

# 序

特色专业是指充分体现学校办学定位，在教育目标、师资队伍、课程体系、教学条件和培养质量等方面，具有较高的办学水平和鲜明的办学特色，获得社会认同并有较高社会声誉的专业。特色专业是经过长期建设形成的，是学校办学优势和办学特色的集中体现。2010年7月，楚雄师范学院物理学（师范类）专业被批准为第六批国家特色专业建设点。这套教材就是楚雄师范学院物理与电子科学学院在建设国家特色物理学（师范类）专业过程中的部分成果展示。

在特色专业的建设中，根据目前中学物理新课标及中学物理教学改革趋势，构建课程体系和改革教学内容。整合课程内容，突出专业基本知识、基本技能以及教师职业核心能力培养。实施“5+5”课程改革计划，即“力学，热学，电磁学，光学，原子物理5门基础知识课程+5个相应中学物理课程学习”，突出专业基本知识的学习，同时熟悉中学物理课程体系。在学生实践能力的培养上，我们搭建6个实践平台即实验教学“8+2”模式平台、设计性实验平台、开放实验室平台、学科竞赛（如大学生电子设计大赛、物理教学技能大赛）平台、学生社团活动、大学生科研项目及参与学生教师科研项目平台，为培养学生的创新精神、实践能力助力。本套教材编写过程中，我们根据学生实际，从实验课程构架情况以及对学生要求出发，以够用、适用为准则，以培养应用型人才为导向，希望能够指导学生更好地掌握相关

物理学内容。在编写过程中，我们得到了学校各级领导和同事的大力支持，也借鉴了一些国内同行的先进经验，在此一并表示衷心感谢。

由于时间和水平有限，书中难免存在疏漏之处，恳请广大师生在使用过程中提出宝贵意见，以利将来改进。

丛书编委会

2014年3月

# 前 言

物理学的本质是研究物质的基本结构和运动规律。物理学及其发展是揭示自然奥妙，认识自然规律，从而推动人类科学文明历史前进的动力。实验物理和理论物理作为物理学的两大组成，相互促进、共同发展，形成整个物理学史的前进足迹。当实验物理中有新的发现、出现新结果时，就会激励和促进理论物理研究出现新的模型、理论，使人类对自然规律的探索向更广、更深推进。物理学是科学的基础，实验物理是物理学的基础。

物理学在人的科学素质培养中具有重要的地位，物理实验教学是关系人才科学素质培养的重要环节。教材是实施教学的基本保证，为此由长期在教学第一线艰辛敬业工作多年、具有丰富教学经验的楚雄师范学院物理与电子科学系教师，团结协作，积极配合，历经一年多编写成此教材。

本教材的编写充分考虑了实验仪器的基本特性和现今学生的实际情况，在我系教师编写并使用多年的《普通物理实验讲义》的基础上，加入了新的内容，进行了重新编写，尽量做到循序渐进、逐步提高。实验安排由浅入深、由易到难，从验证性实验逐渐过渡到综合性、设计性实验及研究性实验。本教材采用了不确定度评定实验结果，用了一定的篇幅叙述不确定度及误差统计规律和处理的方法，并较为详细地介绍了分析误差、处理实验数据的理论依据，这对于后续实验课的开设是十分有益的，希望能够引起读者的重视。

由于编者水平有限，本书还存疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2014 年 6 月

# 名人名言

---

很多学生在学习物理时形成了一种印象，以为物理学就是一些演算。演算是物理学的一部分，但不是最重要的部分。物理学最重要的部分是与现象相关的。绝大部分物理学是从现象中来的，现象是物理学的根源。一个人不与现象接触不一定不能做重要的工作，但是他容易误入形式主义的歧途；他对物理学的理解不会是切中要害的。

---

——杨振宁

我希望我得到诺贝尔奖，将能提高中国人对实验的认识，过去中国人从小就受到劳心者治人，劳力者治于人的观点的影响。普遍不太重视实验，觉得理论要比实验更高明，更高深。大家认为学习就是学习理论，从来没有说学习就是更好地学习实验，我希望从此以后能够摆脱中国轻实验过分重视理论的旧传统。

——丁肇中

# 目 录

第 1 章 普通物理实验基础知识 .....	1
1.1 普通物理实验课的目的 .....	1
1.2 测量误差和有效数字 .....	2
1.3 实验数据的处理方法 .....	12
1.4 力学和热学实验基本知识 .....	15
1.5 电磁学实验基本知识 .....	18
1.6 光学实验基本知识 .....	28
第 2 章 力学实验 .....	31
实验 2.1 长度测量 .....	31
实验 2.2 用单摆法测定重力加速度 .....	36
实验 2.3 固体和液体密度的测定 .....	40
实验 2.4 自由落体运动研究 .....	46
实验 2.5 气垫导轨上滑块运动的研究 .....	49
实验 2.6 牛顿第二定律的验证 .....	52
实验 2.7 惯性秤 .....	55
实验 2.8 动量守恒定律的验证 .....	59
实验 2.9 用三线摆测定刚体的转动惯量 .....	62
实验 2.10 杨氏模量的测定 .....	66
实验 2.11 简谐振动的研究 .....	71
实验 2.12 弦振动的研究 .....	74
实验 2.13 用共鸣管测声速 .....	78
实验 2.14 超声法测量声速 .....	81
第 3 章 热学实验 .....	83
实验 3.1 用混合法测定固体的比热容 .....	83
实验 3.2 金属线胀系数的测定 .....	87
实验 3.3 冰的熔化热的测定 .....	91
实验 3.4 液体黏滞系数的测定 .....	93
实验 3.5 不良导体导热系数的测定 .....	97
实验 3.6 液体表面张力系数的测定 .....	100
实验 3.7 气体定律及气态方程验证 .....	103
第 4 章 电磁学实验 .....	107
实验 4.1 用稳恒电流场模拟静电场 .....	107
实验 4.2 伏安法测量电阻 .....	111
实验 4.3 用直流电桥测量电阻 .....	115

实验 4.4	灵敏电流计特性的研究	124
实验 4.5	用板式电位差计测量电池的电动势和内电阻	131
实验 4.6	双臂电桥测量低电阻	136
实验 4.7	磁场的描绘	141
实验 4.8	示波器的使用	146
实验 4.9	RLC 电路的相频特性研究	153
实验 4.10	交流电桥	158
实验 4.11	RLC 电路谐振特性研究	163
实验 4.12	RLC 串联电路暂态过程的研究	169
实验 4.13	简易万用表的制作	175
实验 4.14	霍尔效应及其应用	182
电磁学实验附录		190
<b>第 5 章 光学实验</b>		<b>203</b>
实验 5.1	发光强度的测量	203
实验 5.2	薄透镜焦距的测定	206
实验 5.3	分光计的调整及折射率的测定	210
实验 5.4	液体折射率的测定	217
实验 5.5	透镜组基点的测定	221
实验 5.6	显微镜、望远镜放大率的测量	226
实验 5.7	平行光管的调整和使用	231
实验 5.8	等厚干涉现象的研究	236
实验 5.9	用菲涅耳双棱镜测波长	239
实验 5.10	迈克耳逊干涉仪的调整和使用	243
实验 5.11	用透射光栅测光波波长和角色散率	248
实验 5.12	偏振现象和旋光现象的研究	251
<b>第 6 章 综合性和设计性实验</b>		<b>256</b>
实验 6.1	滴数法测量固体漂浮性物体的密度	256
实验 6.2	振动与匀加速直线运动合成研究	256
实验 6.3	轨迹显现法研究物体平抛运动	257
实验 6.4	激光准直法测量金属材料杨氏模量研究	258
实验 6.5	气垫导轨上黏滞阻力的研究	259
实验 6.6	自制单摆的设计与研究	259
实验 6.7	乐器声学特性与音律的观测研究	260
实验 6.8	半导体温度计的设计与制作	260
实验 6.9	电阻测量优化研究	261
实验 6.10	微小长度(微米数量级)的测量(略)	261
实验 6.11	气体折射率的测量(略)	261
实验 6.12	用分光计测量液体的折射率(略)	261
实验 6.13	望远镜、显微镜、幻灯机模型的设计与组装(略)	261
附录 物理常数表		262
参考文献		271







## 第 2 章 力学实验

### 实验 2.1 长度测量

#### 2.1.1 实验目的

(1) 掌握游标原理和螺旋测微原理。

(2) 掌握游标卡尺、螺旋测微计和读数显微镜的使用方法。

(3) 学习误差处理及有效数字的基本知识，初步掌握直接测量、间接测量的数据处理方法及测量不确定度估计方法。

#### 2.1.2 仪器用具

游标卡尺(游标尺),螺旋测微计(千分尺),读数显微镜(比长仪),直尺,待测物体(圆柱体、钢球、细丝、金属刻线尺)。

#### 2.1.3 实验原理

由于人们能够直接比较长度(或角度)的大小,并且对一维空间延伸量(长度或角度)的知觉是线性的,所以人们最先采用以长度区分物体。从而最早掌握长度测量技术,并将其他许多物理量转化为长度或角度量来进行测量,因而,许多测量仪器的标度大都是按照一定的长度或偏转角度来划分的,其长度或角度的读数装置一般又是以米尺刻度

或根据游标、螺旋测微器的原理制成的。因此，掌握长度测量仪器对于学习其他仪器将是有帮助的。

长度是基本物理量。许多其他的物理量也常常化为长度进行测量；许多测量仪器的长度或角度等读数部分也常常用米尺刻度或根据游标、螺旋测微等原理制成；这些仪器的读数规则以及读数时要尽量避免视差，要注意检查或校准零点等，在实验中都是具有普遍意义的。

物理实验中常用的测长仪器，除米尺、游标卡尺及螺旋测微器外，还有千分表、移测显微镜和测量显微镜、光杠杆、电容栅、莫尔条纹光栅及迈克尔逊干涉仪等。通常用量程和分度值来表示这些仪器的规格。量程是指测量范围；分度值则是指仪器的最小分划单位。分度值的大小反应仪器的精密程度，一般说来，分度值越小的仪器就越精密，仪器越精密其最大允许误差一般说来也越小。所以，我们在单次测量中常参考分度值给出结果的测量不确定度，多次测量中则据分辨率估计仪器可能引入的B类标准不确定度。这是在实验中必须根据对测量不确定度的要求合理选择仪器的原因。学习使用每一种仪器，都要掌握其结构特点、规格性能、读数方法、使用要领及维护知识等，积少成多就会运用自如。

### 1. 游标卡尺

在米尺上附加一个均匀刻度且可以滑动的游标(又称副尺),即可巧妙地提高米尺的测量精度。这种由主尺和副尺(游标)组成的测长仪器叫作游标卡尺。如图2.1.1所示,量爪A、C与主尺相连,B、D及深度尺G与副尺相连;M为紧固螺钉。A、B组成内卡口,可测内径及槽宽;C、D组成外卡口,可测长度、厚度及外径;G可测深度及台高。当卡口合拢时,主、副尺“0”刻度线重合,深度尺端面与主尺端面重合。游标卡尺设计的巧妙之处在于:它将

主尺上  $n-1$  个分度所对应的长度  $(n-1)$  mm，均匀地分成  $n$  等份刻在副尺上。于是，副尺的分度值即为  $\left(\frac{n-1}{n}\right)$ ，主尺与副尺每个分度值之差即格差为

$$\varepsilon_x = 1 - \frac{n-1}{n} = \frac{1}{n} \quad (\text{mm})$$

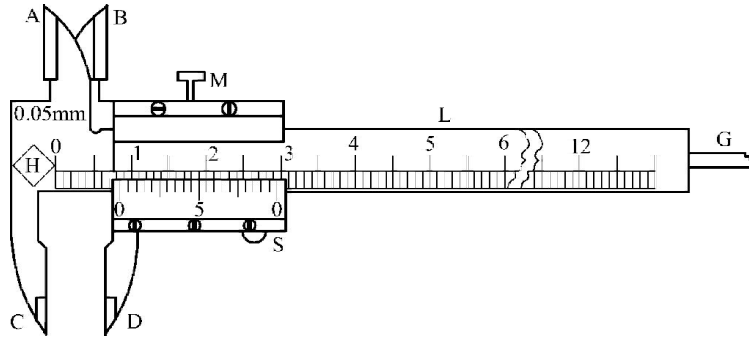


图 2.1.1 游标卡尺示意图

$\varepsilon_x$  实际上就是游标卡尺的最小分划单位即分度值。由于  $\varepsilon_x$  可由格差精确地给出，所以使卡尺的测量精度明显优于米尺，而且  $n$  越大，卡尺的精密度也就越高。但游标的分读数不宜太大，一方面，当副尺分度数太大时， $\varepsilon_x$  很小，致使读数时不能分辨哪条刻线与主尺重合得更好；另一方面，主、副尺间隙导致的角位移会使实际测量精度受到限制。所以，实际上普通游标卡尺只有 10、20、50、100 分度这几种，所对应分度值分别为 0.1 mm、0.05 mm、0.02 mm 和 0.01 mm，本实验拟采用 50 分度游标卡尺。

游标卡尺的读数方法是：待测长度是主、副尺两零点间的距离  $x$ ，其小于副尺零刻线的整数部分  $k$  在主尺上读出，其超出主尺整刻度线  $k$  的小数部分在副尺上读出，若副尺上第  $m (< n)$  个刻线与主尺上某刻线  $(k+m)$  重合，因格差为  $\varepsilon_x$ ，故可断定副尺零刻线与主尺上第  $k$  个刻度线相距  $m\varepsilon_x$ 。游标卡尺应属于第二类读数规则，即是说，对于 50 分度游标卡尺而言，其测量值末位应总是偶数。

游标卡尺的读数规则如下：

(1) 首先判明其规格（量程、分度值）及读数方法（游标卡尺属两点式分布）。

(2) 记下零点读数  $x_0$ ，称为仪器的零点误差。应注意判断  $x_0$  的正负，多次测量时在其平均值中减去  $x_0$  即可。

(3) 注意保护量爪，防止卡口磨损。为此，测量时不应将待测物卡得太紧，卡住待测物体后切忌来回挪动。

(4) 使用卡尺应采用右手正握，左手持物。测内径时量爪与待测物轴线平行，测外径时量爪与待测物轴线正交，测深度时主尺端面应与待测物端面吻合。

(5) 用毕将其紧固螺钉 M 松开。

## 2. 螺旋测微计

螺旋测微计由主尺 L 和副尺套筒 S 组成，如图 2.1.2 所示。副尺套筒与测杆 B 固连在一起，并以螺纹与主尺连接，螺距为 0.5 mm，主尺分度为 0.5 mm，因此，副尺旋转一周即在主尺上移动一格，即顶砧 A 与测杆 B 端面的间距改变 0.5 mm。副尺套筒上均分 50 个小格，因此，每旋转 1 小格测杆 B 即移动  $0.5/50 = 0.01$  (mm)。可见，螺旋测微器的设计特点就是采用了这种机械放大原理。

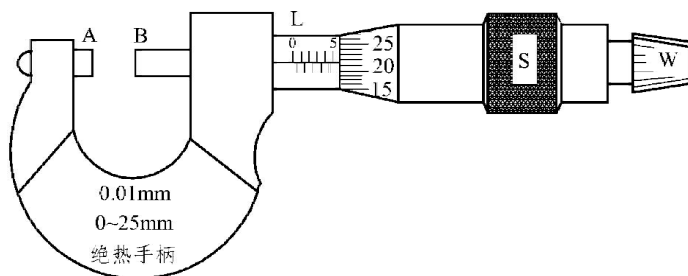


图 2.1.2 螺旋测微器示意图

螺旋测微计量程 0—25.000 mm，分度值  $\varepsilon_x = 0.010$  mm。因为 A、B 合拢时主尺零刻度与副尺零刻度对齐，所以，待测长度同样可理解为主、副尺两零点间的距离  $x$ ；它与游标卡尺的不同之处在于：其零刻线在套筒上旋转，因此应理解为二零刻度线在主尺轴线方向上的相对位移。其“半整数 0.5 mm”部分在主尺上读出，即主尺露出部分的整刻度数  $k$ ；其余小数部分在副尺上读出，即主尺基线对应的副尺刻度读数  $m$ ；按读数规则  $m$  应包括一位小数。

螺旋测微计使用规则如下：

(1) 明确其量程、分度值及读数方法，注意不要丢掉主尺上可能露出的“半整数”；如图 2.1.3 所示 (b) 比 (a) 多一圈，读数相差 0.5 mm (c) 的整圈数是 3 而不是 4，读数为 1.978 mm 而不是 2.784 mm。

(2) 测量时不得直接旋转副尺套筒，应轻转其尾部的棘轮 W。棘轮靠一定的摩擦力带动副尺，接触待测物体后，能确保对待测物施加确定的压力，超过此压力棘轮就自动打滑并发出“喀喀”声响，从而确保待测物不致受过大的压力而形变，并能保护螺纹免受损坏。

(3) 测量前应记下零点读数  $x_0$ ，以便在平均值中加以修正（见图 2.1.3）。

(4) 使用螺旋测微器应采取左手捏持弓形手柄上的绝热塑料垫块（以免弓形手柄热膨胀），将待测物体稳妥地置于实验台面上，右手旋转棘轮。

(5) 用毕，应使 A、B 离开一定间隙，以防外界温度变化时因热膨胀，而使 A、B 过分压紧、损坏螺纹。

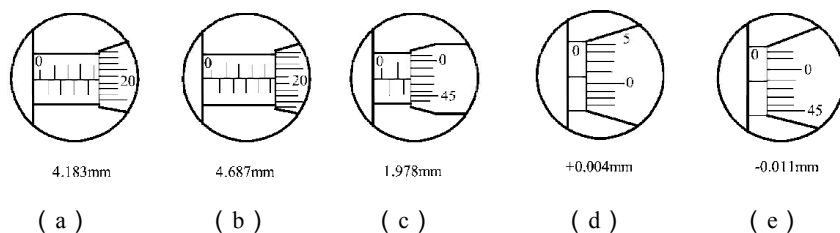


图 2.1.3 螺旋测微器读数及零点修正示意图

### 3. 读数显微镜

读数显微镜是将测微螺旋和显微镜组合起来作精确测量长度用的仪器，如图 2.1.4 所示。

它的测微螺旋的螺距为 1 mm，和螺旋测微计的活动套管对应的部分是转鼓 A，它的周边等分为 100 个分格，每转一分格显微镜将移动 0.01 mm，所以读数显微镜的测量精密度也是 0.01 mm，它的量程一般是 50 mm。此仪器所附的显微镜 B 是低倍的（20 倍左右），它由三部分组成：目镜、叉丝（靠近目镜）和物镜。用此仪器进行测量的步骤

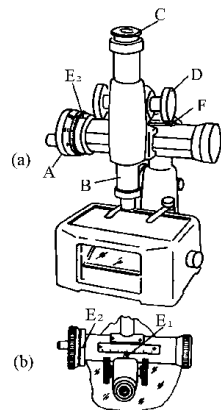


图 2.1.4

是：① 伸缩目镜 C，看清叉丝；② 转动旋钮 D，由下向上移动显微镜筒，改变物镜到目的物间的距离，看清目的物；③ 转动转鼓 A，移动显微镜，使叉丝的交点和测量的目标对准；④ 读数，从指标  $E_1$  和标尺 F 读出毫米的整数部分，从指标  $E_2$  和转鼓 A 读出毫米以下的小数部分；⑤ 转动转鼓，移动显微镜，使叉丝和目的物上的第二个目标对准并读数，两读数之差为所测两点间的距离。

使用读数显微镜时要注意：① 使显微镜的移动方向和被测两点间连线平行；② 防止回程误差。移动显微镜使其从相反方向对准同一目标的两次读数，似乎应当相同，实际上由于螺丝和螺套不可能完全密接，螺旋转动方向改变时，它们的接触状态也将改变，两次读数将不同，由此产生的测量误差称为回程误差。为了防止回程误差，在测量时应向同一方向转动

转鼓使叉丝和各目标对准，当移动叉丝超过了目标时，就要多退回一些，重新再向同一方向转动转鼓去对准目标。

## 2.1.4 实验内容及要求

(1) 用螺旋测微计测量待测细丝的直径  $d$  和钢球的直径  $D$ ，在不同的部位测 5 次，计算细丝的直径的平均值和合成标准不确定度，计算钢球的体积  $V$  和合成标准不确定度。

(2) 用游标卡尺测量圆柱体的直径  $d$  和高度  $h$ ，在不同的部位测 5 次，计算体积  $V$  和相对不确定度。

(3) 用读数显微镜测量直尺两刻线间的距离，重复测 5 次，求其间距的平均值和标准不确定度。

## 2.1.5 数据记录及处理

表 2.1.1 测量细丝直径  $d$  数据表

螺旋测微计精度：

零点读数：

次数	1	2	3	4	5	$\bar{d}$	$S(\bar{d})$
$d/\text{mm}$							

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum d_i$$

表 2.1.2 测量钢球体积数据表

螺旋测微计精度：

零点读数：

次数	1	2	3	4	5	$\bar{D}$	$S(\bar{D})$
$D/\text{mm}$							

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum D_i$$

$$\bar{V} = \frac{1}{6} \pi \bar{D}^3$$

表 2.1.3 测量圆柱体体积数据表

游标卡尺精度：



次数	1	2	3	4	5	$\bar{d}$	$S(\bar{d})$	$\bar{h}$	$S(\bar{h})$
$d/\text{cm}$									
$h/\text{cm}$									

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum d_i$$

$$\bar{h} = \frac{1}{n} \sum h_i$$

$$\bar{V} = \frac{1}{4} \pi \bar{d}^2 \bar{h}$$

表 2.1.4 测量直尺两刻线间距离数据表

读数显微镜精度：

次数	1	2	3	4	5	$\bar{L}$
$L_1/\text{mm}$						—
$L_2/\text{mm}$						—
$L = L_1 - L_2/\text{mm}$						

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum (L_1 - L_2)_i$$

根据以上各式及数据，写出估算各不确定度的表达式，进行计算并表示出各测量的最后结果。

## 2.1.6 思考题

(1) 说明在游标卡尺和螺旋测微计上读数时，可能出现哪些错误？

(2) 有一测角仪器，其分度盘的一分格是  $0.5^\circ$ ，要使测角的精度达到  $1'$ 。应该安上一个什么规格的游标？

(3) 某游标卡尺的游标刻度有 50 个，用它测得某物体的长度为  $5.428 \text{ cm}$ ，在主尺上的读数是多少？游标上的哪一刻线与主尺上的哪一刻线对齐？