



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 大学物理实验

王国栋 主编



高等教育出版社  
Higher Education Press

04-33/238

2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 大学物理实验

王国栋 主编



高等教育出版社

## 内容提要

本书是全国高等农林院校“十一五”国家级规划教材。它是根据农林院校的特点,在总结“面向 21 世纪农林院校物理系列课程内容和课程体系改革的实践与探索”教改研究课题的成果的基础上,结合多年教学实践编写而成。本教材打破了传统实验教材的编写模式,建立了能使物理实验学科自成体系,适应物理实验课独立设课要求的教材系统。全书共 6 章,按测量误差与数据处理、常用物理量的测定方法及特点、物理实验技术和方法、基本实验、综合实验、设计实验的顺序编排。考虑到各校实验仪器和教学实际,部分实验给出两种方法,以利于师生选择。每个实验后附有思考练习题,便于学生巩固实验所学知识。全书采用国际单位制,所用名词以全国自然科学名词审定委员会 1996 年公布的物理学名词为准,书后附有常用物理参量表等。

本书可作为高等院校理科、工科和农科类各专业的物理实验教材,也可作为高等职业技术学校相关专业和农林科技工作者学习和科学实验的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验 / 王国栋主编. —北京: 高等教育出版社,  
2008. 6

ISBN 978 - 7 - 04 - 023920 - 1

I. 大… II. 王… III. 物理学 - 实验 - 高等学校 - 教材  
IV. O4 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 059910 号

策划编辑 郭亚嫫 责任编辑 张海雁 封面设计 张志奇 责任绘图 尹 莉  
版式设计 马敬茹 责任校对 金 辉 责任印制 宋克学

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100120	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010 - 58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>
印 刷	北京地质印刷厂		<a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a>
		畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
开 本	787 × 960 1/16	版 次	2008 年 6 月第 1 版
印 张	18.5	印 次	2008 年 6 月第 1 次印刷
字 数	340 000	定 价	21.50 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 23920 - 00

# 前 言

物理学是一门实验科学。它的实验方法和思路、分析和解决问题的方法在强调素质教育的今天有着极其重要的地位和作用。物理实验是培养学生科学精神、科学态度、科学思维方法的基础课程，也是大学生知识—能力—创新协调发展的催化剂。作为物理教学改革的重要组成部分，物理实验在许多农林院校也已开始独立设课，物理实验课的重要性越来越突出。

在对大学物理实验的教学目的、任务和编写方案的研讨中，我们深切地感受到必须注重学生的动手能力、分析问题及解决问题能力的培养。根据“厚基础、宽口径”的人才培养原则以及注重学生“综合素质”和“创新能力”培养的教学原则，在实验教材的编写过程中力图达到以下目的：

(1) 能够使学生对物理学实验的理论、内容和方法及其应用有一个比较全面的了解，力求将比较新的前沿学科和技术问题中的物理学原理反映在教学内容中。

(2) 在编写中，力求做到实验目的具体、突出，实验要求明确；实验原理叙述清楚，既有实验理论介绍，也有实验方法的归纳总结，既有单个实验方法的介绍，也有对常用基本物理量测定方法的总结和比较；实验内容、步骤以及数据记录处理详尽，方便学生学习。

(3) 在实验内容的选择上，考虑到素质教育和创新能力培养的需要，根据新形势下教学改革的趋势和发展动向，既要适应通才教育的需要，又要满足个性化教学的需求。实验项目中既有按照教学大纲设置的基本实验，又有综合性实验，还有设计性实验，以满足不同层次教学的需要。

(4) 注重对学生的科学素质的培养，将科学的方法论有机地融入教学内容中。培养学生的科学思维能力，使学生掌握正确的科学研究方法，具备发现问题、分析问题与解决问题的能力，具备探索自然规律的能力，并初步具备创新能力。

(5) 实验教材应自成体系，使学生对物理实验的基本原理、仪器的使用、实验方法及数据处理有一个全面了解，实验技能得到系统性训练，为后续课程的学习打下坚实的基础。

(6) 书中统一使用了国际单位制，所用名词术语以全国自然科学名词审定委员会 1996 年公布的物理学名词为准。

《大学物理实验》的编写大纲和相关修订内容经中国物理学会教学委员会农林分会于2006年北京年会会议讨论和修订确定。由西北农林科技大学王国栋教授任主编，西北农林科技大学刘云鹏、汪自庆、党亚爱任副主编。

全书由王国栋统稿，原中国物理学会教学委员会农林分会副主任委员、西北农林科技大学张振赢教授审阅，感谢他对本书提出的宝贵意见，在此一并致谢。

由于学识与教学经验所限，书中的缺点和错误在所难免，恳请使用本书的师生批评指正。

编 者

2007年12月

# 目 录

绪论	(1)
第1章 测量误差与数据处理	(4)
§ 1.1 测量误差	(4)
§ 1.2 随机误差的估算	(8)
§ 1.3 有效数字及其运算	(16)
§ 1.4 数据处理的方法	(20)
思考与练习	(25)
第2章 常用基本物理量的测定方法及特点	(26)
§ 2.1 长度测量	(26)
§ 2.2 时间和频率测量	(28)
§ 2.3 质量测量	(29)
§ 2.4 温度测量	(31)
§ 2.5 压力测量	(33)
§ 2.6 直流电流测量	(34)
§ 2.7 直流电压测量	(36)
§ 2.8 直流磁感应强度测量	(38)
§ 2.9 常用光探测器	(40)
第3章 物理实验技术和方法	(42)
§ 3.1 实验设计的基本方法	(42)
§ 3.2 物理实验中的典型测量技术	(45)
§ 3.3 转换测量法	(49)
§ 3.4 模拟法和示踪法	(51)
§ 3.5 放大测量法	(53)
§ 3.6 比较测量法	(55)
§ 3.7 补偿法	(58)
§ 3.8 计算机仿真法	(63)
问题讨论	(65)
第4章 基本实验	(67)
§ 4.1 基本测量	(67)

一、长度测量 .....	(67)
二、物体密度的测量 .....	(72)
三、单摆法测定重力加速度 .....	(77)
§ 4.2 刚体转动惯量的测定 .....	(80)
一、用扭摆法测定刚体的转动惯量 .....	(80)
二、用三线摆法测刚体的转动惯量 .....	(87)
§ 4.3 液体黏度的测定 .....	(91)
一、用毛细管法测液体的黏度 .....	(92)
二、用落球法测液体的黏度 .....	(95)
§ 4.4 用拉伸法测金属丝的杨氏模量 .....	(99)
§ 4.5 固体线膨胀系数的测定 .....	(105)
§ 4.6 液体表面张力系数的测定 .....	(109)
一、拉脱法测量水的表面张力系数 .....	(109)
二、用传感器测液体表面张力系数 .....	(113)
三、毛细管法测量液体表面张力系数 .....	(116)
§ 4.7 不良导体导热系数的测定 .....	(119)
§ 4.8 空气比热容比的测定 .....	(123)
§ 4.9 电学基本量的测定 .....	(127)
一、电源特性的研究 .....	(127)
二、万用电表的使用 .....	(130)
§ 4.10 惠斯通电桥 .....	(136)
§ 4.11 电势差计的使用 .....	(141)
§ 4.12 通用示波器的使用 .....	(145)
§ 4.13 用模拟法测绘静电场分布 .....	(153)
§ 4.14 RC 电路的充放电过程 .....	(155)
§ 4.15 电流磁场的测定 .....	(164)
§ 4.16 铁磁材料的磁化曲线及磁滞回线的测定 .....	(171)
§ 4.17 声速的测定 .....	(177)
§ 4.18 用分光计测量棱镜的折射率 .....	(182)
§ 4.19 光栅及其应用 .....	(189)
§ 4.20 光的等厚干涉现象与应用 .....	(192)
§ 4.21 单缝衍射光强分布的测定 .....	(196)
§ 4.22 偏振光的研究 .....	(201)
§ 4.23 用旋光仪测定有机溶液的浓度 .....	(209)
第 5 章 综合实验 .....	(215)
§ 5.1 密立根油滴实验 .....	(215)

§ 5.2 迈克耳孙干涉仪的调节和使用 .....	(222)
§ 5.3 弗兰克-赫兹实验 .....	(227)
§ 5.4 电表的改装与校准 .....	(235)
§ 5.5 恒温自动控制器的安装与调试 .....	(241)
§ 5.6 吸收光谱特性的测定 .....	(243)
§ 5.7 普通摄影技术 .....	(247)
§ 5.8 微距摄影与显微摄影技术 .....	(252)
§ 5.9 光谱定性分析 .....	(256)
一、用棱镜摄谱仪研究氢光谱 .....	(256)
二、定标曲线法 .....	(260)
§ 5.10 用霍耳效应测量磁场 .....	(263)
<b>第 6 章 设计实验 .....</b>	<b>(271)</b>
§ 6.1 用振动法测弹簧的劲度系数 .....	(271)
§ 6.2 不规则形状固体密度的测定 .....	(272)
§ 6.3 小灯泡伏安特性曲线的测定 .....	(272)
§ 6.4 用滑线式电桥测毫安表内阻 .....	(273)
§ 6.5 用箱式电桥测定电流计内阻 .....	(273)
§ 6.6 电流表的扩程 .....	(273)
§ 6.7 望远镜或显微镜的组装 .....	(274)
§ 6.8 用光干涉法测定金属丝的直径 .....	(274)
§ 6.9 用牛顿环测定溶液的折射率 .....	(275)
§ 6.10 测定光栅常量 .....	(275)
<b>附录 1 常用物理量表 .....</b>	<b>(276)</b>
<b>附录 2 黑白冲洗配方及工艺 .....</b>	<b>(282)</b>
<b>附录 3 实验不确定度表示建议书 INC-1 (1980) .....</b>	<b>(284)</b>



# 绪 论

物理学是一门理论与实验紧密结合的学科。实验是研究自然规律、认识客观世界、改造客观世界的基本手段之一。回顾物理学发展史,任何物理新概念的确立、新规律的发现,都需以严密的物理实验为依据,许多重要的规律都是在总结大量实验事实的基础上得到的。

实验不同于对自然现象的直接观察,也不同于生产过程中的直接经验。其优点是可以利用实验方法控制实验条件,排除外界干扰,从而有效地突出被研究对象之间的重要关系;在实验中可以把复杂的自然现象或生产过程分解成若干个独立现象和过程,进行个别或综合研究;可以进行重复实验,或改变条件进行实验,以便于对事物的各个方面作广泛的比较和分析。

学好物理学,就应当学习物理实验的理论和方法,并掌握一些物理实验的基本技能和科学研究方法,具备发现问题、分析问题与解决问题的能力,具备探索自然规律的能力,并初步具备创新能力。

## 一、物理实验课程的地位和基本任务

物理实验是对理科、工科、农科学生进行科学实验基本训练的一门独立的必修课,是学生进入大学后接受系统实验方法和实验技能训练的开端,也是培养学生实验技能和科学素质的基础。

在农林院校开设物理实验课,力求达到以下目的:

(1) 通过对物理现象的观察、分析和物理量的测量,学习物理实验的相关知识,加深对物理概念和原理的理解,培养实事求是的工作态度和作风。

(2) 培养和提高学生的实验技能。主要包括以下几方面的任务:

① 通过预习实验内容及阅读有关资料,组织实验,提高查阅和运用资料的能力,并能概括出实验原理和方法的要点。

② 通过正确地使用仪器,了解它的原理、结构和使用方法,掌握基本物理量的测量方法和实验操作技能。

③ 培养和提高学生从事科学实验的初步能力,包括实验数据处理及误差分析的能力、获得准确实验结果的能力。

④ 通过正确地记录及科学地处理实验数据,撰写合格的实验报告,提高科学论述能力、表达能力以及自行设计和完成某些不太复杂实验的能力。

## 二、实验课的基本程序与要求

物理实验课的基本程序一般分为三个阶段：课前预习、进行实验和课后撰写实验报告。

### 1. 课前预习

预习的目的在于实验之前应对实验内容有一个总体上的了解。预习至关重要，它决定着实验能否取得主动和收获的大小。通过预习应当弄清以下问题：① 实验的理论依据和条件；② 实验仪器的选取；③ 所用仪器的工作原理及操作方法；④ 实验过程的注意事项；⑤ 记录与处理实验数据的方法；⑥ 实验结果的预测。

预习报告用统一的实验报告纸按格式要求书写，并且要求书写整齐、清晰。预习报告格式要求：

- (1) 实验名称；
- (2) 实验目的；
- (3) 实验仪器（实验所需仪器的名称、数量及使用时的注意事项）；
- (4) 实验原理、计算公式及其使用条件，电路图、光路图和装置简图等；
- (5) 实验步骤；
- (6) 合理的实验数据记录表格。

### 2. 实验操作

实验操作是实验程序中的关键环节。学生须遵守实验室规则，听从教师指导，熟悉各个仪器的使用方法及操作规范，认真完成实验。实验操作应注意以下几点：

(1) 进入实验室后，应先在实验室准备好的实验状况登记表上签到，然后认真听取实验教师的讲解指导，再按教材中规定的实验程序和步骤进行实验操作。应该像科研工作者那样严格要求自己。实验的重点是在实验能力的培养上，而不是仅仅测出几个数据就认为完成了实验任务。

(2) 根据实验的具体要求，依据有效数字规则，认真记录实验数据，绝不允许伪造或抄袭他人数据。

(3) 为养成良好的工作作风，在做完实验后，务必将所用仪器设备恢复原位，关闭电源和水源，做好实验室清洁工作，并将原始数据单交教师审阅签字后方可离开实验室。

### 3. 撰写实验报告

撰写实验报告是对一次实验的全面总结，也可作为科学报告或论文写作的基本训练。所以，在做完实验后，应对实验数据进行及时处理和分析，做出合理结论，最后才能写出完整的实验报告。具体要求如下：

(1) 数据处理。实验结果是对大量数据的总结和升华，只有一丝不苟地处理实验数据，才能实现从感性认识到理性认识的飞跃。所以在数据处理过程中，应首先按照误差理论和有效数字运算规则整理数据，列表或绘出曲线；然后计算和分析实验数据的特点和规律以及由此而得出的结论；最后分析误差的来源，并讨论存在的问题和改进方法。

(2) 撰写实验报告。完整的实验报告应包括：实验目的、实验仪器（仪器的名称、性能及精度）、实验原理和方法、实验数据记录及处理（包括图表）、误差分析及问题讨论。

在撰写实验报告时，应力求报告内容简单明了。还应在报告的开头注明实验时间、作者姓名。原始数据记录也应作为实验报告的附件一起上交。

# 第 1 章 测量误差与数据处理

通过科学实验定量研究自然现象所遵从的规律时，必须对大量的实验数据进行测定、记录和分析处理。数据处理及误差分析是科学实验的重要组成部分，是从事科学研究必须掌握的基本知识和技能。因此有关数据处理及误差分析理论的学习，是培养学生实验能力及提高科学素质不可缺少的教学内容和训练环节。

由于有关数据处理及误差分析理论的内容很多，不可能在一两次学习中掌握。因此我们首先对其基本理论作一初步了解，然后针对每一具体实验详细内容，并通过运用加以掌握。顺便指出，有关数据处理和误差分析的深入讨论已成为普通计量学以及数理统计学的任务，本章只引用其中的某些结论和计算公式，详细的理论探讨和证明请参见有关数理统计的书籍。

## § 1.1 测量误差

物理实验需要测量许多物理量来研究物理学规律。一般情况下，测量必须借助一定的仪器，采用一定的方法，在人为控制的环境下由实验者来完成。但在实际测量中，由于测量仪器、用具、实验条件以及种种因素的限制，测量不可能无限精确，测量结果与客观存在的值（称真值）总有一定的差异，即有一定的误差。测量结果都有误差，误差始终存在于测量过程之中，这就是所谓的误差公理。因此，分析测量中可能产生的各种误差，尽可能消除其影响，并对测量结果中未能消除的误差做出准确估计，是科学实验必不可少的组成部分。本节主要介绍误差的概念、特点、产生的原因及估算方法。

### 一、误差的概念

测量误差就是测量结果与真值（或约定真值）之间的差值。测量误差的大小反映了测量结果的准确程度。测量误差可用绝对误差或相对误差来表示：

$$\text{绝对误差} = |\text{测量结果} - \text{真值}|$$

$$\text{相对误差} = \frac{\text{测量值的绝对误差}}{\text{真值}} \times 100\%$$

事实上,真值是未知的,人们对客观物质世界建立的“量”的概念,也只能通过各种测量手段和方法了解到其测量值。所以除了以上定义之外,人们还依据测量学和数理统计学原理建立了完整的误差理论体系,用来科学地估算测量误差。

## 二、误差的分类

产生误差的原因很多,根据其性质及产生的原因,可将误差分为系统误差和随机误差两大类。

### (一) 系统误差

在相同实验条件下,对同一物理量进行的多次测量中,如果出现的误差偏向一个方向或总按一确定的规律(如递增、递减、周期性等)变化,则称为系统误差,其来源如下:

#### 1. 仪器误差

这是由于仪器本身存在的固有缺陷或没有按规定条件使用仪器而造成的,如仪器零点调不准、放大器非线性、标准电池不在规定温度下使用,等等。

#### 2. 方法误差

这是由实验所依据的理论公式本身的近似性或实验条件不能达到理论公式规定的要求而产生的,如空气的阻力和浮力、电表的内阻、连线电阻的压降,等等。

#### 3. 个人误差

这是由观测者个人生理和心理上的特点而造成的,如用秒表计时时,有的人常将时间计长,有的人则常将时间计短。

系统误差原则上应该给予修正,例如可通过校准仪器,提高观测水平及做必要的理论修正来减小或避免它,但系统误差的发现和估计有赖于实验者的实验经验、实验技巧及理论水平等各方面因素,实际处理比较困难。

### (二) 随机误差

由于偶然的或不确定因素造成的每一次测量的无规则涨落,称为随机误差。它表现为:就某一次测量来讲,其误差值的大小和正负都带有随机性,难以事先确定,但随着测量次数的增加,从整体上看随机误差却服从一定的统计规律。

这种误差产生的原因是多方面的,例如实验条件和环境因素微小的、无规则的起伏变化以及实验者实验技能的熟练程度等因素,都会产生随机误差。

随机误差可以根据统计理论进行处理。大量的实验事实及统计理论都证

明,当随机误差由许多微小的、彼此独立的随机因素决定时,服从正态分布规律。绝大多数实验都属于这一情况,因而以下的讨论均是以正态分布为前提。

但应指出,由于实验者的粗心大意而弄错了实验程序或者读错了仪器的标度等所造成的差错,不属于误差而是错误,这种错误是应该避免和及时纠正的。

### (三) 测量的精密度、准确度和精确度

#### 1. 精密度

表示测量结果中随机误差大小的程度的量。

#### 2. 准确度

表示测量结果中系统误差大小的程度的量。

#### 3. 精确度

表示测量结果与真值一致的程度的量,它是测量结果中系统误差与随机误差的综合。

例如图 1.1.1 中(a)表示精密度较高,但准确度较差;(b)表示准确度较高,但精密度较差;(c)表示精密度和准确度都较高,即精确度高。

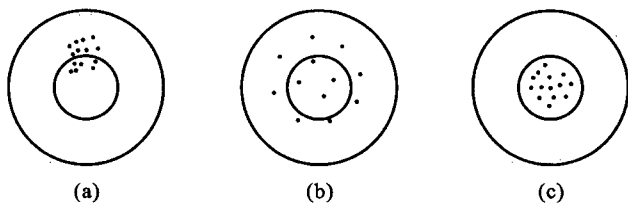


图 1.1.1 精密度、准确度和精确度的示意图

## 三、系统误差的修正

### (一) 系统误差的发现和估计

要发现和估计系统误差,就必须认真研究测量理论和方法的严密性,仔细检验或校准每一台仪器,分析每一个实验条件,考虑每一步的调整和测量,并注意每一个可能因素对实验的影响等。以下是从普遍的意义介绍几种发现和估计系统误差的途径,而在实际工作中,也会有许多具体办法。

#### 1. 对比实验法

包括实验方法的对比,即用不同方法测量同一个量,看结果是否一致;实验仪器的对比,如将两个电流表分别接入同一电路中进行比较;改变测量步骤

对比,如测量某一物理量与温度的关系,可分别用升温、降温测量步骤,看读数是否一致;改变实验中某些参量的数值;改变实验条件以及换人测量等方法进行对比。在对比中如果发现实验结果有差异,即说明实验中存在系统误差。

## 2. 理论分析法

从理论上分析实验所依据的理论公式所要求的条件与实际情况有无差异,仪器的使用条件是否满足等。

## 3. 数据分析法

由于随机误差服从一定的统计分布规律,如果不遵从这种规律,则说明存在系统误差。在相同的条件下得到大量数据时,可用这种方法判断实验中是否有随机误差和系统误差存在。例如,按顺序记录的测量数据的偏差是单向周期性变化,说明存在固定的或变化的系统误差。如果实验中存在随机误差,根据随机误差的统计分布规律,测量值的分布在时间和空间上均应是随机的。

## (二) 系统误差的修正和限制

如果发现有系统误差存在,就应该给予修正。例如,对千分尺的零点修正;利用较高级的电表对低级的电表测出修正曲线等。在实际测量中,确切的系统误差值有时不易找出,但是我们可以通过以下方法来抵消系统误差,提高测量的准确度。

### 1. 替换法

在测量装置上对待测对象进行测量后,立即用一个标准量替换待测量,再次进行测量,并调到同样的情况,从而使待测量等于标准量。例如在天平上称物体质量,如果采用通常的测量方法,即左盘放待测物,右盘放砝码,会把天平两臂不等长的系统误差带入测量值,采用替换法,就可避开这一系统误差。具体方法是:设待测物质量为 $x$ ,先利用质量为 $T$ 的中介物(例如干净的细砂)与之平衡,若天平臂长分别为 $l_1$ 和 $l_2$ ,则平衡时有 $x = (l_1/l_2) T$ 。移去待测物,换以质量为 $P$ 的标准砝码再与中介物 $T$ 达到平衡,则有 $P = (l_1/l_2) T$ ,于是可得 $x = P$ 。

### 2. 异号法

使误差在测量过程中出现一次为正值,另一次为负值,取其平均值以消除系统误差。例如使用电位差计测微弱电动势 $E$ 的电路中,若有温差电动势 $E_0$ 的干扰,测出的值 $E_1$ 实际为两电动势之差,即 $E_1 = E - E_0$ ,若将 $E$ 反向,再测量之,则测量值 $E_2 = E + E_0$ 。将两次测量结果平均,温差电动势引入的误差就被消除了。

### 3. 交换法

在测量过程中,将待测件与标准件位置交换再次测量,取两次测量值的平

均值以消除系统误差。例如用滑线式惠斯通电桥测电阻时，把待测电阻与标准电阻交换位置再次测量，将两次测量值取平均值，就可消除滑线电阻丝不均匀所引起的误差。

#### 4. 对称观测法

若有随时间线性变化的系统误差，可将观测程序沿对称的时间顺序再做一次，取两次测量值的平均值以消除系统误差。例如在测电阻温度系数的实验中，测电阻前记录一次温度，测电阻后再记录一次温度，取两次温度的平均值作为该点的温度值。由于很多随时间变化的误差在短时间内均可认为是线性变化的，因此对称观测法是一种能够消除随时间变化的系统误差的好方法。

#### 5. 半周期偶数观测法

对于周期性误差，可以每经过半个周期进行一次观测，然后对一周期内测的两个数据取平均值以消除系统误差。例如分光计刻度盘偏心带来的角度测量误差是以 $360^\circ$ 为周期的，可采取相距 $180^\circ$ 的一对游标，每次可同时读取两个读数，即在一个周期内读取了两个数据，角位移将是这两个数据的平均值。

以上仅列举了几种减小或消除某些简单系统误差的方法，实际上许多系统误差常常是由于实验所用的理论不完善或理论背后还隐藏着未被发现的、新的或更精细的规律性而引起的。由此可见，系统误差是可以进行修正和限制到最小程度的，实验过程中出现的错误和不当也可以避免，但随机误差是不可避免的，所以测量结果的精确程度主要受随机误差的影响，因而在一般的误差理论中，都重点讨论随机误差产生的规律、估算方法及其对总的不确定度的影响。

## § 1.2 随机误差的估算

### 一、随机误差的分布特点

就某一次测量来说，随机误差的出现是没有规律的，但当测量次数足够多时，从整体上看随机误差服从正态分布。其特点有：

#### 1. 有界性

绝对值很大的误差出现的概率非常小，即误差的绝对值一般不会超过一定的界限。

#### 2. 单峰性

绝对值小的误差出现的概率比绝对值大的误差出现的概率大。



### 3. 对称性

绝对值相等的正、负误差出现的概率接近相等。

### 4. 抵偿性

由于绝对值相等的正、负误差出现的概率接近相等，因而随着测量次数的增加，随机误差的算术平均值将趋于零。

抵偿性是随机误差最本质的统计特性。一般情况下，凡具有抵偿性的误差，原则上都可以按随机误差处理。

由随机误差的特点可知：在多次测量中，正、负随机误差大致上可以相互抵消，因而用多次测量数据的算术平均值来表示测量结果可以减小随机误差的影响；测量值的分散程度直接体现随机误差的大小，测量值越分散，测量的随机误差就越大，因此只有对测量的随机误差做出估算才能表示出测量的精密程度。

## 二、随机误差的估算

测量通常分直接测量与间接测量两大类。

直接测量是以一个未知量与作为标准的量值直接比较，从而得出未知量值的测量方法。例如用秒表测量某一过程的时间，用温度计测量某一系统的温度，用电流表测量某支路中的电流等等，均属于直接测量，其特点是由实验测得的数据直接确定被测量的量值。这种测量值称为直接测量值。

间接测量是先直接测量某些参量，然后代入未知量与这些参量之间存在的函数关系式中进行计算，从而求得出未知量值的测量方法。例如要测量某一均质实心小球的密度，首先用螺旋测微器测出其直径，用天平称出其质量，然后带入公式计算出小球的密度。间接测量所得结果称为间接测量值。间接测量的特点是其结果是由直接测量结果根据一定的函数关系式计算出来的，所以要受直接测量结果的不确定度的影响，这种影响的大小可以由相应的数学式计算出来。

下面我们要分别讨论这两种测量量的误差估算。

### (一) 直接测量量的误差估算

#### 1. 直接测量的算术平均误差

设在实验中对某一物理量  $x$  进行了  $n$  次等精度的重复测量，得  $n$  个数据，分别为

$$x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$$

若该物理量的真值为  $R$ ，则第  $i$  次测量的误差为

$$\Delta_i = x_i - R \quad (1.2.1a)$$