

普通物理实验

贾玉民 苏思恭 主编

W · L

陕西师范大学出版社



普通物理实验

(非物理专业用)

主编 贾玉民 苏思恭
编写 王石山 刘文勇 苏思恭
吴俊林 侯海砚 贾玉民

陕西师范大学出版社

普通物理实验

贾玉民 苏恩恭 主编

*

陕西师范大学出版社出版

(西安市陕西师大120信箱)

陕西省新华书店经销 西安电子科技大学印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 8.125 字数 168 千

1989年7月第1版 1989年7月第1次印版

印数: 1—3000

ISBN7-5613-0234-7

G·215 定价: 1.65 元

前 言

目前, 由于缺少适合高等师范院校非物理专业的普通物理实验教材, 在一定程度上影响了实验课的稳定性及教学质量。本书正是为了改变此种状况以满足教学急需而着手编写的。

本书是参考原国家教育部 1980 年制订的高等师范院校非物理专业普通物理教学大纲(实验部分), 并结合多年实验教学工作的实践及教学改革经验编写而成的。

本书内容除绪论和附表外, 共包括力学、热学、电磁学及光学等 30 个实验。绪论部分介绍了测量误差及数据处理的基本知识, 为了使學生掌握这些基本知识, 在每个实验中贯穿有误差估算、分析和数据处理的内容。实验内容由浅入深, 逐步展开, 并力求做到原理叙述清晰简洁, 仪器实用典型, 在保证基本实验方法学习的基础上, 尽可能采用新的实验技术。每个实验末尾均有思考问题, 可帮助学生预习和复习。选题时注意了照顾各个专业的需要。为了各校使用本书时有一定的选择余地, 有些实验还介绍了两种实验方法。

本书是在陕西师范大学、汉中师范学院及宝鸡师范学院多年使用的实验讲义的基础上, 由三所院校的 6 位同志共同编写的。具体分工为: 绪论、实验 7、9、11 及附表由陕西师范大学贾玉民同志编写; 实验 1、2、6、8、10 由陕西师范大学吴俊林同志编写; 实验 3、4、5、12、22 由宝鸡师范学院侯海砚同志编写; 实验 13、14、15、28、29、30 由陕

西师范大学王石山同志编写；实验16、17、18、19、20、27由陕西师范大学苏思恭同志编写；实验23、24、25、26、21由汉中师范学院刘文勇同志编写。最后由贾玉民和苏思恭两位同志统稿。

在本书编写过程中，得到了陕西师范大学基础物理教研室及普通物理实验教研室的大力协助，史志强及刘存侠等同志都对教材提出了宝贵意见，我们在此表示谢意。

由于我们经验不足，能力有限，书中难免存在缺点和错误，恳请各位老师和同学提出宝贵意见，以便修订。

编 者

1988年10月

目 录

绪论	1
§ 1 普通物理实验课的任务和要求	1
一、普通物理实验课的地位和任务	1
二、普通物理实验课的三个学习环节	2
§ 2 测量误差的基本知识	4
一、测量与误差	4
二、直接测量结果偶然误差的估算	7
三、间接测量结果偶然误差的估算	12
§ 3 实验数据的处理	17
一、测量结果的有效数字	18
二、实验数据处理方法	20
习题	26
实验 1 长度的测量	27
实验 2 固体密度的测定	38
实验 3 重力加速度的测定	44
3 A 用单摆测定重力加速度	45
3 B 自由落体法测定重力加速度	49
实验 4 验证牛顿第二定律	53
实验 5 碰撞的研究	61
实验 6 用三线摆测定物体的转动惯量	65
实验 7 弹簧振子运动的研究	71
实验 8 冰的溶解热的测定	75
实验 9 液体粘滞系数的测定	81
9 A 用毛细管法测定水的粘滞系数	82
9 B 用落球法测定液体的粘滞系数	86

实验 10	液体表面张力系数的测定	89
10 A	用拉脱法测定液体表面张力系数	90
10 B	用毛细管法测定液体表面张力系数	93
实验 11	水的沸点与压强关系的研究	97
实验 12	热功当量的测定	104
实验 13	电磁学实验基本训练	110
实验 14	万用电表的使用	122
实验 15	伏安法测电阻	130
实验 16	用惠斯登电桥测量电阻	136
实验 17	用电位差计测量电池的电动势和内阻	145
实验 18	电子示波器的使用	153
实验 19	热电偶温度计的定标和使用	162
实验 20	霍耳效应	168
实验 21	RLC 串联谐振特性的研究	176
实验 22	交流电功率的测量	184
实验 23	薄透镜焦距的测定及实用光路组合	191
实验 24	分光计的调节及使用	198
实验 25	用双棱镜测定光波波长	207
实验 26	用牛顿环测定透镜的曲率半径	212
实验 27	迈克耳逊干涉仪的调节和使用	217
实验 28	单缝衍射光强分布的测定	223
实验 29	衍射光栅	228
实验 30	偏振光的观察与分析	233
附表 1	基本物理常数	241
附表 2	常用固体和液体的密度	242
附表 3	在标准大气压下不同温度的水的密度	243
附表 4	不同海拔高度不同纬度的重力加速度	244
附表 5	物质的比热容	245

附表 6	液体的粘滞系数	246
附表 7	液体与空气接触时的表面张力系数	246
附表 8	几种常用温差电偶的温差电动势	247
附表 9	常用光源的谱线波长	248

绪 论

§ 1 普通物理实验课的任务和要求

物理学是一门建立在实验基础上的科学。物理概念的确立，物理规律的发现，都必须以严格的物理实验为基础，并受到实验的检验。由于物理实验在物理学的创立和发展中占有十分重要的地位，所以我们学习物理学，就应重视对物理学的基础——物理实验的学习。

一、普通物理实验课的地位和任务

在现代科学研究的各个领域里，物理学原理、物理实验方法和物理测量仪器均有着广泛的应用。所以，对于将要从事科学教育工作的非物理专业的学生来说，物理实验的知识和技能也是必不可少的。同时，一般地讲，物理实验所培养的科学求实精神和严肃认真的作风，对于从事任何一项工作都是有益的。而对于把普通物理实验课作为学生接受系统的实验技能训练开端的专业来说，学习本课程就有着更为重要的作用。

普通物理实验课教学的目的任务是：

1. 学习物理实验的基本知识、基本方法和基本技能。通过实验教学使学生了解实验的基本思想，掌握基本物理量

的测量方法，掌握常用仪器的调整和使用方法，培养学生正确记录、处理实验数据，分析判断实验结果和完成实验报告的能力。

2. 通过观察、测量和分析，把理论与实践相结合，以加深对物理概念和规律的认识。

3. 培养实事求是的科学态度和严肃认真的工作作风，养成良好的实验习惯。

二、普通物理实验课的三个学习环节

实验课的三个环节：实验预习、实验观测及完成实验报告反映了实验的基本过程。

1. 实验预习

预习是实验取得满意结果的基础，没有预习就不能进行实验。预习的主要任务是：

(1) 弄清原理。通过阅读教材了解实验的理论依据和条件，搞清实验的内容和方法。

(2) 了解仪器。了解仪器的工作原理、工作条件及操作规程。

(3) 写好预习报告。内容包括以下几项：

[目的] 要简单明了。

[仪器] 写出实验使用的主要仪器。必要时可对仪器原理、构造或使用方法作简单介绍。

[原理] 要写得简明扼要。一般应有实验所依据的基本原理和测量公式，并说明公式中各字母代表的意义及公式成立的条件。必要时还应有实验装置简图或电路(光路)图。

(4) 设计记录表格。记录表格中应有实验仪器的规格、

编号,实验的条件数据以及自变量和应变量等。要力求将实验内容化为数据表,用数据表体现实验的进程。

2. 实验观测

实验时,应根据实验内容和要求,认真调试仪器,严格遵守操作规则,仔细观察和测量有关的物理量,如实地记录测量数据和观察到的现象。两个人合做实验时,要分工负责,互相配合,注意锻炼协作能力。

实验记录是计算和分析实验结果的依据,必须以不能再改的形式记录在专用记录纸上。测量结束,数据记录需经教师审阅并签字认可。实验结束,将仪器用具整理好,然后才能离开实验室。

3. 实验报告

实验报告是实验工作的总结,对培养分析问题能力有重要作用,必须独立完成。

实验报告要简明扼要,语句通顺,字迹清楚,图表整洁。一般应有以下内容:

实验名称、实验日期及环境条件。

所在系科、年级、班组及姓名和学号。

[目的]

[仪器] 在写预习报告时完成。

[原理]

[数据记录] 附有教师签名认可的数据记录。

[数据处理] 根据实验要求,用适当的方法处理数据,计算测量结果,估算误差。

[讨论分析] 研究实验结果,分析误差来源,回答指定的问题。也可以谈个人的心得体会,提出改进实验的建议等。

§2 测量误差的基本知识

物理实验离不开测量，任何测量结果都不可能没有误差。那么，误差是怎么产生的？它对测量结果有何影响？误差的大小如何估算？实验结果应怎样表示？这些就是本节要讨论的基本问题。

一、测量与误差

1. 测量及其分类

所谓**测量**，就是将待测量与选定为标准的计量单位进行比较，从而确定待测量的大小(数值)。每一个可测量的物理量都可表示为一个数值与单位的乘积。

物理实验中的测量分为直接测量和间接测量两大类：

(1) **直接测量**：可以由仪器直接读出待测量数值的测量，称为**直接测量**。相应的物理量称为**直接测定量**。例如，用米尺测量单摆的摆长，用停表测量单摆的周期等。

(2) **间接测量**：需要依据待测量和某几个直接测定量的函数关系计算出结果的测量，称为**间接测量**。相应的物理量称为**间接测定量**。例如，用单摆测量重力加速度，可在直接测定了摆长 L 和周期 T 后，按 $g = 4\pi^2 L / T^2$ 计算出 g 值。物理量的多数是间接测定量。

直接测量按测量次数多少，可分为**单次测量**和**多次测量**。而在多次测量中又可根据条件(测量的方法、仪器、环境及观测者)有无变化，分为每次测量条件均相同的**等精度**

测量和测量过程中一个或几个条件发生变化的不等精度测量。

2. 测量误差

(1) 误差的定义

测量的目的是希望确定待测量的真值。所谓**真值**，就是某一物理量客观上所具有的真实数值。在任何一种测量中，由于测量条件的限制和影响，如实验方法不够完善，实验仪器分辨能力有限以及环境的不稳定等，物理量的测量值和真值总有一些差异。我们把测量值与真值之差，称为**测量误差**。

在误差必然存在的情况下，测量的任务是第一，尽量设法减小误差；第二，求出与待测量真值最接近的值（叫近真值），并估计近真值的可靠程度。

(2) 误差的表示——绝对误差和相对误差

设待测量的真值为 a ，测量值为 x ，则按误差的定义，有

$$\Delta = x - a. \quad (\Delta 2-1)$$

误差 Δ ，称为**绝对误差**。它与测量值同单位，表示测量值偏离真值的大小。

绝对误差反映了测量值与真值接近的程度，可以评价测量结果的可靠程度。但在比较绝对误差相同的两个测量结果的可靠性时，就有点优劣难分了。例如，用米尺测得两个物体的长度分别为 5.00 cm 和 50.00 cm，它们的绝对误差都是 0.05 cm。用绝对误差评价两个测量值，二者与真值接近程度一样。但是从误差占测量值的比例来看，显然后者 (0.1%) 小于前者 (1%)。也就是说后者比前者的可靠性更大些。

我们把绝对误差与真值之比，称为**相对误差**。通常用百

分形式表示，故又称为**百分误差**。具体表示为

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{a} 100\% . \quad (\triangle 2-2)$$

由于误差的存在，一般说来，真值是未知的。但在一些情况下，也可用理论值、公认值、标准值或近真值代替真值来估算误差。

3. 误差的种类

为了减小测量误差，就需要研究误差的性质、来源及其对测量结果的影响，以便采取适当的措施，求得最好的实验结果。一般按照误差的性质和来源，可将误差分为：系统误差、偶然误差和过失误差三大类。

(1) **系统误差**：在相同条件下，多次测量同一物理量时，符号和大小保持不变的，或按一定规律变化的误差，称为**系统误差**。系统误差的来源有以下几个方面：

方法(理论)误差：这是由于实验方法和理论的不完善，或实验条件不符合要求所产生的误差。例如，单摆周期公式成立的条件是摆角趋于零，这实际上是达不到的。

仪器误差：这是由于所用仪器不完善而产生的误差。例如，仪器刻度不准，等臂天平两臂不等长等。

环境误差：这是测量过程中外界环境(如温度、气压、电磁场等)的变化而产生的误差。

人身误差：这是观测者的生理特点和不良习惯所造成的误差。这种误差因人而异，并和观察者的心理状态有关。

如果找到了某个系统误差产生的原因，掌握了它的变化规律，就可采取适当的方法消除其影响，或对测量结果进行修正。

(2) 偶然(随机)误差: 在同一条件下多次测量同一物理量, 符号和大小变化不定的误差, 称为**偶然误差**或**随机误差**。

偶然误差产生的原因很多, 主要是由于某些偶然的或不确定的因素所致。一种是观测者不能严格控制的因素, 如环境温度、湿度及振动引起的微小变化, 以及物理量本身的变化等。另一种是判断不准, 如瞄准目的物及估读最小分度以下的数值时, 因受感官条件限制, 可能不断变化。

单个的偶然误差毫无规律, 但测量次数足够多时, 偶然误差在整体上服从统计规律。增加测量次数, 可以减小偶然误差, 但不能消除偶然误差。偶然误差对实验结果的影响, 可以用概率统计方法予以估算。

(3) 过失误差: 一般用测量时的客观条件不能解释为合理的误差, 称为**过失误差**。这种误差是由于观测者不能正确使用仪器, 实验方法不合理, 粗心大意, 测错、读错、记错数据所引起的, 所以也叫差错。由于过失误差明显歪曲了测量结果, 所以, 必须予以剔除。

总之, 三种误差性质不同, 来源不同, 对结果的影响也不同。在处理误差时, 通常的方法是消除或修正系统误差, 估计和计算偶然误差, 剔除过失误差。

测量结果的误差应是系统误差和偶然误差的总和。通常评价测量结果时讲到精密度高, 是指偶然误差小; 准确度高, 是指系统误差小; 精确度高, 是指系统误差和偶然误差都比较小。

二、直接测量结果偶然误差的估算

以下对偶然误差的讨论, 是在假定系统误差不存在的情

况下进行的。

1. 偶然(随机)误差的统计特性

前已述及, 偶然误差就一次测量而言没有任何规律, 但在多次测量中却具有统计的规律性。重复测量的次数越多, 这种规律性表现得就越明显。一般地说, 对一个物理量在同一条件下测量次数很多时, 偶然误差服从正态分布, 其统计特性有以下特点(参考图 $\Delta 2-1$):

(1) 有界性: 在一定条件下的有限次测量中, 误差的绝对值不会超过一定界限。

(2) 单峰性: 绝对值小的误差出现的次数比绝对值大的误差出现的次数多。

(3) 对称性: 绝对值相等的正、负误差出现的次数大致相等。

(4) 抵偿性: 相同条件下对同一量进行多次测量, 其误差的平均值随着测量次数的无限增加而趋于零。

图 $\Delta 2-1$ 中, Δ 为测量的偶然误差, $f(\Delta)$ 为误差分布函数。

2. 用算术平均值表示多次测量的结果

由于测量存在误差, 所以等精度测量得到的各测量值总是有差异的。那么, 怎样表示测量结果才能最好地接近真值呢?

设在同一条件下, 对某一物理量进行 n 次测量所得测量值为 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 相应的偶然误差为 $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$,

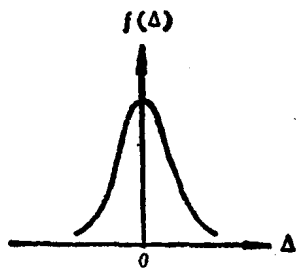


图 $\Delta 2-1$

其真值为 a 。由(Δ2-1)式求和, 得

$$\Delta_1 + \Delta_2 + \cdots + \Delta_n = (x_1 - a) + (x_2 - a) + \cdots + (x_n - a),$$

将上式展开整理, 并且等式两边同除以 n , 则有

$$\begin{aligned} \frac{1}{n} (\Delta_1 + \Delta_2 + \cdots + \Delta_n) \\ = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \cdots + x_n) - a, \end{aligned}$$

即

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - a = \bar{x} - a. \quad (\Delta 2-3)$$

式中, $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i$ 为误差的平均值, 量

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \cdots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\Delta 2-4)$$

是 n 个测量值的和除以测量次数 n 所得的结果称为**算术平均值**。

(Δ2-3)式表明, 算术平均值的误差等于误差的平均值。

由偶然误差的抵偿性可知, 随着测量次数的无限增加, 误差的平均值将趋于零。所以此时算术平均值 $\bar{x}$ 也将趋近真值 a 。由此可得如下结论: 用算术平均值表示多次测量结果最接近于真值, 通常称之为**近真值**。

3. 多次测量结果偶然误差的估算

一般把多次测量所得的一组测量值(数据), 称为**测量列**。测量列的算术平均值就是测量的**近真值**, 代表着多次测量的结果。近真值的可靠程度, 常用估算平均绝对误差和标准误差的方法来表示。