高等医学院校教材

医学物理实验教程

主编 杨海珉 刘美玉
主审 赖树云

云南大学出版社

高等医学院校教材

医学物理实验教程

（供临床医学、口腔、预防医学、法医、
麻醉、药学、检验、影像、护理、眼视光等专业用）

主编　杨海珉、刘美玉
主审　赖树云
编委　（按姓氏笔画排列）
马德理　刘美玉　陈　平
吴　杰　时　遵　杨海珉
李维波　周冠英　周建莉

云南大学出版社

图书在版编目（CIP）数据

医学物理实验教程/杨海珉，刘美玉主编．—昆明：
云南大学出版社，2005
ISBN 7－81068－070－6

Ⅰ．医… Ⅱ．①杨…②刘… Ⅲ．医用物理学—实验—医学院校—教材 Ⅳ．R312－33

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2005）第 067727 号

内容简介

本书是根据卫生部颁发的《高等医学院校医用物理学教学大纲》的要求，结合昆明医学院物理教研室多年来医用物理实验教学改革的实践而编写的。

全书共收入力学、电学、光学方面的医学物理实验十三个，其中有四个实验是结合医学新设计的，有四个实验是结合医学改进过的，在保持物理实验课的基础性的同时，加强了它的医用性，同时还引入了计算机、回归分析等与现代科学研究接轨的技术和理论，是一本医用性较强，又不失基础性的、具有一定特色的医学物理实验教材。

本书可供高等医学院校临床医学、口腔、预防医学、法医、麻醉、药学、检验、影像、护理、眼视光等专业作实验教材使用，也可作为医学工作者的参考书。

医学物理实验教程
主编　杨海珉　刘美玉
*
云南大学出版社出版发行
（云南大学校内）
昆明银河印刷厂印装
*
开本：787×1092　1/16　印张：6　字数：146 千
1999 年 6 月第 1 版　2005 年 6 月第 3 次印刷
*
ISBN 7－81068－070－6/O・3　**定价：** 12.80 元

前　　言

本书是根据卫生部颁发的《高等医学院校医用物理学教学大纲》的要求，结合昆明医学院物理教研室多年来医用物理实验教学改革的实践而编写的。

全书共收入力学、电学、光学方面的医学物理实验13个，在保持物理实验课的基础性的同时，加强了它的医用性，其中“人体若干参数的测量及回归分析”、“人耳听阈曲线的测定”、“膜电位的测量”、“测量人体阻抗的频率特性”等四个实验是结合医学新设计的，“A型超声诊断仪的使用”、“液体粘度的测定”、“电流场模拟静电场的研究”、“薄透镜焦距的测定”等四个实验是结合医学改进过的，同时还引入了计算机、回归分析等与现代科学研究接轨的技术和理论，加强了对学生分析问题、解决问题的能力的培养和基本实验技能的训练，是一本医用性较强又不失基础性的、具有一定特色的医学物理实验教材。

本书可供高等医学院校临床医学、口腔、预防医学、法医、麻醉、药学、检验、影像、护理、眼视光等专业作实验教材使用，也可作为医学工作者的参考书。

该书1999年6月第一版第一次印刷，并于1999年9月至今先后在昆明医学院1999级、2000级、2001级的临床医学系、口腔系、预防医学系、法医系、药学系及麻醉、检验、影像、护理等专业的本科生的医用物理实验教学中使用，同时还在昆明医学院海源学院临床医学专业2001级本科生及成人教育学院临床医学专业1999级、2000级、2001级的本科生的医学物理实

验教学中使用，并在全国高等医学院校中交流，获得了师生和同行的一致好评。该书曾荣获昆明医学院2001年教学成果二等奖。

本书在编写过程中，得到了昆明医学院院领导及教务处、基础医学院等各级领导的关心和支持，特此表示衷心感谢！

限于编者水平，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编　者

2002年7月

物理实验规则

1. 实验前必须预习实验讲义，了解实验目的、实验原理、操作步骤，认真做好实验预习卡，实验前未交实验预习卡的同学不准进入实验室做实验。

2. 开始实验时先检查实物是否与该实验所需仪器相符，如不相符立即报告指导老师，不得私自挪用其他组的器材。

3. 实验要按操作步骤进行，并在指定的时间内做好指定的实验。对仪器的使用，特别是对超声波诊断仪、示波器、各种电表、音频信号发生器等，要按规定及注意事项进行。电路接完未经教师检查，不得接通电源。

4. 要养成科学的、实事求是的态度，认真操作，仔细观察、读数，如实地记录数据或现象，不得拼凑数据。

5. 爱护仪器、器材，如有损坏、遗失要及时主动报告教师，并把损坏原因、损坏情况填入登记表，并按有关规定的赔偿制度处理。

6. 做完实验后应将仪器、器材清理复原，待老师检查后方得离开实验室。

7. 每次实验完毕，须派值日生打扫卫生。

目　　录

实验一　绪　论

（Introduction）

一、物理实验的意义和实验课的目的

1. 意义

物理学本质上是一门实验科学。物理规律的发现和物理理论的建立，都必须以严格的物理实验为基础，并受到实验的检验。而实验的设计、分析和概括也必须应用已有的理论。总之，物理学的发展是在实验和理论两方面相互推动和密切结合下进行的。所谓实验，就是在人为创造的条件下对自然现象进行观察研究，并通过测量，从数量上找出规律性的东西。物理实验的方法已渗透到各门自然科学的研究和应用之中，它已成为医学实验的基础。应该指出，物理实验对物理理论来讲，具有相对的独立性，医用物理实验不单纯是验证性的，它与医学有直接的和间接的关系。

2. 目的

通过物理实验课，主要达到以下三个目的：

（1）进一步掌握实验的基本原理、方法和技能。

（2）通过严肃认真的实验操作，培养事实求是的科学作风和独立分析问题、解决问题的能力，初步练就从事科学实验的基本功。

（3）巩固和加深对物理现象和规律的了解。

要达到以上目的，必须做到以下几点：

（1）课前预习，认真阅读实验教程，明确所做实验的目的，领会实验原理和方法，了解实验步骤，做好实验预习卡。

（2）细心进行实验，先组装、安排，把仪器调节到正常使用状态，才进行实验。实验时先草记实验数据，复核无误后，再用水笔填入实验报告的表格中，字迹要清楚、整洁，不乱画，不涂改，更不允许编造数据，也不得抄袭别人的数据。

（3）要亲自动手做实验，要独立思考，既不盲从，也不矜骄。合理分工和合作，也就是每个同学都要有动手做实验的机会，充分得到操作练习。不得只是某个人做实验，其余的人却在旁边只充当记录员或观察员，最后抄誊了事。应该提醒大家，大学的可贵之处，就是在于提供了许多系列的、精密的、贵重的实验设备，应该珍惜这个稍纵即逝

的机会。

二、测量的意义和分类

要确定一个物理量的大小，必须用仪器来测量。所谓测量就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。测量是人类认识和改造世界的重要手段之一，通过测量，才能对客观事物获得数量的概念，再将结果进行归纳和分析，以总结出一般规律，建立起定理或定律，测量的好坏，往往影响着对规律认识的正误。

测量分为直接测量和间接测量两类。直接测量就是指被测量和仪器直接比较，得出被测量量值的测量。例如要测量一物体的长度可以跟米尺相比较；天平称质量、停表计时间等这一类测量，都属于直接测量。

所谓间接测量，就是指由一个或几个直接测量量经已知函数关系计算出被测量量值的测量。例如测球的体积可先直接测出球的直径 d，再由公式 $V=\pi d^3/6$ 求出体积 V 来。又如测导体的电阻 R，可通过直接测量加于导体两端的电压 U 和流过它的电流强度 I 后，由公式 $R=U/I$ 计算出来等等，这一类测量都属于间接测量。

下面就两类测量中如何读出数据和处理数据的最常用、最简单的方法进行论述，它将涉及每一个实验，是不可不知的。

三、误差及其分类

任何物体都有各种各样的特征，反映这些特征的物理量的真实值称为真值，测量的目的总是力图得到真值，但是由于实验理论的近似性、实验仪器的灵敏度和分辨能力的局限性、环境的不稳定性等因素的影响，测量值总是真值的近似值。测量值与真值之间的差异称为测量值的误差，误差可分为三类。

1. 系统误差

在同一条件下（方法、仪器、环境和观测人都不变）多次测量同一量时，符号和绝对值保持不变的误差，或按某一确定的规律变化的误差，称为系统误差。这主要是由于实验仪器或装置的不完善、实验方法本身或理论的不完善等原因所引起的。

2. 偶然误差（随机误差）

在同一条件下多次测量同一物理量时，测量值总是有稍许差异而且变化不定，并在消除系统误差之后依然如此，这部分绝对值和符号经常变化的误差，称为偶然误差，也称为随机误差。它是由许多不可预测的偶然因素所决定的，它出现的机会和大小分布服从统计规律。

3. 粗大误差（过失误差）

凡是用测量时的客观条件下不能解释为合理的那些突出的误差，可称为粗大误差，

也称为过失误差。这是观测者在观测、记录和整理数据过程中，由于缺乏经验、粗心大意、疲劳等原因引起的。

四、误差的表示方法

在下面的讨论中，我们约定系统误差和粗大误差已经修正或消除，只剩下偶然误差。

1. 多次测量的误差

为了减少偶然误差，在可能的情况下，总是采用多次测量，将各测量值的算术平均值作为测量的结果。如果在相同条件下对某物理量 X 进行了 n 次重复测量（即等精度测量），其测量值分别为 N_1，N_2，……N_n，用 $\overline{N}$ 表示算术平均值，则

$$\overline{N}=\frac{1}{n}\left(N_1+N_2+\cdots\cdots+N_n\right)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}N_i \tag{1-1}$$

根据误差的统计理论，在一组 n 次测量的数据中，$\overline{N}$ 最接近于真值，称为测量的近真值。当测量次数无限增加时，算术平均值将无限接近于真值。

在 n 次重复测量后，测量值的误差可用平均绝对误差、相对误差或标准误差（均方误差）表示出来。

（1）平均绝对误差

我们把 n 次等精度测量所得的算术平均值作为最佳值，各次测量值与算术平均值之差的绝对值称为该次测量的绝对误差，即

$$\triangle N_i=\left|N_i-\overline{N}\right|\quad(i=1,\ 2,\ \cdots\cdots,\ n)$$

各次测量的绝对误差的平均值称为平均绝对误差，即

$$\triangle N=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\triangle N_i=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|N_i-\overline{N}\right| \tag{1-2}$$

测量结果表示为 $N=\overline{N}\pm\triangle N$

有一种特殊情况，即重复测量 n 次，测量值不变，这并不是说绝对误差为零，而是说明偶然误差较小，仪器的精度不足以反映其微小差异。这时可估计其误差为仪器最小分度值的一半。

（2）相对误差

为了评价一个测量结果的优劣，还需要看一个测量值本身的大小，为此引入相对误差的概念，相对误差的定义是：

$$E=\frac{\triangle N}{\overline{N}}$$

相对误差也可以用百分数来表示：

$$E=\frac{\triangle N}{\overline{N}}\times 100\% \tag{1-3}$$

用百分数表示的相对误差，又称为百分误差。

测量结果也可以表示为 $N=\overline{N}\ (1\pm E)$

例：用一精度为1毫米的米尺，测量一玻璃管的长度三次，测得的值及计算出的绝对误差和百分误差列表于下：

	测量值（cm）	绝对误差（cm）	百分误差
1	5.02	0.01	
2	5.03	0.02	$E=\frac{0.02}{5.01}\times 100\%=0.4\%$
3	4.98	0.03	
平　均	5.01	0.02	
测量结果表示为 $L=5.01\pm 0.02$（cm）$=5.01$（$1\pm 0.4\%$）（cm）			

由于平均绝对误差和相对误差是对误差大小的估计，一般只取一位。误差的下一位数一律进位，比如求得平均绝对误差为0.022cm或0.61s时，则分别取0.03cm或0.7s。

（3）标准误差（均方误差）

测量列的标准误差定义为：各测量值误差的平方和的平均值的平方根，故又称为均方误差。可用标准偏差表示如下：

$$\sigma=\sqrt{\frac{(N_1-\overline{N})^2+(N_2-\overline{N})^2+\cdots\cdots+(N_n-\overline{N})^2}{n-1}}$$

$$=\sqrt{\frac{\sum(N_i-\overline{N})^2}{n-1}} \tag{1-4}$$

测量结果则表示为 $N=\overline{N}\pm\sigma$

平均绝对值误差和标准误差都可以作为测量值误差的量度，它们都表示在一组测量数据中，各个数据的分散程度，一般来说，用标准误差更好，因为单次测量的误差经平方后，较大误差会更显著地反映出来。

严格来讲，误差是测量值与真值之差，而测量值与平均值之差称为偏差（或残差），这两者是有区别的。当测量次数很多时，多次测量的平均值 $\overline{N}$ 最接近真值，因此各次测量值与 $\overline{N}$ 的偏差也就很接近于它们与真值的误差，所以我们可以把测量值与平均值之差作为误差，并用标准偏差来表示标准误差。

2. 单次测量的误差

对于单次测量的误差，一般是估计它的最大值，因为误差的来源很多，而各个实验又有各自的特点，所以难以确定统一的规则。但是，至少也不能少于仪器的最小分度值的一半。

五、间接测量的误差计算

间接测量量是通过一定的公式计算出来的，既然公式中包含的直接测量量都是有误差的，所以间接测量量也必然有误差，这就叫误差的传递。

1. 加减法运算中的误差

若 $N = A \pm B \pm C$，其中 A、B、C 是直接测量量，可以证明，N 的绝对误差为：

$$\triangle N = \triangle A + \triangle B + \triangle C \tag{1-5}$$

即间接测量量由直接测量量相加减而得到时，间接测量量的平均绝对误差等于各直接测量量的平均绝对误差之和。N 的相对误差为：

$$E = \frac{\triangle N}{\overline{N}} = \frac{\triangle A + \triangle B + \triangle C}{\overline{A} \pm \overline{B} \pm \overline{C}} \tag{1-6}$$

2. 乘除法运算中的误差

若 $N = A \times B$ 或 $N = A/B$，其中 A、B 是直接测量量，可以证明，它们的相对误差都可以表示为：

$$E = E_A + E_B = \frac{\triangle A}{\overline{A}} + \frac{\triangle B}{\overline{B}} \tag{1-7}$$

上式中 E_A 和 E_B 表示 A、B 的相对误差，$\triangle A$、$\triangle B$ 表示它们的平均绝对误差。

由于 $E = \dfrac{\triangle N}{\overline{N}}$，所以我们有；

$$\triangle N = E \cdot \overline{N} \tag{1-8}$$

上式中，$\overline{N}$ 为 N 的平均值，其大小为 $\overline{N} = \overline{A} \cdot \overline{B}$ 或 $\overline{N} = \overline{A}/\overline{B}$。

总结上面的论述，我们得出：和差运算的平均绝对误差等于各直接测量量的平均绝对误差之和；乘除运算的相对误差等于各直接测量量的相对误差之和。所以，当间接测量量的计算公式中只含加减运算时，可先计算平均绝对误差，后计算相对误差；当计算公式中含有乘除运算时，先计算相对误差，后计算平均绝对误差。

例如用奥氏粘度计测定液体的粘度的公式为：

$$\eta_2 = \frac{\rho_2 t_2 \eta_1}{\rho_1 t_1}$$

式中左边的 η_2 为待测量，右边的 ρ_1、ρ_2、t_1、t_2 及 η_1 都是已测量，η_2 因通过乘除法计算得到，因此其相对误差 E_{η_2} 等于其他各量的相对误差 E_{ρ_1}、E_{ρ_2}、E_{t_1}、E_{t_2} 及 E_{η_1} 之和，即

$$E_{\eta_2} = E_{\rho_1} + E_{\rho_2} + E_{t_1} + E_{t_2} + E_{\eta_1}$$

或

$$E_{\eta_2} = \frac{\triangle \eta_2}{\overline{\eta}_2} = \frac{\triangle \rho_1}{\overline{\rho}_1} + \frac{\triangle \rho_2}{\overline{\rho}_2} + \frac{\triangle t_1}{\overline{t}_1} + \frac{\triangle t_2}{\overline{t}_2} + \frac{\triangle \eta_1}{\overline{\eta}_1}$$

实验计算中，若 E_{t_1}、E_{t_2} 及 E_{η_1} 为同级数，而 E_{ρ_1}、$E_{\rho_2} < 0.1E_{t_1}$ 时，则 E_{ρ_1} 及 E_{ρ_2} 均可略去不计，则有：

$$E_{\eta_2} = \frac{\triangle \eta_2}{\overline{\eta_2}} = \frac{\triangle t_1}{\overline{t_1}} + \frac{\triangle t_2}{\overline{t_2}} + \frac{\triangle \eta_1}{\overline{\eta_1}}$$

求得 E_{η_2}后，便可求得$\triangle \eta_2 = E_{\eta_2} \cdot \overline{\eta_2}$，故最后结果便可表示为：

$$\eta_2 = \overline{\eta_2} \pm \triangle \eta_2 = \overline{\eta_2}\ (1 \pm E_{\eta_2})$$

在一般情况下，若直接测量量为 x_1，x_2，……，x_n，间接测量量又可表示为 $y = f\ (x_1,\ x_2,\ \cdots\cdots,\ x_n)$，则 y 的平均值为 $\overline{y} = f\ (\overline{x_1},\ \overline{x_2},\ \cdots\cdots,\ \overline{x_n})$，$y$ 的平均绝对误差为$\triangle y = \left|\frac{\partial f}{\partial x_1}\right| \triangle x_1 + \left|\frac{\partial f}{\partial x_2}\right| \triangle x_2 + \cdots\cdots + \left|\frac{\partial f}{\partial x_n}\right| \triangle x_n$，相对误差为$\frac{\triangle y}{\overline{y}} = \left|\frac{\partial f}{\partial x_1}\right| \frac{\triangle x_1}{\overline{y}} + \left|\frac{\partial f}{\partial x_2}\right| \frac{\triangle x_2}{\overline{y}} + \cdots\cdots + \left|\frac{\partial f}{\partial x_n}\right| \frac{\triangle x_n}{\overline{y}}$。

为了方便起见，现将常用运算关系的误差计算公式列入表 1－1 中，以供查找。

表 1－1　常用运算关系的误差计算公式

运算关系 $N = f\ (A,\ B,\ C,\ \cdots\cdots)$	平均绝对误差$\triangle N$	相对误差 $E = \frac{\triangle N}{\overline{N}}$
$N = A + B + C + \cdots\cdots$	$\triangle A + \triangle B + \triangle C + \cdots\cdots$	$\frac{\triangle A + \triangle B + \triangle C + \cdots\cdots}{\overline{A} + \overline{B} + \overline{C} + \cdots\cdots}$
$N = A - B$	$\triangle A + \triangle B$	$\frac{\triangle A + \triangle B}{\overline{A} - \overline{B}}$
$N = A \cdot B$	$\overline{A} \cdot \triangle B + \overline{B} \cdot \triangle A$	$\frac{\triangle A}{\overline{A}} + \frac{\triangle B}{\overline{B}}$
$N = A \cdot B \cdot C$	$\overline{B} \cdot \overline{C} \cdot \triangle A + \overline{A} \cdot \overline{C} \cdot \triangle B + \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \triangle C$	$\frac{\triangle A}{\overline{A}} + \frac{\triangle B}{\overline{B}} + \frac{\triangle C}{\overline{C}}$
$N = A^n$	$n \cdot \overline{A}^{n-1} \cdot \triangle A$	$n \cdot \frac{\triangle A}{\overline{A}}$
$n = \sqrt[n]{A}$	$\frac{1}{n} \cdot A^{\frac{1}{n}-1} \cdot \triangle A$	$\frac{1}{n} \cdot \frac{\triangle A}{\overline{A}}$
$N = \frac{A}{B}$	$\frac{\overline{B}\triangle A + \overline{A}\triangle B}{\overline{B}^2}$	$\frac{\triangle A}{\overline{A}} + \frac{\triangle B}{\overline{B}}$
$N = \sin A$	$\lvert \cos\overline{A} \rvert \cdot \triangle A$	$\lvert \mathrm{ctg}\overline{A} \rvert \cdot \triangle A$
$N = \cos A$	$\lvert \sin\overline{A} \rvert \cdot \triangle A$	$\lvert \mathrm{tg}\overline{A} \rvert \cdot \triangle A$
$N = \mathrm{tg}A$	$\frac{\triangle A}{\cos^2\overline{A}}$	$\frac{2\triangle A}{\lvert \sin 2\overline{A} \rvert}$
$N = \mathrm{ctg}A$	$\frac{\triangle A}{\sin^2\overline{A}}$	$\frac{2\triangle A}{\lvert \sin 2\overline{A} \rvert}$

六、有效数字及其运算

1. 有效数字的概念

任何一个物理量，其测量的结果既然都或多或少地有误差，那么，一个物理量的数值就不应无止境地写下去。我们把测量结果中可靠的几位数字加上可疑的一位数字统称为测量结果的有效数字。有效数字中的最后一位虽然是可疑的，即有误差的，但它还是在一定程度上反映了客观实际，因此，它也是有效的，例如 1.35 的有效数字是三位，632991.399 的有效数字是九位。

一个数值有效数字的多少，往往能反映一些测量的实际情况，如测量时所用的仪器、测量的方法等，如 1.3500cm 一定不是用米尺测量的，可能是用螺旋测微计测量的，1.35cm 则可能是用米尺测量的。

2. 直接测量时有效数字的记法

一般来说，测量时应估计到所用仪器最小分度值的十分之一。若正好与刻度线对齐，则应在后面加“0”。但有的仪器，如指针式仪表，它的分度较窄，而指针较宽，读到十分之一有困难，这时可以估计到最小分度的五分之一，甚至到二分之一。最小刻度是“2”和“5”的，也只记到最小刻度所表示的那一位。

在实验时，所有测量值都要按有效数字记录，其位数不能少写，也不能多写。例如，用螺旋测微计测量物体的长度 L 时，观察时正好对齐刻度线“2”。正确的记录应为 $L=4.8720\text{cm}$，即得五位有效数字，若不写 0，则 $L=4.872\text{cm}$，成为四位有效数字，少了一位，这就和所用仪器精度不符，所以这时“0”不能少写，但也不能随便加“0”。

关于有效数字，以下几点必须注意：

(1) 有效数字的位数与小数点的位置无关。例如 20.16 米、2016 厘米、0.02016 千米都是四位有效数字。

(2) 0 在中间或最后都是有效的。例如 10.0 米，为三位有效数字，10.02 米是四位有效数字，若为 10 米则只有二位有效数字，所以实验时，数据记录特别要注意是几位有效数字。0 不能随便增加，也不能任意舍去。

(3) 当结果中数字很大时，可用 10 的指数形式来表示。例如测得某号钢的弹性模量 $E=2.01\times10^{11}\text{N/m}^2$，是三位有效数字。若写成 $E=201000000000\text{N/m}^2$，则是十二位有效数字。显然，不符合实验情况，所以必须写成标准形式，即任何数值写成某数乘以 10 的几次幂表示。该数表示出有效数字位数，一般小数点位置在第一位数字后面。

3. 有效数字的运算规则

(1) 加减计算结果的有效数字

和或差的有效数字的最后一位的位置，与参与运算的绝对误差最大的那一项的最后一位的位置相同。

例 1　$176.5 + 0.294 = 176.8$

例 2　$43.306 - 36.25 = 7.06$

（2）乘除计算结果的有效数字

积或商的有效数字的位数，与参与运算的各数中有效数字位数最少的那个数的位数相同。

例 3　$4.325 \times 1.5 = 6.5$

例 4　$4.176 \div 10.1 = 0.413$

（3）乘方或开方计算的结果

幂式和方根的有效数字的位数与其底数的有效数字的位数相同。

例 5　$\sqrt{39.2} = 6.26$ 及 $(6.26)^2 = 39.2$

（4）对数和三角函数的取值

对数的有效位数与其真数的位数相同，三角函数的有效位数与对应的角度的位数相同。其他函数亦仿此。

（5）常数如 π、e、$\sqrt{2}$等有效位数，通常使之与各量中的位数最少的因子有相同位数。而指定数，如测量次数、物体的个数等，以及系数如 2、1/2、1/3 等不影响计算的结果，不作有效数字处理。但公认的测量值应按一般的有效数字对待。首位是 8 或 9 的有效数字的位数可多取一位。

（6）测量值有效数字的末位，要和绝对误差所在的那一位对齐。如 $L = 1.00 \pm 0.02$（cm）是正确的，$I = 360 \pm 0.5$（μA）或 $g = 980.125 \pm 0.03$（cm/s^2）都是错误的。

注意：通常所用的舍入法是四舍五入，对于大量分布概率相同的数据来说，这样舍入不是很合理，因为总是入的概率大于舍的概率。现在通用的是："小于五则舍，大于五则入，等于五则把可疑数凑成偶数"的法则。这种舍入法则的依据是，这样做以后，使入与舍的概率相等。"五"后面有不等于零的数，均属大于五。

七、实验数据的表记和图示

1. 列表记录

物理实验中常将测量数据列表记录，数据列表可以清楚表示出有关物理量之间的对应关系，便于检查测量结果是否合理，并有助于分析物理量之间存在的规律性关系。因此，表格设计要简明，易于看出有关量间的关系；表中各符号所代表的物理量的意义要清楚并写出单位；单位一般写在标题栏中，不要重复地记录在各数字上，表中数据要正确地选用测量结果的有效数字，以反映测量的精度，在表中不能说明的问题，可在表下加以说明。

2. 描绘实验曲线

物理实验中，对几个物理量需要同时测量，而这些测量值之间往往又有一定的内在物理规律时，其规律可用实验图线来表示。

描绘实验图注意以下几点：

(1) 为使曲线描绘准确，测量的数据点应尽可能地多。

(2) 作实验曲线要用坐标纸，坐标纸的大小，要根据实验数据的有效数字而定，尽量使数据中的有效数字都能标出。

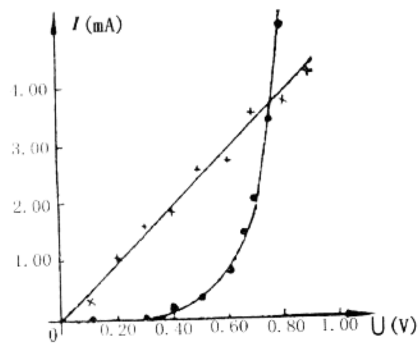

图1-1　伏安特性曲线

(3) 确定坐标轴：以横轴代表自变量，以纵轴代表因变量，并在轴的末端近旁注明轴的名称和单位。图纸下部要标明图名。

(4) 确定分度值（坐标轴每格代表的物理量数值）：原则上应使坐标轴上的每一小格代表的物理量数值与测量值的有效位数中最末一位可靠数字相对应。为使读数方便，以不用计算就能直接读出曲线上每一点的坐标为宜。常使每一小格所代表的值为1、2、5，而不用3、4、9。

两轴比例选择要合适，使曲线倾斜度接近45°（或135°），不要偏于一角或一边。横轴和纵轴可以选取不同的分度值，坐标原点一般不取为零值，除非数据从零开始。

(5) 标点：每对数据要用符号在坐标纸上清晰而准确地标出。常用的符号有“×”、“+”、“·”、“△”、“⊙”，符号中心与实验点对应。曲线作好以后，这些符号不允许擦去，它起着保存原始数据记录的作用，便于复核数据，不是同一图线，不要使用相同的符号。

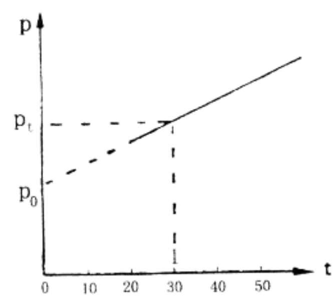

图1-2　p-t变化关系曲线

各点标出后，可以看出各点大体分布在一图线的两侧，个别点偏离较远，其数据应予以复核。

(6) 连线：应用曲线板（或尺）和削尖的铅笔作出尽可能通过或接近各实验点的光滑曲线。曲线不必通过所有的点，但要求在曲线两侧的点数近似相等，并且两侧各点与曲线的距离之和也应近似相等，如图1－1所示。

3. 由实验曲线求未知量

(1) 外推法：一般情况下，实验中只能测得某一区域范围内的数据，对于区域外的两个物理量间的对应值，可把实验曲线延长到区域外求得，这种方法叫做外推法。例

如：一定质量的理想气体，体积不变时，在“压强—温度”的变化曲线上，用外推法求0℃时的压强。实验中温度一般是20℃开始，实验曲线是一直线，如图1-2所示，延长直线交纵坐标于一点，纵坐标的读数就是气体在0℃时压强P_0。

（2）内插法：在实验中能获得有限的几个实验点，但根据实验点画出实验图线后，就是某一范围内两物理量之间的关系。我们可以利用实验图线找出这一范围内物理量之间的任意对应值，此方法叫做内插法。例如，上图中从20℃到40℃范围内任何一个温度值（t），都可以由直线找到压强值（Pt）。

八、相关和回归的概念

1. 直线相关与相关系数

当两个变量之间出现如下情况：一个增大，另一个也增大（或减小），我们称这种现象为共变，也就是这两个变量之间有“相关关系”。如果两种事物或现象（或两变量）在数量上的协同变化呈直线趋势，这种关系称为直线相关，又称为线性相关（关系）。

用来表示相关关系的统计学指标称为相关系数，亦称积差相关或总相关，它的符号是r。相关系数有正有负，r等于+1或-1的时候，称为完全相关，r等于0的时候，称为零相关或无相关。相关系数总在-1与+1之间，不会超过这个范围。相关系数只是一个数值，并没有单位。

在生物现象中，很少有完全相关的，故r的数值一般也不会达到+1或-1。相关系数绝对值的大小，反映了变量x与变量y之间关系的密切程度。在相关图上，各对（x，y）的坐标点称为观察点，观察点的分布越呈直线趋势，表示x与y之间关系越密切，r的绝对值也越大。如果r接近于±1，就是很高的相关了，反之，r的绝对值越小，相关程度就越低。如果r接近0，就说明x与y之间看不出有什么相关关系了。例如，图1-3上各点的分布比较集中，其$r=0.91$，而且是正相关；图1-4上各点的分布则相当分散，其$r=0.40$，虽然仍属正相关，但x与y之间的关系显然较微弱，只是稍有上升的趋势罢了。

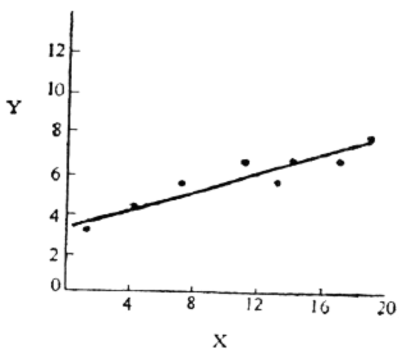

图1-3　r=0.91

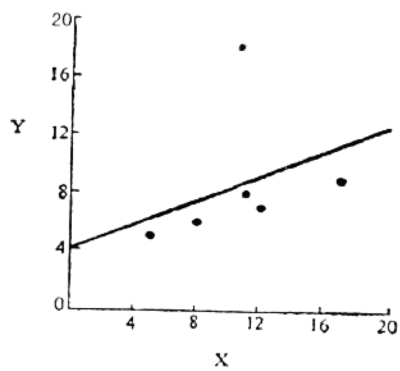

图1-4　r=0.40