



21世纪高等学校规划教材

# 大学物理实验

Daxue Wuli Shiyan

■ 主编 叶凡



北京邮电大学出版社  
www.buptpress.com



21世纪高等学校规划教材

# 大学物理实验

叶凡 主编

北京邮电大学出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

本书是结合物理实验室仪器设备的实际情况,在总结多年教学实践的基础上,并根据教育部颁发的《非物理类理工科大学物理实验课程教学基本要求》编写而成的。

全书共分为三章:

第一章阐述了处理实验数据的有关知识,包括不确定度及其简化估算;

第二章共选编了 18 个有关力学、热学、电磁学、光学等方面的实验;

第三章共选编了 9 个近代物理方面的实验。

本书既可作为高等院校各专业物理实验教学用书和物理学专业近代物理实验教学用书,也可作为实验技术人员或有关课程教师的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/叶凡主编. --北京:北京邮电大学出版社,2011.8

ISBN 978-7-5635-2616-1

I. ①大… II. ①叶… III. ①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(2011)第 086907 号

---

书 名	大学物理实验
主 编	叶 凡
责任编辑	苏文刚
出版发行	北京邮电大学出版社
社 址	北京市海淀区西土城路 10 号(100876)
电话传真	010-82333010 62282185(发行部) 010-82333009 62283578(传真)
电子信箱	ctrd@buptpress.com
经 销	各地新华书店
印 刷	北京联兴华印刷厂
开 本	787 mm×1 092 mm 1/16
印 张	16
字 数	400 千字
版 次	2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

---

ISBN 978-7-5635-2616-1

定价: 30.00 元

如有质量问题请与发行部联系

版权所有 侵权必究

# 前 言

本书是结合物理实验室仪器设备的实际情况,在总结多年教学实践的基础上并根据教育部颁发的《非物理类理工科大学物理实验课程教学基本要求》编写而成的。

全书共分三章:第一章阐述了处理实验数据的有关知识,包括不确定度及其简化估算;第二章共选编了18个有关力学、热学、电磁学、光学等方面的实验;第三章共选编了9个近代物理方面的实验。

本教材由叶凡担任主编。参加编写工作的还有惠州学院的庾静、尹毅、何婉芬、冯硕、李昌勇、谢卫东、宋晋湘、李曦文。

在编写的过程中力求做到:实验目的明确、突出;要求具体,实验原理叙述清楚,实验内容和步骤详尽,方便学生学习。

实验教学是一项集体的事业,本书编入的实验选题,汇聚惠州学院物理教研室和实验室全体教师多年的教学经验和体会,无论是教材的编写、实验的编排,还是实验仪器的安装调试,都是全体教师的劳动成果。

本书的出版,得到了许多高校老师的支持并提出了许多宝贵意见,对此一并表示衷心的感谢。

编写一本有特色的教材,是一项艰巨而又复杂的任务,有赖于进行不断地改革实践和长期地研究探索,才能日臻完善。我们所做的工作只是一块引玉之砖,缺点和错误在所难免,敬请使用和阅读本书的读者不吝指正,以便再版时修改更正。

编 者



# 目 录

绪论.....	1
<b>第一章 测量误差与数据处理知识.....</b>	<b>7</b>
§ 1 测量与误差 .....	7
§ 2 误差处理.....	10
§ 3 有效数字的记录与运算.....	18
§ 4 测量结果的不确定度评定.....	22
§ 5 数据处理的基本方法.....	38
<b>第二章 普通物理学实验 .....</b>	<b>46</b>
实验 1 长度测量 .....	46
实验 2 用单摆测重力加速度 .....	53
实验 3 在气垫导轨上测加速度 .....	56
实验 4 杨氏弹性模量的测定 .....	60
实验 5 研究滑动变阻器的分压电路和限流电路 .....	64
实验 6 电桥的使用 .....	69
实验 7 示波器的构造原理及其使用方法 .....	74
实验 8 霍耳效应及应用 .....	84
实验 9 电阻的伏安特性研究 .....	94
实验 10 电表改装与校准 .....	101
实验 11 交流电桥 .....	108
实验 12 RLC 电路的稳态特性 .....	117
实验 13 薄透镜焦距的测量 .....	124
实验 14 分光计的调节与使用 .....	131
实验 15 牛顿环实验 .....	138
实验 16 迈克耳孙干涉仪的调节与使用 .....	143
实验 17 落球法测定液体在不同温度的黏度 .....	148
实验 18 固体线膨胀系数的测定及温度的 PID 调节 .....	155
<b>第三章 近代物理实验.....</b>	<b>160</b>
实验 19 密立根实验仪测量电子电荷 .....	160
实验 20 光谱的测量 .....	170
实验 21 光速测量 .....	174
实验 22 塞曼效应 .....	185
实验 23 夫兰克-赫兹实验 .....	194
实验 24 核磁共振实验 .....	201



实验 25 巨磁电阻效应及其应用 .....	214
实验 26 空气热机 .....	229
实验 27 椭圆偏振测厚技术 .....	237
附录 电表面板上的常用标记 .....	250
参考文献 .....	250



## 绪 论

实验是人们研究自然规律、改造客观世界的一种特殊的实践形式和手段。人们通过实验发现自然规律,检验自然科学理论;同时,工程设计和生产实际中的问题也要靠实验来解决。

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。其特有的优点是:

第一,可以利用实验方法控制实验条件,排除外界因素的干扰,从而能有效地突出被研究事物之间的某些重要关系;

第二,可以把复杂的自然现象或生产过程分解成若干独立的现象和过程,进行个别地和综合地研究;

第三,可以对现象和过程进行满足预期准确度要求的定量测量,以揭示现象和过程中的数量关系;

第四,可以进行重复实验,或改变条件进行实验,便于对事物的各方面作广泛的比较和分析等。

本教材以物理实验知识、方法和技能为基点,旨在学生能通过实验实践来体验和熟悉科学实验的过程和特点。

### 一、物理实验的特点

学生在物理实验课中主要是通过自己独立地完成实验,来实践学习物理实验知识、培养实验能力和提高实验素养,这个学习任务决定了作为实验课程的物理实验有以下几个特点:

(1)实验带有很强的目的性。

(2)实验需要用数据来说明问题。

(3)实验要采取恰当的方法和手段,以使所要观测的物理现象和过程能够实现,并达到符合一定准确度的定量测量要求。

(4)实验中所包括的技能,其内容十分广泛。仪器的选择、使用和保养,设备的装校、调整和操作,现象的观察、判断和测量,故障的检查、分析和排除等,它有众多的原则和规律,可以说它是知识、见解和经验的积累。唯有在实践中,既动手又动脑,才有可能获得这种技能,仅仅凭看书是无法学到的。



## 二、物理实验的基本程序和要求

做任何一个实验时,都必须把握住实验预习、实验进行和实验总结这三个重要环节。

### 1. 实验预习

为了在规定时间内,高质量地完成实验任务,学生一定要在实验前写好预习报告,实验前老师会检查预习报告,没有预习不能开始实验,否则,在操作仪器时容易造成仪器损坏和出现人身安全事故。

实验课前认真阅读教材或参考其他图书资料,在弄清本次实验的原理、仪器性能及测试方法和步骤的基础上,重点解决三个问题:

- (1)做什么:这个实验最终要得到什么结果;
- (2)根据什么去做:实验课题的理论依据和实验方法的原理;
- (3)怎么做:实验的方案、条件、步骤及实验关键。

预习报告可作为实验报告的前身,写到实验报告纸上,并且要求书写整洁、清晰,排版合理。预习报告的格式要求:

**实验名称:**写出本次实验的名称。

**实验目的:**应简单明确地写明本次实验的目的要求。

**实验原理:**扼要地叙述实验原理,写出主要公式及符号的意义,画出主要的示意图、电路图或光路图。若讲义与实际所用不符,应以实际采用的原理图为准。

**实验内容:**简明扼要地写出实验内容、操作步骤。为了使测量数据清晰明了、防止遗漏,应根据实验的要求,用一张 A4 白纸预先根据要求设计好实验中数据表格(或者参照书本给出的表格),实验过程中,将测量的数据填入这些自制的表格中,不能写在书上。注意要正确地标示出有效数字和单位。

实验操作前按实验室提供实验器材填写实验卡片,每个实验小组按本组实验顺序填写 1 张实验卡片,每个实验结束,上交给相关的实验指导教师和实验员老师签字;全部实验做完,实验卡片上交给最后做实验的实验室。

### 2. 实验的进行

进入实验室,首先要了解实验规则及注意事项,其次就是熟悉仪器和安装调整仪器(例如,千分尺调零、天平调水平和平衡、光路调同轴等等),然后认真听好实验教师的讲解指导,再按照编组使用相应的指定仪器。根据事先设想好的步骤演练一下,然后再按确定的步骤开始实验。

准备就绪后开始测量。测量的原始数据(一定不要加工、修改)应忠实地、整齐地记录在预先设计好的实验数据表格里,数据的有效位数应由仪器的精度或分度值加以确定。数据之间要留有间隙,以便补充。发现是错误的用铅笔划掉,不要毁掉,因为常常在核对以后发现它并没有错,不要忘记记录有关的实验环境条件(如环境温度、湿度等),仪器的精度,规格及测量量的单位。实验原始数据的优劣,决定着实验的成败,读数时务必要认真仔细。运算的错误可以修改,原始数据则不能擅自改动。全部数据必须经老师检查、签名,否则本次实验无效。两人同作一个实验时,要既分工又协作,以便共同完成实验。实验完毕后,应切断电源,整理好仪器,并将桌面收拾整洁方能离开实验室。





### 3. 实验总结

实验报告是实验工作的总结。要用简明的形式将实验报告完整而又准确地表达出来。实验报告要求文字通顺,字迹端正,图表规矩,结果正确,讨论认真。应养成实验完后尽早写出实验报告的习惯,因为这样做可以收到事半功倍的效果。数据处理过程包括计算、作图、误差分析等。计算要有计算式(或计算举例),代入的数据都要有根据,便于别人看懂,也便于自己检查。作图要按作图规则,图线要规矩、美观。数据处理后应给出实验结果。最后要求撰写出一份简洁、明了、工整、有见解的实验报告。这些是每一个大学生必须具备的报告工作成果的能力。

完整的实验报告应包括下述几部分内容:

(1)实验名称;

(2)实验目的;

(3)实验仪器;

(4)实验原理:简要叙述有关物理内容(包括电路图或光路图或实验装置示意图)及测量中依据的主要公式,式中各量的物理含义及单位,公式成立所应满足的实验条件等;

(5)实验步骤:根据实际的实验过程写明关键步骤;

(6)注意事项;

(7)数据报告与数据处理:列表报告数据,完成计算、曲线图、不确定度计算或误差分析,最后写明实验结果;

(8)小结和讨论:内容不限,可以是对实验中现象的分析,也可以是对本次实验的结果及主要误差因数作简要地分析讨论,对实验关键问题的研究体会,实验的收获和建议,也可以是解答实验思考题。如果实验是为了观察某一物理现象或者观察某一物理规律,可只扼要地写出实验结论。

(9)思考题:必须在实验报告中完成课后的思考题。具体可参考实验报告格式。

### 三、物理实验成绩评定记分标准(参考使用)

实验课程成绩由预习报告成绩+实验操作成绩+实验报告成绩40%三部分组成,由实验指导老师计算总成绩。

### 四、实验报告格式

## 学院物理实验报告

\_\_\_\_\_系\_\_\_\_\_班\_\_\_\_\_组 实验日期201\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

姓名\_\_\_\_\_学号\_\_\_\_\_同组姓名\_\_\_\_\_指导教师\_\_\_\_\_

实验序号及名称: 实验8:霍耳效应及应用

#### 一、实验目的

1. 了解霍耳效应实验原理。

2. 学习用“对称测量法”消除副效应的影晌,测量实验试样(霍耳元件)的 $V_H-I_s$ 曲线、 $V_H-I_M$ 曲线。



3. 确定试样(霍尔元件)的导电类型(N型或P型)。

二、实验器材(型号、规格、件数)

霍尔效应实验仪(TH—H型)1台

霍尔效应测试仪(TH—H型)1台

专用测试线 6根

三、实验原理

霍尔效应是运动的带电粒子在磁场中受洛伦兹力  $f_{洛}$  作用而引起的偏转。当带电粒子(电子或空穴)被约束在固体材料中,这种偏转就导致在垂直电流和磁场方向上产生正负电荷积累,从而形成附加的横向电场,即霍尔电场  $E_H$ 。

对实验所用试样(霍尔元件),在 X 方向通以电流  $I_S$ ,在 Z 方向加磁场  $B$ ,则在 Y 方向有霍尔电场  $E_H$ 。

当试样中载流子所受的横向电场力  $eE_H$  与洛伦兹力  $evB$  相等时,样品两侧电荷积累达到平衡,因此有:  $f_{洛} = F_{横向电场力}$

$$evB = eE_H \tag{1}$$

若霍尔元件几何参数如图 1 已知,且  $n$  为载流子浓度,  $v$  为载流子在电流方向上的平均漂移速度。有:

$$I_S = nevbd \tag{2}$$

由(1)、(2)两式可得:  $V_H = E_H b = I_S B / ned$

$$\text{则 } V_H = R_H (I_S B / d) \tag{3}$$

$I_S$ ——X 方向电流

$I_M$ —— $I_M$  励磁电流( $B$  磁场沿 Z 方向)

$R_H = 1/ne$ ——霍尔系数

$V_H$ ——霍尔电压

由式(3)知:在外磁场不太强时,霍尔电压与工作电流和磁感应强度成正比,与薄片厚度成反比。

$$V_H \propto I_S; V_H \propto I_M(B); V_H \propto 1/d$$

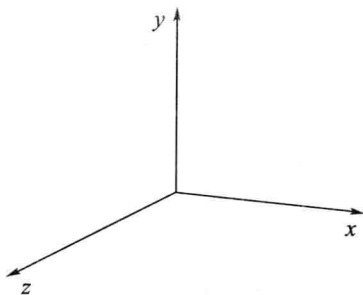


图 1 霍尔元件几何参数

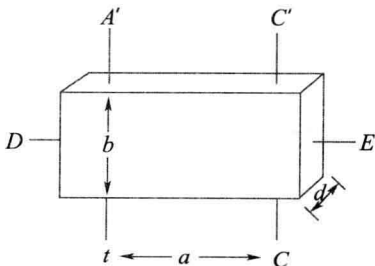


图 2 霍尔元件示意图

霍尔元件几何参数:

$$a = 3.0 \text{ mm};$$

$$b = 4.0 \text{ mm};$$

$$d = 0.5 \text{ mm}.$$

三对电极作用:

A, A' 或 CC' 用于测霍尔电压;

A, C 或 A', C' 用于测量电导;

D, E 为元件工作电流电极。



#### 四、实验内容

1. 测绘试样(霍尔元件) $V_H-I_S$  曲线。
2. 测绘试样(霍尔元件) $V_H-I_M$  曲线。
3. 确定试样(霍尔元件)的导电类型(N 型或 P 型)。

#### 五、实验记录

1. 本台仪器(霍尔效应实验仪)参数
2. 测绘  $V_H-I_S$  曲线

表 1  $I_M=0.600\text{ A}$   $I_S:1.00\sim 4.00\text{ mA}$

$I_S$ /mA	$v_1/\text{mV}$	$v_2/\text{mV}$	$v_3/\text{mV}$	$v_4/\text{mV}$	$V_H=(v_1+v_2+v_3+v_4)/4$ /mV
	$+I_S+B$	$+I_S-B$	$-I_S-B$	$-I_S+B$	
1.00	-3.76	3.75	-3.49	3.48	3.62
1.50	-5.64	5.62	-5.25	5.24	5.44
2.00	-7.51	7.49	-6.99	6.98	7.24
2.50	-9.39	9.37	-8.75	8.73	9.06
3.00	-11.23	11.21	-10.48	10.44	10.84
4.00	-15.00	14.99	-13.98	13.96	14.49

#### 3. 测绘 $V_H-I_M$ 曲线:

表 2  $I_S=3.00\text{ mA}$   $I_M:0.300\sim 0.800\text{ A}$

$I_S$ /A	$v_1/\text{mV}$	$v_2/\text{mV}$	$v_3/\text{mV}$	$v_4/\text{mV}$	$V_H=(v_1+v_2+v_3+v_4)/4$ /mV
	$+I_S+B$	$+I_S-B$	$-I_S-B$	$-I_S+B$	
0.300	-7.24	6.30	7.21	-6.33	6.77
0.400	-9.46	8.48	9.42	-8.50	8.97
0.500	-11.69	10.71	11.67	-10.74	11.20
0.600	-13.93	12.93	13.90	-12.96	13.43
0.700	-16.16	15.18	16.14	-15.21	15.67
0.800	-18.39	17.42	18.36	-17.43	17.90

#### 4. 确定试样(霍尔元件)的导电类型(N 型或 P 型)

取  $I_S=2.00\text{ mA}$ ,  $I_M=0.600\text{ mA}$ , 测出  $V_H = \underline{\quad -7.50 \quad}$  mV

#### 六、实验数据处理、分析、结论

(以电流为横轴,电压为纵轴做实验曲线)

##### 1. 由表 1 数据绘出图 3( $V_H-I_S$ 曲线)

由图 3 可知: $V_H \propto I_S$  即在磁场不是很强的情况下,霍尔电压与传导电流成正比。

##### 2. 由表 2 数据绘出图 4( $V_H-I_M$ 曲线)

由图 4 可知: $V_H \propto I_M$  即在磁场不是很强的情况下霍尔电压与励磁电流成正比。

##### 3. 依 $V_H$ 值确定试样(霍尔元件)的导电类型(N 型或 P 型)

由所设实验条件( $I_S, I_M$  均取坐标正向)测出的  $V_H = \underline{\quad -7.50 \quad}$  mV

即  $V_H < 0$ , 因此,试样(霍尔元件)的导电类型为  N  型半导体材料。

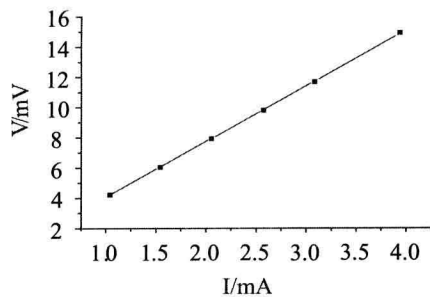


图3  $V_H-I_S$  曲线

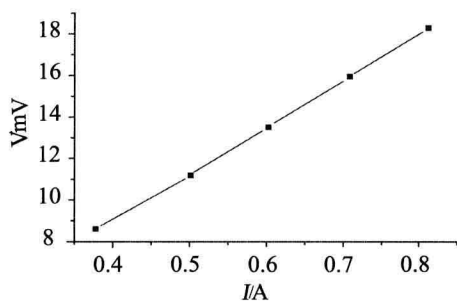


图4  $V_H-I_M$  曲线



# 第一章

## 测量误差与数据处理知识



物理实验的任务,不仅仅是定性地观察物理现象,也需要对物理量进行定量地测量,并找出各物理量之间的内在联系。

由于测量原理的局限性或近似性、测量方法的不完善、测量仪器的精度限制、测量环境的不理想以及测量者的实验技能等诸多因素的影响,所有测量都只能做到相对准确。随着科学技术的不断发展,人们的实验知识、手段、经验和技巧不断提高,测量误差被控制得越来越小,但是绝对不可能使误差降为零。因此,作为一个测量结果,不仅应该给出被测对象的量值和单位,而且还必须对量值的可靠性做出评价,一个没有误差评定的测量结果是没有价值的。

测量获得了大量的数据,只有采用了正确的数据处理方法,才能通过这些数据得到可靠的实验结果。所谓数据处理就是对实验数据进行记录、整理、计算、作图等处理,使之反映出事物的内在规律或得到最佳结果。

下面介绍测量与误差、误差处理、有效数字、测量结果的不确定度评定、数据处理等基本知识,这些知识不仅在后面的实验中要经常用到,而且也是今后从事科学实验工作所必须了解和掌握的。

### § 1 测量与误差

#### 一、测量及其分类

##### 1. 测量的定义

所谓测量,就是借助一定的实验器具,通过一定的实验方法,直接或间接地把待测量与选作计量单位的同类物理量进行比较的全部操作。简而言之,测量是指为确定被测对象的量值而进行的一组操作。例如,真空中的光速是一个不变的量,国际单位制由此规定以光在真空中  $1/299\,792\,458\text{ s}$  的时间间隔内所经路径的长度作为长度单位——1米。



## 2. 直接测量和间接测量

按照测量值获得方法的不同,测量分为直接测量和间接测量两种。

直接从仪器或量具上读出待测量的大小,称为直接测量。例如,用米尺测物体的长度,用秒表测时间间隔,用天平测物体的质量等都是直接测量,相应的被测物理量称为直接测量量。

如果待测量的量值是由若干个直接测量量经过一定的函数运算后才获得的,则称为间接测量。例如,先直接测出铁圆柱体的质量  $m$ 、直径  $D$  和高度  $h$ ,再根据公式  $\rho = \frac{4m}{\pi D^2 h}$  计算出铁的密度  $\rho$ ,这就是间接测量, $\rho$  称为间接测量量。

## 3. 基本单位和导出单位

不同的物理量有各自不同的单位,幸而各物理量不是相互独立,而是由许多物理定义和物理规律联系起来的,所以只需要规定少数几个物理量的单位,其他物理量的单位就可根据定义和物理规律推导出来。独立定义的单位叫做基本单位,相对应的物理量叫做基本量;由基本单位推导出的单位叫做导出单位,相对应的物理量叫做导出量。

## 4. 等精度测量和不等精度测量

按照测量条件的不同,测量又可分为等精度测量和不等精度测量。

在相同的测量条件下进行的一系列测量是等精度测量。例如,同一个人,使用同一部仪器,采用同样的方法,对同一待测量连续进行多次测量,此时应该认为每次测量的可靠程度相同,故称之为等精度测量,这样的一组测量值称为一个测量列。

在不同测量条件下进行的一系列测量,例如不同的人员,使用不同的仪器,采用不同的方法进行测量,则各次测量结果的可靠程度自然也不相同,这样的测量称为不等精度测量。处理不等精度测量的结果时,需要根据每个测量值的“权重”,进行“加权平均”,因此在一般物理实验中很少采用。

等精度测量的误差分析和数据处理比较容易,下面所介绍的误差和数据处理知识都是针对等精度测量的。

# 二、误差与偏差

## 1. 真值与误差

任何一个物理量,在一定的条件下,都具有确定的量值,这是客观存在的,这个客观存在的量值称为该物理量的真值。测量的目的就是要力图得到被测量的真值。我们把测量值与真值之差称为测量的绝对误差。设被测量的真值为  $x_0$ ,测量值为  $x$ ,则绝对误差  $\epsilon$  为:

$$\epsilon = x - x_0 \quad (1)$$

由于误差不可避免,故真值往往是得不到的。所以绝对误差的概念只有理论上的价值。

## 2. 最佳值与偏差

在实际测量中,为了减小误差,常常对某一物理量进行多次等精度测量,得到一系列测量值  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ,则测量结果的算术平均值为:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

算术平均值并非真值,但它比任一次测量值的可靠性都要高。系统误差忽略不计时的



算术平均值可作为最佳值,称为近真值。我们把测量值  $x_i$  与算术平均值  $\bar{x}$  之差称为偏差(或残差) $v_i$ 。则

$$v_i = x_i - \bar{x} \quad (3)$$

### 三、误差的分类

正常测量的误差,按其产生的原因和性质可分为系统误差和随机误差两类,它们对测量结果的影响不同,对这两类误差处理的方法也不同。

#### 1. 系统误差

在同样条件下,对同一物理量进行多次测量,其误差的大小和符号保持不变或随着测量条件的变化而有规律地变化,这类误差称为系统误差。系统误差的特征是具有确定性,它的来源主要有以下几个方面:

##### (1) 仪器因素

由于仪器本身的固有缺陷或没有按规定条件调整到位而引起误差。例如,仪器标尺的刻度不准确,零点没有调准,等臂天平的臂长不等,砝码不准,测量显微镜精密螺杆存在回程差,或仪器没有放水平,偏心、定向不准等。

##### (2) 理论或条件因素

由于测量所依据的理论本身的近似性或实验条件不能达到理论公式所规定的要求而引起误差。例如,称物体质量时没有考虑空气浮力的影响,用单摆测量重力加速度时要求摆角  $\theta \rightarrow 0$ ,而实际中难以满足该条件。

##### (3) 人员因素

由于测量人员的主观因素和操作技术而引起误差。例如,使用停表计时,有的人总是操之过急,计时比真值短;有的人则反应迟缓,计时总是比真值长;再如,有的人对准目标时,总爱偏左或偏右,致使读数偏大或偏小。

对于实验者来说,系统误差的规律及其产生原因,可能知道也可能不知道。已被确切掌握其大小和符号的系统误差称为可定系统误差;对于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。而后者一般难以做出修正,只能估计其取值范围。

#### 2. 随机误差

在相同条件下,多次测量同一物理量时,即使已经精心排除了系统误差的影响,也会发现每次测量结果都不一样。测量误差时大时小,时正时负,完全是随机的。在测量次数少时,显得毫无规律,但是当测量次数足够多时,可以发现误差的大小以及正负都服从某种统计规律。这种误差称为随机误差。随机误差的特征是它的不确定性,它是由测量过程中一些随机的或不确定的因素引起的。例如,人的感受(视觉、听觉、触觉)灵敏度和仪器稳定性有限,实验环境中的温度、湿度、气流变化,电源电压起伏,微小振动以及杂散电磁场等都会导致随机误差。

除系统误差和随机误差外,还有过失误差。过失误差是由于实验者操作不当或粗心大意造成的,例如看错刻度、读错数字、记错单位或计算错误等。过失误差又称粗大误差。含有过失误差的测量结果称为“坏值”,被判定为坏值的测量结果应剔除不用。实验中的过失误差不属于正常测量的范畴,应该严格避免。



### 3. 精密度、正确度和准确度

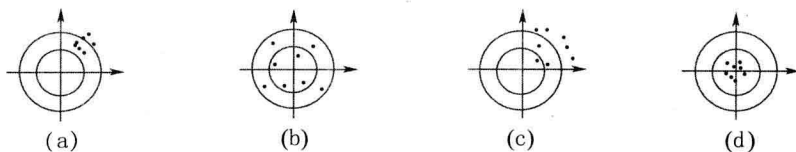
评价测量结果,常用到精密度、正确度和准确度这三个概念。这三者的含义不同,使用时应注意加以区别。

精密度反映随机误差大小的程度。它是对测量结果的重复性的评价。精密度高是指测量的重复性好,各次测量值的分布密集,随机误差小。但是,精密度不能确定系统误差的大小。

正确度反映系统误差大小的程度。正确度高是指测量数据的算术平均值偏离真值较少,测量的系统误差小。但是,正确度不能确定数据分散的情况,即不能反映随机误差的大小。

准确度反映系统误差与随机误差综合大小的程度。准确度高是指测量结果既精密又正确,即随机误差与系统误差均小。

现以射击打靶的弹着点分布为例,形象地说明以上三个术语的意义。如图 1-1-1 所示,其中图(a)表示精密度高而正确度低,图(b)表示正确度高而精密度低,图(c)表示精密度和正确度均低,即准确度低,图(d)表示精密度和正确度均高,即准确度高。通常所说的“精度”含义不明确,应尽量避免使用。



精密度高而正确度低    正确度高而精密度低    精密度和正确度均低    精密度和正确度均高

图 1-1-1 精密度、正确度和准确度示意图

## § 2 误差处理

### 一、处理系统误差的一般知识

#### 1. 发现系统误差的方法

系统误差一般难于发现,并且不能通过多次测量来消除。人们通过长期实践和理论研究,总结出一些发现系统误差的方法,常用的有:

##### (1) 理论分析法

包括分析实验所依据的理论和实验方法是否有不完善的地方;检查理论公式所要求的条件是否得到了满足;量具和仪器是否存在缺陷;实验环境能否使仪器正常工作以及实验人员的心理和技术素质是否存在造成系统误差的因素等。

##### (2) 实验对比法

对同一待测量可以采用不同的实验方法,使用不同的实验仪器,以及由不同的测量人员进行测量,然后对比、研究测量值变化的情况,可以发现系统误差的存在。





### (3) 数据分析法

因为随机误差是遵从统计分布规律的,所以若测量结果不服从统计规律,则说明存在系统误差。我们可以按照规律测量列的先后次序,把偏差(残差)列表或作图,观察其数值变化的规律。比如前后偏差的大小是递增或递减的;偏差的数值和符号有规律地交替变化;在某些测量条件下,偏差均为正号(或负号),条件变化以后偏差又都变化为负号(或正号)等情况,都可以判断是否存在系统误差。

### 2. 系统误差的减小与消除

知道了系统误差的来源,也就为减小和消除系统误差提供了依据。

#### (1) 减小与消除产生系统误差的根源

对实验可能产生误差的因素尽可能予以处理。比如采用更符合实际的理论公式,保证仪器装置良好,满足仪器规定的使用条件等等。

#### (2) 利用实验技巧,改进测量方法

对于定值系统误差的消除,可以采用如下的技巧和方法。

①交换法 根据误差产生的原因,在一次测量之后,把某些测量条件交换一下再次测量。例如,用天平称质量时,把被测物和砝码交换位置进行两次测量。设  $m_1$  和  $m_2$  分别为两次测得的质量,取物体的质量为  $m = \sqrt{m_1 m_2}$ ,就可以消除由于天平不等臂而产生的系统误差。

②替代法 在测量条件不变的情况下,先测得未知量,然后再用一已知标准量取代被测量,而不引起指示值的改变,于是被测量就等于这个标准量。例如,用惠斯通电桥测电阻时,先接入被测电阻,使电桥平衡,然后再用标准电阻替代被测量,使电桥仍然达到平衡,则被测电阻值等于标准电阻值。这样可以消除桥臂电阻不准确而造成的系统误差。

③异号法 改变测量中的某些条件,进行两次测量,使两次测量中的误差符号相反,再取两次测量结果的平均值做为测量结果。例如,用霍尔元件测量磁场的实验中,分别改变磁场和工作电流的方向,依次为  $(+B, +I)$ 、 $(+B, -I)$ 、 $(-B, +I)$ 、 $(-B, -I)$ ,在四种条件下测量电势差  $U_H$ ,再取其平均值,可以减小或消除不等位电势、温差电势等附加效应所产生的系统误差。

此外,用“等距对称观测法”可消除按线性规律变化的变值系统误差;用“半周期偶数测量法”可以消除按周期性变化的变值系统误差等等,这里不再详细介绍。

在采取消除系统误差的措施后,还应对其其他的已定系统误差进行分析,给出修正值,用修正公式或修正曲线对测量结果进行修正。例如,千分尺的零点读数就是一种修正值;标准电池的电动势随温度的变化可以给出修正公式;电表校准后可以给出校准曲线等等。

对于无法忽略又无法消除或修正的未定系统误差,可用估计误差极限值的方法进行估算。

以上仅就系统误差的发现及消除方法做了一般性介绍。在实际问题中,系统误差的处理是一件复杂而困难的工作,它不仅涉及许多知识,还需要有丰富的经验。这需要在长期的实践中不断积累,不断提高。

## 二、随机误差及其分布

实验中随机误差不可避免,也不可能消除。但是,可以根据随机误差的理论来估算其大