

高等学校教材

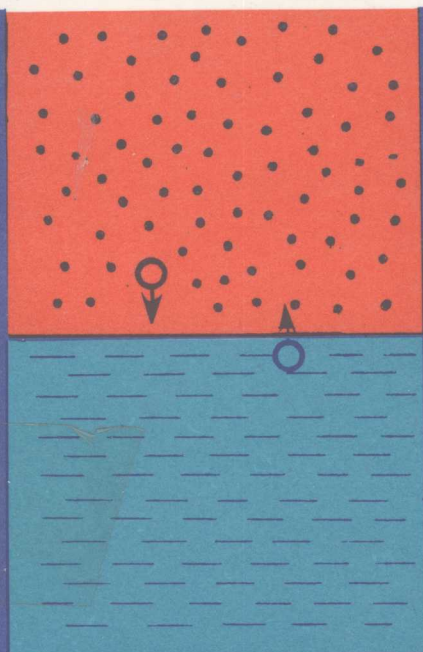
普通物理实验

(一·力学、热学部分)

第二版

杨述武 主编

杨述武 马葭生 张景泉 贾玉民 编



高等教育出版社

04-33

9-1

93

高等学校教材

普通物理实验

(一. 力学、热学部分)

第二版

杨述武 主编

杨述武

马葭生

张景泉

贾玉民

高等教育出版社

(京)112号

内 容 提 要

本书是在1982年11月第1版的基础上,参考1989年秋国家教委高教司印发供试行的普通物理实验教学基本要求进行修订的第2版。与第1版相比,第2版注意了加强对学生的基本训练和分析问题能力的培养,同时增加了一些新选题,扩充了某些实验的内容,并在尽量使用通用设备方面做了一定的努力。全书共有三十七个实验,可作为高等院校物理专业普通物理实验课教材,也可供其他专业有关课程参考。

本书责任编辑:张思攀

图书在版编目(CIP)数据

普通物理实验 (一):力学、热学部分/杨述武主编。2版。—北京:高等教育出版社,1993.3(1999重印)

ISBN 7-04-003423-9

I. 普… II. 杨… III. ①物理-实验-高等学校-教材②力学-实验-高等学校-教材③热学-实验-高等学校-教材 IV. 04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 00549 号

出版发行 高等教育出版社

社 址	北京市东城区沙滩后街 55 号	邮政编码	100009
电 话	010-64054588	传 真	010-64014048
网 址	http://www.hep.edu.cn		

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本	850×1168 1/32	版 次	1982年11月第1版
印 张	9.75		1993年3月第2版
字 数	230 000	印 次	1999年6月第9次印刷
		定 价	9.60 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言 (第二版)

自1982年本书第一版出版以来,国内的普通物理实验教学有了很大的发展,在这种情况下,国家教委高等学校理科物理学教材编审委员会物理实验编审小组,于1989年秋审订了普通物理实验教学基本要求(由国家教委高教司印发,供试行,见(89)教高司字122号文)。我们以此基本要求为指导,对本书第一版进行了修订工作。在此将修订中的几点考虑简单介绍如下:

一、总的设想

1. 注意加强学生的基本训练,特别是加强操作技能及分析问题能力的培养。
2. 适当增加一些新的选题,扩充一些实验的内容,以供教师选择。
3. 适当简化有关实验步骤的描述,促使学生在实验中多想一想。
4. 修改实验,尽量使用通用设备,或实验室可以自制的装置。

二、关于数据处理

在绪论中对直接测量、间接测量和组合测量进行了比较详细的说明,对实验结果的评价引用了不确定度,但考虑指导教师的意见可能不一致,所以不规定必须使用不确定度。

三、关于实验举例

在修订时,对一部分实验给出了测定实例。在开始比较简单的几个实验中,列出了实验测量实例,目的在于使学生一开始就注意记录与计算的规范化问题,作为加强基本训练的一部分;另外有

几个实验给出实测值是考虑到它的特点。比如气轨上的碰撞，初速度是零的落体实验，空气密度的测定，弹簧振子的有效质量等实验给出了测量实例，有的是说明实验结果可以比较理想，有的是说明设备可以很简单，有的又是说明结果不是一个简单问题，我们给出这些实例，是希望对学生有所启发，促进他们通过实验去探索一些问题。

四、在绪论中加入了一节关于实验的评价问题，我们认为引导学生去分析和评价自己的工作，对学生深入掌握实验的要求，提高分析问题的能力都有很大帮助，希望学生在这方面发挥自己的智慧。

参加本书修订工作的主要有华东师大物理系马葭生，辽宁师大物理系张景泉，陕西师大物理系贾玉民和东北师大物理系杨述武。

本书修订时参考了复旦大学贾玉润、王公治、凌佩玲主编的《大学物理实验》，山东大学孟尔熹主编的《普通物理实验》，此外也参考了国内外物理教学杂志上的一些文章，在此向各位同行致谢。

本书自1982年出版以来，得到一些教师的批评与建议，我们除感谢他们之外，希望使用和参考本书的教师和学生能继续提出宝贵意见。

编者

1990年秋于长春

致学生读者

1. 在实验中取得好的结果,是实验者的期望,如果你明确实验的目的与要求,明确要观察的现象,明确仪器的调整与条件控制,那时你就会更接近于成功。

2. 实验中出现错误,是很难完全避免的,对初学者更是如此,但要努力防止做完实验后才发现实验全错了! 如果想到实验中可能有错,如果能随时检查实验的情况,如果会判断正确与错误,那时你就能及时发现和纠正错误。

3. 实验中取得好的数据,当然会使你高兴,但是每次实验只有几小时,对数值的精密度与准确度不能期望过高,如果你不仅仅关心数据的好坏,而且在实验中能注意分析故障,在实验后又能做些回顾与思考,那时你的实验能力就会有较快的提高。

4. 在实验中,你是主人,你不是机械地执行教师指令的操作员,如果在实验中努力使自己成为一个探索者,能不断地总结经验,那时你就会更主动、更自由,也就更有兴趣。

目 录

前言(第二版).....	1
致学生读者.....	1
绪论.....	1
A 普通物理实验的基础知识.....	1
§ A-1 普通物理实验课的目的.....	1
§ A-2 测量与仪器.....	1
§ A-3 测量与误差.....	3
§ A-4 系统误差.....	5
§ A-5 偶然误差.....	8
§ A-6* 偶然误差的正态分布.....	15
§ A-7 实验中的错误与错误数据.....	23
§ A-8 绝对误差、相对误差、精密度和正确度.....	26
§ A-9 直接测量的数据处理.....	27
§ A-10 间接测量的数据处理.....	30
§ A-11 测量仪器准确度的选择.....	41
§ A-12 有效数字.....	43
§ A-13 实验图线的描绘.....	48
§ A-14 组合测量与最佳直线参数.....	53
§ A-15 实验结果的评价与讨论.....	61
B 力学、热学实验基本仪器.....	64
§ B-1 游标卡尺.....	64
§ B-2 螺旋测微计.....	67
§ B-3 读数显微镜.....	69
§ B-4 微小长度变化的测量.....	71
§ B-5 停表.....	75
§ B-6 电子计时器.....	75
§ B-7 天平.....	78
§ B-8 焦利秤.....	83
§ B-9 气泡水准器.....	84

§ B-10	温度计	86
§ B-11	水银气压计	90
§ B-12	干湿泡湿度计	93
实验一	长度测量	94
实验二	单摆	97
实验三	精密称衡	101
实验四	密度的测量	105
实验五	偶然误差的统计规律	111
实验六	杨氏模量的测定(伸长法)	118
实验七	杨氏模量的测定(梁弯曲法)	122
实验八	切变模量的测定	127
实验九	自由落体运动	133
实验十	倾斜气轨上滑块运动的研究	139
实验十一	牛顿第二运动定律的验证	147
实验十二	碰撞实验	151
实验十三	倾斜槽中球的运动的研究	157
实验十四	刚体转动的研究	159
实验十五	三线摆	167
实验十六	惯性秤	172
实验十七	弹簧振子的研究	176
实验十八	复摆振动的研究	181
实验十九	天平振动的研究	184
实验二十	可逆摆	190
实验二十一	双线摆振动的研究	197
实验二十二	阻尼振动	201
实验二十三	受迫振动(扭摆法)	207
实验二十四	弦振动的研究	214

实验二十五	声速的测量(超声).....	220
实验二十六	声速的测量(可闻声).....	229
实验二十七	液体粘滞系数的测量(毛细管法).....	232
实验二十八	液体粘滞系数的测量(落球法).....	239
实验二十九	表面张力系数的测定(拉脱法).....	242
实验三十	表面张力系数的测定(毛细管法).....	246
实验三十一	金属线胀系数的测量.....	251
实验三十二	固体比热容的测量(混合法).....	256
实验三十三	水的汽化热的测定.....	262
实验三十四	冰的比溶解热的测定.....	265
实验三十五	水的沸点与压强关系的研究.....	267
实验三十六	良导体导热系数的测定.....	273
实验三十七	真空的获得与测量.....	277
附录	物理常数表.....	288

绪 论

A 普通物理实验的基础知识

§ A-1 普通物理实验课的目的

物理学是实验的科学。物理学新概念的确立和新规律的发现要依赖于反复实验。物理学上新的突破常常是通过新的实验技术的发展,从而促成科学技术的革命,形成新的生产力。物理实验的方法、思想、仪器和技术已经被普遍地应用在各自然科学领域和技术部门。

普通物理实验课是对学生进行实验教育的入门课程,在学习物理实验基础知识的同时,着重给学生以严格的训练,培养学生初步的实验能力、良好的实验习惯和严谨的科学作风。

实验能力应包括动手能力和动脑能力。要训练安装、调整和操作实验装置的技能,又要培养设计实验步骤、选取实验条件、分析现象、判断故障和审查数据等方面的能力。

实验课虽然是在教师指导下的学习环节,但在实验课上学生的活动有较大的独立性,我们期望学生以研究者的态度去组装实验装置,进行观测与分析,探讨最佳实验方案,从中积累经验、锻炼技巧和机智,为以后独立设计实验方案和解决新的实验课题创造条件。

§ A-2 测量与仪器

测量的意义是指为确定被测量对象的量值而进行的被测物与

仪器相比较的实验过程。

例如，一桌子的长度与米尺相比，得出桌子长度为 1.248 m；一铁块的质量与砝码相比(通过天平)，得出铁块质量为 31.85 g。

测量分为直接测量与间接测量。

直接测量是指被测量和仪器直接比较，得出被测量量值的测量。前面的二例均为直接测量。

间接测量是指由一个或几个直接测得量经已知函数关系计算出被测量量值的测量。例如，测量单摆的摆长 l 和振动周期 T ，由已知的公式 $g = 4\pi^2 l / T^2$ 算出重力加速度 g 值的过程就是间接测量。

测量仪器是指用以直接或间接测出被测对象量值的所有器具。如，游标卡尺、天平、停表、惠斯登电桥、照度计等等。

测量结果给出被测量的量值，它包括两部分，数值和单位（不标出单位的数值不能是量值！）。实际上仪器在测量中是单位的实物体现。

一个国家的最准确的计量器具是一些主基准，在全国各地则有由主基准校准过的工作基准，实验室使用的仪器已直接或间接由工作基准进行校准过。

仪器的准确度等级 测量时是以仪器为标准进行比较，当然要求仪器准确。不过由于测量的目的不同对仪器准确程度的要求也不同，比如称量金戒指的天平必需准确到 0.001 g，而粮店卖粮的台秤差几克都是无关紧要的。为了适应各种测量对仪器的准确程度的不同要求，国家规定工厂生产的仪器分为若干准确度等级。各类各等级的仪器，又有对准确程度的具体规定。例如 2 级螺旋测微计，测量范围大于 10 mm 小于 50 mm 的最大误差不超过 ± 0.013 mm，又如 1.0 级电流表，测量范围为 500 mA 的最大误差不超过 ± 5 mA。

实验时要恰当选取仪器。仪器使用不当对仪器和实验均不利。表示仪器的性能有许多指标，其最基本的是测量范围和准确度等级。当被测量超过仪器的测量范围时首先对仪器会造成损伤，其次可能测不出量值(如电流表)，或勉强测出(如天平)，但误差将增大。对仪器的准确度等级的选择也要适当，一般是在满足测量要求的条件下，尽量选用准确程度低的仪器。减少准确度高的仪器的使用次数，可以减少在反复使用时的损耗，延长其使用寿命。

习 题 一

1. 测量就是比较，试说明如下的测量是如何体现比较的：
 - (1) 用杆秤称量一个西瓜的重量。
 - (2) 用弹簧秤称一新生婴儿的重量。
 - (3) 用秒表测一摆动时间。
 - (4) 用万能表测一电阻器的阻值。
2. 你知道如何去做下面的测量吗？
 - (1) 跑百米的时间。
 - (2) 子弹的速度。
 - (3) 声音的速度。
 - (4) 光的速度。
 - (5) 对面山有多远？月球有多远？(想一想，三角形三个边长、三个顶角中知道一个边长两个顶角，就可求出另外边长的道理，能否用上?)

§ A-3 测量与误差

物理实验时要对一些物理量进行测量。各被测量在实验当时条件下均有不依人的意志为转移的真实大小，称此值为被测量的真值。测量的理想结果是真值，但是它是不能确知的，因为首先测量仪器只能准确到一定程度；其次有环境条件的影响，并且观测者操作和读数不能十分准确，理论也有近似性，所以测得值和真值总是不一致的。定义测得值减去真值的差为测得值的误差，即

测得值(x)—真值(a)=误差(e).

误差 e 是一代数数值, 当 $x \geq a$ 时, $e \geq 0$; $x < a$ 时, $e < 0$. 由于真值是不能确知的, 所以测得值的误差也不能确切知道, 在此情况下, 测量的任务是:

(1) 给出被测量真值的最佳估计值,

(2) 给出真值最佳估计值的可靠程度的估计.

关于什么是最佳估计值留给后面去讨论, 但是可以想到最佳估计值必定误差比较小. 为了减小误差就要分析误差的来源, 实际上任何测量的误差都是多种因素引入误差的综合效应. 现在以用单摆测重力加速度为例做些分析.

物理理论中的单摆, 是用一无质量无弹性的线, 挂起一质点, 在摆角接近零时, 摆长 l 和周期 T 之间存在 $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ 的关系, 其中 g 为当地的重力加速度.

在分析中除去指出引入误差的原因, 还要对误差给出“确定的”或“随机的”的估计, “确定的”是指误差有必然的大小和符号. “随机的”则指误差值是不可预测的.

	误差来源	误差是确定的或随机的
1.	米尺和停表本身不准确	确定的
2.	对仪器的操作不准确	确定的和随机的
3.	仪器读数不准确	确定的和随机的
4.	摆线质量不为零	确定的
5.	摆锤体积不为零	确定的
6.	摆角大小不为零	确定的
7.	存在空气浮力和阻力	确定的
8.	支点状态	确定的和随机的
9.	支架震动或空气流动	随机的

对误差的来源可以概括为五个方面: (1)理论, (2)仪器, (3)实验装置, (4)实验条件, (5)观测者和监视器.

在重复测量中，如果误差是“确定的”，则误差的影响是定向的。例如用停表测时间长度，假如停表走得快，则用它测出的数值，总比真值大(假设测量没有其它误差)。在同一情况下，反复测量同一物理量时，绝对值和符号保持不变或按某一确定规律变化的误差，称为系统误差。上表中第1、4、5、6、7项均属系统误差。

在同一情况下，反复测量同一物理量，测得值总有差异，并在消除系统误差后，差异依然存在。将绝对值和符号变化不定不可预知的误差，称为偶然误差(或称随机误差)。上表中第2、3、8项中存在偶然误差。

测量误差一般同时包括系统误差和偶然误差。研究误差的目的是：

- (1) 尽量减小误差。
- (2) 对残存的误差给出适当的估计值。

习 题 二

在以下的各测量中，都有哪些因素引进误差？

1. 用量筒测一石块的体积；
2. 在窗前挂一温度计，测大气的温度；
3. 用秒表测一物体自由下落3米的时间；
4. 用天平测一乒乓球的重量；
5. 用米尺测一个人的身高；
6. 用伏特计、安培计测一电阻器的阻值；
7. 用太阳光和米尺测一凸透镜的焦距；
8. 用打点计时器测重力加速度；
9. 用冲击摆测子弹的速度。

§ A-4 系统误差

要研究如何减小误差，首先要发现它的存在和来源，其次才是

确定减小的办法。

1. 系统误差的发现

(1) 对仪器的分析 主要有：

示值误差 显示值与真值的差值。

零值误差 被测的量为零时，显示值偏离零位的示值。

调整误差 仪器调整不当引入的示值的变化。

回程误差 在相同条件下，仪器正反行程在同一点上测量值之差的绝对值。

(2) 理论分析 从实验装置、实验条件与理论设定条件是否一致去发现系统误差。例如，单摆的摆锤不是质点而理论假设为质点；气轨上测得的是平均速度，而计算加速度的公式要求的是即时速度；用伏安法测电阻时，不论内接法还是外接法均与理论约定不同，等等。

理论分析是研究系统误差的重要方法，但是要分析恰当，既要熟悉理论和实验，又要有丰富的经验以及敏锐的目光。

(3) 对比实验 改变实验的部分条件甚至全部安排去测被测量，分析改变前后的测得值是否有显著不同？从中去分析有无系统误差和探索系统误差的来源。

改变实验的条件，可以是仪器的位置、仪器的布置、换去某件仪器、改变所选取的某个参数、改变实验方法乃至改换实验操作人员，等等。

例如，将物体放在天平左、右盘上，分别称衡，可以发现天平不等臂引入的误差；精密测量同一单摆在不同摆角时的周期值，可以发现周期与摆角有关。

以上讨论主要是针对取固定值的系统误差，对于在测量过程中逐渐变化的系统误差，主要从数据分析去发现，这里不仔细讨论。

2. 系统误差的处理

对待系统误差应当是“消除”或“减小”，主要作法有：

抵消 在两次测量中使系统误差的大小相等而符号相反，通过平均去抵消(如天平的交换称衡)；在一次测量中，给实验系统增加一附加物，使之产生和要处理的系统误差有相反的作用(如为了抵消滑轮阻力矩影响而给运动系统加上的附加质量)。

减小 在设计实验方案时适当选择条件，减小要处理的系统误差的影响。例如，单摆用密度大的金属作锤以减小空气浮力的作用。

修正 计算出要处理的系统误差之值，取其反号为修正值，加到测量结果上，或在计算公式中加入修正项去消除该项系统误差。例如，仪器的零值误差均采用修正值去处理。

如何处理系统误差是实验的重要问题之一，以上只是举出几点常见的作法，在具体实验中应当留意它是怎样处理的。

3. 系统误差的估算

处理系统误差时主要针对其中影响比较大的，因此先要对它们作粗略地估算，大体上确定出其数量级，这种估算要结合理论与实验的分析。

系统误差处理之后，不可能将其完全消除，在最后结果中必然包括未经处理或未完全消除的系统误差，应对这些系统误差作出适当地估值，并参与对实验结果的评价。

习 题 三

1. 以下所列的误差哪些属于系统误差？

- (1) 米尺的刻度有误差；
- (2) 未通电时，伏特计的指针不指零；
- (3) 手按停表测时间控制不准；
- (4) 两个人在一个温度上的读数不一样；

- (5) 在任何计算中, π 均取 3.14;
- (6) 测质量的天平, 两臂长不完全相等;
- (7) 天平摆动后指针的停止点每次不同.
2. 一盒砝码经计量局检定后, 是否还有误差呢?
 3. 两次测量所得测量值完全相同, 是否没有误差呢?

§ A-5 偶然误差

在同一条件下, 对同一物理量进行重复测量, 各次测得值一般不完全相同, 这是由于测量时存在偶然误差. 一个测得值的偶然误差是多项偶然因素综合作用的结果, 在测量前不能得知测得值将偏大或偏小, 有如投掷一硬币, 在投掷前不知道哪一面在上. 这种似乎没有规律的偶然现象, 实际上服从统计规律. 即大量偶然现象表现出的某种必然规律. 表 A 5.1 是投掷硬币的统计.

表 A5.1 投掷硬币的一些统计

次数	出现正面次数	出现背面次数
10	3	7
10	4	6
100	61	39
100	55	45
500	270	230
1000	478	522
10000	4964	5036

从表上可以看出, 试验次数多时, 出现正面或背面的次数, 都接近 50%, 这就是统计规律.

又用手控制数字毫秒计, 多次测量一摆的周期, 将测得值分布的区域等分为 9 个区间, 统计各区间内测得值的个数 N_i , 以测量值为横坐标, N_i/N 为纵坐标 (N 为总数) 作统计直方图, 图 A 5-1 是一次实验的结果.