



中医药
行业教材



全国中医药行业高等教育“**十二五**”规划教材



全国高等中医药院校规划教材(第九版)

医用物理学实验

供中医学类、中西医临床医学等专业用

主 编 © 顾柏平 杨华元

全国百佳图书出版单位

中国中医药出版社



全国中医药行业高等教育“十二五”规划教材
全国高等中医药院校规划教材（第九版）

医用物理学实验

（新世纪第三版）

（供中医学类、中西医临床医学等专业用）

主 编 顾柏平（南京中医药大学）

杨华元（上海中医药大学）

副主编 章新友（江西中医药大学）

侯俊玲（北京中医药大学）

应 航（浙江中医药大学）

李 光（长春中医药大学）

中国中医药出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

医用物理学实验/顾柏平, 杨华元主编. —北京: 中国中医药出版社, 2014. 4

全国中医药行业高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5132-1856-6

I. ①医… II. ①顾…②杨… III. ①医用物理学-实验-高等学校-教材 IV. ①R312-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 046756 号

中国中医药出版社出版

北京市朝阳区北三环东路 28 号易亨大厦 16 层

邮政编码 100013

传真 010 64405750

北京市泰锐印刷有限责任公司印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 7.375 字数 162 千字

2014 年 4 月第 1 版 2014 年 4 月第 1 次印刷

书号 ISBN 978-7-5132-1856-6

*

定价 15.00 元

网址 www.cptcm.com

如有印装质量问题请与本社出版部调换

版权专有 侵权必究

社长热线 010 64405720

购书热线 010 64065415 010 64065413

书店网址 csln.net/qksd/

官方微博 <http://e.weibo.com/cptcm>

全国中医药行业高等教育“十二五”规划教材

全国高等中医药院校规划教材（第九版）

专家指导委员会

- 名誉主任委员 王国强（卫生部副部长兼国家中医药管理局局长）
邓铁涛（广州中医药大学教授 国医大师）
- 主任委员 王志勇（国家中医药管理局副局长）
- 副主任委员 王永炎（中国中医科学院名誉院长 教授 中国工程院院士）
张伯礼（中国中医科学院院长 天津中医药大学校长 教授
中国工程院院士）
洪 净（国家中医药管理局人事教育司巡视员）
- 委员（以姓氏笔画为序）
- 王 华（湖北中医药大学校长 教授）
王 键（安徽中医药大学校长 教授）
王之虹（长春中医药大学校长 教授）
李亚宁（国家中医药管理局中医师资格认证中心）
王国辰（国家中医药管理局教材办公室主任
全国中医药高等教育学会教材建设研究会秘书长
中国中医药出版社社长）
王省良（广州中医药大学校长 教授）
车念聪（首都医科大学中医药学院院长 教授）
孔祥骊（河北中医学院院长 教授）
石学敏（天津中医药大学教授 中国工程院院士）
匡海学（黑龙江中医药大学校长 教授）
刘振民（全国中医药高等教育学会顾问 北京中医药大学教授）
孙秋华（浙江中医药大学党委书记 教授）
严世芸（上海中医药大学教授）
杨 柱（贵阳中医学院院长 教授）
杨关林（辽宁中医药大学校长 教授）
李大鹏（中国工程院院士）
李玛琳（云南中医学院院长 教授）
李连达（中国中医科学院研究员 中国工程院院士）

李金田 (甘肃中医学院院长 教授)
吴以岭 (中国工程院院士)
吴咸中 (天津中西医结合医院主任医师 中国工程院院士)
吴勉华 (南京中医药大学校长 教授)
肖培根 (中国医学科学院研究员 中国工程院院士)
陈可冀 (中国中医科学院研究员 中国科学院院士)
陈立典 (福建中医药大学校长 教授)
陈明人 (江西中医药大学校长 教授)
范永升 (浙江中医药大学校长 教授)
欧阳兵 (山东中医药大学校长 教授)
周 然 (山西中医学院院长 教授)
周永学 (陕西中医学院院长 教授)
周仲瑛 (南京中医药大学教授 国医大师)
郑玉玲 (河南中医学院院长 教授)
胡之璧 (上海中医药大学教授 中国工程院院士)
耿 直 (新疆医科大学副校长 教授)
徐安龙 (北京中医药大学校长 教授)
唐 农 (广西中医药大学校长 教授)
梁繁荣 (成都中医药大学校长 教授)
程莘农 (中国中医科学院研究员 中国工程院院士)
谢建群 (上海中医药大学常务副校长 教授)
路志正 (中国中医科学院研究员 国医大师)
廖端芳 (湖南中医药大学校长 教授)
颜德馨 (上海铁路医院主任医师 国医大师)

秘 书 长

王 键 (安徽中医药大学校长 教授)
洪 净 (国家中医药管理局人事教育司巡视员)
王国辰 (国家中医药管理局教材办公室主任
全国中医药高等教育学会教材建设研究会秘书长
中国中医药出版社社长)

办公室主任

周 杰 (国家中医药管理局人事教育司综合处处长)
林超岱 (国家中医药管理局教材办公室副主任
中国中医药出版社副社长)
李秀明 (中国中医药出版社副社长)

办公室副主任

王淑珍 (全国中医药高等教育学会教材建设研究会副秘书长
中国中医药出版社教材编辑部主任)
裴 颢 (中国中医药出版社教材编辑部副主任)

全国中医药行业高等教育“十二五”规划教材
全国高等中医药院校规划教材(第九版)

《医用物理学实验》编委会

- 主 编 顾柏平 (南京中医药大学)
杨华元 (上海中医药大学)
- 副主编 章新友 (江西中医药大学)
侯俊玲 (北京中医药大学)
应 航 (浙江中医药大学)
李 光 (长春中医药大学)
- 编 委 (以姓氏笔画为序)
韦相忠 (广西中医药大学)
刚 晶 (辽宁中医药大学)
朱 亮 (南京中医药大学)
刘堂义 (上海中医药大学)
杨永霞 (广东药学院)
杨华元 (上海中医药大学)
李 光 (长春中医药大学)
应 航 (浙江中医药大学)
陈清梅 (北京中医药大学)
侯俊玲 (北京中医药大学)
顾柏平 (南京中医药大学)
柴 英 (大连医科大学)
高建平 (甘肃中医学院)
郭晓玉 (河南中医学院)
凌高宏 (湖南中医药大学)
黄 浩 (福建中医药大学)
章新友 (江西中医药大学)
谢仁权 (贵阳中医学院)

前 言

全国中医药行业高等教育“十二五”规划教材是为贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010-2020年）》、《教育部关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》和《中医药事业发展“十二五”规划》，依据行业人才需求和全国各高等中医药院校教育教学改革新发展，在国家中医药管理局人事教育司的主持下，由国家中医药管理局教材办公室、全国中医药高等教育学会教材建设研究会在总结历届中医药行业教材特别是新世纪全国高等中医药院校规划教材建设经验的基础上，进行统一规划建设的。鉴于由中医药行业主管部门主持编写的全国高等中医药院校规划教材目前已出版八版，为便于了解其历史沿革，同时体现其系统性和传承性，故本套教材又可称“全国高等中医药院校规划教材（第九版）”。

本套教材坚持以育人为本，重视发挥教材在人才培养中的基础性作用，充分展现我国中医药教育、医疗、保健、科研、产业、文化等方面取得的新成就，以期成为符合教育规律和人才成长规律，并具有科学性、先进性、适用性的优秀教材。

本套教材具有以下主要特色：

1. 继续采用“政府指导，学会主办，院校联办，出版社协办”的运作机制

在规划、出版全国中医药行业高等教育“十五”、“十一五”规划教材时（原称“新世纪全国高等中医药院校规划教材”新一版、新二版，亦称第七版、第八版，均由中国中医药出版社出版），国家中医药管理局制定了“政府指导，学会主办，院校联办，出版社协办”的运作机制，经过两版教材的实践，证明该运作机制符合新时期教育部关于高等教育教材建设的精神，同时也是适应新形势下中医药人才培养需求的更高效的教材建设机制，符合中医药事业培养人才的需要。因此，本套教材仍然坚持这个运作机制并有所创新。

2. 整体规划，优化结构，强化特色

此次“十二五”教材建设工作对高等中医药教育3个层次多个专业的必修课程进行了全面规划。本套教材在“十五”、“十一五”优秀教材基础上，进一步优化教材结构，强化特色，重点建设主干基础课程、专业核心课程，加强实验实践类教材建设，推进数字化教材建设。本套教材数量上较第七版、第八版明显增加，专业门类上更加齐全，能完全满足教学需求。

3. 充分发挥高等中医药院校在教材建设中的主体作用

全国高等中医药院校既是教材使用单位，又是教材编写工作的承担单位。我们发出关于启动编写“全国中医药行业高等教育‘十二五’规划教材”的通知后，各院校积极响应，教学名师、优秀学科带头人、一线优秀教师积极参加申报，凡被选中参编的教师都以积极热情、严肃认真、高度负责的态度完成了本套教材的编写任务。

4. 公开招标，专家评议，健全主编遴选制度

本套教材坚持公开招标、公平竞争、公正遴选主编原则。国家中医药管理局教材办公室和全国中医药高等教育学会教材建设研究会制订了主编遴选评分标准，经过专家评审委员会严格评议，遴选出一批教学名师、高水平专家承担本套教材的主编，同时实行主编负责制，为教材质量提供了可靠保证。

5. 继续发挥执业医师和职称考试的标杆作用

自我国实行中医、中西医结合执业医师准入制度以及全国中医药行业职称考试制度以来，第七版、第八版中医药行业规划教材一直作为考试的蓝本教材，在各种考试中发挥了权威标杆作用。作为国家中医药管理局统一规划实施的第九版行业规划教材，将继续在行业的各种考试中发挥其标杆性作用。

6. 分批进行，注重质量

为保证教材质量，本套教材采取分批启动方式。第一批于2011年4月启动中医学、中药学、针灸推拿学、中西医临床医学、护理学、针刀医学6个本科专业112种规划教材。2012年下半年启动其他专业的教材建设工作。

7. 锤炼精品，改革创新

本套教材着力提高教材质量，努力锤炼精品，在继承与发扬、传统与现代、理论与实践的结合上体现了中医药教材的特色；学科定位准确，理论阐述系统，概念表述规范，结构设计更为合理；教材的科学性、继承性、先进性、启发性及教学适应性较前八版有不同程度提高。同时紧密结合学科专业发展和教育教学改革，更新内容，丰富形式，不断完善，将学科、行业的新知识、新技术、新成果写入教材，形成“十二五”期间反映时代特点、与时俱进的教材体系，确保优质教育资源进课堂，为提高中医药高等教育本科教学质量和人才培养质量提供有力保障。同时，注重教材内容在传授知识的同时，传授获取知识和创造知识的方法。

综上所述，本套教材由国家中医药管理局宏观指导，全国中医药高等教育学会教材建设研究会倾力主办，全国各高等中医药院校高水平专家联合编写，中国中医药出版社积极协办，整个运作机制协调有序，环环紧扣，为整套教材质量的提高提供了保障机制，必将成为“十二五”期间全国高等中医药教育的主流教材，成为提高中医药高等教育教学质量和人才培养质量最权威的教材体系。

本套教材在继承的基础上进行了改革与创新，但在探索的过程中，难免有不足之处，敬请各教学单位、教学人员以及广大学生在使用中发现问题及时提出，以便在重印或再版时予以修正，使教材质量不断提升。

国家中医药管理局教材办公室
全国中医药高等教育学会教材建设研究会
中国中医药出版社

编写说明

本书是供全国高等中医药院校中医、针灸、中西医结合及相关专业使用的物理学实验教材。主要依据全国中医药行业高等教育“十二五”规划教材《医用物理学》的教学大纲，结合当今科技发展趋势和对学生加强素质教育的要求，兼顾各院校现有专业设置的实际情况，由全国高等中医药教材建设研究会组织全国各中医药院校富有经验的物理及相关学科教师共同编写的一部医用物理学实验教材。

本书精选了14个实验，每个实验相当于一个专题，具有相对的独立性，涵盖了《医用物理学》主要的教学内容。考虑到各院校的实验设备和实验条件存在一定的差异，我们在部分实验中编入两套实验方案，或者在同一个专题下编入几个相关内容的实验供选择。本书既注重实验内容的基础性，又强调实验方法和手段的先进性和创造性。通过这些实验，学生在对物理学理论有更深刻理解的同时，又能学到一定的实验技能、实用技术和科研方法，为将来的工作、学习和科研打下坚实的基础。

在编写本书的过程中，我们得到了各中医药院校各级领导的大力支持，得到了湖南中医药大学余国建老师的指导和帮助，在此一并表示感谢。

由于作者的水平有限，加之时间仓促，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大师生和读者提出宝贵意见，以便再版时修订提高。

《医用物理学实验》编委会

2014年4月

目 录

绪论	1
实验一 基本测量	8
1-1 游标卡尺和螺旋测微器的使用	8
1-2 读数显微镜和物理天平的使用	14
实验二 液体黏度的测定	19
2-1 沉降法	19
2-2 毛细管法	22
实验三 液体表面张力系数的测定	28
实验四 B型超声诊断仪的原理与使用	33
实验五 用旋光计测定液体的浓度	39
实验六 用阿贝折射仪测定物质的折射率	44
实验七 用光电比色计测定液体的浓度	49
实验八 万用电表的使用	54
实验九 用电位差计测量微小电压和电动势	62
9-1 测量微小电压	62
9-2 测量电动势	67
实验十 用稳恒电流场模拟静电场	70
10-1 静电场的描绘(描迹法)	70
10-2 导电微晶静电场描绘仪(双层式)	73
实验十一 示波器的原理与使用	77
实验十二 晶体三极管特性曲线的描绘	86
实验十三 晶体管单管放大器放大特性的研究	90
实验十四 简单的恒温控制电路	97
附录	100
附表1 基本物理常数	100
附表2 不同温度下水的密度	100
附表3 在20℃时常用的固体和液体的密度	101
附表4 水的黏度 η	101
附表5 液体的黏度 η	101

附表 6	水的表面张力系数 α (与空气接触)	102
附表 7	液体的表面张力系数 α (20°C 与空气接触)	102
附表 8	常用光源的谱线波长 λ	102
附表 9	互补色表	103
附表 10	某些物质相对于空气的折射率 n	103
附表 11	一些药物的旋光率	103
附表 12	不同金属 (或合金) 与铂 (化学纯) 构成热电偶的 温差电动势	104
参考文献		105

绪 论

一、物理实验课的地位和教学任务

物理学从根本上说是一门实验科学。任何物理规律的发现和物理理论的建立都必须以实验为基础，并经受实验的严格检验。物理学就是在理论与实验相互推动下不断向前发展的。因此，物理教学也必须遵循物理学的规律，强调理论与实验相结合，把实验课和理论课放在同等重要的地位。

物理学是现代医学的基础学科之一，其理论和实验方法被广泛地应用于现代医学的理论研究和临床实践中，并且正在也必将积极地推动着现代医学的发展。现代医学的发展已经离不开物理学。通过物理实验，学生不但可以学习到物理知识、实验方法和实验技能，而且可以培养他们的科学精神，提高他们的科学素养；同时，为今后医学专业课的学习和工作奠定良好的基础。

物理实验的教学任务是：

1. 通过对实验现象的观察、分析和对物理量的测量，使学生学到物理实验知识，加深对物理学原理的理解。
2. 培养与提高学生的科学实验能力，其中包括：
 - (1) 能够自行阅读实验教材或资料，自觉做好实验前的准备。
 - (2) 能够借助教材和仪器说明书，正确使用常用仪器。
 - (3) 能够运用学习过的理论知识，解释或判断某些实验现象。
 - (4) 能够通过实验现象，总结、归纳出规律。
 - (5) 能够正确记录和处理实验数据，绘制曲线，阐述实验结果。
 - (6) 能够完成简单的实验设计，撰写合格的实验报告。
3. 培养与提高学生的科学素养，要求学生具有理论联系实际和实事求是的科学作风，严肃认真的科学态度，主动研究的探索精神和遵守纪律、爱护公物的优良品德。

二、测量与误差

1. 直接测量与间接测量

测量是指待测量与已知同类单位量的比较。

物理实验过程往往是测量一些物理量，从而探求这些量之间或这些量与其他物理量

之间的关系。测量可分为直接测量和间接测量。有些物理量可以通过相应的测量仪器进行直接测量而得到,这个过程称为直接测量,所得到的量称为直接测量量。比如,用米尺测量长方体的长(L)、宽(W)、高(H),即为直接测量。而另外有一些物理量是由一些直接测量量通过一定的关系式计算出来的,把对这些物理量的测量称为间接测量,该物理量称为间接测量量。比如,长方体的体积=长 \times 宽 \times 高。先直接测出长、宽、高,再代入上式求出体积,其中长、宽、高是直接测量量,体积属于间接测量量。

2. 误差及其分类

物理量在客观上存在着绝对准确的数值,称为真值。实验测量的结果称为测量值。误差是指测量值与真值的差值。设某一待测量的真值为 X_0 ,测量值为 X ,那么误差 $\Delta X = X - X_0$ 。任何测量都存在一定程度的误差。根据误差产生的原因,通常把它分成系统误差和偶然误差两类。

(1) 系统误差:它主要来源于仪器本身的缺陷(仪器老化、精度不够或调整不准确等)、实验方法不完善、环境条件对仪器的影响、实验者不良的固有习惯等因素。系统误差的特点是测量值总是有规律地向一个方向偏离。消除它的方法主要是通过改进测量仪器、校正仪器、对实验方法进行完善、纠正实验者不良习惯等。

(2) 偶然误差(又称随机误差):它主要来源于一些偶然的因素对实验的干扰,使测量结果产生偏差。其特点是离散性或无方向性,大量的实验测量结果一般符合正态分布规律,因此常用“精密度”来表示偶然误差的大小。消除它的主要方法是对同一测量量进行多次测量。

3. 误差的表示方法

(1) 平均绝对误差:设在同一条件下,对同一测量量测量 n 次,其算术平均值

$$\bar{X} = \frac{1}{n}(X_1 + X_2 + \cdots + X_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (0-1)$$

接近真值,称为直接测量量的最佳值。各次测量值误差的绝对值为

$$\Delta X_i = |X_i - \bar{X}| \quad (0-2)$$

称为各次测量的绝对误差。

平均绝对误差为(各次测量的绝对误差的平均值)

$$\overline{\Delta X} = \frac{1}{n}(\Delta X_1 + \Delta X_2 + \cdots + \Delta X_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i \quad (0-3)$$

它是有量纲的量,反映了测量结果的准确程度。测量结果 X 可以表示为

$$X = \bar{X} + \overline{\Delta X} \quad (0-4)$$

它也是有量纲的量。

(2) 平均相对误差:它是平均绝对误差与真值的比值。

$$E = \frac{\overline{\Delta X}}{\bar{X}} \quad (0-5)$$

平均相对误差一般用百分比表示,所以又称百分误差,是一种没有量纲的量。有了相对误差以后,测量结果也可表示为

$$X = \bar{X}(1 \pm E) \quad (0-6)$$

例如： $L = (10.0 \pm 0.5) \text{ mm}$

平均绝对误差为 $\overline{\Delta L} = 0.5 \text{ mm}$

平均相对误差为 $E = \frac{\overline{\Delta L}}{L} = \frac{0.5}{10.0} \times 100\% = 5\%$

测量结果也可表示为 $L = 10.0 (1 \pm 5\%) \text{ mm}$ 。

(3) 标准误差 (σ')：它又称为方均根误差，它能较为精确地估算出偶然误差和测量值之间的离散程度，定义为

$$\sigma' = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (0-7)$$

σ' 是一个有量纲的量。

(4) 平均标准差 (σ)：它是指测量列的平均值 \bar{X} 的标准偏差。

$$\sigma = \frac{\sigma'}{n^{1/2}} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)} \right]^{1/2} \quad (0-8)$$

测量结果可以表示成： $\bar{X} \pm \sigma$

σ 是一个有量纲的量。

4. 间接测量量的误差计算

由于绝大部分测量属于间接测量，因而其误差的计算尤其重要，对初学者而言，最重要的是知道如何计算误差。在此略去具体推导过程，直接给出几种常见的间接测量量的误差计算公式。计算公式列于表 0-1 中。

表 0-1 常用运算公式的误差计算公式

函数关系 $N=f(A, B, C, \dots)$	绝对误差 ΔN	相对误差 $E\left(\frac{\Delta N}{N}\right)$
$N=A+B+C$	$\Delta A + \Delta B + \Delta C$	$\frac{\Delta A + \Delta B + \Delta C}{A+B+C}$
$N=A-B$	$\Delta A + \Delta B$	$\frac{\Delta A + \Delta B}{A-B}$
$N=A \cdot B$	$B \cdot \Delta A + A \cdot \Delta B$	$\frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B}$
$N = \frac{A}{B}$	$\frac{B \cdot \Delta A + A \cdot \Delta B}{B^2}$	$\frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B}$
$N=A^n$	$nA^{n-1} \cdot \Delta A$	$n \frac{\Delta A}{A}$
$N=A^{\frac{1}{n}}$	$\frac{1}{n} A^{\frac{1}{n}-1} \cdot \Delta A$	$\frac{1}{n} \cdot \frac{\Delta A}{A}$
$N = \frac{A^m B^n}{C^p D^q}$	EN	$m \frac{\Delta A}{A} + n \frac{\Delta B}{B} + p \frac{\Delta C}{C} + q \frac{\Delta D}{D}$
$N=KA$	$K\Delta A$	$\frac{\Delta A}{A}$
$N=\ln A$	$\frac{\Delta A}{A}$	$\frac{\Delta A}{A \ln A}$

续表

函数关系 $N=f(A, B, C, \dots)$	绝对误差 ΔN	相对误差 $E\left(\frac{\Delta N}{N}\right)$
$N=\sin A$	$ \cos A \Delta A$	$ \operatorname{ctg} A \Delta A$
$N=\operatorname{tg} A$	$\frac{\Delta A}{\cos^2 A}$	$\frac{2\Delta A}{ \sin 2A }$
$N=K^A$	$\ln K \cdot K^A \Delta A$	$\Delta A \ln K$

三、有效数字的运算

1. 有效数字的概念

在测量和数值计算中, 确定用几位数字来表示测量量和计算结果是一项很重要的工作。实际测量的准确度取决于测量使用的仪器。例如, 用以毫米标度的米尺测量棒的长度, 棒的一端与 0 标度对齐, 另一端在 12.3cm 到 12.4cm 之间 (如图 0-1 所示), 可凭经验估计为 11.34cm 或 12.36cm。显然前三位数字 11.3 是准确的, 称为准确数字, 而最后一位 4 或 6 是估读的, 称为可疑数字或是欠准数字。欠准数字虽有误差, 但保留下来还是有意义的, 比略去它要准确些。我们把测量数据中有意义的数字, 包括准确数字和一位欠准确数字的数称为有效数字。不同位数的有效数字反映不同的准确度。同一个测量量用不同精度的仪器测量, 所得有效数字位数也就不同, 准确度也就不一样。比如, 用游标卡尺测量上述长度可能得到 11.346cm, 其中 11.34 是准确的, 6 是欠准确的, 它由 5 位有效数字组成。有效数字越多, 说明测量越准确。

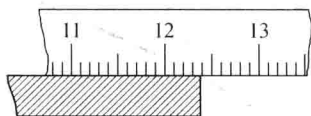


图 0-1 用米尺测量一直杆的长度

有效数字的最后一位 (即欠准确数字) 应该与绝对误差的数字同数量级。例如, 用米尺测长度刚好为 12cm 时, 则有效数字应写成 12.00cm, 这表明测量的欠准确数字是在 0.01cm 这一级, 测量结果应写为 (12.00 ± 0.01) cm。此外, 有效数字的位数不因单位改变而不同。例如 12.00cm 是 4 位有效数字, 若以 km、m 或 mm 为单位来表示同一长度量, 它应表示为 1.200×10^{-4} km、0.1200m、120.0mm。它们的有效位数仍为 4 位, 第一种表示方法, 即 1.200×10^{-4} km, 称之为科学计数法。

可见, “0” 可能是也可能不是有效数字, 这取决于 “0” 的位置。一般规定, 在左边第一个非零数字前的 “0” 不是有效数字, 而在左边第一个非零数字后的零才是有效数字。比如, 0.0010200m 中左边第一个非零的数字是 “1”, 它前三个零即 “0.00” 不是有效数字, 而它后面即 “10200” 中的三个零均为有效数字。

2. 有效数字运算法则

有效数字运算法则是一种近似计算法则，用以确定测量结果有效数字大致的位数。其总的要求是计算结果的位数应与测量误差完全一致。若位数不恰当，则最后结果由相应误差来确定。总的运算规则如下：

- ① 凡准确数字与准确数字运算，结果为准确数字。
- ② 凡欠准确数字与任何数字运算，结果为欠准确数字，但进位为准确数字。
- ③ 小于五舍，大于五进，等于五时使前面的数字凑成双。

通常在运算过程中可保留二位欠准确数字，但最后运算结果中只保留一位欠准确数字。

(1) 加减法

例 1. 设 $X=71.\underline{3}$, $Y=0.\underline{753}$ 求 $N=X+Y$, $M=X-Y$

$$\text{解 } N=X+Y=71.\underline{3}+0.\underline{753}=72.\underline{053}\approx 72.\underline{0}$$

$$M=X-Y=71.\underline{3}-0.\underline{753}=70.\underline{547}\approx 70.\underline{5}$$

结论：诸量相加（或相减）时，其和（或差）的小数点后应保留的位数与诸数中小数点后位数最少的一个相同。

(2) 乘除法

例 2. 设 $X=39.\underline{3}$, $Y=4.\underline{084}$, 求 $P=X \cdot Y$, $Q=X/Y$

$$\text{解 } P=X \cdot Y=39.\underline{3} \times 4.\underline{084}=160.\underline{5012}\approx 160.\underline{5}$$

$$Q=X/Y=39.\underline{3} \div 4.\underline{084}=9.\underline{622}\approx 9.\underline{62}$$

结论：两个量相乘（或相除），其积（或商）的有效数字位数一般和诸量中有效数字位数最少的一个相同。

(3) 乘方、开方

例 3. 设 $X=765$ 求 $N=X^2$, $M=X^{1/2}$

$$\text{解 } N=X^2=765^2=5.\underline{85} \times 10^5$$

$$M=X^{1/2}=765^{1/2}=27.\underline{65}=27.\underline{6}$$

结论：乘方、开方的有效数字位数与底数的位数相同。

(4) 函数运算

一般来说，函数运算应从误差分析来决定。在物理实验中，为了简便和统一起见，对常用的对数函数、指数函数的有效数字作如下规定：

a. 对数函数运算后的尾数和真数的位数相同。

例 4. $\lg 1.\underline{983}=0.\underline{2973}$

b. 指数函数运算后的有效数字位数和指数的小数点后位数相同。

例 5. $10^{6.\underline{25}}=1.\underline{8} \times 10^6$

三角函数在 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 时， $\sin \theta$ 和 $\cos \theta$ 都在 0 和 1 之间，其结果的有效数字的位数随角度的有效数字位数而定。

例 6. 在对分光计读数时，应读到 1 分，此时应取 4 位有效数字。

$$\sin 30^\circ 00' = 0.\underline{5000} \quad \cos 20^\circ 16' = 0.\underline{9387}$$

四、数据处理

实验数据及其处理方法是分析和讨论实验结果的依据。有关物理量之间的关系，一般用图表和函数表示，相应的数据处理方法一般有列表表示法、图示图解法和最小二乘法（直线拟合）等。这里我们简单介绍列表法和图解法（又称图示法）。

1. 列表法

将记录的数据制成表格可以简单明了地表示出有关物理量之间的对应关系，使数据有条不紊，便于检查，避免错误。通过比较数据之间的关系，从而找出规律，推出经验公式。列表形式一般有三种：定性式（实验记录表格）；函数式（按函数关系列出函数表）；统计式（列出统计表，函数关系式未知）。一般将实验数据依据自变量和因变量之间的对应，按照增加或减少顺序一一列出来，其中包括表格序号、名称、项目、数据和说明等。

列表法要求：①注明表的序号和表头（表名）；②简明，便于看出各物理量之间的关系；③写明表中各符号所代表物理量的意义，并注明单位；④数据的有效数字要正确；⑤说明，必要时可给出说明。

列表法举例如表 0-2。

表 0-2 铜丝电阻与温度的关系

温度 T ($^{\circ}\text{C}$)	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0
铜丝电阻 R (Ω)	10.4	10.7	10.9	11.3	11.8	11.9	12.3

说明：铜丝纯度为 99.9%。

2. 图解法

图解法是根据几何原理将实验数据用图线简明、直观、准确地揭示出物理量之间的关系。根据已画好的曲线，用解析方法进一步求得曲线所对应的函数关系、经验公式以及其他参数。

图解法的一般规则：

(1) 选定坐标轴（实验时一般用坐标纸）：以横轴代表自变量，纵轴代表因变量，并标明各轴所代表的物理量及相应的单位。

(2) 选定标尺：要选取适当的标尺比例，在坐标轴上面等间隔（或等周期）地注明标度值，纵、横坐标的比例可以不同，且标度也不一定从零开始，如数据太大或太小可用“ $\times 10^n$ ”表示。

(3) 描点：对每一对数据通常用“ \times ”“ \triangle ”“ $+$ ”“ \cdot ”“ \odot ”等符号在坐标纸上清晰而准确地标出其位置。

(4) 连线：根据所描绘的点，画出一条直线或平滑的曲线，要求所描的点均匀（或近似均匀）地分布在这条线的两边，切勿简单地连成折线。

(5) 写出曲线名称：如图 0-2 所示，为铜丝的电阻与温度之间的关系曲线。