

高等学校试用教材

普通物理实验

(一、力学、热学部分)

杨述武 等编

高等教育出版社

高等学校试用教材

普通物理实验

(一、力学、热学部分)

杨述武 等编

高等教育出版社

内 容 简 介

本书是根据教育部 1980 年 6 月制订的高等师范院校物理专业普通物理实验教学大纲的力学、热学部分编写的，共二十六个实验。可供高等院校物理专业普通物理实验课程作试用教材，也可供其他专业有关课程参考。

本书责任编辑：曹建庭

高等学校试用教材
普通物理实验
(一、力学、热学部分)
杨述武 等编

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京印刷三厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 8.75 字数 210,000

1982 年 11 月第 1 版 1983 年 8 月第 1 次印刷

印数 00,001—30,500

书号 13010-0787 定价 1.00 元

前 言

本书是根据教育部1980年制订的高等师范院校物理专业普通物理实验教学大纲的力学、热学部分编写的,共二十六个实验。

与一个实验有关的参考问题,作为附记写在有关实验之后,与各实验均有关的参考问题写在书后。

各实验的记录表格均未列出,只是在绪论中举出几个记录的实例。我们希望学生结合预习自行设计记录表格,教师可适当指导。

各实验的误差,是计算平均绝对误差还是计算标准误差,书中未明确规定,由指导教师确定。我们倾向于使用标准误差。

最小二乘法在数据处理上是一个重要的方法,在附录中作了简单的介绍,但在各实验中为了避免学生负担过重而未具体要求运用。各校可根据具体情况确定。

复习思考题中涉及实地操作的,可在实验室里摆出一套装置供学生观察、分析和测量。

本书是由五个学校分工编写的。实验七由华东师大杨家骏执笔,实验八由华东师大薛士平执笔,实验十六由华东师大徐立平执笔,实验六、九、十三、二十三由华东师大马葭生执笔,实验十五、十七、二十、二十五由陕西师大物理系力学实验室编写,实验五、二十一、二十二、二十四由辽宁师院物理系张景泉执笔,实验十四由北京师大孟韵池执笔,其余部分由东北师大杨述武执笔。书中插图由东北师大韩长明、顾达天绘制。

本书由苏州大学物理系主审,参加审稿的有上海师院、华东师大、北京师大、陕西师大等校物理系的同志。

在编写本书时参考了北京大学、复旦大学、上海交通大学、山东大学等校的物理实验讲义,并得到许多同志的支持和协助,我们谨致谢意。

由于我们经验不足,能力有限,书中不免有缺点和错误,请各位教师和同学批评指正。

编 者

1982年

对学生读者的建议

1. 仔细阅读本书的绪论部分,掌握其内容并在以后的实验中运用.
2. 预习是做好每一次实验的重要环节,应认真进行.
3. 实验测量中必然存在误差,应经常从减少误差的角度去体会实验的内容、评价实验的结果并探讨改进实验的途径.
4. 实验后的讨论是锻炼和发挥你的才智的重要环节,应努力去做. 但要注意不要空发议论,应力争定量地分析问题.

实验室守则

1. 保持实验室内环境的肃静和整洁。
2. 实验前要根据“仪器卡片”检查仪器，如有缺损，立即向教师报告。
3. 未了解仪器性能之前切勿动手，使用仪器时必须严守仪器的操作规程(使用电学仪器要特别注意电源电压、极性)；不许擅自拆卸仪器。
4. 仪器发生故障、损坏或丢失时，应立即报告教师。
5. 联接电路并在确认无误后，应请教师检查，经允许后方可接通电源。
6. 注意爱护和正确使用仪器，注意节约材料和水、电等。
7. 实验完毕后即关闭电源、煤气和水道，将仪器恢复到实验前的状态，并请教师检查和在实验记录上签字，然后方可离开实验室。

目 录

前言	1
对学生读者的建议	3
实验室守则	5
绪论	1
§ 1 普通物理实验课的目的	1
§ 2 实验的过程	1
§ 3 测量与误差	6
§ 4 直接测量值误差的估计	13
§ 5 间接测量结果误差的估计	19
§ 6 测量仪器精度的选择	28
§ 7 有效数字	30
§ 8 实验图线的描绘	34
实验一 长度测量	40
实验二 单摆	49
实验三 固体和液体密度的测量	55
实验四 空气密度的测量	64
实验五 用频闪照相法研究物体的运动	70
实验六 牛顿第二定律的验证	77
实验七 动量守恒定律的验证	83
实验八 惯性秤	88
实验九 用三线摆测量转动惯量	95
实验十 复摆	101
实验十一 可逆摆	105
实验十二 简谐振动的研究	113
实验十三 阻尼振动	119
实验十四 扭摆受迫振动的研究	124
实验十五 弦振动的研究	130

实验十六	声速和空气的比热容比的测量	137
实验十七A	杨氏模量的测定(伸长法)	150
实验十七B	杨氏模量的测定(梁弯曲法)	155
实验十八	切变模量的测量	160
实验十九A	液体粘滞系数的测定(毛细管法)	167
实验十九B	液体粘滞系数的测定(落球法)	175
实验二十	金属线胀系数的测量	178
实验二十一A	用混合法测固体的比热容	182
实验二十一B	用电热法测固体的比热容	187
实验二十二	水的汽化热的测定	193
实验二十三	导热系数的测定	197
实验二十四	水的沸点与压强关系的研究	202
实验二十五	真空的获得与测量	208
实验二十六A	表面张力系数的测定(拉脱法)	219
实验二十六B	表面张力系数的测定(毛细管法)	225

附录

F 1	实验报告举例	230
F 2-1	水银气压计	235
F 2-2	干湿球湿度计	238
F 3	高斯误差理论简介	239
F 3-1	偶然误差的正态分布	239
F 3-2	h 的意义	242
F 3-3	标准误差 σ 与精度常数 h 的关系	243
F 3-4	概率积分	244
F 3-5	算术平均值的标准误差	246
F 3-6	标准误差的估计	247
F 3-7	最小二乘法	249
F 4	国际单位制(SI)简介	252
F 4-1	国际单位制(SI)基本单位	253
F 4-2	国际单位制(SI)词头	255
F 4-3	国际单位制(SI)导出单位	255
F 4-4	国际单位制以外的单位	256
F 5	物理常数表	259

绪 论

§1 普通物理实验课的目的

物理学的研究工作有实验的方法和理论的方法。实验的方法是以实验结果为依据,归纳出一定的规律。理论研究工作,虽然不进行实验,但是研究课题的提出和结论的检验,也必须通过物理实验。物理实验在物理科学的创立和发展中占有十分重要的地位。因此,学习物理学时,物理实验就是一门重要的必修科目。

普通物理实验课的目的是:(1)通过观察、测量和分析,加强对物理概念和理论的认识。(2)学习物理实验的基本知识、基本方法,培养基本的实验技能。要做好一个实验,除了要了解有关的理论外,还必须能运用恰当的实验方法,合理地选取符合实验要求的仪器,懂得怎样装配、调整及正确操作这些装置,在取得必要的数据之后,能从中得出切合实际的结论,并能分析、判断实验结果的可靠程度和存在的问题。(3)培养严肃认真,实事求是的科学态度和工作作风。

物理实验课虽然是在教师指导下的学习环节,但在实验过程中,学生的活动有较大的独立性,我们应以一个研究者的态度去组装仪器,进行观测与分析,探讨最佳的实验方案,从中积累经验、锻炼技巧和机智,这将为以后独立地设计实验方案、选择并使用新的仪器设备和解决新的实验课题打下一定的基础。

§2 实验的过程

任何实验的过程都应包括:(1)准备,(2)观测与记录,(3)数据的整理与分析这三个步骤。

1. 实验前的准备(预习)

实验前的准备是保证实验顺利进行,并能取得满意结果的重要步骤。

(1) 理论的准备 从实验指导书和有关参考书籍中充分了解实验的理论依据和条件。

(2) 实验仪器的准备 了解所用仪器的工作原理、工作条件和操作规程;了解实验室为何选用这样的装置和仪表,还有否其它的实验装置可用。

(3) 观测的准备 掌握实验步骤和注意事项,设计记录表格。记录表格,既要便于记录,又要便于整理数据。

2. 实验的观测与记录

(1) 仪器的安装和调整 使用仪器进行测量时,必需满足仪器的正常工作条件(水平、铅直、工作电压、光照等等),不注意耐心细致地去调整仪器,而忙于进行测量,这是初学者容易出现的毛病。使用仪器测量时,必须按操作规程进行,不是测量的需要,不明确操作规程,千万不要动用仪器。以下举出几点共同性的注意事项。

① 安排仪器时,应尽量做到便于观察、读数 and 便于记录。

② 灵敏度高的仪器(例如分析天平,灵敏电流计)都有制动器,不进行测量时,应使仪器处于制动状态。

③ 停表、温度计、放大镜等小件仪器,在用完之后要放到实验台中间的仪器盒中。

④ 拧动仪器上的旋钮或转动部分时,不要用力过猛。

⑤ 注意仪器的零点,必要时需进行调零。

⑥ 砝码、透镜、表面镀膜反射镜等器件,为了保持其测量精确度和光洁不许用手去摸,也不要随使用布去擦。

⑦ 使用电学仪器要注意电源电压、极性,并需经教师允许后

方能接通电源。

⑧ 不要动用别组的仪器, 仪器不够用要请示教师。

⑨ 实验后要将仪器整理、恢复到实验前的状态。

(2) 观测 在明确了实验目的和测量内容、步骤, 并能正确使用仪器之后, 可以进行正式观测。观测时要精神集中, 尽量排除外界的干扰(也要注意不影响别人)。

普通物理实验一般是比较简单的, 使用的仪器精密度也不一定很高。但是如何获得这些仪器所能达到的最佳结果, 还需要我们做出很大的努力。如果认为实验简单而不重视它, 这首先不是应有的科学态度, 也难于得出可能得到的良好结果。

当从各种仪器的刻度尺上读数时, 一定要估读到最小分度的 $\frac{1}{10}$ 。例如, 用一最小分度为毫米的米尺测一长度时, 读为 28.63cm 的末位 3 是估计的, 但一定要读出, 不能写成为 28.6cm。

(3) 记录 实验记录是以后计算与分析问题的依据, 在实际工作中则是宝贵的资料。记录应记在专用的记录本或记录纸上, 初学者往往觉得自己的实验经验少、记得乱, 总想要在一张随便的纸上先记下来, 以后再整理抄在正式记录纸上, 这样做是不好的, 因为如果原始记录零乱, 在整理数据时就容易出错误。

记录就是如实地记下各观测数据、简单的过程以及观测到的现象。要记得简单整洁、清楚, 使自己和别人都能看懂记录的内容, 数值一定要记在表格中, 要注明单位。

① 记录的内容包括: 日期、时间、地点、合作者、室温、气压、仪器及其编号、简图、简单的过程、原始数据、有关的现象、随时发现的问题。

② 原始数据 原始数据是指从仪器上直接读出的、未经任何运算的数值。

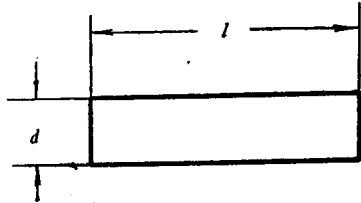
③ 观测时,在从仪器上读出数值后,要立即进行记录,(不要先记忆数据以后补记,)这样可减少差错。

④ 除有明确理由,肯定某一数据有错误而不予记录外,其它数据(包括可疑的)一律记录,出现异常数据时,应增加测量次数。

⑤ 记录表格举例

A. 测量圆柱体的体积公式:

$$V = \frac{1}{4} \pi d^2 l.$$



使用仪器:游标卡尺(28795),

螺旋测微计(14587),圆柱体
(NO. 8).

图 02-1

游标卡尺零点读数 0.00 mm

螺旋测微计零点读数 -0.011 mm

平均值减去仪器零点读数

d [mm]	8.123	8.129	8.118	8.124	8.120	8.125	8.123	8.134
	8.120	8.134 ②	④					
l [cm]①	12.725	12.720③	12.720	12.725			12.723	12.723

① 单位统一写在前头 ② 发现错误不要涂掉 ③ 小数点后尾数是“0”也要记上

④ 记录后面留有余地以备补充数据

B. 测单摆摆长 l 及周期 T

	游标卡尺零点读数 0.00mm					平均	
x_1 [cm]	2.15	2.16	2.15	2.14		2.15	
x_2 [cm]	98.24	98.27	98.25	98.25		98.25	
d [cm]	2.575	2.570	2.570	2.575		2.573	
$50T$ (s)	99.0	99.3	99.2	98.8	99.1	99.2	99.1

单摆(NO. 3)游标卡尺(28795)停表(40683)米尺(NO. 3)

$$l = 98.25 - 2.15 + \frac{1}{2} \times 2.573 = 97.39 \text{cm}$$

$$T = \frac{1}{50} \times 99.1 = 1.982 \text{s}$$

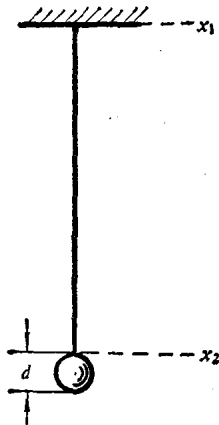


图 02-2

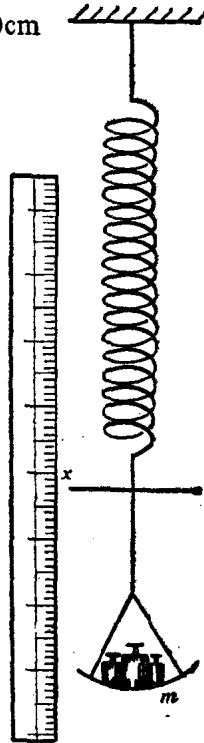


图 02-3

C. 测弹簧的倔强系数 $F = ks$

$m[\text{g}]$	$x[\text{cm}]$		\bar{x}	分组求差 $s[\text{cm}]$ (每30克伸长)
10.0	5.69	5.70	5.70	14.94 - 5.70 = 9.24
20.0	8.73	8.80	8.77	17.94 - 8.77 = 9.17
30.0	11.77	11.79	11.78	21.05 - 11.78 = 9.27
40.0	14.93	14.95	14.94	
50.0	17.95	17.92	17.94	$\bar{s} = 9.23$
60.0	21.05		21.05	

3. 数据的整理和实验报告

实验过程中要随时整理数据, 测量结束后要尽快整理好数据、

计算出结果并绘出必要的图线。数据整理工作，应尽可能在实验课上完成，并且为了根据数据整理中的问题作必要的补充测量，一般是在计算结束之后，再收拾仪器。

实验报告要力求简单明了，用语确切，字迹清楚。

实验报告应包括：题目名称、目的、原理摘要、仪器及其编号、简图、实际实验步骤、记录、数据整理及结论（被测量的数值及误差、图线或经验公式）、回答问题及讨论。

实验的讨论是培养我们分析能力的非常重要的部分，应当努力去做。

实验后可供讨论的问题是多方面的，以下提示几点供参考：

(1) 实验的原理、方法、仪器给你留下什么印象，实验的目的完成的如何？

(2) 实验的系统误差表现在哪些地方？怎样改进测量方法或装置，可以减少误差？对实验的改进有何设想？

(3) 实验步骤怎样安排更好。

(4) 观察到什么反常现象，遇到过什么困难，能否提出可供以后实验人员借鉴的东西。

(5) 测量结果是否满意，如果未达到可能达到的结果，是何缘故。

(6) 对实验的安排（目的、要求、方法和仪器的配置等等）和教师的指导有何希望。

§3 测量与误差

在物理实验中，要用实验的方法研究各种物理规律，因此要定量地测量出有关物理量的大小。例如，测出一摆线长为 0.9867m ，某物体质量为 6.87g ，某电路的电流强度为 1.56A ，某地的重力加速度为 $9.796\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ，电子电荷为 $1.6021917 \times 10^{-19}\text{C}$ ，等等。所谓

测量就是借助仪器用某一计量单位把待测量的大小表示出来，即待测量是该计量单位的多少倍。

对待测量的测量可分两类，一类是用计量仪器和待测量进行比较，就可获得结果。例如，用米尺和某单摆相比较，读出摆线长为 0.9867 米。这一类测量称为直接测量。另一类是不能直接用计量仪器把待测量的大小测出来，而需依据待测量和某几个直接测量值的函数关系求出待测量的，例如重力加速度，可以由测量单摆的摆长和周期根据单摆周期的公式算出，这一类的测量称为间接测量。

物理量多数是间接测量值，一般是设计一个(或一套)装置，通过几个直接测量值求出结果。例如，单摆就是一个测量重力加速度的装置，惠斯通电桥就是一个测量电阻的装置。掌握直接测量仪器的原理和用法，掌握实验装置的设计和调整是学习物理实验的重要内容。

每一个物理量都是客观存在，在一定的条件下具有不依人的意志为转移的固定大小，这个客观大小称为该物理量的真值。进行测量是想要获得待测量的真值。但是测量是依据一定的理论或方法，使用一定的仪器，在一定的环境中，由一定的人进行的。而由于实验理论的近似性，实验仪器灵敏度和分辨能力的局限性，环境的不稳定性等等因素的影响，待测量的真值是不可能测得的，测量结果和被测量真值之间总会存在或多或少的偏差，这种偏差就称为测得值的误差。

设被测量的真值为 a ，测得值为 x ，误差为 e ，则

$$x - a = e. \quad (03-1)$$

测量所得的一切数据，毫无例外的都包含有一定量的误差，因而没有误差的测量结果是不存在的。在误差必然存在的情况下，测量的任务是：(1)设法将测得值中的误差减至最小，(2)求出在测量

的条件下,被测量的最近真值(最佳值);(3)估计最近真值的可靠程度(接近真值的程度)。为此必须研究误差的性质、来源,以便采取适当的措施,以期达到最好结果。

1. 系统误差、偶然误差和粗大误差

按照对测得值影响的性质,误差可分为系统误差,偶然误差和粗大误差三类。实验数据中,三类误差是混杂在一起出现的,但必须分别讨论其规律,以便采取相应的措施去减少误差。

(1) 系统误差 在同一条件下(方法、仪器、环境和观测人不变)多次测量同一量时,符号和绝对值保持不变的误差,或按某一确定的规律变化的误差,称为系统误差。

例如用天平称衡物体的质量时,由于砝码的标称质量(或名义质量,即标刻在砝码上的质量数值)不准引入的误差;由于天平臂不等长引入的误差;由于空气浮力的影响引入的误差,所有这些误差在多次反复称衡同一物体的质量时是恒定不变的,这就是系统误差。又例如在一电路中的电池的电压,随放电时间的延长而降低时,将给电路中的电流强度的测量引入系统误差。

系统误差又可以按其产生的原因分为:

① 仪器误差 这是所用量具或装置不完善而产生的误差。

② 方法误差(理论误差) 这是由于实验方法本身或理论不完善导致的误差。

③ 装置误差 这是由于对测量装置和电路布置、安装、调整不当而产生的误差。

④ 环境误差 这是外界环境(如光照、温度、湿度、电磁场等)的影响而产生的误差。

⑤ 人身误差 这是由于观测人的感觉器官或运动器官不完善引入的误差。此种误差因人而异,并和个人当时的精神状况密切相关。