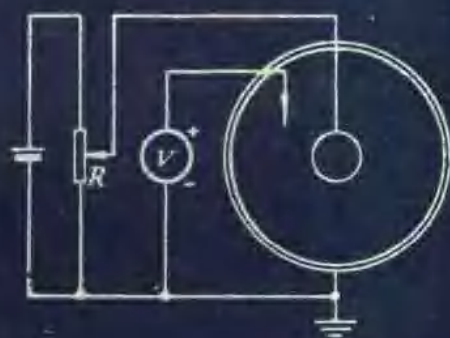


普通物理学

物理实验



山东科学技术出版社

普通物理学

物理实验

《物理实验》编写组

*

山东科学技术出版社出版

(济南市玉函路)

山东省新华书店发行

曲阜师范大学印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 16.75印张 320千字

1988年7月第1版 1988年7月第1次印刷

印数: 1—8000

ISBN 7—5331—0355—1/O·2

定价: 4.00元

前 言

《物理实验》是根据二年制师专物理实验教学大纲，在吸收同类教材的优点、结合编者多年实验教学经验、广泛征求师专、教育学院实验教师意见的基础上集体编写而成的。在编写过程中，尽力使实验内容和各师专、教育学院的仪器设备情况相符合。为增强适应性和留有选择余地，在实验课题、实验方法方面尽量多样化，共编入68个实验。为使学生深入掌握实验内容，我们在每个实验中编入了预习、讨论题以及介绍仪器性能和使用方法的附录。

为达到师专、教育学院物理专业的培养目标，将重要物理量的测定，重要规律的验证，基本电路的分析研究，常用仪器的介绍和使用作为主要内容，以加深对理论知识理解，掌握物理理论的实验基础和验证理论的正确方法，培养处理数据和对实验结果进行分析、判断的能力，使学生获得基本的实验技能。

本书适用于二年制师专、教育学院物理专业的师生，也可供师专、教育学院的化学、生物、数学等专业的师生做物理实验用。物理专业的函授生和进修教师也可选用。

参加本书组织和统编工作的有济南师专物理系王河，淄博师专物理系孙大典、杨实宁同志。执笔者有：菏泽师专全亚太，临沂师专王广太，胜利油田师专胥中兴，烟台师院王杰民，济南教育学院张修义，临沂师专胡炳智，淄博师专

杨实宁。

山东大学和山东师范大学物理系实验室为本书的编写提供了有关实验资料，各兄弟院校的实验教师对本书提出了许多宝贵的修改意见和建议，尤其是山东大学物理系孟尔熹教授对本书的编写自始至终给予大力指导和帮助，对全书进行了最后的审定，在此表示感谢。

由于我们水平所限，书中难免有不妥之处，敬请使用本书的同志提出宝贵意见，以便于继续修改，逐步完善，以期达到我们共同的要求和希望。

山东省师专物理教材编写组
教育学院

1987.12.15.

目 录

第一章 绪论

§1.1 误差和数据处理基础知识	1
§1.2 实验结果的图线法	29
§1.3 实验课的一般要求	34

第二章 力学实验

实验一 长度的测量	37
实验二 重力加速度的测定	48
实验三 固体和液体的密度测定	58
实验四 分析天平的使用	64
实验五 惯性秤	73
实验六 牛顿第二定律的验证	78
实验七 动量守恒定律的验证	85
实验八 杨氏弹性模量的测量	93
实验九 声速的测定	102
实验十 测刚体的转动惯量	113
实验十一 液体粘滞系数的测定	121
实验十二 弦振动的研究	127
实验十三 谐振动的研究	131
实验十四 伯努利方程的验证	141

第三章 热学实验

实验一 用混合法测固体的比热	148
----------------	-----

实验二	金属线胀系数的测定	153
实验三	冰的溶解热的测定	157
实验四	水的汽化热的测定	159
实验五	电热当量的测定	162
实验六	空气比热比的测定	165
实验七	气体三定律及气态方程验证	169
实验八	良导体导热系数的测定	173
实验九	不良导体导热系数的测定	178
实验十	沸点与压强关系的研究	181
实验十一	液体表面张力系数的测定	184

第四章 电磁学实验

实验一	电磁学实验基本知识训练	191
实验二	静电场的描绘	201
实验三	用伏安法测量二极管的特性	208
实验四	用惠斯通电桥测电阻	214
实验五	半导体热敏电阻特性的研究	221
实验六	灵敏电流计特性的研究	226
实验七	用电位差计测量电池的电动势 及内阻	237
实验八	改装电表	247
实验九	用电位差计校正电表	251
实验十	万用电表的设计、制作和定标	257
实验十一	用开耳芬电桥测量低电阻	274
实验十二	磁场的描绘	282
实验十三	霍耳效应	291
实验十四	冲击电流计特性的研究	298

实验十五	冲击电流计的应用·····	306
实验十六	示波器的使用 (一) ·····	323
实验十七	示波器的使用 (二) ·····	337
实验十八	电子束线的聚焦·····	345
实验十九	电子束线的偏转·····	358
实验二十	交流电桥·····	364
实验二十一	RLC 串联电路稳态特性的研究··	371
实验二十二	RLC 电路谐振特性的研究·····	383
实验二十三	RLC 串联电路暂态过程的研究··	390

第五章 光学实验

实验一	薄透镜焦距的测定·····	400
实验二	显微镜和望远镜放大率的测定·····	406
实验三	分光仪的调整和棱镜折射率的测定·····	413
实验四	平行光管的调整及应用·····	421
实验五	透镜组基点的测定·····	429
实验六	固体、液体折射率的测定·····	434
实验七	光的干涉现象·····	440
实验八	光栅衍射实验·····	444
实验九	用双棱镜测光波波长·····	447
实验十	测量单缝衍射的光强分布·····	451
实验十一	偏振光和旋光现象的观察和分析·····	455
实验十二	发光强度的测量·····	463
实验十三	迈克耳逊干涉仪的调整和使用·····	469
实验十四	用光电效应测定普朗克常数·····	477
实验十五	摄影技术·····	483

第六章 原子物理学实验

实验一	密立根油滴实验.....	492
实验二	夫兰克——赫兹实验.....	499
实验三	氦原子光谱.....	506
实验四	电子衍射.....	515
实验五	$G-M$ 计数管及放射性衰变的统计分布规律.....	520

第一章 绪 论

物理学是以实验为基础的科学。物理实验在物理学的发展中占有十分重要的地位。

实验教学是物理教学中的重要组成部分。在1977年高等学校理科物理教材会议上，确认普通物理实验是师专物理专业独立设置的一门专业课。

普通物理实验课的目的是：通过对实验现象的观察和判断，对实验结果的分析和总结，加深对物理基本概念和规律的认识；掌握基本物理量的测量原理和方法；根据误差要求合理选择与正确使用基本仪器；进行有效数字的运算和数据处理；对实验结果作出正确的分析和判断。同时，通过实验培养学生严肃认真、实事求是的科学态度和工作作风，使学生在实验技能上得到培养和锻炼，以求达到用实验的方法学习、研究物理现象和规律，掌握从事中学物理教学和初步科研能力所必备的实验素养和基本功。

§1·1 误差和数据处理基础知识

一、测量和误差

(一) 测量和测量种类

从事物理实验，不仅要认真观察物理变化过程，而且还要仔细地定量观测物理量的大小。测量前首先要确定一些基

本单位。测量，就是将待测量与这些规定为基本单位的物理量进行比较，其倍数即为待测物理量的大小，其单位即为与之比较的基本单位。

测量方法通常分为两类：一是直接测量，二是间接测量。所谓直接测量，就是使用某种测量仪器测某一物理量时，可以直接从仪器上给出待测物理量的数值大小。如用天平测物体的质量，用电流表测通过某用电器的电流强度等。所谓间接测量，就是应用直接测量法，测出与待测物理量有关的一些物理量，然后再应用物理公式或定律推算出待测物理量的大小。例如，应用单摆测某地的重力加速度等。

（二）误差与误差种类

对某些物理量进行直接测量过程中，由于实验理论的近似性，所用仪器灵敏度和分辨能力的局限性，实验环境的不稳定性及个人操作技术等因素影响，实测结果与客观存在的真值之间总有一定差别，这种差别称为测量误差，若用 N' 表示真值， N 表示某次测量值， ΔN 表示测量误差，则有

$$\Delta N = N - N' \quad (1-1)$$

误差存在于一切测量之中。实验中产生的误差大小，标志着我们的认识接近于客观真实的程度及实验技术水平的高低。误差通常可分为两类。

1. 系统误差

系统误差的特点，总是使测量结果向一个方向偏离，其误差值一定，或按一定规律变化。

（1）系统误差的来源有四个方面：

①仪器误差。这是由于仪器本身的缺陷或没有按规定条件安装，调整仪器造成的。例如，米尺刻度不均匀、卡尺没

有校准 0 点等。

②理论误差。这是由于实验原理所依据的公式本身具有近似性，或实验条件不能达到理论公式规定的要求等所产生的。例如，应用单摆周期公式测重力加速度时，曾假定偏角 θ 很小，只有当 θ 趋于 0 时公式才成立，但在实际测量时，这是做不到的。

③个人误差。这是由于观测者本人生理、心理特点或操作技术不佳造成的。

④环境误差。这是由于各种环境因素与要求的标准条件不一致所引起的误差。

(2) 如何发现系统误差：发现系统误差常用的方法有下面三种。

①对比测量法。

实验方法的对比 用不同的方法测同一物理量，看结果是否一致。例如，在某次测量重力加速度时，用单摆法测得 $g = 9.80 \pm 0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ，用自由落体法测得 $g = 9.77 \pm 0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ，两者结果不同，这就说明至少其中一个存在系统误差。

仪器的对比 例如，用两个电流表接入同一电路，读数不一致，说明至少有一个电流表不准。

改变测量方法 例如，测量长度时，可将 0 点选在不同刻度处，看各次所测物理量是否一致。

改变实验中参量的数值 例如，在串联电路中，使通入电流强度不断增大，将会发现电路中各用电器电压之和与总电压比较，是单调减少。

两人对比观测 可发现个人误差。

②理论分析法。

分析理论公式要求条件在测量中是否已被满足。例如，测量冰的熔解热时所建立的热平衡方程，只有测量系统处在完全绝热的条件下才是正确的，但实际测量过程不可能做到，因此，由平衡方程求出的熔解热数值必然因测量系统与外界有热交换而引起系统误差。

分析仪器要求条件是否已被满足。例如，标准电池电动势数值是在温度为 20°C 时给出的，若实验时室温不是 20°C ，但仍用 20°C 时给出的数值，待测电源的电动势的测量值将会因标准电池所要求的温度条件没有得到满足而产生误差。

③分析数据法。

在相同的条件下测得大量数据后，进行误差分析，若其误差总是使测量结果向一个方向偏离一定数值，或按一定规律变化，则有系统误差存在。

(3) 如何消除系统误差的影响：系统误差的特点是它的不确定性，因此不能用重复多次测量的方法去消除或减弱它的影响。要在测量中根据具体情况，采取相应措施才能消除其影响。下面介绍几种常用的消除系统误差的方法。

①消除产生误差的根源。例如，采用符合实际的理论公式，保证仪器装置良好以及在规定的使用条件下进行测量等。

②找出修正值，对测量结果进行修正。

③选择适当的测量方法抵消误差。

交换法 例如，用不等臂天平测质量时，将被测对象与砝码交换位置进行两次测量。若 m_1 、 m_2 分别表示两次测量值，用 x 表示要测量值，则有 $x = \sqrt{m_1 m_2}$ ，这样就消去了因天平不等臂而引起的系统误差。

代替法 在测量条件不变的情况下，用已知标准量取代被测量而不引起测量指标值的改变，于是被测量的值就等于这个已知标准值。例如，用惠斯通电桥测电阻即可采用此法。

倒号法 改变测量中某些条件进行两次测量，使两次测量的误差符号相反，再取其平均值作测量值，便可消除系统误差。例如，在霍尔效应实验中，改变通电流及磁场方向，测几次霍尔电动势，取其平均值作为霍尔电动势。

应当注意，以上各种方法都不能做到把系统误差消除净。所谓消除系统误差，只是把系统误差减少到某种程度，使之对测量结果的影响小到可以忽略不计而已。

2. 随机误差

在测量时，即使排除了产生系统误差的因素（实际上不可能），精心观测，但仍不可避免地存在一定误差。这种误差是由于个人的感官灵敏程度和仪器精密程度、周围环境的干扰、外界温度的变化、电磁场的影响、气流及机械振动等外来的不可预知的偶然因素的影响造成的。对同一物理量用同一仪器进行多次测量，将发现其数值在某一定值附近时大时小。这种误差称为随机误差，又叫偶然误差。

随机误差的特点是，它服从一定的统计规律，经过多次测量，测量值比真值大和测量值比真值小这两种情况出现的概率相等。测量结果中，其测量值与真值之差越小的出现的概率越大；与真值之差越大的出现的概率越小；测量值与真值之差很大的出现概率趋于0。在实际测量中，虽然随机误差不可避免，但是对同一物理量，在同一条件下进行多次测量，然后再求平均值，则可以消除或大大减少随机误差的影

响。所以，在实际测量中多用平均值表示测量结果。

必须注意，因仪器损坏、设计错误、操作不当或读错、记错、算错数据造成的错误不属随机误差。

二、测量结果的表示

由于一切实际测量都有误差，所以测量值和待测量的真值之间必然有误差。如果认为系统误差已经消除，测量次数无限多，根据随机误差的特点，求出各次测量值 $N_1, N_2, N_3, \dots$ 的平均值

$$\bar{N} = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \dots}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{\infty} N_i \quad (1-2)$$

$\bar{N}$ 极接近待测量的真值 N' ，即

$$N' = \bar{N} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{\infty} N_i \quad (1-3)$$

实际测量中 n 为有限值，故 $\bar{N}$ 只是近似的真值（称近真值），通常用近真值 $\bar{N}$ 表示结果。

用 $\bar{N}$ 表示测量结果时，还必须同时指出其误差的大小，故测量结果通常表示为

$$N = \bar{N} \pm \Delta N \quad (1-4)$$

例如测得某一物体的长度的结果

$$N = 3.13 \pm 0.04 \text{ cm}$$

应当注意，这个表示不应理解为物体的长度是 $3.13 + 0.04 \text{ cm}$ 或 $3.13 - 0.04 \text{ cm}$ ，也不应理解为物体的长度是在 $3.13 + 0.04 \text{ cm}$ 与 $3.13 - 0.04 \text{ cm}$ 之间，而是表示待测物体长度的真值在一定的概率下，在 3.13 cm 附近产生的误差范围为 $\pm 0.04 \text{ cm}$ 。

用绝对误差不能确切地表示出测量结果的近真程度。因此，常用相对误差或百分误差来表示测量结果的近真程度。若用 E 表示相对误差，则有

$$E = \frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta N}{N} \times 100\% \quad (1-5)$$

例如，测量两个物体的长度其结果为

$$l_1 = 1000\text{m} \pm 1\text{m}, \quad l_2 = 1.00\text{m} \pm 0.01\text{m},$$

比较它的绝对误差和相对误差

$$\because \Delta N_1 = 1\text{m} \quad \Delta N_2 = 0.01\text{m}$$

$$\therefore \Delta N_1 > \Delta N_2$$

$$E_1 = \frac{\Delta N_1}{N_1} = 0.1\% \quad E_2 = \frac{\Delta N_2}{N_2} = 1\%$$

$$\therefore E_2 > E_1$$

由以上结果可以看出，虽然 $\Delta N_1 > \Delta N_2$ ，但 $E_1 < E_2$ ，所以第一个测量结果较好。

三、直接测量的误差及计算

(一) 单次直接测量的误差估算

在实验中，由于条件不许可或准确度要求不高等原因，对一个物理量只进行一次测量，这时可根据实际情况，对测定值的误差进行合理的估算。一般情况下可以按仪器厂出厂检定书或仪器上直接注明的仪器误差作为单次测量误差。如果仪器没有注明误差，可取仪器最小刻度的1/2或1个最小刻度单位作为单次测量误差。

(二) 多次测量的误差估算

为了讨论方便，设系统误差已经消除。多次测量误差估算常采用以下几种方法：

1. 算术平均误差

设各次测量值为 N_i ，平均值为 $\bar{N}$ ，误差为 ΔN_i ， $i=1, 2, 3, \dots, n$ ，则算术平均误差为 $\Delta \bar{N}$ ，其定义为

$$\begin{aligned}\Delta \bar{N} &= \frac{1}{n} (|N_1 - \bar{N}| + |N_2 - \bar{N}| + |N_3 - \bar{N}| + \dots \\ &\quad + |N_n - \bar{N}|) \\ &= \frac{1}{n} (|\Delta N_1| + |\Delta N_2| + |\Delta N_3| + \dots + |\Delta N_n|) \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta N_i| \quad (1-6)\end{aligned}$$

根据随机误差的特点，各次测量误差在用上式计算中必须取绝对值，否则 $\Delta \bar{N}$ 将为0。 $\Delta \bar{N}$ 有时又称为平均绝对误差，简称绝对误差。

2. 标准误差 (均方根误差)

用 σ 表示标准误差，可以证明

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2}{n-1}} \quad (1-7)$$

3. 平均值标准误差

具有实际意义的不是标准误差，而是平均值标准误差，若用 $\sigma_{\bar{N}}$ 表示平均值标准误差，可以证明

$$\sigma_{\bar{N}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2}{n(n-1)}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1-8)$$

例如，对某一长度测量10次，结果如下：

$N_i = 63.59, 63.58, 63.55, 63.54, 63.55,$

63.59, 63.54, 63.53, 63.59, 63.57cm将测量结果用绝对误差、平均值标准误差表示出来。

$$\begin{aligned}
 (1) \text{ 由 } \bar{N} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i \\
 &= \frac{1}{10} (63.59 + 63.58 + 63.55 + 63.54 + 63.55 \\
 &\quad + 63.59 + 63.54 + 63.53 + 63.59 + 63.57) \\
 &= 63.56(\text{cm})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (2) \Delta \bar{N} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |N_i - \bar{N}| \\
 &= \frac{1}{10} (0.03 + 0.02 + 0.01 + 0.02 + 0.01 + 0.03 \\
 &\quad + 0.02 + 0.03 + 0.03 + 0.01) = 0.02(\text{cm})
 \end{aligned}$$

由于随机误差本身是一个估计值，所以其结果一般取1~2位数字，为简单起见，这里只取一位。

$$\begin{aligned}
 (3) \sigma_{\bar{N}} &= \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{10(10-1)} (0.03^2 + 0.02^2 + \cdots + 0.01^2)} \\
 &= 0.007 \approx 0.01(\text{cm})
 \end{aligned}$$

(4) 由 $N = \bar{N} \pm \Delta N$ 可知

$$N_{\bar{N}} = 63.56 \pm 0.02(\text{cm})$$

$$N_{\sigma_{\bar{N}}} = 63.56 \pm 0.01(\text{cm})$$

由此可见，对同一测量数据，采用不同的误差表示时所得结果不同。

四、间接测量的误差计算