高 等 院 校 教 材
Textbook of University

大学物理实验

冯朝岭　　潘建斌　主编

电子科技大学出版社

书　名：大学物理实验
作　者：冯朝岭
出版社：电子科技大学出版社
出版日期：2004
原书定价：18.00
ISBN：7-81094-546-7 / 04-33

内 容 简 介

本书是根据高等农林院校的特点，结合面向 21 世纪物理实验课程教学改革成果编写而成。所有实验均采用国内较先进的仪器。根据课程教学的基本要求，全书分为四章，包括测量误差及数据处理、基础实验、综合提高实验、设计性实验，涵盖了力学、热学、电学、光学和近代物理共 35 个实验项目。部分实验给出了两种实验方法，以利于师生选择。每个实验介绍有实验原理、实验仪器装置、实验内容（实验方法）以及实验结果的表示，并附有思考练习题。书后附有常用物理参数表。为教师工作和学生学习提供了方便。

本书可作为高等院校各专业的普通物理实验教科书，也可作为其他从事物理实验教学的工作人员的参考读物。

前　言

物理实验是高等学校学生进行科学实验基本训练的一门重要基础课，也是现代技术人员必备的基础知识技能。物理实验是学生进入大学后接受严格科学训练的开端，对提高学生的实验技能和掌握科学实验方法、对培养学生独立工作的能力和理论联系实际的科学作风，都具有重要的先导作用，有利于学生后续课程的学习。为提高物理实验课的教学质量和教学效果，多年来，编者在物理实验课程的教学实践中，结合教育部面向 21 世纪物理课程系列改革思路，从教学思想、教学内容、教学方法等方面，进行了一系列探索和改革。本书是根据高等农林院校物理实验课程教学基本要求，结合国内较为先进的实验仪器，在历届物理实验教材的基础上，总结长期的教学实践，反复修改、编写而成的。

本书内容有测量误差及数据处理、基础实验、综合提高实验、设计性实验共 35 个实验项目，并有内容丰富的物理参数附表，涉及普通物理学中力学、热学、电学、光学和近代物理等各个方面。本书内容丰富，深入浅出，全书均采用国际单位制，所用名词术语均以全国自然科学名词审定委员会 1988 年公布的基础物理学名词为准。适合高等农、林院校学生使用，也可供教师和技术人员参考。

本书由冯朝岭和潘建斌任主编，贾芳、李辉、李聪、曹晴、郑丹和贾树恒任副主编，陈志伟、赵安庆、袁超、谢瑞生、马斌强等参加了本书的编写工作。

全书由冯朝岭统稿并绘制了全部插图，河南农业大学电子信息科学与技术系的全体老师对本书的编写给予了大量的支持并提出了宝贵的意见。在本书的编写过程中，物理实验室谢瑞生老师和马斌强老师做了大量的后勤保障工作，在此一并致谢。

由于我们的学识和教学经验所限，书中缺点和错误在所难免，恳请使用本书的教师和学生给予批评指正。

编者
2004 年 7 月

目　　录

绪　　论

物理学是一门理论与实验紧密结合的学科。它是研究自然规律、认识客观世界、改造客观世界的基本手段。回顾物理学发展史，任何物理新概念的确立、新规律的发现，都须以严密的物理实验为依据，许多重要的规律都是在总结大量实验事实的基础上得到的。即使在今天，理论物理虽说对实验物理的预见和指导起着重要作用，但理论规律和结论仍须受到实践的检验。所以要学好物理学，就应当学习物理实验的理论和方法，并在一定程度上掌握物理实验的基本技能。

1. 物理实验课程的地位和基本任务

物理实验是对理科、工科、农科学生进行科学实验基本训练的一门独立的必修课，是学生进入大学后接受系统实验方法和实验技能训练的开端，也是培养学生实验技能和科学素质的基础。

在农林院校开设物理实验课，力求达到以下目的：

（1）通过对物理现象的观察、分析和对物理量的测量，学习物理实验的相关知识，加深对物理概念和原理的理解，培养实事求是的工作态度和作风。

（2）培养和提高学生的实验技能，主要包括以下几方面的任务：

① 通过预习实验内容及阅读相关资料、组织实验，提高查阅和运用资料的能力，并能概括出实验原理和方法的要点。

② 通过正确地使用仪器，了解它的原理、结构和使用方法，掌握基本物理量的测量方法和实验操作技能。

③ 培养和提高学生从事科学实验的初步能力，包括实验数据处理及误差分析的能力、获得准确实验结果的能力。

④ 通过正确地记录及科学的处理实验数据，撰写合格的实验报告，提高科学论述能力、表达能力以及自行设计和完成某些不太复杂实验的能力。

2. 实验课的基本程序与要求

物理实验课的基本程序一般分为三个阶段：课前预习、进行实验和课后撰写实验报告。

（1）课前预习：预习的目的在于实验之前对实验内容有一个总体上的了解。通过预习应当弄清以下问题：

① 实验的理论依据和条件；

② 实验仪器的选取；

③ 所用仪器的工作原理及操作方法；

④ 实验过程的注意事项；

⑤ 记录与处理实验数据的方法；

⑥ 对实验结果的预测。

在此基础上，写出预习报告，其主要内容包括：

① 实验名称及要求；

② 实验原理、计算公式及其使用条件、电路图、光路图和装置简图等；

③ 实验所需仪器的名称、数量及使用时的注意事项；

④ 实验步骤；

⑤ 合理的实验数据记录表格。

（2）实验操作：实验操作是实验程序中的关键环节。学生须遵守实验室规则，听从教师指导，熟悉各个仪器的使用方法及操作规范，认真完成实验。

实验操作应注意以下几点：

① 按教材中规定的实验程序和步骤进行实验操。这是因为，教材中的实验步骤是根据实验原理和具体仪器设计得出的，它是获得正确数据和结果的最佳实验方案之一。

② 根据实验的具体要求，依据有效数字法则，认真记录实验数据，绝不允许伪造或抄袭他人数据。

③ 为养成良好的工作作风，在做完实验后，务必将所用仪器设备恢复原位，关闭电源和水源，做好实验室清洁工作，并将原始数据单交教师审阅签字后方可离开实验室。

（3）撰写实验报告：撰写实验报告是对一次实验的全面总结，也可作为科学报告或论文写作的基本训练。所以在做完实验后，应对实验数据进行认真的处理和分析，作出合理结论，最后才能写出完整的实验报告。具体要求如下：

① 数据处理：实验结果是对大量数据的总结和升华，只有一丝不苟地处理实验数据，才能实现从感性认识到理性认识的飞跃。所以，在数据处理过程中，首先，按照误差理论和有效数字运算规则整理数据、列表或绘出曲线；然后，计算和分析实验数据的特点和规律以及由此而得出的结论；最后，分析误差的来源，并讨论存在的问题和改进方法。

② 撰写实验报告：完整的实验报告应包括：实验目的、实验仪器（仪器的名称、性能及精度）、实验原理和方法、实验数据记录及处理（包括图表）、误差分析及问题讨论。

在撰写实验报告时，应力求报告内容简单明了，用语确切，文字通顺，字迹工整。还应在报告的开头注明实验时间、实验者姓名。经教师签名的原始数据记录单也应作为实验报告的附件一起上交。

第一章　测量误差与数据处理

要定量研究自然现象所遵从的规律，必须对大量的实验数据进行测定、记录和分析处理。数据处理及误差分析是科学实验的重要组成部分，贯穿于每个实验之中，是培养学生实验能力和提高科学素质不可缺少的学习内容和训练环节。测量误差及数据处理的理论，不仅要在每个实验中用到，而且是今后从事科学研究必须掌握的基础知识和基本技能。

但由于测量误差和数据处理的内容牵涉面广，不可能在一两次学习中掌握，因此在这一理论的学习中，应结合自己已经掌握的知识，对提到的问题先有一个初步的了解，然后针对每个具体实验再详细学习有关内容，并通过运用加以掌握。

§1　测 量 误 差

测量是物理实验的基础。对每个物理现象的研究、物质特性的认识、物理原理的验证都要通过测量来实现。一般说来，测量必须借助于一定的仪器，采用一定的方法，在人为控制的环境下由实验者来完成。但是在实际测量中，往往由于测量仪器的限制，测量依据的理论公式应满足的条件不可能绝对保证，加之实验技术、环境条件等因素的影响，测量不可能无限制的精确。测量值与被测量的真实值（简称真值）之间总是存在着差异，即测量不可避免地会产生误差。因此，分析测量中可能产生的各种误差，尽可能地消除其影响，并对测量结果中未能消除的误差作出准确估计，是所有科学实验必不可少的任务。本节主要介绍误差的概念、特点、产生的原因和估算方法等有关知识。

§1.1　误差的概念

测量误差就是测量结果与被测量的真值（或约定真值）间的差值。测量误差的大小反映了测量结果的准确程度。测量误差可以用绝对误差表示，也可以用相对误差来表示。

$$\text{绝对误差} = \text{测量结果} - \text{被测量的真值}$$

$$\text{相对误差}E = \frac{\text{测量值的绝对误差}}{\text{被测量的真值}} \times 100\%$$

事实上，被测量的真值是未知的。人们对客观物质世界建立的“量”的概念，也是通过各种测量手段和方法了解到其测量值的，因而以上关于误差的定义还不能直接用于实际中。于是，人们便依据测量学原理和数理统计学的理论建立了各种误差理论，用来科学地估算测量误差。

§1.2　误差的分类

从研究误差的需要出发，根据误差产生的原因和性质的差异，可将测量中的误差分为系统误差和随机误差。

1. 系统误差

在相同的实验条件下，对同一物理量进行多次测量中，如果出现的误差大小与正负保持不变，或按确定的规律变化（递增、递减、周期性等），这种测量误差称为系统误差。系统误差的

种类很多，按其来源可分为：

（1）方法误差：它是由于测量所用理论公式的近似性及公式中的各参数确定的近似性而引起的误差。产生这一误差的原因在于测量过程中存在着实际上起作用且不能忽略的因素，如空气的阻力和浮力、电表的内阻、连线电阻的压降等，这些因素在推导测量结果的表达式中没有得到反映或被忽略，从而引起了实验误差。

（2）条件误差：由于外界环境因素（如温度、湿度、压力、振动、电磁场等）与要求的标准状态不一致，使测量装置的指示量值发生变化，以及观察者在生理上的视觉分辨能力、感觉器官的生理变化、反映速度和固有习惯引起的误差。

（3）仪器误差：由于测量设备（包括测量工具、仪器、量具等）本身不完善，或由于测量设备的安装、布置、调整不得当（例如，米尺刻度不准确、螺旋测微计有空行程、仪表调零不准等）而产生的误差。

由此可见，系统误差的出现都具有某种确定的规律性。但是，这种规律对不同的实验测量却是不同的，只能针对每一具体情况采用不同的处理方法。这就要求实验者对研究对象的特殊规律要有充分的掌握，同时实验者在实验经验、实验技巧和理论水平等方面应有相当的水平，并且使所用仪器设备的性能要处于良好的工作状态。一般地说，处理系统误差是比较困难的，甚至会在自觉或不自觉中被遗漏。

2. 随机误差

随机误差是由于不确定因素引起的误差。它的特征表现为，就某一次测量来讲，其误差值的大小和正负都带有随机性，难以事先确定。但对大量次数的重复测量来说，测量的结果却遵从一定的统计规律。这种误差产生的原因是多方面的，例如，实验条件和环境因素的微小的、无规则的起伏及其实验者生理分辨本领、实验技能的熟练程度等因素产生的误差。

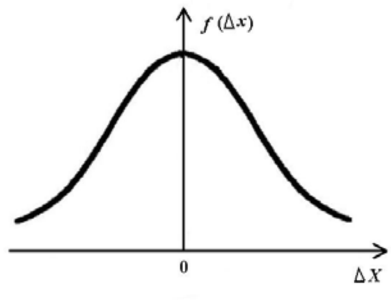

图 0-1 随机误差的正态分布

随机误差可以根据统计理论进行处理。大量的实验事实及统计理论都证明，当随机误差由许多微小的、彼此独立的随机因素决定时，其误差分布服从正态分布规律。主要特征表现在以下四个方面：

（1）有界性：绝对值很大的误差出现的概率为零，即误差的绝对值不会超过一定的界限。

（2）单峰性：绝对值小的误差出现的概率比绝对值大的误差出现的概率大。

（3）对称性：绝对值相等的正误差和负误差出现的概率接近相等。

（4）抵偿性：由于绝对值相等的正、负误差出现的概率接近相等，因而随着测量次数的增加，随机误差的算术平均值将趋于零。

抵偿性是随机误差最本质的统计特征。一般地讲，凡是具有抵偿性的误差，原则上可以按随机误差处理。

根据随机误差的分布特征，我们知道：（1）在多次测量中，正、负随机误差大致上可以相互抵消，因而多次测量的算术平均值表示测量结果可以减小随机误差的影响；（2）测量值的分散程度直接体现随机误差的大小，测量值越分散，测量的随机误差就越大。因此，只有对随机误差作出估算才能表示出测量的精密度。

§2　随机误差的估算

§2.1　直接测量量的误差估算

直接测量是以一个未知的物理量与作为标准的量值直接比较而得出未知物理量量值的测量方法。例如，用米尺测量某一物体的长度；用秒表测量某一过程的时间；用温度计测量某一系统的温度，都是直接测量。其特点是，由实验测得的数据直接确定被测物理量的量值。

§2.2　直接测量的算术平均绝对误差

设在实验中对某一物理量 x 进行了 n 次等精度的重复测量，获得了 n 个数据，分别为

$$x_1, x_2, \cdots, x_i, \cdots, x_n$$

若该物理量的真值为 R，则第 i 次的测量误差为

$$\Delta_i = x_i - R \tag{1a}$$

那么被测量 x 的算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \tag{1b}$$

$\bar{x}$ 虽然可以作为测量值，但是它不是真值 R，要确定 $\bar{x}$ 与 R 之间的偏离程度，需要从计算各个测量值 x_i 偏离真值 R 的大小着手，最简单的方法是用算术平均的方法估算误差。如前所述，在 n 次测量中，每次测量产生的误差为 σ_i，则测量的算术平均绝对误差为

$$\overline{\Delta}_x = \frac{1}{n}\left(\left|\Delta_1\right| + \left|\Delta_2\right| + \Lambda + \left|\Delta_n\right|\right) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\Delta_i\right| \tag{2}$$

由于随机误差具有正负误差相抵偿的性质，所以用误差的平均值定义算术平均绝对误差。测量的结果通常表示为

$$x = \bar{x} \pm \overline{\Delta}_x \tag{3}$$

算术平均绝对误差 $\overline{\Delta}_x$ 与算术平均值的百分比

$$E = \frac{\overline{\Delta}_x}{\bar{x}} \times 100\%$$

叫做平均相对误差。

直接测量的算术平均绝对误差的计算较为简单。从理论上讲，只有当测量次数 $n \to \infty$ 时，被测量的平均值才能趋于真值。因此，在实际测量中有限次测量误差的估算的物理意义并不十分明确。

§2.3　直接测量的标准偏差

如果用各次测量误差平方和的平均值来表示平均误差的平方，可得

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - R\right)^2}\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta_i{}^2} \tag{4}$$

其中 S_x 称为一组测量值 x_i 的标准偏差。

实际上，真值 R 是未知的，所以不能从公式（1）直接求出 Δ_i 的数据，因此式（1）可以改写为 $\Delta_i = x_i - \bar{x}$（其中 $\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$），由式（2）、（3）及标准偏差的定义可以证明

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{5}$$

上式中的 S_x 称为标准偏差。其值可通过各次测量值与平均值 $\bar{x}$ 之差来计算，当值 S_x 较小时，测量的数据比较集中，说明测量的精度高，测量较为可靠；当 S_x 较大时，数据较分散，测量的精度低，测量值不大可靠。

应该指出，S_x 表示的是一组测量值的偏差，它只反映获得算术平均值的那组数据 x_i 的离散性，而不能表示平均值偏离真值的情况。$\bar{x}$ 的离散性是平均值本身的波动。离散程度可以用平均值的标准偏差 S（$\bar{x}$）来表示 $\bar{x}$ 的离散程度，其表达式可以证明为

$$S(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \tag{6}$$

一般情况下，S_x 的值愈大，S（$\bar{x}$）也愈大，但 S（$\bar{x}$）随测量次数的增加而减小。

§2.4　直接测量结果的表示

对于一列在相同条件下等精度测量的结果，可以表示为

$$x = \bar{x} - S(\bar{x}) \tag{7}$$

我国和世界上许多国家在科学中都使用“标准偏差”，而在工程技术报告中一般使用“极限误差”。由误差理论可知随机误差绝对值大于 $3S_x$ 的概率很小，一般测量中，测量次数很少超过几十次，可以认为绝对值大于 $3S_x$ 的误差是不可能出现的。通常这种误差称为“单次测量的极限误差”，用 $S_{\lim}x$ 来表示，即

$$S_{\lim}x = \pm 3S_x \tag{8}$$

测量列算术平均值极限误差的计算方法与单次测量相同，但用算术平均值的标准偏差 S（$\bar{x}$）代替式（8）中的 S_x，则有

$$S_{\lim}\bar{x} = \pm 3S(\bar{x}) \tag{9}$$

当用极限误差表示测量结果时，应具有下列的形式：

$$x = \bar{x} \pm 3S(\bar{x}) \qquad （10）$$

§2.5　间接测量量的误差估算

当未知的物理量与几个参量之间存在一定的函数关系时，应先直接测量这些参量，然后带入函数式中进行计算，从而求得未知物理量的测量值，这种测量值称为间接测量量。

在很多实验中，我们进行的测量都是间接测量。间接测量的结果是由直接测量的结果根据一定数学式计算出来的。

§2.6　间接测量的误差传递规律

一般而言，直接测量量的标准偏差比该量的平均值小得多，也可以把它看成是直接测量量的微分，因此可用微分法来确定间接测量量的误差。

设有函数式 $y=f$（z_1，z_2，…，z_m），其中 z_1，z_2，…，z_m 为直接测量量，若用 Δ_{z_1}，Δ_{z_2},Λ，Δ_{z_m} 分别代表 z_1，z_2，…，z_m 的随机误差，而相应的引起 y 的随机误差不确定度为 Δ_y，则有

$$y + \Delta_y = f(z_1 + \Delta_{z_1},\ z_2 + \Delta_{z_2}, \Lambda,\ z_m + \Delta_{Z_m})$$

将上式按泰勒级数展开（略去高次项），得

$$\Delta_y = \left|\frac{\partial f}{\partial z_1}\right| \overline{\Delta}_{z_1} + \left|\frac{\partial f}{\partial z_2}\right| \overline{\Delta}_{z_2} + \Lambda + \left|\frac{\partial f}{\partial z_m}\right| \overline{\Delta}_{Z\,m} \qquad （11）$$

显然，对于和差函数，用上式来估算误差比较方便。如 $y = A + B$，则 $\Delta_y = |\Delta A| + |\Delta B|$，$\dfrac{\Delta_y}{y} = \dfrac{|\Delta_A + \Delta_B|}{y}$，对于积商函数，就显得不那么方便了。实用中，常先取自然对数，再求全微分，得到相对误差，然后按 $\Delta_y = \left(\dfrac{\Delta_y}{y}\right) y$，求出 Δ_y。根据标准偏差的定义，当函数中各 z_i 的误差之间彼此无关、相互独立时，则 y 的标准偏差 S_y 等于各分量的标准偏差与相应偏导数的乘积的平方和的平方根，即

$$\Delta_y = \sqrt{(\frac{\partial f}{\partial z_1})^2 {S^2}_{z_1} + (\frac{\partial f}{\partial z_2})^2 {S^2}_{z_2} + \Lambda + (\frac{\partial f}{\partial z_m})^2 {S^2}_{z_m}} \qquad （12）$$

上式即为有独立变量的任意函数的标准偏差传递公式。它适用于和差形式的函数，对于积商形式的函数，在大学物理实验中常用下式来化简计算其相对标准偏差

$$\frac{\Delta_y}{y}=\sqrt{(\frac{\partial \ln f}{\partial z_1})^2(\Delta_{z_1})^2+(\frac{\partial \ln f}{\partial z_2})^2(\Delta_{z_2})^2+(\frac{\partial \ln f}{\partial z_3})^2\Delta_{z_3}+\Lambda} \tag{13}$$

表 1　　常用函数的误差传递公式

函数形式	算术平均误差	标准偏差 $S(\bar{y})$	相对标准偏差 E_y
$y=\sum_{i=1}^{n}a_i x_i$	$\sum_{i=1}^{n}a_i\Delta x_i$	$\sqrt{\sum_{i=1}^{n}a_i^2 s_x^2}$	$\frac{1}{y}\sum_{i=1}^{n}a_i^2 s_x^2$
$y=\ln x$	$\frac{\Delta x}{x}$	$\frac{S_x}{x}$	$\frac{1}{y}\frac{S_x}{x}$
$y=ax_1\cdot x_2$	$ax_1\Delta x_2+ax_2\Delta x_1$	$y\sqrt{(\frac{S_{x_1}}{x_1})+(\frac{S_{x_x}}{x_2})}$	$\sqrt{(\frac{S_{x_1}}{x_1})+(\frac{S_{x_2}}{x_2})}$
$y=a\frac{x_1}{x_2}$	$\frac{\Delta x_1\cdot x_2+ax_1\Delta x_2}{x_2^2}$	$y\sqrt{(\frac{S_{x_1}}{x_1})+(\frac{S_{x_x}}{x_2})}$	$\sqrt{(\frac{S_{x_1}}{x_1})+(\frac{S_{x_2}}{x_2})}$
$y=ax^n$	$anx^{n-1}\Delta x$	$y^n\frac{S_x}{x}$	$n\frac{S_x}{x}$
$y=e^{ax_1+bx_2}$	$y(a\Delta x_1+b\Delta x_2)$	$y\sqrt{a^2S_{x_1}+b^2S_{x_2}}$	$\sqrt{a^2S_{x_1}+b^2S_{x_2}}$
$y=x^{1/n}$	$y\frac{1}{n}\frac{\Delta x}{x}$	$\frac{1}{n}\frac{S_x}{x}$	$\frac{1}{n}\frac{S_x}{x}$
$y=\sin x$	$\cos x\cdot\Delta x$	$\lvert\cos x\rvert S_x$	$\lvert\tan x\rvert S_x$
$y=\cos x$	$\sin x\cdot\Delta x$	$\lvert\sin x\rvert S_x$	$\lvert\tan x\rvert S_x$

在一些简单的测量问题中也可以采用绝对值合成的方法，即

$$\Delta_y=\left|\frac{\partial f}{\partial z_1}\Delta z_1\right|+\left|\frac{\partial f}{\partial z_2}\Delta z_2\right|+\left|\frac{\partial f}{\partial z_3}\Delta z_3\right|+\Lambda \tag{14}$$

$$\frac{\Delta_y}{y}=\left|\frac{\partial \ln f}{\partial z_1}\Delta z_1\right|+\left|\frac{\partial \ln f}{\partial z_2}\Delta z_2\right|+\left|\frac{\partial \ln f}{\partial z_3}\Delta z_3\right|+\Lambda \qquad (15)$$

这种合成方法所得合成结果一般偏大，与实际不确定度合成情况相比可能有较大出入。但因其比较简单，在项数较少时，可作为简化处理方法。但在科学实验中一般都采用方和根合成来估计间接测量结果的不确定度，也叫做标准偏差。

§ 3　有效数字及其运算法则

如前所述，既然任何实验结果都存在着误差，那么直接测量各待测量时，应取几位有效数字？在按函数关系计算间接测量结果的数值时，应保留几位有效数字？这都是不能随意确定的，必须采用有效数字及其运算法则，这是大学物理实验课的基本要求之一，也为将来科学实验的数据处理打下必要的基础。

§ 3.1　有效数字

在测量中，凡是用仪器和量具直接读出的数字（包括最后一位估读数字）都称为有效数字，它只允许测量值的最后一位出现误差。例如用最小分度为毫米的直尺，测得型钢的宽度是 12.35 cm，这个读数的前三位“12.3”是直接从直尺上读出的可靠数字，而末位的“5”则是估计的读数，所以读取上述数字至少有 ± 0.1 mm 的误差。

§ 3.2　有效数字的性质

1. 有效数字的多少与被测对象的大小有关。

2. 有效数字的多少与测量仪器的精密度有关。例如，测量一平板玻璃的厚度，用米尺测得为 2.34cm，是三位有效数字（读到 0.01 cm）；用游标卡尺测得为 2.342 cm，是四位有效数字（读到 0.001 cm）；用螺旋测微器测得 2.3425，是五位有效数字（读到 0.0001 cm）。可见，仪器的精确度愈高，测量同一被测对象，所得的有效数字也就越多。

3. 有效数字的多少还与测量的方法有关。如用单摆周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$ 测量某地的重力加速度 g，应使用米尺和秒表分别测量摆长 L 和周期 T。用秒表测量一物体运动的时间时，测量误差主要由启动和制动秒表时手的动作与目测协调的情况而定，一般估计启动和制动时各有 0.1s 误差，总的误差为 0.2s，测量单摆周期时，如果每次只测量一个周期，得 T 为 1.9s。为了减小相对误差，提高测量的相对精度，我们可以连续测量 100 个周期，如果 $100T$ =198.7s，那么，一个周期为 1.987s。可见，采用了不同的测量方法，同时测量周期 T，后一种测量的有效数字是四位，而前一种测量方法的有效数字只有两位。

§ 3.3　关于有效数字的几点说明

1. 在十进制中，有效数字与小数点的位置无关。如型钢的宽度为 12.35 cm，也可以表示为 0.123 5 m 或 0.000 123 5 km，它们的有效数字都是四位。

2. 出现在数值中间的“0”和末尾的“0”都是有效数字。如用米尺测得一物体的长度为 1.068 0 m，此数值中间的“0”和末尾的“0”都是有效数字。其中末尾的“0”，表示物体的末端与尺上的刻线“8”正好对齐，估读数为“0”，这个“0”不可随意丢弃。

3. 表示特大数值与特小数值，应采用科学记数法。特大数值与特小数值采用将有效数字乘以 10 的幂指数来表示，称为科学记数法。一般规定在小数点前只取一位。如 369.5 m 用 mm 作单位时，应写为 3.695×10^5 mm，而不能写为 369 500 mm，因这样写扩大了原来的有效数字。