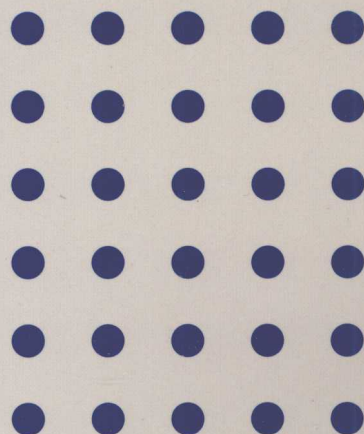
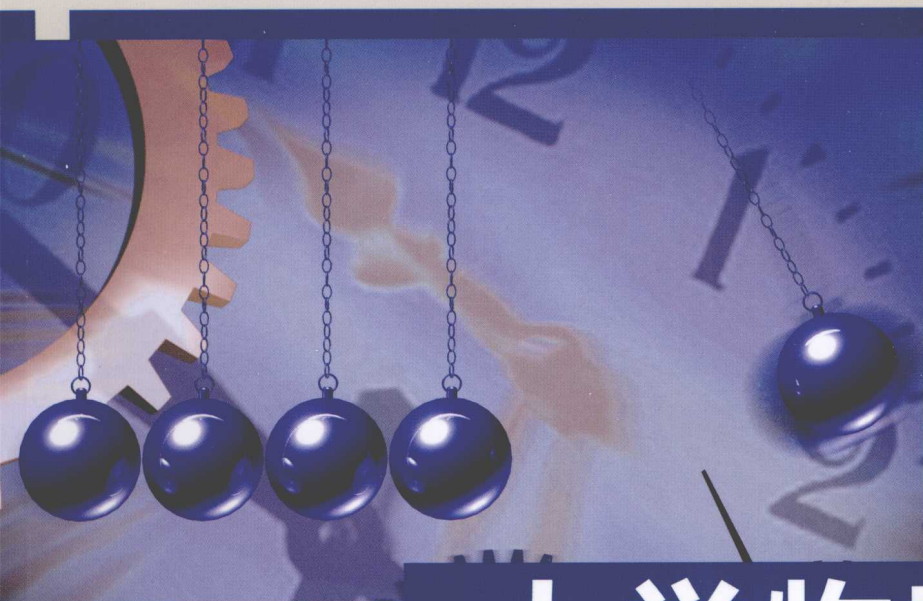




浙江省“十一五”重点建设教材



大学物理实验

Experiment of College Physics

张晓波 主 编

李小云 史建君 副主编



科学出版社

浙江省“十一五”重点建设教材

大学物理实验

张晓波 主编

李小云 史建君 副主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是依据教育部高等学校物理基础课程教学指导分委员会制定的“理工科类大学物理实验课程教学基本要求”编写的教材,突出对学生基本能力的训练和创新思维、创新方法、创新能力的培养,内容涵盖基础性实验、综合性及应用性实验、设计性及创新性实验、演示实验、计算机仿真实验等,共6个部分,56个实验项目。

本书可作为高等学校工科各专业和理科非物理专业大学物理实验课程的教材,也可供相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/张晓波主编. —北京:科学出版社, 2011

(浙江省“十一五”重点建设教材)

ISBN 978-7-03-031863-3

I. ①大… II. ①张… III. ①物理学—实验—高等学校—教材 IV. ①04-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第139648号

责任编辑:王纯刚 张振华/ 责任校对:王万红

责任印制:吕春珉/ 封面设计:科地亚盟

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

http: www. sciencep. com

北京路局票据印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2011年8月第一次印刷 印张:13 3/4

印数:1—3000 字数:310 000

定价:24.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换<路局票据>)

销售部电话 010-62140850 编辑部电话 010-62148322

版权所有, 侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

物理学是一门实验学科，物理学的各种实验方法、测试手段广泛地应用于科学技术的各个领域。因此，大学物理实验是高等学校理工科学生必修的一门基础实验课程，是为培养学生的创新能力和实践能力、提高学生的科学素质打下坚实基础的极其重要的教学环节。大学物理实验课程不仅仅是向学生传授知识和技能，更重要的是培养学生独立从事科学技术工作的能力、理论联系实际的综合分析能力和科学思维与表达能力等综合素质。

浙江理工大学物理实验教学中心近年来积极改革大学物理实验课程教学内容和体系，根据新技术、新研究成果设计或引进新实验。为了保证教学质量，我们依据教育部颁发的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》，并按照浙江省“省级基础实验教学示范中心”的建设目标，在不断探索高等教育改革和不断总结教学经验的基础上，吸收兄弟院校的宝贵经验，结合原有教材的基础编写了这本既能反映我校近年来在大学物理实验课程改革中取得的成果，又能满足大学物理实验教学要求的教材。

编写本书的理念是以学生为中心，突出对学生基本能力的训练和创新思维、创新方法、创新能力的培养。依照精选内容的原则，由浅入深的规律，全书共分6章，共56个实验项目。第1章讲述了测量误差、不确定度和数据处理的基础知识。第2章基础性实验，共选编了19个力学、热学、电磁学和光学实验。第3章为综合性及应用性实验，主要包括表面等离子体共振等12个综合与现代物理实验，内容涉及相关综合知识、综合性实验方法和实验手段，提高了实验的综合性 and 实用程度。第4章为设计性及创新性实验，主要包括折射率测量设计专题等12个实验，是在学生做了一定数量的基本实验后，能对实验方法、实验仪器等方面进行恰当评价的基础上，为了培养学生自主地进行科学实验的初步能力而设置的。设计性实验只提出实验目的、实验要求，让学生自行确定实验方法、选择仪器和设定实验程序，自己加以实现并对结果进行分析处理。第5章为演示实验，第6章为计算机仿真实验，共13个实验项目，主要是为了加强开放性学习，将计算机、互联网等现代化教学手段引入大学物理实验，进一步丰富实验方法和实验手段。

本书由张晓波担任主编，由李小云、史建君担任副主编，由隋成华教授担任主审。参加编写的有张晓波、李小云、史建君、陈晖、金立、罗一平、祝华、施沈阳、仇旭。绪论和第1章由李小云负责编写，第2章由张晓波、李小云、陈晖、金立、罗一平、祝华、施沈阳、仇旭负责编写，第3章由李小云、张晓波、陈晖、罗一平、仇旭负责编写，第4章由张晓波、李小云、史建君、金立负责编写，第5章由史建君、张晓波

负责编写，第6章由金立负责编写。

本教材在编写过程中，得到了浙江理工大学领导的热情鼓励和大力支持。同时，一些兄弟院校的教材也为本教材的编写提供了很好的借鉴，对此一并表示衷心感谢。

由于编者的水平有限，加之编写时间仓促，教材中难免有不足之处，恳请读者和同行专家们批评指正。

编者

浙江理工大学省级物理实验教学示范中心

2011年5月

目 录

绪论	1
第 1 章 测量误差与数据处理的基本知识	8
1.1 测量与有效数字	8
1.2 误差的分类与处理	10
1.3 测量不确定度的估算	14
1.4 实验数据的处理方法	18
第 2 章 基础性实验	23
2.0 预备知识	23
2.1 用拉伸法测金属材料的杨氏模量	37
2.2 用动态法测金属材料的杨氏模量	41
2.3 用扭摆法测定物体的转动惯量	44
2.4 用三线摆法测定物体的转动惯量	49
2.5 气体比热容比的测定	51
2.6 用稳恒电流场模拟测绘静电场	54
2.7 电表改装及校准	57
2.8 直流电桥测电阻	62
2.9 RLC 电路暂态过程研究	66
2.10 示波器的原理和使用	72
2.11 声速的测量	80
2.12 铁磁材料的磁化曲线和磁滞回线的测量	83
2.13 用霍尔效应法测磁场分布	90
2.14 温度传感器的原理与应用	96
2.15 玻尔共振	100
2.16 光的等厚干涉	105
2.17 迈克尔逊干涉仪的调节和使用	109
2.18 分光计的调整及光栅衍射	114
2.19 光的偏振	122
第 3 章 综合性及应用性实验	128
3.1 Pasco 动力学实验	128

3.2	Pasco 固体线膨胀系数的测量	135
3.3	Pasco 基础光学实验	137
3.4	纺织品介电常数的测定	140
3.5	非线性电路混沌效应	144
3.6	密立根油滴实验	147
3.7	夫兰克-赫兹实验	151
3.8	光电效应测普朗克常数	155
3.9	表面等离子体共振实验	159
3.10	多普勒效应综合实验	163
3.11	超声光栅及应用	170
3.12	太阳能电池特性的研究	173
第 4 章	设计性及创新性实验	178
4.0	概述	178
4.1	固体金属比热容的研究	179
4.2	弦振动特性的研究	180
4.3	电路元件伏安特性的研究	180
4.4	直流稳压电源的设计	181
4.5	电阻温度计的设计	181
4.6	简易万用表的设计和制作	182
4.7	望远镜和显微镜的设计	182
4.8	折射率测量设计专题	183
4.9	金属细丝直径测量设计专题	183
4.10	偏振光应用的研究	184
4.11	超声波焊接原理及应用	184
4.12	超声波探伤原理及应用	184
第 5 章	演示实验	186
5.1	科里奥利力	186
5.2	茹可夫斯基凳	187
5.3	双向反转式伽尔顿板	188
5.4	记忆合金系列	188
5.5	昆特管	189
5.6	亥姆霍兹线圈	190
5.7	温差电现象	192
5.8	能量转换轮	193
5.9	帘式皂膜	193

5.10 旋光色散	194
5.11 偏振光干涉	195
第 6 章 计算机仿真实验	197
6.0 仿真实验软件简介	197
6.1 电子荷质比的测定	201
6.2 塞曼效应	204
参考文献	210
实验安排表	211

绪 论

物理学是一门基础学科，它的发展已经改变了并正在继续改变着整个世界的面貌。物理学又是一门实验科学，它本身的发展和创新无不与物理实验密切联系。物理学中的任何创新成果都源自实验，而且都必须经过实验的检验。同时物理实验又是大学生进校后第一门科学实验课程，是进入科学实验殿堂的入门向导，它在培养学生运用实验手段去分析、观察、发现以至研究、解决问题的能力方面，以及培养学生的创新能力和创新精神方面都起着重要的作用。

物理实验的作用不仅在于它实验的内容，更重要的是实验进行的过程。在这个过程中，学生们不仅掌握了知识，而且了解到知识创造的过程，从而学会学习，为他们的终身教育打下一个坚实的基础。要学好物理实验课程，需掌握以下四点：

1. 明确物理实验课程的教学目的

本课程的目的和任务是：

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，提高对科学实验重要性的认识。

2) 培养学生良好的实验习惯，爱护公共财物，遵守安全卫生制度，树立良好的学风。

3) 掌握测量误差的基本知识，具有正确处理实验数据的初步能力。其中包括下列内容：测量误差的基本概念，测量量的不确定度估算以及处理实验数据的一些重要方法，如列表法、作图法、逐差法和一元线性函数的最小二乘法等。

4) 能够自行完成预习、进行实验和撰写实验报告等主要实验程序。能够调整常用实验装置，并基本掌握常用的操作技术，如零位调整，水平、铅直调整，光路的共轴调整，消视差调节，逐次逼近调节，根据给定的电路图正确接线等。了解物理实验中常用的实验方法和测量方法，如比较、放大、转换、模拟、补偿、平衡和干涉等方法。能够进行常用物理量的一般测量，如长度、质量、时间、热量、温度、电流强度、电压、电动势、电阻、磁感应强度、折射率等的测量。了解常用仪器的性能，并学会使用方法，如测长仪器、计时仪器、测温仪器、变阻器、电表、直流电桥、直流电位差计、通用示波器、低频信号发生器、分光计、常用电源和常用光源等。

5) 通过开设一定数量的综合性或应用性物理实验，初步了解物理实验的技术应用，提高进行综合实验的能力。

6) 通过开设适量的设计性实验，使同学们在实验方法的设计、测量仪器的选择和配合、测量条件的确定等方面受到初步的训练。

2. 掌握物理实验的基本环节

实验课与理论课不同，它的特点是学生在教师的指导下自己动手，独立地完成实

验任务。要上好一次物理实验课，要做好以下三个环节的工作：

(1) 做好预习

实验课前要把将要进行的实验内容仔细阅读一遍，弄明白这次实验的目的要求、原理、仪器、操作步骤以及应该注意的问题等，写好预习报告。有些实验还要课前自拟实验方案，自己设计电路图、光路图、自拟数据表格等。因此，课前预习的好坏是实验中能否取得主动的关键。

(2) 做好实验

到实验室后要遵守有关的规章制度，爱护仪器设备，注意安全。动手之前要先了解仪器的性能、规格、使用方法和操作规程，不要盲目动用仪器。调整仪器装置时要仔细认真，一丝不苟，还要注意满足测量公式所要求的实验条件。在整个实验过程中，要手脑并用，要注意培养和锻炼自己的动手能力。实验操作要做到准确、熟练、快速。如在力学实验中如何调水平、调铅垂，在电学实验中如何连接电路，在光学实验中如何调节共轴等，都是一些很基本的操作，都应该熟练掌握。动手能力还表现在能否及时发现并排除实验中可能遇到的某些故障。实验中还要记录好原始数据（就是在测量时直接从仪器上读出来的数据），要一边测量，一边及时记录，要记得准确、清楚、有序。做完实验，要将实验数据交给教师检查，得到签字认可后，再将仪器收拾复原好，方可离开实验室。

(3) 写好实验报告

实验报告是对实验的全面总结，其内容除实验名称外，一般包括：实验目的、实验仪器、实验原理、数据处理、结果表示、讨论等。要用指定的实验报告纸按规定的格式书写实验报告，字迹要清楚，文理要通顺，图表要正确。准确地、完整而简明地表述实验报告中各部分内容，是实验课训练的重要目的之一。另外，要按时交实验报告。

上述三个环节中，第二个环节虽然是主要的，但是对第一、第三个环节也绝不应忽视，这三个环节都做好了，才算是上好了物理实验课。

3. 写好实验报告

通常，实验报告分为四个部分。

(1) 预习报告

它作为正式报告前面的部分，要求在正式做实验之前写好。内容包括：

1) 实验目的：说明本实验的目的。

2) 实验原理摘要：在理解的基础上，用简短的文字和公式扼要地阐述实验原理，切忌整篇照抄，力求做到图文并茂（图是指原理图、电路图或者光路图）。对实验中所用的主要公式，要说明其中各物理量的意义和单位以及公式的适用条件（或实验的必要条件）。

3) 简要的实验步骤。

(2) 实验记录

实验的原始数据先记录在专用的“原始数据记录”纸上，实验完毕后再进行整理。内容包括：

1) 实验仪器：记录实验所用主要仪器的编号和规格。记录仪器编号是一个好的工作习惯，便于以后必要时对实验进行复查。记录仪器规格可以使同学们逐步地熟悉它，

以培养选用仪器的能力。

2) 实验内容和现象的观测记录。

3) 数据：数据记录应做到整洁清晰而有条理（不可用铅笔），尽量采用列表法。在根据数据特点设计表格时，力求简单明了，分类清楚，便于计算与复核。在标题栏内要求注明单位，数据不得任意涂改。

(3) 数据处理与计算

此部分在实验后进行，包括：

1) 作图：按图解法要求绘制图线。

2) 计算结果与误差估算：计算时，要写出公式，再代入数值进行运算。误差估算要预先写出误差公式，要有详细的计算过程。

(4) 结果讨论与分析

实验后可供讨论与分析的问题很多，如：实验中遇到的困难的处理；实验设计的特点、普遍意义；对实验设计改进的设想和问题；对实验中出现的异常现象的分析与判断等。

学生实验一般是按指定的方法，使用指定的仪器进行的。由于实验方法与仪器是经过仔细设计和反复实验检验的，一般均可获得较好的结果。对于学生实验，虽然希望实验有好的结果，但从根本上讲，重要的不是实验结果如何好，而是学生对实验设计的认识，以及在实验过程中受到的锻炼。

实验报告格式见浙江理工大学《物理实验报告册》。

4. 遵守实验规则

1) 按时到课，病、事假需提交请假条。

2) 不在实验室内饮食、乱扔杂物，不大声喧哗，保持室内清洁、安静。

3) 注意操作安全，防止触电，发生突发事件时及时向老师报告。

4) 遵守实验室的规章制度和仪器操作规程，服从老师指导。

5) 爱护仪器设备，小心操作。

【附录】

实验报告范例

实验报告不是写给指导教师的，而应是学习生活的足迹。同时实验报告是写给同行看的，所以必须反映自己的工作收获和结果，反映自己的能力和水平。报告要有自己的特色，要有条理性，并注意运用科学术语，一定要有实验的结论和对实验结果的讨论、分析或评估（成败之初步原因）。这里给出范例，仅供初学者参考。

长度测量

一、实验目的

1) 掌握游标、螺旋测微装置的原理和使用方法。

2) 了解读数显微镜测长度的原理，并学会使用。

3) 巩固误差、不确定度和有效数字的知识，学习数据记录、处理及测量结果的表示等。

二、实验仪器

游标卡尺, 螺旋测微计, 读数显微镜, 待测物体等。

三、预习报告 (包括实验原理、实验内容及主要步骤)

1. 实验原理

(1) 游标卡尺

游标卡尺是由米尺 (主尺) 和附加在米尺上一段能滑动的副尺构成的。它可将米尺估计的那位数较准确地读出来, 其特点是游标上 n 个分格的长度与主尺上 $(n-1)$ 个分格的长度相等, 利用主尺上最小分度值 a 与游标上最小分度值 b 之差来提高测量精度。

因为

$$nb = (n-1)a$$

所以

$$a - b = \frac{1}{n}a$$

a 往往为 1mm, n 越大, 则 $a-b$ 越小, 游标精度越高。 $a-b$ 称为游标最小读数或精度。例如 50 分度 ($n=50$) 的游标卡尺, 其精度为 $1/50=0.02\text{mm}$ 。这也是游标尺的示值误差。

读数时, 根据游标 “0” 线所对主尺的位置, 可在主尺上读出毫米位的准确数, 毫米以下的尾数由游标读出。

(2) 螺旋测微计

螺旋测微计 (又名千分尺) 主要由一根精密的测微螺杆、螺母套管和微分筒构成, 利用螺旋推进原理而设计的。螺母套管的螺距一般为 0.5mm (即为主尺的分度值), 当微分筒 (副尺) 相对于螺母套管转一周时, 测微螺杆就向前或向后退 0.5mm。若在微分筒的圆周上均分 50 格, 则微分筒 (副尺) 每旋一格, 测微螺杆进、退 $0.5/50=0.01\text{mm}$, 主尺上读数变化 0.01mm, 可见千分尺的最小分度值为 0.01mm, 因而能估读到千分之一位, 其示值误差为 0.004mm。

读数时, 先在螺母套管的标尺上读出 0.5mm 以上的读数; 再由微分筒圆周上与螺母套管横线对齐的位置读出不足 0.5mm 的整刻度数值和毫米千分位的估计数字。三者之和即为被测物之长度。

(3) 读数显微镜

读数显微镜是将显微镜和螺旋测微计组合起来, 作为测量长度的精密仪器。显微镜由目镜和物镜组成, 目镜筒中装有十字叉丝, 供对准被测物用。把显微镜装置与测微螺杆上的螺母套管相连, 旋转测微鼓轮 (相当于千分尺的微分筒), 即转动测微螺杆, 就可以带动显微镜左右移动。常用的读数显微镜测微螺杆螺距为 1mm, 测微鼓轮圆周上刻有 100 分格, 则最小分度值 0.01mm, 读数方法与千分尺相同, 其示值误差为 0.015mm。

2. 实验内容及主要步骤

(1) 用游标卡尺测量圆环的体积

1) 校准游标卡尺的零点, 记下零读数。

2) 用外量爪测外径 D_1 ，高 H ；用内量爪测内径 D_2 ，重复测量 5 次。测量时注意保护量爪。

3) 求体积和不确定度。

(2) 用千分尺测量小球的体积

1) 校准零点，记下零读数。

2) 重复测量直径 5 次，测量时注意保护测砧与测杆。

3) 求体积和不确定度。

(3) 用读数显微镜测量毛细管的直径

1) 调整显微镜，对准待测物，消除视差。

2) 测量时，测微鼓轮始终在同一方向旋转时读数，以避免回程差，重复测量 5 次。

四、数据处理与结果讨论

1. 用游标卡尺测圆环体积

测量数据如表 0-1 所示。

表 0-1 游标卡尺数据

$\Delta_{\text{仪}} = 0.02\text{mm}$ ；零点误差 $D_0 = 0.00\text{mm}$

项目 次数	外径 D_1/mm	内径 D_2/mm	高 H/mm
1	48.04	34.96	21.88
2	48.06	35.02	21.90
3	47.98	34.98	21.96
4	47.96	34.94	21.94
5	48.00	35.04	21.86

不难得到

$$\overline{D}_1 = 48.008\text{mm}$$

$$S_{D_1} = \sqrt{\frac{\sum (D_{1i} - \overline{D}_1)^2}{5 - 1}} = 0.041\text{mm}$$

$$u_{D_1} = \sqrt{S_{D_1}^2 + \Delta_{\text{仪}}^2} = 0.046 \approx 0.05\text{mm}$$

故

$$D_1 = 48.01 \pm 0.05\text{mm}$$

同理可得

$$D_2 = 34.96 \pm 0.05\text{mm}$$

$$H = 21.91 \pm 0.05\text{mm}$$

$$\overline{V} = \frac{\pi}{4} (\overline{D}_1^2 - \overline{D}_2^2) \overline{H} = 18575.179 \text{ mm}^3$$

$$u_V = \sqrt{\left(\frac{\pi}{2} \overline{HD_1} u_{D_1}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{2} \overline{HD_2} u_{D_2}\right)^2 + \left[\frac{\pi}{4} (\overline{D_1^2} - \overline{D_2^2}) u_H\right]^2}$$

$$= 88.494 \text{ mm}^3 \approx 0.009 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$V = (1.858 \pm 0.009) \times 10^4 \text{ mm}^3$$

用千分尺测小球直径 (略)。

2. 用读数显微镜测毛细管直径

测量数据如表 0-2 所示。

表 0-2 读数显微镜数据

$\Delta_{\text{仪}} = 0.015 \text{ mm}$

次数 项目	1	2	3	4	5
D_2/mm	27.373	27.237	27.389	27.270	27.384
D_1/mm	27.270	27.377	27.284	27.388	27.288
$D = D_2 - D_1 /\text{mm}$	0.103	0.104	0.105	0.108	0.104

$$\overline{D} = 0.1048 \text{ mm}$$

$$S_D = 0.0017 \text{ mm}$$

$$u_D = \sqrt{S_D^2 + \Delta_{\text{仪}}^2} \approx 0.015 \text{ mm}$$

$$D = 0.105 \pm 0.015 \text{ mm}$$

3. 讨论与分析

1) 测定圆环体积时, 分别测了外径 D_1 、内径 D_2 和高 H , 利用公式

$$V = \frac{1}{4} \pi H (D_1^2 - D_2^2)$$

求得体积。这一公式虽然简单, 但求不确定度时却较繁琐。若作如下变换

$$V = \frac{1}{4} \pi H (D_1 + D_2) (D_1 - D_2) = \pi H \frac{D_1 + D_2}{2} \cdot \frac{D_1 - D_2}{2} = \pi H Q P$$

其中 P 、 Q 如图 0-1 所示。

这时有

$$\frac{u_V}{V} = \sqrt{\left(\frac{u_H}{H}\right)^2 + \left(\frac{u_Q}{Q}\right)^2 + \left(\frac{u_P}{P}\right)^2}$$

这样, 求 u_V 就简单多了。

本方法的缺点是用游标卡尺不易测准 Q 值, 可以采用多次测量来减小测量的随机误差分量。

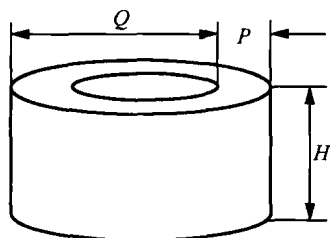


图 0-1 圆环体积的测量

2) 圆环、钢球直径的多次测量结果表明偶然误差比较大, 可能是被测物件形状不理想所致, 比如球不圆等。在这种情况下, 只有从不同方位多次测量取平均值才能得到接近真值的体积测量值。

3) 用统计方法求得偶然误差分量 S_D , 它同仪器的误差是相互独立的, 在求总不确定度时, 用方和根合成。如果其中一个远比另一个小时 (如 $S_D < \frac{1}{3} \Delta_{\text{仪}}$), 根据微小误

差原理，小误差的影响可以忽略不计，在求总不确定度时可以简化计算。

4) 用读数显微镜测量毛细管直径 D ，测量结果的相对不确定度 $E_D = \frac{u_D}{D} \times 100\% = 14\%$ 。检查测量过程无误，这说明精度为 0.01mm、示值误差为 0.015mm 的读数显微镜测量如此微小的长度，显然不太合适。建议采用更加精密的仪器来测量。

第 1 章 测量误差与数据处理的基本知识

本章介绍测量误差估计、实验数据处理和实验结果的表示等内容的基本知识。这些知识不仅在每一个物理实验中都要用到，而且是今后从事科学实验必须了解和掌握的。这部分内容牵涉面较广，这里只是向大家作综合的介绍，然后再结合具体的实验，通过运用加以掌握。应该说明的是：对这些内容的深入讨论是普通计量学和数理统计学的任务，我们只是引用了他们的某些结论和部分相关的计算公式。

1.1 测量与有效数字

1.1.1 测量

物理实验是以测量为基础的。研究物理现象，了解物质特征，验证物理原理都要进行测量。

1. 测量分类

测量包含五个要素，即观测者、测量对象、测量仪器、测量方法以及测量条件。根据获得测量结果的方法不同，测量可以分为直接测量和间接测量。

由仪器或量具直接与待测量进行比较读数，称为直接测量。如用米尺测量物体的长度，用电流表测量电流强度等，所得到的相应物理量称为直接测量量。

在大多数情况下，需要借助一些函数关系由直接测量量计算出所要求的物理量，这样的测量称为间接测量，相应的物理量称为间接测量量。如钢球的体积 V 可由直接测得的直径 D ，用公式 $V = \frac{1}{6} \pi D^3$ 计算得到。则 D 为直接测量量， V 为间接测量量。在误差分析和估算中，要注意直接测量量与间接测量量的区别。

2. 等精度测量和不等精度测量

对重复的多次测量，可分为等精度测量和不等精度测量两类。如对某一待测物进行多次重复测量，而且每次测量的条件都相同（同一测量者、同一套仪器、同一种实验方法、同一实验环境等），这样的重复测量称为等精度测量。在诸测量条件中，只要有一个条件发生了变化，这时所进行的重复测量为不等精度测量。一般在进行重复测量时，要尽量保持为等精度测量。

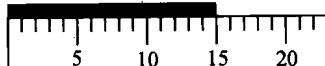
1.1.2 有效数字及其运算规则

1. 有效数字的记录

测量数值中可靠数字与估读的一位（或两位）可疑数字，统称为有效数字，即有

效数字=可靠数字+可疑数字(估读)。

例如,用米尺测量一物体长度,如图 1.1-1 所示,其长度 $L=15.0\text{mm}$,最后一位“0”是估读出来的,是可疑数字。在数学上, $15=15.0$,但对测量值来说, $15\neq 15.0$ 。图 1.1-1 测量与有效数字



15.0mm 比 15mm 的测量准确度一般要高一个数量级。

有效数字位数的多少,直接反映实验测量的准确度:有效数字位数越多,测量准确度越高。因此,实验结果有效位数既不能多写一位,也不能少写一位。在记录实验数据时要切记读数的有效数字。测量值=读数值(有效数字)+单位。

2. 有效数字的运算

在数据运算时,首先应保证测量的准确度。运算时应使结果具有足够的有效数字,少算会带来附加误差,降低结果精度;多算没有必要,即使算的位数很多,也不可能减少误差。

有效数字运算取舍的原则是:运算结果保留一位(最多两位)可疑数字。

1) 加、减运算。

例:

$$\begin{array}{r} 20.1 \\ +) 4.178 \\ \hline 24.278 \end{array} \rightarrow 24.3$$

结论:诸量相加(相减)时,其和(差)值在小数点后所应保留的位数与诸数中小数点后位数最少的一个相同。

2) 乘、除运算。

例:

$$\begin{array}{r} 4.178 \\ \times) 10.1 \\ \hline 42.1978 \end{array} \rightarrow 42.2$$

结论:诸量相乘(除)后其积(商)所保留的有效数字,只须与诸因子中有效数字最少的一个相同。

3) 乘方和开方的有效数字与其底的有效数字相同。

4) 对数函数、指数函数和三角函数运算结果的有效数字必须按照不确定度传递公式来决定(详见 1.3 节)。

3. 有效数字尾数修约规则

在计算数据时,当有效数字位数确定以后,应将多余的数字舍去,其舍去规则为:

1) 拟舍弃数字小于 5 时,则舍去,即保留的各位数字不变。

2) 拟舍弃数字大于 5,或者是 5 而其后跟有非为 0 的数字时,则进 1,即保留的末位数数字加 1。

3) 拟舍弃数字是 5,而其后无数字或皆为 0 时,若所保留的末位数字为奇数则进 1,为偶数或零则舍去,即“单进双不进”。

例:

$$4.32749 \rightarrow 4.327 \quad 4.32750 \rightarrow 4.328$$

$$4.32651 \rightarrow 4.327 \quad 4.32850 \rightarrow 4.328$$

这样处理可使“舍”和“入”的机会均等,避免在处理较多数据时因人多舍少而带来的系统误差。