教育科学“十五”国家规划课题研究成果

大学物理实验

李　平　主编
李　平　唐曙光　陆兴中　编

高等教育出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内容提要

本书是全国教育科学“十五”国家规划课题“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”的子课题“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究成果，是针对应用型人才培养中基础课程教学的特点与要求编写的。

全书共分九章，包括实验基础知识、基础实验性、综合与提高性实验，并加入了一定量的设计性实验、计算机仿真实验和计算机模拟实验，在最后一章和附录中介绍了现代物理实验室的发展以及与物理实验有关的知识性内容的介绍。本书在保留了传统实验的基础上，突出现代技术在传统实验教学中的应用，以适合21世纪应用型人才培养的需要。

本书可作为高等学校工科类各专业的基础物理实验教学用书，也可供其他专业参考使用。

图书在版编目(CIP)

大学物理实验/李平主编．—北京：高等教育出版社，2003.12

ISBN 7-04-012989-2

Ⅰ.

-教材 Ⅳ.O4-33

中国版本图书馆CIP数据核字

出版发行 高等教育出版社　　购书热线 010-64054588

社　　址 北京市西城区德外大街4号　　免费咨询 800-810-0598

邮政编码 100011　　网　　址 http://www.hep.edu.cn

总　　机 010-82028899

经　　销 新华书店北京发行所

印　　刷

开　　本 787×960　1/16　　版　　次　　年　月第　版

印　　张 14.75　　印　　次　　年　月第　次印刷

字　　数 270 000　　定　　价 15.90元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有　侵权必究

策划编辑　刘　伟
责任编辑　杨树东
封面设计　于文燕
责任绘图　黄建英
版式设计　张　岚
责任校对　尤　静
责任印制

总　序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要，满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求，探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系，全国高等学校教学研究中心

世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上，组织全国100余所以培养应用型人才为主的高等院校，进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索，在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果，并在高等教育出版社的支持和配合下，推出了一批适应应用型人才培养需要的立体化教材，冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月，教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项，为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台，整体设计立项研究计划，明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式，分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现，组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组

课题立项申报，有63所高校申报了近450项课题。2003年1月，在黑龙江工程学院进行了项目评审，经过课题领导小组严格的把关，确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月，各子课题相继召开了工作会议，交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题，确定了项目分工，并全面开始研究工作。计划先集中力量，用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和在研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才培养特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是，“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才培养探索与实践成果基础上，紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要，努力实践，大胆创新，采取边研究、边探索、边实践的方式，推进高校应用型人才培养工作，突出重点目标，并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础，作为体现教学内容

和教学方法的知识载体，在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才培养体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此，在课题研究过程中，各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果，并和教学实际结合起来，认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革，组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师，编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案，以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信，随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入，特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施，具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003 年 4 月

需要全本请访问 www.ertongbook.com

前　言

本教材是根据教育部颁发的工科本科物理实验课程教学基本要求，结合我国高等学校应用型人才培养体系，为培养高素质、强能力的应用型人才的教育教学需求而编写的。它同时也是全国教育科学“十五”国家规划课题的子课题“21 世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的成果之一。

物理实验是科学实验的重要组成部分，在科学、技术的发展中有着独特的作用和意义。在物理学发展中，人类积累了丰富的实验方法，创造出各种精密的仪器设备，涉及广泛的物理现象，这使物理实验课程有了十分充实的教学内容。物理实验中的研究方法、观察与分析手段、各种常规与精密的仪器设备在现代科学与工程实践中均具有极大的普遍性、综合性、多样性和广延性，它构成了现代工程技术人员必备的知识结构的重要部分。在教材的编写中，我们继续保持了物理实验核心内容的科学性、系统性和完整性，同时考虑到构建与应用型人才培养相适应的大学物理课程体系是实现本课程教育创新的时代要求，因此，教材编写的重心也相应向下述几个方面作了适当的移动:

值，且能长期起作用的核心知识。因此对科学与工程实践所需的基础知识予以了加强，这主要体现在基本的实验方法、实验技术，基本的仪器
使用，实验误差的正确认识、处理与分析等，同时对这些内容的处理进行了探索与创新。

验、计算机模拟与仿真实验等六个层次，以更好地体现分类指导与因材施教的原则。

法，因此，在本教材中体现并重视对方法的系统阐述、指导与训练，并以实验内容为载体，来实现实验所用的各种基本方法
法、转换法、模拟法、干涉法、示踪法等)
法、图解法、逐差法、回归法等)
察、分析与研究的基本方法，了解其实际意义与价值。以方法为纲来构建教材的教学内容体系是我们对教学内容进行创新处理的重要特点之一。

此每一个实验的开始均有一段引言，引言主要反映这样几个方面的内容：实验

的历史背景、实验的方法或实验技术在工程中的实际意义、实验所观测的物理量的重要价值等。

物理实验中，不用编程即能执行数据处理、分析、统计、查询等功能。它的函数功能丰富，数据作图功能齐全，对实验数据处理的正确、高效、多样、快捷和便利有积极意义。这对于工作在工程实践第一线的工程技术人员来讲是有实际意义的。

技术为基础的教育教学新平台是现代教育发展的重要方面，教材应有这一方面的体现，为此我们编写了“国内外部分著名物理实验室及 WWW 网址介绍”一章，以帮助学生开拓学习的视野，使教学内容得到及时而充分的外延和深化，并提供更多的在线背景知识。

向，教材作为传递人类优秀文化的重要载体，应蕴涵丰富的道德培养因素，这也是教材所需要的教育性决定的。理工科教材的主要功能是培养和提高学生的业务素质，但也应该兼具培养其他多方面素质的功能，让学生在学习专业知识和技能的同时，也能受到全面的素质培养。为此我们在教材中编入一些既与课程内容相关，又有一定的知识性和广延性的内容，以吸引或引导学生学习本课程，如“现代实验室制度的发展”、“世界十大经典物理试验”、“百年诺贝尔物理学奖与物理实验”等内容。篇幅不太大，只起一个引导作用。

本教材的基本教学时数为 32～48 学时，其中一些知识性、广延性和进一步深化的内容可在教师的指导下进行课外学习或讨论。

本教材是“21 世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”研究课题的成果，由唐曙光

稿由李平承担。

本书在编写过程中，得到了全国高等学校教学研究中心和高等教育出版社的大力协助与支持；中国科学技术大学汪秉宏教授、王晓蒲教授，南京大学沙振舜教授，扬州大学陈小兵教授，北华大学张伟森教授对本书的编写也给予了热忱的关心，编者谨向他们表示深深的谢意。

过程中,把您的感受和意见及时告诉我们,以利于我们将来作进一步的修订。

编　者

2003 年 8 月于南京

目　　录

第一章　导论 …… 1
§1 - 1　科学实验与物理实验课程概述 …… 1
§1 - 2　物理实验课程的任务与基本要求 …… 3
§1 - 3　物理实验教学的三个基本环节 …… 5

第二章　测量误差与实验数据处理 …… 8
§2 - 1　测量与误差 …… 8
§2 - 2　测量不确定度简介 …… 11
§2 - 3　有效数字及其运算法则 …… 14
§2 - 4　实验数据处理的基本方法 …… 19
§2 - 5　实验测量结果的表示 …… 28
§2 - 6　用 Excel 软件进行实验数据处理 …… 30
§2 - 7　计量单位制和量纲 …… 35

第三章　物理实验中常用的测量方法 …… 40
§3 - 1　比较法 …… 40
§3 - 2　放大法 …… 41
§3 - 3　平衡法 …… 43
§3 - 4　补偿法 …… 43
§3 - 5　转换法 …… 45
§3 - 6　模拟法 …… 47
§3 - 7　干涉法 …… 48

第四章　基础实验 …… 49
实验 4 - 1　物理实验中基本仪器的正确使用 …… 49
实验 4 - 2　正态分布的实验研究 …… 56
实验 4 - 3　误差分配和实验仪器选择的关系研究 …… 60
实验 4 - 4　用伸长法测钢丝的杨氏模量 …… 62
实验 4 - 5　刚体转动惯量的实验研究 …… 69
实验 4 - 6　静电场的模拟与描绘 …… 73

实验 4 - 7 惠斯通电桥法测电阻 …… 78
实验 4 - 8 示波器的工作原理与使用 …… 83
实验 4 - 9 光的等厚干涉现象——牛顿环的实验研究 …… 90
实验 4 - 10 分光计的工作原理和使用 …… 94

第五章 综合与提高实验 …… 101
实验 5 - 1 电表的改装与校正 …… 101
实验 5 - 2 光栅的特性分析与应用 …… 105
实验 5 - 3 用相位法、干涉法测定声速 …… 110
实验 5 - 4 电子束的电偏转研究 …… 116
实验 5 - 5 电子束的磁偏转研究 …… 122
实验 5 - 6 霍耳效应及应用 …… 127
实验 5 - 7 迈克耳孙干涉仪的工作原理与使用 …… 131
实验 5 - 8 钠黄光双线波长差的实验研究 …… 135
实验 5 - 9 密立根油滴实验 …… 137
实验 5 - 10 弗兰克 - 赫兹实验 …… 142
实验 5 - 11 光电效应和普朗克常量的测定 …… 147
实验 5 - 12 全息照相与观察 …… 152

第六章 设计性实验 …… 156
实验 6 - 1 自组望远镜 …… 157
实验 6 - 2 驻波法测振动频率 …… 159
实验 6 - 3 线性电阻和非线性电阻的伏安特性研究 …… 160
实验 6 - 4 液体动力粘度的测定 …… 163
实验 6 - 5 超声光栅的构建与观察 …… 165

第七章 计算机仿真实验 …… 167
§7 - 1 计算机仿真实验介绍 …… 167
§7 - 2 计算机仿真实验示例——偏振光的研究 …… 169

第八章 计算机模拟实验 …… 174
实验 8 - 1 分形的计算机模拟实验 …… 175
实验 8 - 2 混沌的计算机模拟实验 …… 178
实验 8 - 3 逾渗的计算机模拟实验 …… 181

第九章 国内外部分著名物理实验室及 WWW 网址介绍 …… 185
§9 - 1 现代实验室制度的发展 …… 185
§9 - 2 统一联网地址 …… 187
§9 - 3 国外部分著名物理实验室及 WWW 网址介绍 …… 189
§9 - 4 国内部分著名物理实验室及 WWW 网址介绍 …… 194

附录一 世界十大经典物理实验 …… 201
附录二 百年诺贝尔物理学奖与物理实验 …… 208
附录三 中华人民共和国法定计量单位 …… 215
附录四 附表 …… 218
附表 1 基本物理常量 1998 年推荐值 …… 218
附表 2 常用仪器量具的主要技术指标和极限误差 …… 219
附表 3 20℃时常用固体和液体的密度 …… 220
附表 4 常用金属的弹性(杨氏) …… 221
附表 5 液体的动力粘度 …… 221
附表 6 常用光源的谱线波长 …… 222
附表 7 常用电气仪表面板上的标记符号 …… 222

第一章　导　　论

§1-1　科学实验与物理实验课程概述

科学实验是研究自然规律与改造客观的“基本手段”。所谓实验就是根据现有的科学理论和一定的目的，通过相应仪器设备，在人为的条件下，控制、模拟或再现自然现象，检验某种科学思想并寻求相应的规律。科学实验可凭借实验室的优越条件，超越生产实践和自然条件的某些局限性，走到生产实践的前面，为生产技术的发展开辟出新的道路。实验与科学理论有着密切的联系，是基础科学赖以生存和发展的基础。科学理论上的诸多争论，最终靠实验作出判断；错误理论的修正，也是靠实验完成；诸多重要理论都是在总结实验结果的基础上得出的；实验是检验科学理论的惟一手段，实验与科学理论相结合，便产生了种种不同类型的科学技术。

科学实验是知识创新的源头，任何新的科学知识都来源于实验，没有实验就没有知识创新。要树立实验第一的思想，实验检验理论，实验在理论之先，这是一个重要观点。

科学实验大体上包括这样几个步骤：观察—测量—整理数据—总结规律—提出新问题—设计新实验，然后周而复始到新一轮实验，如此循环上升，科学不断前进。在实验教学中，我们要认真分析这些环节，注意在每一个环节中去启发自己的创造精神和能力。

观察　要学会观察现象，培养观察能力。观察要有一定的知识或经验准备，要有一种好奇心，要明察秋毫，才能有所发现。观察是科学发现的起点。

测量与整理数据　在观察基础上要进行测量，以获得事物之间的数量联系。要测量，就要学会运用最新的测量手段、测量仪器和测量方法，要知道测量的误差和精密度、准确度。测量对科学发展是非常重要的。科学测量精确度提高，测得的数据小数点后面多一位，往往意味着科学上重大发现的诞生。所以测量技术也是一种重要的科技生产力。从 1901 年到 2001 年的百年诺贝尔物理学奖中，有 1/ 3 以上是授予在测量技术和方法上有重大创新的物理学家。测量方法一改进，新现象、新效应就会随之而来。有些东西是很难测量的，真正

需要全本请访问 www.ertongbook.com

的数据常常隐藏在噪声和无规的现象后面，只有通过先进的测量技术和合理的数据处理方法才可能找出正确的规律，得到正确的测量值。

总结规律　找出事物之间的定量关系是一切科学的重要任务。为了使测量的量值精密和准确，有许多创新的精神和方法需要学习和训练。在测量阶段还可培养自己严谨、严密的精神和严肃的态度。

对实验结果的科学总结，可以得到一般性的规律或上升为理论。在这个基础上，还要与已有的科学理论做比较，看看实验结果与理论是否相符，已有理论能不能解释所有问题。你可能发现现存理论解决不了所有问题，就会提出新问题。在此基础上，就要设计新的实验来解决新的问题。在总结规律时创造性非常重要，为了解决一些新问题需要提出与过去规律完全不同的东西，这就要有一种发展思维，扩散思维。提出与众不同的东西、新的东西是要有很大胆识的。我们要培养自己在总结实验过程中提出一些新东西的能力。

创新需要大胆，但在测量、处理实验数据、整理总结实验结果的时候，要非常强调严密的逻辑思维和求是精神。实验中培养创新精神和能力，需要认真地分析每一个实验的全过程，实验中的每一个阶段和每个环节都有它特殊的一面，但构成了一个完整的创造过程。我们要在实验全过程中，培养自己的创造能力，使它们成为教学过程中自觉的东西，这是实验教学的一个重要点。

物理实验是科学实验的重要组成部分之一，在科学、技术的发展中有着独特的作用和意义。在物理学史上，首先把科学的实验方法引入到物理学研究中来，从而使物理学走上真正科学道路的是 16 世纪的意大利物理学家伽利略。他所设计的斜面实验就蕴藏着极为丰富的科学实验的思想。

了理想化的物理条件，抓住了问题的本质，从而获得了超越这一实验本身的特殊条件的认识，这恰是科学实验不同于自然观察之处。

这是科学实验区别于自然观察的又一特点。他选择斜面做实验，是为了延长物体在它上面下滑的时间，以适应当时的时间测量条件。这种实验构思极其巧妙，使原来在自由落体运动中难以测量的时间变得容易测量了。

本身的更为普遍的规律，即物体在光滑水平平面上运动是等速直线运动，而且过渡到铅直情况，他推论出各种物体的自由下落是作等加速直线运动。

达式表示出来，揭示了各个物理量之间的内在联系，从而把实验结果上升到普遍的理论高度。

伽利略的这些卓越的实验思想和实验方法，对我们的实验教学仍有重要的

启示。在科学技术的发展史上，科学实验的出现是一个重要的分水岭，在这以前，科技进步缓慢；在这以后，科技进步迅速。

科学实验与生产实践和自然现象是有着本质的不同的，实验能在一定条件下再现某一自然现象，让人们有时间、有机会去研究现象产生的原因和规律；实验能把复杂的自然现象分解为若干简单的现象，以进行个别和综合研究；实验还可以实现对研究对象的人为控制，以及对现象进行比较和分析。

在物理学发展中，人类积累了丰富的实验方法，研制出各种精密的仪器设备，涉及广泛的物理现象，这使得物理实验课程有着十分充实的教学内容。在物理实验课程的教学过程中，要充分认识到从事实验工作，动手能力的形成是以实验的基本知识、基本方法、基本技能的熟练掌握为基础的，因此要求学生主动地寻找和接受这些方面的训练与培养。

实验教学具有很强的联系实际的特点；实验教学既具有继承性，更具有创造性；实验教学是整个教学计划中的重要组成部分。它从实验课程的特有规律出发，强调了实验方法的训练和实验素质的培养，为科学研究和工程实践准备了必要的技术基础和相关素养。良好的实验素养主要体现在：①良好的观察习惯；②

实验结果的分析与思考；⑤

§1 - 2　物理实验课程的任务与基本要求

科学实验本身有自己的一套理论、方法和技能，作为基础性的知识它们是相对稳定的，逻辑性较强，并具有较广泛的可迁移性。但要掌握好这套实验知识，需要由浅入深、由简到繁地逐步学习、训练和提高。物理实验课程正是对学生进行科学实验基本训练的一门独立的必修的实验基础课程，是学生进入学校学习后系统地接受实验方法和实验技能训练的第一门实验课程，它为学生学习后续课程的实验和进行工程实验打下必要的基础，也可培养学生用实验方法去发现问题、分析问题和解决问题的能力。同时，它对提高学生的科学实验素养，帮助学生建立辩证唯物主义世界观和方法论也起着积极的作用。

可重复检验性是科学实验的一个显著标志。物理实验教学就是基于这一性质而进行活动的。物理实验教学中包含的全部实验项目都是前人已经完成了的科研成果，物理实验教学的要求是，通过亲历这些实验对大学生进行基本实践能力和基本科学素质的训练和培养。因此，从这个意义上说，物理实验教学的本质，就是为大学生在今后从事科学研究与工程实践的具体工作中，能够有创造性地实现自身和事业的发展奠定基础。

低年级的大学生正处于接受知识的阶段，即主要进行基本知识和基本技能

方面的培养，突出对人的全面发展进行培养的基础教育，抓好素质教育就是为实现创新教育打基础。

物理实验教学中进行创新教育，是先“温故”而后“知新”的一个渐进发展的过程，也只有在“温故”的基础上，才能够有“推陈出新”的可能。创新是对传统的批判继承，继承是创新的基础，没有继承就没有创新，创新是继承中的发展。因此物理实验的教学是对创新素质能力培养的一个打基础阶段。在实验操作手段与方法设计上，在实验操作的环节与内容的设计上，都是对大学生创新素质和创新能力的基础锻造。

物理实验课程的内涵十分丰富，覆盖的知识面和包含的信息量以及基本的训练内容都很宽广。除物理基础知识外，还涉及数学、测量学、误差理论和计算机科学等方面的知识。作为基础教学的物理实验，它不同于科学实验，一般都是一些较为成熟实验，以教学为目的、传授知识、培养人才。

本课程的任务是:

掌握基本实验方法、基本实验技能及实验基础理论，了解实验的新技术与新知识。

确地运用实验方法来判断结果准确性和总结规律的能力。

方式、实事求是的科学态度，严谨的工作作风，以及刻苦钻研探索与团结协作的精神。

本课程的教学基本要求是:

1．基本素质要求

2．基本实验技能及实验方法要求

装置，并掌握一系列操作的基本技术。

§1 - 3　物理实验教学的三个基本环节

一般实验教学可分为实验预习、实验操作和撰写实验报告三个环节。

一、实验预习

实验预习是为实验操作做准备的，通过实验预习应明确三个问题：做什么？怎么做？为什么？为此需要做到：

对于验证性实验应充分理解与验证的规律有关的概念、理论以及物理过程；对于探索性实验应充分熟悉与实验有关的知识以及要研究的物理过程和期望得到的带有规律性的物理现象，明确实验目的与要求。

及注意事项。特别对注意事项，不仅要仔细看，还要牢记，否则会造成仪器损坏，甚至人员事故。对真正弄不懂的部分，应作记录，在进入实验操作环节时，再向实验指导教师请教。只有这样，才能在实验中克服盲目性，才能充分相信自己的测量结果和由这些测量结果得出的结论，从而达到实验目的。

进一步熟悉实验步骤与过程，另一方面可以减少实验中的失误，提高实验效率，做到集中注意力解决实验中的主要矛盾。

经认可后再做实验。

过软件进行相关内容的仿真实验操作，由此建立起一定的感性认识。

二、实验操作

实验操作是整个实验教学中最重要的一个环节，动手能力、分析问题和解决问题等能力的培养，主要在具体实验操作时完成。在该环节中，学生在教师指导下独立地进行仪器的正确安装和调整，各种实验现象的仔细观察，实验原始数据的完整记录。为此要注意下述几方面的问题。

后细测。

现在教材等资料中没有提到的、或是与原先的估计不吻合的现象。对这类现象

应及时发现，并提出问题、做出分析和判断。

遵守各项规章制度、注意安全。

实验原始数据，它将为以后的计算和问题分析提供宝贵的第一手资料。

三、撰写实验报告

“写出合格的实验报告”作为科学实验能力的组成部分，是物理实验课程所应承担的具体的培养训练任务之一。实验报告是对实验工作的全面总结，既要全面又要简单明了，应做到用词确切、字迹整洁、数据完整、图表规范、结果明确。撰写实验报告的过程主要是对学生的综合思维能力和文字表达能力的训练过程，也为他们日后在科学研究、工程实践等实际工作中撰写实验报告、研究成果报告、科技论文等打下基础，并且这种能力的大小将直接影响到在科学与工程实践中的工作能力和工作业绩。

一份完整的实验报告应包括以下几个方面内容：

数据表格。书写原理时，不应照抄实验指导书，应用自己理解了的语言来作概述。

写出实验结论。

业题，实验后的体会等。

撰写实验报告中必须注意的三个问题：

体到具体内容都是有原则区别的。实验指导书向学生提出实验的任务、目的，要求，阐明实验原理，提供进行实验的思路和方法，告诉学生应该怎么做；而实验报告是在完成实验过程之后写出的总结，以书面形式汇报实验的成果。具体回答如何做，获得了什么结果，意义价值何在。这些必须由实验者根据其实

践再用自己的语言来归纳、总结。

验过程中所应记录的实验条件、实验现象、实验数据应严格如实地予以记录，对测量数据的有效位数不得随意增删。

不会有好的实验效果，因此要求在报告中写清楚实验原理，这还可促使自己重视实验预习，也符合科研与工程的实际过程；数据处理是指对原始数据进行处理

测得量的A类不确定度分量、估算B类不确定度分量，利用不确定度传递公式计算测量结果

估测量结果

析原因，查明主要误差因素，提出减小或消除误差的措施。

需要全本请访问 www.ertongbook.com