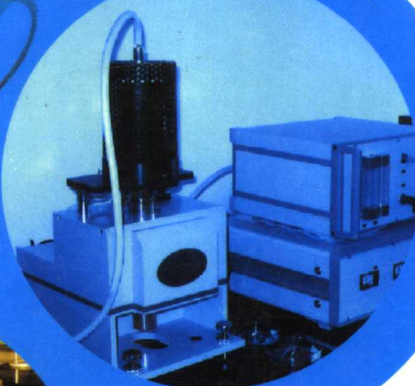


大学物理实验教程

主编 吴晓立 杨仕君 朱宏娜

主审 姜向东 袁玉辉

DAXUE WULI
SHIYAN JIAOCHENG



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

04-33

171

2007

大学物理实验教程

主编 吴晓立 杨仕君 朱宏娜

主审 姜向东 袁玉辉

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 提 要

《大学物理实验教程》一书是在总结长期的物理实验建设和教学改革的经验基础上,按照国家教委颁发的《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》编写的。全书共分3篇,第1篇简要介绍了误差理论和数据处理的基础知识,以及物理实验中常见的数据处理方法;第2篇为基础实验和设计性、综合性实验部分;第3篇为近代技术基础实验。全书包括15个基础实验,16个设计性、综合性实验,9个近代技术基础实验,涉及力学、热学、电学、磁学、光学及近代物理的一些内容。

本书可作为高等工科院校各专业大学物理实验课教材,也可供广大工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验教程 / 吴晓立, 杨仕君, 朱宏娜主编.
成都: 西南交通大学出版社, 2007.2
ISBN 978-7-81057-890-5

I. 大… II. ①吴…②杨…③朱… III. 物理学—实验—
高等学校—教材 IV. 04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 009070 号

大学物理实验教程

主编 吴晓立 杨仕君 朱宏娜

*

责任编辑 孟苏成

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 18.75

字数: 467 千字 印数: 1—4 000 册

2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-81057-890-5

定价: 28.80 元

图书如有印装问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

大学物理实验课是理工科学生重要的基础实验课程之一，是理工科学生必修的一门系统全面、独立设置的实践性基础实验课，同时也是通过实践学习物理知识的过程。系统地学习大学物理实验课，对学生创造性思维能力的培养能起到良好的促进作用。一般来讲，掌握了物理基本实验方法和相关设备，懂得如何读取和处理数据，相应的实验操作技能也得到了训练，这就为适应现代科学技术的不断进步和国家建设的迅速发展打下了坚实的基础。

按照《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》，我们依照基本实验理论、基本实验技能、综合性设计实验、近代技术实验循序渐进的方式编写了这本教材，涉及力学、热学、电学、磁学、光学及近代物理的一些内容。本书主要分为3大部分共3篇：第1篇分2章，阐述了物理实验课的作用和主要教学环节，介绍了误差理论、测量结果的评定和不确定度的概念、数据处理的基础知识和基本处理方法。第2篇分2章，围绕物理实验中常见的基本测量方法和基本实验技能，以及实验数据的处理方法，编写了15个基础实验；围绕培养学生创造性思维能力，编排了16个设计性、综合性实验。第3篇编写了9个近代技术基本实验，以丰富学生的知识和拓宽学生的视野。

本书的编写是在物理实验中心建设和实验教学经验积累的基础上进行的，物理实验中心的建设为实验教学提供了物质基础，而教材是实验教学的核心，它是集体智慧和集体劳动的结晶。物理实验中心近年来编写出版了许多物理实验教材，其中有袁玉辉等编写的《大学物理实验》、温诚忠等编写的《物理实验教程》、吴平等编写的《大学物理实验》、姜向东等编写的《大学物理实验》等，本书编写的许多章节选自上述教材。在本书的编写过程中，还得到了物理实验中心广大教师的大力支持，参考了许多兄弟院校的大学物理实验教材和部分仪器生产厂家的参考资料。

本书是西南交通大学物理基地建设支持项目之一，得到了西南交通大学教务处、实验室及设备管理处的大力支持，并由姜向东、袁玉辉教授审核全书。作者对此表示感谢。

本书由西南交通大学吴晓立老师编写了第1篇和第2篇的3.9、3.11、3.13、3.14、4.2、4.3、4.7、4.8，并作全书的文稿整理；杨仕君老师编写了第2篇的3.1、3.4、3.5、3.6、3.7、3.8、3.10、3.15、4.4、4.5、4.6、4.9、4.11；朱宏娜老师编写了第2篇的3.2、3.3、3.12、

4.10、4.12、4.13、4.14、4.15、4.16 及附表；姜向东老师编写了第 3 篇的 5.1、5.2、5.3、5.4、5.6、5.8、5.9；胡清老师编写了 5.5，巴璞老师编写 4.1，陈桔老师编写了 5.7。在本书的编写过程中，得到了袁玉辉、温诚忠、吴平教授的许多建议和帮助，还得到丘春蓉、王家强、龚宁、魏云、庄键、冯振勇、黄玉霖、黄整、韩立唐、陈汉军、陈贤贵等老师的大力支持，在此一并表示感谢。

由于编者水平所限，书中难免有缺点甚至错误，恳请读者提出宝贵的批评意见和建议。

编 者

2007 年 1 月

目 录

第 1 篇 误差理论与数据处理

第 1 章 绪 论	1
1.1 物理实验的地位和作用	1
1.2 大学物理实验课的目的和任务	1
1.3 物理实验课的主要教学环节	2
1.4 实验报告示例 (规则物体密度的测定)	3
第 2 章 不确定度概念与数据处理	8
2.1 测量与误差的基本概念	8
2.2 仪器误差	12
2.3 系统误差及其修正	15
2.4 随机误差的正态分布与标准误差	17
2.5 算术平均值与平均值的标准偏差	19
2.6 不确定度及不确定度的评定	22
2.7 测量结果的不确定度计算	25
2.8 有效数字及其运算	27
2.9 数据处理的基本方法——列表法、作图法、图解法、最小二乘法、逐差法	29
2.10 设计性实验的基本过程	35
附录	38

第 2 篇 基础实验与综合实验

第 3 章 基础实验	41
3.1 杨氏弹性模量的测量	41
3.2 空气的比热容比测量	47
3.3 转动惯量的测定	50
3.4 电学基础实验	54

3.5 中、低值电阻的测量(惠斯通电桥及开尔文电桥)	64
3.6 静电场的模拟实验	70
3.7 霍尔元件基本参量及磁场的测量	75
3.8 电子束聚焦和偏转研究	83
3.9 示波器的调整和使用	89
3.10 光学基础实验	104
3.11 分光计的调整与使用	117
3.12 偏振光的研究	126
3.13 光的等厚干涉实验	134
3.14 导热体热导率的测定	140
3.15 电子荷质比的测量	144
第4章 综合性、设计性实验	150
4.1 密立根油滴实验	150
4.2 示波器测超声波声速	153
4.3 压力传感器的特性及非平衡电桥信号转换技术	159
4.4 电位差计的研究	166
4.5 迈克耳孙干涉仪的调整与使用	173
4.6 光电效应法测普朗克常量	180
4.7 全息照相实验	184
4.8 CCD 测量光强分布	192
4.9 棱镜摄谱实验	198
4.10 重力加速度测量(设计性实验)	210
4.11 示波器的组装调试与测量	213
4.12 分光计测介质折射率	219
4.13 测凹透镜的焦距(自组光路设计实验)	220
4.14 自组望远镜(自组光路设计实验)	221
4.15 双棱镜干涉测波长	222
4.16 光栅测量(设计性实验)	224

第3篇 近代技术基础实验

第5章 近代技术基础实验	226
5.1 弗兰克-赫兹实验	226
5.2 液晶的电光特性实验	234
5.3 声光效应实验	238

5.4 光速测量实验	246
5.5 磁场的测量	255
5.6 机器人物理原理实验	260
5.7 硅光电池特性研究实验	267
5.8 红外传输实验	273
5.9 虚拟仪器实验	281
附 表	286
A. 基本物理常数表	286
B. 国际单位制简介	287
C. 常用物理参数	288
参考文献	291

第 1 篇

误差理论与数据处理

第 1 章 绪 论

科学实验在科学技术的发展中起着关键的作用。在人们认识自然、开拓与探索新的科技领域中，实验是一种不可缺少的手段。科学规律都应建立在严格的实验事实之上。

1.1 物理实验的地位和作用

作为研究自然界物质运动最基本最普遍形式的物理学，其形成和发展是以实验为基础的。物理实验的重要性，不仅表现在通过实验发现物理定律，而且物理学中每一项重要发现和突破都与实验密切相关。以伽利略、牛顿、麦克斯韦等人的理论为代表的经典物理学的形成，和以普朗克、爱因斯坦等人的理论为代表的近代物理学的发展，都证明物理实验是物理学发展的动力。在物理学发展的进程中，物理实验和物理理论始终相互制约、相互促进。没有理论指导的实验是盲目的，实验必须总结抽象上升为理论，才有其存在的价值；而理论必须靠实验来检验，同时理论上的需要又促进实验的发展。

1.2 大学物理实验课的目的和任务

大学物理实验课是对理工科专业学生开设的一门基础必修课程，是对学生进行科学实验基本训练的开端，旨在使学生获得基本的实验知识、方法和技能方面的训练，是后续课程的实验基础，是提高实验能力和综合素质培养的重要起点。这就是理工科各专业学生必修物理实验课的根本依据。

目前,国内越来越多的高校把大学物理实验课作为独立课程开设,对大学物理实验课的重视也日益得到加强。无论从教学理念、实验内容还是教学形式、实验手段,都在进行全方位的改革。近年来,由于科学技术进步所带来的实验仪器进步以及教育部开展的精品课程建设、工科基地建设、实验室示范中心建设,使我国许多高校的大学物理实验课程的整体水平提高较快,与发达国家大学的差距日益缩短,这为同学们学好大学物理实验创造了有利条件。

大学物理实验按内容分为3个方面:研究物理现象的成因和规律的定性实验;测量各物理量、物理规律之间数量关系的定量实验;验证某些物理现象与定律的验证性实验。

根据教育部工科教学委员会物理实验教学大纲的要求,大学物理实验的主要目的和任务如下:

(1) 通过对实验现象的观察、分析和对物理量的测量,使学生进一步掌握物理实验的基本知识、基本方法及基本技能。能运用物理原理、物理实验方法研究物理现象的规律,加深对物理原理的理解。

(2) 培养和提高学生的科学实验能力,包括:能够自行阅读实验教材,做好实验前的准备;能够借助教材与说明书,正确使用常用仪器;能够运用物理学理论对实验现象进行分析判断;能够正确记录和处理实验数据、绘制曲线、说明实验结果、写出实验报告;能够完成简单的设计性实验。

(3) 培养和提高学生的科学实验素质,要求学生具有理论联系实际和实事求是的科学作风,勤奋工作和严肃认真的工作态度,主动研究和坚忍不拔的探索精神,遵守纪律、团结协作、爱护公物的优良品质。

大学物理实验课是选取一些实验基本理论、基本物理量、基本方法和基本操作技能为主要教学内容进行教学的。在每一个实验的过程中,几乎都涉及实验的构思、组织;仪器的选择、安装、调试;数据的测量、读取、记录、处理;结果的分析、表达、推理、论断;报告的撰写,等等。显然指望通过一两个实验来培养实验技能是办不到的。在教学过程中,每个实验只侧重培养实验技能的几个方面,只有通过全面的学习,才能获得完整的实验基本技能。

1.3 物理实验课的主要教学环节

大学物理实验课教学分三个环节:实验预习、实验操作和实验报告撰写。

1. 实验预习

实验前要做好预习。主要阅读实验教材和指导书,我校大学物理实验已开展了网上预习。通过预习了解实验内容和目的,实验的物理原理和测量方法,实验仪器的使用操作要点及注意事项等。在此基础上,设计好数据记录表格等。经验表明,课前预习是否充分是实验中能否取得主动的关键。只有在充分了解实验内容的基础上,才能在实验操作中从容地观察现象、思考问题,达到预期的目的。

2. 实验操作

学生进入实验室后应遵守实验室规则，认真阅读实验指导卡片，经指导教师检查预习报告后方能进行实验。实验正式进行之前，首先，要熟悉一下所用仪器设备的性能、正确的操作规程和仪器的正常工作条件。切勿盲目操作，避免损坏仪器。实验中还应注意安全。

仪器连接调试准备就绪后，开始进行测量，测量的原始数据要整齐地记录在准备的表格中，读数一定要认真仔细。记录的数据一定要标明单位，不要忘记记录必要的环境条件，比如：温度、湿度、气压等。实验测量完数据后，记录的数据要经指导教师审阅签字，发现错误数据时，要重新进行测量。实验完毕，整理好仪器，经指导教师检查后方可离开实验室。

3. 实验报告的撰写

实验报告是实验工作的总结，学会撰写实验报告是培养实验能力的一个方面。实验报告要用简明的形式将实验结果完整、准确地表达出来，要求文字通顺、字迹端正、图表规范、结果正确，讨论认真。

实验报告通常包括以下内容：

- (1) 实验名称：表明做什么实验。
- (2) 实验目的：说明实验要达到的目的。
- (3) 实验仪器：列出主要仪器的名称、型号、规格、精度等。
- (4) 实验原理：阐明实验的理论依据，写出待测物理量的计算公式和简要推导过程，画出有关实验原理图或示意图。
- (5) 实验内容与步骤：根据实验过程写明内容与实验步骤。
- (6) 数据记录：实验中所测得的原始数据要尽可能用表格的形式列出，正确表示有效位数和单位。
- (7) 数据处理：按要求对测量结果进行计算或作图表示，并对测量结果进行评定。要写出不确定度计算的主要步骤计算不确定度。
- (8) 实验结果：简明写出实验结论。
- (9) 问题讨论：讨论实验中观察到的异常现象及其可能的解释，分析实验误差的主要来源，对实验仪器的选择和实验方法的改进提出建议，回答实验思考题。

撰写报告一律使用学校统一规定的实验报告用纸，要用坐标纸画实验曲线。

物理实验课培养学生通过实验手段去发现问题、分析问题和解决问题的能力。因此，要求学生在每个实验中必须做到既动手、又动脑，将理论知识与实验技能很好地结合起来，这是学好大学物理实验课的关键。

1.4 实验报告示例（规则物体密度的测定）

【实验目的】

- (1) 测量圆筒的密度。
- (2) 学习天平、游标卡尺的使用。

(3) 学习不确定度的计算。

【实验原理】

单位体积内物体的质量称为物体的密度

$$\rho = \frac{M}{V}$$

式中： ρ 为物体的密度， kg/m^3 ； M 为物体的质量， kg ； V 为物体的体积， m^3 。

1. 圆筒的体积

圆筒如图 1.4.1 所示，圆筒的体积 V 为

$$V = \frac{\pi}{4}(D^2H - d^2h)$$

式中： D 为圆筒外径， m ； d 为圆筒内径， m ； H 为圆筒高， m ； h 为圆筒孔深， m 。

2. 圆筒的密度

若已知圆筒的质量 M ，可得圆筒的密度 ρ 为 $\rho = \frac{M}{V}$ 。

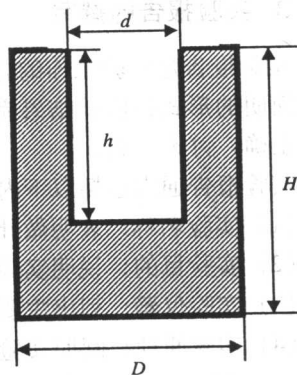


图 1.4.1

【实验仪器】

天平、游标卡尺、样品。

【实验步骤】

1. 测量圆筒的体积

用游标卡尺测量圆筒的外径 D 、内径 d 、高 H 、孔深 h 。每个量均在多个位置进行测量，每个物理量均测量 10 次。将测量数据记录在表格里。

2. 用复称法测量圆筒的质量

(1) 调整天平底盘水平、横梁水平。

(2) 测量天平空载的零点位置 e_0 。

(3) 将圆筒分别放在天平的左右盘内，各测量一次圆筒的质量 $M_{0左}$ 、 $M_{0右}$ 和零点值 $e_{左}$ 、 $e_{右}$ 。

(4) 分别在左盘和右盘加小砝码 ΔM ，测量零点值 $e'_{左}$ 、 $e'_{右}$ ，计算分度值为

$$S_{左} = \frac{\Delta M}{|e'_{左} - e_{左}|}, \quad S_{右} = \frac{\Delta M}{|e'_{右} - e_{右}|}$$

根据 $M_{左} = M_{0左} - (e_{左} - e_0)S_{左}$ 和 $M_{右} = M_{0右} + (e_{右} - e_0)S_{右}$ ，由 $M = \sqrt{M_{左} \cdot M_{右}}$ ，得出圆筒的质量。

【实验数据的记录与处理】

(1) 圆筒体积的测量 (见表 1.4.1)。

表 1.4.1 数 据 表

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值	S
H/cm	4.002	4.000	3.998	4.004	4.002	4.004	3.996	4.002	3.996	4.000	4.001	0.000 86
h/cm	3.004	3.000	3.002	3.000	2.998	3.002	3.000	2.996	3.004	3.002	3.001	0.000 80
D/cm	3.500	3.502	3.500	3.498	3.498	3.500	3.504	3.502	3.498	3.500	3.500	0.000 63
d/cm	1.502	1.500	1.502	1.498	1.496	1.500	1.504	1.502	1.500	1.498	1.500	0.000 76

(2) 圆筒质量的测量 (见表 1.4.2)。

表 1.4.2 数 据 表

	$M_{\pm}$						M_{*}					
	a_1	a_2	a_3	b_1	b_2		a_1	a_2	a_3	b_1	b_2	
e_0	3.5	4.1	4.7	17.6	16.8	10.6	3.6	4.0	4.5	17.2	16.7	10.5
e	3.3	4.0	4.6	16.9	16.6	10.4	3.4	4.2	4.7	17.5	16.8	10.6
e'	3.2	4.1	4.7	17.2	16.9	10.5	3.5	4.2	4.8	16.9	16.6	10.5
	$M_{0\pm}=258.890 (\text{g}), \Delta M=10 (\text{mg})$ $S=100 (\text{mg/格})$						$M_{0*}=258.880 (\text{g}), \Delta M=10 (\text{mg})$ $S=100 (\text{mg/格})$					
	$M_{\pm}=259.090 (\text{g})$						$M_{*}=258.980 (\text{g})$					

(3) 圆筒体积的计算。

$$V = \frac{\pi}{4}(\bar{D}^2 \bar{H} - \bar{d}^2 \bar{h}) = \frac{\pi}{4}(3.500^2 \times 4.001 - 1.500^2 \times 3.001) = 33.191 (\text{cm}^3)$$

(4) 圆筒体积不确定度的计算。

圆筒的外径 D 、内径 d 、高 H 、孔深 h 的 A 类标准不确定度为

$$u_{AD} = S_{\bar{D}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n(n-1)}} = 0.000 63 (\text{cm})$$

$$u_{Ad} = S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n(n-1)}} = 0.000 76 (\text{cm})$$

$$u_{AH} = S_{\bar{H}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2}{n(n-1)}} = 0.000 86 (\text{cm})$$

$$u_{\Delta h} = S_{\bar{h}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n(n-1)}} = 0.000\ 80\ (\text{cm})$$

游标卡尺的仪器误差限为

$$\Delta a = 0.002\ (\text{cm})$$

圆筒的外径 D 、内径 d 、高 H 、孔深 h 的 B 类标准不确定度为

$$u_{BD} = \frac{\Delta a}{\sqrt{3}} = 0.001\ 2\ (\text{cm}), \quad u_{Bd} = \frac{\Delta a}{\sqrt{3}} = 0.001\ 2\ (\text{cm})$$

$$u_{BH} = \frac{\Delta a}{\sqrt{3}} = 0.001\ 2\ (\text{cm}), \quad u_{Bh} = \frac{\Delta a}{\sqrt{3}} = 0.001\ 2\ (\text{cm})$$

圆筒的外径 D 、内径 d 、高 H 、孔深 h 的合成标准不确定度分别为

$$u_D = \sqrt{u_{AD}^2 + u_{BD}^2} = 0.001\ 4\ (\text{cm}), \quad u_d = \sqrt{u_{Ad}^2 + u_{Bd}^2} = 0.001\ 4\ (\text{cm})$$

$$u_H = \sqrt{u_{AH}^2 + u_{BH}^2} = 0.001\ 5\ (\text{cm}), \quad u_h = \sqrt{u_{Ah}^2 + u_{Bh}^2} = 0.001\ 4\ (\text{cm})$$

圆筒体积的标准不确定度为

$$u_V = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial D}\right)^2 u_D^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial d}\right)^2 u_d^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial H}\right)^2 u_H^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial h}\right)^2 u_h^2} = 0.035\ 5\ (\text{cm}^3)$$

(5) 圆筒质量的计算。

$$M = \sqrt{M_{\text{左}} \cdot M_{\text{右}}} = \sqrt{259.090 \times 258.980} = 259.035\ (\text{g})$$

(6) 天平测量精度很高，圆筒质量测量的不确定度计算较复杂，在这里取 $u_M = 0$ 。

(7) 圆筒密度的计算。

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{259.035}{33.191} = 7.804\ 4\ (\text{g/cm}^3)$$

(8) 圆筒密度的标准不确定度的计算。

$$u_\rho = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho}{\partial V}\right)^2 u_V^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial M}\right)^2 u_M^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho}{\partial V}\right)^2 u_V^2} = \frac{M}{V^2} u_V = 0.008\ 3\ (\text{g/cm}^3)$$

【实验结果】

圆筒的密度为

$$\rho = \bar{\rho} \pm u_\rho = 7.804\ 4 \pm 0.008\ 3\ (\text{g/cm}^3) \quad (\text{概率 } P = 68\%)$$

说明：

所谓零点是指横梁静止时，指针所指的刻度值。为了快速确定零点，具体做法是指针在

轻微摆动时，它在刻度尺左右摆动所达到的刻度值有 a_1 、 b_1 、 a_2 、 b_2 、 a_3 ，如图 1.4.2 所，则零点：

$$e = \frac{(a_1 + a_2 + a_3)/3 + (b_1 + b_2)/2}{2}$$

图 1.4.2 中， $a_1 = 3.5$ ， $b_1 = 17.6$ ， $a_2 = 4.1$ ， $b_2 = 16.8$ ， $a_3 = 4.8$ ，则 $e = 10.7$ 。

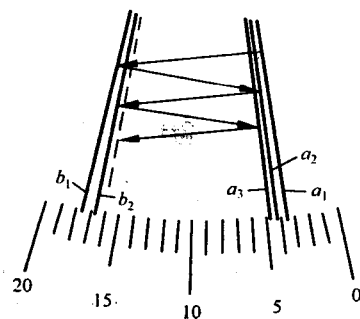


图 1.4.2

第2章 不确定度概念与数据处理

物理实验不仅要求定性地观察各种物理现象，也强调定量地测量被研究对象的相关物理量。怎样才能对测量结果的质量做出准确的评定？这是数据处理与误差分析要解决的问题，需要掌握相关的数学方法并对测量数据进行处理。因此，误差理论和数据处理是物理实验测量的理论基础之一。本章主要介绍测量与误差和不确定度的基本概念、误差的分类与特点、不确定度及其计算、测量结果的不确定度表述以及数据处理的基本方法、常见的测量方法、实验技术以及仪器误差等内容。

2.1 测量与误差的基本概念

1. 测量

测量：是对被测对象物理量的量值进行度量及单位进行读取的一组操作过程。在度量过程中，通常将被测对象物理量与同类标准量具进行比较，从而得到包含误差的测量量值，测量结果由测量量值和单位两部分组成，缺一不可。

例如：用游标卡尺（标准量具）测得（对比法）一圆柱体（被测对象）的直径（物理量）为 46.15 mm（量值与单位）。通常测量有如表 2.1.1 所述的三要素。

表 2.1.1

测量的三个要素		
1. 测量方法	2. 仪器设备	3. 测量结果（数值与单位）
比较法	米 尺	46.15 mm

注意：测量数值只有赋予了单位才有具体的物理意义。

单位：物理量是由测量数值和单位两部分组成，物理量的单位分为基本单位和导出单位。独立定义的单位称为基本单位（如长度单位：米，时间单位：秒），其对应的物理量称为基本物理量；由基本单位导出的单位称为导出单位（如速度的单位：米/秒）。

1984 年，国务院规定以国际单位制（简称 SI）为我国法定计量单位，确保计量单位的统一和量值的准确可靠。1960 年，第十一届国际计量大会制定了国际单位制，国际单位制规定了 7 个基本物理量单位：长度——米（m），时间——秒（s），质量——千克（kg），绝对温度——开尔文（K），电流——安培（A），发光强度——坎德拉（cd），物质的量——摩尔（mol）。同时国际单位制还规定了导出单位和对应的通用词冠，形成了一套严密、完整、科学、系统的国际单位制。

2. 测量的分类

在测量过程中, 根据测量方式的不同, 测量有直接测量和间接测量。

直接测量: 把被测量直接与标准量(标定了的仪器或量具)进行比较, 直接读出被测量的量值和单位的过程。相应的物理量称为直接测量量。

例如: 测量小球直径。用游标卡尺测得小球直径为 3.63 mm。这就是直接测量, 长度即直接测量量。

间接测量: 先测出直接测量量的量值, 再根据相应的已知理论函数关系, 通过计算才能得到测量结果的操作过程。相应的物理量就是间接测量量。

例如: 单摆法测重力加速度。应用公式 $g = 4\pi^2 l / T^2$, 直接测量出单摆的周期 T 和摆长长度 l , 再计算出重力加速度 g 。 T 和 l 都是直接测量量, 而重力加速度 g 是间接测量量。

在物理量的实际测量中, 绝大多数测量都是间接测量, 但直接测量是一切测量的基础。根据测量条件的不同, 测量又可分为等精度测量和不等精度测量。

等精度测量: 在相同测量条件下, 对同一物理量进行的多次重复的测量。相同测量条件包括: 实验仪器、测量方法、实验环境、实验者和误差来源等条件都相同。

要保持测量条件完全相同的多次重复测量是极其困难的, 但当某些条件的变化对结果影响不大时, 可视为等精度测量。在大学物理实验中的测量一般认为是等精度测量, 其数据处理也比较容易。

不等精度测量: 在不同的测量条件下, 对同一物理量进行的多次重复的测量。测量条件包括: 实验仪器、测量方法、实验环境和实验者等条件的不同或部分不同, 这些不同或部分不同都会造成实验结果发生某些变化。

3. 误差的基本概念

真值: 被测物理量在其所处的确定时空条件下, 被测量实际具有的客观存在的量值。

真值是一个理想化概念, 不能通过测量来获得, 一般来说大多数真值是不知道的, 用数字表示它应是一个无穷多位的数(在大多数情况下是一个无穷多位的数, 但特定情况真值又是可知的, 如圆周角为 360°)。

误差(绝对误差): 指被测物理量的实际测量值与其客观存在的真值之差, 它有大小和方向(正负)。由于实验条件、方法、仪器等影响, 实际测量值肯定与客观存在的真值有差距; 而真值又是一个理想化概念, 所以误差也不可知晓而只能估算。一般表示为

$$\delta = x - A \quad (2.1.1)$$

式中: δ 为误差, 又称绝对误差; x 为测量值; A 为被测量量值的真值。

测量值: 用测量方式所获得的被测对象的量值和单位。所以测量也是追求被测量量值逼近真值的过程。

约定真值: 在实际测量中, 常用以下国际计量标准约定的值称为约定真值:

- ① 理论值作为真值。例如: 直角为 90° 。
- ② 公认值作为真值。例如: 物理常数, 基本单位标准, He-Ne 激光波长 $6328\text{\AA}$ 。
- ③ (已修正过的) 测量值的算术平均值来替代真值。
- ④ 用可靠性更好、精密度更高的仪器的测量值作为真值, 等等。