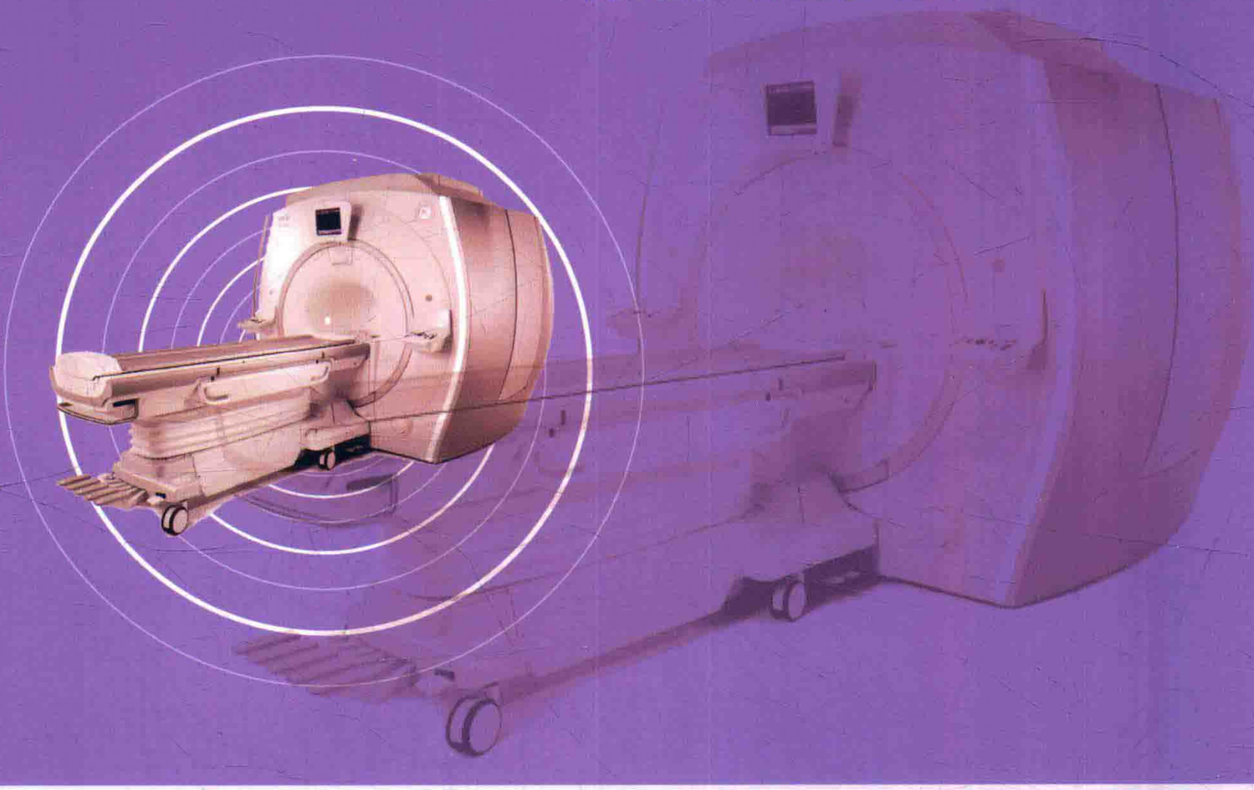
医学物理学实验指导

主　编　吴艳茹　杨海波　孟燕军

副主编　郝晨汝　池子强



科学出版社

医学物理学实验指导

主　编　吴艳茹　杨海波　孟燕军
副主编　郝晨汝　池子强

科 学 出 版 社
北 京

内 容 简 介

本书是根据全国医药类专业医学物理实验课程教学基本要求，在保证医学物理学实验课程体系不变的基础上，在多年教学实践及教学改革基础上编写而成的. 本实验指导强调了对学生观察分析能力、实践操作能力的培养.

本书可作为高等医药院校临床医学、预防医学、法医学、医学影像学、药学、医学检验等医药类各专业的医学物理学实验课程的教材，也可供与生命科学有关的其他专业师生参考使用.

图书在版编目（CIP）数据

医学物理学实验指导 / 吴艳茹，杨海波，孟燕军主编. —北京：科学出版社，2017.8

ISBN 978-7-03-054005-8

Ⅰ. ①医… Ⅱ. ①吴… ②杨… ③孟… Ⅲ. ①医用物理学-实验-医学院校-教学参考资料 Ⅳ. ①R312-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 180961 号

责任编辑：昌　盛　王　刚/责任校对：张凤琴

责任印制：霍　兵/封面设计：迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

http：//www.sciencep.com

三河市骏杰印刷有限公司印刷

科学出版社发行　各地新华书店经销

*

2017 年 8 月第　一　版　开本：787 × 1092　1/16

2017 年 8 月第一次印刷　印张：5 3/4

字数：136 000

定价：20.00 元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

全国高等学校教材

供临床、预防、法医、影像、口腔医学、药学类等专业用

《医学物理学实验指导》编写委员会

主　　编　吴艳茹　杨海波　孟燕军

副 主 编　郝晨汝　池子强

编　　委　李　静　刘　磊　乔丽华

田　会　张　晶　张敬晶

赵瑞斌

技术指导　孙艳英

视频制作　郝晨汝　池子强

前　言

医学物理学是把物理学的原理和方法应用于人类疾病预防、诊断、治疗和保健的交叉学科.在现代医学中，物理学的理论和实验方法均得到了广泛的应用，医学物理学实验是对医学物理学相关现象进行观察和研究的科学实践，已成为相对独立于医学物理学理论课的医学基础科学实验课程. 医学物理学实验既是医学物理学课程的重要组成部分，又肩负着本身特有的任务. 医学物理学理论和实验如影随形，共同形成了整个医学物理学的发展历史. 在整个医学物理学发展过程中，发现新的物理现象、验证新的物理规律都要依靠实验来完成，每当实验中有了新的发现时，就会促进理论的进一步发展，提出新的理论和物理模型，使物理学向更深更高处推进.

医学物理学实验课程肩负着对实验方法和技能训练的任务，通过医学物理学实验可以使学生了解从事科学实验的主要过程，掌握与医学密切相关物理量的测量原理和方法，培养学生观察实验现象、利用理论分析实验现象的能力，使学生得到科学实验技能的基本训练. 著名理论物理学家杨振宁先生曾说过“物理学是以实验为本的科学”，这足以说明物理实验的作用及重要性.

在学习医学物理学实验的时候，应该达到以下几点基本要求：第一，通过医学物理实验得到医学物理学实验的基本知识、基本方法和基本技能的严格系统训练；第二，通过医学物理实验培养用实验方法验证物理规律、研究物理现象的能力，并在实验过程中不断培养学生发现问题、分析问题和解决问题的能力；第三，培养理论联系实际和实事求是的实验素质，在实验过程中，尊重实验事实和实验数据.

本教材是依据全国医药类专业医学物理实验课程教学基本要求，充分考虑医药类各专业特点，在保证医学物理学实验课程体系不变的基础上，在多年教学实践及教学改革基础上编写而成的. 教材编写过程中，强化利用相关物理学方法和技术解决医学问题的实验项目.

编　者

2017 年 3 月 30 日

目　　录

第一章 绪　论

1.1 实验目的

物理学是一门研究物质的基本结构、基本运动形式、相互作用及其运动规律的基础学科，它是众多科学技术发展的基石. 将物理学的基本原理和方法应用于临床医学研究中，逐渐形成了医学物理学这门交叉学科. 物理学的实验方法和技术也为医学研究和实践提供了可靠的手段.

物理学是一门实验的科学. 人们在认识世界和了解世界的过程中，首先是观察现象，然后通过对物理量的测量确定它们之间的关系，总结出一定的规律. 另一方面，人们又需要通过实验验证推导出来的结论，如果实验结果和已有的物理规律矛盾，就需要对原有的物理理论加以修正和改造. 所以说，物理实验和理论的关系是相辅相成的：物理理论来源于对实验现象的总结，而且又指导着新的物理实验;物理实验的结果验证或者推动着物理理论的发展和完善. 物理实验又是其他一切科学实验的基础，它所体现的实验思想、方法、手段，指导着其他实验包括医学实验的进行. 优秀的物理实验思想和技能,是我们培养学生具有严谨的治学态度和活跃的创新意识的基础.

物理实验的内容极为广泛，在医学、药学领域，无论是理论研究还是临床实践都会遇到各种物理仪器和设备：光学显微镜和电子显微镜被广泛应用于医学领域中细胞和病毒学的研究；X射线及其相关仪器是医学影像和肿瘤放射治疗的核心；流体理论在人类研究血液流动规律中逐渐形成了一门新的学科“血液流变学”……这样的例子数不胜数. 物理学，特别是近代物理学，已经广泛地应用于临床医学中的各个领域，精确的治疗和诊断必须借助基于物理学原理制造的设备，例如，X射线成像、磁共振成像、电子衍射技术、扫描探针技术、光纤引导下的显微手术、放射性治疗、超声波扫描等. 从已有多位具有物理背景的科学家获得医学领域的诺贝尔奖项这一事实，我们也可以看出物理学对现代医学发展所做出的贡献.

作为医学院校的一名学生，学习物理学及其实验课程是在大学期间接受系统的实验技能训练的开端，是后续实验课程的基础. 通过学习不仅可以掌握基本的物理学原理和知识，更重要的是学习物理学的基本思想和研究方法，掌握物理实验的基本技能，培养科学素质和自主动手能力，在今后的医学理论以及实践过程中能够运用一定的物理学方法解决问题.

医学物理学实验的教学目的和任务主要有以下三个方面：

(1)学生应通过学习和操作，接受实验方法和技能的基本训练，包括了解常见的物理仪器和工具的工作原理，掌握其使用方法.

(2)通过实验课程验证物理理论. 在医学物理学理论课堂上，学生学习的课时有限，并且不够直观. 学生通过实验课程中亲手操作和观察，能够显著地加深对理论知识的理解，并且应当和相关的医学应用对应起来，达到进一步学习物理理论的目的.

(3)通过物理学实验培养学生实事求是的科学态度，严肃认真的工作作风以及独立思考并且亲自动手验证的学习能力.

1.2 实验要求

为了能够达到上述目的，更好地实现实验课效果，我们需要学生做到以下三点：

(1) 实验前要自觉预习实验内容，书写预习实验报告. 包括了解实验原理和目的，掌握实验方法和步骤，牢记实验操作中的注意事项，尝试解答思考题等.

(2) 在实验过程中要严格遵守实验室制度、保证人身安全、爱护仪器；规范使用仪器，按照实验步骤尽量独立完成实验，严谨认真地记录实验原始数据；注意一边操作一边思考，积极运用所学的知识设计如何合理而精确地测量所需数据，分析误差产生的原因，区分误差类型.

(3) 实验结束后，应在预习报告的基础上完成实验报告. 实验报告必须是基于本人真实的实验结果，通过计算和分析得出结论. 要求条理清晰，重点突出，基本的目的是让阅读者可以按照实验报告明白实验整个过程.

1.3 实验数据分析及处理

1.3.1 测量误差

在物理实验中，有些物理量可以直接从仪器上读出测量值，如长度、质量、温度、时间等，这些量称为直接测得量. 但对于大多物理量，没有直接读数的仪器，只能用间接的方法进行测量. 例如，测物体的密度时，我们可以先测出质量和体积，再用公式计算出它的密度，这样的物理量称为间接测得量. 通常的实验过程几乎都是直接测出一些物理量后，再通过物理量之间的联系公式求得另一些物理量.

(一) 误差的基本概念

由于测量仪器的缺陷和测量者感官的限制，一些测量结果总是与被测量的真实数值有偏差，测量值与真实值之差叫做误差. 误差的产生有多方面的原因，按其性质和产生的原因可将误差分为三类.

1. 系统误差

这种误差是由测量仪器本身的缺点和测量方法上的欠完善引起的，其特点是具有一定的方向性. 例如，用金属米尺测量长度，在温度太高时，米尺本身膨胀，量得的长度就偏小了；在测量室温时，温度计如果靠近火炉太近所测的温度就偏高. 可见系统误差是有一定方向的，要么总是偏高，要么总是偏低. 增加测量次数并不能减少这种误差，但是如果改进仪器和改善测量方法则可以减小系统误差.

2. 偶然误差

这是由于测量者感官的限制，或者其他不可预料的情况使读数不准确而产生的误差，其特点是具有偶然性，没有一定的方向. 单独一次测得的结果可能比真值大，也可能比真值小，但是重复若干次测量后，就会发现比真值偏大或偏小的机会是均等的. 因此，增加测量次数，然后求出多次测量结果的平均值，就可以使不同方向的误差大部分相互抵消，所得的测量数值就会更接近真值.

3. 过失误差

这是由测量者使用仪器方法不正确或粗心大意记错数据等引起的，这种误差完全是人为因素造成的. 只要测量者采取严肃认真的态度，具有一丝不苟的作风，这种误差是可以避免的.

(二)误差的估算

在下面的讨论中，我们约定系统误差和过失误差已经消除或修正，只剩下偶然误差.

1. 直接测量的误差

为了减小偶然误差总是采用多次测量的方法，将各次测量量的算术平均值作为测量结果. 假设在相同条件下对某物理量，例如长度，进行了几次重复测量，其测量值分别为 $L_1, L_2, \cdots, L_n$. 它们的算数平均值为

$$\overline{L} = \frac{1}{n}(L_1 + L_2 + \cdots + L_n) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} L_i$$

根据误差理论，在一组 n 次测量的数据中，算术平均值 $\overline{L}$ 最接近于真值，称为近真值.

在这种情况下测量值的误差可以用平均绝对误差、相对误差和标准误差表示出来.

(1)平均绝对误差.

各次测量值 L_i 与平均值 $\overline{L}$ 之间的绝对值叫做绝对误差，即

$$\Delta L_1 = \left|L_1 - \overline{L}\right|, \quad \Delta L_2 = \left|L_2 - \overline{L}\right|, \quad \cdots, \quad \Delta L_n = \left|L_n - \overline{L}\right|$$

各次绝对误差的平均值叫做平均绝对误差，即

$$\Delta L = \frac{1}{n}(\Delta L_1 + \Delta L_2 + \cdots + \Delta L_n) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \Delta L_i$$

应用平均绝对误差，多次测量的实验结果可表示为

$$L = \overline{L} \pm \Delta L$$

显然， ΔL 越小，测量结果越准确.

(2)相对误差.

用平均绝对误差来表示测量结果的准确度是不全面的，例如，多次测量两个长度分别为 1cm 和 10cm 的平均绝对误差都是 0.01cm，我们能否说它们的精确度是一样的呢？当然不能. 因此，为了便于比较实验结果，通常用相对误差来表示实验结果的准确性. 平均绝对误差 ΔL 与平均值 $\overline{L}$ 之比，即

$$E_{\mathrm{r}} = \frac{\Delta L}{\overline{L}}$$

叫做相对误差，也叫百分误差.

显然，E_{r} 越小，测量结果越准确. 前例中两个不同长度测量的相对误差分别为 1%和 0.1%，前者的精确性比后者低.

(3) 标准误差.

多次测量的结果还可以用标准误差来表示，标准误差的定义是

$$S=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(L_i-\overline{L})^2}$$

用标准误差来估计误差，多次测量的结果可表示为

$$L=\overline{L}\pm S$$

显然，S 越小测量结果越准确.

2. 间接测量的误差估算

间接测得量是直接测得量代入公式计算出来的. 既然直接测得量有误差，间接测得量也必然有误差. 设两个直接测得量为 A 和 B，它们的平均绝对误差分别为 ΔA 和 ΔB，即

$$A=\overline{A}\pm\Delta A$$
$$B=\overline{B}\pm\Delta B$$

N 为间接测得量，N 与 A、B 之间满足一定的关系，即 $N=f(A,B)$，将 A 与 B 的测量值代入公式计算，便可求得

$$N=\overline{N}+\Delta N,\qquad E_{\mathrm{r}}=\frac{\Delta N}{\overline{N}}$$

ΔN 是间接测得量的平均绝对误差，它的大小不仅与 ΔA 和 ΔB 的大小有关，而且与 N、A、B 之间的运算关系有关. 下面我们详细推导加、减法运算中的误差，其他运算关系的误差推导方法相同.

(1) 加法运算中的误差(和的误差).

若 $N=A+B$，则

$$\overline{N}\pm\Delta N=(\overline{A}+\Delta A)=\overline{B}\pm\Delta B$$

显然，平均值

$$\overline{N}=\overline{A}+\overline{B}$$

绝对误差

$$\Delta N=\pm\Delta A\pm\Delta B$$

ΔA 和 ΔB 可能为正值，也可能为负值，在最不利的情况下，可能出现的最大误差

$$\Delta N=\Delta A\pm\Delta B$$

我们规定此最大误差为间接测得量的绝对误差，于是相对误差

$$E_{\mathrm{r}}=\frac{\Delta N}{\overline{N}}=\frac{\Delta A+\Delta B}{\overline{A}+\overline{B}}$$

(2) 减法运算中的误差(差的误差).

若 N=A–B，则

$$\overline{N} \pm \Delta N = (\overline{A} \pm \Delta A) - (\overline{B} \pm \Delta B)$$

平均值

$$\overline{N} = \overline{A} - \overline{B}$$

绝对误差

$$\Delta N = \pm \Delta A \pm \Delta B$$

接前述的理由，在最不利的条件下取

$$\Delta N = \Delta A + \Delta B$$

故相对误差为

$$E_r = \frac{\Delta N}{\overline{N}} = \frac{\Delta A + \Delta B}{\overline{A} - \overline{B}}$$

(3)乘法运算中的误差(积的误差).

绝对误差

$$\Delta N = \overline{A} \cdot \Delta B + \overline{B} \cdot \Delta A$$

相对误差

$$E_r = \frac{\Delta N}{\overline{N}} = \frac{\overline{A} \cdot \Delta B + \overline{B} \cdot \Delta A}{\overline{A} \cdot \overline{B}} = \frac{\Delta A}{\overline{A}} + \frac{\Delta B}{\overline{B}}$$

(4)除法运算中的误差(商的误差).

绝对误差

$$\Delta N = (\overline{B} \cdot \Delta A + \overline{A} \cdot \Delta B) / \overline{B^2}$$

相对误差

$$E_r = \frac{\Delta N}{\overline{N}} = \left(\frac{\overline{B} \cdot \Delta A + \overline{A} \cdot \Delta B}{\overline{B^2}} \right) \Bigg/ \left(\frac{\overline{A}}{\overline{B}} \right) = \frac{\Delta A}{\overline{A}} + \frac{\Delta B}{\overline{B}}$$

为了方便，现将常用运算关系的误差计算公式列入表 1-3-1 中，以供查找.

上述平均绝对误差的计算，是在考虑各次误差同时出现最不利的情况时，即都取绝对值相加而得到的，因为夸大了间接量的误差，实际的误差比上述要小.

表 1-3-1 绝对误差和相对误差的计算公式

运算关系	绝对误差	相对误差
$N = A + B$	$\Delta A + \Delta B$	$(\Delta A + \Delta B) / (\overline{A} + \overline{B})$
$N = A - B$	$\Delta A + \Delta B$	$(\Delta A + \Delta B) / (\overline{A} - \overline{B})$
$N = A \cdot B$	$\overline{A} \cdot \Delta B + \overline{B} \cdot \Delta A$	$\frac{\Delta A}{\overline{A}} + \frac{\Delta B}{\overline{B}}$
$N = A / B$	$(\overline{B} \cdot \Delta A + \overline{A} \cdot \Delta B) / \overline{B^2}$	$\frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B}$
$N = A^n$	$n \cdot \overline{A}^{n-1} \cdot \Delta A$	$n \cdot \frac{\Delta A}{\overline{A}}$

续表

运算关系	绝对误差	相对误差
$N=\sqrt[n]{A}$	$\frac{1}{n}\cdot\overline{A}^{\frac{1}{n}-1}\cdot\Delta A$	$\frac{1}{n}\cdot\frac{\Delta A}{\overline{A}}$
$A=\sin A$	$(\cos\overline{A})\cdot\Delta A$	$(\cot\overline{A})\cdot\Delta A$
$A=\cos A$	$(\sin\overline{A})\cdot\Delta A$	$(\tan\overline{A})\cdot\Delta A$
$A=\tan A$	$\Delta A/\cos^2\overline{A}$	$2\Delta A/\sin 2\overline{A}$
$A=\cot A$	$\Delta A/\sin^2\overline{A}$	$2\Delta A/\sin 2\overline{A}$

1.3.2 有效数字及其运算

(一) 有效数字

所谓有效数字，就是用仪器对某量进行测量时，在仪器上读出的数字.它包括两部分，一部分是准确数字，另一部分即最后一位数字是估计数字.直接测得量的有效数字的位数，与仪器的精确度和测量值本身的大小有关，仪器的精度越高，或测量值越大，其有效数字的位数越多.

从仪器上读出的数字，通常都要尽可能估计到仪器最小刻度的下一位.

以图 1-3-1 用米尺测量物体的长度为例，从图上看出物体的长度在 4.2cm 与 4.3cm 之间，但究竟是多少呢？不同的人可以读出不同的数值来，例如，4.26cm、4.27cm、4.28cm 等. 前两位数“4.2”是准确数字，而第三位是测量者估计出来的，因此这一位数有疑问，称为可疑数字. 如果米尺的最小刻度线是厘米，我们就只能读到两位有效数字 4.2cm 和 4.3cm，与前者相比，有效数字少一位；若被测物体较长，例如 114.25cm，则测量值的有效数字的位数也相应增加.

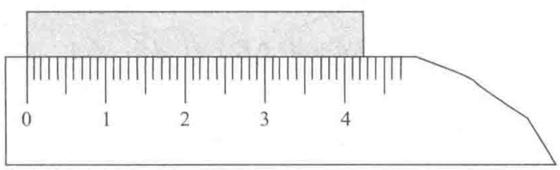


图 1-3-1 米尺测量物体

书写有效数字时必须注意“0”的位置. 例如，某物体长 0.020m，前面两个“0”不表示有效数字. 它的出现是因为选用的单位过大，数值就小了. 如果用厘米作单位，则物体的长度为 2.0cm，前面两个“0”就没有了. 同数中后面一个“0”是有效数字，不能丢弃，否则就不能反映可疑数字的位置及实验数据的准确度. 为了使记录和计算方便，并且不改变有效数字的位数，通常将以上数字写成 $2.0\times10^{-2}\,\text{m}$ ，$2.0\times10^{-1}\,\text{dm}$ 或 $2.0\times10^{-1}\,\text{mm}$. 这样书写，有效数字总是两位. 也就是说，在小数点前一律取一位有效数字，采用不同的单位而引起数值位数上的不同，可以用乘以 10 的幂，幂指数的大小不能说明有效数字的位数.

(二) 有效数字的运算

间接测得量是由直接测得量计算出来的，所以也有一定的有效数字. 下面我们根据有效数字中可疑位只有一位的原则，说明各种运算中有效数字的取法. 在下面的例题中，我们在可疑位数下方加一横线，以便与准确数字相区别.

1. 有效数字的加、减法

$$
\begin{array}{r}
32.\underline{1}\\
+\ \ 5.02\underline{9}\\
\hline
37.\underline{1}\underline{2}\underline{9}
\end{array}
\qquad
\begin{array}{r}
4.78\underline{5}\\
-2.\underline{6}\\
\hline
2.\underline{1}8\underline{5}
\end{array}
$$

在相加的结果 $37.\underline{129}$ 中，由于小数点后一位的“1”已为可疑数字，其后的第二位便无意义了. 按照四舍五入的原则，本例题应舍去“$2\underline{9}$”写成 $37.\underline{1}$，有效数字为三位. 同理上面的减法中，最后的结果应向前进一位，写成 $2.\underline{2}$，有效数字为两位.

在上面的例子中，如果以其中可疑位最靠前的量为基准，事先四舍五入，取其各量的尾数，则加、减的结果仍然相同. 具体算法如下：

$$
\begin{array}{r}
32.\underline{1}\\
+\ \ 5.0\\
\hline
37.\underline{1}
\end{array}
\qquad
\begin{array}{r}
4.\underline{8}\\
-2.\underline{6}\\
\hline
2.\underline{2}
\end{array}
$$

由上可看出，两个数和或差的有效数字，其可疑位的位置，与两位数中最高可疑位的位置相同. 这个结果可以推广到多个量的相加或相减的计算中去.

2. 有效数字的乘、除法

通过下面两个例子的计算，了解乘、除运算中有效数字的取法.

$$
\begin{array}{r}
2.4\underline{3}\\
\times\ \ \ 7.\underline{5}\\
\hline
\underline{1}.\underline{2}\underline{1}\underline{5}\\
+\ 17.0\underline{1}\\
\hline
1\underline{8}.\underline{2}\underline{2}\underline{5}
\end{array}
\qquad
\begin{array}{r}
2\underline{8}\\
4\underline{8}\,\big)\,\overline{1347.\underline{5}}\\
-\ 9\underline{6}\\
\hline
3\underline{8}7\\
-\ 38\underline{4}\\
\hline
0\underline{0}\underline{3}\,\underline{5}
\end{array}
$$

上面两个例子的结果分别为 $1\underline{8}$ 和 $2\underline{8}$，有效数字都是两位. 从上面的例子可以看出，两个量相乘(或相除)的积(或商)，其有效数字的位数，与两数中有效数字位数最少者相同. 这个结果可以推广到多个量相乘、除的运算中去.

3. 乘方、开方的有效数字

可以证明，乘方与开方的有效数字，与其底的有效数字位数相同.

以上这些结论，在一般情况下是成立的，但也有例外. 如果知道了有效数字的意义和可疑数字的取舍原则，是不难处理的.

1.3.3 数据图示法

用曲线表明两相关物理量的实验结果，最为整齐、清晰、印象深刻便于记忆，但绘图时必须注意：

(1)应在横、纵坐标的两端标明所代表的物理量和单位，选择不同的单位，使记录的数据能在方格纸上分布广度合适，既不拥挤在一处，也不过度分散.

(2)横、纵坐标的起点不一定代表物理量的零值，但需使曲线占据方格纸的绝大部分位置，

使观察者易懂.

(3)将实验数据在方格纸上绘出标点后，用曲线板视各点的前后趋势，连成平滑的曲线，而不是折线. 由于实验误差不可避免，故应尽量使曲线两侧具有相同数目的标点，如图 1-3-2 所示.

(4)一般复杂形式的曲线不易看出所测物理量间的函数关系，但若变换物理量后，可以得出形式很简单的曲线.

例如，玻意耳-马略特定律指出

$$pV = K$$

式中，p 表示压强，V 表示容积，K 表示恒量.

若用 p 为纵坐标，V 为横坐标，可画出一条曲线. 若用 p 为纵坐标，以 $\frac{1}{V}$ 为横坐标，则可画出一条通过原点的直线，如图 1-3-3 所示. 故两变量的选择应仔细考虑.

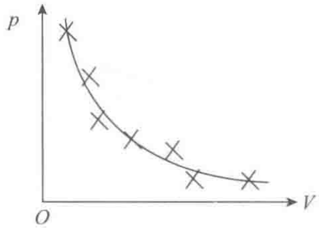


图 1-3-2 $p-V$ 图

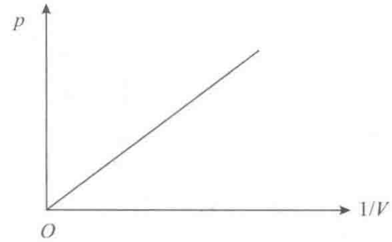


图 1-3-3 $p-\frac{1}{V}$ 图

1.4 实验报告要求及范例

1.4.1 实验报告要求

每次实验，每个人必须写一份实验报告，将实验的结果完整且真实地表达出来. 写实验报告时要求字迹清楚，图表规矩，结果真实，讨论认真. 实验报告通常应包括实验名称、实验目的、实验器材、实验原理、实验步骤、实验数据及结果、误差分析、注意事项、思考题几部分. 实验器材应包括设备的名称、数量、型号；实验原理是通过自己的理解和认识简要地介绍实验所采用的理论知识；实验数据均需记录在最醒目而又简洁的表格中，必须为原始数据，即实验过程中现场记录的数据，并确保真实有效，表格的形式随实验要求而异. 表格中应包括直接测得量及单位、间接测得量的计算公式和计算结果及单位. 若计算中需要某些常数，如水的黏滞系数、物质折射率等，也应将这些量置于表格中适当位置；实验数据及结果是通过对原始数据的分析和计算，得到有用的实验数据，同时得出相关结论；误差分析主要是讨论找出影响实验结果的主要原因，从而采取适当的措施以减小误差. 表达实验结果时，一般包括三部分，即结果的测量值 $\overline{L}$、绝对误差 ΔL 和相对误差 E_r，综合起来可以写为 $L=\overline{L}\pm\Delta L$ 、$E_r=\frac{\Delta L}{\overline{L}}\times 100\%$；思考题及讨论通过独立思考和小组讨论，完成教材中的思考题；同时可以记录自己的实验心得、实验过程中观察到的异常现象及其可能的解释以及对实验的改进意见等内容.

1.4.2 实验报告范例

医学物理学实验报告

_________学院_________级_________专业、姓名_________学号_________
日期_________实验地点_________台号_________天气_________同组人_________

实验名称：
实验目的：
实验器材：
实验原理：
实验步骤：
实验数据及结果：
误差分析：
注意事项：
思考题：

第二章　医学物理学实验

实验 2.1　长度测量仪器的使用

实验性质： 操作性实验

实验学时： 3 学时

分组人数： 2～4 人

长度是基本物理量. 在医学领域中，许多诊断和治疗仪器指示标度都是按照一定长度来划分的，因此，长度测量在医学中有很重要的应用. 例如，体温计、血压计的测量；人体电信号通过心电图机做出的心电图波形的高低、间距的测量；医疗仪器上电流或电压表的测量；形态学和医学影像学的诊断和研究中细胞、组织、器官等形状大小的测量等. 这些都是根据仪器上某一指标在标尺上的位置来测量的. 总之，医学中所涉及的测量很多可归结为长度的测量. 由此可见，长度的测量是一切测量的基础，也是最基本的物理测量之一.

(一) 实验目的

(1) 了解游标卡尺、螺旋测微器和读数显微镜的原理.

(2) 学会正确使用游标卡尺、螺旋测微器和读数显微镜.

(二) 实验器材

游标卡尺、螺旋测微器、读数显微镜、铝圆柱体、钢球、生物组织切片(或头发).

游 标 卡 尺

1) 游标卡尺的原理

一般米尺的最小分度为毫米，如果用它来测量物体的长度，只能准确到毫米，毫米以下的数字就得估读，但估读的数字是不准确的. 如果在主尺上附一个可以滑动的游尺，利用游尺便能读出毫米以下的数值，使测量结果更精确.

如图 2-1-1 所示，以 10 分度的游标为例，10 个游标分度的总长刚好与主尺上 9 个最小分度的总长相等，即等于 9mm. 这样每个游标分度的长度是 0.9mm，每个游标分度比主尺的最小分度短 0.1mm. 当游标对准主尺上的某一位置时，毫米以上的整数部分 y 由主尺读出. 在图 2-1-1 中，y=21mm. 读毫米以下的小数部分 Δx 时，应细心寻找游标上的哪一根刻线与主尺上的刻线对得最齐. 如图 2-1-1 所示，可以看到是游标上的第 6 根线与主尺上的刻度线对得最齐. 要读的 Δx 就是 6 个主尺分度与 6 个游标分度之差. 因为主尺的 6 个分度的总长是 6mm，6 个游标分度的总长是 6×0.9mm，所以

$$\Delta x = 6\text{mm} - (6\times0.9)\,\text{mm} = 6\times(1-0.9)\,\text{mm} = 6\times0.1\text{mm} = 0.6\text{mm}$$

同理，如果游标上第二条刻线对齐，那么 $\Delta x=2\times0.1$mm=0.2mm. 以此类推，当游标尺上第 k 条刻线与主尺某一刻线对得最齐时，$\Delta x = k\times0.1$mm. 这就是 10 分度游标的读法.

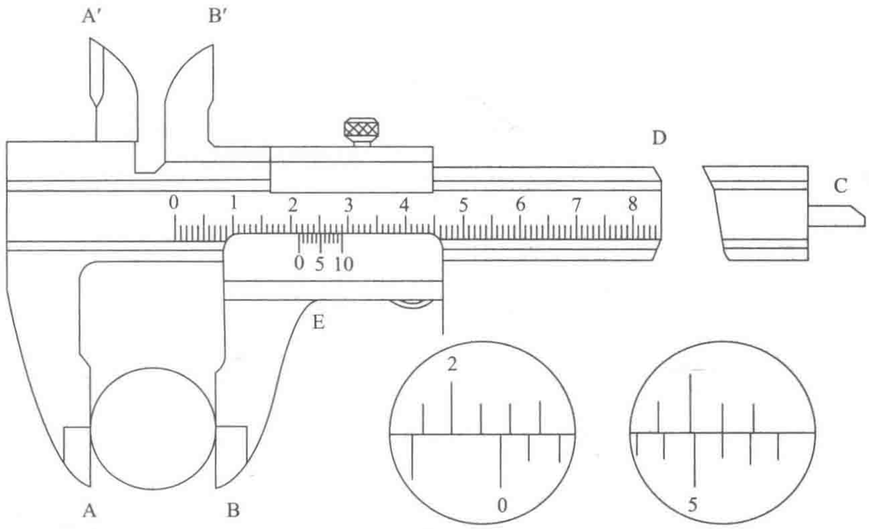


图 2-1-1　游标卡尺

为了提高读数的精确度，很多测量仪器采用了游标装置. 例如，使用焦利秤测水的表面张力系数实验，游标分度 n=10；光学实验中，分光计上的游标分度 n=30 等. 常用游标卡尺的分度数有 10、20、50 等，它们的原理和读法相同.

设 a 代表主尺上的最小分度的长度，n 代表游标的分度，并且取 n 个游标分度与主尺上 $(n-1)$ 个最小分度的总长相等，则每个游标分度长度

$$b=\frac{n-1}{n}a \tag{2-1-1}$$

这样，主尺最小分度与游标分度的长度差值为

$$a-b=a-\frac{n-1}{n}a=\frac{a}{n} \tag{2-1-2}$$

这个差值刚好就是主尺的最小分度的长度除以游标分度数，即是游标尺的分度值，此值刻在主尺钳口处.

在测量时，如果游标第 k 条刻线与主尺上的刻线对齐，那么游标零线与主尺上左边的相邻刻线的距离就是

$$\Delta x=k\frac{a}{n} \tag{2-1-3}$$

根据上面的原理，对任何一种游标，只要弄清了它的分度值，就可以直接利用它来读数.

用游标尺测量长度的普遍表达式为

$$l=y+\Delta x \tag{2-1-4}$$

$$l=y+k\frac{a}{n} \tag{2-1-5}$$

其中，y 是从游标的“0”线所处的位置读出主尺上的整毫米数，k 是游标的第 k 条刻线与主尺某一条刻线对齐的数，a 与 n 的比值就是游标尺的分度值.

如图 2-1-2 所示，游标是 50 分度的标尺中，主尺上最小分度的长度 a=1mm，a 与 n 的比值