



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

1

普通物理实验

# 力学、热学部分

(第四版)

杨述武 赵立竹 沈国土 主编

赵立竹 马葭生 周嘉源 吴俊林 丁永文 编



高等教育出版社  
Higher Education Press

04-33/16=3

:1

2007

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 普通物理实验 1

## 力学、热学部分

(第四版)

杨述武 赵立竹 沈国土 主编  
赵立竹 马葭生 周嘉源 吴俊林、丁永文 编

高等教育出版社

## 内容提要

《普通物理实验》一套书共4册,分为一、力学、热学部分,二、电磁学部分,三、光学部分,四、综合及设计部分。此次是在2000年第三版基础上修订而成的。此次修订保持了原书通用性好、可读性强及注重能力的培养的特色,并基本上保持了原来的框架,同时为适应教学的发展,在内容上有一些增删和改变。

本书是这套书的第一分册,为力学及热学实验部分,共37个题目,内容有多处修改,使适用性和科学性均有所增强。

本书可作为高等学校本科物理专业及相近专业普通物理实验课的教材,也可供师专使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

普通物理实验1,力学、热学部分/杨述武,赵立竹,  
沈国土主编.—4版.—北京:高等教育出版社,2007.12  
ISBN 978-7-04-022620-1

I. 普… II. ①杨…②赵…③沈… III. ①普通物理学-  
实验-高等学校-教材②力学-实验-高等学校-教材  
③热学-实验-高等学校-教材 IV. O4-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第161400号

策划编辑 高建 责任编辑 张海雁 封面设计 张志奇  
责任绘图 尹文军 版式设计 王艳红 责任校对 美国萍  
责任印制 宋克学

出版发行 高等教育出版社  
社址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100011  
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印刷 高等教育出版社印刷厂

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开本 787×960 1/16  
印张 13.25  
字数 240 000

版次 1983年4月第1版  
2007年12月第4版  
印次 2007年12月第1次印刷  
定价 14.40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 22620-00

## 第四版前言

本套书共四册,即:一、力学、热学部分,二、电磁学部分,三、光学部分,四、综合及设计部分。本册书是第一分册。

2005年11月,我们接到高等教育出版社的委托书,出版社让我们对现用的第三版进行修订。我们商讨之后,和出版社共同认定,此次修订的原则是在保持原书基本框架的条件下,删去过时或不合适的内容,增加些新的内容,特别是增加一些有利于加强对大学生素质教育的问题。据此我们对普通物理实验课的目标定为:

(1) 学习基本实验方法和操作技能,在观察、测量与分析中,加深对物理学的认识;

(2) 学习实验的物理思想,为用实验方法探索问题有一定的基本训练;

(3) 培养学生的思维能力,主要是分析问题、解决问题和提出问题的能力,增强学生的素质,以适应学生各种可能的发展方向。

对于实验装置,我们认为应让学生自己动手去组装,在组装过程中对动手和用脑都是训练,对实验也有全面的认识。学生在动手组装过程中,可能遇到一些困难和错误,但这不是坏事,只要引导得法,就可在分析、解决问题过程中增长才干,增强信心,对将来学生自己独立工作将是宝贵的经验。

这次修订工作得到高等教育出版社的大力支持,他们协助我们拟订了修订原则;其次有关学校的领导对我们的工作也给了很大的鼓励;我们还特别感谢华东师范大学、苏州大学、四川大学、陕西师范大学、辽宁师范大学和东北师范大学的普物实验室同志们的多方帮助。此次修订工作的完成,是参与修订工作的同志们共同努力的结果,但也有曾参加此书的编写而未能参加此次修订工作的同志们的心血。

在修订工作中,我们参考了北京大学、复旦大学的基础物理实验教材,在此谨致谢意。

参加修订的人员分工为:东北师范大学赵立竹(绪论、实验一、二、三、四、五、七、八、九、十、十二、十三、十四、十七、十八、十九、二十、二十四、二十六、三十四);华东师范大学马葭生、周嘉源(实验十一、十五、十六、二十一、二十五、三十六);陕西师范大学吴俊林(实验六、二十三、二十七、二十八、三十一、三十八);辽宁师范大学丁永文(实验二十二、二十九、三十、三十二、三十三、三十五)。

我们认为第四版比第三版有明显的改进,但仍会存在一些不足,我们期望使用本书的老师和同学们提出建议批评,以使本书得以进一步改进。

编者  
2006年冬

# 致学生读者

物理学是实验科学,因此学习物理学必须注意实验问题。科学是面对未知世界的,为此要进行探索,在学习实验时也应注意学习探索。

物理实验课是在教师的指导下,完成一定的实验课题,但在实验过程中学生有很大的自由,我们期望学生积极主动地去做实验的主人,而限于按教师、指导书的指令去做实验,如何去做实验的主人,在此谈几点想法。

## 1. 实验课上学什么

实验课要学习的内容综合为3个方面:

(1) 学习实验方法、测量仪器、数据处理问题和操作技能。

(2) 学习实验的物理思想。

(3) 提高思维能力特别是创造性思维能力,主要是:能综合运用已有知识去解决实际问题;发现问题和提出问题;能灵活地考虑问题;能预见事物发展的前景;提出新的设想。

## 2. 在探索中学习

实验预习时除去了解实验方法和仪器之外,也可考虑一些要探索的问题,例如单摆的实验,可以探索摆的幅角 $\theta$ 和周期 $T$ 的关系,摆的振动不在同一平面内的影响。

## 3. 误差分析

误差分析,主要是分析误差的来源,对实验影响大的是什么。在实验过程中要始终注意误差分析,使实验能顺利进行,实验后又可提出实验改进的设想。

## 4. 实验结果的评价

要锻炼自己去评价,增强对自己测量的信心,如果教师说实验结果不太好,一定想一想自己为什么没发现,再评价时应如何注意。

## 5. 关于实验的物理思想

实验的物理思想,就是设计一个物理过程,将不可测或测不准的量转换为可以测或测得较准的量。我们要注意学习前人宝贵的设计思想,又要练习提出自己的设计。

## 6. 提出问题

实验的改进或新的设计都是先提出问题。一般讲问题有两类:比如对一实验,对实验方法、仪器不完全明了的问题;还有可能对实验了解之后的问题,这后

---

一问题更重要,更有创造性。

至于提什么问题,要靠自己独立的思考和经验的积累,但首要的是敢于提出问题。

# 目 录

致学生读者 .....	I
绪论 .....	1
§ 1 普通物理实验课的目的 .....	1
§ 2 测量与仪器 .....	2
§ 3 测量与误差 .....	3
§ 4 系统误差 .....	4
§ 5 随机误差 .....	5
§ 6 实验中的错误与高度异常值 .....	7
§ 7 测量不确定度 .....	9
§ 8 有效数字 .....	13
§ 9 实验图线的描绘 .....	16
§ 10 组合测量 .....	18
§ 11 实验报告 .....	23
实验一 长度测量 .....	25
实验二 单摆 .....	30
实验三 精密称衡 .....	34
实验四 密度的测量 .....	39
实验五 随机误差的统计规律 .....	43
实验六 弹性模量的测定(伸长法) .....	48
实验七 弹性模量的测定(梁弯曲法) .....	52
实验八 切变模量的测定 .....	56
实验九 自由落体运动 .....	61
实验十 倾斜气垫导轨上滑块运动的研究 .....	64
实验十一 牛顿第二运动定律的验证 .....	71
实验十二 碰撞实验 .....	75
实验十三 转动惯量的测定 .....	78
实验十四 刚体转动的研究 .....	82
实验十五 三线摆 .....	86



实验十六	惯性秤 .....	91
实验十七	弹簧振子的研究 .....	95
实验十八	复摆振动的研究 .....	100
实验十九	双线摆振动的研究 .....	103
实验二十	可倒摆 .....	106
实验二十一	阻尼振动 .....	112
实验二十二	受迫振动(扭摆法) .....	117
实验二十三	弦振动的研究(A) .....	123
实验二十四	弦振动的研究(B) .....	128
实验二十五	声速的测量(超声) .....	132
实验二十六	声速的测量(可闻声) .....	139
实验二十七	液体粘度的测量(毛细管法) .....	143
实验二十八	液体粘度的测量(落球法) .....	149
实验二十九	表面张力的测定(拉脱法) .....	152
实验三十	表面张力的测定(毛细管法) .....	155
实验三十一	金属线胀系数的测量 .....	158
实验三十二	固体比热容的测量(混合法) .....	162
实验三十三	水的汽化热的测定 .....	167
实验三十四	冰的融化热的测定 .....	170
实验三十五	水的沸点与压强关系的研究 .....	172
实验三十六	良导体热导率的测定 .....	177
实验三十七	真空的获得与测量 .....	181
附录	物理常量表 .....	190

# 绪 论

## § 1 普通物理实验课的目的

物理学是实验的科学。物理学新概念的确立和新规律的发现要依赖于反复实验。物理学上新的突破常常是通过新的实验技术得以实现的。物理实验的方法、思想、仪器和技术已经被普遍地应用在自然科学各个领域和技术部门。

普通物理实验课是对学生进行实验教育的入门课程,其教学目的在于使学生学习物理实验基础知识的同时,受到严格的训练,掌握初步的实验能力,养成良好的实验习惯和严谨的科学作风。

物理实验课上的学习:

### 1. 学习基础实验方法、仪器和数据处理知识

通过对被测量的定量测量,对被测量及相关的物理过程有明确具体地了解,例如测冷拔纯铜的弹性模量为 $(1.27 \pm 0.05) \times 10^{11}$  Pa;测油滴的电荷分析计算出电子电荷为 $(1.61 \pm 0.02) \times 10^{-19}$  C。

### 2. 锻炼手的操作技能

对实验装置的安装、调整,对计量器具的正确操作,是做好实验的基础。

### 3. 学习实验的物理思想

每个实验都是一个物理过程,通过此过程将间接测量量转换为若干直接测量量,将难测的量变换成容易测的量,将测不准的量变换成比较测得准的量,在这些变换中有丰富的物理思想。

### 4. 培养思维能力

思维是在观察的基础上,进行分析、综合、判断、推理和提出新思想的认识过程,它对任何工作都十分重要,在实验中是培养思维能力的很好的机会,如:

- (1) 观察现象、分析测量数据、判断实验的进行是否正常;
- (2) 对实验故障的分析、判断,可找出问题的所在及解决方法;
- (3) 审查实验记录,可能发现存在问题;
- (4) 分析实验结果,给出恰当的评价,提出深入思考的问题,等等。

实验课虽然是在教师指导下的学习环节,但在实验课上学生的活动有较大的独立性,我们期望学生以研究者的态度去组装实验装置,进行观测与分析,探

讨最佳实验方案,从中积累经验、锻炼技巧,为以后独立设计实验方案和解决新的实验课题创造条件.

## § 2 测量与仪器

测量是指用实验方法确定被测对象的量值的实验过程.

测量分为直接测量与间接测量.

直接测量是指被测量和同类单位的标准物或计量器具直接比较,得出被测量量值的测量.

例如,一桌子的长度与米尺相比,得出桌子长度为 1.248 m;一铁块的质量与砝码相比(通过天平),得出铁块质量为 31.85 g.

间接测量是指由一个或几个直接测得量经已知函数关系计算出被测量量值的测量.例如,测量单摆的摆长  $l$  和振动周期  $T$ ,由已知的公式  $g = 4\pi^2 l/T^2$  算出重力加速度  $g$  值的过程就是间接测量.

测量仪器是指用以直接或间接测出被测对象量值的所有器具.如游标卡尺、天平、停表、惠斯通电桥、照度计等等.

测量结果给出被测量的量值,它包括两部分,数值和单位(不标出单位的数值不能是量值!),一般应给出不确定度.

仪器的准确度等级 测量时是以计量器具为标准进行比较,当然要求仪器准确.不过由于测量的目的不同对仪器准确程度的要求也不同,比如称量金戒指的天平必须准确到 0.01 g,而粮店卖粮的台秤偏差不超过 20 g 都是可以的.为了适应各种测量对仪器的准确程度的不同要求,国家规定工厂生产的仪器分为若干准确度等级.各类各等级的仪器,又有对准确程度的具体规定.例如 1 级螺旋测微计,测量范围小于 50 mm,最大误差不超过  $\pm 0.004$  mm,又如 1.0 级电流表,测量范围为 0 ~ 500 mA 的基本误差限为  $\pm 5$  mA.

实验时要恰当地选取仪器.仪器使用不当对仪器和实验均不利.表示仪器的性能有许多指标,其中最基本的是测量范围和准确度指标.当被测量超过仪器的测量范围时,首先对仪器会造成损伤,其次可能测不出量值(如电流表),或勉强测出(如天平),但误差将增大.对仪器的准确度等级的选择也要适当,一般是在满足测量要求的条件下,尽量选用准确程度低的仪器.减少准确度高仪器的使用次数,可以减少在反复使用时的损耗,延长其使用寿命.

### 习 题 一

1. 测量就是比较,试说明如下的测量是如何体现比较的:

(1) 用杆秤称量一个西瓜的重量;

- (2) 用弹簧秤称一新生婴儿的重量.
2. 你知道如何去做下面的测量吗?
- (1) 跑百米的时间;
- (2) 子弹的速度.
3. 电梯运动时有加速度,将一弹簧秤放在电梯上,其上放 1 kg 重砝码,电梯运动时秤的指示值是 1 kg 吗? 秤的指示值和电梯加速度是否有联系?
4. 间接测量量是否可能成为直接测量量呢?

### § 3 测量与误差

物理实验时要对一些物理量进行测量. 各被测量在实验当时条件下均有不依人的意志为转移的真实大小,称此值为被测量的真值. 测量的理想结果是真值,但是它是不能确知的,因为,首先测量仪器只能准确到一定程度;其次有环境条件的影响,并且观测者操作和读数不能十分准确,理论也有近似性,所以测得值和真值总可能不一致. 定义测得值减去真值的差为测得值的误差,即

$$\text{测得值}(x) - \text{真值}(a) = \text{误差}(\varepsilon)$$

误差  $\varepsilon$  是一代数值,当  $x \geq a$  时,  $\varepsilon \geq 0$ ;  $x < a$  时,  $\varepsilon < 0$ . 由于真值是不能确知的,所以测得值的误差也不能确切知道,在此情况下,测量的任务是:

- (1) 给出被测量真值的最佳估值;
- (2) 给出真值最佳估值的可靠程度的估计.

关于什么是最佳估值,留到后面去讨论,但是可以想到最佳估值一般不确定度比较小. 为了减小误差就要分析误差的来源,实际上任何测量的误差都是多种因素引入误差的综合效应. 现在以用单摆测重力加速度为例作些分析.

物理理论中的单摆,是用一无质量无弹性的线,挂起一质量为  $m$  的质点,在摆角接近零时,摆长  $l$  和周期  $T$  之间存在  $T = 2\pi \sqrt{l/g}$  的关系,其中  $g$  为当地的重力加速度.

在用单摆测重力加速度的测量中,误差的来源大致有如下几方面:① 米尺和停表本身不准确;② 对仪器的操作不准确;③ 仪器读数不准确;④ 摆线质量不为零;⑤ 摆锤体积不为零;⑥ 摆角大小引入的误差不可忽略;⑦ 存在空气浮力和阻力;⑧ 支点状态不理想;⑨ 支架震动或空气流动.

通常,误差来源可有:

- (1) 被测量的定义不完善;
- (2) 相同条件下被测量在重复观测中的变化;
- (3) 测量方法和测量程序的近似和假设;
- (4) 复现被测量的方法不理想;

- (5) 取样的代表性不够;
- (6) 测量仪器的计量性能局限;
- (7) 测量标准或标准物质的不确定度;
- (8) 引用数据或其他参量的不确定度;
- (9) 对主要环境条件等影响量的认识不当或测控不完善;
- (10) 对模拟式仪器的读数有人为偏移.

在相同条件下的重复测量中,所得测量值一般不尽相同,这表示每次测量的误差不同,并且在测量之前不可预知测量值是偏大些或偏小些,例如用手按秒表测摆的振动周期每次不尽相同的情形.这是偶然因素造成的,这一类误差称为随机误差.

还有如下的不同的测量例子:

- (1) 用一块 2.5 级 0~1 A 的电流表测一回路的电流  $I$  为 0.73 A, 而用另一块 0.5 级 0~1 A 的电流表测同一回路电流为 0.716 A;
- (2) 用一天平称一物体质量,物体在左盘,砝码在右盘,平衡时,砝码值为 74.251 9 g,物体与砝码交换后则为 74.250 1 g;
- (3) 测一单摆的振动周期  $T$ ,当摆的振幅在  $5^\circ$  附近时测得  $T_1 = 1.983$  s, 振幅在  $10^\circ$  附近时为  $T_2 = 1.987$  s.

上述各项测量值在重复测量时基本不变,但随测量条件的改变(换表、交换称盘、增加摆角等)而改变,此类误差称为系统误差.

测量值的误差均同时包涵随机误差和系统误差,研究误差的目的是:

- (1) 尽量减小测量值中影响较大的误差;
- (2) 对残存的误差的大小给出某种估计值(估计不确定度).

绝对误差与相对误差 设被测量  $X$  的测量值为  $x$ , 其真值为  $a$ , 误差  $\varepsilon = x - a$ ,  $\varepsilon$  与  $a$  的比值  $\varepsilon_r = \varepsilon/a$  称为相对误差, 对应  $\varepsilon_r$  也称  $\varepsilon$  为绝对误差, 但应注意绝对误差和误差绝对值  $|\varepsilon|$  不同. 实际上绝对误差  $\varepsilon$  与真值  $a$  不可确知, 在以后将讨论对它作某种估计.

## §4 系统误差

对实验进行理论分析或对比实验之后,可以得知其系统误差的来源,并可采取一定的措施去削减系统误差. 在 §3 中提到的实例(2)是由于天平左右臂长不完全相等引入的系统误差,可将物体放在天平左盘、右盘上各称一次取平均去消除. 实例(3)是由于摆的周期与振幅有关,缩小振幅可以减小此项系统误差,但是振幅不宜过小,当测量要求更高时,可根据理论分析得出的修正公式去修正. 实例(1)是仪器自身的误差问题.

工厂生产仪器要经过设计、选材、加工、组装和校验一系列过程,在此生产过程中产品将或多或少偏离设计值,这是仪器的基本误差. 国家规定工厂生产某一准确度等级的某种仪器,仪器的基本误差必须小于相应等级的容许误差. 例如,生产 2.5 级 0~100 mA 电流表,在测量范围内测量值的误差要小于  $2.5\% \times 100 \text{ mA}$ ,即 2.5 mA,生产 0.5 级 0~100 mA 电流表,测量值的误差要小于  $0.5\% \times 100 \text{ mA}$ ,即 0.5 mA. 因而 0.5 级电流表测量值比 2.5 级电流表测量值更可靠. 但是任何精密的仪器都是有误差的.

对系统误差的研究主要是:

- (1) 探索系统误差的来源,设计实验方案削减该项误差;
- (2) 估计残存系统误差的可能的范围.

## §5 随机误差

在同一条件下,对同一物理量进行重复测量,各次测得值一般不完全相同,这是由于测量时存在随机误差. 一个测得值的随机误差是多项偶然因素综合作用的结果,在测量前不能得知测得值将偏大或偏小.

用手控制数字毫秒计,测量一摆的周期共 200 次,测量值的大小变化不定,似乎没有规律,其实这种偶然现象服从统计规律. 现将测得值分布的区域等分为 9 个区间,统计各区间内测量值的个数  $N_i$ ,以测量值为横坐标,  $N_i/N$  为纵坐标 ( $N$  为总数)作统计直方图,图 0-5-1 是一次实验的结果.

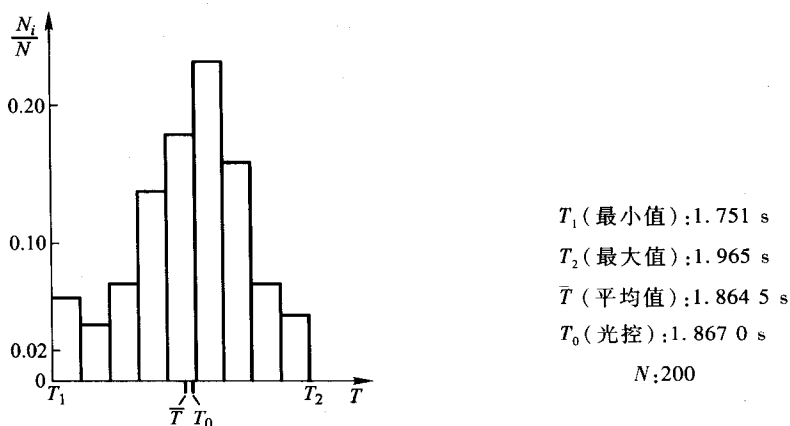


图 0-5-1

从图上可以看出,比较多的测量值集中在分布区域的中部,而区域的左右两

半的测量值个数都接近一半,由此可以设想被测量的真值就在数据比较集中的部分.

在上述测量之后,用光电门控制一台数字毫秒计去测同一个摆的周期,测 10 次,测量值分布在 1.866 s 到 1.868 s 的小区域中,由于此时的随机误差显著小于前者,可将光电控制测量值的平均值  $T_0$  作为手控测量的近似真值,对于测量值的随机误差作如下的统计,取  $T_0 = 1.8670$  s,则

$$T_i - T_0 < 0 (\varepsilon_i \leq 0) \quad \text{占 48\%}$$

$$T_i - T_0 \geq 0 (\varepsilon_i > 0) \quad \text{占 52\%}$$

多次测量均有同上相似的结果,因而得出如下几点认识:

- (1) 每次测量的随机误差是不确定的.
- (2) 出现正号或负号随机误差的机会相近,大多数有抵偿性.
- (3) 出现绝对值小的随机误差的机会多一些,绝大多数的分布是有界性和单峰性.

算术平均值 设在相同条件下的  $n$  次测量值  $x_1, x_2, \dots, x_n$  的误差为  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ , 真值为  $a$ , 则

$$(x_1 - a) + (x_2 - a) + \dots + (x_n - a) = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n$$

将上式展开整理后,两侧除以  $n$ , 得

$$\frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n) - a = \frac{1}{n}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n)$$

它表示算术平均值的误差,等于各测量值误差的平均,假如各测量值的误差只是随机误差,而随机误差有正有负,相加时可抵消一些,所以  $n$  越大,算术平均值越接近真值. 因此可以用算术平均值作为被测量真值的最佳估值.

又当测量值的误差中包含有已知的系统误差,则相加时它们不能抵消,这时应当用算术平均值加上修正值为被测量真值的最佳估值(修正值与已定系统误差绝对值相等,符号相反).

实验标准偏差 具有随机误差的测量值将是分散的,对同一被测量做  $n$  次测量,表征测量结果分散性的量  $s$  称为实验标准偏差, $s$  可由如下贝塞尔公式算出:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (0-5-1)$$

$s$  反映了随机误差的分布特征, $s$  大表示测量值分散,随机误差的分布范围宽, $n$  为数据的个数, $x_i$  为测量值, $\bar{x}$  为平均值.

平均值的实验标准偏差 测量值有随机误差,它们的平均值也必然有随机误差,由于求和时随机误差的抵偿效应,平均值误差的绝对值较小,它的实验标

准偏差  $s(\bar{x})$  也应小于由式(0-5-1)求出的  $s$  值,在 §7[注2]中将证明  $s(\bar{x})$  等于

$$s(\bar{x}) = s/\sqrt{n} \quad (0-5-2)$$

实验标准偏差的统计意义 标准偏差小的测量值,表示分散范围较窄或比较向中间集中,而这种表现又显示测量值偏离真值的可能性较小,即测量值的可靠性较高。

按误差理论的高斯分布可知,当不存在显著系统误差时:

$[\bar{x} - s(\bar{x})] \sim [\bar{x} + s(\bar{x})]$  范围内包括真值的概率约为 2/3.

$[\bar{x} - 1.96s(\bar{x})] \sim [\bar{x} + 1.96s(\bar{x})]$  范围内包括真值的概率约为 0.95<sup>①</sup>.

关于测量次数  $n$  增加测量次数  $n$ ,计算平均值时的抵偿效果会好些,从式(0-5-2)可知  $n$  增大  $s(\bar{x})$  将变小,所以增加测量次数对提高平均值的价值是有利的.但是测量次数也不是越多越好,因为增加  $n$ ,测量时间就要延长,实验环境可能出现不稳定,实验者也要疲劳,这将引入新的误差.对此一般的原理是,在随机误差较大的测量中要多测几次,一般实验取 6~10 次为宜,分散性小的多数一般测量从效率考虑是单次测量.

## 习 题 二

1. 工厂生产的仪器经检验为合格品,用它测量会有误差吗?
2. 一组测量值,相互差异很小,此测量值的误差很小吗?
3. 算术平均值作为真值的最佳估计值有否条件?
4. 测量不可能没有误差,作为实验者应当使组织的实验尽量减少误差.你能就用单摆测重力加速度的实验,设想如何减小误差吗?

## § 6 实验中的错误与高度异常值

实验中有时出现错误,可能是公式错了、装置安错了、电路联错了、对象观察错了、仪器操作错了、数读错了、计算错了,等等.实验搞错了在时间上和精神上都是损失,我们首先要防止出现错误,其次要尽早地发现错误.

防止错误的关键是熟悉实验理论和条件,明确要观察的现象,懂得正确使用仪器.

尽早发现实验中的错误是实验者的良好修养.初学者往往只顾观测而忽视分析,由于未及时发现错误,造成很多数据作废或重做实验.应当养成一边观测一边分析思考的习惯.

<sup>①</sup> 在 §7 的附注[3]中有进一步的说明.



数据分析是发现错误的重要方法.

例如,测量单摆摆动 50 个周期的时间,得出 98.4 s、96.7 s、97.7 s. 从数据可知摆的周期接近 2 s,但是前两个数据相差 1.7 s,后两个相差 1.0 s,它们都在半个周期以上,显然这样大的差异不能用手按秒表稍许提前或错后的操作不当去解释,即测量有错误.

在一组数据中,有时有一两个稍许偏大或偏小的数值,如果简单的数据分析不能判定它是错误数据,就要借助于误差理论.

在误差理论中提出了一些关于处理可疑数据的判据,在此介绍格拉布斯判据.

设测量值  $x_1, x_2, \dots, x_n$  近似为正态样本,其平均值为  $\bar{x}$ ,实验标准偏差为  $s$ ,取统计量  $G$  为残差  $(x_i - \bar{x})$  与  $s$  之比:

$$G = \frac{|x_i - \bar{x}|}{s}$$

格拉布斯判据给出  $G$  的分布的临界值  $G(n, \alpha)$  ( $\alpha$  为显著性水平). 对可疑值  $x_m$ , 当

$$\frac{|x_m - \bar{x}|}{s} > G(n, \alpha)$$

时,就判定  $x_m$  为高度异常数据. 下表为格拉布斯判据临界值表.

格拉布斯判据临界值表 ( $\alpha = 0.01$ )

$n$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$G(n, \alpha)$	1.15	1.49	1.75	1.94	2.10	2.22	2.32	2.41	2.48	2.55	2.61
$n$	14	15	16	17	18	19	20	25	30	40	50
$G(n, \alpha)$	2.66	2.70	2.74	2.78	2.82	2.85	2.88	3.01	3.10	3.24	3.34

例:测得一组长度值(单位:cm):

98.28	98.26	98.24	98.29	98.21
98.30	98.97	98.25	98.23	98.25

计算出  $\bar{x} = 98.328 \text{ cm}$ ,  $s = 0.227 \text{ cm}$

$$n = 10, G(n, \alpha) = 2.41$$

数据 98.97 可疑,算出

$$G = \frac{|98.97 - 98.328|}{0.227} = 2.828$$

而  $G(10, 0.01) = 2.41$  小于 2.828,所以数据 98.97 应舍去. 除去后再计算