



“十三五”高职高专规划教材

大学物理 实验

DAXUE WULI

SHIYAN

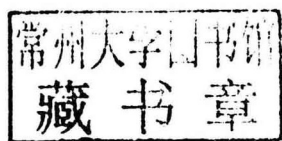
主编 任修红 艾国利 杨能彪



电子科技大学出版社

大学物理实验

任修红 艾国利 杨能彪 主编



电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理实验 / 任修红, 艾国利, 杨能彪主编. —
成都: 电子科技大学出版社, 2017. 5

ISBN 978 - 7 - 5647 - 4599 - 8

①大… II. ①任… ②艾… ③杨… 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 (2017) 第 127523 号

大学物理实验

任修红 艾国利 杨能彪 主编

策划编辑 万晓桐

责任编辑 万晓桐

出版发行 电子科技大学出版社

成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦九楼 邮编 610051

主 页 www.uestcp.com.cn

服务电话 028 - 83203399

邮购电话 028 - 83201495

印 刷 四川煤田地质制图印刷厂

成品尺寸 170mm × 240mm

印 张 6.5

字 数 86 千字

版 次 2017 年 5 月第一版

印 次 2017 年 5 月第一次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5647 - 4599 - 8

定 价 18.00 元

版权所有, 侵权必究

前 言

本书以编者所在学院工程类专业学生大学物理课程中分组实验教学内容多年所用讲义改编而成。作为工程类专业“大学物理实验”教学教材或参考指导书，有较强的实用性与可操作指导性。

本书以大学物理教学目标——“提升学生科学素养”和高职专科教育总目标——“培养工程技术型人才”为指导，以本院大学物理实验教学改革项目研究和大学物理实验室建设为前提，在多年的高职工程类专业大学物理实验教学实践经验总结的基础上编写而成。

本书内容分为两篇。第一篇是实验的相关知识，基于中学物理实验教学不系统、数学处理缺失等情况，对实验的基本过程、方法及数据处理相关知识和理论等进行了较完整的介绍，以期通过此部分的学习，学生对实验的全过程，特别是实验后数据的计算与整理及分析有一个较完整的认识与理解。

第二篇是分组实验内容，此部分列举了大学物理中十个常见的力、热、声、光、电学基础实验，主要介绍了实验目标、原理、内容要求、操作步骤、数据参考表格、误差公式及相关仪器说明等，此部分内容以本院已有仪器为前提。

考虑到高职学生的基础与理解能力，本书在语言表述上，用简单直白的语言进行阐述；每个实验操作步骤具体简明，学生认真阅读严格按步骤进行操作，即可独立完成实验；结合实验教学课时量不足，在数据处理部分，对测量值不确定度的评价进行了简化处理，对一次测量只要求考虑仪

器误差，对多次测量要求计算算术平均偏差或标准差，介于学生的数学基础较差，列出了实验中间接测量误差计算公式。

本书由任修红、艾国利、杨能彪主编，田宜驰、张小芳参与编写。由任修红拟定编写提纲、组织研讨编写内容、最后审稿，并负责第一篇内容的编写；杨能彪负责实验一至实验五的编写，艾国利负责实验六至实验十的编写，田宜驰、张小芳参与各部分内容编写的讨论工作及审稿工作，以上参编者还分工对十个实验，按所编写的内容要求进行了试做。

限于认识与水平的局限，难免有不足之处，恳请使用者和专家指正。

编者

2017 年 4 月

目 录

CONTENTS

////////////////

第 1 篇 物理实验的相关知识	(1)
第 1 节 大学物理实验的目标	(1)
第 2 节 物理实验的过程	(2)
第 3 节 测量相关概念及物理测量方法	(5)
第 4 节 实验数据的计算与处理	(11)
第 2 篇 分组实验内容	(23)
实验一 长度测量	(23)
实验二 单摆振动规律的研究	(27)
实验三 用三线摆测定物体的转动惯量	(31)
实验四 用动态悬挂法测定杨氏模量	(39)
实验五 牛顿环实验	(45)
实验六 金属线膨胀系数的测量	(50)
实验七 用电桥测电阻	(58)
实验八 电流表与电压表的改装与校准实验 ...	(64)
实验九 空气、液体、固体介质的声速测量 ...	(72)
实验十 霍尔法测线圈磁场	(87)
参考资料	(100)

>>> 第1篇 物理实验的相关知识 <<<

第1节 大学物理实验的目标

一、物理实验教学的意义

物理学是以实验为基础的科学。物理规律的发现和物理理论的建立，都必须以严格的物理实验为基础，并在实验中检验和修正。所以可以说实验是理论之源，又是检验理论真理性的标准。

物理实验是技术之本，也是理论付诸应用的必由之路。而物理实验中所使用的各种方法是最基本最有效的科学研究方法，是其他科学与技术研究可借鉴的最基本的方法。

通过物理实验的教与学，可提高学生对于物理现象与规律的理解，对物理世界的数量关系有较深入的认识。物理实验教学是培养学生实验基本能力，使用相关测量仪器技能的基本途径。因此物理实验教学是学习物理学的重要内容与途径，是大学物理教学必不可少的基本教学内容。

二、物理实验的教学目标

根据大学物理教学总目标与高中教育的实际，确立大学物理实验教学的目标为以下三个方面。

1. 学生加深对物理理论知识及应用的理解决

以期通过大学物理分组实验教学，增加学生对物理现象与问题的感性



认知，加深对物理知识与规律的理解。

2. 学生的科学实验能力得到加强与提高

通过学生自主完成实验，在观察实验现象、规范操作测量仪器、如实准确记录处理实验数据、分析判断结果、撰写规范的实验报告等方面得到一定的训练，从而加强与提高学生的科学实验能力。

3. 学生的情感态度价值观得到养成与提升

通过学生自主与合作开展实验，学生在实事求是的科学作风、严肃认真的科学态度，主动开展研究的探索精神，遵守纪律、团结协作和爱护公物等方面获得体验，并形成良好的情感态度与价值观。

第2节 物理实验的过程

一个完整的实验过程包括实验前的预习、实验过程、实验后的数据处理与分析三个主要阶段。

1. 实验预习

为提高实验效率和保证实验目标的达成，学生需认真进行预习，做好实验开展的必要准备工作。预习主要是通过相关实验资料学习和提前到实验室学习了解实验中所需用的实验仪器，完成以下任务。

(1) 内容与目标：明确实验的内容及其目标。

(2) 理论准备：理解实验的理论依据及所需的条件。

(3) 仪器选择：根据测量量及其范围，选择合适的测量仪器。对间接测量仪器的选择还需注意多个测量仪器误差匹配。

(4) 观测准备：明确要进行观察的现象及要进行直接和间接测量的物

理量，并设计合理规范的记录表格。

2. 实验过程（仪器安装与调试、观测与记录）

（1）实验仪器的安装和调试

正确安装与调整仪器设备，是保证测量准确性和高精度的重要前提，所以实验开始就要按有关仪器使用说明，正确安装与调整仪器设备。

物理实验仪器安装与调试的内容和方法：

- 仪器初态和安全位置；
- 零位（零点）调整；
- 水平、铅直调整；
- 消除视差；
- 调焦；
- 等高共轴调整；
- 消除回程误差；
- 逐次逼近调整；
- 回路接线法；
- 跃接法。

（2）实验观察

测量前先对调试好的仪器或实验现象进行仔细观察与对比；物理实验过程中对出现的现象及规律进行仔细观察与记录。

（3）实验测量

用适合的测量工具对调试好的物理量进行测量，按正确的读数方法读出被测量的原始数据，若是刻度读数，一般估读到最小分度 $1/10$ 或 $1/2$ ；若是数字化的读数，要读完整相关有效数字，不能主观减或加有效数字；有些测量数据的测得需两人或多人合作，则需在实验者间做好配合以保证测量数据的正确。



(4) 实验记录

记录的内容：实验相关的信息（如时间、地点、合作者、室温、气压、仪器及其编号、简图），简单的过程、观测的现象及发现的问题，测量的数据清单等。

记录的要求及注意事项：要记录得简单整洁、清楚，一般原始数据记录在表格中，要注明单位；测量时从仪器上读出数值后，要立即进行记录，减少差错；出现异常数据时，要重新测量，看是否因差错引起。

3. 实验后的数据处理与分析

(1) 数据处理

测量结束后要尽快整理好数据，计算出结果及测量的不确定度，根据测量的需要绘出必要的图线，若出现问题要及时进行必要的重新测量或补充测量。

(2) 分析讨论

分析讨论是实验的重要环节，是培养分析能力的重要途径。讨论的内容有：实验的原理、方法、仪器中的精妙之处；观察到什么反常现象，遇到过什么困难，提出可供别人借鉴的内容或方法；实验系统误差产生的原因，怎样改进实验可减少误差；对改进实验有何建议等等。

4. 实验报告

实验报告是实验工作的记录与总结，也是实验成果的分享与交流的文本形式。

(1) 实验报告的内容

实验目的、原理及使用仪器设备、实验步骤、实验观测的现象及原始数据、计算结果、绘制的图线、误差分析和计算、给出测量结果，分析影响实验结果的原因、回答问题及提出改进实验的设想等。

(2) 实验报告的要求

科学实验报告要求用简明、准确的语言将实验情况及结果完整地表达出来。并尽量做到语言通顺，字迹端正，图表规范，结果正确，讨论认真，及时完成。

第3节 测量相关概念及物理测量方法

一、测量及分类

以确定被测对象的量值为目标的操作称为测量。

1. 直接测量

把待测物理量 X 与仪器或标准量具比较而直接获取量值的方法。例如，用米尺测工件的高、用电压表测某段电路的电压、用秒表测单摆的周期、用温度计测温度等，均是直接测量。

2. 间接测量

通过测量与待测量有函数关系的其他物理量，然后通过函数计算出被测量量值的测量。例如，通过测柱体的直径与高，计算柱体的体积，体积就是间接测量量；又如通过测单摆的摆长与周期，计算重力加速度，加速度就是间接测量量。

二、测量方法

常用的物理测量方法是比较法、放大法、补偿法、替换法、交换法、模拟法，转换测量（非电转换为电测，非光转换为光测），干涉计量等等。



1. 比较法

比较法是指将被测量与相关标准量进行直接或间接比较，得到测量值的方法。如米尺、天平、电表都是根据比较法设计而成的仪器。

1) 直读法

由标度尺示值或数字显示窗示值直接读出被测值，称为直读法。如米尺测长度，电流表测电流强度，电子秒表测时间等等。

直读法操作简便实用，测量精度取决于标准量（或测量仪器）的精度。因此标准量具和测量仪器一定要定期校准，还要按照规定条件使用，否则就会产生较大系统误差。

2) 平衡法（补偿法或示零法）

把标准值 S 选择或调节到与待测物理量 x 值相等，用于抵消（或补偿）待测物理量，使系统处于平衡（或补偿）状态。因处于平衡状态的测量系统，待测量物理量 x 与标准值 S 具有确定的关系，因此测量系统处于平衡时，即可通过 S 求得 x ，这种测量方法称为平衡法（补偿法）。此法运用广泛，如等臂天平称重，电桥测电阻，电位差计测电压等。

平衡法的测量系统中包含有标准量具和平衡器（或示零器），在测量过程中，待测物理量 x 与标准量 S 直接比较，调整标准量 S ，使 S 与 x 之差为零。此法的测量过程就是调节平衡（或补偿）的过程。

此法的优点是：可以免去一些附加的系统误差，当系统具有高精度的标准量具和平衡指示器时，可获得较高的分辨率、灵敏度及测量的精确度。

3) 交换法

所谓交换法，如用天平称量物体质量时，第一次称量时在左盘放置被测物体，右盘放置砝码，调平天平，记下砝码值；第二次被测物体与砝码交换放置，再称量；取两次称量结果的几何平均值作为被测质量的测量结果，以消除可能存在的天平不等臂引起的误差。这一类的测法方法称为交换法。

4) 替换法

所谓替换法，如在测量电表内阻时，在测量电路中接入待测电表，调节相关电源或滑动电阻器，使电路中电流为某一值；再用可调电阻箱替换待测电表，保持电路其他参量不变，调电阻箱，重新使电路中的电流为前一值，则电阻箱示值即为被测电阻的阻值，这一类测量方法称为替代法。此法可消除系统误差，提高测量的精确度。

5) 积累放大法

在物理实验中常常可能遇到这样一些问题，受测量仪器精度的限制，或受人的反应时间的限制，单次测量的误差很大或无法测出待测量的有用信息，这就需要采用累积放大法来进行测量。例如：单摆实验的周期测量。

常用的放大法还有机械放大、电学放大、光学放大等方法。比如螺旋测微计就是把细距放大为较大的周长进行测长（机械放大）；放大镜、显微镜、光杠杆等是光学放大方法。

2. 模拟法

对不易测量的量，用对模型的测量代替对原型的测量。例如：静电场模拟法。常用的模拟法有几何模拟、物理模拟、数学模拟法等。

3. 转换法

转换测量法是根据物理量之间的各种效应和定量函数关系，利用变换原理将不能或不易测量的待测物理量转换成能测或易测的物理量进行测量，然后再求待测物理量。实际上就是间接测量的具体应用。

4. 光干涉计量法

利用光干涉现象进行的精密计算，因光的干涉加强与减弱相差半个波长，而可见光为 $390 \sim 770 \text{ nm}$ ，所以干涉计量可达到小于微米的数量级，所以光干涉计量法是现代精密计量的基础。



三、误差

1. 真值与误差

被测量实际客观存在的值，称为真值。因任何一个测量值，均不能确定是被测量的真值。实验中测量值与真值偏差，称为误差。任何测量都存在误差，误差是评定测量不确定度必不可少的数据。

2. 绝对误差与相对误差

误差反映测量值偏离真值的大小，亦称为绝对误差。其大小表明测量结果偏离真值的程度，即反映测量结果的绝对准确程度。

绝对误差与测量真值的比 $E_r = \Delta x / \bar{x}$ ，称为相对误差。其大小一般用百分数表示，表示误差所占约定真值的百分比，反映测量结果的相对准确程度。

四、系统误差与偶然误差

测量误差按产生误差的原因，可分为系统误差与偶然误差。

1. 系统误差

由系统原因引起的误差称为系统误差，系统的原因有以下几方面。

- ① 仪器的固有缺陷（刻度不准、零点没调好、砝码未经校正）。
- ② 环境的改变（如温度、压强等的影响）。
- ③ 个人习惯与偏向（有人读数总是偏高，而有人读数总是偏低）。
- ④ 理论和方法的近似性等。

按对系统误差的表现形式可分为：定值系统误差和变值系统误差。如千分表未校准零位所产生的系统误差即为定值系统误差。

按对系统误差掌握的程度可分为：已定系统误差和未定系统误差。已定系统误差在测量过程中能确定其大小和方向，在处理时可以对测量

结果进行修正。未定系统误差在测量过程中不能确定其大小和方向，在处理时，常用估计误差的方法得出，并将其归入不确定度中的 B 类分量处理。

增加测量次数系统误差不能减小，只能从方法、理论、仪器等方法的改进与修正来消除或减小。例如：测量仪器要求铅直或水平放置才能正常工作的，则应在测量前做好调整工作；为消除仪器仪表之间相互干扰，应在测量布局上正确安排、合理布局；定期对仪器仪表进行校验；稳定温度、压力等外界条件，减小振动后再进行测量。

2. 偶然误差（随机误差）

由偶然原因引起的误差。其特征是随机性，亦称随机误差。随着测量次数的增多，遵守统计规律。可能的来源是多方面的，主要有以下几个方面。

①人们的感官（如听觉、视觉、触觉）分辨能力不尽相同，表现为估读能力差异。

②实验过程受到周围环境（如温度不均匀、振动、噪声等）无规则变化的影响。

③不可预测的偶然因素所引起的。

在物理实验中随机误差一般用标准差来描述。

五、测量的几个常用术语

在讨论实验仪器及实验结果时，常常用到精密度、正确度、准确度、灵敏度等概念，因此需明晰其含义。

1. 精密度

精密度是各个独立测量值的一致程度，是随机误差的定性反映，随机误差小，其精密度就高，即多次测量的一致程度高。



2. 正确度

正确度是描述量值接近真值的程度，反映系统误差的大小，系统误差小，正确度高。

3. 准确度

准确度反映测量结果与测量真值之间的一致程度，即随机误差与系统误差的综合效应。

若测量的随机误差与系统误差都大，则测量的精密度、正确度与准确度都低；若测量的随机误差小，系统误差大，则测量的精密度高、正确度低，准确度亦低；若测量的随机误差与系统误差均小，则测量精密度、正确度、准确度都高。

4. 灵敏度

灵敏度是定量反映测量输入量的变化而引起仪器指示值（输出量）变化的程度。

六、测量不确定度

测量不确定度是指测量中由于各种误差因素的存在而对被测量值不能肯定的程度，是对被测量的真值在某个量值范围内的一种数量上的评价，表示出测量量的真值落在某个置信区间内的概率。用于表征被测量值的分散性与测量值可信赖的程度。

任何一个测量都必须给出测量的不确定度，没有测量不确定度的测量是无意义的测量。在实验中，测量不确定度可能来源于以下几个方面。

① 实现被测量的物理量的方法不理想，对被测量的物理量定义不完整或不完善。

② 取样的代表性不够，即被测量的样本不能代表所定义的被测量。

③ 对测量过程受环境影响的认识不周全，或对环境条件的测量与控制

不完善。

④ 对模拟仪器的读数存在人为偏移。

⑤ 测量仪器的计量性能，测量仪器的不准或测量仪器的分辨力、鉴别力不够。

⑥ 赋予计量标准的值和参考物质（标准物质）的值不准，引用于数据计算的常量和参量不准。

⑦ 测量方法和测量程序的近似性和假定性。

⑧ 在表面上看来完全相同的条件下，被测量重复观测值的变化。

第4节 实验数据的计算与处理

一、随机误差

偶然误差的特征是它的随机性，所以亦称为随机误差。其分布规律的理论描述，一般用正态分布规律如图 1.1 所示。服从正态分布的随机误差分布函数的数学表述式为

$$f(\Delta x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(\Delta x)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

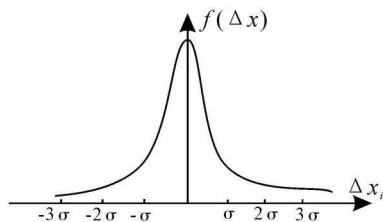


图 1.1 随机事件正太分布曲线