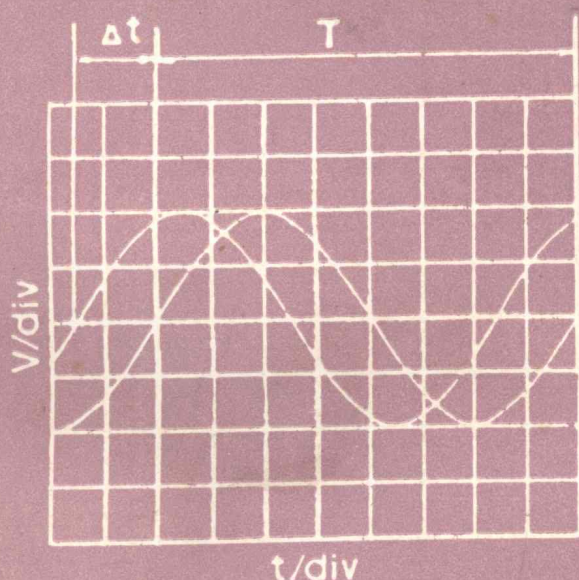


高等学校试用教材

物理实验教程

苏州大学
南京师范大学 合编
扬州大学师范学院



苏州大学出版社

高等学校试用教材

物理实验教程

苏 州 大 学
南 京 师 范 大 学 合 编
扬州大学师范学院

苏州大学出版社

物理实验教程

苏州大学

南京师范大学 合编

扬州大学师范学院

苏州大学出版社出版发行

苏州市十梓街1号 邮编 215006

丹阳练湖印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 11.75 字数 304 千

1994 年 8 月第 1 版 1997 年 1 月第 2 次印刷

印数 5001—8000

ISBN 7-81037-087-1/O · 4 定价: 11.50 元

苏州大学出版社出版的图书若有印刷装订错误可向承印厂调换

前 言

近年来，随着教学改革不断深入和新专业相继开设，原由南京师范大学、扬州师范学院和苏州大学合编的《物理实验》一书已很难满足理科各有关专业对物理实验教学的需要。为此，三校商定，重新编写了这本《物理实验教程》。

考虑到不同类型的学校、不同的专业设置和不同层次的教学要求，本教材内容力求广泛以期有较大的选择余地。（书中标有*的内容，供师生选择应用）一方面基本上包括了普通物理实验的主要内容和方法。另一方面又选编了诸如油滴实验、光电效应、全息照相、液氮比汽化热的测定、电介质介电系数的测定、电磁测量中的示波法、温度的电测法等内容。教材的组织则尽量避免数学推导而着眼于物理概念的阐述和学生实验能力的培养，舍弃了陈旧落后的仪器，代之以目前多数院校使用的通用仪器。书中物理学名词以及物理量的符号和单位的选用，皆按国颁标准和规范进行。

参加本书编写工作的有陈庆琉（绪论、第一章，实验十八、二十四、二十五）、宋福海（实验一、四、二十二、二十六、二十八）、胡金才（实验二、六、八、十、十一）、魏品良（实验三、五、七）、李承森（实验九）、何捷（电磁学实验基础知识、实验十六、十九、二十一、二十三、二十七）、陈翠贞（实验十二、十七、二十）、王良

才（实验十三、十四、十五）、包仁（光学实验基础知识、实验三十二、三十四、三十五、四十）、金昌祚（力学和热学实验基础知识、实验二十九、三十、三十八、三十九、附录2）、朱路杨（实验三十一、三十三、三十六、三十七、附录1）。最后由金昌祚（绪论、第一章、第二章和附录）、宋福海（第三章）、宋从龙（第四章）统稿和修改定稿。

在本书编写中，我们参考了北京大学、清华大学、复旦大学、华东师范大学等兄弟院校编写的物理实验教材（详见书末参考书目），并参考了杨述武先生主编的《普通物理实验》一书，在此谨向他们致谢。

本书可供大专院校有关专业物理实验教学之用。限于我们的水平，书中难免有许多不足乃至错误之处，欢迎广大师生给予批评指正。

编 者

1994年3月于苏州

目 录

绪 论	(1)
-----------	-----

第一章 测量与误差

§ 1.1 测量	(4)
§ 1.2 误差	(5)
§ 1.3 直接测量的误差估计	(10)
§ 1.4 间接测量及其误差传递	(15)
§ 1.5 有效数字及其运算规则	(18)
§ 1.6 实验结果的数据处理	(22)

第二章 力学和热学实验

力学和热学实验基础知识	(34)
实验一 固体密度的测定	(44)
实验二 气垫导轨实验	(48)
(一) 验证牛顿第二定律	(52)
(二) 验证动量守恒定律	(55)
(三) 简谐振动的研究	(58)
实验三 用三线摆测定刚体的转动惯量	(61)
实验四 弦振动的研究	(65)
实验五 杨氏弹性模量的测定	(68)
(一) 光杠杆法	(68)
(二) 移测显微镜法	(71)

实验六	空气中声速的测定	(74)
实验七	金属线胀系数的测定	(80)
	(一) 电测法	(80)
	(二) 光杠杆法	(82)
实验八	冰的比熔解热的测定	(85)
实验九	比汽化热的测定	(90)
	(一) 水的比汽化热的测定	(90)
	(二) 液氮比汽化热的测定	(93)
实验十	表面张力系数的测定	(99)
	(一) 毛细管法	(99)
	(二) 拉脱法	(103)
实验十一	液体粘度系数的测定	(107)
	(一) 落球法	(107)
	(二) 毛细管法	(110)

第三章 电磁学实验

	电磁学实验基础知识	(113)
实验十二	用稳恒电流场模拟静电场	(126)
实验十三	静电电量及电荷密度的测定	(130)
实验十四	电介质介电系数的测量	(134)
实验十五	油滴实验	(139)
实验十六	学习使用多用电表	(144)
实验十七	电学元件伏安特性的测定	(151)
实验十八	示波器的使用	(155)
实验十九	灵敏电流计	(167)
实验二十	直流电桥	(174)
	(一) 用单臂电桥测电阻	(174)
	(二) 用双臂电桥测低电阻	(178)

实验二十一	电势差计及其使用	(183)
实验二十二	冲击电流计的使用	(193)
	(一) 用冲击电流计测电容	(196)
	(二) 用冲击电流计测螺线管内轴线上 磁场的分布	(199)
	(三) 用冲击电流计测铁磁物质的 磁化曲线	(204)
实验二十三	霍耳效应	(210)
实验二十四	电磁测量中的示波法	(217)
实验二十五	温度的电测法	(222)
	(一) 热敏电阻测温	(222)
	(二) 热电偶测温	(224)
实验二十六	RLC 串联电路谐振特性的研究	(228)
实验二十七	RLC 电路的稳态特性	(236)
实验二十八	RLC 电路的暂态过程	(247)

第四章 光学实验

	光学实验基础知识	(256)
实验二十九	薄透镜焦距的测定	(267)
	(一) 用成像公式测透镜焦距	(267)
	(二) 用焦距仪测透镜焦距	(271)
实验三十	摄影技术	(276)
实验三十一	分光计的调节与使用	(284)
实验三十二	阿贝折射仪	(294)
实验三十三	用双棱镜测定光波波长	(301)
实验三十四	用牛顿环测定透镜的曲率半径	(304)
实验三十五	迈克耳孙干涉仪的调整与使用	(310)
实验三十六	单缝衍射	(316)

实验三十七	用透射光栅测定光波波长和 光栅常量	(321)
实验三十八	偏振现象的观察与应用	(324)
	(一) 偏振光的产生与检验	(324)
	(二) 旋光现象及其应用	(331)
实验三十九	光电效应及普朗克常量的测定	(336)
实验四十	全息照相	(344)

附录 1	国际单位制简介	(351)
------	---------------	-------

附录 2	物理量表	(354)
------	------------	-------

表 2—1	基本物理常量	(354)
-------	--------------	-------

表 2—2	各种物质的密度	(355)
-------	---------------	-------

表 2—3	1 大气压下一些元素的熔点 和沸点	(357)
-------	----------------------------	-------

表 2—4	各种固体的弹性模量	(358)
-------	-----------------	-------

表 2—5	固体的线胀系数	(359)
-------	---------------	-------

表 2—6	液体的粘度系数	(360)
-------	---------------	-------

表 2—7	液体的表面张力系数	(361)
-------	-----------------	-------

表 2—8	电介质的介电常数	(362)
-------	----------------	-------

表 2—9	某些金属和合金的电阻率及其 温度系数	(363)
-------	-----------------------------	-------

表 2—10	各种物质的折射率	(364)
--------	----------------	-------

表 2—11	几种纯金属的“红限”波长及 脱出功 (功函数)	(365)
--------	----------------------------------	-------

表 2—12	光在有机物中偏振面的旋转	(365)
--------	--------------------	-------

表 2—13	1 毫米厚石英片的旋光率	(365)
--------	--------------------	-------

表 2—14	常用光源的谱线波长	(366)
--------	-----------------	-------

绪 论

一、实验在物理学中的地位

物理学是一门建立在实验基础上的科学。所谓实验，就是用人为的方法排除或降低次要因素，突出主要因素，有控制地重演特定的自然现象，并加以观测研究。实验是物理理论的源泉。由实验观察和测量得到的数据，通过分析、总结和归纳，找出物理量之间的联系和变化规律，就建立了理论。实验也是检验物理理论的唯一标准。伽利略用实验否定了亚里斯多德“力是速度的原因”的论断；麦克斯韦根据电磁学实验定律建立了电磁场理论，并预言了电磁波的存在，但这也只有在赫兹进行了电磁波的实验后才被人们所公认。实验还是物理理论演变、发展的动力。光电效应的实验事实和光的波动理论出现了矛盾，导致了普朗克的量子理论产生。实验又是理论付诸应用的桥梁。热核聚变理论指出通过热核聚变可以获得巨大能量，但要想很好地利用它，还需要通过许多艰苦的实验才能实现。

物理学的发展史表明，物理实验和物理理论是相互促进、相互推动、密切结合的。任何过分强调一方而轻视另一方的做法都是要不得的。实验物理学和理论物理学，再加上建立在电子计算机基础上的计算物理学，被称为整个物理学大厦的三大支柱。

二、物理实验课的目的

物理实验是研究最基本、最普遍物质运动形态的手段。物理实验的方法、手段和理论是所有各种实验中最基本、最普遍的方法、手段和理论。因此，物理实验能力的培养不但对物理专业的学生是必不可少的，而且对非物理专业的理工科学生也是完全必

要的。

开设物理实验课的目的是：

1. 学习物理实验的基本知识、基本方法，培养实验技能。具体包括：

(1) 弄懂实验的基本原理，了解一些基本物理量（例如长度、质量、重力加速度、温度、比热容、电阻、电压、波长、折射率等）的测量方法；

(2) 在实验中学习观察物理现象、正确进行测量和记录实验数据，并能对实验结果进行分析，写出完整的实验报告；

(3) 熟悉常用仪器及测量工具的基本原理和结构，并能正确使用。

2. 通过实验的观察和测量，加深对物理概念和规律的认识与理解。

3. 培养严格的科学工作态度、严谨的工作作风和良好的实验习惯。

三、实验的过程

实验通常分下列三个阶段进行：

(一) 预习

预习是实验操作前的准备阶段，也是学生能否很好地完成实验预期任务的重要前提。预习要求做到：

1. 认真阅读实验教材和有关参考资料，掌握实验原理，明确实验目的。

2. 了解所用仪器的基本工作原理、使用条件、操作规程以及选取所用仪器的依据。

3. 明确实验步骤、操作注意事项，设计记录数据的表格。

(二) 实验操作

首先了解、熟悉、安装、调整仪器。这是操作的重要环节，也是实验成功的关键。切忌急躁和马虎从事。

仪器调好后，根据实验内容要求，按操作步骤进行观测，并记录下测量数据。观测时要精力集中，记录时必须如实地记下原始测量数据，并注明所测量的单位及测试条件。实验中遇有反常现象时必须查明原因，所有实验数据都需请指导教师审阅。

（三）处理数据、完成实验报告

实验结束后要尽快整理好数据，计算好结果，绘制出必要的曲线。然后完成实验报告。报告内容应包括：实验名称、目的、原理、仪器（注明型号、规格及编号）、主要操作步骤、数据及处理结果、问题讨论等。

实验报告要写得简洁明了、用语确切、字迹工整。

第一章 测量与误差

§ 1. 1 测 量

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。例如，用米尺测量某物体的长度是 1.264 米，就表示该物体的长度是长度计量单位“米”的 1.264 倍。通常测量值都必须由数值（倍数）与单位构成。

原则上讲，计量单位的选择具有任意性，事实上，对同一物理量可以有許多不同的计量单位。为便于国际之间科技交流、通商贸易，目前通用的是国际单位制（以 SI 表示），见附表 1-1。

通常物理量的测量，可分为直接测量和间接测量两种：

1. 直接测量

用测量仪器可以直接读出待测量数值的，称为直接测量。例如，用米尺测长度，用秒表测时间，用天平测物体质量，用电流表测电流强度，用温度计测温度等等。

2. 间接测量

有许多物理量不能用仪器直接测得，而必须先用仪器直接测出与其有关的其它物理量，再借助于一些定律、公式将该量推算出来，这类测量称为间接测量。例如，测量匀速直线运动的速度，可先直接测量出物体通过的位移（ s ）和所经历的时间（ t ），再经公式 $v = \frac{s}{t}$ 计算出速度 v ；再如要测量导体的电阻，可以用伏特表测得导体两端的电压 U ，用安培表测得通过该导体的电流 I ，再经公式 $R = \frac{U}{I}$ 计算出电阻 R 。这里速度 v 、电阻 R 都是间接测量值。

必须指出，一个待测物理量用直接测量还是用间接测量并不是绝对的，通常与选用的测量方法及仪器有关，也与科学技术的发展有关，而与待测量本身无关。导体电阻的测量当选用伏安法时是间接测量，若改用箱式惠斯通电桥测量就成为直接测量了。随着科学技术的发展，人们将研制出更多的测量仪器设备，许多本来只能间接测量的物理量，今后也可以方便地直接测量。

不论直接测量还是间接测量，按测量次数又可分为单次测量和多次测量。单次测量是只进行一次的测量，而多次测量是对该物理量进行多次重复的测量。多次测量还可分为等精度测量和非等精度测量。实验中对同一待测量，用同一仪器（或精度相同的仪器），在同一条件下进行的多次测量就是等精度测量，否则是非等精度的测量。等精度测量的数据处理比较简单。通常实验都可以保持为等精度的测量。所以本书以后也只讨论等精度多次测量的数据处理。

§ 1. 2 误 差

一、误差的分类

不论是直接测量还是间接测量，其最终目的都是要获得待测物理量的客观真实数值（称为“真值”）。但是，在实际测量中，由于测量仪器的准确度不够高、测量方法的不完善以及测量环境和操作人员等因素的影响，都会使测量值与真值之间存在着一定的偏离，这种偏离就称为测量误差。由于测量总存在误差，所以测量值总是真值的近似值。

误差按其性质和产生原因可分为系统误差、偶然误差（随机误差）和粗差三种。

1. 系统误差

这种误差表现为在相同条件下（等精度测量），对同一物理量进行多次测量时，测量值总是有规律的朝着某一方向偏离真值，或

者按确定的规律变化。因此系统误差是带有系统性和方向性的误差。其产生原因主要有：

(1) 仪器设备的误差。例如，天平两臂的不等，砝码质量的不准确，米尺、温度计、仪表盘面等的刻度不均匀都会产生这种误差。

(2) 理论或实验方法的误差。由理论计算公式的近似或实验方法粗糙等原因所引起。例如，在单摆测重力加速度的实验中，单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 是在摆角 θ 甚小时导出的，它是精确公式的一个近似。再如用伏安法测电阻，其电表内阻的影响也会使测量值带上系统误差。

(3) 测量者个人因素产生的误差。主要指操作人员的习惯（如读刻度时的斜视）及生理反应速度等造成的误差。

造成系统误差的上述各种原因，在每个具体实验中产生的影响并不都是一样的，有的可能是仪器本身所引起，但有的也可能是实验方法不妥所产生的。因此要减小或消除系统误差，没有统一的方法，必须对其产生的原因作具体分析后，找出主要因素，采取相应措施加以克服。

2. 偶然误差（随机误差）

在实验中，即使消除了产生系统误差的因素（实际上不可能也不必完全消除）测量值仍有稍许差异而且变化不定，这种误差是由于某些不可预测的偶然因素造成的。例如，用米尺测量物体的长度时，用尺上刻度去对准和估计毫米以下的一位读数都有一定的偶然性，都会带来误差；再如进行某些测量时温度的微小起伏、气流的扰动等也会造成测量结果的无序变化。由于这些偶然的或不确定的因素的影响，使得多次重复测量时，每一次测量值都在真值附近无规则的涨落，对于这类误差通常称为偶然误差，也叫随机误差。

偶然误差产生的原因和系统误差不同，因此这类误差的表现

特点也和系统误差不同。对同一待测量在相同条件下做多次测量，每次测量的偶然误差其大小和正负都是事先无法预料的，带有随机性。但是，如果对同一物理量在相同的条件下进行大量的测量，则可发现这些测量值的偶然误差服从如下的统计规律：

(1) 大小相等、符号相反的正负误差出现的机会相等，即所谓对称性；

(2) 绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的机会多，即所谓单峰性；

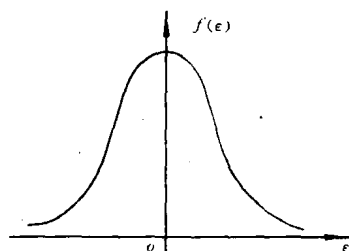
(3) 误差超出一定范围的可能性（几率）很小，即所谓有界性。

上述统计规律称为偶然误差的正态分布规律。可用图 1.2-1 曲线表示，此曲线称为偶然误差的正态分布曲线。理论推导证明此曲线的函数形式为：

$$f(\varepsilon) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\varepsilon^2/2\sigma^2} \quad (1.2-1)$$

式中 ε 为误差， σ 为任意实数。

根据上述特点，我们可以用增加测量次数，取平均值的方法来减小偶然误差。在后面的讨论中还会看到，测量次数增加到一定程度后，偶然误差的减小就不明显了。



3. 粗差

这是由于实验者在实验过程中犯有某种不应有的错误引

图 1.2-1

起的误差。例如，读错数字、记录时写错、计算错、操作错等等。此种误差一般初学者容易产生，只要细心操作、多方警惕、加强训练，是完全可以避免的。在本章以后的讨论中，不再考虑此种误差。

二、绝对误差与相对误差

绝对误差是待测物理量的测量值(用 x 表示)与真值(用 μ 表示)之差,用 ε 表示绝对误差,则:

$$\varepsilon = x - \mu, \quad (1.2-2)$$

它反映了测量值偏离真值的大小。

相对误差被定义为绝对误差与测量值之比,用 r 表示相对误差,即:

$$r = \frac{\varepsilon}{x}, \quad (1.2-3)$$

相对误差也可以用百分数来表示,即:

$$r = \frac{\varepsilon}{x} \times 100\%.$$

故又称百分误差。显然绝对误差的单位与被测量相同,而相对误差是无量纲的。

绝对绝对误差可以表示一个测量结果的可靠程度,但在比较相同单位或综合不同单位测量结果的可靠性时,应该用相对误差去评价。例如,测量一个物体的长度 $\bar{l}_1 = 36.30 \text{ cm}$, 绝对误差为 $\varepsilon_1 = 0.003 \text{ cm}$, 其相对误差为:

$$r_1 = \frac{0.003}{36.30} \times 100\% \approx 0.08\%.$$

测量第二个物体的长度 $\bar{l}_2 = 3.63 \text{ cm}$, $\varepsilon_2 = 0.03 \text{ cm}$, 其相对误差为:

$$r_2 = \frac{0.03}{3.63} \times 100\% \approx 0.8\%.$$

可以看出,两者的绝对误差相等,而后者的相对误差却比前者大 10 倍,显然,前者的测量精密程度高些。又比如:测得

$$l = 98.50 \pm 0.10 \text{ cm},$$

$$T = 1.992 \pm 0.003 \text{ s},$$

则

$$\frac{\Delta l}{l} = 0.10\%, \quad \frac{\Delta T}{T} = 0.15\%,$$

即 T 的相对误差比 l 的稍大些。