



# 基础物理实验

张士欣 等编

北京科学技术出版社

# 基础物理实验

张士欣 等编

北京科学技术出版社

---

(京)新登字 207 号

## 内 容 提 要

本书以教委颁布的《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》为指导,结合编者所在教研室多年的教改及教学经验编写而成。实验课分阶段进行,逐步提高。

可供工科院校作教材,也可供专科、夜大学作教学参考书。

## 基础物理实验

张士欣 等编

\*

北京科学技术出版社出版

(北京西直门南大街 16 号)

邮政编码 100035

---

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经销

北京交通印务实业公司印刷

\*

787×1092 毫米 16 开本 13 印张 320 千字

1993 年 8 月第一版 1993 年 8 月第一次印刷

印数 1— 6250 册

---

ISBN7-5304-1388-0/G·056 定价: 7.70 元

## 代 编 者 序

物理实验是高等工科院校一门独立基础课程。它的重要性在于：从小的方面讲，工程技术科学，虽然有它自己的发展途径和规律，但它的基础从来离不开物理学和物理实验方法。最明显的例子，如质量、长度、时间、电、光等测量的基本方法以及测量的误差和不确定度等，都是工程技术中不可缺少的概念和经常使用的方法。从大的方面讲，每一新的工程技术的发展，基本上来源于物理学的新发现。纵观科学历史的发展，我们可以了解到：物理学研究中的新突破，常转化为技术上的重大变革，继而发展成为新的生产力，推动整个社会的发展。这样的例子在科学史上是屡见不鲜的，所以，我们说，“科学技术是第一生产力”。法拉第发现了电磁感应定律，才有今天的电动力；哈恩发现了原子核裂变，才有今天的核动力；现代无线电通信，是基于麦克斯韦电磁理论的预见和赫兹对无线电波的成功实验；半导体的基础研究，导致晶体管的发明，才有今天的超大规模集成电路和超高速电子计算机，才有现代的信息科学技术，使人们进入一个信息时代；微波波谱学对分子结构的研究，导致微波激射器和激光器的发明，把光在许多科学技术和工程部门的应用，推向一个完全新的历史阶段；最近高温超导体的发现与研究，无疑地将对下一个世纪的科学技术发展以及在工程技术领域的应用产生重大的变革。这样五光十色绚丽多采的画卷，真是令人目不暇接。但追溯其起源，可能在外人看起来是一种单调的、枯燥的、反复重复的、屡经失败的物理研究的实验工作。由于发现电子而获得诺贝尔物理奖，在物理学领域曾作出多方面巨大贡献的英国物理学家J·J·汤姆逊，曾用“失败”两字概括了他一生的最大收获。在物理实验的工作中应当经常体会汤姆逊这句概括了物理实验规律的话。

我们应当认识到，一门课程的实验与讲课是有根本区别的。讲课是传授间接知识，手段是教师解释一门教材的内容，而教材内容是死的。实验包括直接的实践，虽然实验原理也是死的，但实验是在一定条件下实现一个物理过程，找出它的规律，关键是用什么方法来实现这些“条件”。在讲课的过程中教师只是提出这些条件，可用极其简单的语言或公式表达出来，如当外力为零时，物体保持其静止状态或匀速直线运动。在物理实验中要实现“外力为零”的条件是非常复杂的，即使在气轨实验中也无法排除重力对物体的作用。我们知道，在实验中实现一个物理过程的条件，是要靠仪器的运用，而实验者对仪器性能的掌握和运用的技巧总带有不少随机因素。这些随机因素来源于实验者的观察与操作能力、经验以及仪器本身的性能和稳定性。要能熟练地处理这些随机因素以获得理想的实验结果，是要依赖实验者长期积累的经验 and 技巧。所以，学生在实验课程中不仅是学习实验原理、仪器的性能和操作方法，更重要的是要靠自己的积极思维，在实验中发现问题的，从教师的丰富经验中学习回答和处理这些问题的本领，从而积累自己做实验的能力，提高实验素养。

上面谈到的是物理实验的特点和在工程科学院校的教学计划中所占地位和重要性。工科院校学生学好《物理》和《物理实验》，获得做实验的基本技能和经验，对后继的工程技术课程的学习以至毕业后走向工作岗位从事技术工作，将起重要的作用。学生得益多少，取决于个人在学习中真正领会和得到的而不是教材中所能查到的东西。若能更深入一步，把物理思

想和物理实验方法与工程技术内容融合起来，将极有利于他们应用物理学上的新成就在工程技术上进行革新与创造。

这本实验书，是根据《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》，结合编者多年教学经验编写的。它是教学实践的产物，强调培养学生的独立工作能力和实验的素养，特别是在物理实验成绩的考核方法上进行了改革。这种考试方法的改革，能够调动学生对实验的积极性和兴趣，培养学生独立思考、敢于动手的能力。是值得向同行教师推荐的。这本书的其他方面的特点，编者已在《编者的话》中阐明，不在此代序中重复。

虞福春

## 编者的话

一、本教材以全国工科物理课程指导委员会1986年制定的《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》为指导，结合我校近五年的教学经验，在原教材的基础上，重新编写而成。

二、为了贯彻《基本要求》中“学习物理实验知识、方法和技能”的要求，教材前三章比较系统地介绍了误差和不确定度的概念及其计算方法，数据处理的初步方法，基本实验方法和基本操作技术等知识。以此为纲，组织安排各教学实验。

三、为了贯彻《基本要求》中“在中学物理实验的基础上，按照循序渐进的原则”及“使学生了解科学实验的主要过程与基本方法”的精神，我们将实验依教学时间顺序，分为三部分。第一部分实验，起点及教学要求均较低，侧重于实验知识、仪器设备的介绍和实验程序的示范。第二部分实验，占用全部教学时间的一半，学生的物理实验能力，主要在这些实验中培养。第三部分是考试实验——以考试的形式做实验，意在充分发挥学生的主观能动性，对学生进行全面能力的培养。教材的叙述方式也相应与三阶段实验的特点与任务相适应。

四、衷心感谢北京大学教授虞福春先生为本书写了代编者序。

五、本教材是我们教研室近年来教改与教学经验的总结，每位同志都为之做出了贡献。此次重新编写，具体分工为：第一、第二章由梁家惠编写，第三、第四章由张士欣编写，第五、第六章由陈守之、邬铭新、李朝荣、梁家惠编写。张士欣统稿。物理教研室杨爱武同志帮助绘制了全部插图，对此表示感谢。

六、在编写过程中，我们学习了兄弟院校的物理实验教材和教学参考书，吸收了其中富有启发性的观点和优秀内容。对这种有力的帮助，谨致深深的谢意。

七、尽管我们做了努力，但限于水平，恐仍有错误、疏漏之处，恳请教师与同学批评指正。

**编者**

1992年10月于北航

# 目 录

前 言 .....	(1)
第一章 实验误差与不确定度评定 .....	(4)
§1-1 误差和不确定度 .....	(4)
一、真值和误差 .....	(4)
二、误差的分类 .....	(4)
三、精密度、正确度和准确度 .....	(6)
四、不确定度 .....	(6)
§1-2 仪器误差 .....	(7)
一、长度测量类 .....	(7)
二、质量测量类 .....	(8)
三、时间测量类 .....	(8)
四、温度测量类 .....	(8)
五、电学测量类 .....	(9)
六、小结 .....	(10)
§1-3 B类不确定度和误差限的算术合成 .....	(10)
一、B类不确定度 .....	(10)
二、误差限的算术合成和传递 .....	(11)
三、小结 .....	(11)
§1-4 不确定度的应用举例 .....	(12)
§1-5 随机误差和 A类不确定度 .....	(14)
一、随机误差和正态分布 .....	(14)
二、标准误差和置信概率 .....	(15)
三、平均值和平均值的标准差 .....	(16)
四、小结 .....	(16)
§1-6 合成不确定度和方差传递公式 .....	(17)
一、不确定度的方差合成 .....	(17)
二、不确定度合成举例 .....	(18)
三、小结 .....	(20)
§1-7 系统误差的发现和消除 .....	(21)
一、系统误差的发现 .....	(21)
二、系统误差的消除和修正 .....	(23)
§1-8 有效数字及其运算法则 .....	(24)
一、有效数字 .....	(24)
二、有效数字的运算法则 .....	(25)

三、小结 .....	(26)
练习题 .....	(27)
<b>第二章 物理实验数据处理的基本方法 .....</b>	<b>(29)</b>
§ 2-1 列表法 .....	(29)
一、列表注意事项 .....	(29)
二、应用举例 .....	(29)
§ 2-2 作图法 .....	(30)
一、作图的基本规则 .....	(30)
二、应用举例 .....	(31)
§ 2-3 最小二乘法和一元线性回归 .....	(32)
一、一元线性回归 .....	(33)
二、应用举例 .....	(34)
§ 2-4 逐差法 .....	(35)
一、线性关系和一次逐差处理 .....	(35)
二、应用举例 .....	(36)
练习题 .....	(37)
<b>第三章 基本测量方法和实验方法及基本实验操作技术 .....</b>	<b>(39)</b>
§ 3-1 基本测量方法和实验方法 .....	(39)
一、比较法 .....	(39)
二、补偿法 .....	(39)
三、放大法 .....	(40)
四、模拟法 .....	(40)
五、振动与波动方法 .....	(40)
六、光学实验方法 .....	(41)
七、非电量的电测法 .....	(41)
§ 3-2 基本实验操作技术 .....	(42)
一、恢复仪器初态 .....	(42)
二、零位(零点)调整 .....	(42)
三、水平、铅直调整 .....	(42)
四、避免空程误差 .....	(43)
五、逐次(逐步)逼近调整 .....	(43)
六、消视差调节 .....	(43)
七、调焦 .....	(43)
八、光路的共轴调整 .....	(43)
九、回路接线法 .....	(43)
<b>第四章 第一部分实验 .....</b>	<b>(44)</b>
实验 4-1 长度测量(游标卡尺和千分尺的使用) .....	(44)
实验 4-2 测物体的密度——流体静力称衡法(天平的使用) .....	(48)
实验 4-3 振动法测转动惯量——三线摆(时计的使用) .....	(51)



实验 4-4	测电阻的伏安特性 (电压表和电流表的使用)	(55)
实验 4-5	惠斯通电桥测电阻 (电桥的使用)	(63)
实验 4-6	模拟法测绘静电场	(68)
实验 4-7	薄透镜的焦距测定与自组望远镜 (等高共轴调整、消视差调节与望远镜的调焦)	(72)
实验 4-8	混合法测固体的比热容 (量热器和温度计的使用)	(78)
<b>第五章 第二部分实验</b>		<b>(81)</b>
实验 5-1	测定钢丝的杨氏模量——拉伸法	(81)
实验 5-2	气轨上研究简谐振动	(86)
实验 5-3	气轨上研究碰撞	(93)
实验 5-4	灵敏电流计的研究	(96)
实验 5-5	单量程三用表的设计与校准	(102)
实验 5-6	双臂电桥测低电阻	(108)
实验 5-7	充—放电法测高电阻	(115)
实验 5-8	冲击法测螺线管轴线上磁感强度	(119)
实验 5-9	利用霍尔效应测磁感强度	(124)
实验 5-10	电位差计测电动势	(128)
实验 5-11	分光仪的调整和使用	(134)
实验 5-12	光的干涉——双棱镜和牛顿环	(141)
实验 5-13	单狭缝夫琅和费衍射	(149)
实验 5-14	全息照相	(154)
<b>第六章 第三部分实验</b>		<b>(163)</b>
实验 6-1	声速测量	(163)
实验 6-2	伏安法测电阻及电表内阻	(169)
实验 6-3	电位差计的应用	(174)
实验 6-4	惠斯通 (平衡与非平衡) 电桥的应用	(174)
实验 6-5	角度法测量折射率	(177)
实验 6-6	衍射光栅	(180)
实验 6-7	光的偏振	(184)
实验 6-8	迈克尔逊干涉仪的调整及其应用	(190)
附录 BASIC 语言计算程序		(197)
主要参考书目		(203)

# 前 言

## 一、开设物理实验课程的目的

物理实验课是对高等工业学校学生进行科学实验基本训练的基础课程。它将使学生得到系统实验方法和实验技能的训练，了解科学实验的主要过程和基本方法，给今后的科学实验活动奠定初步基础。同时它的思想方法、数学方法及分析问题与解决问题的方法也将对学生的智力发展大有裨益。整个教学活动的进行也将有助于学生的作风、态度及品德的培养和素质的提高。

## 二、物理实验课程的任务<sup>①</sup>

本课程的具体任务是：

1. 通过对实验现象的观察、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. 培养与提高学生的科学实验能力。其中包括：

- (1) 能够自行阅读实验教材或资料，作好实验前的准备；
- (2) 能够借助教材或仪器说明书正确使用常用仪器；
- (3) 能够正确记录和处理数据，绘制曲线，说明实验结果，撰写合格的实验报告；
- (5) 能够完成简单的设计性实验。

3. 培养与提高学生的科学实验素养。要求学生具有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，主动研究的探索精神和遵守纪律、爱护公共财产的优良品德。

## 三、怎样做好物理实验

1. 做好实验要抓好三个环节

(1) 预习

预习是做实验的准备工作。首先要明确本次实验所要达到的目的，以此为出发点，弄明白实验所依据的理论、所采用的实验方法；搞清控制物理过程的关键及必要的实验条件；知道实验要进行的内容和实施的步骤，仪器如何选择、安排和调整；预料实验中可能出现的问题等。在此基础上写出实验预习报告。

预习的好坏至关重要，它将决定你能否主动地顺利地进行实验。

(2) 实验

在实验中要努力弄清为何要这样安排实验，如此规定实验步骤的道理；要掌握正确的调整操作方法；要注意观察实验现象：什么现象说明调节已达到规定的要求？观察到的现象是否与预期的一致？这些现象说明什么问题？出现故障如何根据现象来分析产生的原因等；应

---

<sup>①</sup> 引自《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》 1986。

正确地记录数据：正确地设计出数据表格，正确地判断数据的科学性，如实地清楚地记录下全部原始实验数据和必要的环境条件、仪器型号、规格，正确的有效数字等。

实验中要多观察、多动手、多分析、多判断，反对侥幸心理、反对机械地操作、反对实验的盲目性。

实验环节是物理实验的中心，内容非常丰富，是学生主动研究、积极探索的好场所，一堂课收获的大小，将取决于个人主观能动性的发挥程度。

### (3) 实验报告

实验报告是实验成果的文字报道，是实验过程的总结。为了写好实验报告，要认真学习实验数据的处理方法；有根据地具体地去进行误差分析；正确地表示出测量结果，并对结果作出合乎实际的说明和讨论；记录并分析实验中发生的现象；回答思考问题等。

书写出一份字迹清楚、文理通顺、图表正确、数据完备、结果明确的报告是对大学生的起码要求，也是大学生应具备的基本能力。

#### 2. 严格基本训练，培养动手能力

基础实验训练是成才的基本功。“不积水流，无以成江海”。严格训练要从一点一滴、一招一式做起。例如基本仪器的正确使用，就涉及仪器位置的安放，连线与拆线的方法、开关顺序、调零、消视差等等最基本的步骤。

实验不能仅满足于测几个数据。要充分利用实践机会来培养自己的动手能力。可以通过重复实验、改变实验条件或参量数值、或作对比分析来判断测量结果的正确性；遇到困难或数据超差，不要一味埋怨仪器不好或简单重做一遍，而要做认真地分析，找出原因，自己动手排除障碍，尽力把实验做好。

经典的传统实验，集中了许多科学实验的训练内容，每个实验都包括一些具有普遍意义的实验知识、实验方法和实验技能。实验以后，可结合该实验的目的和要求进行必要的归纳总结，提高自己驾驭知识的能力。例如不同实验中体现出来的基本实验方法——比较法、放大法、模拟法、补偿法、干涉法及转换测量法等；实验中用到的数据处理的一些基本方法——列表法、作图法、逐差法、回归法等。在积累消化知识的基础上，还要注意培养自己获取和应用知识的能力，这可以结合对每个实验的分析、讨论及对思考题的探讨来进行。有兴趣者还可以做些实验课题研究。

## 四、实验报告的内容

为了教学方便，我们将实验报告分为预习报告和课后报告前后两部分。

### 1. 预习报告的内容有：

(1) 实验名称

(2) 实验目的

(3) 实验原理 包括：简要的实验理论依据，实验方法，主要计算公式及公式中各量的意义，电路图、光路图和实验装置示意图，注意事项。有些实验还要求写出自拟的实验方案，设计的实验线路，选择的仪器等。

(4) 实验步骤 扼要地说明实验的关键步骤和主要注意事项。

(5) 数据表格

(6) 预习思考题

预习报告在上课前交教师审阅，经教师认可后方得做实验。

## 2. 课后报告

(1) 测量数据记录

(2) 数据处理 包括计算公式，简单计算过程，作图，不确定度计算，最后测量结果。

(3) 实验后思考题

课后报告与预习报告构成一份完整的实验报告。

# 第一章 实验误差与不确定度评定

## § 1-1 误差和不确定度

物理实验离不开测量。测量是指为确定被测对象的量值而进行的一组操作。例如用直尺(钢板)尺去测量某钢丝的长度,把直尺作为标准的长度量具,使钢丝伸直与之对齐并记录钢丝两端相应的读数之差就是所需要的结果。但每个从事过测量工作的人几乎都会认识到:由于用作比较标准的直尺本身不准,普通直尺在毫米以下尾数难以读出,钢丝两端不能和直尺严格对齐,环境对测量的影响等等原因,钢丝的实际长度和测量结果并不完全一致,即存在误差。因此,作为一个测量结果,不仅应当提供被测对象的量值大小和单位,还应该对量值本身的可靠程度作出判断。不知道可靠程度的测量值是没有多大意义的。

### 一、真值和误差

为了对测量及误差作进一步的讨论,我们引入有关真值和误差的一些基本概念。

真值——被测量在其所处的确定条件下,客观上所严格具有的量值。

误差——测量值与真值之差。记为

$$\Delta N = N - A \quad (1-1)$$

式中  $N$  是测量结果(给出值),  $A$  是被测量的真值,  $\Delta N$  为测量误差,又称绝对误差。

真值是客观存在的,但它是一个理想的概念,在一般情况下不可能准确知道。然而在有些具体问题中,真值在实际上可以认为是已知的。例如为了估计用伏安法测电阻的误差,可以用可靠性更高的电桥的测量结果作为真值。这种以给定为目的,能代替真值的量值,常被称为约定真值。

按照定义,误差是测量结果与客观真值之差,它既有大小又有方向(正负)。由于真值在多数情况下无法知道,因此误差也是未知的,只能进行估计。

误差与真值之比称为相对误差。考虑到一般情况下,测量值与真值相差不会太大,故可以把误差与测量值之比作为相对误差。

### 二、误差的分类

1. 误差按其特征和表现形式可以分为两类:系统误差和随机误差。为便于理解,我们从两个具体的例子着手讨论。

例一,用天平称衡物体的质量。由于制造、调整及其他原因,天平横梁臂长不会绝对相等,因此测量结果与真值会产生定向的偏离。如果左臂比右臂短,当待测物体放在左盘时,称衡的结果将偏小,反之则偏大。

例二,用停表测单摆周期。尽管操作者作了精心的测量,但由于人眼对单摆通过平衡位置的判断前后不一、手计时响应的快慢不匀以及来自环境、仪器等造成周期测量微小涨落的其他因素,测量结果呈现出某种随机起伏的特点。表 1-1 给出了测量 50 个周期的六组数据。

表 1-1

单摆周期测量记录

测量次数 $i$	1	2	3	4	5	6
$50T_i$	1'49"70	1'50"02	1'49"83	1'50"12	1'49"93	1'49"78

我们把类似例一的误差称为系统误差，类似例二的误差称为随机误差。

(1) 系统误差——在同一被测量的多次测量过程中，保持常数或以可以预知方式变化的那一部分误差。

系统误差的特点是它的确定规律性。这种规律性可以表现为定值的，如天平的标准砝码不准造成的误差；可以表现为累积的，如用受热膨胀的钢尺进行测量，其指示值将小于真实长度，误差随待测长度成比例增加；也可以表现为周期性的，如测角仪器中主刻度盘中心不重合造成的偏心差（参见实验 5-11 附录）；还可以表现为其他复杂规律的。系统误差的确定性反映在：测量条件一经确定，误差也随之确定；重复测量时，误差的绝对值和符号均保持不变。因此，在相同实验条件下，多次重复测量不可能发现系统误差。

对操作者来说，系统误差的规律及其产生原因可以知道，也可能不知道。已被确切掌握了其大小和符号的系统误差，称为可定系统误差；对大小和符号不能确切掌握的系统误差称为未定系统误差。前者一般可以在测量过程中采取措施予以消除或在测量结果中进行修正；而后者一般难以作出修正，只能估计出它的极限范围。

(2) 随机误差——在实际测量条件下，多次测量同一量时，以不可预知的方式变化的那一部分误差。

随机误差的特点是它出现的随机性。在相同条件下，每个测量结果的误差其绝对值和符号以不可预定的方式变化，显示出没有确定的规律性；但就总体而言，它服从统计规律。随机误差的这种特点使我们能够在确定条件下，通过多次重复测量来发现它。

随机误差的处理可以从它所服从的统计分布规律来讨论。多数随机误差服从所谓的正态分布（参见 § 1-5 的讨论），这类误差又叫做偶然误差，它是由于众多的、不可能由测量条件控制的微小因素共同影响所造成的。

(3) 系统误差和随机误差是两种不同性质的误差，但它们又有着内在的联系。在一定的实验条件下，它们有自己的内涵和界限；但当条件改变时，彼此又可能互相转化。例如系统误差与随机误差的区别有时与空间和时间的因素有关。测量温度在短时间内可保持恒定或缓慢变化、但在长时间中却是在某个平均值附近作无规律变化，因此由于温度变化造成的误差在短时间内可以看成是系统误差，而在长时间内则宜作随机误差处理。随着技术的发展和设备的改进，使有些造成随机误差的因素能够得到控制，某些随机误差就可确定为系统误差并得到改善或修正，而有些规律复杂的未定系统误差，也可以通过改变测量状态使之随机化，这种系统误差又可当作随机误差处理。事实上，对那些微小的未定系统误差，很难做到在测量时保证其确定的状态，因此它们就会像偶然误差那样，呈现出某种随机性。事物的这种内在统一性，使我们有可能用统一的方法对它们进行计算和评定。

2. 还有一种误差，是由于测量系统偶然偏离所规定的测量条件和方法或在记录、计算数据时出现失误而产生的，称为粗大误差简称粗差。这实际上是一种测量错误。对这种数据应

当予以剔除。需要指出的是，不应当把有某种异常的观察值都作为粗大误差来处理，因为它可能是数据中固有的随机性的极端情况。判断一个观察值是否为异常值时，通常应根据技术上或物理上的理由直接作出决定；当原因不明确时，可用统计方法处理。对此，本教材不作介绍，必要时可参阅有关误差理论书籍。

### 三、精密度、正确度和准确度

习惯上人们经常用“精度”一类的词来形容测量结果的误差大小。但作为一种科学的术语，应该采用以下的说法。

**精密度**——表示测量结果中随机误差大小的程度。系指在规定条件下对被测量进行多次测量时，所得结果之间符合的程度。

**正确度**——表示测量结果中系统误差大小的程度。它反映了在规定条件下，测量结果中所有系统误差的综合。

**准确度**——表示测量结果与被测量的（约定）真值之间的一致程度。准确度又称精确度，它反映了测量结果中系统误差与随机误差的综合。

作为一种形象的说明，可以参照图 1-1 来帮助理解。按照计量名词的规范标准，精度应该是精密度的简称<sup>①</sup>，但有时也被作为一个含义笼统的词，泛指为精密度，正确度或准确度。



(a) 正确度高精密度差 (b) 精密度好正确度差 (c) 准确度好

图 1-1

### 四、不确定度

测量误差是普遍存在的。随着实验技术和设备的改善及操作人员水平的提高，误差可以被削弱和改善，但不可能（往往也没有必要）完全消除。通常人们关心的是把误差控制在允许的范围。

前面已经指出，误差通常无法知道。为了对它进行定量的估计，还要引入一个新的概念——不确定度。

不确定度是表征被测量真值在某个量值范围内的一个估计值，它表示了由于测量误差的存在而对被测量值不能肯定的程度。测量结果的不确定度一般包含几个分量，按其数值评定方法，这些分量可归为两类：

A 类：用统计方法计算的那些分量，

B 类：用其他方法计算的那些分量。

需要指出的是，A、B 类不一定与通常讲的随机误差、系统误差存在简单的对应关系。有关不确定度的计算、合成和传递等问题，将在后文陆续介绍。

<sup>①</sup> 《中华人民共和国国家计量技术规范汇编》（一），37 页，JJG1001-91

## § 1-2 仪器误差

任何测量过程都存在测量误差,用以说明测量结果可靠程度的定量指标是它的不确定度。当我们操作仪器进行各种测量并记录数据时,测量的不确定度与仪器的误差有关。仪器误差有众多的来源。以最普通的指针式电表为例,它们包括:轴承摩擦,转轴倾斜,游丝的弹性不均、老化和残余变形,磁场分布不均匀,分度不均匀,检测标准本身的误差等。逐项进行深入的分析处理并非易事,在绝大多数情况下也无必要。实际上,人们最关心的是仪器提供的测量结果与真值的一致程度,是测量结果中各系统误差与随机误差的综合估计指标。仪器误差或允许误差限就是指在正确使用仪器的条件下,测量所得结果和被测量的真值之间可能产生的最大误差。对照通用的国际标准,我们国家制定了相应的计量器具的检定标准和规程。结合物理实验的特点,我们作简要的介绍。

### 一、长度测量类

物理实验中最基本的长度测量工具是米尺、游标卡尺和螺旋测微器(千分尺)。钢直尺和钢卷尺的允许限差如表 1-2 所示。

不同分度值的游标卡尺的允许示值误差如表 1-3 所示。螺旋测微计的示值误差如表 1-4 所示。在基础物理实验中,考虑到上述规定的严格性又兼顾教学训练的简化需要,除具体实验中另有说明以外,我们约定:游标卡尺的仪器误差按其分度值估计,而钢板尺、螺旋测微计的仪器误差按其最小分度的 1/2 计算(表 1-5)。

表 1-2 钢直尺和钢卷尺的允许误差

钢直尺		钢卷尺	
尺寸范围 (mm)	允许误差 (mm)	准确度等级	示值允许误差 (mm)
>1~300	±0.10	I 级	± (0.1±0.1L)
>300~500	±0.15	II 级	± (0.3±0.2L)
>500~1000	±0.20	注:式中 L 是以米为单位的长度, 当长度不是米的整倍数时, 取最接近的较大的整“米”数。	
>1000~1500	±0.27		
>1500~2000	±0.35		

表 1-3 游标卡尺的示值误差

测量长度 (mm)	示值误差 (mm)		
	分度值 (mm)		
	0.02	0.05	0.10
0~150	±0.02	±0.05	±0.10
150~200	±0.03	±0.05	
200~300	±0.04	±0.08	
300~500	±0.05	±0.08	±0.15
500~1000	±0.07	±0.10	



表 1-4

螺旋测微计的示值误差

测量范围 (mm)	示值误差 ( $\mu\text{m}$ )
0~25, 25~50	4
50~75, 75~100	5
100~125, 125~150	6
150~175, 175~200	7

表 1-5

实验中长度量具仪器误差的简化约定

钢板尺	游标卡尺			螺旋测微计
	1/10mm 分度	1/20mm 分度	1/50mm 分度	
0.5mm	0.1mm	0.05mm	0.02mm	0.005mm

## 二、质量测量类

物理实验中称衡质量的主要工具是天平。天平的测量误差应当包括示值变动性误差、分度值误差和砝码误差等。单杠杆天平按精度分为十级，砝码的精度分为五等，一定精度级别的天平要配用等级相当的砝码。

在简单实验中，我们约定可取天平分度值的一半作为仪器误差。

## 三、时间测量类

停表是物理实验中最常用的计时仪表。在本课程中，对较短时间的测量可按 0.01s 作为停表的仪表误差。对石英电子秒表，其最大偏差  $\leq \pm (5.8 \times 10^{-6}t + 0.01)$  s，其中  $t$  是时间的测量值。

## 四、温度测量类

表 1-6

工作用温度计的示值允许误差

温度计类别		测量范围 ( $^{\circ}\text{C}$ )	示值允许误差 ( $^{\circ}\text{C}$ )			
			分 度 值 ( $^{\circ}\text{C}$ )			
			0.1	0.2	0.5	1
工作用玻璃 水银温度计	全浸式	-30~+100	$\pm 0.2$	$\pm 0.3$	$\pm 0.5$	$\pm 1.0$
		>100~200	$\pm 0.4$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$	$\pm 1.5$
	局浸式	-30~+100	-	-	$\pm 1.0$	$\pm 1.5$
		>100~200	-	-	$\pm 1.5$	$\pm 2.0$
工作用铂铑-铂热电偶 (热电偶参考端为 $0^{\circ}\text{C}$ )	(I 级)	0~1100	$\pm 1$			
		1100~1600	$\pm [1 + (t-1100) \times 0.003]$			
	(I 级)	0~600	$\pm 1.5$			
		600~1600	$\pm 0.25\%t$			
工业铂热阻 分度号 Pt10, 100	(A 级)	-200~+850	$\pm (0.15 + 0.002 t )$			
	(B 级)		$\pm (0.30 + 0.005 t )$			