

教育部规划

中等职业学校文化课教材

工科各专业通用

物理实验

第三版

程川吉 编



高等教育出版社

教育部规划 中等职业学校文化课教材

工科各专业通用

物 理 实 验

第三版

程川吉 编

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

物理实验/程川吉编. —3 版. —北京:高等教育出版社.
2001(2006 年重印)
ISBN 7-04-009528-9

I. 物… II. 程… III. 物理—实验—专业学校—教材
IV. G634.81

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 01487 号

责任编辑	段宝平	封面设计	于文燕	责任绘图	朱 静
版式设计	马静如	责任校对	殷 然	责任印制	潘文瑞

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		021-56964871
邮政编码	100011	免费咨询	800-810-0598
总 机	010-58581000	网 址	http://www.hep.edu.cn
传 真	021-56965341		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
排 版	南京理工出版信息技术有限公司		http://www.landaco.com.cn
印 刷	江苏省宜兴市德胜印刷有限公司	畅想教育	http://www.widedu.com
		版 次	1989 年 3 月第 1 版
开 本	850×1168 1/32		2001 年 7 月第 3 版
印 张	5.125	印 次	2006 年 7 月第 16 次印刷
字 数	97 000	定 价	7.00 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

物料号 9528-00

内 容 简 介

本书是原国家教委八五教材建设规划中的一种,与黄伟民主编的《物理》配套使用.第三版是在第二版的基础上,根据教育部 2000 年颁布的《中等职业学校物理教学大纲(试行)》修订编写的.

与第二版相比,此次修订的幅度较大.按照中职学生的实际水平和教学大纲基础模块中提出的能力要求,注重培养学生正确使用仪器、工具的能力,独立进行实验操作的能力,及观察、记录物理现象的能力,并适当注意培养学生设计实验方案、确定实验步骤、合理选择实验仪器的能力.

与第二版相比,本书中的某些实验的要求有所降低.

根据教学大纲的要求,第三版还增加了“边讲边做”实验.

第三版前言

本书第三版,是根据教育部 2000 年颁发的《中等职业学校物理教学大纲(试行)》编写的,与第二版相比,修订的幅度较大。

一、本书现包括以下内容

1. 学生实验 18 个,共 30 学时.其中,基础模块的 12 个,20 学时;选修模块的 6 个,10 学时。

2. 边讲边做实验 6 个.其中,基础模块的 3 个,选修模块的 3 个。

这 24 个实验,编排上按“力、热、电、光”的顺序,以方便与理论教学相结合。

二、关于学生实验

学生实验所需仪器,均在教学仪器供应站有售.实验要求则是按教学大纲基础模块中提出的能力培养要求,即重在使学生能按本教材的指导,正确使用仪器、工具,独立进行实验操作,会观察实验的物理过程,会正确进行实验记录,会整理分析实验数据并得出结论,能对实验误差进行初步分析(包括用图象法处理数据以减少误差),会书写实验报告.另外,也适当注意培养学生设计实验方案、确定实验步骤、合理选择实验仪器的能力。

与第二版相比,本书中的某些实验的要求有所降低。

三、关于“边讲边做”实验

考虑到这些实验应可以在教室中进行,因此,在设计实验时,优先考虑操作简便、费时不多,仪器现成且不易损坏等,以提高可

行性.对其他方面的要求有所降低,不要求写实验报告.

“边讲边做”实验,是这次修订时新增的,不够成熟,请大家多提意见,以便改进.

本书编写过程中,得到袁望曦先生、周继礼先生、王颖哲先生等的指导与帮助,得到高等教育出版社职教部文化课编辑室的大力支持与帮助,在此特表感谢!

编者

2000年9月

目 录

绪论	1
实验一 长度的测量	9
实验二 互成角度的两个共点力的合成(1 学时)	19
实验三 研究有固定转轴物体的力矩平衡条件(1 学时)	23
实验四(A) 用气垫导轨测速度和加速度	27
实验四(B) 用打点计时器测速度和加速度	35
实验五 加速度跟作用力、质量的关系(边讲边做)	41
实验六(A) 用气垫导轨验证牛顿第二定律(选修)	44
实验六(B) 用打点计时器验证牛顿第二定律(选修)	49
实验七(A) 用气垫导轨验证机械能守恒定律(选修)	54
实验七(B) 用打点计时器验证机械能守恒定律(选修)	59
实验八 动量守恒定律(边讲边做)	64
实验九(A) 验证动量守恒定律(选修)	67
实验九(B) 用冲击摆测弹丸的速度(选修)	71
实验十 向心力跟物体质量、线速度、角速度、轨道半径 的关系(选修 边讲边做)	76
实验十一 研究单摆的振动周期 用单摆测定重力加速度 (选修 1 学时)	80
实验十二 验证理想气体状态方程	84
实验十三 电场中等势线的测绘(选修)	88
实验十四 多用表的使用	93

实验十五(A) 用伏安法测导体电阻	100
实验十五(B) 用电桥法测导体电阻	106
实验十六 测电源电动势和内阻(设计性实验)	110
实验十七 研究电源的输出功率跟负载电阻的关系 (设计性实验)	114
实验十八 阴极射线和洛伦兹力(选修 边讲边做)	117
实验十九 感应电流方向的研究(1 学时)	119
实验二十 磁通量变化快慢对感应电动势大小的影响 (边讲边做)	123
实验二十一 测定玻璃的折射率(1 学时)	127
实验二十二 测凸透镜的焦距 研究凸透镜的成象规律	132
实验二十三 光的干涉、衍射和偏振(选修 边讲边做)	137
实验二十四 光谱的观察(选修 1 学时)	140
附录一 怎样写实验报告	145
附录二 怎样迎接物理实验考核	148
附录三 电工测量仪表的常用符号	151
附录四 法定计量单位	153

说明:

1. 每个实验一般用 2 学时;有 6 个实验边讲边做;有 6 个实验各用 1 学时.

2. 某个实验如有(A)、(B)两项,可任选做一项;实验中若介绍几种方法,可任选一种方法.

绪 论

物理学是以实验为基础的科学

一位同学在地面上铺垫好厚约 20 cm 的海绵,然后拿起一个鸡蛋竖直向空中抛去,鸡蛋上升到最高点后转向下落,越落越快,转瞬间就接近海绵。“哟!”围观的同学们一齐惊呼!原来鸡蛋并没有撞破,它陷入海绵后重又反弹起数十厘米……

这样有趣的实验还有不少,我们以后要做的实验中有一些也同样有趣.不过,并非所有的实验都是一下子就能引人入胜的.在许多实验中,同学们将反复地看现象、记数据、作计算、画图线……在外行人眼里,这些活动显得枯燥无味;但是,对于了解实验意义的人来说,实验是一种极大的乐趣:这是在探索自然界的奥秘!

实验是研究自然的一种科学方法.人们根据研究目的,利用科学仪器,人为地模拟自然现象,就成了实验.科学研究中,人们常通过“观察、实验、分析、归纳、演绎”等方法或“实验观测——提出假设——实验验证”等途径寻求规律.实验方法对物理学的建立起了重大作用,翻开物理

书籍可看到,电的发现、磁的发现……哪一项不与实验有关?! 在 20 世纪,正是对原子的实验研究使我们最终得以利用原子能,对物质导电性的实验研究使我们得以利用半导体.有人指出,纵观物理学的发展史,物理学中带根本性的发现,不是在书桌上而是在实验室里开始的.所以说物理学是以实验为基础的科学.

物理实验作为一种科学方法,还广泛用于工程技术上.

对同学们来说,做物理实验不仅是为了生动地感知物理现象以加深对物理概念的认识,更重要的是培养基本的实验技能,为进一步训练作准备.同学们通过做实验能受到基本的技能训练(包括仪器的使用,数据的读取与分析,写实验报告等),养成爱护仪器的良好习惯,还培养实事求是、严谨细致的科学作风.

物理实验是同学们进校后首先遇到的实验之一,它也是相关基础技术课实验训练的基础,因此我们应当十分重视,认真学习.在物理实验中要求做到以下几点:

1. 每次实验前认真预习实验指导书,明确实验应达到的目的要求,实验所依据的原理,使用哪些仪器,操作的基本步骤,应记录的数据等等,做到对实验全貌有明确的了解.

2. 实验中正确使用仪器,按合理的步骤进行操作,并认真观察现象,正确记录观察结果.

3. 观察与记录完毕后,认真分析观察结果并作出实验结论,最后写出实验报告,简明扼要介绍实验基本情况.

4. 遵守实验室规则. 实验完后要整理好仪器, 关断电源等.

比较精确地做好实验不容易, 但入门也并不难. 只要严格要求, 认真学习, 兴趣就会提高, 基本技能就会熟练起来.

有效数字与误差

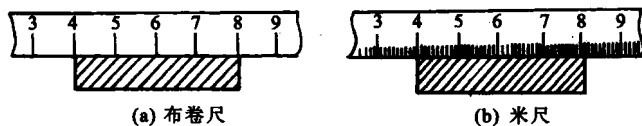
物理实验中常要对物理量作测量, 如测量长度、质量、时间等, 怎样正确记录实验结果呢?

一、有效数字

物理实验课上, 兴华同学用游标卡尺测量校徽的长度, 得 41.64 mm , 她想, 若 4 舍 5 入记录成 41.6 mm 也可以吧!

“啊! 那可不行.” 老师告诉她说: “测量结果为 41.64 mm , 别人知道你是用游标卡尺测量的; 若记录为 41.6 mm , 别人将误以为你是用米尺测量的了.”

老师拿来三种工具分别测量校徽的长度:



(游标卡尺构造见图 1-2)

图 0-1 几种量尺

用布卷尺测量得	4.0 cm
用米尺测量得	41.5 mm
用游标卡尺测量得	41.64 mm

老师指出,由于测量工具(或测量方法)的精密程度有限,测量所得数据的最后一位数字是估计的,称为可疑数字,可疑数字前的数字则称可靠数字.例如用布卷尺测量时,“0”是估计值,为可疑数字,“4”是可靠数字;用米尺测量时,“5”是可疑数字,“41”是可靠数字;用游标卡尺测量时,“4”是可疑数字,“416”是可靠数字.若把 41.64 mm 误记录作 41.6 mm,无意中把“6”变成了可疑数字,可靠数字就由 3 位减为 2 位,降低了测量的精确程度.反过来说,用米尺测量得到的 41.5 mm 也不可写成 41.50 mm,否则就增加了可靠数字的位数,夸大了测量的精确程度.

测量值的可靠数字和可疑数字统称有效数字,有效数字位数越多表示可靠数字越多,测量结果越精确.测量时有效数字取几位要视所用工具(及测量方法)而定.

在换用单位时,应注意保持有效数字的位数不变,例如:

$$42.8 \text{ cm} = 428 \text{ mm} = 0.428 \text{ m} = 4.28 \times 10^{-4} \text{ km}$$

$$3.10 \text{ kg} = 3.10 \times 10^3 \text{ g} = 3.10 \times 10^{-3} \text{ t}$$

上面谈到的是直接测量时的有效数字取法.另外一些物理量,如速度等常用间接方法测量.例如测量出某物体的位移 $s = 2.4 \text{ cm}$,相应的运动时间 $t = 0.182 \text{ s}$,它的速度值应取几位有效数字呢?进一步的分析指出,因 s 的值只有 2 位有效数字,计算出的速度值也只能取 2 位有效数

字,即

$$v = s/t = 2.4/0.182 \text{ cm/s} = 13 \text{ cm/s}$$

间接测量中有效数字位数的确定比较复杂,不作详讲,在以后的计算里,计算结果一般只取 3~4 位有效数字便可以了.现在同学们多使用电子计算器,更要注意计算结果应保留合理位数的有效数字.

二、公认值和平均值

兴华用游标卡尺测量一支铅笔的直径,第一次测得 7.02 mm,她把游标卡尺的两卡脚推紧些,测得 6.98 mm,再转动铅笔测得 6.96 mm。

“铅笔的直径究竟算作多少呢?”她想。

老师说,这种情况下,常取多次测量的平均值作铅笔直径的公认值.平均值可以这样计算:

$$\bar{X} = \frac{7.02 + 6.98 + 6.96}{3} \text{ mm} = 6.99 \text{ mm}$$

一般地说,若总共测量了 i 次,每次测量出的值记为 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_i$,那么平均值 $\bar{X}$ 为

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_i}{i}$$

测量次数越多,把平均值当作公认值就越可靠.当然,如果另外有精确程度更高的方法,就应把新方法的测量结果作为公认值.

三、误差

有效数字中最后一位数字是可疑数字,故平均值的最末一位也是可疑数字,这可疑数字的不准确范围多大呢?可用误差来表示.

每次测量值 x_i 与平均值的差的绝对值 $|x_i - \bar{X}|$,称为该次测量的算术误差或绝对误差,各次绝对误差的平均值称作“平均绝对误差”,用符号 Δx 表示.兴华测量铅笔直径时,各次测量的绝对误差见表 0-1.

表 0-1

序 次	1	2	3	平均值/mm
测量值/mm	7.02	6.98	6.96	6.99
绝对误差/mm	0.03	0.01	0.03	0.02

平均绝对误差 $\Delta x = (0.03 + 0.01 + 0.03)/3 \text{ mm} = 0.02 \text{ mm}$, Δx 通常只取 1 位有效数字.

写成公式的形式是

$$\Delta x = (|x_1 - \bar{X}| + |x_2 - \bar{X}| + \cdots + |x_i - \bar{X}|)/i$$

算出平均绝对误差后,常把测量结果写成以下形式:

$$x = \bar{X} \pm \Delta x$$

例如铅笔直径的测量值应记录为

$$x = 6.99 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$$

这表示铅笔直径为 6.99 mm 左右,极可能在 6.97 ~

7.01 mm范围内.

还可以用“平均相对误差”来表示测量的精密程度,它指的是平均绝对误差对平均值的百分比,即

$$\delta x = (\Delta x / \bar{X}) \times 100\%$$

测量铅笔直径的平均相对误差为

$$\delta x = (0.02/6.99) \times 100\% = 0.3\%$$

平均相对误差小,表示测量的精密度高.

为什么测量中会产生误差呢?

一方面是因为测量工具不完善,测量方法不完善,或测量者个人生理心理特点有差异.这些原因引起的误差称为系统误差.系统误差使测量值总是向某一方向偏离,即总是偏大或总是偏小,就像打靶时弹着点往靶心某边偏离那样.测量时应选择适当的工具及方法,提高人员的技能,以减少系统误差.另一方面,努力排除了系统误差后仍会有原因不明的误差,使测量结果有时偏大有时偏小,这称为偶然误差.多测几次并用恰当的方法处理测量数据可以减少偶然误差.

估算测量误差及设法减少误差是提高测量精确度的必要条件,在后面我们还将陆续介绍有关知识.

思 考 题

1. 读出下图中钮扣直径的测量值

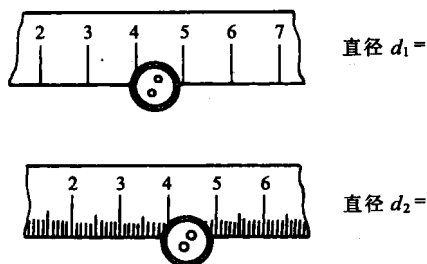


图 0-2 测量钮扣直径

2. 下列数据各为几位有效数字?

真空中的光速 $c = 2.997\ 9 \times 10^8\ \text{m/s}$

地球的平均半径 $R = 6\ 371.22\ \text{km}$

3. 甲同学测量一根铜线的长度,测得平均值为 327 mm,平均绝对误差为 3 mm;乙同学测量一根竹竿的长度,测得平均值为 4 274 mm,平均绝对误差为 9 mm。他们俩的测量结果谁的更精确?

实验一 长度的测量

物理实验可分两大类,一类是定性观察,对事物的物理变化过程获取感性认识.另一类是定量测量,借助测量工具获取测量数据,再整理分析数据作出结论.随着物理学的成熟,定量测量日益显得重要.

长度是物体的基本特性之一.长度的测量是物理实验中的一项基本测量,在生产与生活中都经常要用到.测量不同的长度应使用不同的测量工具.在本实验中,我们学习使用刻度尺、游标卡尺和螺旋测微器来测量十几厘米至几毫米的长度.

一、刻度尺的使用

我们在初中已经学习过如何使用刻度尺,它常用来测量几十厘米至几厘米的长度.图 1-1 是用刻度尺作测量的示意图.

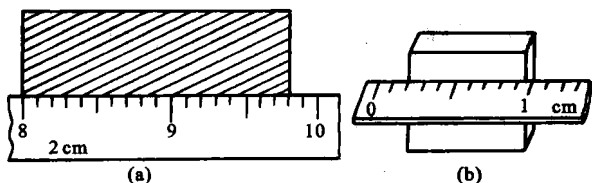


图 1-1 用刻度尺测量长度