（第2版）

University Physics Experiment

大学物理实验

主　编　曹正东
副主编　刘钟毅　袁　伟
　　张明霞　王理想
主　审　陆申龙

同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

需要全本请访问 www.ertongbook.com

大学物理实验

（第2版）

主　编　曹正东

副主编　刘钟毅　袁　伟
　　张明霞　王理想

主　审　陆申龙

同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书是参照教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程指导分委会于2008年颁布的《理工科类大学物理课程教学基本要求》，结合同济大学浙江学院物理实验教学的实践，并在已多年使用过的物理实验教材的基础上修编而成的.

全书共分3章.第1章系统介绍了测量的不确定度表达和数据处理；第2章是基础实验，内容包括力学、热学、电磁学和光学的基础实验及近代物理实验；第3章为选做实验和研究性实验.全书共有48个实验，覆盖面较广，有采用不同测量方法的基础实验，有用自制仪器开设的实验，有研究传感器特性的实验，还有随着科技发展而设计的新颖实验.

本书适合普通高等院校各工科专业学生学习使用，也可作为教师或相关人员的参考用书.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/曹正东主编. -- 2版. --上海：同济大学出版社，2016.12

ISBN 978-7-5608-6672-7

Ⅰ.①大… Ⅱ.①曹… Ⅲ.①物理学—实验—高等学校—教材 Ⅳ.①O4-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第296682号

大学物理实验(第2版)

曹正东 主编 刘钟毅 袁 伟 张明霞 王理想 副主编 陆申龙 主审

责任编辑 李小敏 张智中 **策划编辑** 张 莉 **责任校对** 徐春莲 **封面设计** 潘向蓁

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址：上海市四平路1239号 邮编：200092 电话：021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 常熟市大宏印刷有限公司

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 15.75

印 数 1—3 100

字 数 393 000

版 次 2016年12月第2版 2016年12月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-6672-7

定 价 38.00元

本书若有印装质量问题，请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

第2版前言

本书是参照教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程指导分委会于2008年颁布的《理工科类大学物理课程教学基本要求》，结合同济大学浙江学院物理实验教学的实践，并在已多年使用过的物理实验教材的基础上修编而成的.

国务院“关于深化教育改革、全面推进素质教育的决定”指出：“高等教育要重视培养大学生的创新能力、实践能力和创业精神”，并要求“加强课程的综合性和实践性，重视实验课教学”. 普通物理实验课是理工科大学中最基本的实验课之一，是提高学生创新能力和实践能力的极其重要的教学内容和环节.

物理学是一门实验科学，特别是普通物理，更与实验密不可分. 在物理学的发展过程中，实验是决定性的因素. 发现新的物理现象，寻找物理规律，验证物理定律等，都只能依靠实验. 离开了实验，物理理论就会苍白无力，就会成为“无源之水，无本之木”，不可能得到发展.

获诺贝尔物理学奖的华裔实验物理学家丁肇中先生说：“我是一个做实验的工程师. 希望通过我的得奖，能提高中国人对实验的认识. 没有实验就没有现代科学技术.”据统计，1901年以来，实验物理学家获得诺贝尔奖的人数是理论物理学家的两倍；而近40年来，前者的人数超过后者的六倍. 由此可见，物理实验的重要性正在越来越明显地展示出来. 高等教育必须面对现实，既重视理论又重视实践，才能真正造就高素质的有创新精神的新一代大学生.

大学物理实验作为一门必修基础课程，要求学生通过物理实验深入掌握基本物理概念和定律，同时通过物理实验掌握获得正确结论的方法和过程，特别要培养独立思考的能力和动手实践的能力. 正如爱因斯坦所说：“发展独立思考和独立判断的一般能力，应当始终放在首位. 如果一个人掌握了他自己的道路，相比那种主要以获得细节知识为其培训内容的人来说，他一定会更好地适应进步和变化.”这一段话，无论是对于教师，还是对于学生，都是很有教益的.

为适应时代的发展和教学改革的要求，同时也为了更好地培养学生独立思考能力和动手实践能力，本书既保留了一些同济大学设计和研制并具有特色的实验，如测量刚体转动惯量、测量空气比热容比、波尔共振仪实验等，又引入了较多的采用不同测量方法测量同一物理量的实验，以便让学生进行比较，如在第3章“选做实验和研究性实验”中，引入了弯曲法测量杨氏弹性模量、斜入射法和最小偏向角法测量光栅常数等实验. 这些基础实验既可以开阔学生视野，又可以使学生了解各具特点的多种实验方法.

随着科技的发展，传感器的应用日益广泛，因此，本书引入了测量温度传感器的温度特性、测量光敏电阻和光电二极管光电特性、测量硅光电池特性等若干实验，并开设了由本校教师研制和开发的太阳能应用实验、自制简易天文望远镜、非线性电路与混沌等实验.

在大学物理实验教学中，需要学生不断关注物理学及其相关学科研究的前沿领域，并用已知的测量手段设计实验并完成测量. 因此，在实验教学中需要及时引入这些新的研究成果，以拓展学生的视野，做到与时俱进. 为此，我们编入了超声光栅实验、液晶电光效应实验、测量巨磁电阻传感器特性等实验. 第 3 章 32 个实验可供师生自主选择，以适应不同专业学生的需要.

并且，为了提高学生对物理学科的兴趣，培养我校学生动手操作的实践能力，运用已掌握的物理实验知识进行实验仪器的开发，特别开设了一些兼顾趣味性与实践性的实验，比如自制激光标线仪、自制简易天文望远镜、组装直流电源并研究其输出特性、设计数字温度计、设计调光电路等.

根据同济大学浙江学院的教学特点，本书在实验原理和内容方面写得较为简明，以便于学生预习，也便于学生测量和记录. 为满足不同专业和不同兴趣学生的需要，教师和学生可分别选做第 2 章中打“*”号的部分，以及第 3 章的选做实验.

本书由曹正东教授主持编写，参加本书编写工作的有同济大学浙江学院袁伟、张明霞、王理想、施小靖. 并由曹正东、刘钟毅统稿，复旦大学物理系陆申龙教授主审. 在本书编写过程中，得到同济大学浙江学院教务处领导和王少杰教授的关心和帮助，在此致以衷心感谢. 还要感谢李佛生副教授和胡德敬教授及朱利萍博士、钟永卫博士对原教材所做的工作，以及傅旭勇老师几年来在实验室的辛勤付出，并感谢申幼犁、倪忠强等老师，他们对书稿多处提出宝贵意见并帮助修改。特别要感谢倪晨老师精心制作了 30 多块展板，配置在实验室，营造了十分有利于物理实验教学的氛围.

总之，本书编写中融汇了许多教师长期辛勤劳动的成果和丰富的教学经验，编者再次感谢物理实验室和教研室的各位老师.

书中难免有缺点和错误，恳请读者批评指正，以便我们改进.

编　者

2016 年 10 月于同济大学浙江学院

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第1版前言

本书是参照教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程指导分委会于2008年颁布的《理工科类大学物理课程教学基本要求》，结合同济大学浙江学院物理实验教学的实践，并在已使用多年的物理实验教材的基础上编写而成的.

大学物理实验作为一门基础课程，要求学生通过物理实验深入掌握物理基本概念和定律，同时掌握获得正确结论的方法和过程，特别要培养独立思考能力和动手实践能力. 正如爱因斯坦所说："发展独立思考和独立判断的一般能力，应当始终放在首位. 如果一个人掌握了他自己的道路，相比那种主要以获得细节知识为其培训内容的人来说，他一定会更好地适应进步和变化."这一段话，无论是对于教师，还是对于学生，都是很有教益的.

为适应时代的发展和教学改革的要求，同时也为了更好地培养学生的独立思考能力和动手实践能力，本书既保留了一些同济大学设计和研制的特色实验，如测量刚体转动惯量、测量空气比热容比、波尔共振仪实验等，又引入了较多的采用不同测量方法测量同一物理量的实验，以便让学生进行比较，如在第4章"选做实验和研究性实验"中，引入了压力传感器和温度传感器法测量空气比热容比、弯曲法测量杨氏弹性模量实验等. 这些基础实验既可以开阔学生视野，又可以使学生了解多种各具特点的实验方法.

随着科技的发展，传感器的应用日益广泛，因此，本书引入了测量温度传感器的温度特性、测量光敏电阻和光电二极管光电特性、测量硅光电池特性等若干实验，并且结合传感器的应用，又开设了由本校教师研制和开发的路灯声光双控延时电路研究、太阳能应用、激光通讯原理及应用、非线性电路与混沌等新实验.

在大学物理实验教学中，需要学生不断关注物理学及其相关学科研究的前沿领域，并用已知的测量手段设计实验并完成测量. 因此，在实验教学中需要及时引入这些最新的研究成果，以拓展学生的视野，做到与时俱进. 为此，我们编入了A类超声实验、测量巨磁电阻传感器特性、测量超磁致伸缩材料特性等新实验. 第4章19个实验可供师生自主选择，以适应不同专业学生的需要.

根据同济大学浙江学院的教学特点，本书在实验原理和内容方面写得较为简明，以便于学生预习，也便于学生测量和记录. 为满足不同专业和不同兴趣学生的需要，教师和学生可分别选做第2章、第3章实验中打"*"号的部分，以及第4章的选做实验.

全书共分4章，第1章由曹正东执笔，第2章由曹正东、李佛生、朱利萍执笔，第3章由曹正东、李佛生、张明霞执笔，第4章及附录由曹正东、李佛生执笔，书中部分插图由张明霞、朱利萍完成，第4章最后4个实验由钟永卫、王理想执笔，全书由曹正东统稿.

本书由复旦大学物理系陆申龙教授主审. 在本书编写过程中，得到同济大学浙江学院教务处领导和王少杰教授的关心和帮助，在此致以衷心感谢. 还要感谢胡德敬教授和申幼犁、倪忠强等老师，他们对书稿提出多处宝贵意见并帮助修改，特别要感谢倪晨等老师，他

们精心制作了30多块展板，配置在实验室，营造了十分有利于物理实验教学的氛围.

本书编写中融汇了许多教师丰富的教学经验和长期辛勤劳动的成果，编者再次感谢物理实验室和教研室的各位老师.并且衷心感谢同济大学出版社张莉和李小敏两位编辑，为本书的编辑出版所作的贡献.

书中如有缺点和错误，恳请批评指正，以便我们改进.

编　者

2010年10月于同济大学浙江学院

目　录

第 2 版前言

第 1 版前言

绪　论 …… 1

1　测量的不确定度表达和数据处理 …… 6

1.1　测量与误差 …… 6

1.2　随机误差的正态分布与标准误差 …… 8

1.3　算术平均值 …… 9

1.4　标准偏差 …… 10

1.5　不确定度与测量结果表述 …… 11

1.6　有效数字及其运算规则 …… 17

1.7　数据处理方法 …… 18

2　基础实验 …… 25

2.1　测量材料的杨氏弹性模量 …… 25

2.2　扭摆法测量物体转动惯量 …… 31

2.3　受迫振动与共振 …… 36

2.4　测量声速 …… 39

2.5　测量气体比热容比 …… 44

2.6　惠斯通电桥 …… 48

2.7　测量温度传感器的温度特性 …… 52

2.8　示波器基本测量 …… 57

2.9　用双踪示波器观测电容特性与磁滞回线 …… 66

2.10　霍耳效应法测量磁场 …… 74

2.11　测量薄透镜焦距 …… 82

2.12　牛顿环实验 …… 85

2.13　光栅衍射实验 …… 90

2.14　迈克尔逊干涉实验 …… 97

2.15　密立根油滴法测量电子电量 …… 104

2.16　夫兰克-赫兹实验 …… 109

3 选做实验和研究性实验 …… 114
3.1 测量重力加速度 …… 114
3.2 测量弹簧劲度系数与等效质量 …… 115
3.3 弯曲法测量横梁的杨氏模量 …… 118
3.4 测量切变模量和转动惯量 …… 121
3.5 测量液体表面张力系数 …… 126
3.6 用波尔共振仪研究受迫振动 …… 128
3.7 利用 NTC 型热敏电阻设计数字温度计 …… 134
3.8 稳态法测量不良导体的导热系数 …… 136
3.9 测量非线性元件的伏安特性 …… 140
3.10 磁电式直流电表的改装 …… 144
3.11 数字电压表扩大量程和改装成数字电流表 …… 148
3.12 组装直流电源并研究其输出特性 …… 151
3.13 用信号发生器和示波器判断黑盒中电学元件 …… 154
3.14 非线性电路与混沌 …… 160
3.15 霍耳传感器测量亥姆霍兹线圈磁场 …… 163
3.16 测量巨磁电阻传感器特性 …… 167
3.17 测量光敏电阻和光电二极管光电特性 …… 173
3.18 测量硅光电池光电特性 …… 177
3.19 测量硅光电池输出特性及设计调光电路 …… 181
3.20 组装望远镜和显微镜 …… 184
3.21 自制简易天文望远镜 …… 188
3.22 自制激光标线仪 …… 190
3.23 斜入射法和最小偏向角法测量光栅常数 …… 192
3.24 超声光栅实验 …… 195
3.25 测量液体和固体的折射率 …… 199
3.26 用双光栅 Lau 效应测量平板玻璃折射率 …… 203
3.27 观测光的偏振现象 …… 206
3.28 太阳能应用实验 …… 212
3.29 液晶电光效应实验 …… 216
3.30 测量氢原子光谱 …… 220
3.31 光电效应 …… 223
3.32 核磁共振实验 …… 227

附录 A 十大著名的物理实验 …… 236
附录 B 物理学常量表 …… 240
参考文献 …… 241

绪　论

1. 物理学对社会的重要性

1999年3月，在美国亚特兰大市召开的第23届国际纯粹物理和应用物理联合(IUPAP)代表大会上，通过了关于物理学对社会的重要性的决议. 决议大致内容如下：

物理学是研究物质及其相互作用的学科，是自然科学中一门重要学科，对人类的进步起着关键的作用. 对物理教育的支持和研究，在所有的国家都是重要的，这是因为：

(1) 物理学的研究是一项激动人心的智力探险活动，它鼓舞着年轻人，并扩展着我们关于大自然知识的新疆界.

(2) 物理学发展着未来技术进步所需的基本知识，而技术进步将持续驱动着世界经济发动机的运转.

(3) 物理学有助于技术的基本建设，它为科学进步和发明的利用，提供多方面所需的知识和条件.

(4) 物理学在培养化学家、工程师、计算机科学家以及其他物理科学和生物医学科学工作者的教育中，是一个重要的组成部分.

(5) 物理学提高和扩展了我们对其他学科的理解，诸如地球科学、农业科学、化学、生物学、环境科学以及天文学和宇宙学等——这些学科对世界上所有民族都是至关重要的.

(6) 物理学提供发展应用于医学的新设备和新技术所需的基本知识，如计算机层析术(CT)、磁共振成像、正电子发射层析术、超声波成像和激光手术等，这些技术的发展对人类健康至关重要.

为了体会该决议的意义，让我们来回顾一下20世纪物理学与技术发展的几个史实.

当今，计算机的单块芯片可以容纳数千万甚至数十亿只晶体管，一块指甲大小的芯片的计算能力远远超过三四十年前一台房间大小的计算机. 如此辉煌的成就应归功于晶体管的诞生. 1948年，肖克利(W. Shockly)、巴丁(J. Bardeen)和布拉顿(W. Brattain)通过研究不同条件下电流流过半导体的方式，发现了晶体管效应，为集成电路、微电子学和整个计算机革命开辟了道路，他们也因此获得了1956年的诺贝尔物理学奖.

1958年，肖洛(A. Schawlow)和汤斯(G. Townes)在研究光对分子和固体作用的基础上，提出了制造受激发射光波放大器的具体设想和建议，为研制激光器奠定了基础. 1960年，梅曼(T. H. Maiman)研制成功世界上第一台激光器，它的发明是光学发展史上的伟大里程碑，也在整个科学史上具有重大意义. 激光器让许多原子、分子同时在同一方向发光，光束在颜色上的纯度比以往可能产生的纯度高100万倍，在月球上甚至可以看到地球上仅为几瓦的激光. 激光一经问世，就获得迅速发展，应用极其广泛.

物理学家利用激光在一种材料上记录图形，这是一种存储和取用信息的新技术，可以将相当于数百万卷百科全书内容的信息存储在糖块大小的材料之中. 激光的光脉冲宽度窄，持续时间可以做到几个飞秒(10^{-15} s). 飞秒激光可用来拍摄瞬间的照片，如拍摄化学

反应中分子的影片等. 新的计算机技术与产生飞秒光脉冲技术相结合，有可能实现接近每秒 1 拍次(10^{15}次)的逻辑运算. 未来新型的高速计算机可能采用短的光脉冲来传递信息，以代替由现在使用的较为缓慢的电子来传递信息. 物理学家借助光学双稳态现象能够用一个光束将另一个光束接通或者切断，这展现了一种光学型晶体管的可能性，它为光学计算机的出现打开了大门.

由于玻璃纤维比金属导体重量轻、价格低和抗干扰能力强，因而光纤通信发展迅速. 技术专家展望光纤传输技术的未来：一对细如头发丝的光纤可以传递近 2 000 万路的电话. 光子能够传输的信息量比电子大几百万倍，可以预言，光技术最终可能比电子技术对社会的影响更大，如果说 20 世纪是电子时代，那么，21 世纪就可能是光子时代.

1895 年，德国物理学家伦琴(W. C. Rortgen)发现了 X 射线. 其后，X 射线透视术逐渐成为医生诊断疾病的一种重要手段. 20 世纪 70 年代开始，医学专家利用物理学原理发明了计算机辅助的 X 射线层析摄影术(CT)等一些新技术，借助它们可以确定人体内部结构而无需将器械插入人体内. CT 术给医生显示一幅人体的内部器官的三维图像，它用一连串 X 射线束穿透人体，每一束射线给出了透过人体的一个线条，借助于计算机可以从这些线条的数据重构出通过人体的一个断层的影像，几幅这样的影像就构成一幅三维图像.

回眸 20 世纪，大量事实说明，高新技术的出现和发展与基本粒子、原子核、光学、等离子体和流体、凝聚态物理学以及引力、宇宙学等物理学领域及其交叉学科有着密切的关系. 可以确信，物理学是高新技术的源泉. 物理学是富有生命力和富有成果的学科，它对社会发展具有极大的影响力.

2. 物理实验课程的地位、作用和任务

物理学发展史表明，实验在其发展过程中起着非常重要的作用. 物理定律的建立要依靠实验；使人们抛弃头脑中长期存在的错误观念要依靠实验；指出旧理论的局限性要依靠实验；当物理学停步不前，打破沉闷空气，使人们的思想进入一个崭新的天地也要依靠实验. 物理学工作者中从事实验的占 90%以上. 作为最高科学奖励的诺贝尔物理学奖，自 1901 年伦琴因发现 X 射线而获奖以来，直到 1999 年，共有 159 位获奖者，其中，因实验获奖的有 110 人，占 69%，这也说明了实验的重要地位.

在“理工科类大学物理实验课程教学基本要求”中关于物理实验课程的地位、作用有如下描述：

“在人类追求真理、探索未知世界的过程中，物理学展现了一系列科学的世界观和方法论，深刻影响着人类对物质世界的基本认识、人类的思维方式和社会生活，是人类文明的基石，在人才的科学素质培养中具有重要的地位.”

“物理学本质上是一门实验科学. 物理实验是科学实验的先驱，体现了大多数科学实验的共性，在实验思想、实验方法以及实验手段等方面是各学科科学实验的基础.”

而关于物理实验课程的任务，“理工科类大学物理实验课程教学基本要求”中写到：“①培养学生的基本科学实验技能，提高学生的科学实验基本素质，使学生初步掌握实验科学的思想和方法. 培养学生的科学思维和创新意识，使学生掌握实验研究的基本方法，提高学生的分析能力和创新能力. ②提高学生的科学素养，培养学生理论联系实际和实事

需要全本请访问 www.ertongbook.com

求是的科学作风，认真严谨的科学态度，积极主动的探索精神，遵守纪律，团结协作，爱护公共财产的优良品德."

"好的科学素养、理论联系实际和实事求是的科学作风、认真严谨的科学态度、积极主动的探索精神等"不仅是优秀现代科技工作者应该必备的品质，也应该是现在社会任何领域希望做出优异成绩的每一个人应该具备的基本品质.

以往从小学到高中的应试教育使学生习惯于"标准答案"，缺乏实事求是、认真严谨、主动探索等品质和作风的培养，因此，作为学生进入大学的第一门实验课程，有必要，也有责任把培养"实事求是、认真严谨、主动探索"等大学生必备的基本品质和习惯作为物理实验课必须完成的任务！

物理实验是理工科大学生进行科学实验训练的一门基础课程，也是素质教育的重要环节. 我们都应认识到物理实验课的重要性，要满怀热情地上好实验课. 作为学生，更要注重在实验课中学习方法，磨炼意志，培养较强的动手能力和敏锐的观察力，逐渐培养出严谨踏实的科学素质和不断进取的创新精神.

物理实验课的具体任务包括以下几个方面：

(1) 学习运用理论指导实验及通过实验来分析和解决问题的科学方法. 在学习物理实验时，尤其要注重学习其中的思想方法，以助于思维与创新能力的培养.

(2) 使学生获得必要的实验知识和操作技能的训练，培养学生初步具有科学实验工作能力，即正确使用仪器、进行测量、处理数据、分析结果以及写实验报告等. 在此基础上，着重培养学生的探索精神、创新精神、自主学习能力和科学研究方法.

(3) 培养学生严格、细致、实事求是、刻苦钻研、一丝不苟的科学态度以及爱护国家财产的道德品质，培养学生善于动脑、乐于动手、讲究科学方法、遵守操作规程、注意安全等科学习惯. 总之，教学的重点放在培养学生科学实验能力与提高学生科学实验素养方面，使学生在获取知识的自学能力、运用知识的综合分析能力、动手实践能力、设计创新能力以及严肃认真的工作作风、实事求是的科学态度方面得到训练与提高.

3. 如何进行物理实验

1) 写预习报告

做好预习报告是完成实验的基础和前提. 预习的基本要求是仔细阅读教材，了解实验目的、原理、方法和仪器设备等.

预习报告内容包括：

(1) 实验目的. 说明本实验的目的.

(2) 原理摘要. 在理解的基础上，简要阐述实验原理，切忌整段照抄. 力求做到图文并茂，画出原理图、电路图或者光路图，并写出实验所用的主要公式，说明式中各物理量的意义、单位以及公式的适用条件.

(3) 数据记录. 画好有关数据表格，尽量采用"三线表"(即仅画三条横线的简表).

(4) 完成预习作业.

2) 实验操作与记录

实验室中有大量的仪器设备和实验材料，在不同的实验室中，还分别有大功率电源、水源、煤气、压缩空气以及放射性物质、激光、易燃易爆物品等，因此，进入实验室时，必须

详细了解并严格遵守实验室的各项规章制度. 这些规章制度是为保护人身安全和仪器设备安全而规定的,违反了就可能酿成事故,这是必须首先牢记的.

做实验时,要严肃认真、一丝不苟,要有计划、有步骤,要胆大心细,而不是盲目操作. 在电学实验中,必须经教师检查无误后才可接通电源. 在使用仪器前,必须先看注意事项或说明书;在调节时,应先粗调后微调;在测量时,应先取大量程后取小量程,以防超出量程甚至损坏仪表;实验完成后,应先关电源后拆线,并整理好仪器设备,这些都是一个实验工作者的基本素质和良好习惯. 实验中要积极动手动脑才能触类旁通,培养从实践中发现问题和分析解决问题的能力. 实验过程中,要留意各种实验现象,积极观察和如实记录.

记录内容包括:

(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学生逐步地熟悉仪器,以培养选用仪器的能力.

(2) 实验内容和现象观测记录. 实验过程中,要随时记下现象、问题和想法,特别是当实际情况与预期不同时,要记下有何不同,分析为何不同.

(3) 实验数据. 数据记录应做到整洁清晰而有条理,尽量采用列表法(注意不能用铅笔记录). 在根据数据特点设计表格时,力求简单明了,分类清楚,表格中物理量要注明单位. 实验中确实测错而无用的数据,可在旁边注明"作废"字样,或用笔在无用数据上划一条斜线,而不要乱涂乱擦影响整洁.

特别要重视的是数据记录必须真实、严肃,决不可任意伪造或修改. 这是一个科学工作者的基本道德素养. 教学实验与科学实验不同,在教学实验中,实验结果往往是预知的,有公认值的. 实验结果与公认值不一致的情况是经常会发生的. 学生操作失误、概念理解不当或计算错误,或仪器设备不正常等,都可能导致这种结果. 这时,实验教师会帮助学生分析错误的原因,下次就会得到改正. 不可认为实验结果与公认值越接近,就表明实验做得越好,得分也会越高.

实际上,教师的评分标准是多方面的. 实验态度与作风,能否在实验中发现问题、分析问题,都是重要的评分标准之一. 如果实验结果与公认值不符,恰好为发现问题、分析问题提供了机遇. 教师一般都相信学生记录本上的数据是真实的,但也能发现数据的伪造或篡改. 当发现这样的问题时,就必须严肃处理,因为这是一种欺骗行为,它比任何操作错误、理解错误或计算错误都要严重得多.

3) 数据处理与讨论分析

(1) 作图、计算结果与不确定度估算. 作图要按图解法要求,绘制图线要用铅笔. 计算结果时,先将文字公式化简,再代入数值进行运算. 不确定度估算要写出公式,并写出计算过程,以便检查复核.

(2) 实验结果. 按标准形式写出实验的结果. 在必要时,注明结果的实验条件.

① 思考题有难有易,可自行选做或由教师指定做哪些.

② 分析实验不确定度的主要原因和改进方法.

③ 附注. 对实验中出现的问题进行说明和讨论,或写出实验心得和建议等.

4. 怎样写实验报告

请同学们按规范要求撰写实验报告，以培养认真严谨、求真求实的作风.

大学物理实验报告写作规范

实验名称

实验目的

写明实验的目的及要学习和掌握的内容.

实验原理

简要说明实验所依据的原理，应包括：物理原理，主要公式、方法和图（原理图、电路图、光路图等）及主要仪器描述.

仪器与器材

列出实验所用的仪器用具等（包含规格、数量、型号和编号）.

实验内容

按实验过程的先后顺序列出主要内容.

数据记录与处理

若测量数据较多，宜用“三线表”的方式列出数据表格，包括物理量的名称、单位及测量次数，记录时应注意数据的有效位数. 数据处理包括原始数据的处理和相关物理量的计算. 所有的计算都必须按有效数字的运算规则进行，并写出最终结果.

不确定度分析

有根据地分析出实验中所存在的主要不确定度，以及它们对测量结果的影响.

实验结论

写出实验所得到的主要结果或结论.

问题讨论及深入思考

根据实验过程中自己的体会进行有针对性的讨论，提出质疑或改进意见，解答实验教材或参考书中的思考题.

一份完整的实验报告应大体包括以上八项基本内容，报告应独立完成并在下一次实验时交给指导教师. 对实验数据的处理应实事求是，绝对不允许出现拼凑、抄袭数据等弄虚作假行为，否则将视情况作出降分处理. 实验前应认真写好预习报告（主要包括上述前四项）.

完成一个物理实验必须包含有文字总结材料，这份总结是实验成果的具体体现，是实验者的心血结晶，所以，实验者自己首先应该珍惜它. 那种潦草马虎、涂鸦式的实验报告是绝对不可取的. 实验报告如同一份科学小论文，必须认真严肃地完成，文中每一项论证必须是真实的、可信的、合理的，每一个结论必须是明确的、有根据的，绝不允许臆测和杜撰.

总之，实验报告的总体要求是，尽量用自己的语言，简要说明实验目的、原理和方法，真实记录实验过程中得到的全部信息，并认真分析和解释实验结果，得出实验结论. 实验报告要做到数据记录整洁、图表合格、文理通顺、简明充实、便于理解.

1 测量的不确定度表达和数据处理

1.1 测量与误差

1.1.1 测量

物理实验不仅要定性观察各种物理现象，更重要的是找出有关物理量之间的定量关系. 为此，就需要进行测量. 测量的意义就是将待测的物理量与一个选作标准的同类量进行比较，得出它们之间的倍数关系. 选作标准的同类量的分度值称之为 1 个单位，倍数称为测量数值. 由此可见，一个物理量的测量值等于测量数值与单位的乘积.

根据《中华人民共和国计量法》，国家计量局于 1987 年 2 月 1 日发布了国家法定计量单位名称、符号和非国家法定计量单位的废除办法，规定以国际单位制(SI 制)为国家法定计量单位，即以米、千克、秒、安培、开尔文、摩尔、坎德拉作为基本单位，其他量都由以上七个基本单位导出，称为国际单位制的导出单位.

测量可分为两类. 一类是直接测量，如用尺量长度，用秒表计时间，用天平称质量，用电流表测电流等；另一类是间接测量，是根据直接测量所得到的数据和一定的公式，通过运算，得出所需要的结果，例如，直接测出单摆的长度 l 和单摆的周期 T，应用公式 $g=\frac{4\pi^2 l}{T^2}$，求重力加速度 g.

在物理量的测量中，直接测量是一切测量的基础. 不论是直接测量或是间接测量，都需满足一定的实验条件，严格按照实验方法及正确使用仪器，才能得出应有的结果.

1.1.2 误差

物理量在客观上有着确定的数值，称为真值. 然而，在实际测量时，由于受到实验条件、实验方法和仪器准确度以及实验人员技术水平的限制，使得测量值与客观存在的真值之间有一定的差异. 测量值 x 与真值 T 的差值称为测量误差 δ，简称误差. 即 $\delta = x - T$.

任何测量都不可避免地存在误差，所以，一个完整的测量结果应该包括测量值和误差两个部分. 既然测量不能得到真值，那么，怎样才能最大限度地减小测量误差并估算出误差的范围呢？要回答这些问题，首先要了解误差产生的原因及其性质. 测量误差按其产生的原因与性质可分为系统误差和随机误差两大类.

1. 系统误差

系统误差的特点是具有规律性，它是在偏离测量规定条件时或由于测量方法、测量仪器所引入的因素，按某确定规律所引起的误差.

系统误差来源有以下几个方面：

(1) 仪器误差. 由于测量仪器的不完善、仪器不够精密或安装调整不妥等而引入的误差，如刻度不准、零点不对、砝码未经校准、天平臂不等长、应该水平放置的仪器没有放水平等.

(2) 方法误差. 由于实验理论和实验方法的不完善，所引用的理论与实验条件不符等而引入的误差，如在空气中称质量而没有考虑空气浮力的影响，测长度时没有考虑温度使尺长改变，量热时没有考虑系统与外界热量的交换，测电压时没有考虑电压表内阻对电路的影响，标准电池的电动势未作温度修正等.

(3) 观测误差. 由于实验者生理或心理特点、缺乏经验等而引入的误差. 例如，有些人习惯于侧坐斜视读数，使测量值偏大或偏小.

系统误差的消除或减小是实验技能问题，应尽可能采取各种措施将它降低到最小程度. 例如，将仪器进行校正，改变实验方法或者在计算公式中列入一些修正项以消除某些因素对实验结果的影响，纠正不良实验习惯等. 能否识别和降低系统误差与实验者的经验和知识有密切的关系. 学生在学习过程中要逐步积累这方面的感性知识，结合实验的具体情况对系统误差进行分析和讨论.

2. 随机误差(偶然误差)

在相同条件下，对同一物理量重复多次测量，即使系统误差减小到最低程度之后，测量值仍然会出现一些难以预料和无法控制的起伏，而且测量值误差的绝对值和符号在随机地变化着. 这种误差称之为随机误差.

随机误差主要来源于人们视觉、听觉和触觉等感觉能力的限制以及实验环境偶然因素的干扰，例如温度、湿度、电源电压的起伏，气流波动以及振动等因素的影响. 从个别测量值来看，它的数值带有随机性，好像杂乱无章. 但是，如果测量次数足够多的话，就会发现随机误差遵循一定的统计规律，可以用概率理论来估算它.

超出规定条件下预期的误差称为粗大误差. 它可能是随机误差的某种极端情况，也可能是由于测量过程中人为过失而产生的错误，如操作错误、读数错误、记录错误等. 这种错误已不属于正常的测量范畴，应当尽量避免，如有发生可加以剔除.

1.1.3 正确度、精密度和准确度

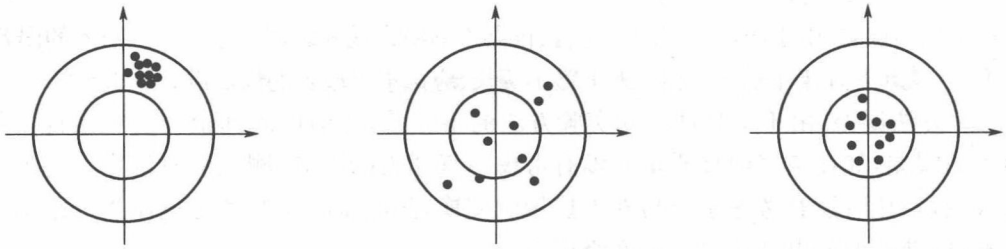
正确度、精密度和准确度是评价测量结果好坏的三个术语.

测量结果的正确度是指测量值与真值的接近程度. 正确度高，说明测量值接近真值的程度好，即系统误差小. 可见，正确度是反映测量结果系统误差大小的术语.

测量结果的精密度是指重复测量所得结果相互接近的程度. 精密度高，说明重复性好，各个测量误差的分布密集，即随机误差小. 可见，精密度是反映测量结果随机误差大小的术语.

测量结果的准确度是指综合评定测量结果重复性与接近真值的程度. 准确度高，说明精密度和正确度都高，可见，准确度反映随机误差和系统误差的综合效果. 下面以射击打靶结果与测量结果进行类比，说明三者的意义和区别(图 1-1-1).

图 1-1-1(a)表示射击的精密度高而正确度不高；图 1-1-1(b)表示正确度高而精密度不高；图 1-1-1(c)表示精密度和正确度均较高，即准确度高.



(a) 精密度高　　(b) 正确度高　　(c) 准确度高

图 1-1-1　测量结果与打靶结果的类比

1.2　随机误差的正态分布与标准误差

随机性是随机误差的特点. 也就是说,在相同条件下,对同一物理量进行多次重复测量,每次测量值的误差时大时小,对某一次测量值来说,其误差的大小与正负都无法预先知道,纯属偶然. 但是,如果测量次数相当多的话,随机误差的出现仍服从一定的统计规律. 通常,随机误差符合正态分布(又称高斯分布),这里简要介绍随机误差的正态分布.

1.2.1　正态分布的特征与数学表述

遵从正态分布规律的随机误差具有下列四大特征:

(1) 单峰性. 绝对值小的误差出现的可能性(概率)大,绝对值大的误差出现的可能性小.

(2) 对称性. 大小相等的正误差和负误差出现的机会均等,对称分布于真值的两侧.

(3) 有界性. 非常大的正误差或负误差出现的可能性几乎为零.

(4) 抵偿性. 当测量次数非常多时,正误差和负误差相互抵消,于是,误差的代数和趋向于零.

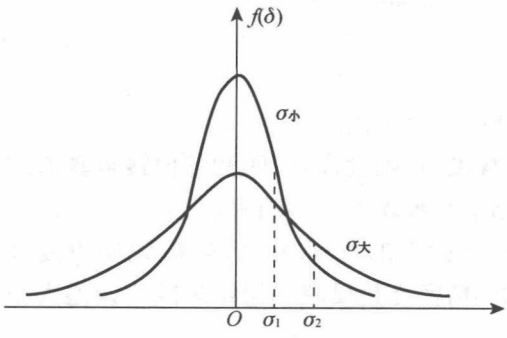


图 1-2-1　随机误差的正态分布曲线

正态分布的特征可以用正态分布曲线形象地表述出来. 图 1-2-1 中横坐标为误差 δ,纵坐标为误差的概率密度分布函数 $f(\delta)$. 根据误差理论,可以证明概率密度分布函数 $f(\delta)$ 的数学表述为

$$f(\delta)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}}. \qquad (1\text{-}2\text{-}1)$$

测量值的随机误差出现在 δ 到 $\delta+d\delta$ 区间的可能性(概率)为 $f(\delta)d\delta$. 式中的 σ 与实验条件有关,称之为标准误差. 其值为

$$\sigma=\lim_{n\to\infty}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\delta_i^2}{n}}. \qquad (1\text{-}2\text{-}2)$$

需要全本请访问 www.ertongbook.com