



大学物理实验学习 指南与重难点解析

● 刘 辉 牟其伍 李巧梅 等编著
韩 忠 主 审



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

大学物理实验学习 指南与重难点解析



刘 辉 牟其伍 李巧梅 等编著
韩 忠 主 审

重庆大学出版社

内容提要

全书共分为 19 个部分,其中有如何学好大学物理实验课程,实验误差及处理、试卷解析和 15 个实验。全书突出内容、原理指导与难题解析这个主题,每个实验都有背景知识、重点、难点解析例题、填空题、选择题或计算题、设计题并逐个作了解答。本书中所有重点、难点、习题都是老师们经过长期的实验教学凝练出来的,具有很强的针对性和指导意义。有些内容还考虑到各大类专业知识衔接与应用,考虑到学生毕业后工作实践的需求,因此,此书对从事物理实验教学的老师和工程技术人员也有参考、借鉴意义。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验学习指南与重难点解析/刘辉等编著.

—重庆:重庆大学出版社,2016.8

高等学校实验课系列教材

ISBN 978-7-5624-9713-4

I. ①大… II. ①刘… III. ①物理学—实验—高等学校—教学参考资料 IV. ①O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 130635 号

大学物理实验学习指南与重难点解析

刘 辉 牟其伍 李巧梅 等编著

韩 忠 主 审

策划编辑:杨粮菊

责任编辑:陈 力 版式设计:杨粮菊

责任校对:秦巴达 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆学林建达印务有限公司印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:13.25 字数:314千

2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-9713-4 定价:30.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

大学物理实验学习指导与题解编委

(以姓氏笔画为序)

叶 青 牟其伍 许世杰 刘 辉 刘燕玲 刘高斌
李巧梅 韩 忠 向 黎 向 红 何光宏 吴世春
吴晓波 吴 芳 汪 涛 陈 莹 赵 艳 赵及则
韩 忠 彭 华

前言

近年来出版的大学物理实验教材种类繁多,但是能引导学生自学和具有一定指导意义的实验教材却不多见。学生们在有限的时间内匆忙地完成一个实验项目,对实验中涉及的理论深度、历史背景和应用前景了解甚少;对实验中的重点不清晰,难点无从解答。针对这种情况,本书与学生所要完成的实验项目一一对应,对每个实验项目,通过对重点、难点举例并进行解析,精选提炼出具有一定深度、难度的习题,进行填空、选择、设计、操作、计算练习、解答。其内容广泛、深入、针对性强,对学生在学习和实验中遇到的疑难问题逐一进行解答,使学生获得事半功倍的效果。

本书再版增加了许多新的内容,比如:每个实验项目中,在实验背景、实验原理、实验操作、重难点等知识模块中增添了从大量资料中精选出来的图,对学生提高物理实验课的兴趣,开阔学习视野和创新能力的培养有很大的益处;改编还增加了科学处理实验数据的作图新方法,使学生具备了利用现代科学手段处理实验数据的能力,系统地给出了预习报告、实验报告、操作考试、模拟试卷整套“实战”练习,使学生的能力得到多方面的提升。本书第一版(2013年2月)已经过3年的应用,除重庆大学本校采用外,还辐射到西南、西北等地区,受到广大师生的好评!可以预计,经过这次修改,将会使更多的学生和从事大学物理实验教学的教师更好地受益。

本书是20余位老师经数年的实验教学(理论知识和教学经验)的凝结,经过多届学生使用修改而成的。它不仅可为各理工科学生提供学习指导,也可各院校从事大学物理实验教学的教师们提供借鉴与参考。

目 录

1	如何学好大学物理实验课程	1
2	测量的不确定度和数据处理	4
3	如何用 Excel 软件处理物理实验数据	14
4	固体杨氏弹性模量的测量 Measurement of Young's Modulus of steel wire	22
5	用直流电桥测量电阻温度系数 Measurement of the temperature coefficient of resistance by Wheatstone bridge	34
6	电子示波器的使用 Oscilloscope	40
7	铁磁材料磁化曲线与磁滞回线的测绘 Magnetization curve and magnetic hysteresis loop of ferro magnetic materials	55
8	密立根油滴法测定基本电荷 Measurement of elementary charge by Millikan oil-drop experiment	62
9	光电效应法测普朗克常数 Measurement of Planck constant by photoelectric effect	73
10	分光计的调整与玻璃三棱镜折射率的测量 Adjustment of the spectrometer and measurement of glass prism refractive index	83
11	等厚干涉实验——牛顿环和劈尖干涉 Wedge interference and Newtonian rings	96

12	迈克尔孙干涉仪	
	Measurement of laser wavelength by Michelson	
	Interferometer	109
13	全息摄影	
	Holograph	120
14	传感器系列实验	
	Strain gauge and weight sensors	128
15	声光衍射与液体中声速的测定	
	Measurement of sound speed in water by acousto-optic diffraction	142
16	弗兰克-赫兹实验	
	Franck-Hertz experiment	152
17	三用电表的设计、制作与校正	
	Design, assembling and calibration of a multimeter ...	164
18	显微镜和望远镜的设计与组装	
	Design and assembling of microscope and telescope ...	173
	附录	184
	附录1 大学物理实验模拟试卷	184
	附录2 实验预习报告样本	196
	附录3 实验原始数据记录	198
	附录4 实验报告样本	199
	附录5 操作考试评分标准样本	203

如何学好大学物理实验课程

(1) 课程的重要性

物理学经历了几百年的发展历史,对人类文明史的发展作出了巨大的贡献。从牛顿力学的建立与完善到人类诞生出第一台蒸汽机;从麦克斯韦电磁理论的建立到电灯、电话、发电机、电动机的诞生;从玻尔的原子理论,爱因斯坦的狭义相对论、广义相对论的建立到核能的应用,新材料的迅猛发展,信息时代的到来,人类科技的发展因此经历了一个辉煌的历程。在这个过程中涌现出了一大批物理学家,如牛顿、麦克斯韦、居里夫人、爱因斯坦、玻尔、霍金等。

艾萨克·牛顿爵士(Sir Isaac Newton)是一位英格兰物理学家、数学家、天文学家、自然哲学家和炼金术士。在1665年,牛顿让一束太阳光透过三棱镜,结果阳光被分解成了赤、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种颜色。这是一个重大发现,它证明普通的光是由七种颜色组成的。牛顿还用了一个凸透镜将七色光合成了白光,更加证实了这一点。牛顿还进一步测定了不同颜色的光的折射率,从而发现了不同颜色光的折射角度按着赤、橙、黄、绿、青、蓝、紫的顺序加大,物质的色彩是由不同颜色的光在不同物体上有不同的折射率形成的。



图 1.1 艾萨克·牛顿

牛顿立即将上述发现运用到制造望远镜上,制成了不带颜色的折射望远镜,制造了世界上第一架反射望远镜,奠定了现代大型光学天文望远镜的基础。牛顿在1687年7月5日发表的《自然哲学的数学原理》(*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*)里提出的万有引力定律以及他的牛顿运动定律是经典力学的基石。牛顿还和莱布尼茨各自独立地发明了微积分。他总共留下了50多万字的炼金术手稿和100多万字的神学手稿。牛顿被誉为人类历史上伟大的科学家之一。他的万有引力定律在人类历史上第一次将天上的运动和地上的运动统一起来,为日心说提供了有力的理论支持,使得自然科学的研究最终挣脱了宗教的枷锁。

阿尔伯特·爱因斯坦(Albert Einstein)是著名的德国犹太裔理论物理学家、思想家及哲学家,因为对理论物理的贡献,特别是发现了“光电效应”而获得1921年诺贝尔物理学奖,是现代物理学的开创者、奠基人,相对论——“质能关系”的创立者,“决定论量子力学诠释”的捍卫者(振动的粒子)——上帝不掷骰子。他创立的代表现代科学的相对论,为核能开发奠定了理论基础,开创了现代科学新纪元。爱因斯坦被公认为是自伽利略、牛顿以来伟大的科学家、物理学家。1999年12月26日,爱因斯坦被美国《时代周刊》评选为“世纪伟人”。

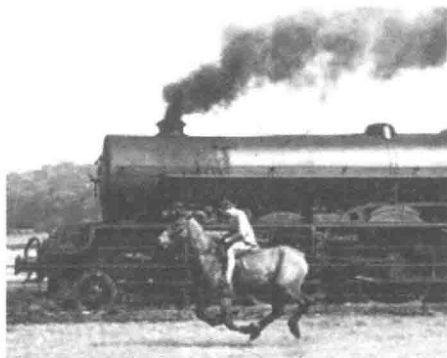


图 1.2

史蒂芬·威廉·霍金(Stephen William Hawking),1942年1月8日出生于英国牛津,英国剑桥大学应用数学与理论物理学系物理学家,著名物理学家、宇宙学家、数学家。霍金毕业于牛津大学、剑桥大学,1979—2009年任卢卡斯数学教授,后为荣誉卢卡斯数学教授(牛顿曾任此职)。霍金是继爱因斯坦之后杰出的理论物理学家和当代伟大的科学家,人类历史上伟大的人物之一,被誉为“宇宙之王”。他的代表作品有《时间简史》《果壳中的宇宙》《大设计》等,获得荣誉有总统自由勋章(2009年)、科普利奖(2006年)、沃尔夫物理奖(1988年)、爱因斯坦奖章(1978年)等。2015年7月20日,史蒂芬·霍金启动了人类历史上规模最大的外星智慧生命的搜索行动。该行动将通过扫描宇宙的方式进行搜寻,历时十年,并将耗资一亿美元。

在当今众多的著名物理学家中也不乏有中华血统的有影响的物理学家,如杨振宁、李政道、丁肇中等。丁肇中在1976年接受诺贝尔物理学奖时说:“自然科学的理论不能离开实验的基础,特别是物理学,它是从实验中产生的,我希望因为我这次得奖能够唤起发展中国家学生的兴趣而注意实验工作的价值”。

物理学是一门实验科学,没有实验的基础,没有实验对理论的证明,物理学的发展是不可思议的。物理实验课是一门量大面广的公共基础课,它以16余个实验项目为基本,涉及各个领域、各个层面向学生传授物理知识,从动手能力的培养、科学素质的培养到创新思维的建立,激发出学生强烈的好奇心和求知欲,为后续专业知识的学习打下了坚实的基础,为学生今后的深造、工作提供更多的知识、更好的技能与创新能力。

(2) 任务

这门课要完成15个实验和误差理论知识,共计16次实验课,每次3学时,共计48学时。大家在学习的过程中,完成16个实验课的同时,要完成16份报告(含误差理论),在期中每个同学要接受一次操作考试,期末要完成一次笔试。

(3) 学好大学物理实验的 4 个环节

1) 预习

在做每一个实验前,大家通过在网上、图书馆查阅相关资料,认真阅读实验内容,弄清实验项目的目的、原理、要测试的实验数据,了解实验仪器的测试原理、使用方法及注意事项,做好将做实验的全部准备事项并写出预习报告,做到心中有数,掌握完成实验的主动性,达到事半功倍的效果,写出预习报告。

2) 完成实验

进入实验室后,认真听取老师讲解,熟悉仪器及实验的操作步骤,仔细观察实验的现象,准确无误地按要求测试实验数据并将数据记录入表格之中。在进行实验的过程中,是培养大家动手能力,观察与思考能力的最佳时机,学生在这个过程中可能会迸发出新思维、新想法,在潜移默化中锻炼出创新能力,综合解决问题的能力。

3) 完成实验报告

实验报告是对完成所做实验的总结,对实验数据进行处理,讨论并得出结论的重要环节,实验报告分为:实验目的、实验原理、数据记录、数据处理、结果讨论 5 大部分,不能缺失每个部分的内容。应在认真总结、思考、准确计算的基础上完成实验报告并附上原始实验数据记录和用 Excel 软件或者坐标纸画出的相关图像。在每次完成实验报告后,经老师批阅评定成绩后认真保存,课程结束后,共计 16 份报告,缺一不可,装订成册后上交老师,作为平时成绩的依据。实验报告的样本见附录。

4) 复习与考试

①操作考试。在这门课程的学习期间将进行一次操作考试,检查学生的动手能力。

②笔试。实验考试是检查学生对这门课学习掌握情况的测试,学生们在考试复习期间,加深对每个实验的理解融会贯通。这对学生综合知识的学习,操作动手能力和处理问题的综合能力培养有极大的好处,学生会受益匪浅,收获感受颇多。

5) 最终成绩构成

这门课学完后的成绩由 4 部分组成,即平时成绩(根据 16 次报告的评分)占 40%,操作考试占 10%,预习提问占 10%,笔试成绩占 40%,总计 100 分。

2

测量的不确定度和数据处理

(1) 实验背景

统计学家与测量学家一直在寻找合适的方法来正确表达测量的结果,譬如以前常用“误差”概念来表示测量结果。国内外对测量结果的表述、计算规则都不尽统一。在 1992 年国际计量大会上,由国际标准化组织(ISO)起草制定了具有国际指导性的《测量不确定度表示指南》(简称 GUM),1993 年以 7 个国际组织的名义联合发布了这个指南,这些组织包括国际标准化组织(ISO)、国际电工委员会(IEC)、国际计量局(BIPM)、国际法制计量组织(OIML)、国际理论物理与应用物理联合会(IUPAP)、国际理论化学与应用化学联合会(IUPAC)等。我国计量标准部门随后也明确要求采用不确定度来表示测量结果,并在 JJF 1001—1998《通用计量术语及定义》中定义测量不确定度为:表征合理的赋予被测量之值的分散性,与测量结果相联系的参数。在测量结果的完整表示中,应该包括测量不确定度。测量不确定度用标准偏差表示时称为标准不确定度,如用说明了置信水准区间的半宽度表示方法则称为扩展不确定度。本书根据我国高校物理实验教学的实际情况讲述了测量不确定度的基本原理与具体应用。

物理实验离不开物理量的测量,由于测量仪器、测量方法、测量条件、测量人员等因素的限制,对一个物理量的测量不可能是无限精确的,即测量中的误差是不可避免的。没有测量误差知识,就不可能获得正确的测量值;不会计算测量结果的不确定度就不能正确表达和评价测量结果;不会处理数据或处理数据方法不当,就得不到正确的实验结果。由此可知不确定度和数据处理等基本知识在整个实验过程中占有非常重要的地位。

(2) 重点

1) 直接测量值的 A 类、B 类不确定度及合成不确定度的计算

①A 类不确定度是指可以用统计方法计算的不确定度分量,按贝塞尔法计算公式为:

$$\Delta_A = t_p \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^K (x_i - \bar{x})^2}{K(K-1)}} \quad (2.1)$$

式中 t_p ——修正因子；

K ——测量次数；

$\bar{x}$ ——测量值 x_i 的算术平均值。

t_p 因子与测量次数 K 及置信概率 P 的关系见表 2.1。

表 2.1 t_p 与测量次数 K 及置信概率 P 的关系

$t_p \backslash K$ P	3	4	5	6	7	8	9	10
0.68	1.32	1.20	1.14	1.11	1.09	1.08	1.07	1.06
0.95	4.30	3.18	2.78	2.57	2.45	2.36	2.31	2.26
0.99	5.84	4.60	4.03	3.71	3.50	3.36	3.25	3.17

②B 类不确定度是指用非统计方法获得的不确定度分量,在仅涉及仪器误差 $\Delta_{\text{仪}}$ 与估计误差 $\Delta_{\text{估}}$ 时,可以按下式计算:

$$\Delta_B = \sqrt{\Delta_{\text{仪}}^2 + \Delta_{\text{估}}^2} \quad (2.2)$$

③合成不确定度的计算公式为:

$$U_x = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} \quad (2.3)$$

④测量结果的完整表达:

$$x = (\bar{x} \pm U_x) \text{ 单位} \quad (P = 0.95) \quad (2.4)$$

式中 $P=0.95$,表示置信概率为 95%。

2) 常用数据处理方法

①列表法。常用于数据记录及大量同样的数据计算时,其特点是简单明确地表示出物理量之间的对应关系,以便于及时检查结果,发现问题。列表的内容包括:表格的名称,物理量的代号及单位,测量的数据,数据要用测量值的有效数字。

②作图法。用 Excel 软件或者坐标纸上的曲线表示物理量之间对应的关系,其特点是直观地表示数据之间的关系;同时,可从图上利用内插法和外推法读出没有测量的点的数据。

作图的步骤及规则如下:

- 作图可用 Excel 软件或者坐标纸。
- 横轴为自变量,纵轴为因变量,轴上标明物理量的代号及单位。
- 用有效数字整数定标。
- 用 +、○、□ 等符号描点,不用圆点,不同曲线用不同符号。
- 曲线分为趋势线和校正曲线,应注明其名称。
- 写出图名及备注。

对于直线,需要求出直线的截距和斜率,截距可从图上直接读出,读取数据要按有效数字

读出。求斜率时从直线上读取两点的坐标值计算得出斜率,注意取点不应使用直接测量得到的点,应从作出的直线上取点。

③逐差法。自变量与因变量作等差变化的,可采用逐差法。逐差法计算简便,可充分利用已测数据对数据取平均,可减小系统误差和扩大测量范围。

逐差法的方法如下:测得数据 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$, 共 k 个(偶数个), 把这 $k = 2n$ 个数据分为两组, 取两组数据对应项之差, 再求平均, 得相邻数据间距离的值为:

$$\bar{x} = \frac{1}{n \times n} [(x_{n+1} - x_1) + \dots + (x_{2n} - x_n)] \quad (2.5)$$

④最小二乘法。最小二乘法能从一组等精度的测量值中确定其函数关系, 其原理是: 测量值的拟合曲线和各测量值之偏差的平方和为最小。

线性拟合方法如下: 设两物理量之间存在函数关系 $y = mx + b$, 测得数据为 $(x_i, y_i, i = 1, 2, 3, \dots, k)$

可以求得:

$$\left. \begin{aligned} m &= \frac{\bar{x} \cdot \bar{y} - \overline{xy}}{(\bar{x})^2 - \overline{x^2}} \\ b &= \bar{y} - m\bar{x} \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

$$\text{式中 } \bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i, \bar{y} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_i, \overline{x^2} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i^2, \overline{xy} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i y_i。$$

y 的标准误差:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (y_i - mx_i - b)^2}{k - 2}} \quad (2.7)$$

斜率 m 值的标准误差:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_y}{\sqrt{k[\overline{x^2} - (\bar{x})^2]}} \quad (2.8)$$

截距 b 值的标准误差:

$$\sigma_b = \frac{\sqrt{\overline{x^2}}}{\sqrt{k[\overline{x^2} - (\bar{x})^2]}} \cdot \sigma_y \quad (2.9)$$

相关系数 γ 为:

$$\gamma = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{[\overline{x^2} - (\bar{x})^2] \cdot [\overline{y^2} - (\bar{y})^2]}} \quad (2.10)$$

(3) 难点

1) 间接测量值不确定度的计算及其结果的表示

①间接测量值的计算:

$$\bar{N} = f(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, \dots) \quad (2.11)$$

②间接测量值的不确定度。设 $U_x, U_y, U_z, \dots$ 分别为 $x, y, z, \dots$ 直接测量值的不确定度, 则间接测量值的绝对不确定度为:

$$U_N = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 U_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 U_y^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 U_z^2 + \dots} \quad (2.12)$$

间接测量值的相对不确定度为:

$$E_N = \frac{U_N}{N} = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln f}{\partial x}\right)^2 U_x^2 + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial y}\right)^2 U_y^2 + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial z}\right)^2 U_z^2 + \dots} \quad (2.13)$$

③间接测量值的完整表达式:

$$N = (\bar{N} \pm U_N) \text{ 单位} \quad (P = 0.95) \quad (2.14)$$

式中 $P=0.95$, 表示置信概率为 95%。

2) 不确定度均分原理

在不确定度进行分解时, 将间接测量值的总不确定度均匀分配, 如在式(2.12)中, 如果仅有 x, y, z 这 3 个直接测量值, 则将总量 U_N 均匀分配给 x, y, z 。

(4) 例题

例题 1 用螺旋测微仪测量一钢珠直径, 得到数据如下, 已知仪器误差 $\Delta_{\text{仪}} = 0.004 \text{ mm}$, 求钢珠直径的测量结果, 要求完整表达其结果(置信概率取 95%)。

测量次数	1	2	3	4	5	6
直径 d/mm	3.302	3.304	3.301	3.302	3.301	3.300

解

①直径的算术平均值:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^6 d_i}{6} = 3.302(\text{mm})$$

②直径的 A 类不确定度: 根据 $P=95\%$ 及测量次数 $n=6$ 次, 查出 $t_p=2.57$:

$$\Delta_A = t_p \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n(n-1)}} = 2.57 \times 0.00056 = 0.00143(\text{mm}) \approx 0.0015(\text{mm})$$

③直径的 B 类不确定度:

$$\Delta_B = \sqrt{\Delta_{\text{仪}}^2 + \Delta_{\text{估}}^2} = \sqrt{0.004^2 + 0.001^2} = 0.00412(\text{mm}) \approx 0.0042(\text{mm})$$

④直径的总不确定度:

$$U_d = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = \sqrt{0.0015^2 + 0.0042^2} = 0.0045(\text{mm}) \approx 0.005(\text{mm})$$

⑤测量结果 $d = \bar{d} \pm U_d = (3.302 \pm 0.005) \text{ mm}$ ($P = 95\%$)

注:此题中不确定度的中间结果保留了2位有效数字,而最后结果保留了1位有效数字。

例题2 测出一个铅圆柱体的直径 $d = (2.04 \pm 0.01) \text{ cm}$, 高度 $h = (14.20 \pm 0.02) \text{ cm}$, 质量 $m = (519.18 \pm 0.05) \times 10^{-3} \text{ kg}$, 置信概率皆为95%, 试求出铅圆柱密度 ρ 的测量结果, 并完整表达(要求保留1位可疑数字)。

解

①铅圆柱密度的算术平均值:

$$\bar{\rho} = \frac{4 \bar{m}}{\pi (\bar{d})^2 \bar{h}} = \frac{4 \times 519.18 \times 10^{-3}}{3.14 \times 0.0204^2 \times 0.142} = 1.12 \times 10^4 (\text{kg/m}^3)$$

②密度的不确定度:

$$E_{\bar{\rho}} = \sqrt{\left(\frac{1}{\bar{m}} u_{\bar{m}}\right)^2 + \left(\frac{2}{\bar{d}} u_{\bar{d}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\bar{h}} u_{\bar{h}}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{0.05}{519.18}\right)^2 + \left(\frac{2 \times 0.01}{2.04}\right)^2 + \left(\frac{0.02}{14.20}\right)^2} = 0.0099$$

$$U_{\rho} = E_{\bar{\rho}} \times \bar{\rho} = 0.0099 \times 11191.79 \approx 111 (\text{kg/m}^3) \approx 2 \times 10^2 (\text{kg/m}^3)$$

③密度的完整表达式:

$$\rho = \bar{\rho} \pm U_{\rho} = (1.12 \pm 0.02) \times 10^4 \text{ kg/m}^3 \quad (U = 95\%)$$

例题3 一圆柱体, 用50分度游标卡尺测量其直径和高度各5次, 数据见下表, 求其侧面积的测量结果, 要求完整表达(置信概率取为95%)。

测量次数	1	2	3	4	5
d/mm	20.42	20.34	20.40	20.46	20.44
h/mm	41.20	41.22	41.32	41.28	41.12

解

①计算直径的算术平均值

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^5 d_i}{5} = 20.41 (\text{mm})$$

②直径的A类不确定度: 根据 $P = 95\%$ 及测量次数查出 $t_p = 2.78$:

$$\Delta_A = t_p \sigma_{\bar{d}} = t_p \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n(n-1)}} = 2.78 \times 0.0206 = 0.058 (\text{mm})$$

③直径的B类不确定度:

$$\Delta_B = \sqrt{\Delta_{\text{仪}}^2 + \Delta_{\text{估}}^2} = \sqrt{0.02^2 + 0.02^2} = 0.029 (\text{mm})$$

④直径的总不确定度:

$$U_{\bar{d}} = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = \sqrt{0.058^2 + 0.029^2} = 0.065 (\text{mm})$$

⑤直径的测量结果:

$$d = \bar{d} \pm U_{\bar{d}} = (20.41 \pm 0.07) \text{ mm} \quad (P = 95\%)$$

⑥计算高度的算术平均值:

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^5 h_i}{5} = 41.23 \text{ (mm)}$$

⑦高度的 A 类不确定度:

$$\Delta_A = t_p \sigma_{\bar{h}} = t_p \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n(n-1)}} = 2.78 \times 0.0344 = 0.096 \text{ (mm)}$$

⑧高度的 B 类不确定度: $\Delta_B = \sqrt{\Delta_{\text{仪}}^2 + \Delta_{\text{估}}^2} = \sqrt{0.02^2 + 0.02^2} = 0.029 \text{ (mm)}$

⑨高度的总不确定度:

$$U_{\bar{h}} = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = \sqrt{0.096^2 + 0.029^2} = 0.10 \text{ (mm)}$$

⑩高度的测量结果:

$$h = \bar{h} \pm U_{\bar{h}} = (41.23 \pm 0.10) \text{ mm} \quad (P = 95\%)$$

⑪计算侧面积的算术平均值:

$$\bar{s} = \pi \bar{d} \bar{h} = 3.1416 \times 20.412 \times 41.23 = 2644 \text{ (mm}^2\text{)}$$

⑫计算侧面积的不确定度:

$$E_{\bar{s}} = \sqrt{\left(\frac{U_{\bar{d}}}{\bar{d}}\right)^2 + \left(\frac{U_{\bar{h}}}{\bar{h}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0.065}{20.412}\right)^2 + \left(\frac{0.10}{41.23}\right)^2} = 0.0040$$

$$U_s = E_{\bar{s}} \times \bar{s} = 2643.929 \times 0.0040 = 11 \text{ (mm}^2\text{)}$$

⑬侧面积的完整表达式:

$$s = \bar{s} \pm U_s = (2644 \pm 11) \text{ mm}^2 \quad (P = 95\%)$$

或

$$s = \bar{s} \pm U_s = (2.644 \pm 0.011) \times 10^3 \text{ mm}^2 \quad (P = 95\%)$$

(5) 习题

1) 填空题

①测量就是将_____物理量与_____物理量进行比较的过程。

②能直接从仪器上读出测量值的测量称为_____测量。由直接测量值经过函数关系计算得出待测量的称为_____测量。

③任何物理量所具有的客观真实数值称为该物理量的_____。

④任何测量的目的都是要力求得到物理量的_____。

⑤误差是测量值与真值之间存在的_____。

⑥误差存在于一切_____之中,而且贯穿_____过程的始终。

⑦根据误差的_____和_____,可将误差分为_____误差和_____误差。

⑧等精度测量是指测量_____、测量_____、测量_____、测量_____等均不发生改变

的测量。
⑨同样条件下多次测量同一物理量时,_____和_____保持不变或按_____变化的误差称为系统误差。

⑩系统误差主要来自:_____,_____,_____,_____4个方面的误差。

⑪发现系统误差的方法主要有:_____,_____,_____3种方法。

⑫同样条件下多次测量同一物理量时,_____和_____不能确定的误差,称为随机误差。

⑬在等精度多次测量中,随机误差可通过_____而减小。

⑭随机误差的分布特点是_____,_____,_____,_____。

⑮表示测量数据相互接近程度的概念是_____度,它是定性评价_____误差大小的。

⑯测量数据的 3σ 判据中, σ 被称为_____的标准偏差,其统计意义是数据落在区间 $[-3\sigma, +3\sigma]$ 内的概率是_____。

⑰准确度指测量值与真值_____的程度,反映了测量中_____误差的大小。

⑱精确度既描述了测量数据间的_____程度,又表示了测量值与_____的接近程度。

⑲测量结果的完整表达式包括_____,_____,_____,_____。

⑳不确定度可以保留_____位,其尾数取舍时采取_____的原则,平均值最末位数应与不确定度_____对齐,其尾数取舍时按_____规则进行。

㉑测量结果的有效数字位数不能任意_____,位数的多少由被测量的_____和测量仪器的_____共同决定。

㉒仪器误差是指仪器的_____与被测量真值之间的_____的绝对值。

㉓由仪器的精度级别计算仪器误差的公式是_____。

㉔一级精度,量程 $0 \sim 125 \text{ mm}$,50分度的游标尺,其仪器误差为_____。

㉕有限次测量随机误差的 t 分布中的 t_p 因子与_____和_____有关。

㉖估计读数的最小读数单位被称为_____误差。

㉗不确定度表示了被测物理量_____的区间和其在此区间的_____。

㉘不确定度的计算分为两类,即_____类和_____类。

㉙A类不确定度分量是指可以用_____计算的不确定度。

㉚天平砝码不准确产生的误差为_____误差,可以用_____类不确定度来评定。

㉛不确定度均分原理就是将间接量的_____均匀分配到各_____的不确定度中去。

㉜使用逐差法的条件是:自变量是严格_____变化的,因变量与自变量必须是_____关系。

㉝最小二乘法处理数据可得到物理量间的_____,其原理是:拟合曲线与各测量值之_____,在所有拟合曲线中应_____。

2) 选择题

①指出下列情况属于随机误差的是()。