

北京市华罗庚学校奥林匹克系列丛书

# 华罗庚学校 高中物理实验

---

北京市华罗庚学校 编

主编：刘彭芝

中国大百科全书出版社

北京·1998

编 者：北京市华罗庚学校

责任编辑：简菊玲

责任校对：杜桂平 王玉琴

封面设计：郭 健

版式设计：中 文

---

出版发行：中国大百科全书出版社

(北京阜成门北大街17号 100037)

印 刷：北京人民文学印刷厂

经 销：新华书店总店北京发行所

---

版 次：1998年8月第1版

印 次：1998年8月第1次印刷

印 张：10.75

开 本：787×1012 1/32

字 数：233千字

印 数：1-10000

ISBN 7-5000-6062-9/G·287

定 价：12.80元

## 前 言

北京市华罗庚学校是由中国科学院华罗庚实验室、中国科技大学和中国人民大学附中联合创办的，是中国人民大学附中超常教育体系的重要组成部分。其办学目标是为国家大面积早期发现与培养现代杰出科技人才开辟一条切实可行的途径，为我国教育事业面向现代化、面向世界、面向未来的战略方针探索一项行之有效的举措。在这里，集中了一大批高级教师、大学教师和研究员精心执教，一批批数理超常少年在这里茁壮成长。华校全体师生缅怀我国著名数学家华罗庚教授，崇尚他为国为民鞠躬尽瘁的高贵品质，决心沿着他的足迹继续前进。

超常教育与早期教育为当前各国教育家和心理学家所重视，这一方面的研究工作得到了各国政府以及有远见的社会各界人士的支持和赞助。在前苏联，国家开办有各类人才学校，用于培养科技文体方面的超常少年。在美国，控制论的创立者、“神童”维纳就是家庭和学校共同精心培育成功的典范。

近年来，我国众多有识之士在改革开放、建设有中国特色社会主义的宏图大业感召鼓舞下，投身超常教育事业，辛勤耕耘，刻苦研究，已经取得可喜的成果。超常教育是人类教育史上的一大进步，然而它又是一个异常复杂的教育新课题。不论是历史上还是现实生活中，少年出众，而成果寻常的人比比皆是。究其原因，往往在于成长环境不佳，而主要则是未能在超常教育理论指导下施以特殊教育的结果。因此，

我们必须更新教育观念，采取新的教育理论和方法，把大批聪慧少年培养成为高科技时代的栋梁之才。创办华罗庚学校的主旨，就在于探索一条使那些天资优异的孩子们，既不脱离群体，以免身心畸形发展，又使他们的才华得以充分开发的可行之路。

七百多年前，英国思想家、现代实验科学先驱罗吉尔·培根曾说：“数学是科学的大门和钥匙”。时至今日，人们更加清楚地看到了数学在现代教育中所占据的重要地位。当今世界，自然科学、社会科学和数学已发展成为三足鼎立之势，而数学更是各门科学发展的基础。科学和技术迅猛、巨大的进步，主要就是得益于数学的现代发展，特别是数学在物理学、生物学以及社会科学中的纵深渗透。因此，华校在以数学为带头学科的施教前提下，同时又鼓励学生们在自己感兴趣的其他课程，如物理、化学、生物、外语、计算机等学科中开拓进取、施展才华。这样，近而言之，希望他们在运用中体验数学的思维模式和神奇魔力；远而图之，则是为他们日后发展的多价值取向打下全面的科学文化素质的坚实基础。

华校采取科学的教学方法，进行开放式教学，努力开发学生的潜在能力，对学生实行超前教育。除由人大附中选派经验丰富的优秀教师任教外，还聘请中国科学院、中国科技大学、北京大学、清华大学、中国人民大学及北京师范大学等高校专家、教授来校办讲座，用最新的科技知识丰富学生的头脑，开阔他们的视野。

实践证明，华罗庚学校对超常儿童的培养方略是可取的。十余年来，华校为高一二级学校输送了大量学业优异的人才。以

第一、二、三届华校试验班为例，三届毕业生总数为 136 人。其中，直接保送到国家第一流重点大学 35 人，占 25.7%。参加高考的 101 人，考入清华大学 42 人，占 30.8%；北京大学 41 人，占 30.1%；中国科技大学 10 人，占 7%。总计考入上述三校为 93 人，加保送 35 人，总计为 128 人。第四届华校试验班又进了一步：全班 44 人，保送 9 人，参加高考 35 人，高考平均分数为 610.83 分，数学平均分数为 137 分，总分数超过 600 分的有 25 人。不仅如此，还有数以千计的学生参加各类数理学科竞赛，在区、市、国家乃至世界级学科竞赛中获奖夺魁者的人数位居北京市重点中学之首。上述大量事实证明，一种新的教育理论和实践，使得一批又一批青少年英才脱颖而出，足以显示华罗庚学校的办学方向是正确的，教学是成功的。

更可喜的是在探索办学的过程中，以华校为核心，造就并团结了校内外一大批具有新思想、新观念、肯吃苦、敢拼搏的优秀教师和教育专家。在这个来自平凡的教学科研岗位的不平凡的群体中，有多年工作在教学第一线的中小学高级教师，有近年来执教于数学、物理、化学、生物、计算机等学科奥林匹克活动的高级教练员，有中国科学院和各高等学校中教学科研上成果卓著的专家教授。他们就像当年的华罗庚那样，作为人师，作为长者，着眼于祖国的未来，甘愿给下一代当人梯。狭义地说，他们是华校藉以成长、引以自豪的中流砥柱；广而言之，他们是推动中小学教育事业改革的一支特别劲旅。

今天，对华校创办十余年的经验进行总结时，我们可以说，在朝着自己的办学目标的不懈奋斗中，华校具有四大办

学特色：

- 第一，从娃娃抓起的早期智力开发；
- 第二，必名师启蒙的成功教育传统；
- 第三，在全面发展时力求业有专精；
- 第四，处强手如林中敢于迎接挑战。

教材是教学质量的基本保证，也是教学的基础建设。高质量的教材，是建立在高水平的学术研究成果和丰富的教学经验的基础上的。因此，华罗庚学校开创了荟萃专家编书的格局。华校愿将《华罗庚学校奥林匹克系列丛书》奉献给广大教师、中小學生及學生家長同享。这套丛书的编写者都是华校的骨干力量，他们为了共同的目标献出了自己多年的教学经验和最新的教学科研成果，因而使得这套丛书具有实用、新颖、通俗、严谨的特点。

物理部分的教材与相应的试题解析及实验，分为初、高中两部分。初中部分包含课本一册、试题解析一册和实验一册；高中部分包含课本两册、试题解析两册和实验一册。编写者在初、高中物理教学大纲和全国中学生物理竞赛考纲的基础上，顾及当前国际中学物理教学发展、变化的趋势，初中以不下放高中物理主要内容为限，高中以不下放大学普通物理主要内容和不使用微积分等数学工具为限，在内容上做适当的引申和扩展，以开拓学生的知识视野，使其对某些重要的近代物理观念有初步的了解。作为实验性教材，初次尝试对学生进行物理思想、方法和实验设计的教学，有意在知识传授的基础上加强学科能力的培养。

俗云：“一花怒放诚可爱，万紫千红才是春。”华校在努力办学、完善自身的同时，诚望对国内中小学数理教学水平

的提高微尽绵薄，诚望与其他兄弟学校取长补短、携手共进。“合抱之木，生于毫末，九层之台，起于垒土。”遥望未来，我们同呼志士之言：为中国在 21 世纪成为数理大国而奋斗终生。

作为本系列丛书的主编，我谨以一个超常教育的积极参与者与组织者的名义，向各位辛勤的编著者致以衷心的感谢，恳请教育战线的前辈和同仁给予指导和推荐，也恳请广大师生在使用过程中提出宝贵的意见。

刘彭芝

1997. 11. 24

# 目 录

## 第一篇 测量和数据处理

### 基础知识

1. 测量和误差 ..... (1)
2. 误差的估算 ..... (3)
3. 有效数字 ..... (5)
4. 误差理论在实验中的应用 ..... (6)
5. 数据处理 ..... (7)

### 练习性实验

- 实验 1-1 长度和角度测量 ..... (12)
- 实验 1-2 质量测量 ..... (18)
- 实验 1-3 时间测量 ..... (21)
- 实验 1-4 用打点计时法测定重力加速度 ..... (24)

## 第二篇 力学实验

### 概述和基础知识

1. 气垫导轨 (气轨) ..... (27)
2. 焦利秤 ..... (28)

### 例题分析

### 练习性实验

- 实验 2-1 测定液体和固体的密度 ..... (42)



实验 2-2	测定瞬时速度和加速度 .....	(45)
实验 2-3	研究碰撞 .....	(49)
实验 2-4	观测机械能的相互转化 .....	(51)
实验 2-5	研究弹簧振子的简谐振动 .....	(53)
实验 2-6	用共鸣法测定声速 .....	(57)

### 设计性实验

实验 2-7	测定混合物成分的比例 .....	(60)
实验 2-8	研究密度计 .....	(60)
实验 2-9	制作液体密度秤 .....	(61)
实验 2-10	测定滑动摩擦系数 .....	(62)
实验 2-11	测定阻尼系数 .....	(63)
实验 2-12	用单摆测定重力加速度 .....	(64)

## 第三篇 热学和分子物理学实验

### 概述和基础知识

1. 温度的测量 .....	(65)
2. 热量的测量 .....	(66)
3. 气体压强的测量 .....	(67)

### 例题分析

### 练习性实验

实验 3-1	测定煤油的体胀系数 .....	(80)
实验 3-2	研究物体的冷却规律 .....	(81)
实验 3-3	用比较法测定煤油的比热 .....	(83)
实验 3-4	验证电能转化为内能时守恒 .....	(86)
实验 3-5	测定冰的熔化热 .....	(89)

实验 3-6 研究气体的等压变化 .....	(92)
------------------------	------

### 设计性实验

实验 3-7 用电热法测定酒精的比热 .....	(94)
实验 3-8 测定盐水的比热 .....	(94)
实验 3-9 测定摩尔气体常量 .....	(95)
实验 3-10 研究电热器的热效率 .....	(96)
实验 3-11 测定蓖麻油的粘滞系数 .....	(97)

## 第四篇 电磁学实验

### 概述和基础知识

1. 电源 .....	(100)
2. 电阻器 .....	(101)
3. 常用电表 .....	(103)
4. 示波器 .....	(106)
5. 信号源 .....	(109)
6. 晶体管毫伏表 .....	(110)
7. 电磁学实验操作规则 .....	(110)
8. 电路故障的检测 .....	(111)
9. 控制电路 .....	(111)

### 例题分析

### 练习性实验

实验 4-1 分压电路 .....	(175)
实验 4-2 测定铜的电阻率 .....	(177)
实验 4-3 用几种方法测定电阻 .....	(178)
实验 4-4 组装双量程毫安表 .....	(183)

实验 4-5	组装双倍率欧姆表 .....	(185)
实验 4-6	用不平衡电桥测定电阻 .....	(189)
实验 4-7	电压补偿法的应用 .....	(190)
实验 4-8	自组电势差计检测伏特表 .....	(193)
实验 4-9	测定电源的短路电流 .....	(195)
实验 4-10	研究二极管的伏安特性 .....	(198)
实验 4-11	组装热敏电阻温度计 .....	(201)
实验 4-12	用放电法测定大电容和高电阻 .....	(203)
实验 4-13	示波器的应用 .....	(206)
实验 4-14	用阻抗法测定电容 .....	(212)
实验 4-15	用阻抗法测定自感系数 .....	(214)
实验 4-16	用谐振法测定 LC 串联电路的参数 .....	(215)
实验 4-17	组装和改装交流电表 .....	(217)
实验 4-18	整流和滤波电路 .....	(220)
实验 4-19	观测 LC 回路中阻尼振荡的波形和 周期 .....	(223)
实验 4-20	检测黑盒子 .....	(225)

### 设计性实验

实验 4-21	用电桥测定电阻 .....	(231)
实验 4-22	测定检流计内阻和分度值 .....	(232)
实验 4-23	获取高精度的电流值 .....	(232)
实验 4-24	测定电路板上某处的电流 .....	(233)
实验 4-25	测定电源的内阻 .....	(234)
实验 4-26	校准毫安表 .....	(235)
实验 4-27	组装简单的多用电表 .....	(235)
实验 4-28	用不平衡电桥测定电压表的内阻 .....	(236)

实验 4-29	小灯泡伏安特性的研究 and 应用 .....	(237)
实验 4-30	组成双向限幅电路 .....	(238)
实验 4-31	组成桥式整流电路 .....	(238)
实验 4-32	测定电容器的电容 .....	(239)
实验 4-33	日光灯电路的装配和测试 .....	(239)
实验 4-34	检测黑盒子 .....	(240)

## 第五篇 光学实验

### 概述和基础知识

1. 光源 .....	(242)
2. 成像用发光物的设置 .....	(243)
3. 像的接收和定位 .....	(244)
4. 光具组的共轴调节 .....	(245)
5. 定位误差 .....	(246)
6. 光学元件 .....	(246)
7. 测微目镜 .....	(246)
8. 读数显微镜 .....	(247)
9. 测量用望远镜 .....	(247)
10. 分光仪 .....	(247)

### 例题分析

#### 练习性实验

实验 5-1	测定玻璃的折射率 .....	(264)
实验 5-2	测定水的折射率 .....	(266)
实验 5-3	同时测定凸面镜和凸透镜的焦距 .....	(268)
实验 5-4	测定凹透镜的焦距 .....	(270)

实验 5-5	借助放大率测定透镜的焦距 .....	(274)
实验 5-6	自组焦距仪测定凹透镜的焦距 .....	(275)
实验 5-7	测定透镜组焦点的位置 .....	(277)
实验 5-8	组装望远镜模型并测定它的放大率 .....	(282)
实验 5-9	用双缝干涉法测定光的波长 .....	(286)
实验 5-10	用光栅衍射测定氢光谱线的波长和 普朗克常量 .....	(289)

### 设计性实验

实验 5-11	测定玻璃的折射率 .....	(292)
实验 5-12	测定水的折射率 .....	(292)
实验 5-13	测定凸透镜的焦距 .....	(293)
实验 5-14	测定凹透镜的焦距 (一) .....	(293)
实验 5-15	测定凹透镜的焦距 (二) .....	(294)

## 附 录

### 设计性实验参考做法

实验 2-7	.....	(295)
实验 2-8	.....	(295)
实验 2-9	.....	(296)
实验 2-10	.....	(297)
实验 2-11	.....	(298)
实验 2-12	.....	(298)
实验 3-7	.....	(299)
实验 3-8	.....	(300)
实验 3-9	.....	(300)

实验 3—10 .....	(301)
实验 3—11 .....	(301)
实验 4—21 .....	(302)
实验 4—22 .....	(304)
实验 4—23 .....	(305)
实验 4—24 .....	(306)
实验 4—25 .....	(307)
实验 4—26 .....	(308)
实验 4—27 .....	(309)
实验 4—28 .....	(310)
实验 4—29 .....	(311)
实验 4—30 .....	(312)
实验 4—31 .....	(313)
实验 4—32 .....	(314)
实验 4—33 .....	(315)
实验 4—34 .....	(316)
实验 5—11 .....	(319)
实验 5—12 .....	(320)
实验 5—13 .....	(321)
实验 5—14 .....	(322)
实验 5—15 .....	(323)

# 第一篇 测量和数据处理

## 基础知识

### 1. 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  $\Delta N$  为恒正的量，表示误差可能的范围，习惯上就将  $\Delta N$  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,  $\Delta N$  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  $20\text{C}$  校准的钢尺在  $60\text{C}$  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，参看第四篇对电表线性不良的分析。原理的近似性引起的误差则是系统误差。

## 2. 误差的估算

### 2.1 直接测量结果的误差

直接测量某个物理量时，若只测量一次，则通常依据人的分辨能力估计误差的最大可能值(极限值)。如用毫米分度的米尺测纸上两个小点的距离 $S$ ，若估读到0.5毫米，可取误差 $\Delta S=0.3$ 毫米。若仪器误差较大，则可取仪器的出厂公差(也叫允差)作为测量误差，如用电表测电压或电流值的误差，参看第四篇。

若在相同条件下多次测量同一个量，如果系统误差可以忽略，就以算术平均值 $\bar{N}$ 作为测量结果。设测量次数为 $n$ ，则：

$$\bar{N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i$$

$N_i$ 为每次测量的测量值。而取算术平均偏差作为测量结果的误差，即

$$\Delta N = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| N_i - \bar{N} \right|$$

这是一种简单、粗略估算直接测量误差的方法。

### 2.2 间接测量结果的误差

对于这种误差，它应是各个独立的直接测量结果误差的合成。较粗略的估算，可以用算术合成方法，简单的常用的公式如下。