21世纪中学物理创新实验设计与探索全书

主　编　王波波　汪　尧

（一）

·内蒙古少年儿童出版社·
1999.11

需要全本请访问 www.ertongbook.com

总 编 委

总 顾 问：季羡林

总 主 编：郭福昌　王文湛

副总主编：蔡克勇　鲁　洁　滕　纯　周长春
　　阎玉龙　刘　芳

编　　委：周长春　林乐远　李炳林　刘哲流
　　王新荣　刘　坤　常相舜　万　库
　　瞿宁远　杨　森　卢俊明　海　帆
　　邢莉娅　刘汉义　吴作诚　向　阳
　　李先明　云传潮　李作松　何小林
　　周亚丽　赵善明　叶尧城　金　明
　　孙枝德　李学坤　夏贵敏　学　坤
　　宏　福　宽　容　泰　斗　广　平
　　陈利中　萧志荣　白金荣　兴　旺
　　马　昆　柯儒杰　王波波　王鹏程
　　谭业武　左庆生　朴哲松　杨邵豫
　　陈　忠　肖　阳　李　威　王　靖
　　齐　和

总 策 划：曹振国　肖忠远　王波波　袁　真

21 世纪中学物理创新实验设计与探索全书
王波波　汪　尧　主编

内蒙古少年儿童出版社出版
（通辽市霍林河大街 24 号）
责任编辑：包宏宇　　封面设计：李呈修
河北省沙河市第二印刷厂印刷
内蒙古新华书店发行　　各地新华书店经销
开本　787×1092 毫米 1/16　印张：115　字数 2200 千字
1999 年 11 月第 1 版　1999 年 11 月第 1 次印刷

印数：1—3000 册
ISBN7-5312-1126-2/G・472 定价（上下卷）：458.00 元
（本书如发现印装质量问题请与承印厂调换）

《21 世纪中学物理创新实验设计与探索全书》

编　委　会

主　编：王波波　汪　尧

编　委：王波波　汪　尧　岑　锋

田维钊　李　巍　古兴光

王小玉　谭业武　李宏光

张　榛　张富民　赵文博

后　　记

经过二年多的艰苦努力，在世纪更替之际本书系终于面世了。

本书系在编写过程中，得到了有关方面的大力支持和帮助，在此特表示深深的谢意，同时，本书系卷帙浩繁，覆盖面广，引用了很多文献资料，其中，绝大多数原作者我们已经联系上，但由于种种原因，无法一一取得联系，在此，我们深表歉意，并希望您能及时与我们联系，我们将以适当的形式向您表示真诚的谢意（我们的联系方法：127 呼 8171637）

尽管在编写过程中力求完美，但由于作者水平有限，本书的缺点乃至错误在所难免，敬请广大读者谅解、指正。

本书系编委会

1999 年 9 月

需要全本请访问 www.ertongbook.com

整体构建中小学创新教育体系，培养学生的创新精神和实践能力

——《创新教育实验》书系出版前言

一、选题背景与意义

在前不久召开的第三次全国教育大会上，中共中央、国务院做出了“关于深化教育改革，全面推进素质教育”的决定。其中特别强调“教育以提高国民素质为根本宗旨，以培养学生的创新精神和实践能力为重点。”这必将成为当前及今后相当长一个时期内指导中国教育发展与变革方向的总体方略。

“素质教育”的核心与本质是“创新教育”，创新意味着探索，意味着变革，其最终目的在于开发、挖掘和培养学生的创造性潜能。“创新教育”新型模式的综合构建作为中国教育、教学观念的整体变革，是一个包含教育观念、教材、课程设置、教学管理、评价机制、师资队伍、教法、学法等在内的系统性工程，“创新教育”体制无疑体现、代表了中国教育未来发展的主流特质，创新教育的实施，必将引起、带来中国的一场深刻而全面的教育变革与革命。

二、选题指导思想与基本内容

基于上述识见，本着总结、整理、推广、宣传、普及近年来中国基础教育各方面综合改革、创新实验设计与探索的丰富成果的宗旨，我们邀请了首都科研机构与高等院校多年来从事教育、教学改革与实验探索和研究方面的近百位专家学者和一线教学工作者，历时近二年多，数易其稿，通力合作，精心编撰了这部大容量、多卷本的探索性大型书系，旨在为推进“创新教育”尽绵薄之力。

“书系”从两方面进行了有益的探索和尝试：

1. 创新“教学实验”：包括教育理念、办学模式、课程、教材、教法、学法等等方面的改革实验设计与探索，为整体构建创新教育体系作了一些探索与尝试。

2. 创新“实验教学”：包括实验室的现代化建设，多层次、多角度、多方法设计创新科学实验，改进一些“经典”科学实验的设计，为培养学生的创新精神和实践能力指引了方向。

三、选题的特色

（一）选题意识前卫，时代特色鲜明

“创新教育”是当前中国教育全面变革的主旋律，本书系立足此一时代背景，目的在于深入学习、领会江总书记关于“创新”的一系列科学论述，从中国教育现实情境着

眼，以“创新教育”为切入点，为全面推进素质教育呐喊助威。

（二）编辑思想科学合理

书系以改革开放 20 多年中小学各科艰辛、曲折的系列教改实验实践为依据，以“教育的目的最终在于培养学生的创新能力”为全新理念，在编辑、整理“创新教学实验与创新实验教学设计与探索”的过程中，大胆坚持、尝试每科均采用“课题”研究的方式，辩证吸取自然科学的研究方式，将每一问题置于特定的“问题域”和实验场景中，严格按科学实验步骤研究每一实验课题，力图使对于该问题的研究科学、权威、可靠、实用。

（三）所选内容具指导性和可操作性

“创新教育”贵在落实。本着这一宗旨，在采编本书内容时，既考虑到了“创新教育”实验特有的超前性、选题意识的前卫性，又尤为注重内容对于各级各类中小学校每一科教师教学实践所必不可少的理论指导性与实践可操作性。有鉴于此，全书在体系设计上，既有理论研究，背景透析，又有实践案例，现状评鉴，更有未来前瞻等极为丰富的极具建设性的创新性构想，真正做到集历史、现实、未来为一体。

四、几点说明

（一）“创新教育实验”书系在编辑过程中，参阅、借鉴了国内外同行专家的一些理论研究成果，得到京、津、沪及各省市教育科研、教育行政部门各级领导及一线从事教育、教学工作的教师的大力支持，内蒙古少年儿童出版社的领导、编辑为全书的出版工作付出了大量心血，提供了许多帮助。值此全书出版之际，一并致以热忱谢意！

（二）“创新教育实验”书系系探索性大型工具书，在编辑过程中，由于时间及编写力量等因素，不可避免地存在着许多不足之处，敬请读者不吝赐教。

编委会

一九九九年九月

目　录

第一篇　物理实验基础知识

❖物理实验基础知识❖ …… (3)
第一章　实验误差 …… (3)
测量和误差 …… (3)
测量误差理论和物理实验的关系 …… (4)
绝对误差与相对误差 …… (5)
等精度测量与不等精度测量 …… (6)
直接测量和间接测量 …… (7)
偶然误差、系统误差和过失误差 …… (7)
有效数字 …… (9)
数量级的概念 …… (10)
从仪器获得数据的方法 …… (11)
测量结果的一般表示 …… (13)
第二章　偶然误差及其处理 …… (14)
直接测量中的偶然误差 …… (14)
多次直接测量中的误差估算 …… (15)
单次直接测量中的误差估算 …… (16)
直接测得量结果的表示 …… (17)
坏数据剔除准则 …… (19)
间接测量中的偶然误差 …… (22)
有效数字的近似计算法则 …… (22)
四则运算中的误差传递 …… (23)
误差传递的一般公式 …… (26)
混合运算结果的误差 …… (31)

测量最佳条件的确定 …… (34)
偶然误差的规律 …… (35)
第三章　系统误差 …… (40)
系统误差的类别 …… (40)
系统误差的特点和来源 …… (41)
发现系统误差的方法 …… (43)
系统误差的估计 …… (45)
减小和消除系统误差的途径 …… (46)
间接测量的系统误差 …… (49)
第四章　实验数据的处理 …… (50)
列表法 …… (50)
图示及图解法 …… (53)
逐差法 …… (60)
内插和外推法 …… (62)
最小二乘法 …… (66)

第二篇　力学实验

力学实验 …… (73)
长度测量的一般方法 …… (73)
长度测量实验 …… (73)
长度和角度测量 …… (79)
测量长度的特殊方法之一用单分子油膜法测分子直径 …… (82)
测量长度的特殊方法之二用激光测月地距离 …… (83)
测量长度的特殊方法之三用干涉法测量长度差 …… (83)
测量质量的一般方法 …… (84)
用物理天平测量质量实验 …… (89)
测量质量的特殊方法之一用液压法测大质量 …… (92)
测量质量的特殊方法之二用弹簧秤和天平测地球质量 …… (92)
测量时间的一般方法 …… (92)
时间测量实验 …… (96)
测量时间的特殊方法——碳钟(测定过去年代的方法) …… (98)

测量密度的一般方法 …… (99)
测定物质密度的实验…… (103)
测定橡胶和盐水的密度…… (107)
用简易器材测定固体的密度…… (108)
测定机油的密度…… (110)
测定木尺的平均密度…… (111)
测量密度的特殊方法之一用韦氏静力天平测量液体密度…… (112)
测量密度的特殊方法之二用振动法测量液体的密度…… (114)
物体的重心…… (114)
旋转上坡与重心…… (116)
测量金属板的质心位置及密度的设计性实验…… (118)
坚硬物体的微小形变…… (122)
力的测量…… (124)
胡克定律的演示…… (126)
胡克定律的实验验证…… (127)
研究一根金属丝的弹性…… (130)
鉴定给定的螺旋弹簧是否遵从胡克定律…… (132)
测定焦利秤上弹簧的倔强系数 k …… (133)
弹性形变产生弹力…… (134)
测定弹簧的倔强系数…… (135)
测定金属丝的杨氏模量…… (137)
滑动摩擦与不变的相遇点…… (143)
研究影响滑动摩擦力的因素…… (145)
减小滚动摩擦的方法…… (146)
测定滑动摩擦系数…… (147)
演示静摩擦力的相互作用…… (155)
静摩擦力的方向…… (156)
摩擦桩…… (159)
减少滑动摩擦的方法…… (160)
测定两木质表面之间的静摩擦系数…… (161)
验证力的矢量加法的平行四边形法则…… (162)
用平行四边形法则说明器演示力的合成和分解…… (165)
共点力的合成和分解…… (166)
平行力的合成…… (168)
斜面上物体重力的分解…… (170)
固体的压强…… (171)
液体压强实验的改进…… (172)
容器底面压强与液体深度有关的演示…… (173)

密闭液体对压强的传递…… (174)
液体内部的压强…… (177)
液压刹车工作原理…… (182)
液压机工作原理…… (183)
液体内部压强随液体深度增加而增加…… (184)
处于平衡状态的水柱(帕斯卡瓶)…… (185)
帕斯卡定律…… (185)
测定液体的密度…… (187)
流体的流速与压强的关系…… (189)
液体的片流和湍流…… (190)
液体流线…… (191)
证明大气压强的存在…… (193)
吹举重物…… (197)
空气的质量与密度…… (198)
托里拆利实验…… (199)
喷泉实验与大气的压强…… (203)
大气压的测量…… (204)
大气压随高度的变化…… (207)
虹吸现象…… (211)
气体流线…… (212)
流速与气体压强的关系…… (213)
浮力产生的原因…… (216)
阿基米德定律适用于液体的实验…… (222)
阿基米德定律适用于气体的演示…… (225)
物体浮沉的条件…… (225)
沉浮子…… (226)
静力称衡法测密度…… (229)
有固定转动轴的物体平衡…… (236)
非匀质物体的平衡…… (240)
物体平衡时受力情况…… (242)
杠杆的平衡…… (248)

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第一篇

物理实验基础知识

物理实验基础知识

第一章　实验误差

测量和误差

物理实验是以测量为基础的，因而做物理实验就要进行测量。用实验方法找出物理量的量值（量值是指用数和单位表示的量如某物长 1.50 米）叫测量。从测量方法来分类，可分为直接测量和间接测量两大类。由仪器直接读出结果的叫直接测量；由直接测量的数据根据物理原理或公式经过运算得出结果的叫间接测量。实验表明，测量不可能绝对准确，任何一个物理量的测量值同它的真实量值（可称真值）之间总会有些差异，这种差异就是测量误差。由于真值是测不出来的，所以误差的确切值不可能知道，但是能依据实际情况估计误差大约可能有多大，或者说估计出真值可能存在的范围。那么，一个物理量的测量结果如何表示呢？若用 Y 表示待测物理量的测量结果，用 N 表示它的测量值，则测量结果可写为

$$Y=N\pm\Delta N$$

其中 ΔN 为恒正的量，表示误差可能的范围，习惯上就将 ΔN 叫做测量误差。

评价测量结果的准确程度，常使用相对误差 e，定义：

$$e=\frac{\Delta N}{N}$$

因此，ΔN 也可称为绝对误差。

测量时所出现的误差是由多种原因造成的。由于测量是由人来进行的而人的生理局限性或心理特点会使测量时引起误差，例如读数时视线有时偏左有时偏右，它具有偶然性；也可能呈现习惯的单一性，如估读的数值总是偏小、按秒表的反应总是滞后；测量时要使用仪器，而仪器也会引起误差，这种误差是仪器本身构造不完善引起的，它可能使某些示值偏小而另一些示值偏大，也可能使全部示值都偏小或偏大；测量时，环境变动也会引起误差，如在 20℃ 校准的钢尺在 60℃ 时使用，气流干扰天平的摆动。测量对象的不确定也有影响，如在放电状态下测量干电池的电动势和内电阻，而这两个量都随电流大小和时间而变化。实验理论的近似性（或实验方法的不完善）也会造成误差，如用伏安法测电阻时忽略了电表的分流或分压作用而引起误差。

根据误差来源的不同，通常将误差分为偶然误差（又叫随机误差）和系统误差两类。偶然误差具有随机性，即在同样条件下多次重复测量同一个量，结果有些大于真值有些小于真值，且每次偏离的程度也不同。但它服从一定的统计规律，常见的情况是，测量次数足够多时，偏大和偏小的机率大致相同，且统计平均值靠近真值的机率也较大。显然，偶然误差不能消除，但可用多次测量取算术平均值的方法来减小它。系统误差不具有随机性，即在同样条件下多次重复测量的结果总是大于真值或总是小于真值，呈单一倾向。对系统误差，通过理论分析或实验检测找到产生它的原因，就能采取对策，有些可设法避免或修正，有些则只能减小它。由上所述，人引起的误差大多是偶然误差，但也可能是系统误差。仪器引起的误差在本质上是系统误差，但有些情况下（如灵敏不灵敏）也当作偶然误差处理。原理的近似性引起的误差则是系统误差。

测量误差理论和物理实验的关系

既然测量误差的存在是一切测量中的普遍现象，那么，研究测量误差的性质和产生的原因，研究如何有效地减小测量误差对实验结果的影响，研究如何科学地表达含有测量误差的实验结果，以及对实验结果如何评价等等，这一系列问题就显得十分重要。正是在这样的背景下，产生并发展了一门专门的科学，这就是测量误差理论。当然，要想深入地讨论测量误差理论，需要有丰富的实验经验和较多的数学知识，这里只能对其基本的方面作些简单介绍。我们学习测量误差理论，要着重了解它的物理意义，逐步建立起误差分析的思想，学会正确地进行数据处理，这对于做好物理实验是非常重要的。

一个物理实验自始至终都与测量误差理论有密切的关系。首先，测量误差理论可以帮助我们正确地设计实验方案，合理地选择实验仪器，以便用最小的代价取得最好的结果。不能片面地要求仪器越高级越好，环境条件越稳定越好，测量次数越多越好，等

等。第二，测量误差理论可以帮助我们正确地进行实验操作，从而减小误差对实验结果的影响。要正确地调整仪器装置，注意满足理论所要求的实验条件，正确地使用仪器，合理安排操作步骤等。特别值得指出的是，一个比较复杂的实验，往往只有少数几个物理量是主要的，它们的准确与否对结果影响很大；测量误差理论可以帮助我们抓住主要矛盾，把精力用在关键的地方。可以说，实验过程中的每一步操作都与测量误差理论密切相关。第三，测量误差理论可以帮助我们正确处理数据，科学地表达实验结果。这一点，下面将要具体说明。在表达实验结果时，给出的不确定度要力求符合实际，既不能太小，也不能太大。否则，前者由于夸大了实验结果的精确度有可能对实际工作造成危害，后者又由于过分保守有可能造成浪费，比如它可能导致拒绝使用一台本来可以使用的仪器。第四，测量误差理论可以帮助我们对实验结果进行分析判断，从而得出适当的结论。例如 1894 年英国物理学家瑞利测定空气中氮气的密度与他从分解氨气所得到的氮气的密度不同，他肯定两者的差异超出了实验的误差范围（他当时认为空气中除了氧都是氮）。后来进一步的研究，导致了空气中氩气的发现。历史上这一类例子很多。判断实验结果是验证了还是推翻了理论假设，就要看实验结果与理论值的差异是否落在实验的误差范围之中。

绝对误差与相对误差

测量过程中不可避免地总是存在着误差，这首先表现为，当在同样条件下对同一被测量重复进行测量，得到的结果一般都不会相同；其次因受所用测量仪器准确度及分辨率的限制，获得的结果也不会绝对准确；还有在测量过程中，被测量往往要对测量仪器施加作用，方能获得测量结果，这便意味着测量过程本身会改变被测量的原来的状态等等；总之，这些都会使测量结果与被测量的真值或实际值之间存在着差异。为此，我们定义：

测量结果 X 与真值 A_0（或实际值）的差为测得量的绝对误差用 Δ 表示，便有

$$\Delta = X - A_0 \qquad (1)$$

其中 X 为被测量的实测值，A_0 为被测量的真值。我们将凡是在一定时间内，被测量事实上并不发生变化的真正大小称之为真值。鉴于以上所述的种种原因，一般说来，真值是很难确切测定的。当然用（1）式确定被测量的绝对误差也就成为不可能了。不过，只有以下情况例外：

（1）理论真值：如平面三角形的三角之和总为 180°，直角三角形斜边的平方必等于二直角边的平方和等等。

（2）由国际计量大会决议约定的值，可视为近似真值（可把它们作为真值为已知的

情况处理）。如前面介绍的基本物理量的单位标准，以及大会决议约定的基本物理常数值等，都可视为近似真值。需要指出的是，由于这些基本常数是大会决议通过的，只能反映大会当时的测量水平，显然，这些基本常数也是含有一定的误差的，只不过因为它们的误差较一般实验室测得结果的误差小得多，故而将它们作为公认的近似真值。随着时间的推移，科学技术水平不断的提高，这些基本常数值必会日臻完善而更加接近它们的真值。

（3）因为通常进行测量时，不可能将所使用的测量仪器逐一去直接与国家的或国际的标准相校对，而是经过多级计量检定网进行一系列逐级校对。对每一级校对，则常用比被校仪器高一级的标准器的量值 A_O 作为近似真值（也称为实际值）。通常认为，高一级标准器的误差为被校准仪器误差的 $1/3\sim1/20$，则可视此标准器的量值为被校仪器的近似真值。

为了表征测量结果的优劣，除绝对误差外，还需要引入相对误差的概念。例如用螺旋测微计分别测定厚为 $2mm$ 和 $2cm$ 的二平板，测量结果的绝对误差都为 $0.005mm$。显然，以绝对误差来评价以上二个测得结果，优劣程度是相同的。但是如果用绝对误差与测量值本身的比值来评价它们时，则会发现二者有明显的区别，即

$$\frac{0.005}{2}>\frac{0.005}{20}.$$

不难判断，厚为 $2cm$ 的测量结果要比厚为 $2mm$ 的要好。为此我们引入以上述比值来表示测量结果的误差，称其为相对误差。

$$\delta=\frac{\Delta}{A_O} \qquad (2)$$

其中 Δ 为测得值的绝对误差，A_O 为其真值（或近似真值）。根据以上的讨论，只有对于具备能求绝对误差的以上三种条件，才可由（2）式求其相对误差。相对误差常用百分数表示，即有

$$\delta=\frac{\Delta}{A_O}\times100\%. \qquad (2')$$

于是也常将如（2′）式表示的相对误差称为百分误差。无论是（2）式，还是（2′）式表示的相对误差都是不带单位的数。

等精度测量与不等精度测量

等精度测量：当对某一物理量，在同样的实验条件下（同一实验者，同一实验仪器，同一实验方法，同一实验环境等），进行多次重复测量，各次测得结果又有所不同，对这类测量，没有任何充足的理由说某次测量一定比另一次更精确，这样，只能认为每

需要全本请访问 www.ertongbook.com