原理图

睛对刻线重合比刻线不重合而需估读的判断能力要高出 10 倍左右。所以，零示法可以提高补偿测量精度。

电位差计是典型的补偿电路应用。其原理如图 1-1-4。 E_x 为被测电动势， E_s 为标准电池，作为补偿装置。 R_x ， R_s 均是可变的电阻（做比较电阻用），它连同电源 E 、可变电阻 R_p 构成测量装置，有时也可以用电流表 A 监控测量电路中电流的大小。由检流计 G 以及 R_g ， K_g 组成指零装置。

当由 R_p 调节的电流 I 流过 R_x ， R_s 时，在其上便分别产生电压，可以引出一部分电压与 E_s 和 E_x 补偿，首先将双向双掷开关 K_1 掷向 E_s 一侧， R_s 、 E_s 、指零装置组成一回路，调节 R_s 使检流计中无电流显示，于是 R_s 上的电压 V_s 与 E_s 补偿，即 $V_s = E_s$ ，而 $V_s = IR'_s$ ，即 $E_s = IR'_s$ 。再将 K_1 掷向 E_x 一边，在保证 I 不变的情况下，调节 R_x 再使检流计 G 中无电流显示，于是 R_x 上的电压 V_x 与 E_x 补偿。因 $V_x = IR'_x$ ，便有：

$$\frac{E_x}{E_s} = \frac{V_x}{V_s} = \frac{IR'_x}{IR'_s}$$

由于过程中电流 I 不变，得：

$$E_x = \frac{R'_x}{R'_s} \cdot E_s$$

因为标准电池 E_s 和标准电阻 R_x 、 R_s 的精度都很高，再配上高精度的检流计 G ，电位差计便具有很高的测量精度。

电位差计有如下优点：

(1) 准确度高。因为精密电阻可以做得很均匀、准确，标准电池的电动势也准确、稳定，检流计很灵敏，电源很稳定。

(2) 测量范围宽。可测量电压的微小变化。学生式电位差计的低量程档可测量到 10^{-6}V 。

(3) “内阻”高。不影响待测电路。用电位差计测量时，补偿回路中电流为 0，故可方便地测出电源电动势。

五、模拟法

模拟法是指不直接研究某物理现象或物理过程的本身，而是用与该物理现象或过程相似的模型来进行研究的一种方法。许多难以测量，甚至无法测量的物理量，可以通过模拟法进行。不言而喻，模拟法的基本条件是模拟量与被模拟量必须是等效或类似的。模拟法可以分为物理模拟和数学模拟两个类型。物理模拟就是保持同一物理本质的模拟。例如，在风洞里，用大型电扇吹动空气流动，产生具有一定流速的人造风，将飞机模型静止置于其中，调整好模型与原型尺寸比例以及风的速度，便可用模型动力学参量的测量来代替原形动力学参量的测量。数学模拟又称类比，它在物理形式上和实质上均毫无共同之处。数学模拟就是把两个不同本质的物理现象和过程，用同一个数学形式来描述。

比如常用恒稳电流场来模拟静电场。模拟法被广泛地应用于科学实验和生产实践中，有时既实用方便，又简单经济。

以上所述五种基本测量方法，在物理实验中得到了广泛的应用。应该指出，有时各种方法在物理实验中往往是相互联系、综合使用的。

第二节 物理实验基本调整技术

一、零位的调整

在测量前应首先检查各测量仪器的零位是否正确，不要认为在出厂时都已校准好。实际上，由于搬运、使用磨损或环境条件的不同等原因，其零位会发生变化。对于有偏差的零位要进行调整或校准，否则，将对测量结果引入系统误差。

零位校准的方法，应根据不同的仪器采用不同的方法。对有校准器的仪器，如电表等，则应调整仪器本身所带的校准器，使仪器处于零位。有的仪器可以使用专用工具（如小扳手）进行零位调整。对于电路调零可以通过调整电位器进行（称电器调零），如开尔文电桥检流计放大器的电器调零是通过调整 W 旋钮。对于没有进行调整或者不能进行调整零位的仪器，在测量前应先记下初读数，以便在测量结果中加以修正，如螺旋测微计等。

二、水平、铅直的调整

在实验中，有些仪器需要进行水平或铅直的调整，如平台的水平或支柱的铅直状态等。需要调整水平或铅直状态的实验装置，一般在平台或支柱上装水准仪或悬锤，调整时只要调整底座上的三个底脚螺丝使水准仪中的气泡居中，或使悬锤的锤尖对准底座上的座尖即可，如刚体转动实验仪平台水平的调整和天平立柱铅直的调整等。

对没有配置水平仪或悬锤的仪器，需要调水平或铅直时，可利用自身的装置进行调整，如焦利秤可以通过调整底脚螺丝使悬镜处在玻璃管的中间；对扬氏模量仪，可以通过调整底脚螺丝使砝码托处在两立柱的中间，以达到立柱的铅直。

对于既没有配置水平仪又不能利用自身装置调整的仪器，可取一长方形的水准仪，先放在与任意两底脚边线平行的方位，调节该两底脚螺丝使气泡居中，然后再将水准仪放在垂直的方位，调节另一底脚螺丝使气泡居中，再反复进行调节，逐次逼近，直至水准仪置于任意位置时气泡都居中，这时立柱即处于铅直状态。

三、视差的消除

在测量读数时，经常会遇到读数标线（指针、叉丝）和标度尺（盘）不重合的情况，例如，电表的指针和标度面总是离开一定的距离，当眼睛在不同位置观察时（如侧视），读得指示值就会有一定的差异，这就是视差。有无视差可根据观察时人的眼睛稍稍移动，标线与标尺刻度是否有相对运动来判断。为了消除视差，应做到正面垂直观察。对有反射镜的电表读数时，人的视线应铅直正视，使指针与刻度槽下面平面镜中的像重叠，读出标尺上无视差的读数才是正确的方法。

用光学仪器进行非接触式测量时，常用到带有叉丝的测微目镜、望远镜或读数显微镜。它们的共同的特点是在目镜焦平面附近装有一个十字叉丝（或带有刻度的玻璃分划线），通过旋转（或推拉）目镜，使十字叉丝处在目镜的焦平面上，此时经目镜看叉丝很清晰。若被观察物经物镜后成像在叉丝位置处，人眼经目镜看叉丝与物体的虚像都在明视距离的同一平面上，这样便无视差。若有视差，只要仔细调节目镜（连同叉丝）与物镜之间的距离，使被

观察物体从物镜后成像在叉丝所在的平面内，即可消除视差。这时，人眼稍微移动时，叉丝和物像无相对运动（如杨氏模量实验中的望远镜调节）。

四、等高共轴的调整

等高共轴的调整在光具座上应用激光做实验时，先以导轨为准，调节激光束的方向平行于导轨。用一光屏沿导轨平稳地移动较长一段距离，若屏上激光斑点的中心位置不变，则表明光束的方向已平行于导轨。再以激光束为准，依次放置并调节各元件的高低和左右，使光束经过各元件后光斑的中心仍在原来的位置。

在光具座上采用普通光源做实验时，应以光具座的导轨为准。先用目测法进行粗调，使光源、物体、透镜和光屏的中心大致等高共线，各元件均不倾斜。再利用光学系统本身，依据透镜或成像规律进行细调。例如，由共轭法细调时，使物与屏的间距大于 4 倍焦距，逐步将凸透镜从物移向屏，在移动过程中，屏上将先后获得一次大的和一次小的清晰的像，若两次成像的中心重合，即表示已达到等高共轴的要求。

在安排二维光路（如全息照像光路）时，应以平台面为准，调激光束的俯仰，使光束平行于台面。当光屏在平台上滑动较长一段距离时，屏上光斑的中心应保持同一高度，放置其它元件时，应使经反射或折射后的光束保持原高度，经扩束镜形成的光锥轴线也保持原高度。

第三节 物理实验基本操作技术

一、电学实验的基本操作

1. 仪器的布局

做电学实验，合理地布局仪器，是顺利做好实验的重要一环。仪器布局得当，可使接线顺手，操作方便，不易出错，即使出了错也容易查出。仪器布局的原则是：为了连线方便，一般各仪器应按照电路图中的位置摆好。但是，为了便于操作，易于观察，保证安全，有的仪器不一定完全按照电路图中的位置对应布置。例如，经常要调节或读数的仪器可放在操作者近处，电源可放在靠后，电源开关前不要放东西，以防万一电路出故障时可以及时断开电源。仪器总体摆放要整齐。

2. 电路的连接

电路连接是电磁学实验中的一项基本功。在充分理解电路图的原理和安排好仪器布局之

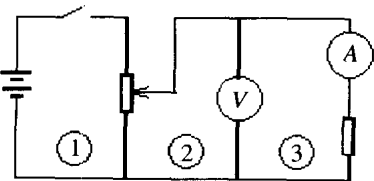


图 1-3-1 伏安法测电阻

后，即可开始接线。接线一般先从电源的正极开始（注意：电源开关要断开），依照电路原理图，从高电位到低电位的顺序连接。如果电路比较复杂，可分成几个回路，连好一个回路再连另一个回路，切忌乱连！如图 1-3-1 所示的电路，我们可分成三个回路，由①到③逐次连接。连线时要注意电路中的等位点，但不宜在一个接线柱上连接过多的导线，否则，容易造成接触不良或接头脱落等。连线要整

齐，接头要旋紧（但不要旋死）。连完电路后，要首先自己检查一遍，再请教师检查，确保

正确无误后才可通电试验。

3. 通电试验

通电之前要先把各变阻器调至安全位置，限流器的阻值要调至最大，分压器要调到输出电压最小的位置。不知电压、电流大约数值时，应取电表最大量程。检流计的保护电阻应滑至最大位置。在可能的情况下，应事先预估各表针的正常偏转位置。

接通电源时应手握电源开关，充分利用视觉和嗅觉，注视全部仪器，发现表针有反向偏转或超出量程，电路打火、冒烟，出现焦臭气味或特殊响声等异常现象时，应立即切断电源，重新检查。在排除故障前千万不可再通电。实验过程中要改接电路时，必须断开电源。

4. 断电和整理仪器

实验完后不应忙于拆线路，应先分析数据是否合理，有无漏测或可疑数据，必要时要及时重测或补测。在实验课上须经老师检查，确认实验数据无误后方可拆线。拆线前应首先把分压器和限流器再度调至安全位置，以减小电压和电流，避免断电时电表剧烈打钉或交流元件产生反向感应电压击穿其它元件或仪器仪表。然后切断电源开关，开始拆线。拆线应从电源开始，这样可以防止万一忘记关电源时，因自由导线短路而引起烧坏仪器、触电、起火等事故。拆下的导线整理好，再将仪器、仪表摆放整齐。

5. 安全用电

安全用电是实验中必须十分注意的问题。要预防触电，就必须不直接接触高于安全电压值（36V）的带电体，特别不能用双手触及电位不同的带电体。实验使用的电源通常是 220V 的交流电和 0~24V 的直流电，但有的实验电压高达 1 万伏以上。所以在做电学实验过程中要特别注意人身安全，谨防触电事故发生。实验者应做到：

（1）接线、拆线时，必须在断电状态下进行。

（2）操作时，人体不要触及仪器的高压带电部位。

（3）在带电情况下操作时，凡是不必用双手操作时，尽可能用单手操作，以减小触电危险。

（4）在做高压实验时，必须采取一定的保护措施。例如，操作人员要站在胶皮绝缘垫上进行操作，机壳接地等。

二、光学实验的基本操作

1. 光学实验的三种校准方法

（1）**自校准**：自校准是利用自身的设置来校准自身状态的一种方法。例如，分光计上的自准望远镜就是通过自身装置的调节达到标准状态，即适合观察平行光，其转轴又垂直于仪器转轴。

（2）**被校准**：被校准就是由一个作为基准的仪器校验待校的仪器。例如，分光计上的平行光管是以校准后的自准望远镜为基准进行校准，使之出射平行光就是被校过程。被校准是应用最多的校准方法。在光学系统调节过程中，首先弄清哪个是基准，对谁进行调节，应该出现什么现象，然后再动手进行操作，就会取得事半功倍的效果。

（3）**互校准**：互校准是指待校准的双方均未达到标准状态，而又根据二者之间的关系进行检验的调整方法。比如在分光计调整中，一边调望远镜的平行度，一边调反射镜的角度，使望远镜轴线、载物台平面均垂直于分光计的主轴就是一例。因为在互校准的过程中，