

中等职业教育系列教材

物理实验

张世忠 林树和 主编



山东大学出版社

中等职业教育系列教材

物 理 实 验

主 编	张世忠	林树和
副主编	宿文杰	李晓霞
编 者	张世忠	林树和
	宿文杰	李晓霞
	桑春芳	王 涛
主 审	张玉才	毛亚平



山 东 大 学 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

物理实验/张世忠,林树和主编. — 济南:山东大学出版社,2004.8
ISBN 7-5607-2846-4

I. 物…

II. ①张…②林…

III. 物理—实验—专业学校—教材

IV. G634.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 085842 号

山东大学出版社出版发行

(山东省济南市山大南路 27 号 邮政编码:250100)

山东省新华书店经销

山东恒兴实业总公司印刷厂印刷

787×980 毫米 1/16 6.5 印张 124 千字

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

定价 9.60 元

版权所有,盗印必究

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部负责调换

前 言

本书是在山东省中等专业教育学会组织和主持下,根据教育部 2000 年 8 月颁发的《中等职业学校物理教学大纲(试行)》编写的中等职业学校物理实验教材,是中等职业学校教科书《物理》(张世忠、林树和主编,山东大学出版社出版)的配套用书,也可作为其他版本的中等职业学校物理教科书的配套用书。

本书编写时充分考虑了当前我国中等职业学校实验教学的实际情况,既注意介绍和采用较先进的实验手段,又注意充分利用各校现有仪器设备,以适应现阶段中等职业教学的需要。按照上述大纲的要求,本书还安排了部分观察性实验和设计性实验,以利于培养学生的观察、实验能力,创新能力和综合运用所学知识的能力。为使学生加深对实验内容的理解,有些实验还附有思考题,供学生进行实验预习或复习时使用。

本书包括了大纲规定的全部必做实验项目和全部选做实验项目。根据大纲的规定,完成必做实验需 20 学时,完成全部选做实验需 10 学时。书中不带星号(*)的实验项目为大纲规定的必做实验,大纲规定的选做实验则标有星号。有些实验在实验标题下用“A”,“B”,“C”分别列出采用不同方法、设备完成的同一实验,各校可根据其实验设备的具体情况选择使用。

教学中应注意本书和上述教科书《物理》之间的分工和相互配合,充分发挥它们之间的互补作用,只有这样,才能实现大纲规定的物理课程教学目标和达到大纲规定的物理教学要求。

本书主编为张世忠、林树和,副主编为宿文杰、李晓霞,参加编写的还有桑春芳、王涛,由张玉才、毛亚平主审。

对于本书的缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者

2004 年 7 月

目 录

绪 论	(1)
实验 1 长度的测量	(7)
实验 2 互成角度的两个共点力的合成	(13)
实验 3 研究有固定转轴物体的力矩平衡条件	(16)
实验 4(A) 练习使用打点计时器	(19)
实验 4(B) 练习使用气垫导轨	(22)
实验 5(A) 用打点计时器测匀变速直线运动的速度和加速度	(26)
实验 5(B) 用气垫导轨测匀变速直线运动的加速度	(30)
实验 6(A) 用打点计时器验证牛顿第二定律*	(33)
实验 6(B) 用气垫导轨验证牛顿第二定律*	(37)
实验 7(A) 用打点计时器验证机械能守恒定律*	(40)
实验 7(B) 用气垫导轨验证机械能守恒定律*	(43)
实验 8(A) 用碰撞实验器验证动量守恒定律*	(46)
实验 8(B) 用气垫导轨验证动量守恒定律*	(49)
实验 8(C) 用冲击摆测子弹的速度*	(52)
实验 9 研究单摆的振动周期 用单摆测重力加速度*	(56)
实验 10 验证理想气体状态方程	(59)
实验 11(A) 用导电纸法进行电场中等势线的测绘*	(62)
实验 11(B) 用浅槽法进行电场中等势线的测绘*	(65)
实验 12(A) 用伏安法测导体电阻	(68)
实验 12(B) 用电桥法测导体电阻	(71)
实验 13 多用表的使用	(74)
实验 14 测电源电动势和内阻	(78)
实验 15 研究电源输出功率跟负载电阻的关系	(81)

实验 16	感应电流方向的研究	(84)
实验 17	测定玻璃的折射率	(87)
实验 18	测凸透镜的焦距 研究凸透镜成像规律	(90)
实验 19	光谱的观察 *	(95)

绪 论

一、物理学是以实验为基础,理论与实验相结合的学科

物理学是一门以实验为基础,理论与实验相结合的学科,纵观物理学发展史,大部分根本性的物理学发现,不是在书桌上,而是在实验室里开始的。

早在我国战国时期,墨家学派就已经进行了平面镜、凸面镜、凹面镜和小孔成像等实验研究,墨经中就有很多光学实验的记载。古希腊学者阿基米德用实验方法研究和发现了阿基米德定律,伽利略继承了阿基米德的传统,认为实验可以帮助人们认识自然、更新观念。他巧妙地设计过许多实验,并从实验中总结出物理规律。物理学家焦耳从 1843 年到 1878 年,采用了原理各异的方法,做了 400 余次实验,以日益精确的数据为能量守恒定律提供了毋庸置疑的实验证明。19 世纪初英国科学家托马斯·杨进行的光的干涉实验促成了光的波动学说的确立,而德国科学家赫兹在 1888 年做的电磁波实验则使麦克斯韦的电磁场理论获得普遍承认。其他如原子结构、光的本性、基本粒子研究等,无一不是以物理实验为基础的。自 1901 年到 1980 年,诺贝尔物理学奖共颁发 74 次,获奖者共 117 人次,其中三分之二以上是奖给物理实验或与物理实验有关的项目,这也充分证明了物理实验在物理学中的地位是多么重要。

一个重要的物理实验所产生的影响是极为深远的,它不仅推动物理学理论的发展,而且往往能在几个科学领域内引起连锁反应,直接影响科学技术的进步,一旦将其转化为社会生产力,就能产生巨大的作用,促进人类社会的物质文明甚至精神文明建设。例如,在 20 世纪,正是对物质导电性能的实验研究,使人们得以利用半导体制成第一个半导体晶体管。此后由晶体管发展到集成电路、大规模集成电路,甚至超大规模集成电路,从而使电子技术跨入微电子技术时代。当前,在一些发达国家的国民生产总值中,竟有近 60% 跟微电子技术有关。今

后,微电子技术和各种高新技术的进一步结合,将使计算机微型化和价格低廉,因而能使各种类型的计算机得到最广泛、最普遍的应用.这意味着,从机械设备、交通工具、仪器仪表、医疗器械到办公用品以至家用电器,都将智能化并具有独立工作能力,这一切对社会生产力的提高,科技的进步以至人类社会的发展都有着不容低估的推动作用.

因此,在学习物理时,我们要充分认识物理实验的地位和作用,正确处理理论课和实验课的关系,既要学好理论,又要做好实验,不可有所偏废.

作为物理课的重要组成部分,物理实验是按照一定的教学目的而设置的.通过学生实验,不仅使我们所学的物理概念、物理规律等理论知识得以验证、巩固、拓宽和深化,而且使我们在实验能力、思维能力以及运用理论知识和实验技术解决实际问题的能力等方面,得到较为系统的训练.此外,通过学生实验还可培养实事求是、严肃认真,以科学实验为检验理论思维标准的科学态度,以及求实、创新、协作、献身的科学精神;养成遵守实验规则和纪律,爱护实验设备和器材的优良品德.

通过物理实验课的学习,在实验能力方面应能达到下列要求:

(1)按实验指导书的要求,能独立完成学生实验.即能独立进行实验操作;会观察实验的物理过程,会正确进行实验记录;根据实验数据能分析实验结果,得出必要的结论;能对实验误差进行初步分析;依据测量数据,能作出实验曲线,并写出实验报告.

(2)根据实验目的和要求,具有设计实验方案、确定实验步骤、合理选择实验仪器的初步能力.

(3)认识并能正确使用简单的测量工具和仪器仪表.即,游标卡尺、停表或数字计时器、水银气压计、打点计时器或气垫导轨、弹簧秤、温度计、伏特计、安培计、多用表、滑线变阻器、电阻箱.

(4)会测量以下各物理量:瞬时速度,加速度,气体的压强、体积、温度,大气压,电压,电流,电阻,电功率,电源的电动势,折射率,凸透镜的焦距.

二、误差和有效数字

1. 误差

实验中,我们总要对物理量进行测量.实际上,这种测量不可能绝对准确.我们把测量值和真实值的差异称为误差.误差可分为系统误差和偶然误差两种.

系统误差是由于仪器不精确,实验方法不完善,实验原理的近似性等原因产

生的误差.它的特点是在相同条件下重复做同一实验时,测量值总是同样地偏大或偏小.要减小系统误差,就要校准测量仪器,改进实验方法,或设计更为合理的实验方案等.

偶然误差是由各种偶然因素所引起的误差.例如,用带毫米刻度的尺测量物体的长度,毫米以下的数值只能凭目力估计,各次测量结果就不会完全一致,有时偏大,有时偏小.测量次数越多,偏大跟偏小的次数就越接近,由此计算出的平均值就越接近真实值.因此多次测量求平均值可以减小偶然误差.

应该注意,误差跟错误不同.如,读数时看错刻度,记录时写错单位,运算时算错数字等,这些都不是误差,而是错误.错误是可以而且是应该避免的,而误差无法避免,只能设法减小.

2. 误差的表示

误差有两种表示:绝对误差和相对误差.绝对误差就是测量值与真实值的差(通常取绝对值).如果用 x 表示测量值,用 x_0 表示真实值,用 Δx 表示绝对误差,就有 $\Delta x = |x - x_0|$.绝对误差往往不能表达出实验结果的好坏.例如,测量一本书的长度和厚度时,绝对误差都是 1 mm,但书长约 180 mm,而书厚却仅 10mm 左右,前者相差不到 1%,而后者相差达 10%,显然前者较为准确.为弥补绝对误差的这一不足,人们又引入了相对误差的概念.绝对误差跟真实值的比值称为相对误差,因为一般用百分数表示相对误差,所以它又称为百分误差.如果用 E 表示百分误差,就有 $E = (\Delta x / x_0) \times 100\%$.物理量的真实值是不能确切知道的,在实际计算误差时,是用公认值或多次测量的平均值来代替它.

3. 有效数字

测量总有误差,测得的数值只能是近似值.从仪器上读出数字,通常都要估计到最小刻度的下一位,例如,用带毫米刻度的尺量得书长为 183.6mm,数字 1, 8, 3 都是由最小刻度线直接读出的,是可靠的,称为可靠数字;而数字 6 就是估计出来的,是不可靠数字,但它仍有参考价值,不能舍去.由可靠数字和一位不可靠数字组成的近似数中的每一位数字都称为有效数字.

有些仪器,例如游标卡尺或数字式仪表,是不可能估计出最小刻度下一位数字的,我们仍然认为直接读出的数字的最后一位是不可靠数字.这是因为对这些仪表来说,最后一位数字也存在着误差.

近似数 6.5 和 6.50 的含义并不相同.前者不可靠数字是 5,有两位有效数字;后者不可靠数字是 0,有三位有效数字.由此可见,小数点后面的零是有意义的,不能任意增加或舍去.但第一个非零数字前面的零是用来表示小数点位置

的,不是有效数字,例如 0.002 89 和 0.000 305 都是三位有效数字. 大的数字,如 175 000,如果只有三位有效数字,应改写为 1.75×10^5 ;如果有四位有效数字,则应写为 1.750×10^5 . 在进行单位换算时,应注意使有效数字的位数保持不变. 例如,地球的半径为

$$R = 6\,380\text{ km} = 6.380 \times 10^6\text{ m} = 6.380 \times 10^8\text{ cm}.$$

4. 有效数字的运算

实验中的测量结果都是用有效数字表示的,它们的运算也要遵循有效数字的运算法则.

(1) 加减法运算

我们看下面一个例子(标横线的数字为不可靠数字):

$$\begin{array}{r} 321.\underline{83} \\ 41.\underline{1} \\ + \quad 5.\underline{546} \\ \hline 368.\underline{476} \end{array}$$

结果中第四位数字“4”已是不可靠数字,后面的两位数字便无意义,按照有效数字的定义,只保留一位不可靠数字,因此按四舍五入原则向前进位,写作 368.5,其有效数字为四位.

由这个例子可以看出,在加减法运算中,结果的最后一位要跟参加运算各量中不可靠数位最高的(如上例中的 41.1)取齐,后面的尾数四舍五入.

为使运算简单,可先以最高的不可靠数位为标准位(如上例中小数点后第一位),对其他各量进行简化,用四舍五入的方法使运算数据只保留至标准位的下一位,再进行加减. 最后的结果则只保留至标准位. 由此可知,对上面的例子,有:

$$\begin{array}{r} 321.\underline{83} \\ 41.\underline{1} \\ + \quad 5.\underline{55} \\ \hline 368.\underline{48} \end{array}$$

最后结果为 368.5.

(2) 乘除法运算

我们再看一个例子:

$$\begin{array}{r}
 24.241 \\
 \times \quad 1.4 \\
 \hline
 96964 \\
 24241 \\
 \hline
 33.9374
 \end{array}$$

因为结果中只能保留一位不可靠数字,其余四舍五入,所以其结果应写为 34,其有效数字为两位。

由这个例子可以看出,在乘除法运算中,结果的有效数字位数应跟各量中有效数字位数最少的相同。

为使运算简单,可先以有效数字的最少位数为准(如上例中为两位),简化其他各量,用四舍五入的方法使它们的有效数字位数比最少位数多一位,再进行乘除。最后结果的位数跟最少位数相同。由此可知,对上面的例子,有:

$$\begin{array}{r}
 24.2 \\
 \times \quad 1.4 \\
 \hline
 968 \\
 242 \\
 \hline
 33.88
 \end{array}$$

最后结果仍是 34。

(3) 乘方、开方运算

乘方、开方运算结果的有效数字位数应分别跟底数、被开方数的有效数字位数相同。

参与上述各种运算的常数,如 $\pi, \sqrt{2}, 2, \frac{1}{2}$ 等,其有效数字位数可认为是无限多的,在计算时一般比其他数值多取一位(或取相同位数)。

在以后的学生实验中,进行各种测量时必须按照有效数字的规则读取数据和进行记录。但是由于有效数字的运算规则比较复杂,所以在进行数据处理和运算时,就不再要求按照有效数字运算规则进行,一般只对运算结果取两位或三位有效数字即可。

【练习题】

1. 下列数据各有几位有效数字?

- | | |
|--------------|------------|
| (1) 1.075; | (2) 0.862; |
| (3) 0.003 0; | (4) 2 750; |

(5) 3.540×10^4 ;

(6) 9.07×10^{-3} .

2. 什么是系统误差和偶然误差?

3. 什么是绝对误差和相对误差?

实验 1 长度测量

【实验目的】

1. 练习正确使用米尺.
2. 学习游标卡尺和螺旋测微计的使用方法.

【实验器材】

米尺, 游标卡尺, 螺旋测微计, 待测物体.

【实验步骤】

1. 用米尺的不同部位, 分别对图 1-1 中 AB , BC 和 AC 的长度各测量 3 次, 将数据填入表 1-1 中.

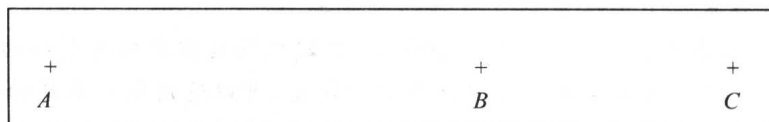


图 1-1

2. 用游标卡尺测量矩形截面金属圆环的外径 D 、内径 d 和厚度 H (选择不同部位各测量 3 次), 将数据填入表 1-2 中.

3. 用螺旋测微计测量小钢球直径 D (选择不同部位测量 3 次), 将数据填入表 1-3 中.

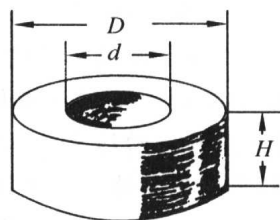


图 1-2

【思考题】

1. 使用米尺测量物体的长度时,应注意哪些问题?
2. 使用游标卡尺测量物体的长度时,整数毫米数和毫米以下的尾数各应如何读出?
3. 使用螺旋测微计测量物体的长度时,应注意哪些问题?

附录:米尺、游标卡尺和螺旋测微计**一、米 尺**

米尺是一种最简单的测量长度的仪器,其分度值一般为 1 mm. 用这种米尺测量长度时,可以读准到毫米这一位. 毫米以下(0.1 mm 位)的数值则是凭视觉估计得出.

用米尺进行测量时应注意以下几点:

(1)应尽量使米尺的刻度线紧贴待测物体(图 1-3);读数时,视线应垂直所读刻度;以避免或减小视差(当米尺的刻度线与待测物体没有贴紧时,测量者从不同角度读数,则会得到不同的数值,由此引起的误差称为视差).

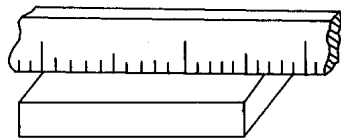


图 1-3

(2)选择米尺上某一条刻度线作为测量起点(图 1-3),不要用米尺端边作为测量起点,以避免端边被磨损所引起的误差.

(3)为了减小米尺刻度不均匀所引起的误差,可以选用同一米尺的不同部分进行多次测量,然后根据各次测量结果取平均值.

二、游标卡尺**1. 构 造**

游标卡尺是比较精密的测量长度的仪器,用它测量长度可准确到 0.05 mm 或 0.02 mm. 它的构造如图 1-4 所示. 它的主要部分是一条主尺 1 和一条可以沿着主尺滑动的游标(副尺)2;3 是下测脚,用来测量物体的外径尺寸;4 是上测脚,用来测量物体的内径尺寸;5 是用来测量槽或孔的深度;6 是推钮,用来推动游标沿主尺滑动;7 是固定主、副尺的锁紧螺钉. 一般游标卡尺可以测量十几厘米以内的长度.

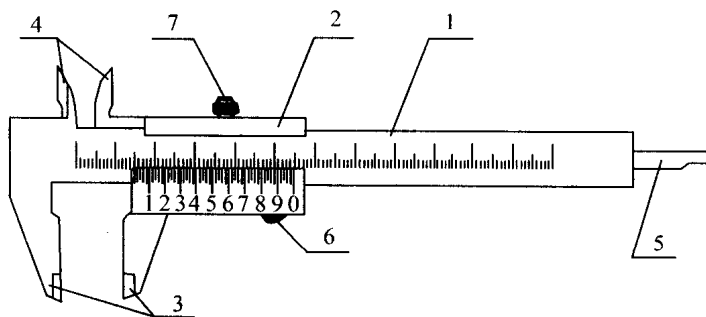


图 1-4

2. 原 理

常用的游标卡尺有 20 分度(准确到 0.05 mm)和 50 分度(准确到 0.02 mm)两种. 现以 20 分度的游标卡尺为例来说明它的原理. 如图 1-5(a)所示, 主尺的最小分度是 1 mm, 游标上有 20 个小的等分刻度, 它们的总长等于 39 mm, 每个小刻度长为 1.95 mm. 因此, 主尺每两格(2 mm)与游标每格长度(1.95 mm)相差 0.05 mm, 这一差值称为游标尺的精度.

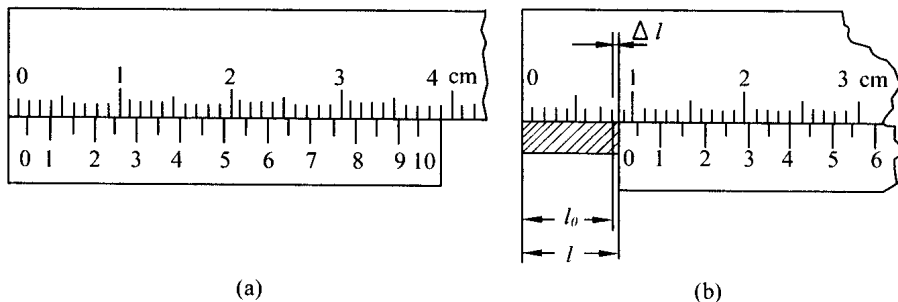


图 1-5

下面以图 1-5(b)为例为说明游标卡尺的读数. 整数毫米数由游标“0”刻线左边主尺上读出, 即游标“0”刻线与主尺“0”刻线间的毫米整数. 毫米以下的尾数从游标上读出, 当游标第 n 刻线与主尺某刻线重合时, 其值为 $n \times 0.05$ mm. 在图 1-5(b)中, 整数毫米数为 8, 即 l_0 是 8 mm; 与主尺重合的是游标上的第 8 条刻线, 所以毫米以下的尾数为

$$\Delta l = 8 \times 0.05 \text{ mm} = 0.40 \text{ mm}$$

这样, 被测物体的长度

$$l = l_0 + \Delta l = 8 \text{ mm} + 0.40 \text{ mm} = 8.40 \text{ mm}.$$

由上可见,被测物体长度 l 可表示为

$$l = l_0 + n \times \text{精度}.$$

为读数方便,游标上刻有标度,例如,在第 8 根刻线上标度为 4,意即毫米以下的尾数为 0.40 mm,这样就不必计算,可以直接读出毫米以下的尾数.

其他分度的游标卡尺的使用原理与 20 分度的原理相同.

3. 使用注意事项

使用游标卡尺时,可左手拿被测物体,右手握主尺,用右手拇指按在游标卡尺的推钮上进行推拉.卡住被测物体时,松紧要适当,要注意保护卡口.

三、螺旋测微计

1. 构造

螺旋测微计主要由测微螺杆 D 、螺母套筒 A 、螺杆套筒 B 、框架 H 等构成,如图 1-6 所示.螺母套筒 A 跟框架 H 固定在一起, A 上有一条横刻线,横线下面刻有表示整数毫米数的刻线,横线上面刻有半毫米数的刻线,这些固定刻度是螺旋测微计的主尺.螺杆套筒 B 跟测微螺杆 D 相连,在螺杆套筒上刻有等分其左端圆周的 50 条刻线,这些能随螺杆套筒一起旋转的可动刻度就是螺旋测微计的副尺.螺杆套筒左端圆周线跟主尺上的横刻线垂直,是主尺的读数准线;而主尺的横线线又是副尺的读数准线. C 称为量砧, C, D 间的两平面称为量面,待测物体 G 就放在两量面间. E 称为锁紧手柄,用来固定两量面间的距离. F 称为棘轮旋柄,如果用手旋转 F ,由于 F 跟测微螺杆 D 间摩擦力的作用,就能带动 D, B 旋转,从而使它们前进或后退.测量时,转动棘轮旋柄使 D 前进,当 C, D 两量面分别跟待测物体两端接触后,就能听到棘轮发出“咔、咔”的响声,这时 D 就不再前进,也就可以进行读数了.

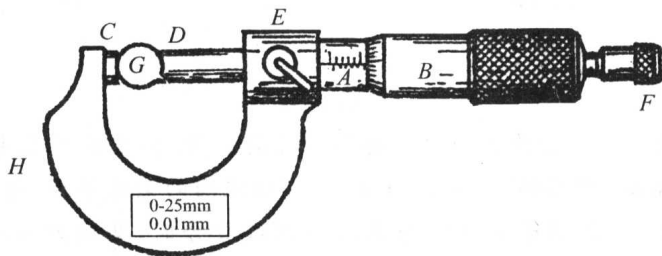


图 1-6 螺旋测微计的构造

2. 原理

螺旋测微计内测微螺杆的螺距为 0.5 mm,因此副尺每旋转一周, D 杆和副

尺都前进或后退 0.5 mm; 而每旋转 1 格, 它们就进或退 0.01 mm. 可见螺旋测微计的最小刻度就是 0.01 mm (但可估计到下一位, 即 0.001 mm).

读数时, 在主尺上, 以螺杆套筒 B 左端圆周前沿为读数准线, 读出整毫米数 (整格数), 如果半毫米刻线已经露出, 还要加上 0.5 mm. 而 0.5 mm 以下的读数则从副尺读出, 在副尺上, 以主尺的横刻线作为读数准线, 读出副尺上的整格数再加上下一位 (0.001 mm 位) 的估计数字. 例如, 图 1-7 中 (a) 和 (b) 的读数分别为

$$1 \text{ mm} \times 7 + 0.01 \text{ mm} \times 25.8 = 7.258 \text{ mm}$$

和 $1 \text{ mm} \times 7 + 0.5 \text{ mm} + 0.01 \text{ mm} \times 25.8 = 7.758 \text{ mm}.$

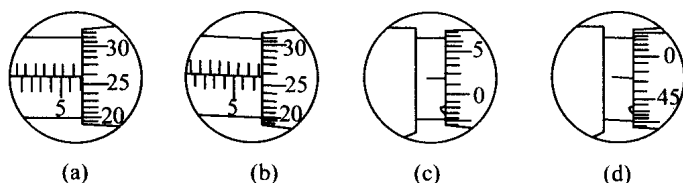


图 1-7

3. 注意事项

(1) 当 C, D 两量面直接接触时, 螺旋测微计的读数可能不为零, 而显示某一读数, 这个读数称为零点读数. 例如, 图 1-7 中 (c) 和 (d) 的零点读数分别为 +0.014 mm 和 -0.26 mm. 这种情况下, 应记录零点读数, 并对测量数据作修正 (读出数据减去零点读数).

(2) 记录零点或测量时, 都不要直接转动螺杆套筒 B, 应轻轻转动棘轮旋柄 F, 待听到“咔咔”声后, 即可停止转动进行读数.

(3) 螺旋测微计使用完毕后, 应使两量面间留有适当空隙, 再放回盒内保存.

实验报告

【实验名称】

长度的测量.

【实验目的】

1. 练习正确使用米尺.